

Міністерство освіти і науки України
Донбаська державна машинобудівна академія, Україна
J.J. Strossmayer University of Osijek, Mechanical Engineering Faculty, Хорватія
University of Zielona Góra, Poland
Higher Technical School Trstenik (Serbia)
DAAAM International Vienna
Belgrade University Faculty of Mechanical Engineering in Podgorica (Montenegro)
Навчально-науково- виробничий комплекс «Спеціаліст», Україна
ПАТ «Новокраматорський машинобудівний завод»
ТОВ Corum Group
Кафедра «Технологія машинобудування»
Студентське наукове товариство спеціальності технологія машинобудування

МОЛОДА НАУКА. ТЕХНОЛОГІЯ МАШИНОБУДУВАННЯ

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ СТУДЕНТІВ І МОЛОДИХ ВЧЕНИХ

За загальною редакцією
д-ра техн. наук, проф. С. В. Ковалевського

Краматорськ
ДДМА
2016

ББК 34.5
УДК 621
М 75

Рецензенти:

Кіяновський М.В., докт.техн.наук, проф., зав.каф.Технології машинобудування Криворізького національного університету

Самотугін С. С., докт.техн.наук, проф., зав.каф.Металорізальних верстатів Приазовського державного технічного університету

Затверджено
на засіданні вченої ради ДДМА
(протокол № 8 від 21.04.2016)

У збірнику опубліковано матеріали праць аспірантів, магістрантів і студентів – фахівців у галузі технології машинобудування. Пропонуються перспективні ідеї, аналіз конкретних проблемних питань машинобудування, подано розробки, готові до впровадження.

Призначений для використання в практичній діяльності магістрів, фахівців і студентів ВНЗ.

Молода наука. Технологія машинобудування : збірник наукових праць всеукраїнської науково-технічної конференції студентів і молодих вчених / за загальн. ред. С. В. Ковалевського, д-ра техн. наук., проф. – Краматорськ: ДДМА, 2016. – 188 с.
ISBN 978-966-379-725-0

В сборнике опубликованы материалы трудов аспирантов, магистрантов и студентов – специалистов в области технологии машиностроения. Предлагаются перспективные идеи, анализ конкретных проблемных вопросов машиностроения, представлены разработки, готовые к внедрению.

Предназначен для использования в практической деятельности магистров, специалистов и студентов вузов.

ISBN 978-966-379-725-0

ББК 34.5
УДК 621
© ДГМА, 2016

UDC 621.74

Dejan Šakić, mentors Olivia-Silvana Prlić, Vlatko Marušić (Croatia, University Applied Science Zagreb, Mechanical Engineering Faculty in Slavonski Brod)

INFLUENCE OF ERP IMPLEMENTATION ON FOUNDRY EFFICIENCY

In this paper the role of ERP (Enterprise Resources Planning) computer program in the production of pressure cast parts for the automotive industry is analyzed. The monitoring of engine holder casting has been done by phases in order to record and select the scrap by the place of appearance. The characteristic tests are performed on the holders as well as on the steel sleeves after the heat treatment simulation. On the basis of the lab tests, it is determined that the causes of scrap occurring lie in the choice of melting temperature of melted aluminum. The whole production process monitoring is important for the increase of financial effects through the lowering of scrap and savings on tool costs, as well as for lowering of indirect losses during the machine delay.

Faulty and for proper use unusable castings, which do not fulfill the norms or with the buyer agreed terms of delivery, represent the scrap [1, 2]. In the foundry, the scrap is manifested in material, energy and labor loss. During the pressure casting of Al die casting carriers, steel sleeves are suffused into them and a thread is cut in afterwards. During the cutting of the threads not only the wear of the cutter is observed but also their breaking. As a consequence of that, not only that the costs are rising (the price of cast also) but from quality casted carriers scrap is often made. The goal of ERP implementation is monitoring of the production supply (unfinished production).

The implementation of ERP is analyzed on the example of one foundry of pressure casting. In this foundry, the pressure casting equipment was installed, capacity of 250 casts per day.

A few years ago, a special automatized and robotic production cell was bought. The crucial factor in making the decision for acquiring this equipment was the fact that in the car industry a trend of increasing number of Al castings was noticed [3]. Beside small mass, anticorrosive and good mechanical characteristics are also expected from those castings. Also, additional education of the responsible foreman and workers on melting and casting is required. The goal was to predict the consequences of possible technological indiscipline and/or work disregard.

After adoption of production process and successful first series, the problems occurred during the machining of castings by cutting the threads in suffused metal sleeves. Therefore, detailed tracking of the whole production process was performed with the usage of ERP. It is important to lead the technological process in that way that the casting reaches satisfactory mechanical properties in casted condition, that means without additional heat treatment.

Beside the chemical compound and structure of alloy, it is important to uphold the temperature of casting alloy in determined limits. The optimal temperature of alloy depends primarily on the procedure of pressure casting, choice of casting tool temperature, as well as on the shape and dimensions of cast.

Geometric-dimensional characteristics with strict tolerance measures are required from the carriers (together with sleeves) is shown in fig. 1. Car engine part carriers are made by pressure casting of Al-alloy marking AlSi9Cu3(Fe)L226 [4] made from secondary aluminum. Ingot is melted at ≈ 780 °C and the recommended temperature of alloy pouring into cast is between 680 to 710 °C. Thereby, the alloy suffuses around two steel sleeves. The casting is being cooled with oil emulsion to ≈ 300 °C and after that on air. The needed temperature of tool and suffusing system goes from 200 to 250 °C. The whole procedure is automatized. Machining of carriers by thread cutting into steel sleeves is done on the machine with two heads; the threads are cut in simultaneously. Two steel sleeves are suffused in the carrier (and a thread M18 \times 1,5 mm is cut in afterwards). According to [5] in the annealed state of delivery this steel (C45E+A) must have hardness max 207 HB, and in normalized (C45E+S) max. 255 HB. Measured hardness varies from 250 to 270 HB during which it was not noticed that there is any influence of the place of testing on the measured values.

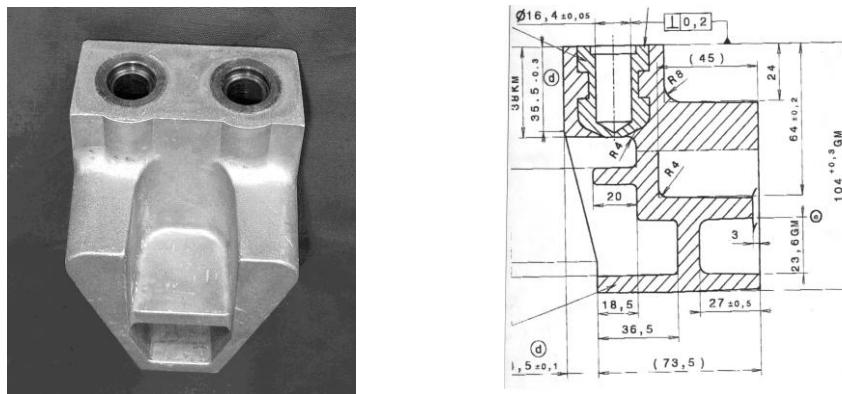


Fig. 1 The Aluminum carrier design with its geometric-dimensional characteristics

It is noticed that during the cutting in the M18 thread into the sleeves, some breaking of the cutter occurs. Sometimes the cutter gets broken after 20 threads or its cutting edges get damaged. The image of broken and damaged cutters is shown in fig. 2. With sequence number 1) thread cutters with TiC protective coating are marked, and with sequence number 2) thread cutters with protective coating TiN are marked.



Fig. 2 The appearance of damaged cutters prior to thread cutting in the sleeve

With detailed control of breaking surfaces of the cutters, the following was noted: 1) the cutters broke at the angle of $\approx 45^\circ$, this indicates that the condition of the basic material of the cutter is such that it gives satisfactory strength, otherwise the break would be vertical; 2) locally jamming of the cutter basic material is noticed as a result of straining bigger than the limit of basic material; 3) carriers with the broken cutter represent scrap; 4) delay because the cutter replacement significantly increases the costs and disrupts the production „rhythm”.

For the needs of researching of scrap occurring causes it has been randomly chosen: 5 castings – carriers before thread cutting, and 10 raw (as delivered) steel sleeves. Those samples are taken for chemical compound, structure, hardness and dimensional control tests for determination of sample problem occurring during the thread cutting in the sleeve. The goal is simulation of heat treatment conditions to which sleeves are exposed during suffusing of Al alloy. Two temperatures of sleeves heating are chosen: 1) 730 °C, as higher temp. which gives „better“ casting to alloy; 2) 690 °C, as temperature suitable for alloy AlSi9Cu3(Fe).

Testing results are shown in table 1 and in table 2. The control was made on 3D device MERLIN 1100 TWIN STAR. Diameters of sleeve holes (and cylindrical) have been controlled in two spots: 1.=d₁ at depth of 8mm; 2.=d₂ at depth of 25 mm (*Mean value of three measurements).

Table 1

Results of 3D control of sleeves in Al carriers

Carrier Nr.	Cylindrical /0/, mm		Parallel of centerlines //, mm	Verticality of centerlines on casting head, mm	Spacing of centerlines, mm	Smallest diameter ϕ , mm
	Brace sleeve					
	I	II				
1	0,010	0,0006	0,0384	0,0527	50,1621	16,4147
2	0,036	0,0033	0,0214	0,0145	49,9116	16,3393
3	0,0077	0,0015	0,0388	0,0107	50,0415	16,3921
4	0,0131	0,0167	0,0798	0,0341	50,0260	16,3478
5	0,0127	0,0070	0,0138	0,0073	50,0443	16,3885

Table 2

Results of dimension control and measurement of hardness of steel sleeves after simulated heat treatment

Steel Sleeve No.	SLEEVES "ANNEALED", 730°C			SLEEVES "ANNEALED", 690 °C		
	Smallest diameter ϕ , mm	Cylindrical /0/, mm	Hardness* HB	Smallest diameter ϕ , mm	Cylindrical /0/, mm	Hardness* HB
1	16,4637	0,0059	271	16,4596	0,0158	248
2	16,3709	0,0126	264	16,3653	0,0097	260
3	16,4151	0,0143	274	16,4203	0,0164	281
4	16,4063	0,0094	259	16,3985	0,0083	230
5	16,4408	0,0132	268	16,3487	0,0119	256

By smallest diameter (request according to documentation: min. 16,350, max. 16,450 mm. The results of 3D control of Al carriers indicate the following:

1) perpendicularity of centerline in sleeves on head at all 5 castings is within allowed tolerances; 2) the spacing of centerline holes in all 5 sleeves is within allowed deviations; 3) the measured diameter of sleeve hole at 3 of 5 shortly annealed sleeves is smaller than minimally allowed for thread cutting M18×1,5.

Based on the results of this research, the sequence of inside judgment procedures is defined, schematic in fig. 3. On the basis of annual planning and predicted range of evaluation, a Control list of internal independent quality judgment is made. On the basis of information about monitoring, a Report of faulty is made. The authorized person performs the analysis. Based on analysis results, a cause is determined, so a decision about possible need and implementation of corrective actions is made. The procedure of managing of the faulty product is displayed in schematic in fig. 4. With the implementation of ERP and in purpose of production process with the help of computerized process, scrap is recorded in complete, by the phases where it occurs. It in the end it signalizes the origin of the problem and corrective preventive actions in order to reduce and/or eliminate this problem. The lab results in this case have proven to be effective in precise locating of technological operation which is the main cause of appearance of faulty products.

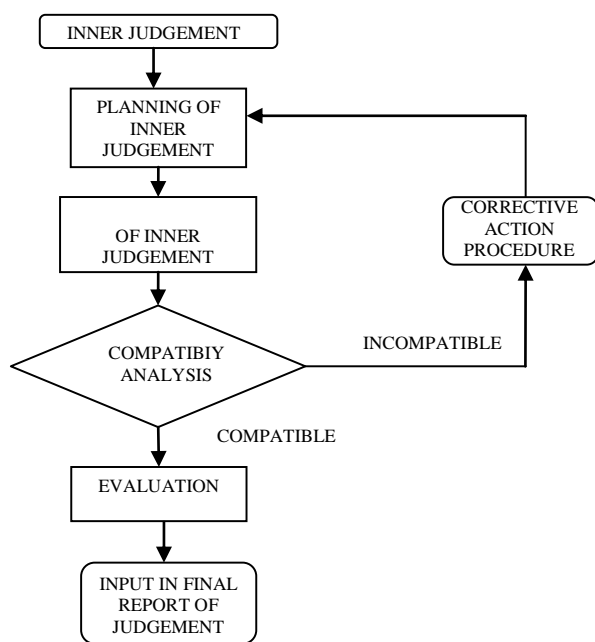


Fig. 3 Schematic display of procedure for inner judgment

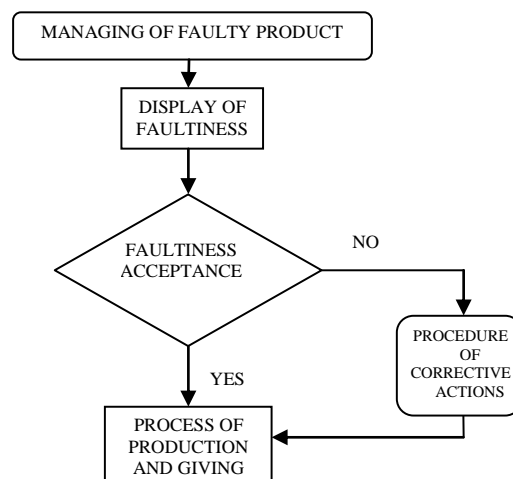


Fig. 4 Schematic display of faulty product managin

REFERENCES

1. HRN:EN: ISO 9001:2002. Sustavi upravljanja kvalitetom-Zahtjevi (ISO 9001:2000, EN ISO 9001:200), Državni zavod za normizaciju i mjeriteljstvo, Zagreb, 2003.
2. Stephan Hasse, Pogrješke na odljevcima (preveli s engl. prof. Dunja Palijan i mr. sc. Mile Galić), Hrvatsko Udruženje za ljevarstvo, Zagreb, 2003.
3. Davor Stanić: Lijevanje aluminijske slitine "SILAFONT 36" u CIMOS-u ROČ; Zbornik savjetovanja znanstveno-stručnog ljevačkog skupa, 1-13, Zagreb 2007.
4. UNI 5076 Pressure Die Casting Aluminium-Silicon- Copper-Iron Alloy (Si 12%, Cu 2%, Fe 0,9%), Ente Nazionale Italiano di Unificazione, 1974-12-31.
5. EN 10083-1, Vergütungsstähle, CEN, 1991.

UDC 620.179.119

Ivan Nikolić, menthors Antun Stoić, Vlatko Marusic (Croatia, Mechanical Engineering Faculty in Slavonski Brod)

OPTICAL MEASUREMENTS OF SURFACE ROUGHNESS CUT WITH WATERJET

The paper describes method for optical measurement of surface roughness (Ra) with computer vision. The equipment for roughness measurement is expensive, and the process itself is also time-demanding. This study is focused on the design of an instrument for non-destructive measurement and the determination of the roughness class by computer vision. The instrument needs to be of simple design, cost accessible and safe in practical application. It is intended for the fast determination of the roughness class of work specimens obtained by water jet cutting, and the setting of cutting parameters in accordance with the obtained results. The principle of instrument operation is based on measuring the intensity of the visible light spectrum reflected from the surface of the specimen and the correlation between these values and the measured roughness values.

Reliable measurement of surface roughness (Ra) is critical to quality control in a wide range of manufacturing processes. The purpose of this project is to design a simple, cost accessible device for non-invasive measurement of Ra in process of waterjet cutting. This device must capture the intensity of visible light reflected by a set of controlled surfaces and correlate this value to a measurement of Ra for cutting parametars (cutting speed, abrasive flow, depth of cut and pressure).

Many surface roughness measurement devices currently exist in industry. There are three main categories: stylus-type contact measurement instruments, non-contact laser measurement devices, and non-contact white light measurement devices. All three are currently used in a variety of applications to analyze surface roughness among other surface properties of varying types of material.

Non-contact surface measurement devices using white light are much less common in industry. These devices utilize the established technique of interferometry with white light along with a CCD camera to analyze surface roughness of varying materials. This process involves emitting white light on both the test surface and a high-precision reference surface, capturing these images with the CCD camera and superimposing these images in order to get an accurate analysis of the surface. One major drawback of this particular device is the necessity of a high-precision reference surface. This can prove to be especially inconvenient when analyzing materials over a large variety of surface finishes [1].

Waterjet cutting is often used during fabrication of machine parts. Waterjets are fast, flexible, reasonably precise, and in the last few years have become friendly and easy to use. They use the technology of high-pressure water or a mixture of water and an abrasive substance being forced through a small hole to concentrate an extreme amount of energy in a small area (fig. 1, a).

While cutting with water is possible for soft materials, the addition of an abrasive turned the waterjet (abrasivejet) into a modern machining tool for all materials.

In fig. 1, b is showed dependences between the cutting speed and surface quality (Ra).

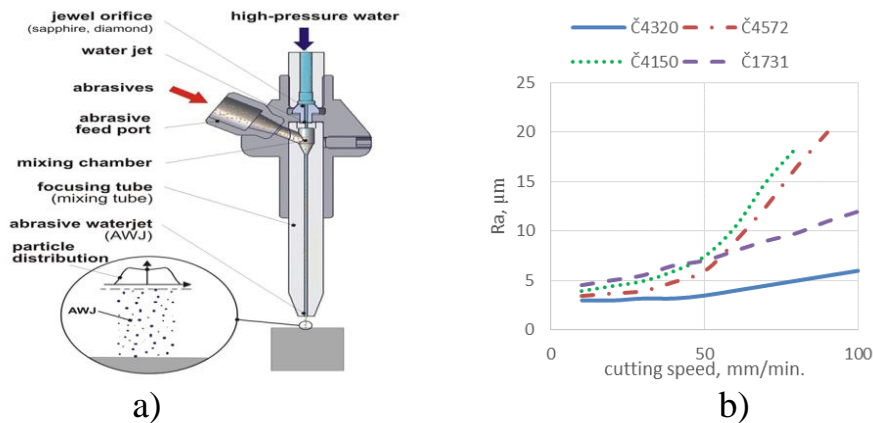


Fig. 1 Typical design of a pure waterjet nozzle (a) [3]; dependence of the surface quality (Ra) and cutting speed (b) [2]

The method of delivering light, orientation between light source and sensor, is the most important factor to consider. Light dispersion affects the accuracy and repeatability of measurements. It also affects the versatility of the sample areas it can measure and the cost.

In order to address the concerns of working distance and the problems associated with a changing distance, as well as having a compact design, an attractive set-up is a vertical orientation. If the light is collimated, it does not need to be focused at an exact distance from the sample. This reflected light, less than 25 % of the magnitude of the original light source, less because the sample is not assumed to be a perfect mirror, but is captured by the optical sensor, which sits off to the side. This orientation is the most compact. The amount of light captured by the sensor in the vertical orientation is not affected by the working distance, because there is no angle of incidence. This set-up also requires that the light source be especially bright, because it will lose at least 75 % of its magnitude from two passes through the beam splitter [1] (fig. 2).

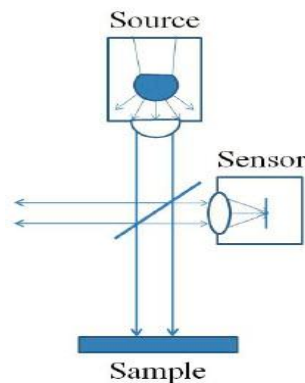


Fig. 2 Vertical orientation [1]

Prototype box was designed to assembly light source (purple led), arduino microcontroller, beam splitter, signal led and usb camera. It is critical to have

sufficient clearance between the device and the sample. Prototype box was designed in solidworks and exported in STL format for 3D printing. It is made of Acrylonitrile butadiene styrene (ABS) and it is consist of two main compartments (fig. 3). One compartment (larger) is for light source, Arduino microcontroller, beam splitter, signal led and the other one is for usb camera. A computer equipped with our LabVIEW interface must be connected to the web cam housed inside box during use.

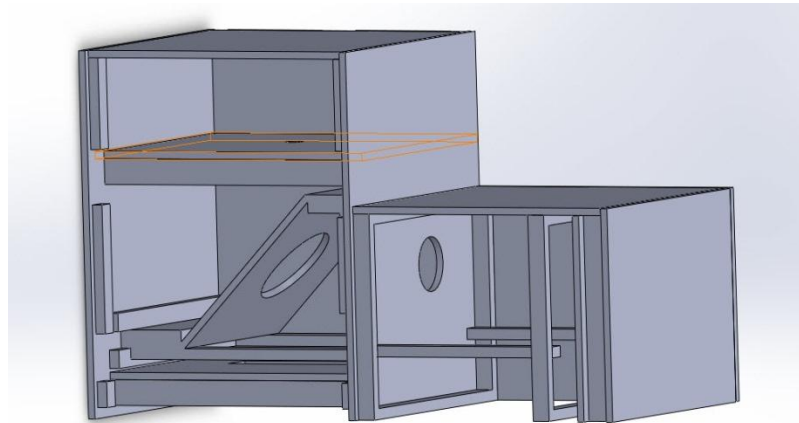


Fig. 3 Prototype box design

The primary function of device is to receive human commands and output results. Device is constrained to accomplish this by measuring the intensity of reflected light, including the three main functions: providing light to the surface (LED), capturing reflected light (Usb camera), and processing the captured image (LabVIEW). Application logic is showed in flowchart (Fig. 4).

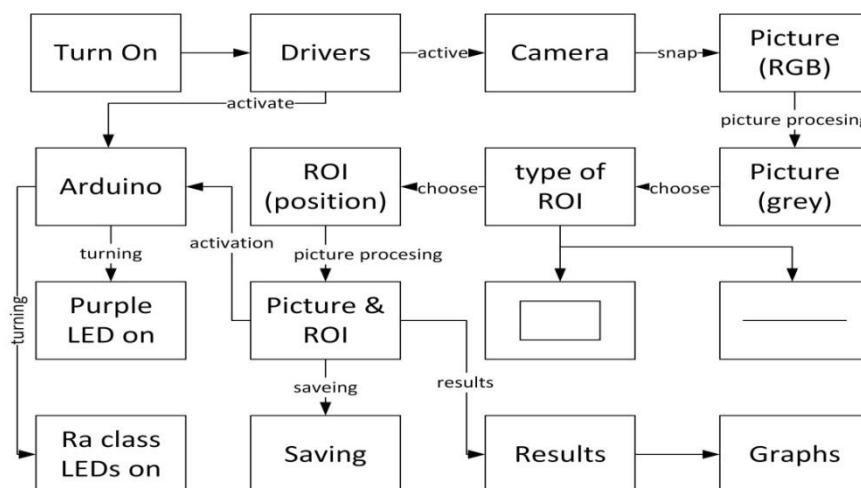


Fig. 4 Application flowchart

GUI is designed to simplify user action and monitoring over device measuring (fig. 5). User needs to perform following steps. First, the user needs to physically position the device directly above the surface being measured.

After the prototype is positioned correctly, turn “ON” switch to power on light source, then use “Snap” button on the GUI to capture an image, and choose ROI

(type and position) which is shown with green color on third window. ROI type can be area or line. In order to ensure that the user captures an image of the desired surface region, there is a “Live Image” window featured on the GUI to allow the user to see the potential image to be captured. Lastly, the user turn on the “Process” switch to activate application process of the captured image and output Ra value.

Application has ability to save captured images (raw) in local maps and done software processing later or save already processed images together with results.

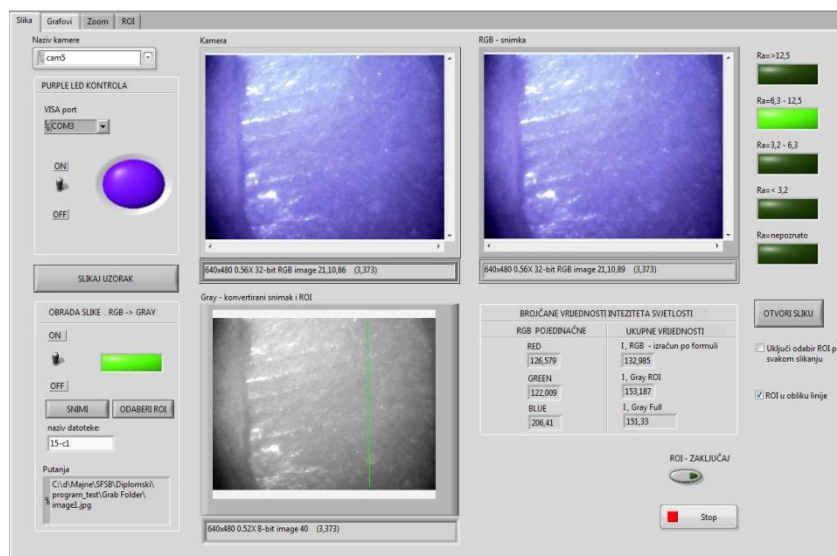


Fig. 5 Graphical user interface (GUI)

CONCLUSION

After final testing and measurement of test samples, a prototype device for determining the class of roughness using computer vision has shown that the extensive software solutions and the equipment with very affordable cost can be used to build the device, which in certain conditions of production, can replace very expensive and sophisticated equipment.

Computer vision system allows the user to check the measurements in the production without interrupting the production process.

Advantage of a designed computer vision system is that it does not require big investments, additional training of workers or major changes in the existing production process. The system for determining the grade of roughness is proposed as a possible solution for facilities with serial production, where without interrupting the process can check the status of samples and then, if necessary, adjust the settings on the machines.

For more precise surface roughness classes, further testing and equipment upgrades are needed.

REFERENCES

1. Antonini, Kyle; Geiger, Derek; Orizondo, Ryan; Szvarca, Tiago: *Designing an Optical Device for Measuring Surface Roughness*, 2009.
2. Živković, Dragan; Šotra, Vesna; Žunjanin, Radiša; Medenica, Miroslav: *Kvalitet površina i tehnološki parametri rezanja materijala vodenim mlazom*, 2010.
3. Web page: <http://www.swa.se/page/132/industrial-waterjet.aspx> (12.07.2015)

UDC 621.774.001

Janjić I., Oračak I., menthor Milinović A. (Croatia, Slavonski Brod, MEFSB)

DETERMINATION OF FREQUENCY FACTOR AND ACTIVATION ENERGY FOR BORONIZING OF C15 STEEL

Kinetics of boride layers formation on C15 carbon steel has been investigated in this paper. Pack boronizing is carried out at a temperature range of 870-970 °C in durations of 4-8 h. Average thickness of obtained layers ranges from 65,3 to 215,5 μm. Values of frequency factor ($3,02 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$) and activation energy (195,43 kJ/mol) are determined by means of Arrhenius equation. Based on these values, empirical expression showing functional relationship between boride layer thickness and boronizing temperature and duration has been obtained.

Boronizing is surface treatment in which boride atoms, due to small diameter and high mobility, at elevated temperatures diffuse into metal surface and form intermetallic compounds with atoms of base metal. Obtained layers, borides, are extremely hard which improves surface resistance to abrasive wear. Moreover, boronizing also improves resistance to adhesive wear and to corrosion in non-oxidizing weak acids, alkalis and molten metals [1]. All mentioned means, that with proper selection of boronizing and material, boronizing could extend machine part lifetime for 3 – 10 times [2]. Boronizing is most suitable for carbon and low alloyed steels, but it can also be applied on Ni, Co, Ti, W and Mo based alloys and sintered hard materials. Boronizing of carbon steels is usually carried out at temperatures 800 - 1050 °C and treatment durations 1 – 12 h. Obtained layer may consist of one phase (Fe_2B) or can be dual-phased ($\text{FeB} + \text{Fe}_2\text{B}$). Although FeB is harder (1800-2100 HV) than Fe_2B (1400-1600 HV), it is not desirable because of its brittleness [3-6]. Boronizing can be carried out in solid, liquid or gaseous media, and the most frequently used is pack boronizing. Many of process parameters (i.e. boronizing temperature and time, boron potential, substrate material) affect boronizing. In order to obtain desired properties of boride layer, it is very important to establish the process parameters. In this study, influence of boronizing temperature and duration with respect to average boride layer thickness obtained on C15 steel is analysed through application of Arrhenius equation.

Boronizing is thermo – chemical diffusion process. Diffusion in solids is thermally activated process of mass transfer related to atoms movement driven by a concentration gradient. Kinetics of diffusion layer growth can be analysed taking into account Fick laws or by a method based on Arrhenius equation. In this study, boronizing kinetics is analysed through use of Arrhenius equation:

$$D = D_0 \cdot e^{-\frac{Q}{R \cdot T}}, \quad (1)$$

where T – temperature, K;
 D_0 – frequency factor, m^2/s ;
 Q – activation energy, J/mol;
 R – the gas constant, J/(mol·K).

Most of diffusion processes obey the law described by:

$$d^2 = D \cdot t, \tag{2}$$

where : d –diffusion layer thickness, m;

D – growth rate constant, m^2/s ;

t – diffusion duration, s.

Growth rate constant is also called diffusion coefficient or diffusivity. Considering (1) and (2), following equation can be derived:

$$d = \sqrt{D_0 \cdot t \cdot e^{-\frac{Q}{R \cdot T}}} \tag{3}$$

Through usage of (3), and by knowing the values of frequency factor and activation energy, it is possible to predict diffusion layer thickness in dependence on diffusion temperature and duration.

Pack boronizing of C15 steel is carried out in Durborid 3 solid agent at 870, 920 and 970 °C, for 4, 6 and 8 h. According to selected parameters, 3² factorial design with 3 repeating of each case is defined, and 27 specimens with nominal dimensions Ø16×7 mm have been cut. After boronizing, all specimens were longitudinally cross-section cut and prepared for metallographic examinations (ground using up to 1000 grit emery paper, alumina polished and etched with 3 % nital). Metallographic examination revealed that borides formed on steel surface are compact and have pronounced saw-tooth morphology (fig. 1). Higher share of pearlite, apparent in diffusion zone, is result of increased content of carbon which is suppressed from the surface due to growth of boride layer. Average boride layers thicknesses are determined by metallographic line method and results are presented in table 1. Table 1 clearly shows that boride layer thickness increases with increasing boronizing duration and temperature. Although boride layer thickens increases with the increase of duration and temperature, growth rate slows down with the increase in duration, which corresponds to earlier studies [1, 4]. Since carbon does not dissolve in iron borides, it is suppressed under boride layer to create "carbon barrier" in diffusion zone, which slows down the growth of boride layer.

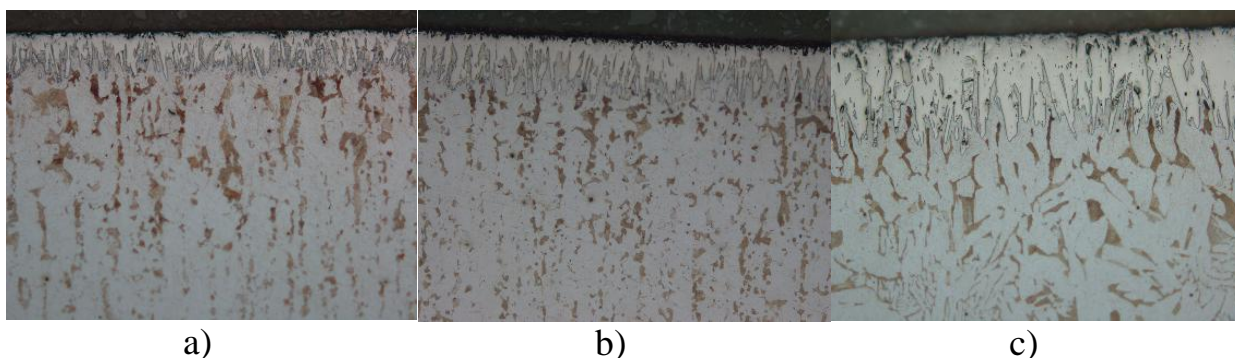


Fig. 1 Microstructure of boride layers, magnification 200:1

a) $\vartheta = 870 \text{ }^\circ\text{C}$, $t = 4 \text{ h}$, b) $\vartheta = 870 \text{ }^\circ\text{C}$, $t = 8 \text{ h}$, c) $\vartheta = 970 \text{ }^\circ\text{C}$, $t = 4 \text{ h}$

Table 1

Boride layer thickness, μm			
	$t = 4 \text{ h}$	$t = 6 \text{ h}$	$t = 8 \text{ h}$
870 °C	65,3	93,4	97,4
920 °C	111,9	148,2	152,3
970 °C	165,5	208,0	215,5

As previously stated, there is a parabolic dependence between diffusion layer thickness and diffusion duration (2). In other words, equation (2) shows linear dependence between square of diffusion layer thickness and diffusion duration, and constant of proportionality is growth rate constant. Taking the square root of (2) gives:

$$d = \sqrt{D} \cdot \sqrt{t} \tag{4}$$

Equation (4) shows that the thickness of diffusion layer linearly increases with square root of time.

Dependence between growth rate constant and diffusion temperature is described by an Arrhenius equation (2). Taking the natural logarithm of equation (2) it follows:

$$\ln D = \ln D_0 - \left(\frac{Q}{R}\right) \cdot \frac{1}{T} \tag{5}$$

Equation (5) reveals linear relationship between natural logarithm of growth rate constant and reciprocal diffusion temperature, where Q/R is the slope of straight line and $\ln D_0$ is intercept of straight line and ordinate axis.

Since boronizing is diffusion process, it should obey parabolic law (2), i.e. its modified version (4), as well as Arrhenius equation (1), i.e. its modified version (5). Fig. 2a) shows the change in boride layer thickness with respect to boronizing duration and Fig 2b) boride layer thickness as a function of square root of boronizing duration.

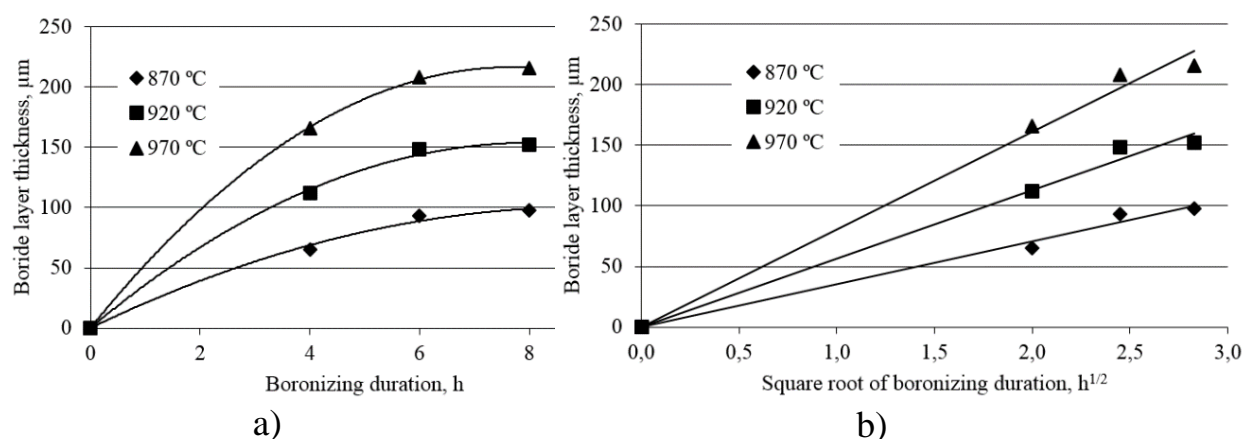


Fig. 2 Boride layer thickness as a function of: a) boronizing duration; b) square root of boronizing duration

The graphical representation in fig. 2, a confirms that diffusion rate decreases in time. It also shows parabolic dependence between boride layer thickness and boronizing duration. All mentioned is in accordance to (2). Plot in fig. 2, b confirm that thickness of diffusion layer linearly increases with square root of duration, which is in accordance to (4). Slope of each straight line in fig. 2, b represents square root of growth rate constant at given temperature. Estimated growth rate constants are given in table 2.

Table 2

Growth rate constants for boronizing of C15 steel

Temperature, °C	D , m ² /s
870	$3,455 \times 10^{-13}$
920	$8,874 \times 10^{-13}$
970	$1,802 \times 10^{-12}$

Dependence between natural logarithm of growth rate constant and reciprocal values of boronizing temperature is given in fig. 3.

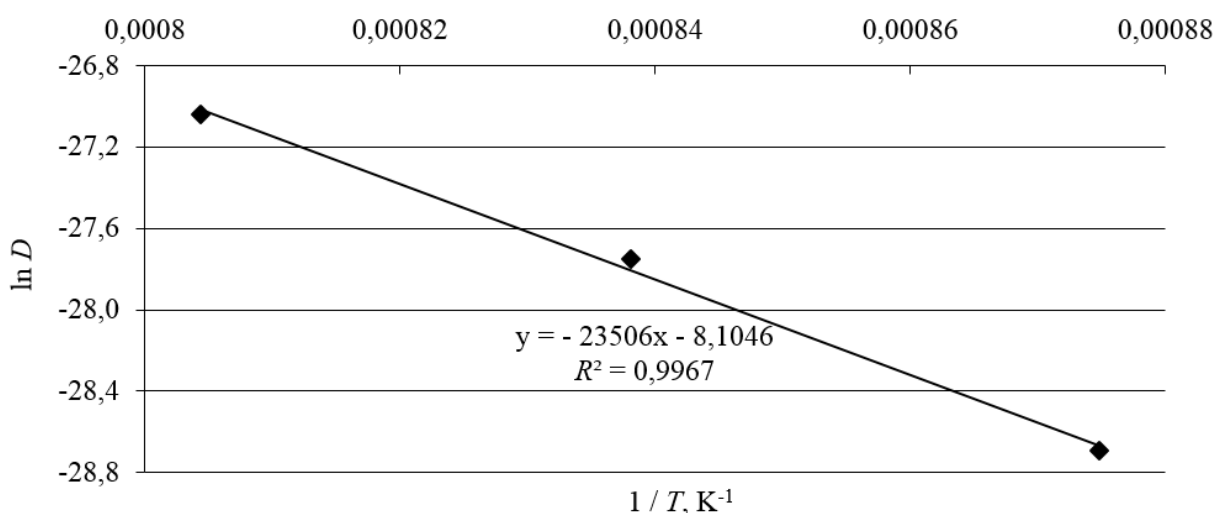


Fig. 3 Natural logarithm of growth rate constant as a function of reciprocal boronizing temperature

The plot in Fig. 3 reveal linear dependence between natural logarithm of growth rate constant and reciprocal value of boronizing temperature and confirm that boronizing follows Arrhenius equation (1), i.e. its modified version (5). Consequently, activation energy and frequency factor are estimated from the slope and y-intercept of the extrapolated straight line in Fig. 3. The frequency factor is $3,02 \times 10^{-4}$ m²/s and the activation energy is 195429 J/mol. If considering equation (3) and determined data, expression for boronizing of C15 steel in observed temperature range and duration is derived as follows:

$$d = \sqrt{3,02 \cdot 10^{-4} \cdot t \cdot e^{-\frac{195429}{RT}}} \tag{6}$$

CONCLUSION

Boride layers formed on C15 steel are compact and have pronounced saw-tooth morphology. The thickness of boride layer strongly depends on boronizing temperature and duration. Increase in boronizing temperature and/or duration increases boride layer thickness. The use of kinetic method based on Arrhenius equation has confirmed diffusion nature of boronizing. Frequency factor and activation energy values have been determined, and empirical expression for boronizing of C15 steel has been derived. This expression is convenient for technological and industrial application, and could be used for estimation of boride layer thickness in dependence on boronizing temperature and duration.

REFERENCES

1. Matijević B. *Evaluation of boride layer growth on carbon steel surfaces* / B. Matijević // *Metal Science and Heat Treatment* – 2014. – Vol. 56 – No. 5. – P. 269-273
2. Stewart K. *Boronizing protects metals against wear* / K. Stewart // *Advanced Materials & Processes* – 1997. – Vol. 151 – No. 3. – P. 23-25.
3. Krumes D. *Površinske toplinske obrade i inženjerstvo površina* / D. Krumes. *Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu* – 2004. – P. 103-114.
4. Yu L.G. *FeB/Fe₂B phase transformation during SPS pack-boriding: Boride layer growth kinetics* / L.G. Yu, X. J. Chen, K. A. Khor, G. Sundararajan // *Acta Materialia* – 2005. – Vol. 53 – No. 8. – P. 2361-2368
5. Genel K. *Boriding kinetics of H13 steel* / K. Genel // *Vacuum* – 2006. – Vol. 80 – No. 5. – P. 451–457.
6. Ipek M. *Investigation of boronizing kinetics of AISI 51100 steel* / M. Ipek, G. Celebi Efe, I. Ozbek, S. Zeytin, C. Bindal // *Journal of Materials Engineering and Performance* – 2012. – Vol. 21 – No. 5. – P. 733-738.

UDC 62-768

Kuliev R.V., scientific advisor Golovko Y.S., (Ukraine, Kyiv, National Aviation University)

CALCULATION AND OPTIMIZATION OF THERMO-MECHANICAL EXPLUSION DE-ICING SYSTEM FOR AIRCRAFT WITH A TAKE-OFF WEIGHT OF 40 TONS

This paper reviews selected technologies devoted to anti-icing and de-icing. Among the discussed solutions there are Thermal Ice Protection System and Thermo-Mechanical Expulsion Deicing System. Our purpose is to compared their specific features including power consumption and optimize prospective method of de-icing system for greater energy savings and increase protecting leading edge regions of airfoils that can tolerate low levels of ice accumulation during flight.

Icing conditions exist when the air contains droplets of super cooled liquid water; icing conditions are characterized quantitatively by the average droplet size, the liquid water content and the air temperature. Federal Aviation Regulations contain a definition of icing conditions that some aircraft are certified to fly into. The hazards associated with the existence of ice is reduction of lift and angle of attack, increase in drag, and adverse effects on other control surfaces. In this paper we have compared two type of anti-icing systems, the first one is Thermal Ice Protection Systems the second one is Thermo-Mechanical Expulsion Deicing System, and as a results we have identified the most optimal and energy-saving system.

A. Thermal Anti-Icing(TAI) system

Thermal systems used for the purpose of preventing the formation of ice or for deicing airfoil leading edges, usually use heated air ducted spanwise along the inside of the leading edge of the airfoil and distributed around its inner surface. These include bleeding hot air from the turbine compressor, engine exhaust heat exchangers, and ram air heated by a combustion heater.

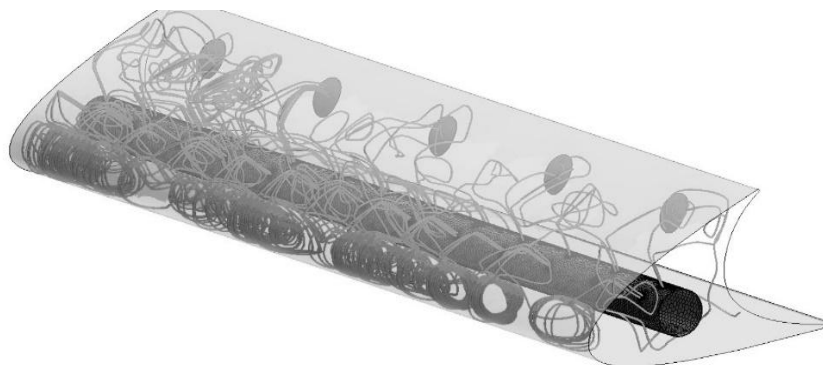


Fig. 1 Visualization of the heat air transfer on a wing leading edge

However, the design of fuel-efficient high-bypass engines limits the amount of bleed air available for full evaporative anti-icing. In this case we carried out hydraulic calculation to determine the air consumption (table 1)

Table 1

Hydraulic calculation of TAI system in wing

Part 133.1	Consumption	1636.325	P	2.350	P	2.246
d1(Н)= 0.0	di(Н)= 0.00	dl(Н)= 0.0	T(Н°C)= 230	T(Н°K)	503.1	
d1(К)= 0.0	di(К)= 0.00	dl(К)= 0.0	T(К°C)= 230	T(К°K)	503.1	
Diametr (m)	Length (m)	Indicator	Zeta	P(total)	Re	Velocity
0.0614	0.0000	0.0000	0	2.350000	3.50e+005	98.592
0.0615	0.0900	0.0000	0.0222	2.350000	3.50e+005	98.593
0.0616	0.0484	-9.0900	1.2	2.348232	3.50e+006	103.122
0.0617	0.1100	0.0000	0.0271	2.250198	3.50e+007	103.232
0.0618	0.0000	0.0000	0.0188	2.247928	3.50e+008	103.309

B. Thermo-Mechanical Expulsion Deicing System (TMEDS)

TMEDS (fig. 2) developed and calculated in particular for aircraft with a Take-off Weight of 40 tons by the strategic combination of electro-thermal and EMEDS deicing system. TMEDS operates with substantially less power than an evaporative anti-icing system (hot air or electro-thermal), and also operates at significantly lower power than an electro-thermal de-icing system.

This is because TMEDS eliminates the continuously operating parting strip along the entire span of a protected wing or tail. TMEDS also provides an improved level of surface cleanliness over that which is provided by conventional expulsive systems and also prevents the buildup of runback ice ridges, thereby allowing very long and unrestricted exposure to icing.

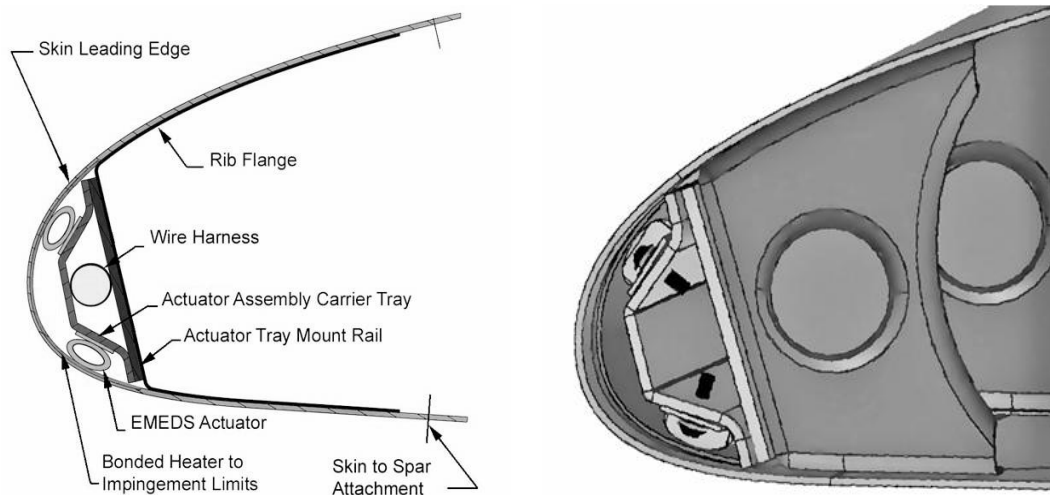


Fig. 2 3D Visualization of TMEDS configuration [2]

TMEDS calculated on for aircraft with a Take-off Weight of 40 tons and consists of 6 slats into the wing leading edge and each slat consist of 9 zones (1 zone = 15 inch), each zone consists of two Electro Magnetic Expulsion Actuators (fig. 3) which work consistently. For each coil, the actuation force, F, is approximately given by (1) [1]:

$$F = \frac{c_1 LN^2 I^2}{b} \left[\tan^{-1} \frac{b}{d_m} - \frac{d_m}{2b} \ln \frac{d_m^2 + b^2}{d_m^2} \right], \quad (1)$$

- F – the actuation force;
- L – the length of the coil;
- b – the width of the conductive strip;
- d_m – the mean separation between the winding bundles;
- I – the current in the coil;
- N – the number of turns in the coil.

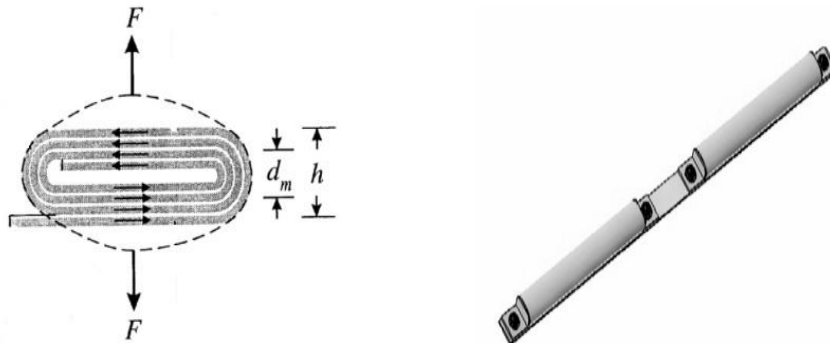


Fig. 3 3D Visualization of Electro Magnetic Expulsion Actuator and cross sectional view [1, 2]

Require a pre-energy load that is used to heat the wing surface to the specified temperature. With a suggested heater power density of about $54 \frac{kW}{m^2}$, the total power load for TMEDS should be as high as (2) [2]:

$$Q_{TMEDS} = \frac{q}{s_0} \cdot S_{zone} \cdot n_{zone} + Q_{EMEDS} = \left(54 \frac{kW}{m^2} \cdot 0.075m^2 \cdot 4 \right) + 1kW = 17,2kW \quad (2)$$

CONCLUSION

Having conducted a comparative research of few type of anti-icing systems: Thermal Anti-Icing system and Thermo-Mechanical Expulsion Deicing System. Consequently, evaporative ice protection systems using bleed air is very expensive, used a lot of energy. As well as, the design of fuel-efficient high-bypass engines limits the amount of bleed air available for full evaporative anti-icing. On basis of the investigation the effective and more effective energy-savings method of deicing process is TMEDS.

REFERENCES

1. Joseph J, Gerardi, Richard B. Ingram, U.S. Patent 6,102,333, “Electro Magnetic Expulsion De-icing system” Aug. 15, Ithaca N.Y. 2000
2. Al-Khalil, Kamel: “Thermo-Mechanical Expulsion Deicing Systems – TMEDS”. In: 45th AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit 8 - 11 January, Reno, Nevada: 2007.
3. K. Odet, Albert C.: *Electro-Impulse Deicing*, Hercules Aerospace Company, Simmonds Precision, Engine Systems Division. IEEE: 1988 (88TH0220-4)
4. Al-Khalil; K.M., and Ferguson; T.F., U.S. Patent 6,196,500, “Hybrid ice protection system for use on roughness-sensitive airfoils,” filed June 11, 1999.

UDC 621.774.001

Milutin Živković (Serbia, Trstenik, High Technical Mechanical School for Professional Studies)

CONSTRUCTION AND PRODUCTION SPECIFICS OF CHAINS WITH RINGS AND MECHATRONICS SYSTEM CONTRIBUTION IN THE IMPROVEMENT OF THE SAME

Significant use of chains with rings, of varying quality, we find both in modern mining machinery and in devices and machinery of general purpose. The place of their application determines the usable qualities, in the true sense of these words. It, in particular, refers to the choice of materials, methods of making and methods of bringing it to a more accurate geometry of rings. This implies their calibration and thermal treatment after that. The paper analyzes the influencing parameters on the quality of special importance to the method of calibration, as well as the recommendations, taken from the literature, the allowable tolerances measures of rings and, therefore, the finished chain. Using the mechatronic devices "MECHATRONICS TF-1000/10, developed at the TF of Čačak, will be presented the possibilities of calibration of the chains and verification of exactly the same quality treatment chains of the Serbian chain producers Proleter from Arilja.

With respect to the place of application, rings with chains of circular cross section, can be classified on the uncalibrated and calibrated. This paper will analyze the problems in the development and operation of the chains, which are used, with the responsible devices and various technical systems i.e. on the calibrated chains. The special emphasis refers to the calibration process and opportunities provided by developed devices at the Technical Faculty in Čačak. It provides: calibration, static and dynamic testing of various devices and components, control and traceability of functional device parameters (force, speed, frequency). All this is allowed by built-in measuring and control equipment, all in the service of documenting and verifying the quality of the production of various samples. Researches on the subject of elasticity of metal were processed in the papers [5-13].

Chains with rings are an important subsystem of modern construction and general purpose devices. They use various kinds, types and structural forms of different quality of workmanship, which is shown by their rough division:

– chains of general purpose (uncalibrated chains): made with simple technologies and greater tolerances, without special tests and application of a less responsible place of installation;

– calibrated chains for special application conditions: are made of complex technology and require both calibration and thermal processing. Dimensions of rings must be made in a narrow tolerance fields and high resistance to wear and the core must be toughened. Therefore, the production of calibrated chains require special growing technology, as well as taking care of other no less important parameters: the choice of materials and the quality control at all stages of development, the formation of a chain link of rings and its knitting, welding of rings and fraying edge of welding, calibration of chain, thermal processing of chain, control and testing.

The links of the ring chains are loaded with complex stress, so that the rings are stressed:

- on the flat part: to the stretching and bending;
- on the curve to: bending, shearing and contact stress;
- on the welding site to: stretching and bending (specially on the inside);
- on the flat part: to contact stress (due bumped into the sprocket, etc).

For these reasons, calibrated chains must be made of materials that must meet high structural requirements of tensile strength, shear and contact stress (at the site of contact of rings and sprockets), as well as increased requirements for dynamic durability and resistance of fractures shock loads. Therefore, surface of ring chains must be of increased hardness, fit of rings as correctly as possible and as much as possible contact surface, correct geometry but toughened core.

Calibration (tensile) force must be precisely defined so that it does not cause lasting (excessive) deformations and is performed before the final heat treatment in annealed state of the chain. It is achieved by increasing the contact area and mechanical structural reinforcement material of the ring production. In addition to calibration, in making high-strength chains, account must be taken on:

- *Choice of materials* for production of rings: include high-alloyed steels for hardening or cementing and starting materials are calibrated rods or wires;

- *Bending of ring chains*: it can be achieved in hot and cold state all depending on the diameter of the starting material and mechanical characteristics. It is customary to bend the materials to cool up to a diameter of $\phi 26$ and over this point in the hot state [1-3];

- *Welding of the ring chains*: is used the pressure for creation of the joining forces;

- *Electro-resistant butt welding*: in the contact zone it leads to increased inflow current resistance, leading to a warming and both bonding and welding is accomplished by axial compressive force. Modern machines for welding of the ring chains, for the diameter of the blank ($\phi 5$ to $\phi 20$) mm, operate on the principle of electro-resistant welding pressure [2, 3];

- *Electro-arched welding*: is the procedure used for individual treatment, as well as methods of repairs of the ring chains. Gas welding treatment of rings is used in the chains of the material of the less responsible structures. For the production of chains with rings including the preparation diameter $< \phi 26$ is applied the technique of electro-arched welding sparks.

Calibration of chains is essential technology component and a guarantee of the accuracy of its dimensions as a prerequisite for reliable and lasting operation of a chain in exploitation conditions. Calibration method involves bringing the geometric dimension (length and width of ring chains), as well as total linear dimensions sets of chains on a specific measure. Calibrated are by 5, 7, 9 and in chains up to 1 m is calibrated with the calibration force the whole chain. The principles of calibration are shown in fig. 1, and is characterized by the following methodology [3, 4]:

- set of the chain is tightened by the appropriate force (F_{kal}), with which is the same suffers elastic-plastic deforming which is manifested by increase of its total weight;

– upon relief and stoppage of the force effect is achieved the desired rates of the chain set.

Referring to fig. 1 can be seen that there is a lot of wastage of chain segment length, although their rates are within the limits of tolerance. A wide tolerance zone of sets chains (rings) during operation is resulting in uneven operation of conveyer, resulting in reduced service life. All this gives the character itself to calibration process, both in terms of reducing the deviation of the geometric shape (less wastage of the basic rings dimensions) and increase of wear resistance. The first problem is solved by constant improvement of production technology, in which certainly calibration has an important place, and the second problem is solved by the choice of materials and heat treatment [3-5].

The structure of the prepared material of rings should ensure that the rings be uniformly shaped (deformed plastically) at stretching. It's performed before the heat treatment in annealed state. Calibration force F_{kal} must cause permanent plastic deformations and must be significantly less than the tear force (F_{kid}), the term (1) [2]:

$$F_{kal} < F_{kid} \tag{1}$$

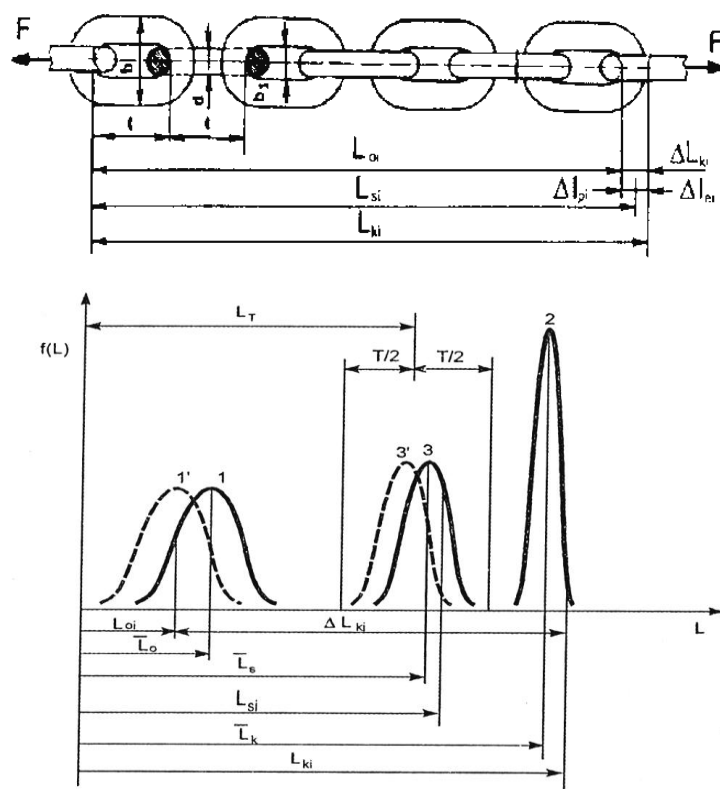


Fig. 1 Graphic view of "scattering" of the length dimensions at calibration chain rings or set chains

- 1 (1') – state under workload prior (without workload after calibration);
- 2 – state under calibration load ($F_{kal} < F_{kid}$);
- (3') – state under load (without load) after calibration.

Calibration force causes an increase in chain length L_{ki} , whose initial rate is L_{oi} , for the value of elastic-plastic deformation ΔL_{ki} , an expression (2):

$$L_{ki} = L_{oi} + \Delta L_{ki} \tag{2}$$

Then the chain (or chain segment) is unloaded up to the workload while the same due to elastic deformation, now has a real measure L_{si} , an expression (3):

$$L_{si} = L_{oi} + \Delta L_{ki} - \Delta l_{ei} \tag{3}$$

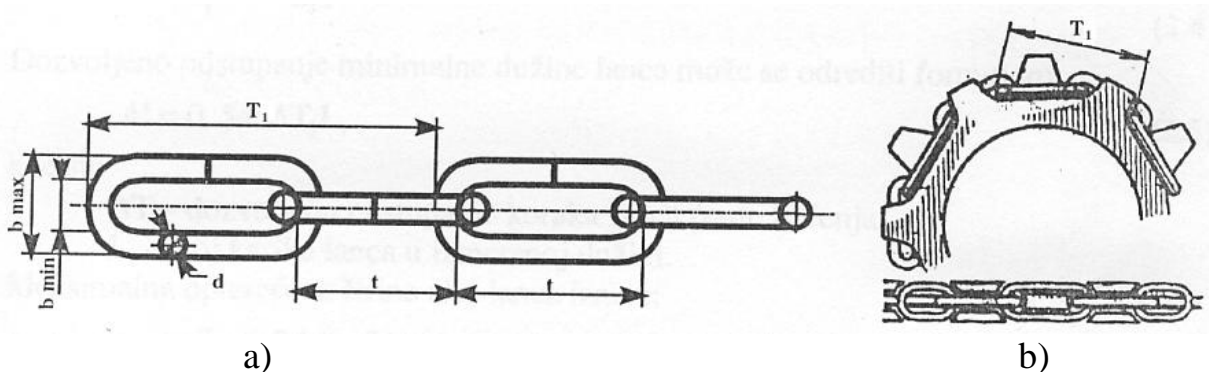
Project requirement is that the actual length of the chain to be within the tolerance field (L_T), ie. L_s (after calibration) to be within the medium length tolerances of the length (L_T), an expression (4):

$$L_s \Rightarrow L_T \tag{4}$$

Thermal treatment: Chains of general purpose after welding are annealed or hardened and the chains of a larger capacity are improving, hardening, and in most cases released. High resistant calibrated chains are cemented, providing surface hardness (up to 750HV) and a depth of up to 2 mm. This provides high wear resistance and the core is characterized by clear toughness and hardness (about 450 HV) [4].

Control and testing of chains: They include, in addition to conventional, automated acceptance testing where the chains are labeled in the proper manner. All this is accompanied by an appropriate protocol on testing as document quality (material preparation, method and test method, used equipment).

Rings have a step (t), the diameter (d), the width (b), as can be seen from fig. 2. In the fig. 2, a and fig. 2, b are shown an appearance of coupled chain and sprockets. Faults in the making and the deviation rates are given in fig. 2, as well as wearing of the chain and sprocket leading to shock ring chains on sprocket teeth which causes additional dynamic forces and reduces the lifetime of the chain, as well as their durability. Its damage and breakdowns status are due to intense wear and tear, as well as due to incorrect geometry of the characteristic parameters (t , d , b).



a) characteristic dimensions of rings; b) appearance of chain in coupling with sprocket

Fig. 2 Typical geometric characteristics of the chain

After coupling with teeth of the sprocket, the chain must meet the longitudinal internal measure T_1 , whose dimensions can be seen in fig. 2, b. Very important is the control and calculating parameter ($T_1=2 \cdot t$). Experience from service shows that the mechanical destruction of the chain, despite the impact of the working environment, results as a consequence of internal differences of linear dimensions (of the horizontal ring step t_1 and vertical t_2), as well as of calibrated preparation of two adjacent rings (horizontal d_1 and vertical d_2) [1]. Based on this we can determine the actual rate of the coupled step (T_1), the expression (5) [1, 2]:

$$T_1 = t_1 + t_2 + d_1 + d_2 \quad (5)$$

When tightening, total length deviation can be determined by the expression (6), [1, 2]:

$$\Delta T_1 = \mp 1,484 \cdot \sqrt{\delta_t^2 + \delta_d^2}, \quad (6)$$

where: δ_t – is allowed deviation of the step chain;

δ_d – is allowed deviation of the calibrated diameter of chain.

By measuring the basic parameters of the chain rings (t or d) can be determined an error or another parameter, ie. They can be determined by using the expression (7) and (8), [1, 2]:

$$\Delta t = \sqrt{\frac{\Delta T^2 - 2,2 \cdot \Delta d^2}{2,2}} \quad (7)$$

$$\Delta d = \sqrt{\frac{\Delta T^2 - 2,2 \cdot \Delta t^2}{2,2}} \quad (8)$$

Minimum deviation of the chain length can be determined by using the expression (9), [1, 2]:

$$\Delta L = 0,545 \cdot \Delta T_1 \cdot n_t, \quad (9)$$

where: ΔT_1 – allowed deviation of the step chain after coupling;

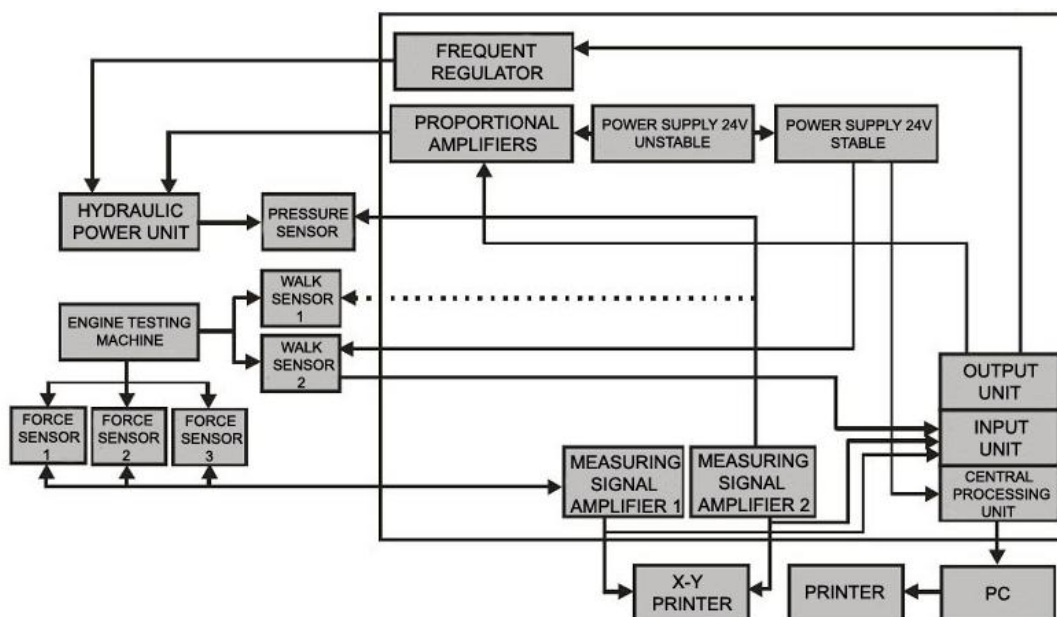
n_t – the number of chain links in the metered length.

It is made in the form of spatial frame of dimensions $1,4 \times 1,2 \times 30$ m, with the possibility of fixing the stationary part of the traverse, fig. 3 [5]. The movable part of the device (trolley) with rotary rolls (wheels of SL150) is movable parallel lead on the cast carrier U20. The supporting part of the structure is founded on profiles U14 every 2.5 m in length and further stiffened. Testing parts with reception devices are fixed to movable and immovable part of the device, and tensile force is depending on the length of the test by means of two hydraulic cylinders. The maximum tensile force of 1000 kN can be achieved at a distance of 5 m, 500 kN at a distance of 8 m and 300 kN at a range of 22 m [5].

As an example of using the program mechatronic devices is the calibration chain of MI „Proleter“ - Arilje. Same by dimensions and other technical characteristics meets a Serbian standard test procedure and the system step by step provides the calibration protocol. To record the rates of etalon is used encoder force of 100 kN, the appearance and location of the installation shows fig. 3 [5]. Based on the recorded initial linear dimensions, in accordance with the expression (2) the program provides that "overtaking" is implemented in accordance of expression (3). Obtaining time dependence of force, idle, as well as their comparative values are given in the form of diagrams and statistic transparent protocol.



a)



b)

Fig. 3 Appearance (a) and steering system (b) of calibrator testing machine MECHATRONIC TF 1000/10

CONCLUSION

Recommendations for the manufacturing and control of ring chains parameters points out to the complexity of manufacture. Literature and eksplotacioni indicators show that calibration has the most significant impact on the quality of calibrated chains [1-3]. Development of the device was implemented and supported by the Ministry of the Republic within the framework of the project "Development of methodology and equipment for mechanical testing of elements and complex structures with the aim of determining the quality of products in mechanical and electrical complexity". Experience in its implementation has shown justification of investments. This was confirmed by all the tests carried out so far (MMC-Kolubara, Electric Power Industry of Serbia and Montenegro, etc.).

REFERENCES

1. Gotovcev A, i dr: *Proektovanie cevnih peradač, Moskva, Mašinstrojenje, 1973.*
2. Odincov L.: *Uprošnenie i odelka detalej, Moskva, Mašinstrojenje, 1987.*
3. **RUD-ova komercijalno-konstruktivna dokumentacija (Internet), 2015.
4. **Standard JUS C.H4.200.
5. Golubović D., Živković M.: *Kidalica kalibrator mehatronik TF 1000/10 (elaborat dogradnje), Tehnički fakultet - Čačak, 2003, (str. 28).*
6. He, B., Sun, Y., Li, G., Zhao, M. *Mechanical properties and strength analysis of the ring chains for mining equipment (2012) Yingyong Jichu yu Gongcheng Kexue Xuebao/Journal of Basic Science and Engineering, 20 (5), pp. 828-836.*
7. Leutin, A.P. *Modeling the motion of connected bodies (2012) Mechanics of Solids, 47 (1), pp. 19-33.*
8. Rosenberg, Z. *On the elastic strain coefficients of the resistance of metals (1988) Materials Science and Engineering, 100 (C), pp. L9-L10.*
9. Wong, T.E., Johnson, G.C. *On the effects of elastic nonlinearity in metals (1988) Journal of Engineering Materials and Technology, Transactions of the ASME, 110 (4), pp. 332-337.*
10. Zhou, A.-G., Zhang, J.-X. *Study on nonlinear elastic deformation behavior of magnesium, titanium and cobalt metals (2010) Cailiao Rechuli Xuebao/Transactions of Materials and Heat Treatment, 31 (8), pp. 50-53.*
11. Kim, K.T., Suh, J. *Elastic-plastic strain hardening response of porous metals (1989) International Journal of Engineering Science, 27 (7), pp. 767-778.*
12. Haddow, J.B., Faulkner, G.M. *Strain energy function of a metal subjected to finite elastic volume change. (1973) Applied Scientific Research (The Hague), 27 (4), pp. 265-273.*
13. Pekárek, V. *Thermo-mechanical anomaly developed in metals under elastic stress (2005) Acta Technica CSAV (Ceskoslovensk Akademie Ved), 50 (2), pp. 177-194.*
14. Yi, H.K., Kim, D.W., Van Tyne, C.J., Moon, Y.H. *Analytical prediction of springback based on residual differential strain during sheet metal bending (2008) Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science, 222 (2), pp. 117-129.*

UDC 621.774.001

Milutin Živković (Serbia, Trstenik, High Technical Mechanical School for Professional Studies)

CONTACT STRESSES IN ELASTIC AREA AND THEIR IMPACT ON THE CALIBRATION OF CHAINS WITH RINGS

This paper presents, in literature, well known expressions for the determination of contact stresses and deformation at the point of contact of two elastic balls. The contact stress has been analyzed in the calibration rings process of mining chain (19x120) mm in the area of elasticity. The problem is solved numerically using the finite element method (FEM) taking into account the effects of friction, and the obtained results are shown graphically and as an attachment, of this analysis, there has been shown the appearance of mechatronic devices.

Contact problems and methods of solving them earlier were based on approximate dependencies and are predominantly used the results obtained by experimental tests. But, due to the change of boundary conditions (with an increase of compression force) contact problems basically are nonlinear. Specifically, when two bodies are in contact the touch is on point or line, in the absence of the force of mutual pressure. However, in the effect of the force, due to elastic deformations occur touching (contact) surfaces, on which act stresses that we call the contact. These stresses are of a local nature and stresses fall rapidly with distance from the center of the contact surfaces, which can be seen from the results of research by many authors, [1,2]. As far back as 1881, Hertz gave the analytical solution of such a contact problem taking into account the mutual pressure of two elastic bodies [2].

The development of numerical methods, based on (FEM), considerable progress also was made in the numerical simulation of such problems. Still, the complexity of the configuration structure, as well as inclusion in the analysis of material nonlinearity often represents a problem in the analysis of stress state with the FEM method. All this is due to the complexity of the mathematical description of the boundary conditions at the point of contact of two bodies during loading. The author of this paper will analyze changes of stress at the point of contact, in professional practice, for transmission of power and motion of frequently used mechanical elements - chain with rings. Researches on the subject of elasticity of metal were processed in the papers [5-13].

The studies were conducted by analyzing stresses in the elastic area of mining ring chains (19x120) with its "calibration" [3, 4]. Assuming that the dimensions of the contact areas are small compared to the radius of curvature of the contact surfaces, the pressure force acts in the direction of the normal to the contact surface and as if on the surface of contact takes place only normal stresses. There will be presented the results in 3D parametric model in the program of Pro ENGIENEER previously being discreted the model [3, 4].

Problems of contact in most cases can be reduced to elementary cases and their analytical expressions can be found in the relevant technical literature [1-3]. By analyzing the contact model of mining ring chains we'll present analyti-

cal expressions for the dimensions of the contact surfaces (a) and a maximum contact stress (p_0) in case the pressure of two elastic balls [2].

Two elastic balls of radius R_1 and R_2 (Fig. 1.) of a different material, elastic modulus E_1 and E_2 , Poisson's coefficients μ_1 and μ_2 , are touching at a point O and have a common tangential plane ($z = 0$). When both balls along the O_z axis are thrust by force F , the surroundings of contact points O is deformed by spreading with increasing force. As the deformation is symmetrical about O_z axis and the projection of the contact surface is a small circle of radius (a). The maximum contact stresses occurs in the center area, and is calculated using the following expression (1) [2]:

$$a = 0,721 \cdot \sqrt[3]{\frac{F \cdot \left(\frac{1}{E_1} + k_2 \right) \cdot d_1 \cdot d_2}{d_1 + d_2}}, \quad p_0 = 0,918 \cdot \sqrt[3]{\frac{F}{\left(\frac{1}{E_1} + k_2 \right) \cdot \left(\frac{d_1 + d_2}{d_1 \cdot d_2} \right)^2}}, \quad (1)$$

where: $k_i = \frac{1 - \mu_i^2}{E_i}; i = 1, 2.$

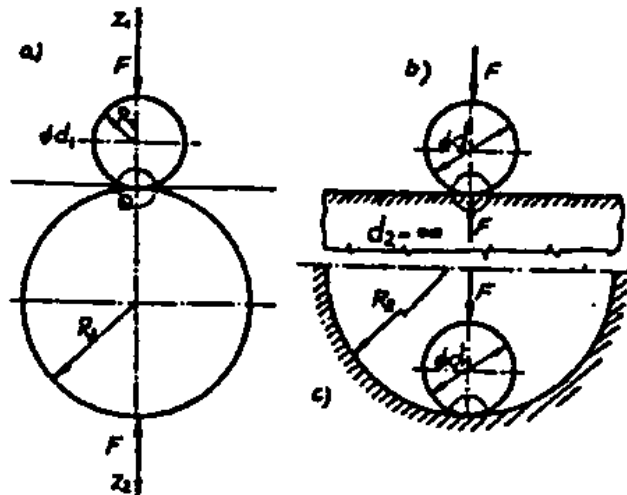


Fig. 1 Mutual pressure of two elastic balls.

In case of elastic balls pressure on elastic semi-plane (fig. 1, b) is applied the term (2) [2]:

$$a = 0,721 \cdot \sqrt[3]{F \cdot d \cdot \left(\frac{1}{E_1} + k_2 \right)}, \quad p_0 = 0,918 \cdot \sqrt[3]{\frac{F}{d_2 \cdot \left(\frac{1}{E_1} + k_2 \right)}} \quad (2)$$

Hertz's results of pressure in a spherical bearing (fig. 1, c) can be calculated using, in literature, the well-known term (3), [2]:

$$a = 0,721 \cdot \sqrt[3]{\frac{F \cdot \left(\frac{1}{E_1} + k_2 \right) \cdot d_1 \cdot d_2}{d_2 - d_1}}, \quad p_0 = 0,918 \cdot \sqrt[3]{\frac{F}{\left(\frac{1}{E_1} + k_2 \right) \cdot \left(\frac{d_2 - d_1}{d_1 \cdot d_2} \right)^2}} \quad (3)$$

Calibration is performed by stretching the chain by force of certain intensity, resulting in permanent plastic deformation, so the chain length increases, as

well as the contact surface between the ankles of the chain [3]. Based on the given drawings with indicated dimensions is created 3D parametric geometric model of the chain links (fig. 2), in the Pro-ENGINEER program. With a change of few parameters, this model can be used to represent chains of all possible dimensions.

Abstraction of model has already been made at this stage but due to the existence of geometry and loading symmetry (via two cross-sectional plane), which passing through the axis of the chain, as well as cyclic symmetry along the length of the chain, the model is reduced to the segment (fig. 3).

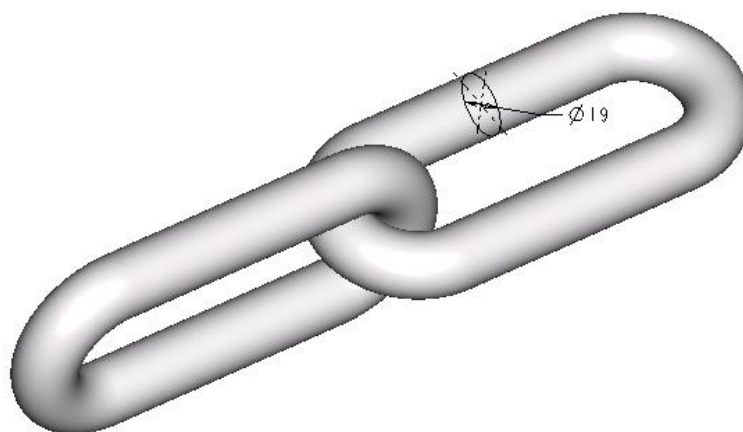


Fig. 2 The set of two ankles of chain created in Pro-ENGINEER program

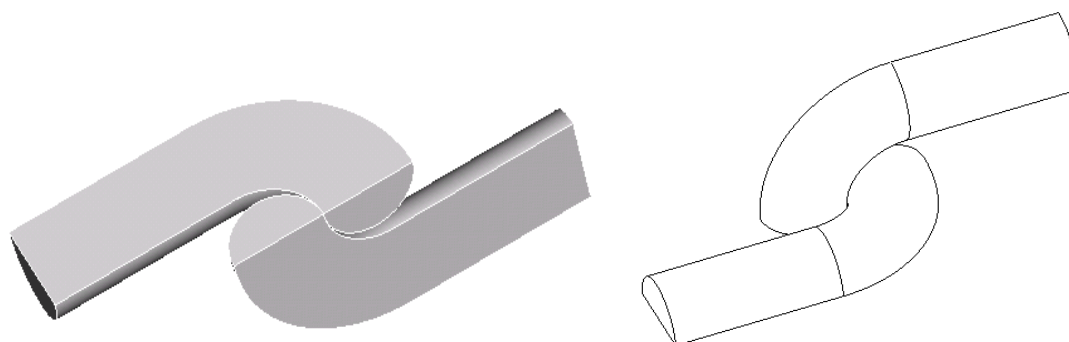


Fig. 3 The final reduced chain model, which takes into account all existing types of geometry and loads symmetry

For the purpose of rapid analysis of pure elastic model, the discretization of model was done in the Pro/ENGINEER program (fig. 4 to 7). The model is divided into two zones in the zone, where one of these zones, intended for the development of a finer mesh, is located below the expected area of contact between the links. The rest of the model is aimed at making coarse mesh. There were used the elements of tetrahedron shape with linear interpolation functions, which meet the needs of such defined analysis. These elements, otherwise, are not recommended for analysis involving plasticity [3, 4].

As noted above, in order to compare results with theoretical models, first was performed stress chain analysis, whereby the rings were joint by purely elastic material, the modulus of elasticity $E = 200000 \text{ N/mm}^2$ and Poisson's coefficient of $\nu = 0.3$. The schedule of equivalent stresses in the elastic area, as well as their schedules around the place of contact are illustrated by (fig. 6 and 7) [4].

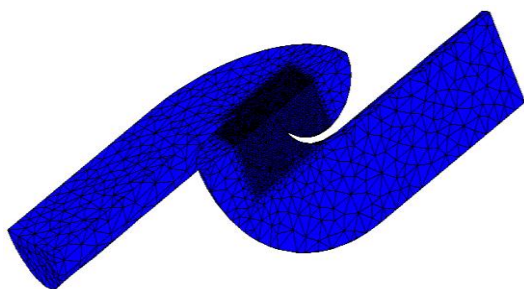


Fig. 4 Discretization of chain (FEM) elastic area

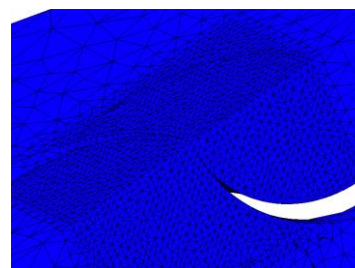


Fig. 5 Fine mesh zone, below the surface in contact

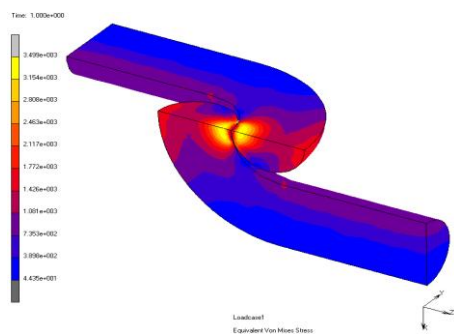


Fig. 6 The schedule of equivalent stresses being analyzed in the field of elasticity

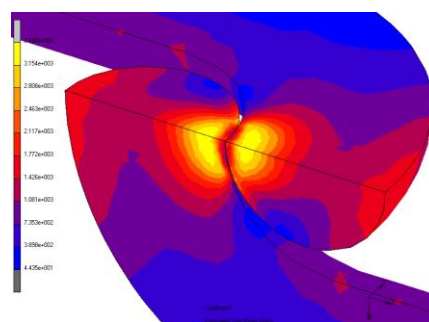


Fig. 7 The schedule of equivalent stresses around the contact zones

For the purposes of the Morava district economy, and more, at the TF of Čačak was developed, due to of applied experimental studies, mechatronics system for program stresses of various metal structures MECHATRONIC TF-1000/10 [4]. It is intended for static and dynamic stresses, strengthening of metal structures, their calibration, as well as experimental verification of the above mentioned theory. For its physical realization is used the optimally designed support structure, modern electronic-computer with modern software support, as shown in fig. 8 [4]. The basic hypothesis from which it proceeds is that for achieving the functional links of displacement (deformation) and force (stress) is possible their software control and management thanks to the feedback according to state [4].

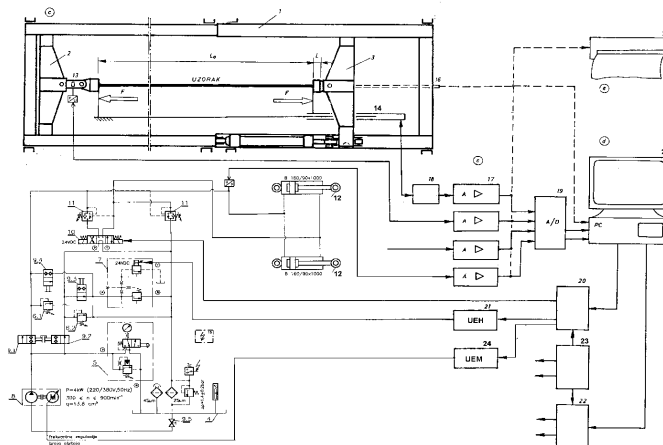


Fig. 8 The functional scheme of the device for programming the stress of metal structures

CONCLUSION

In defining the boundary conditions of contact stresses analytical analysis should take into account the nature of contact of two bodies and their characteristics (materials, processing, etc.) while using the FEM these problems are generalized. Distribution of von Mises equivalent stress gives a picture of the stress that occurs due to contact of two elastic bodies where it is clear that they are the largest in the contact center. The developed device is a true example of mechatronics systems.

REFERENCES

1. Stefanović S., Grujović N., Đorđević Z.: *Analiza kontaktnih naprezanja elastičnih tela*, NSS IRMES-98', MF-Beograd, 10. ÷ 11. X 1998. (str. 169-174).
2. Rašković D.: *Teorija elastičnosti*, Naučna knjiga, Beograd 1985.
3. Trajanović M., Kurunović N.: *Proračun naponsko-deformacionog stanja pri kalibraciji rudarskog lanca primenom MKE MF-Niš*, XII 2002. (izveštaj) (str. 35).
4. Živković M. : *Mehatronički sistemi za programsko naprezanje metalnih struktura*. Doktorska disertacija, TF-Čačak, 2006. (str. 140).
5. He, B., Sun, Y., Li, G., Zhao, M. (2012). *Mechanical properties and strength analysis of the ring chains for mining equipment*. *Yingyong Jichu yu Gongcheng Kexue Xuebao/Journal of Basic Science and Engineering*, 20 (5), pp. 828-836.
6. Leutin, A.P. (2012). *Modeling the motion of connected bodies*. *Mechanics of Solids*, 47 (1), pp. 19-33.
7. Rosenberg, Z. (1988). *On the elastic strain coefficients of the resistance of metals*. *Materials Science and Engineering*, 100 (C), pp. L9-L10.
8. Wong, T.E., Johnson, G.C. (1988). *On the effects of elastic nonlinearity in metals*. *Journal of Engineering Materials and Technology, Transactions of the ASME*, 110 (4), pp. 332-337.
9. Zhou, A.-G., Zhang, J.-X. (2010). *Study on nonlinear elastic deformation behavior of magnesium, titanium and cobalt metals*. *Cailiao Rechuli Xuebao/Transactions of Materials and Heat Treatment*, 31 (8), pp. 50-53.
10. Kim, K.T., Suh, J. (1989). *Elastic-plastic strain hardening response of porous metals*. *International Journal of Engineering Science*, 27 (7), pp. 767-778.
11. Haddow, J.B., Faulkner, G.M. (1973). *Strain energy function of a metal subjected to finite elastic volume change*. *Applied Scientific Research (The Hague)*, 27 (4), pp. 265-273.
12. Pekárek, V. (2005). *Thermo-mechanical anomaly developed in metals under elastic stress*. *Acta Technica CSAV (Ceskoslovensk Akademie Ved)*, 50 (2), pp. 177-194.
13. Yi, H.K., Kim, D.W., Van Tyne, C.J., Moon, Y.H. (2008). *Analytical prediction of springback based on residual differential strain during sheet metal bending*. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, 222 (2), pp. 117-129.

УДК 621.9.06.001.4

Банде Т.М., Карташова М.В., науч. рук. Ларшин В.П. (Украина, г. Одесса, ОНПУ)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВИБРАЦИОННОГО И ЗВУКОВОГО ДАТЧИКОВ В СИСТЕМЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ

Даётся описание характеристик и возможностей современных датчиков виброускорения и акустического сигнала, которые могут быть использованы в компьютерной системе технологической диагностики процессов резания и шлифования.

Многочисленные исследования отечественных и зарубежных ученых показывают, что при изучении колебаний в упругой системе металлорежущих станков большое значение на качество получаемой информации оказывает способ измерения виброхарактеристик процесса резания и источник информации о виброколебаниях [1]. Модульная технология изготовления пьезоэлектрических вибродатчиков (рис. 1, а) и звуковых электретных датчиков (рис. 1, б) позволила существенно уменьшить их габаритные размеры с одновременным расширением их динамического диапазона измерений [2].

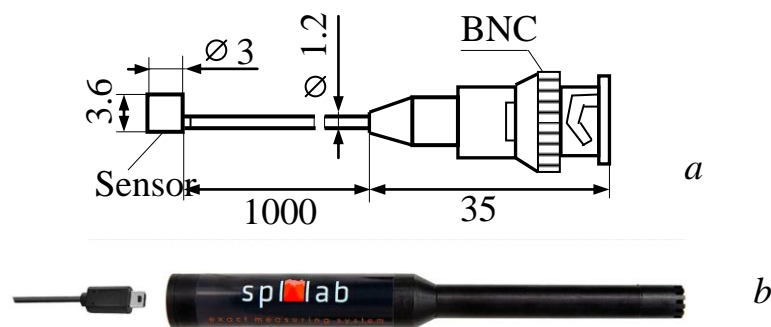


Рис. 1 Внешний вид датчика виброускорения AP 2019 и звукового датчика SPL Lab USB RTA meter

Нашими исследованиями выявлена определенная аналогия динамических характеристик упругой системы металлорежущих станков при измерении этих характеристик датчиками виброускорения (типа AP2019) и звуковым датчиком типа измерительного микрофона с расширенным диапазоном измеряемых частот до 22 кГц. Преимуществом звукового датчика является возможность его удаления от зоны резания при сохранении направленности на эту зону. Теоретический анализ показал, что физический параметр на выходе звукового датчика имеет размерность поверхностной плотности энергетического потока, переносимого звуковой волной, т.е. звуковой сигнал от микрофона может быть выражен количественно определенной величиной с размерностью $Вт/м^2$. Такая же размерность имеет место при измерении плотности теплового потока в технологической теп-

лофизике, что характеризует определенную её преемственность с технологической динамикой.

В качестве примера на рис. 2 показаны результаты измерения спектральной характеристики сверления первого (кривая 1) и пятого (кривая 2) отверстий. Эксперименты были выполнены на станке мод. 500 V/5 (обрабатывающий центр) при следующих условиях: глубина сверления 16 мм, осевая подача 30 мм/мин, частота вращения сверла 500 мин⁻¹. Призматическая заготовка из нержавеющей стали 14X17H2, сверло из стали P18.

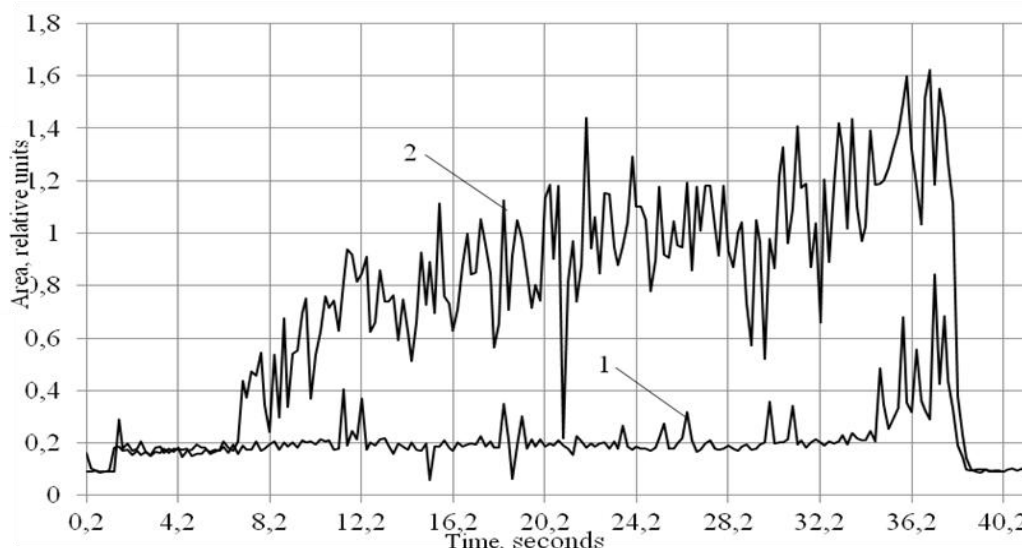


Рис. 2 Информационный сигнал от измерительного микрофона однонаправленного действия (SPL Lab USB RTA meter) при сверлении отверстий диаметром 2,85 мм

Аналогичные зависимости получены при использовании вибропреобразователей AP 2019, установленные по осям x , y и z указанного станка. Это подтверждает энергетическую природу измеряемой физической величины, однако требует проведения соответствующего теоретического анализа. Такая работа проводится на кафедре технологии машиностроения Одесского национального политехнического института совместно с другими отечественными и зарубежными вузами и предприятиями, например, с ООО «Станкоцентр», производящим системы ЧПУ типа «Flex NC».

ЛИТЕРАТУРА

1. Васин С.А. Прогнозирование виброустойчивости инструмента при точении и фрезеровании. Серия «Библиотека инструментальщика» / С.А. Васин. – М.: Машиностроение, 2006. – 384 с.
2. Bruce Lent. Simple Steps to Selecting the Right Accelerometer [Электронный ресурс] / Режим доступа: www.sensorsmag.com/sensors/acceleration-vibration/simple-steps-selecting-right-accelerometer-1557 (англ.). – 12.10.2014.

УДК 621.941-229.3

Бица Р.О., наук. кер. Луців І.В., Волошин В.Н. (Україна, м. Тернопіль, Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя)

ЗАСТОСУВАННЯ CAD/CAE СИСТЕМ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ АДАПТИВНИХ ЗАТИСКНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ТОКАРНИХ ПАТРОНІВ

У статті приведено розроблені на базі стандартних затискних елементів 3D-моделі адаптивних ЗЕ із навмисно введеними в їх конструкцію зонами деформації. З використанням CAD/CAE-системи проведена оцінка умов затиску в зоні контакту між адаптивними затискними елементами та поверхнею затиску. Проаналізовано напружений стан зони адаптації затискних елементів.

Одним із основних вузлів токарного верстата, який суттєво впливає на точність і продуктивність обробки заготовок, а також визначає режими різання, точність встановлення заготовки є затискний механізм (ЗМ). На даний час забезпечення тільки необхідної сили затиску і міцності ЗМ не є достатньою умовою внаслідок підвищення вимог до точності, жорсткості, швидкодії, швидкохідності, гнучкості, багатофункціональності та довговічності. Одним із напрямків підвищення гнучкості токарних патронів є створення затискних елементів (ЗЕ) з адаптацією до поверхні затиску, що дозволить затискати заготовки в певному діапазоні діаметрів меншою кількістю ЗЕ та скоротити час на переналагодження ЗМ. Скорочення часу на розробку нових конструкцій адаптивних ЗЕ можливе при використанні сучасних обґрунтованих методик комп'ютерного проектування та моделювання. Найбільш ефективним в цьому плані є підхід поетапного використання CAD/CAE-систем, що включає проектування з використанням геометричного моделювання, аналіз міцності та деформацій конструкції, параметричну оптимізацію конструкції та ін. [1]. Тому застосування такого підходу дозволить ефективно дослідити нові конструкції затискних елементів з адаптацією до поверхні затиску та вибрати їх раціональні конструктивні параметри.

Питанням створення та дослідження адаптивних ЗМ присвячені роботи Кузнецова Ю.М. та його наукової школи. Адаптація ЗЕ до поверхні затиску на основі інтеграції діапазонів затиску в одному ЗЕ запропонована в роботах [2-4]. Результати статичних досліджень працездатності з використанням CAD/CAE систем багатопрофільних ЗЕ, розроблених на основі цього принципу, при різних їх кутових положеннях та зусиллях затиску приведені у роботах [3, 4]. У роботі [5] за допомогою CAD/CAE системи проведено дослідження динамічних силових характеристик затискних патронів з багатопрофільними ЗЕ при різних положеннях багатопрофільних ЗЕ. Принципово нові підходи до створення системи ЗЕ, які базуються на навмисному введенні в їх конструкцію зон деформації, що дозволяє забезпечити прилягання контактуючої поверхні затискного елемента до поверхні затиску заготовки і розроблені на їх основі нові конструкції ЗЕ приведені у роботі [6]. Вони реалізують типові кінематичні структури ЗМ з дис-

кретно-неперервною схемою охоплення заготовок. Питанням створення і дослідження затискних патронів для затиску штучних заготовок в широкому діапазоні присвячена робота U. Bahrke [6], у якій проведено оцінку ряду конструкцій гнучких затискних елементів з поперечним перерізом кругоподібної форми, які самостійно пристосовуються до поверхні деталі в діаметральному перерізі. При виконанні цих досліджень також використовувалися CAD/CAE системи.

Метою є дослідження нових конструкцій затискних елементів (ЗЕ) токарних патронів, які в процесі затиску адаптуються до поверхні затиску заготовок різних діаметрів, що базуються на застосуванні CAD/CAE-систем і методу скінченних елементів.

У зв'язку з складною геометрією адаптивних ЗЕ для аналітичного дослідження умов затиску в зоні контакту а також оцінки напружено-деформованого стану використано сучасну CAD/CAE-систему. Цикл моделювання за допомогою CAD/CAE-системи включав наступні основні етапи [1]: розробка геометрії ЗЕ; введення характеристик матеріалу ЗЕ; вибір типів скінченних елементів та введення їх параметрів; розбиття ЗЕ та деталі на скінченні елементи; накладання граничних умов та формування системи навантажень; вибір та накладання граничних умов, які моделюють зону контакту; перевірка коректності розробленої моделі; моделювання умов контакту та напружено-деформованого стану адаптивних ЗЕ; візуалізація та аналіз результатів моделювання.

Розроблена геометрична модель адаптивного накладного ЗЕ 1 (рис. 1) має два отвори 2 для його приєднання до основного кулачка затискного патрона, приєднувальну частину 3 із виступом, затискну частину 4 та паз 5, який розмежовує основну та затискну частини. Затискна частина містить зону деформації 6, отриману шляхом видалення матеріалу у формі кільцевої канавки, та поверхню контакту 7 затискної частини із поверхнею затиску оброблюваної деталі.

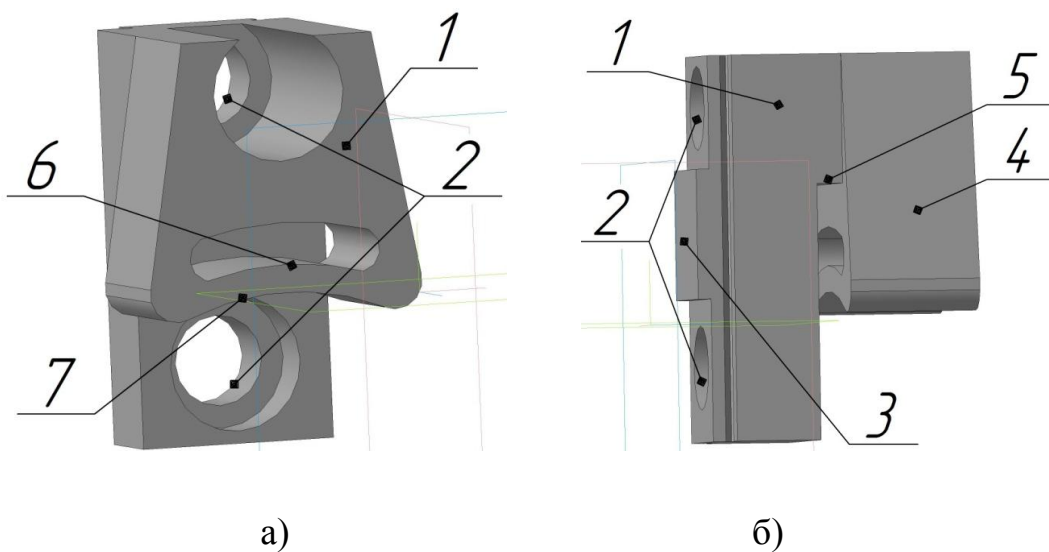


Рис. 1 Геометрична модель адаптивного ЗЕ

При розбитті ЗЕ та заготовки на скінченні елементи було обрано просторові параболічні скінченні елементи, які окрім вузлів по вершинах, мають ще вузли по середині ребер. Поля переміщень при використанні таких скінченних елементів описуються квадратичними поліномами. Це дозволяє адекватно відтворювати криволінійну геометрію адаптивних ЗЕ. Відповідно до параметрів скінченних елементів було згенеровано скінченно-елементну сітку (рис. 2) заготовки та адаптивного ЗЕ.

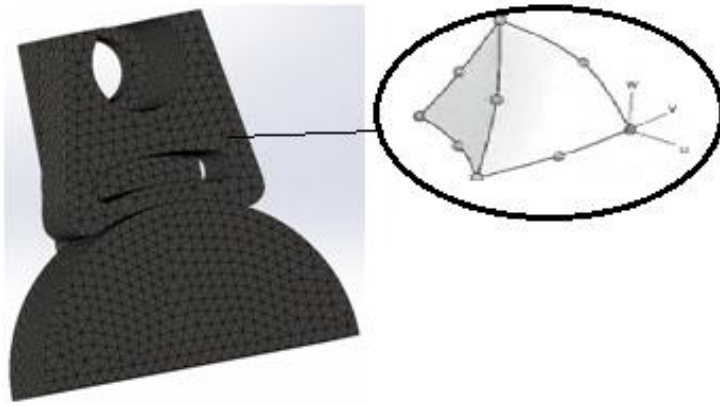


Рис. 2 Скінченно-елементна модель адаптивного ЗЕ та заготовки

Для площин приєднувальної частини ЗЕ було обрано кінематичну граничну умову типу «фіксація» (рис. 3, а).

До поверхні заготовки прикладено статичне силове навантаження, що відповідає зусиллю затиску одним ЗЕ (рис. 3, б). Величина цього зусилля задавалась в межах 500...5000Н.

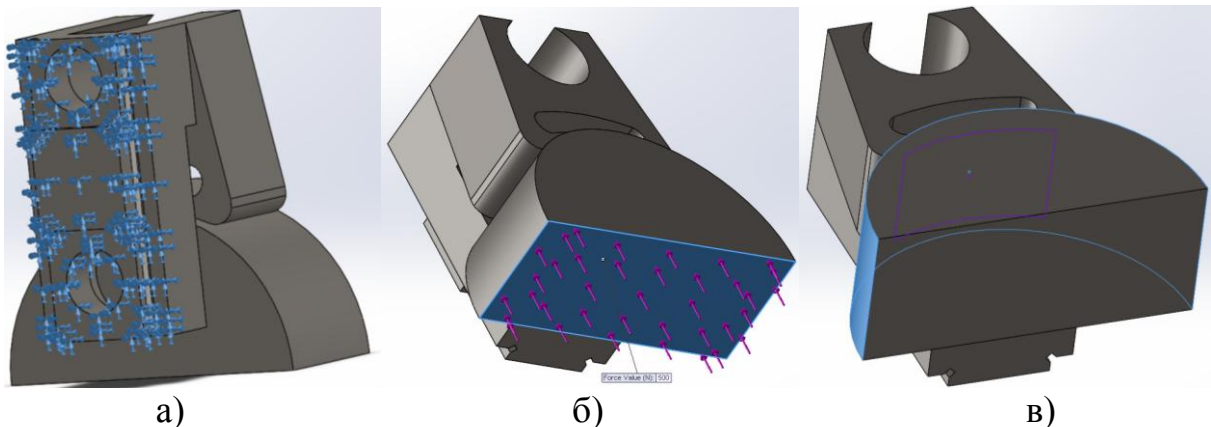


Рис. 3 Граничні умови, накладені на ЗЕ та заготовку

Для загальних граничних умов зборки між геометричними елементами всіх компонентів було обрано тип глобального контакту Bonded, який відповідає монолітній зборці, де переміщення деталей на поверхнях контакту однакові. Також було обрано сумісний тип сітки. Між поверхнями контакту рис. 3, в було обрано тип контакту Surface to surface, який є різновидом групи контактів No penetration, і при якому побудова сітки відбувається для кожного компонента окремо. Даний тип контакту більш точно за інші вирішує задачі для об'єктів із криволінійними гранями, використовуючи при цьому мінімум розрахункових ресурсів.

При моделюванні імітувався затиск заготовок в діапазоні $\Delta D = 10$ мм, який визначався конструктивними параметрами даного типорозміру токарного патрона.

Після проведеного моделювання з використанням CAD/CAE-системи було отримано картини напружено-деформовного стану зони контакту заготовки та ЗЕ та еквівалентні напруження, значення яких розраховувались за гіпотезою енергії зміни форми Ріхарда Фон Мізеса [1]:

$$\sigma_{\text{екв}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)}, \quad (1)$$

де $\sigma_x = \sigma_{11}, \sigma_y = \sigma_{22}, \sigma_z = \sigma_{33}, \tau_{xy} = \sigma_{12}, \tau_{yz} = \sigma_{23}, \tau_{zx} = \sigma_{31}$ – компоненти тензора напружень в розглядуваній точці елемента адаптивного кулачка.

Аналіз картин розподілу напружень по об'єму зони адаптації ЗЕ (рис. 4) показує, що найбільші напруження виникають в центральній та крайніх зонах ЗЕ, де сполучається кільцева затискна частина із тілом ЗЕ. Максимальні еквівалентні напруження в зоні адаптації ЗЕ, отримані в результаті комп'ютерного моделювання при різних зусиллях затиску та діаметрах затиску, приведені на рис. 5.

Результати імітаційного моделювання за допомогою CAD/CAE-системи показують, що із збільшенням зусилля затиску, яке припадає на один ЗЕ від мінімального до максимального, максимальні еквівалентні напруження також збільшуються майже у 10 раз, тобто спостерігається прямопропорційна лінійна залежність між навантаженнями та максимальними еквівалентними напруженнями.

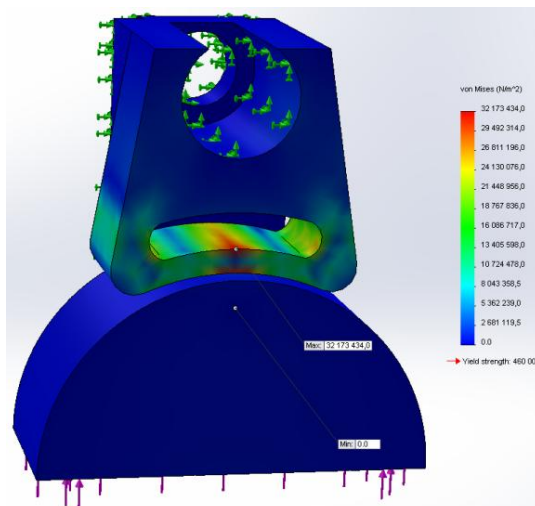


Рис. 4 Картина напруженого стану адаптивного ЗЕ при зусиллі затиску $T=500$ Н та діаметрі заготовки $d=65$ мм



Рис. 5 Залежність максимальних еквівалентних напружень σ_e в зоні адаптації затискного кулачка від зусилля затиску T та діаметра затиску d

ВИСНОВКИ

На основі принципу створення адаптивних ЗЕ, що полягає у навмисному введенні в їх конструкцію зон деформації, розроблено на базі стан-

дартних ЗЕ розроблено 3D-моделі адаптивних ЗЕ. З використанням CAD/CAE-системи проведена оцінка умов затиску в зоні контакту між адаптивними ЗЕ та поверхнею затиску. Проаналізовано напружений стан зони адаптації одного із запропонованих варіантів ЗЕ. Він показав, що затискна частина кулачка працює в зоні пружних деформацій в заданому діапазоні зусиль затиску і забезпечує в заданому діапазоні діаметрів її повний контакт із заготовкою при затиску.

ЛІТЕРАТУРА

1. Алямовский А.А. Основы расчета конструкций на прочность в среде SolidWorks./ А.А. Алямовский – М.: ДМК-Пресс, 2010. – 784 с.
2. Технологічне оснащення для високоефективної обробки деталей на токарних верстатах: Монографія/ [Кузнєцов Ю.М., Луців І.В., Шевченко О.В., Волошин В.Н.]. – К.: – Тернопіль: Терно-граф, 2011. – 692 с.
3. Зажимные механизмы и технологическая оснастка для высокоэффективной токарной обработки: монография/ [Кузнєцов Ю.Н., Драчев О.И., Луців И.В. и др.]; под ред. Ю.Н. Кузнєцова. – Старый Оскол: ТНТ, 2014. – 480 с.
4. Кузнєцов Ю.М. Зажимные механизмы для высокопроизводительной и высокоточной обработки резанием: Монографія/ [Кузнєцов Ю.Н., Волошин В.Н., Неделчева П.М., Эль-Дахаби Ф.В.] – Габрово: Университетское издательство «Васил Априлов», 2010. – 724с.
5. Кузнєцов Ю.М. Моделювання динамічних силових характеристик плунжерних токарних патронів з багатопрофільними затискними елементами/ Ю.М. Кузнєцов, В.Н. Волошин// Збірник наукових праць КНТУ. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – 2008.– Випуск 20. – С.173 – 176.
6. Луців І.В. Підвищення гнучкості токарних патронів шляхом адаптації кулачків до поверхні затиску /І.В. Луців, В.Н. Волошин, Р.О. Бица// Міжвузівський збірник "НАУКОВІ НОТАТКИ", Луцьк. – 2013. – №41, Ч.1. – С.166 – 170.
7. Bahrke U. Flexible Spannbacken für die Drehbearbeitung. Technische Universität Berlin, Diss., 1998.

УДК 621.791.927

Блохина И.О., Мирошниченко А.С., Брюхань М.В., науч. рук. Макаренко Н.А. (Украина, г. Краматорск, ДГМА)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОРОШКОВЫХ ПРОВОЛОК ДЛЯ ИЗГОТОВИТЕЛЬНОЙ И ВОССТАНОВИТЕЛЬНОЙ НАПЛАВКИ РОЛИКОВ МНЛЗ

Дан критический анализ наплавочных материалов, применяемых при изготовительной и восстановительной наплавке роликов машин непрерывного литья заготовок. Исследовали процесс десульфурации металла и выяснили, что введение в состав шихты порошковой проволоки оксидов металлов нецелесообразно, а также для существенного увеличения стойкости роликов МНЛЗ в наплавленном металле содержание хрома должно быть всего лишь 7-8 %. Произвели разработку системы легирования порошковой проволоки путем снижения содержания углерода, оптимизацией содержания хрома и карбидообразующих элементов, а также параметров термического цикла наплавки. Определили оптимальное содержание углерода, азота и соотношения легирующих элементов, параметры технологии и техники наплавки, обеспечивающие получение стабильной мартенситной структуры с высоким уровнем работоспособности при незначительном содержании δ-феррита.

В промышленно развитых странах все строящиеся сталеплавильные агрегаты оснащаются машинами непрерывного литья заготовок (МНЛЗ). Таким образом, системное внедрение МНЛЗ предопределяет увеличение потребления порошковых проволок для изготовительной и восстановительной наплавки роликов МНЛЗ. Преимущества технологии непрерывной разливки обуславливают ее перспективность и рост объемов применения. В настоящее время производительность и эффективность применения МНЛЗ связаны с числом ремонтов, обусловленных стойкостью роликов. Следовательно, эффективность применения технологии восстановительной наплавки роликов определяется стоимостью наплавочного материала, производительностью процесса, толщиной наплавляемого слоя, энергоемкостью всех этапов технологии, стоимостью монтажных работ [1].

Важно отметить, что для обеспечения высокой стабильности процесса наплавки, высокого качества наплавленного металла и хорошего формирования наплавленного валика оптимальной является порошковая проволока, содержащая галогениды металлов и фториды [2].

В литературе [3] показано, что наличие в составе порошковой проволоки фторидов способствует десульфурации наплавленного металла вследствие протекания реакции



При наплавке роликов МНЛЗ процесс десульфурации металла особенно важен, так как сера образует легкоплавкие сульфиды металлов, рас-

полагающиеся по границам зерен металла и образующие с ним легкоплавкие эвтектики, что является причиной ускоренного разрушения металла при высоких температурах и термоциклических нагрузках.

Введение в состав шихты порошковой проволоки оксидов металлов нецелесообразно, так как согласно исследованиям авторов работы [3], они повышают содержание серы в наплавленном металле.

Как следствие, появилась потребность в восстановлении изношенных роликов и наплавке новых. Ролики повреждаются трещинами «разгара», распространяющимися в пределах зоны термопластических деформаций от неравномерного нагрева. Результаты расчетов показали, что глубина зоны термопластических деформаций на роликах МНЛЗ находится в пределах 2-4 мм. В связи с этим были проведены исследования, которые показали, что с учетом глубины проплавления основного металла рабочий слой наплавки толщиной около 4 мм можно обеспечить за один проход (рис. 1). При этом высота наплавленного валика составляла не 6 мм, как при двухэлектродной наплавке, а около 4 мм, что делало несплавления валиков маловероятным. Установили, что при рабочих температурах (700 °С) роликов МНЛЗ выгорание наплавки с содержанием хрома около 10% пренебрежимо мало по сравнению с выгоранием основного металла. Кроме того, для существенного (в 3 раза) увеличения стойкости роликов МНЛЗ в наплавленном металле содержание хрома должно быть всего лишь 7-8%.

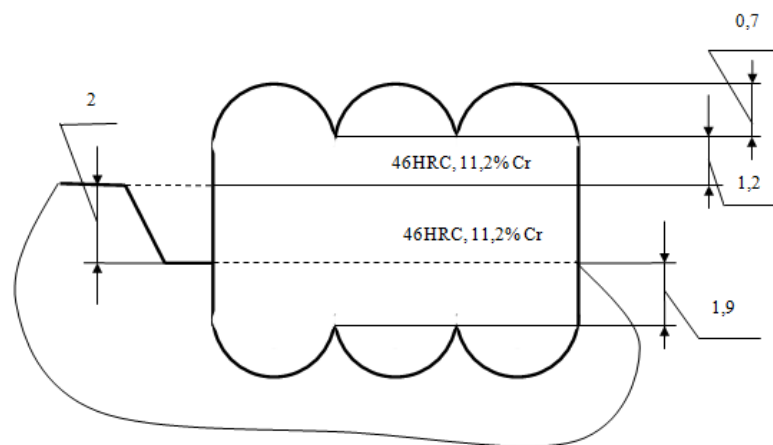


Рис. 1 Схема однослойной наплавки.

В отечественной металлургии для восстановительной наплавки роликов МНЛЗ традиционно применяют сплошные и порошковые проволоки 12Х13 и 20Х17 в сочетании с флюсами АН-20С и АН-26П, обеспечивающие хромистый наплавленный металл с ферритно-мартенситной структурой, для которой характерно формирование больших областей δ-феррита (более 15%) (рис. 2), являющихся причиной образования трещин разгара и повышенного изнашивания. Процесс наплавки характеризуется затруднительным отделением шлаковой корки, что усложняет условия труда рабочего-наплавщика.

Отличие структурного и фазового составов наплавленного металла определяет работоспособность роликов МНЛЗ, которые эксплуатируются

в условиях длительных циклических и термических нагрузок. На прямолинейных участках ролики подвергаются абразивному изнашиванию. Разрушение рабочей поверхности роликов проявляется в виде износа поверхностного слоя и образования трещин разгара. В данных условиях оптимальным является нанесение на рабочую поверхность роликов упрочняющих слоев комплексного легированного хромистого металла.

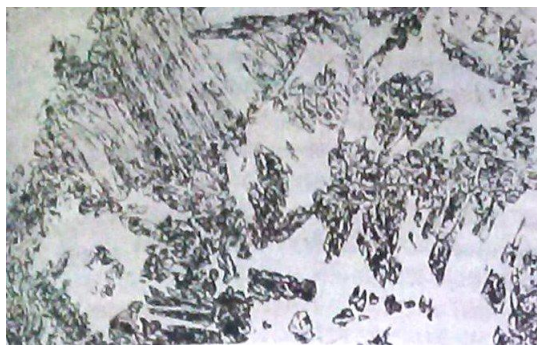


Рис. 2 Микроструктура металла, наплавленного проволокой In-20X17, X 500

При разработке системы легирования порошковой проволоки ориентировались на создание структуры низкоуглеродистого мартенсита, упрочнение матрицы дисперсными карбидами и минимизацию содержания δ -феррита. Задачу решили путем снижения содержания углерода, оптимизацией содержания хрома и карбидообразующих элементов, а также параметров термического цикла наплавки.

С целью обеспечения высокой работоспособности наплавленного металла в условиях термомеханических нагрузок, коррозии и абразивного изнашивания применяли комплексное легирование хромистого металла (не менее 13,0 % Cr) никелем, молибденом, ванадием, ниобием [4]. В процессе исследований определили оптимальное содержание углерода, азота и соотношения легирующих элементов, параметры технологии и техники наплавки, обеспечивающие получение стабильной мартенситной структуры с высоким уровнем работоспособности при незначительном содержании δ -феррита (рис. 3).



Рис. 3 Микроструктура (x 1000) металла, наплавленного проволокой ВЕЛТЕК-N470 (объемная доля δ -феррита 3,8 %, твердость 42-46 HRC)

Разработаны способы снижения содержания углерода и введение оптимального содержания азота. Задачу решил в два этапа. На первом этапе разработали замену применяемых проволок Нп-12Х13 и Нп-20Х17 с содержанием углерода в наплавленном металле 0,14-0,18 % и гарантированной твердостью наплавленного металла 42-48 HRC. На втором этапе разработали вместо импортируемых проволок проволоку содержащую не более 0,1 % С и не более 0,1 % N. Однородность химического состава наплавленного металла обеспечивается подготовкой компонентов шихты, режимов смешивания и дозирования [5]. При разработке композиции шихты реализованы известные металлургические и технологические средства по снижению содержания водорода и примесей в наплавленном металле, обеспечения легкой отделимости шлаковой корки в широком интервале температур.

Таким образом, наплавка данными проволоками резко, в несколько раз, увеличивает срок службы роликов МНЛЗ по сравнению с ненаплавленными роликами.

ВЫВОДЫ

Установлено, что для обеспечения высокой стабильности процесса наплавки, высокого качества наплавленного металла и хорошего формирования наплавленного валика оптимальной является порошковая проволока, содержащая галогениды металлов.

Установлено, что наличие в составе порошковой проволоки фторидов способствует десульфурации наплавленного металла, что является причиной ускоренного разрушения металла при высоких температурах и термоциклических нагрузках.

Определили, что с целью обеспечения высокой работоспособности наплавленного металла в условиях термомеханических нагрузок, коррозии и абразивного изнашивания применяли комплексное легирование хромистого металла никелем, молибденом, ванадием, ниобием.

Оптимальное содержание углерода, азота и соотношения легирующих элементов, параметры технологии и техники наплавки, обеспечивающие получение стабильной мартенситной структуры с высоким уровнем работоспособности при незначительном содержании δ-феррита.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сидоров А. И. Восстановление деталей машин напылением и наплавкой / А. И. Сидоров. – М. : Машиностроение, 1987. – 192 с.
2. Корниенко А.Н., Макаренко Н.А., Грановский А.В., Кондрашов К.А. Исследование стабилизирующих свойств шихты порошковой проволоки галогенного типа для плазма-МИГ процессов // Труды международной конференции «Сварочные материалы». – Орел. – 2001. – С. 74.
3. Походня И.К., Гаврилюк Ю.А., Орлов Л.Н. Десульфурация металла при сварке порошковой проволокой // Автоматическая сварка. 1988. - №11. – С. 47-50.
4. Наплавка роликов МНЛЗ / В.А. Коротков, И.Д. Михайлов, А.С. Веселов, В.Р. Тагильцев // Сталь. – 2003. – №8. – С. 60–64.
5. The new technology automatically repair welding of shafts CCM // Svetsaren. 2005. N1. P. 32-33.

УДК 621.893

Бобров Д.С., науч. рук. Ковалевский С.В. (Украина, г. Краматорск, ДГМА)

УПРАВЛЕНИЕ МЕТОДОМ НАНЕСЕНИЯ АНТИФРИКЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ

В статье представлен обзор комбинированного метода обработки, принципиальная схема экспериментальной установки и описание процессов исследуемых в ходе эксперимента.

Обычные материалы не всегда способны удовлетворить требования предъявляемые к деталям машин, работающих в экстремальных условиях эксплуатации. Конструкционные материалы высокого качества, если и могут отвечать таким требованиям, могут оказаться слишком дорогими [1, 2].

Возникающие затруднения снимаются путем нанесения на поверхность покрытий толщиной от долей миллиметра до нескольких миллиметров, способных обеспечить требуемые эксплуатационные характеристики деталей [1].

Тем не менее, возникает ряд проблем связанных с нанесением и эксплуатацией антифрикционных покрытий. Одной из существенных причин выхода поверхностного слоя из строя является плохое приращивание поверхностного слоя, пористость и т.д. В ходе эксплуатации с повышением температуры, у поверхностного слоя снижаются все показатели механической прочности [2].

Рассмотрим недостатки нескольких основных методов нанесения покрытий.

Наплавка – нанесение покрытий слоями толщиной в несколько мм из расплавленного присадочного материала на оплавленную металлическую поверхность изделия.

Недостатки технологии наплавки:

– возможность изменения свойств наплавленного покрытия из-за перехода в него основного металла.

–изменение механического состава основного и наплавляемого материала вследствие окисления легирующих элементов[3].

Напыление – процесс, заключающийся в нагревании распыляемого материала высокотемпературным источником. Недостатки:

– нестойкость напыляемых покрытий к ударным механическим нагрузкам;

– анизотропия свойств напыляемых покрытий[3].

Таким образом, видно, что нанесение антифрикционных покрытий на поверхность деталей имеет ряд недостатков связанных в первую очередь с особенностями способа нанесения покрытия. Для решения этих проблем рассматриваются комбинированный метод нанесения покрытий.

Направленным на то что бы между покрытием и материалом подложки возникало адгезионно – диффузионное взаимодействие.

Для понимания процессов происходящих в зоне контакта, рассмотрим ближе данные физические явления.

Диффузия – это процесс взаимного проникновения молекул или атомов одного вещества между молекулами или атомами другого, приводящий к самопроизвольному выравниванию их концентраций по всему занимаемому объёму [4]. При диффузии твердых тел происходит смещение границы соприкосновения двух материалов, из-за взаимного перемешивания атомов материалов. Построение молекул при диффузии твердых тел показано на рис. 2.

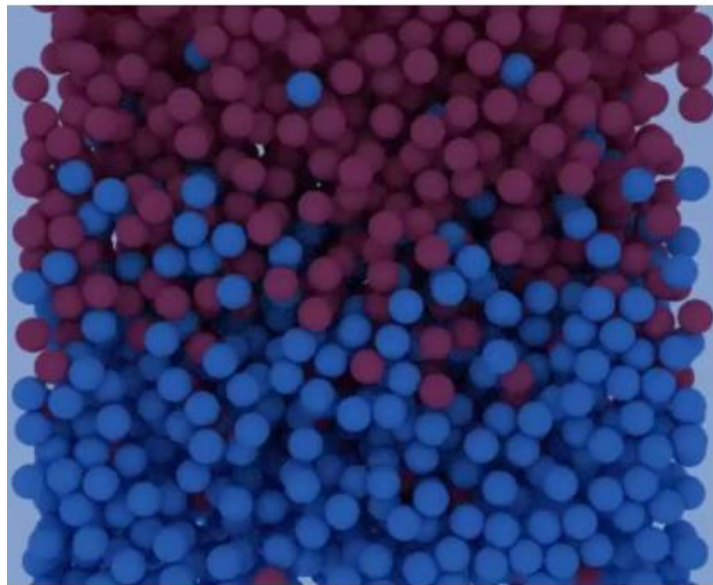


Рис. 2 Молекулярная структура двух материалов подверженных диффузии.

Адгезия – это процесс сцепления поверхностей твердых или жидких тел. Обуславливается межмолекулярным взаимодействием. Данное понятие применяется как для сцепления разнородных материалов, так и для взаимодействия молекул внутри одного материала. Адгезия между двумя разнородными материалами показана на рис. 3.

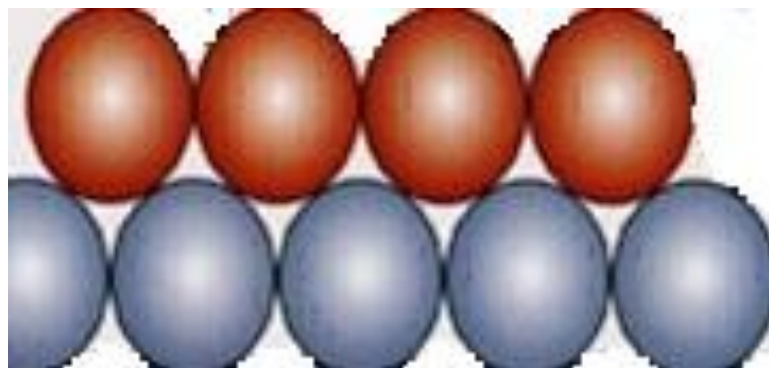
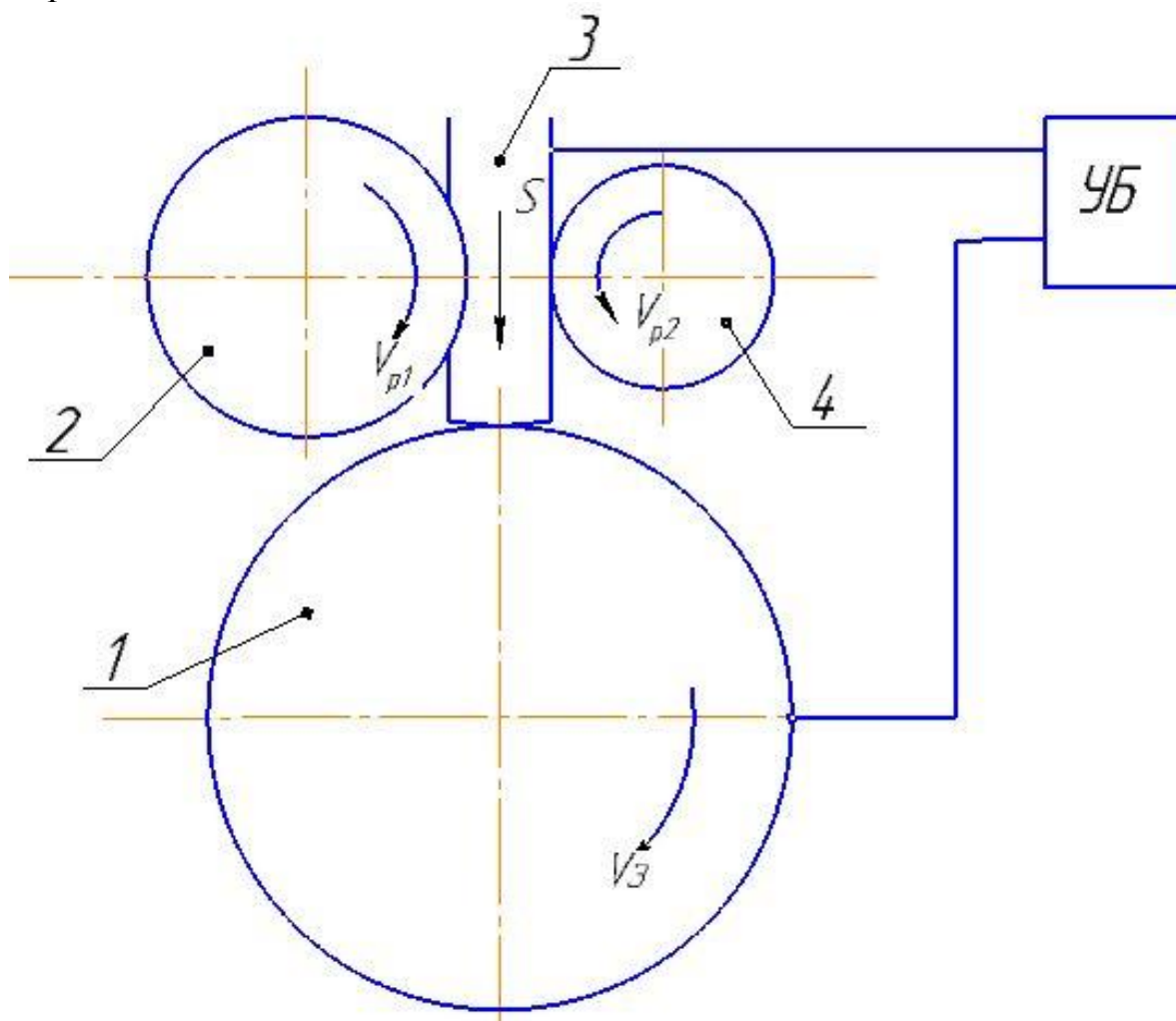


Рис. 3 Адгезия двух разнородных материалов.

При рассмотрении комбинированного метода нанесения антифрикционных покрытий, анализируется адгезия между молекулами внутри свинцового прутка и диффузия в зоне контакта свинцового прутка и материала подложки. В этом случае данные физические явления противодействуют друг другу.

Для проведения эксперимента была разработана схема, показанная на рис. 1.



1 – заготовка; 2 – направляющий ролик; 3 – стержень; 4 – приводной ролик; УБ – управляющий блок

Рис. 1 Схема экспериментальной установки

В качестве материала покрытия будет использоваться свинец, в виде стержня, материал подложки – конструкционная сталь.

Стальному валику сообщается вращательное движение с неизменной скоростью, сверху, на него подается свинцовый пруток. Усилие подачи проволоки постоянно. Свинец трётся о поверхность валика и малая часть материала прутка переносится на заготовку. При таком режиме работы между прутком и роликом возникнет диффузионное взаимодействие, которое и вырывает микроскопические куски свинца из прутка, перенося их на заготовку. Диффузии противодействует адгезия между молекулами

свинца в прутке, и когда эти силы уравниваются, процесс прекратится. Молекулы свинца перестанут вырываться на материал заготовки. Это равновесие можно нарушить электрическими импульсами, которые подает управляющий блок. Для исследования влияния параметров тока на диффузионно-адгезионное взаимодействие управляющий блок регулирует частоту импульсов и скважность (время действие импульса) тока.

Изменяя вышеперечисленные параметры тока, удастся уменьшить адгезию свинца и увеличить диффузию в зоне контакта заготовки и прутка, что позволит наносить относительно толстые слои антифрикционного материала на заготовку.

Преимущества данного способа в том, что, удастся нанести значительный слой антифрикционного материала, не прибегая к температурным, химическим или каким либо изменениям наносимого материала.

ВЫВОД

Для ввода в производство нового метода необходимо исследовать режимы обработки, при которых возможно будет нанести достаточных слой антифрикционного материала. Малые размеры установки, универсальность, и небольшие мощности потребляемой энергии, дают преимущество данному методу перед остальными, так как в опыте применяется принципиально новый метод нанесения покрытий. В будущем рабочий сможет смонтировать установку на токарный станок, и нанести необходимое покрытие не снимая деталь со станка, необходимо только знать режимы работы для выбранного материала. Также данную схему установки можно использовать для нанесения покрытий на сложнопрофильные детали при помощи системы гексаподов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Технология нанесения и свойства нанесения покрытий* Ю.Е. Спектр, Р.Г. Ермаков. Красноярск 2008.
2. *Проблемы и перспективы нанесения антифрикционных покрытий на вкладыши подшипников скольжения.* Марциновский В.С., Плекин А.В..
3. *Прогрессивные технологии нанесения покрытий.* Тополенский П.А., Санкт-Петербург.
4. *Бокштейн Б.С., Атомы блуждающие по кристаллу.*—М.:Наука, 1984–208с..

УДК 621.002

Боровець І.Б., наук. кер. Стецько А.Є. (Україна, м. Львів, УАД)

ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ, ВИГОТОВЛЕНИХ І ВІДНОВЛЕНИХ КОМПЛЕКСНИМ МЕТОДОМ

У роботі теоретично розглянуто та експериментально підтверджено вплив режимів різання для формування якісних показників композитних покриттів поверхонь деталей машин, отриманих після комплексного методу виготовлення та відновлення.

Пріоритетним напрямком розвитку машинобудування є впровадження прогресивних технологій. Це стосується як нових технологій виготовлення, зміцнення та відновлення деталей машин, так і вдосконалення технологій механічної обробки. З вдосконаленням машин об'єм механічної обробки збільшується, на перший план виходять фінішні процеси. На сьогодні в промисловому виробництві широко застосовуються матеріали з гетерогенною структурою, які мають високу стійкість в умовах інтенсивного зношування. Проте на сьогодні недостатньо розвинутими є способи формування гетерогенних покриттів та методи їх механічної обробки.

Деталі з композитними покриттями [1] володіють високими експлуатаційними характеристиками, що значно підвищує їхню зносостійкість і забезпечує підвищений ресурс роботи.

Процесами обробки важкооброблюваних матеріалів займаються ряд вчених. Аспекти обробки гетерогенних покриттів інструментом, оснащених пластинами з твердих сплавів та інструментом з надтвердих матеріалів [2]. Чистову обробку гетерогенних покриттів, коли потрібно зрізати малі припуски, проводять інструментом з полікристалічних надтвердих матеріалів (ПНТМ), який дозволяє підвищити продуктивність механічної обробки за рахунок підвищення швидкості різання. При цьому знижується собівартість механічної обробки.

Автори [3] вказують, що для лезової обробки деталей із загартованих сталей, чавунів і напиленими покриттями на основі Fe, Co і Ni застосовують інструменти, оснащені полікристалічними надтвердими матеріалами на основі щільних модифікацій нітриду бору – вюрцитоподібної та сфалеритної. Застосовуючи даний інструмент підвищується продуктивність процесу механічної обробки за рахунок суттєвого підвищення швидкості різання. Поряд з тим, авторами відзначено, що обробку інструментами з надтвердих матеріалів слід проводити на верстатах підвищеної жорсткості.

У роботі [4] наведено результати з цілого комплексу досліджень точіння загартованих сталей, відбілених чавунів, нікелевих сплавів, неметалічних матеріалів. Доказано, що одним з ефективних способів підвищення продуктивності обробки за рахунок скорочення основного часу є застосування високих швидкостей обробки, а це для даних видів деталей є можли-

вим при застосуванні різальних інструментів оснащених надтвердими матеріалами на основі КНБ – кубічного нітриду бору.

Як видно із розглянутих досліджень авторів, для механічної обробки композитних покриттів слід застосовувати інструменти із ПНТМ на основі КНБ, що дозволяють ефективно обробляти широку гаму сучасних конструкційних матеріалів з високими механічними властивостями.

Метою даної роботи є розробка сучасного і доступного методу отримання і режимів механічної обробки композитних покриттів високої інтегральної твердості для отримання потрібних якісних показників робочих поверхонь деталей машин.

Розроблений комплексний метод хімічної обробки і дифузійного хромування полягає у двох послідовних етапах: нанесення на поверхню зміцнювального зразка нікелькобальтфосфорного хімічного покриття і наступного дифузійного хромування у порошковому середовищі в ретортах з плавким затвором за визначеними режимами [5].

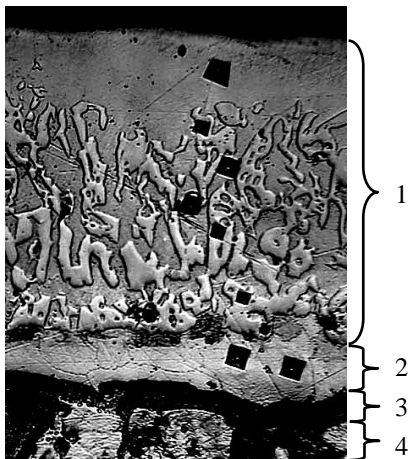


Рис. 1 Будова зміцненого шару, отриманого комплексним методом хімічної обробки і дифузійного хромування (1 – композитна зона; 2 – зона твердого розчину хрому в α -залізі; 3 – евтектоїдна зона; 4 – знеуглецьована зона)

сті (біля 18 ГПа).

Аналіз результатів досліджень із формування висоти профілю шорсткості використаний різними авторами при відповідних методах обробки [6], дозволяє зробити висновок, що на утворення шорсткості при певних методах механічної обробки впливають такі фактори: геометрія робочої поверхні інструмента та кінематика його робочого руху; коливальні переміщення інструмента відносно оброблювальної поверхні; пружні та пластичні деформації оброблювального матеріалу в зоні контакту з робочим інструментом; шорсткість робочої частини інструмента; вириви частин оброблювального матеріалу. Враховуючи вищенаведені фактори, на

У результаті утворюється зміцнене покриття, що складається з 4-ох зон (рис. 1). Зовнішня композитна зона 1 складається із стовпчастих карбідів хрому в матриці твердого розчину Cr в α -Fe товщиною до 250 мкм та інтегральною мікротвердістю 12 ГПа. Композитна будова зони 1 дозволяє значно підвищити ресурс роботи завдяки релаксації накопичених у ході роботи внутрішніх мікронапружень у м'якій фазі – твердому розчині хрому в α -залізі, в той час, коли основне навантаження буде сприймати тверда фаза – стовпчасті зерна карбиду хрому високої твердості

ми отримано узагальнену залежність розрахунку кінцевої шорсткості обробленої поверхні [7]:

$$\begin{aligned}
 Rz = & \frac{S^2}{8r_e} + \frac{a_{\min}}{2} \left(1 + \frac{r_e \cdot a_{\min}}{S^2} \right) + \frac{b_{зсув}}{1 + \frac{2r}{S \cdot \operatorname{tg} \varphi_1}} + \\
 & + \frac{r(1 - \cos \varphi_1) + \sin \varphi_1 \left[\cos \varphi_1 - \sqrt{S \sin \varphi_1 \left(r - S \sin \varphi_1 \right)} \right]}{\cos \gamma} \\
 & \times \frac{c_y S^{y_p} V^{z_p} \left[HB_{\max}^n t^{x_p} - HB_{\min}^n \left(t - \frac{Rz_{вух}}{10^3} \right)^{x_p} \right] \left(\frac{1}{j_{верст}} + \frac{1}{j_{інстр}} + \frac{1}{j_{заг}} \right)}{HB_{сер}^n} \quad (1) \\
 & \times \frac{0,5\rho \left(1 - \frac{2\tau_0}{\sigma_T} \right)}{\frac{1}{\operatorname{tg} \varphi_1} + \frac{2r}{S}} + Rz_{bp}
 \end{aligned}$$

де S – подача, мм/об;

v – швидкість різання, м/хв.;

t – глибина різання, мм;

ρ – радіус заокруглення різальної кромки інструмента, мм;

a_{\min} – мінімальна товщина зрізу, мм;

$j_{верст}$, $j_{інстр}$, $j_{заг}$ – жорсткість верстату, інструменту та заготовки;

φ_1 – допоміжний кут у плані, град.;

τ_0 – міцність на зсув вихідного оброблювального матеріалу, МПа;

σ_T – границя текучості оброблюваного матеріалу, МПа;

c_y , x_{py} , y_{py} , z_{py} , n – емпіричні коефіцієнти.

Обробка деталей, зміцнених комплексним методом проводилася прохідним токарним різцем з пластинкою НТМ із композиту 10 (передній кут $\gamma = -5^\circ$; головний задній кут $\alpha = 15^\circ$; допоміжний задній кут $\alpha_1 = 15^\circ$; головний кут у плані $\varphi = 30^\circ$; допоміжний кут у плані $\varphi_1 = 20^\circ$; кут нахилу головної різальної кромки $\lambda = 0^\circ$; радіус вершини різця $r = 0,4$ мм).

Мінімальна шорсткість лезової механічної обробки зміцненої по-

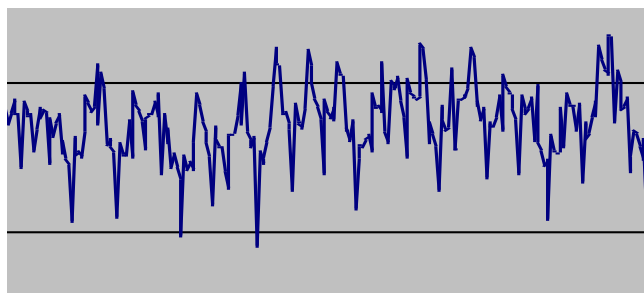


Рис. 2 Профілограма шорсткості поверхні зміцненої деталі

верхні деталей машин комплексним методом, як показує профілографа (рис. 2) забезпечується при подачі $S = 0,065$ мм/об. і менше, глибини різання $t = 0,05$ мм та швидкості не нижче 150 м/хв. При цьому слід забезпечувати радіус вершини різця в межах 0,2...0,4 мм. При даних умовах забезпечується шорсткість поверхні не

вище $Rz < 10$ мкм, або $Ra < 2$ мкм, що підтверджує виконані теоретичні розрахунки – залежності (1).

ВИСНОВКИ

Запропоновано комплексний метод хімічної обробки і дифузійного хромування для виготовлення та відновлення деталей машин, який полягає у хімічному покритті і наступному дифузійному хромуванні. У результаті на поверхнях деталей отримано зміцнені шари із зовнішньою композитною зоною інтегральною мікротвердістю 12 ГПа, яка добре працює в умовах інтенсивного зношування. За результатами механічної обробки деталей, зміцнених комплексним методом, встановлено раціональні режими механічної обробки інструментами з НТМ для отримання оптимальної шорсткості, які підтверджують теоретичні розрахунки: подачу $S = 0,065$ мм/об; глибину різання $t = 0,05$ мм; швидкість різання 150-200 м/хв.

Отримані результати наукових розробок дають можливість розвивати комплексний метод поверхневого для отримання потрібної морфології, товщини та твердості, що забезпечуватиме довговічність деталей машин, зміцнених даним методом.

ЛІТЕРАТУРА

1. Стецько А.Є. *Технологічне забезпечення ресурсу роботи виготовлених і відновлених деталей: Монографія.* – Львів: Видавнича компанія «АРС», 2013. – 240 с.
2. Клименко С.А., Мельнийчук Ю.О., Встовський Г.В. *Фрактальна параметризація структури матеріалів, їх оброблюваність різанням та зносостійкість різального інструменту.* – Київ: ІНМ ім. В.М. Бакуля, 2009. – 172 с.
3. *Сверхтвердые материалы. Получение и применение: В 6-ти томах. Т. 5. Обработка материалов лезвийным инструментом. Монография. Под редакцией проф. док. техн. наук С.А. Клименко. Киев – 2006. – 317 с. (Усл. печ. л. 25,48).*
4. Ю.А. Мельнийчук. *Опыт высокоэффективной лезвийной обработки инструментом, оснащённым ПНТМ на основе КНБ и алмаза. // Сучасні процеси механічної обробки інструментами з НТМ та якість поверхні деталей машин. Збірник наукових праць.* – Київ. – 2009. – 272 с.
5. Пат. № 110046 Україна, С23С 22/02 (2006.01), С23С 10/32 (2006.01), С23С 10/40 (2006.01), С23С 10/02 (2006.01) *Спосіб отримання зносостійкого зміцненого покриття на залізвуглецевих сплавах комплексною обробкою / Стецько Андрій Євгенович (UA); заявник і патентовласник Українська академія друкарства (UA).* – № a201309747; заявл. 05.08.2013; опубл. 10.11.2015, бюл. № 21/2015.
6. Суслов А.Г. *Качество поверхностного слоя деталей машин.* – М.:Машиностроение, 2000. – 320с.
7. Голубець В.М., Шахбазов Я.О., Стецько А.Є. *Технологічне забезпечення якості поверхонь деталей машин відновлених методом хімічного оброблення і дифузійного хромування // Машинознавство.* – Львів, 2009.–№6. – С 29-33.

УДК 536.252:532.527.2

Браженко В.Н., науч. рук. Мочалин Е.В. (Украина, г. Киев, НАУ)

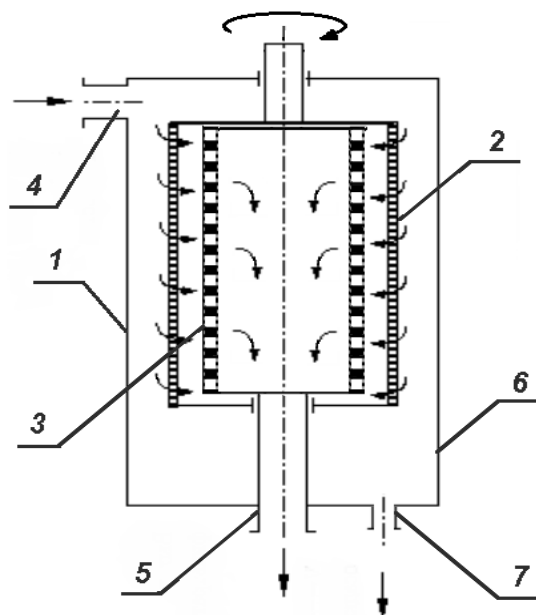
ВЛИЯНИЕ ВИХРЕЙ ЭКМАНА НА ГИДРОДИНАМИКУ НЕСУЩЕЙ ЖИДКОСТИ В ПОЛНОПОТОЧНОМ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОМ ФИЛЬТРЕ С БУНКЕРОМ

На основе численного моделирования показано влияние двух диаметрально противоположных вариантов конструкций торцевой стенки фильтроэлемента на изменение характера течения как в зазоре между цилиндрами, так и в области бункера. Рассмотрено появление вихрей Экмана в бункере для примеси полнопоточного гидродинамического фильтра, показано изменение их интенсивности в зависимости от режима течения.

Очистка рабочих жидкостей и топлив от загрязняющих механических примесей – это проблема большинства отраслей хозяйственной деятельности человека [1-3]. Удаление примесей является одним из основных составляющих в общем комплексе очистки. Конечно, этот процесс не исчерпывает всех манипуляций по конденсированию жидких сред, однако, в некоторых случаях, полностью решает проблему загрязнённости жидкости механическими примесями.

Одним из ключевых решений рассматриваемой проблемы является использование относительно дешевого полнопоточного гидродинамического фильтра, конструктивная схема которого изображена на рис. 1. Он имеет целый ряд преимуществ, о которых можно узнать из монографии [4], и которые делают его одним из самых перспективных способов снижения себестоимости удаления примесей из различных жидкостей.

Цель данной работы – изложение некоторых научных основ совершенствования полнопоточных гидродинамических фильтров и приближение к обоснованию наиболее эффективной конструкции такого устройства. Исследуется гидродинамический фильтр с вращающимся фильтрующим цилиндром, а именно влияние вихрей Экмана (течение возле торцевой стенки вращающегося дискретно перфорированного цилиндра) на движение несущей жидкости



1 – корпус; 2 – фильтроэлемент;
3 – внутренняя ставка; 4 – входной патрубок; 5 – выходной патрубок; 6 – бункер; 7 – сливная пробка

Рис. 1 Конструктивная схема полнопоточного фильтра

в полнопоточном гидродинамическом фильтре. В работе рассматривается два возможных варианта конструкции: когда дискретно перфорированный фильтроэлемент не соединен жестко с торцевой стенкой (торцевая стенка не вращается вместе с фильтром) и цельная конструкция (торцевая стенка вращается с такой же угловой скоростью, что и фильтроэлемент).

Для проведения численного моделирования выбрана расчетная схема полнопоточного гидродинамического фильтра (рис. 2), рассматриваемая в осесимметричной постановке. На ней изображен внутренний вращающийся цилиндр радиусом R_1 с перфорированной поверхностью, внешний неподвижной корпус с радиусом R_2 , обозначен также бункер для сбора осадка с простой геометрической формой (цилиндрической). Определены граничные условия:

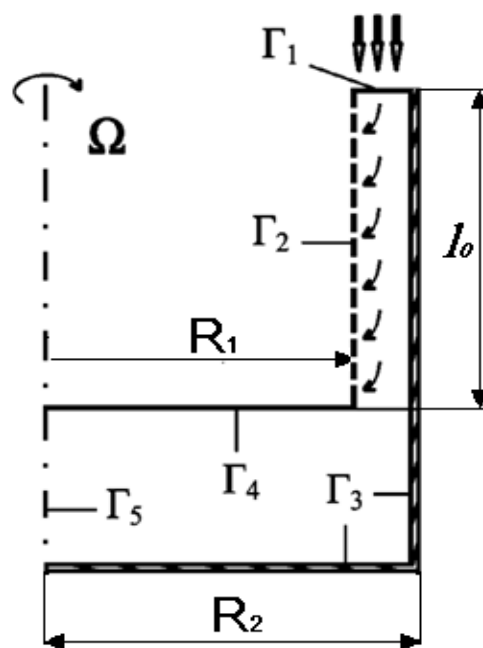


Рис. 2 Расчетная схема с обозначением границ области течения

$$\begin{aligned}
 \Gamma_1: V_r = V_\varphi = 0, V_z = \frac{Q}{\pi(R_2 - R_1)}, k = \frac{3}{2} \left(\frac{0.01 \cdot Q}{\pi(R_2^2 - R_1^2)} \right)^2, \omega = \frac{\sqrt{k}}{R_2 - R_1}, \\
 \Gamma_2: V_r = \frac{Q}{2\pi R_1 l_1}, V_z = 0, V_\varphi = \Omega \cdot r, \\
 \Gamma_3: V_r = V_\varphi = V_z = 0, \\
 \Gamma_4: V_r = V_z = 0, V_\varphi = \Omega \cdot r, \\
 \Gamma_5: \frac{\partial k}{\partial r} = \frac{\partial \omega}{\partial r} = 0, V_r = 0, \frac{\partial V_z}{\partial r} = \frac{\partial V_\varphi}{\partial r} = 0, \frac{\partial p}{\partial r} = 0.
 \end{aligned} \tag{1}$$

Численное моделирование движения несущей жидкости базируется на полных уравнениях Рейнольдса осредненного турбулентного течения несжимаемой жидкости (2) во вращающейся цилиндрической системе координат (r, φ, z) с добавлением усредненного уравнения неразрывности (3) и применением модели турбулентности SST $k-\omega$:

$$\frac{\partial \langle \rho \mathbf{V} \rangle}{\partial t} + \nabla \cdot \langle \rho \mathbf{U} \mathbf{V} \rangle = -\nabla p + \nabla T_e - \rho(\boldsymbol{\Omega} \times \mathbf{V}), \tag{2}$$

$$\nabla \cdot (\rho \mathbf{V}) = 0. \tag{3}$$

При этом обоснованы все основные схемные подходы и способы аппроксимации всех членов в решаемых уравнениях. Подробнее о постановке задачи можно узнать из источника [4].

Моделирование проводилось в диапазоне чисел Рейнольдса $Re_\phi = (1 \div 5) \cdot 10^5$ и $Re_r = 1045$, где критерии физического подобия Re_ϕ и Re_r определяются как:

$$Re_r = \frac{Q}{2\pi R_1 l_0 \nu}, \quad Re_\phi = \frac{\Omega \cdot R_1^2}{\nu}, \quad (4)$$

где Q – секундный объемный расход фильтрующей жидкости;

Ω – угловая скорость вращения фильтроэлемента;

l_0 – длина фильтроэлемента.

В результате численного моделирования были получены картины линий тока относительного движения жидкости в полнопоточном гидродинамическом фильтре с неподвижной торцевой стенкой фильтрующего элемента (рис. 3) и подвижной торцевой стенкой – целостная конструкция (рис. 4).

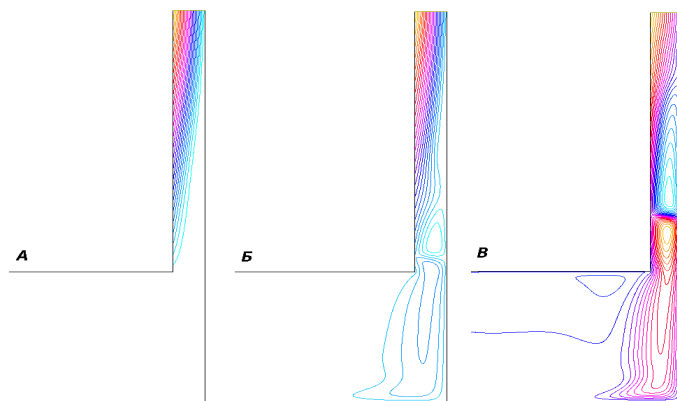


Рис. 3 Линии тока относительного движения жидкости в полнопоточном гидродинамическом фильтре с неподвижной торцевой стенкой фильтроэлемента при: $Re_\phi = 1 \cdot 10^5$ (А), $Re_\phi = 2 \cdot 10^5$ (Б), $Re_\phi = 5 \cdot 10^5$ (В), и $Re_r = 1044$ (А, Б, В)

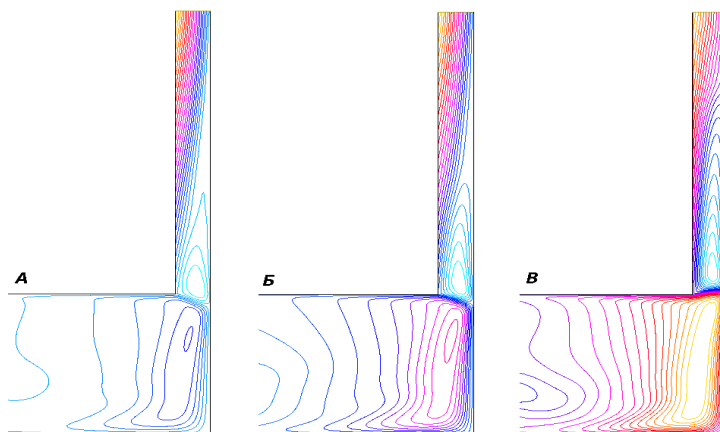


Рис. 4 Линии тока относительного движения жидкости в полнопоточном гидродинамическом фильтре с подвижной торцевой стенкой

фльтрозелемента $Re_{\phi} = 1 \cdot 10^5$ (А); $Re_{\phi} = 2 \cdot 10^5$ (Б); $Re_{\phi} = 5 \cdot 10^5$ (В); и $Re_r = 1044$ (А, Б, В)

Рассматривая влияние режима течения на гидродинамику жидкости в полнопоточном гидродинамическом фильтре, стоит отметить появление и увеличение интенсивности макровихрей в рабочей области фильтра с увеличением угловой скорости вращения фльтрозелемента. Такая же тенденция заметна в случае жесткого соединения торцевой стенки и фльтрозелемента, где ярко проявляется увеличение интенсивности вихрей Экмана в области бункера при увеличении угловой скорости.

Прибегая к исследованию влияния подвижности торцевой стенки, следует заметить основную тенденцию, при которой целостная конструкция, по сравнению с неподвижной торцевой стенкой, не способствует распространению вихревых зон из области бункера в рабочую область фильтра, что является положительным явлением. Данный эффект похож на влияние радиального течения, при увеличении интенсивности которого так же наблюдается стабилизирующий эффект относительно образования вихревых зон в зазоре между фильтрующим элементом и корпусом.

ВЫВОДЫ

Данная работа имеет существенное значение для более эффективной реализации полнопоточной схемы фильтра с бункером. Во-первых, представленное исследование показывает влияние конструкции вращающегося проницаемого фильтрующего элемента на гидродинамику течения как в зазоре между цилиндрами (в рабочей области), так и в области бункера. Во-вторых, это определение режимов течения, которые при той или иной конструкции дают представление о движении несущей жидкости в фильтре.

Основным направлением дальнейших исследований по совершенствованию ротационных фильтров является изучение процессов и закономерностей, которые определяют влияние конструкции фильтра на движение частиц примеси в рабочей области фильтра и области бункера, а также тонкость очистки жидкости.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Коваленко В.П., Ильинский А.А. Основы техники очистки жидкостей от механических загрязнений. – М., Химия, 1982. – 272 с.
2. Рыбаков К. В. Фильтрация авиационных топлив / К. В. Рыбаков – М.: Транспорт, 1977. – 164 с.
3. Шевченко В.С. Долговечность гидравлического оборудования станков / В.С. Шевченко, В.И. Бехтер, О.П. Лапатко. – Минск. : Наука и техника, 1973. – 192 с.
4. Мочалин, Е.В. Теплообмен и гидродинамика в полях центробежных массовых сил / Е.В. Мочалин, А.А. Халатов. – Киев: Ин-т техн. теплофизики НАН Украины, 2010. – Т.8: Гидродинамика закрученного потока в ротационных фильтрах. – 428 с.

УДК 621.9-05

Бровко О.А., науч. рук. Ковалевский С.В. (Украина, г. Краматорск, ДГМА)

ИССЛЕДОВАНИЕ ФАКТОРОВ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ ТИПА "ГЕКСАПОД+ТРИПОД" НА ОЖИДАЕМУЮ ТОЧНОСТЬ МЕХАНООБРАБОТКИ

Выполнен анализ алгоритма создания интеллектуального управления узлами и механизмами мобильных технологических машин, в качестве заданного принимается закон изменения длин стержней во времени. Полученный результат охарактеризует точность обработки приспособлением «гексапод+трипод». В исследовании используется программное обеспечение Simulink в среде MATLAB.

Целью научной работы является исследование кинематики и динамики мобильных интеллектуальных технологических машин «гексапод+трипод», для этого будет эффективно применить SimMechanics, пакета Simulink, среды MATLAB, предназначенной для моделирования пространственных движений твердотельных машин и механизмов на стадии инженерного проектирования.[1-3]. Моделирование механических систем и устройств осуществляется на основе законов кинематики, физики и механики. Основной целью моделирования механических систем является выявление характера движения различных частей механизмов и машин относительно друг друга в той или иной системе координат. При этом учитываются связи между отдельными объектами и различные их движения в соответствии с теми или иными ограничениями.

Для определения координат движения начала и конца штанги важна точность позиционирования, точность и плавность перемещения между ними также является существенной. Примером может служить позиционная система ЧПУ. При непрерывном характере движения требования по точности и плавности предъявляются на всём рабочем ходе выходного звена (как при работе контурной системе ЧПУ). [2]

Каждая опора «гексапода+трипода» в программе MATLAB представляется моделью. Блоки представляют собой модель каждой штанги платформы. При моделировании полученное требуемое значение длины штанги сравнивается с текущим и подается на систему управления, вырабатывающую значение силы, подаваемой на приводы штанг. На созданных графиках будет отображаться кривые изменения положения центра масс штанг от времени. Будут определены ошибки позиционирования штанг манипулятора в определенный промежуток времени. Такие ошибки связаны с системами управления «гексаподом+триподом». Однако, даже с учетом допущений, процесс получения ошибок системы управления получится очень длительным из-за инвертирования основанного на

решении обратной задачи кинематики Якобиана, при котором производится длительный пересчет задания в имитационной модели. [4]

Задача, решаемая системой управления подвижного робота, заключается в создании управляющих воздействий, обеспечивающих наперед заданное перемещение центра масс в рабочем пространстве. В качестве начальных координат берется закон изменения длины стержня от времени. При решении требуется свести сложную многоканальную задачу управления к ряду простых задач компенсации линейных и угловых отклонений, а затем с помощью стандартных приёмов нелинейной стабилизации найти законы управления. В ходе работы будет предложена методика анализа систем и построенных алгоритм управления, обеспечивающий решение траекторной задачи движения по прямой и окружности, из которых состоит любая траектория движения. Также нужно учитывать такие недостатки как возможное заклинивание (типа наезд одной штанги на другую) и другие подвижные и неподвижные препятствия на пути следования. [3]

Ценность данной работы существенна, можно выделить три основные идеи:

- управление мобильной интеллектуальной технологической машины (обратная и прямая задача кинематики, задачи динамики);
- повышение точностных характеристик за счет учета первичных ошибок изготовления и сборки (прямая задача кинематики);
- определение зон особых положений (вычислительные алгоритмы на основе нейронных сетей).

Найденные алгоритмы решения задач кинематики на основе нейронных сетей в приложении к «гексаподу+триподу» важны для разработки данного приспособления и введения его в эксплуатацию.

ЛИТЕРАТУРА

1. Д.В. Штых. *Линейные перемещения с микронной и субмикронной точностью // Известия Самарского научного центра. – Т. 14. – №1(2). – 2012.*
2. В.С. Щербаков, М.С. Корытов. *Моделирование и визуализация движений механических систем в MATLAB. Омск: / изд-во Сибади, 2007.*
3. Д.И. Степаничев. *Разработка математической модели привода с поступательно-вращательным перемещением исполнительного штока. Электронный журнал «Труды МАИ». Выпуск № 62*
4. В.А. Смирнов, Л.Н. Петрова. *Динамическая модель механизма с параллельной кинематикой // Вестник ЮУрГУ №112009*

УДК 681.2: 519.179.2

Гавриш М.О., наук. кер. Вислоух С.П. (Україна, Київ, НТУУ «КПІ»)

МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ВИРОБНИЧОЇ ДІЛЬНИЦІ

Розглядається питання моделювання та оптимізації роботи обладнання виробничої дільниці механічного цеху. Для вирішення задач моделювання виробничих систем запропоновано використовувати апарат мереж Петрі. Наведено особливості побудови мереж Петрі та приклад їх використання для моделювання роботи виробничого обладнання при обробці деталі на дільниці механічного цеху, що складається з двох оброблюючих центрів та робота-маніпулятора.

Питання, що пов'язані з оптимізацією роботи виробничих систем, на сьогодні є досить актуальними. Це пояснюється високою інтенсифікацією сучасного виробництва, складною структурою виробничих систем, необхідністю швидкої переорієнтації виробництва на випуск нового виду продукції. В таких складних умовах необхідно мати апарат, котрий дозволив би швидко та зручно моделювати виробничу систему, перевірити її ефективність, дати відповідні рекомендації щодо оптимізації побудови системи. В даний час, коли широко використовуються сучасні швидкодіючі ЕОМ, найбільш раціональним та перспективним методам моделювання роботи виробничих систем є імітаційне моделювання, що дозволяє швидко формалізувати та обробити великі потоки інформації, котрі мають місце в сучасних виробничих системах, легко моделювати складні зв'язки між компонентами системи та виконати оптимізацію її роботи. Тому, враховуючи наведені вище фактори, поставлена задача визначення універсального апарату математичного моделювання роботи виробничих систем.

Аналіз робіт, в яких розглядаються питання моделювання роботи складних систем, показав, що серед множини різноманітних методів моделювання апарат мереж Петрі є раціональним та найбільш виправданим засобом моделювання та оптимізації роботи виробничих об'єктів [1, 2]. Цей апарат дозволяє з легкістю вирішувати питання оптимізації завантаження обладнання й зменшення часу його простою. Універсальність теорії мереж Петрі дозволяє проводити оптимізацію та моделювання систем практично будь-якої складності. Значною перевагою апарату мереж Петрі над іншими методами є простота формалізації вхідних даних.

Мережі Петрі представляють собою графічний та математичний засіб моделювання, який можна застосувати до виробничих систем самих різних типів. В якості графічного засобу мережі Петрі можуть використовуватись для наочного представлення систем, що моделюються, подібно блок-схемам, структурним схемам та мережним графікам. Поняття фішок, що вводиться в цих мережах, дозволяє моделювати динаміку систем та паралельні процеси. В якості математичного засобу аналітичне представлен-

ня мереж Петрі дозволяє складати рівняння стану, алгебраїчні рівняння та інші математичні співвідношення, що описують динаміку систем [3].

Мережа Петрі ґрунтується на 4 елементах: множина позицій P (кількість позицій в множині $n \geq 0$), множина переходів T (кількість переходів в множині $m \geq 0$), вхідна функція I (відображає перехід t_j з множини позицій), вихідна функція O (відображає перехід t_j в множини позицій) [3].

$$\begin{aligned}
 C &= (P, T, I, O) \\
 P &= \{p_1, p_2, \dots, p_n\} \\
 T &= \{t_1, t_2, \dots, t_m\} \\
 P \cap T &= \emptyset \\
 I: T &\rightarrow P^\infty \\
 O: T &\rightarrow P^\infty
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Як приклад використання мереж Петрі з метою моделювання та оптимізації роботи обладнання виробничих систем в роботі розглядається дільниця механічного цеху, що складається з двох оброблюючих центрів з ЧПК та робота-маніпулятора. На цій дільниці виконується механічна обробка партії деталей, технологічний процес виготовлення однієї деталі складається з таких операцій: заготівельна – 005; токарна – 010; фрезерна – 015; свердлильна – 020; фрезерна – 025; свердлильна – 030.

Схема мережі Петрі, що відображає роботу обладнання дільниці механічного цеху, що складається з двох оброблюючих центрів та робота-маніпулятора, при обробці партії деталей представлено на рис. 1.

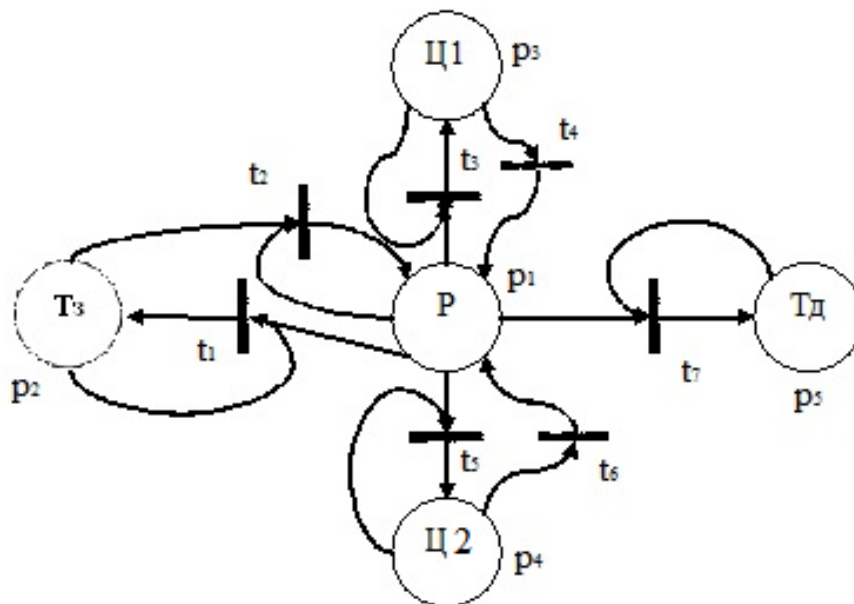


Рис. 1 Схема мережі Петрі дільниці механічного цеху, що складається з двох оброблюючих центрів з ЧПК та робота-маніпулятора.

В наведеній схемі мережі Петрі використано такі умовні позначення: T_3 – тара з заготовками; T_d – тара з обробленими деталями; Ц1, Ц2 – відповідно, перший та другий оброблюючі центри; Р – робот-маніпулятор.

Математична модель процесу обробки деталей й на дільниці механічного цеху, що представляється мережею Петрі, яка наведена на рис. 1, задана його основними характеристиками:

$$\begin{aligned}
 P &= \{p_1, p_2, p_3, p_4, p_5\}; \\
 T &= \{t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6, t_7\}; \\
 I(t_1) &= \{p_1, p_2\}; \quad O(t_1) = \{p_2\}; \\
 I(t_2) &= \{p_1, p_2\}; \quad O(t_2) = \{p_1\}; \\
 I(t_3) &= \{p_1, p_3\}; \quad O(t_3) = \{p_3\}; \\
 I(t_4) &= \{p_3\}; \quad O(t_4) = \{p_1\}; \\
 I(t_5) &= \{p_1, p_4\}; \quad O(t_5) = \{p_4\}; \\
 I(t_6) &= \{p_4\}; \quad O(t_6) = \{p_1\}; \\
 I(t_7) &= \{p_1, p_5\}; \quad O(t_7) = \{p_5\};
 \end{aligned} \tag{2}$$

Згідно зі схемою мережі кожному переходу відповідає умова, виконання якої забезпечує перехід системи в наступний стан. Наприклад, для виконання переходу t_1 є умова, що робот-маніпулятор Р (позиція p_1) може взяти заготовку з тари заготовок T_3 (позиція p_2) тільки в тому випадку, коли тара заготовок заповнена, тобто не є пустою. При виконанні цієї умови робот-маніпулятор завантажить заготівку з тари на оброблювальний центр. Перехід t_3 можливий при виконанні наступних умов: заготовка поступить на обробку тільки після того, як від оброблюючого центра Ц1 (позиції p_3) прийде інформація про те, що він вільний та підготовлений до виконання наступної операції технологічного процесу обробки деталі. В перехід t_4 закладені умови, що заготовка може рухатися далі по технологічному процесі після того, як оброблюючий центр Ц1 закінчить обробку, робот-маніпулятор вільний і зможе підійти до робочого місця Ц1 (позиції p_3) щоб забрати деталь і завантажити її на наступний етап обробки. Одночасно з роботою оброблюючого центра Ц1 аналогічні операції обробки деталей згідно з технологічним процесом виконуються на оброблюючому центрі Ц2 (позиція p_4) при виконанні умов на переходах t_5 та t_6 .

ВИСНОВКИ

На основі зазначеного умовно-подійного підходу, який є базисом апарату мереж Петрі, розроблено систему моделювання та оптимізації роботи виробничих об'єктів.

Розроблена система дозволяє здійснювати оптимізацію роботи цеху механічної обробки шляхом знаходження індивідуального маршруту пересування кожної деталі з партії по верстатам з урахуванням можливості вико-

нання поточної операції на даному верстаті. В результаті мінімізується час простою кожної одиниці обладнання, задіяного при виготовленні деталей. Як наслідок, відбувається значне скорочення виробничих витрат, що відображається на собівартості продукції та її конкурентоспроможності на ринку.

Застосування створеної системи для моделювання та оптимізації роботи ділянки цеху при механічній обробці деталі «Фланець» дозволила зменшити цикл виготовлення партії деталей з 156,6 год. (при класичній організації виробничого процесу) до 82,3 год. (при використанні організаційних даних, отриманих при використанні даної системи). Також спостерігалося суттєве скорочення часу простою кожного з робочих місць.

Отримані результати використання апарату мереж Петрі для організації процесу виготовлення продукції дозволяють вирішити поставлену задачу підвищення ефективності роботи виробничих систем шляхом максимального завантаження технологічного обладнання та покращити візуалізацію інформації про паралелізм і синхронність роботи технологічного обладнання.

Таким чином, покращення організації процесу виготовлення деталей засобами мереж Петрі призведуть до оптимального завантаження обладнання, зменшення їх простою підвищенню продуктивності виготовлення деталей, зниженню їх собівартості та зниженню матеріальних і енергетичних витрат.

ЛІТЕРАТУРА

1. Воробьев С.А. Планирование и управление дискретным производством на основе временных сетей Петри с переменной нагрузкой. [Электронный ресурс] – Режим доступа – <http://tekhnosfera.com/planirovanie-i-upravlenie-diskretnym-proizvodstvom-na-osnove-vremennyh-setey-petri-s-peremennoy-nagruzkoj#ixzz3SB9GNkHr>
2. Скородумов П.В. Моделирование технологических процессов на базе вложенных гибридных сетей Петри. [Электронный ресурс] – Режим доступа – <http://www.dissercat.com/content/modelirovanie-tehnologicheskikh-protsesov-na-baze-vlozhennykh-gibridnykh-setei-petri>
3. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем. – М: Мир, 1984. – 264 с.

УДК 658.512.01.11

Дерека Ю.В., науч. рук. Третьяк В.В. (Украина, г. Харьков, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»)

РАЗРАБОТКА ГРУППОВОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ГРУППЫ ДЕТАЛЕЙ ТИПА «БЛОК ЦИЛИНДРОВ» В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ СПРУТ ТП

В данной статье представлены возможности реализации групповых технологических процессов в системе СПРУТ ТП. Разработаны математические модели объектного описания детали, их экземпляров и маршрутного технологического процесса для детали авиационного двигателя.

Машиностроительная отрасль в условиях современной рыночной экономике требует постоянного развития, а это невозможно без внедрения на различных этапах создания готовой продукции интеллектуальных программных систем. Одной из таких, является интеллектуальная система автоматизированного проектирования и нормирования технологических процессов СПРУТ-ТП, разработанная Центром информационных технологий «СПРУТ».

Спрут ТП предназначен для автоматизированного проектирования маршрутных и операционных технологических процессов (ТП). Система позволяет описывать информационные модели изделий, формировать базы данных (БД) по ресурсам проектирования ТП, описывать знания по проектированию технологических процессов, проектировать техно-логические процессы изготовления изделий на основании введенных в систему знаний; генерировать и редактировать технологическую документацию.

Основное отличие системы СПРУТ-ТП от большинства аналогов – возможность быстрого эффективного формирования моделей деталей и групповых ТП (в том числе графическом режиме). Система позволяет использовать открытые для пользователя базы знаний.

В зависимости от наполнения системы данными и знаниями возможно достижение любого уровня автоматизации – от интерактивного до автоматического проектирования технологического процесса.

Автоматический режим реализуется за счет представления технологических знаний не в форме алгоритмов, разработка которых трудоемка и доступна лишь специалистам в области информатики, а с использованием правил, сформулированных в терминах естественного языка и понятных любому технологу.

В эксплуатации системы СПРУТ-ТП могут участвовать технологи-эксперты (в том числе не имеющие опыта программирования) разрабатывающие базы знаний [1] и технологи-пользователи, проектирующие технологические процессы на основе созданных баз знаний [2].

Таким образом, наличие технологической базы знаний позволяет сохранять и накапливать технологический опыт. Технологические докумен-

ты генерируются автоматически посредством передачи информации из базы данных результатов в соответствующие формы.

Возможна генерация собственных форм документов. Таким образом, работа с системой не требует привлечения программистов.

В статье представлена группа деталей типа «Блок цилиндров», которая была создана из трех деталей, схожих по своей конструкции (рис. 1).

Проведен анализ особенностей конструкции каждой из деталей группы. Сформирована матрица соответствиям между деталями группы. Разработаны и обоснованы схема «расцеховки» и план группового технологического процесса изготовления деталей данной группы.

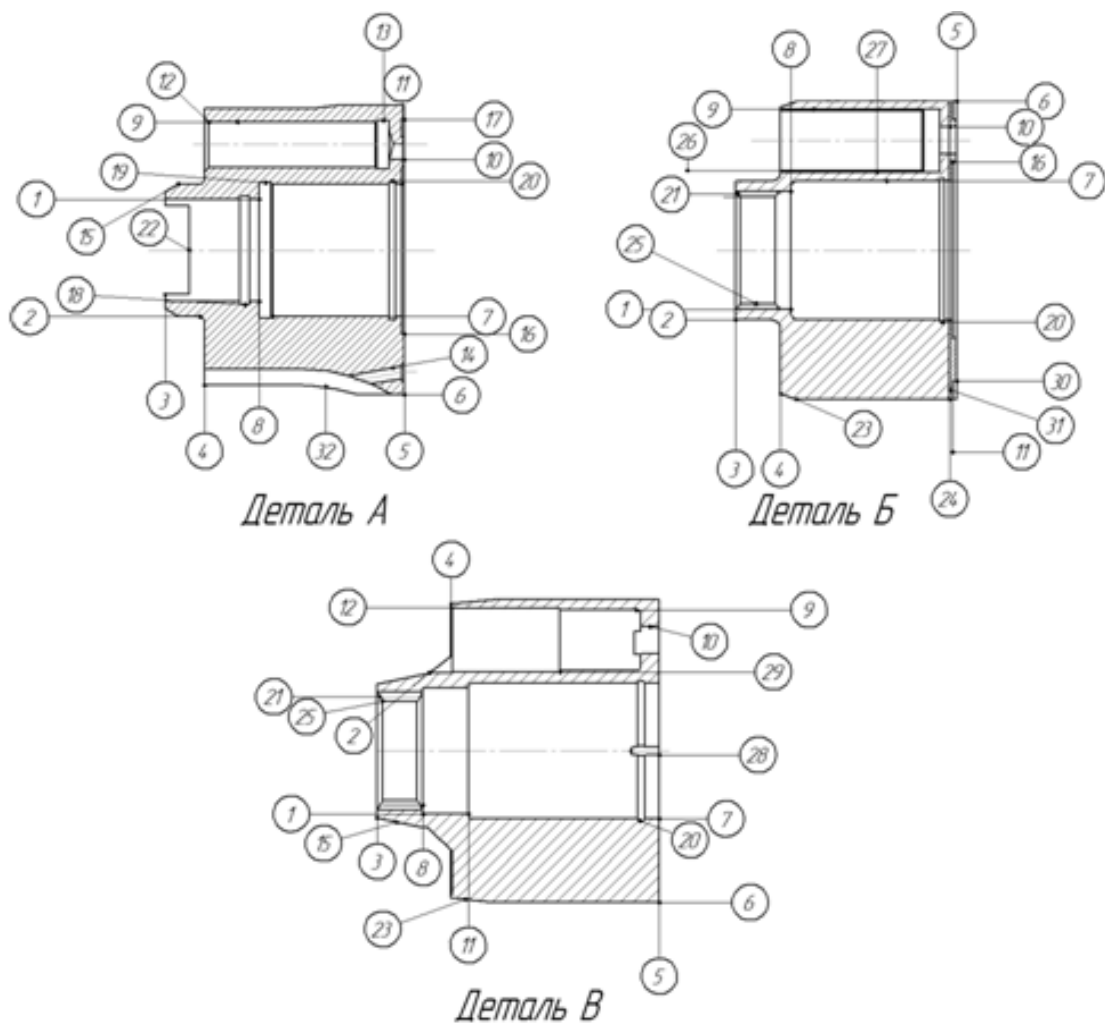


Рис. 1 Детали группы «Блок цилиндров»

Вначале проектирования необходимо описать каждую деталь группы в виде конструкторско-технологических элементов детали в виде объекта и отдельных экземпляров.

Последовательность выполняемых этапов представляется в графическом виде в виде «деревьев», в которых указывается четкая последовательность этапов обработки с указанием условий, которые в дальнейшем позволяют определить алгоритм выполнения этапов для конкретной детали группы.



Рис. 2 Создание библиотеки, объекта и экземпляров детали «Блок цилиндров» в системе СПРУТ

Последовательность выполняемых этапов представляется в виде «дерева», в котором указывается четкая последовательность этапов обработки с указанием условий, которые в дальнейшем позволяют определить алгоритм выполнения этапов для конкретной детали группы. На каждом этапе формируется так называемое «дерево операций».



Рис. 3 Этапы создания деревьев этапов и операций обработки

Для проектирования ТП необходимо выбрать один из ранее созданных экземпляров, при этом в автоматическом режиме в зависимости от параметров экземпляра формируется технологический процесс для составления данного экземпляра (рис. 4).

Реализацией этих моделей является комплект технологической документации который формируется по ранее сформированному технологическому процессу для каждого экземпляра (рис. 5).

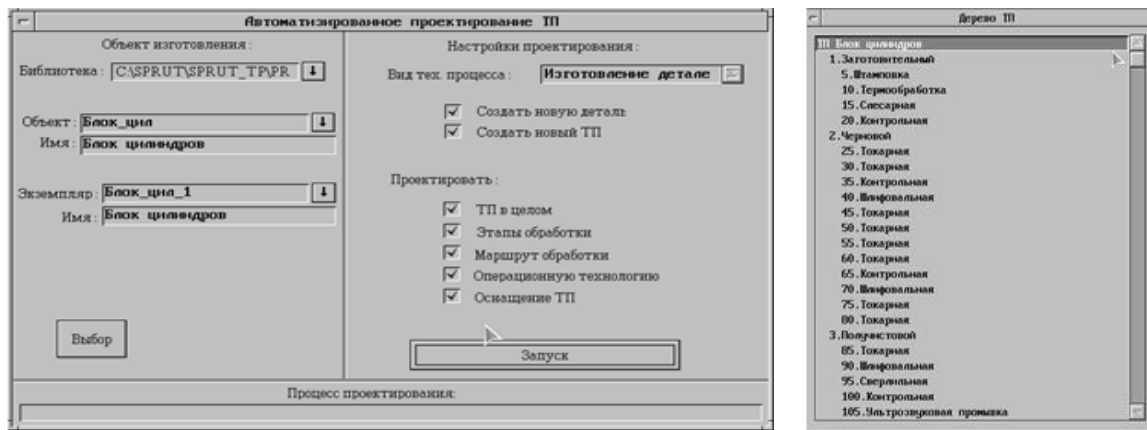


Рис. 4 Автоматизированное проектирование ТП

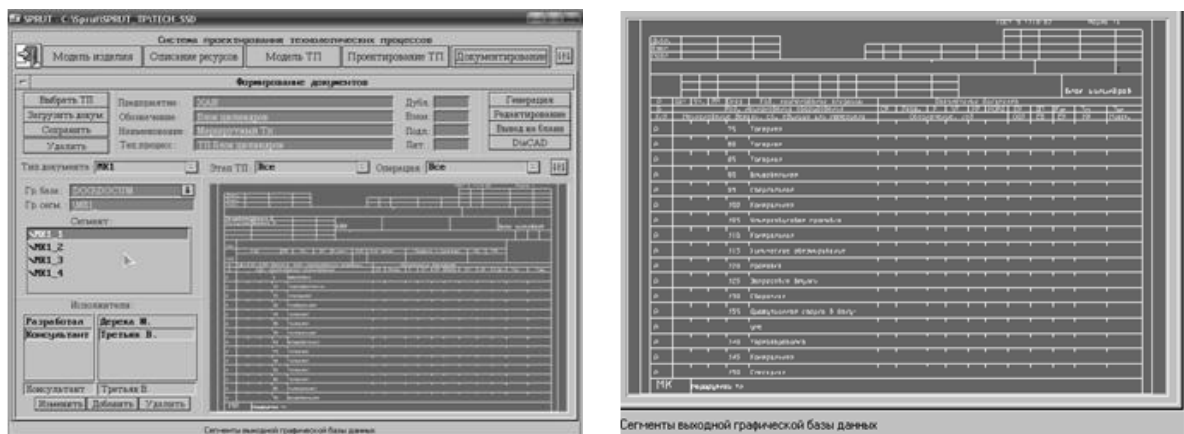


Рис. 5 Формирование и просмотр технологической документации

ВЫВОДЫ

В интеллектуальной системе СПРУТ ТП разработан перспективный групповой технологический процесс изготовления группы деталей авиационного двигателя типа «Блок цилиндров».

Система показала себя простой в освоении и использовании, наглядной и удобной для построения групповых ТП. Удобное расположение панелей в окнах системы, широкий набор функций и управления их параметрами позволяет формировать оптимальный план ТП изготовления деталей различных видов, геометрии и материалов для различных видов обработки. На основании разработанного группового ТП можно сделать вывод о возможности быстрой и эффективной разработки технологического процесса и генерации технической документации с учетом индивидуальных параметров детали.

Данная разработка демонстрирует возможности интеллектуальной системы как перспективной и конкурентоспособной в применении ее возможностей особенно на подготовительных этапах в машиностроительной отрасли.

ЛИТЕРАТУРА

1. Интеллектуальная система проектирования и нормирования технологических процессов СПРУТ-ТП. Руководство эксперта. – М.: Центр СПРУТ-Т, 2000. – 74 с.
2. Гранин В.Ю. Проектирование технологических процессов в интеллектуальной системе «СПРУТ-ТП». Учебное пособие / В.Ю. Гранин, С.В. Худяков, В.В. Третьяк. – Харьков: Национальный аэрокосмический университет «ХАИ», 2002. – 67 с.

УДК 621.9.06.001.4

Евсюкова Д.Ю., Коваленко В.И., науч. рук. Ларшин В. П., Лищенко Н.В. (Украина, г. Одесса, ОНПУ, ОНАПТ)

ПЛАНИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ДИНАМИКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ РЕЗАНИЯ

Приведена методика планирования эксперимента на основе получения информации от современных датчиков виброускорения и акустического сигнала, которые могут быть использованы в компьютерной системе технологической диагностики процессов резания и шлифования.

Возможность получать информационные сигналы в реальном времени работы технологического оборудования, оснащенного измерительной системой NI-DAQmx с программным обеспечением NI-LabVIEW, позволяет выявить влияние режимных параметров обработки на виброхарактеристику упругой системы металлорежущего станка [1]. Экспериментальные исследования проводили на станке мод. 500 V/5 (обрабатывающий центр) при фрезеровании специальных призматических образцов из конструкционной стали марки Ст.3 (рис. 1).



Рис. 1 Расположение вибродатчиков AP 2019 (по осям z и x) на призматическом образце (слева) и настройка на выполнение рабочего хода фрезерования (справа) на станке мод. 500 V/5

Фреза из быстрорежущей стали P6M5 диаметром 18 мм, исследованы 4-х и 6-ти зубовые концевые фрезы. План проведения двух двухфакторных экспериментов позволяет установить влияние режимных параметров фрезерования на информационный сигнал, представляющий собой изменение во времени площади под спектрограммой сигнала виброускорения.

Эксперимент проводился при размещении одного из трёх вибродатчиков (вибродатчик y) на шпинделе станка с ориентацией по оси x , а также двух других вибродатчиков – на обрабатываемой заготовке по осям x и z . Одновременно записывали виброакустические колебания с помощью из-

мерительного микрофона [2] SPL Lab USB RTA meter (на рисунке 1 микрофон не показан). Устанавливали влияние на уровень вибросигнала режимных параметров фрезерования при частоте вращения шпинделя 950 мин^{-1} (рис. 2): продольной подачи (или подачи на зуб фрезы в интервале $0,15 \dots 0,3 \text{ мм/зуб}$) при глубине резания $0,5 \dots 1,0 \text{ мм}$.

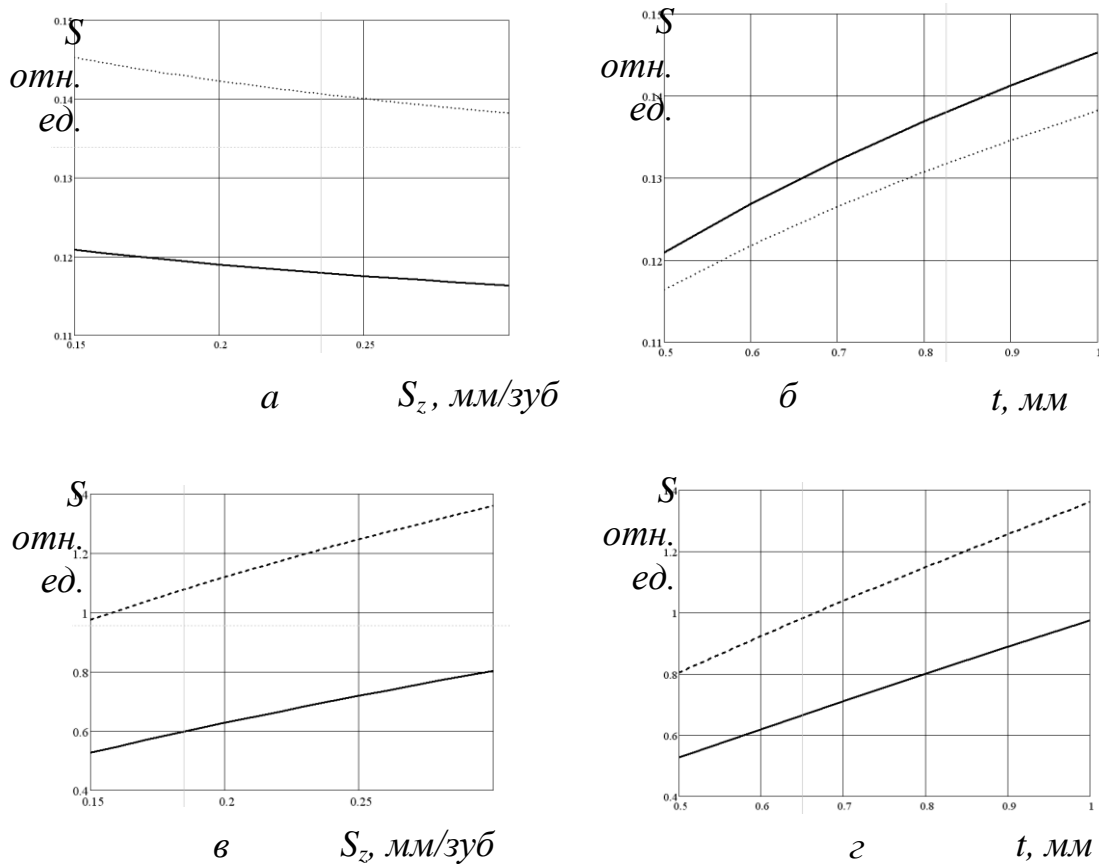


Рис. 2 Влияние подачи на зуб (*a, в*) и глубины резания (*б, г*) на уровень сигнала виброколебаний (*a, б*) и сигнала звукового датчика (*в, г*), соответственно

Видно, что увеличение подачи на зуб приводит к уменьшению сигнала виброускорения и к увеличению звукового сигнала. Увеличение глубины резания приводит к увеличению уровня обоих сигналов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Измерения в LabVIEW . Руководство по применению. Part Number 322361B-01, April 2003 Edition / Учебный центр «Центр технологий National Instruments, 2006.
2. USB RTA Meter (Pro Edition) – измерительный USB микрофон для анализа АЧХ [Электронный ресурс] / Компания Spl-Lab. – Режим доступа: <http://spl-lab.ru/ru/products/usb-rt-meter-pro-edition.html> (англ.). – 09.07.2014.

УДК 621.9

Емец В.В., науч. рук. Ковалевский С.В. (Украина, г. Краматорск, ДГМА)

ОСОБЕННОСТИ ПРИВОДНЫХ МЕХАНИЗМОВ ПОДВИЖНЫХ ШТАНГ ГЕКСАПОДА

Рассмотрены особенности высокоточных приводных механизмов, которые могут быть использованы в станках с параллельной кинематикой типа «трипод» и «гексапод». Определены требования к штангам гексапода и трипода влияющие на качество изготавливаемой продукции. Рассмотрены варианты механизмов штанг.

Перед станкостроителем всегда будет стоять задача – создание металлорежущих станков, отвечающих современным требованиям машиностроения и всего народного хозяйства.

Современные станки представляют собой конструкцию, сочетающую основание – массивную станину, на которой неподвижно крепится резец, заготовку, закрепленную в патроне шпинделя или в центрах передней и задней бабки, и суппорт, позволяющий подавать детали автоматически или в ручном режиме [1]. Следовательно, требуется создание станков высокой производительности, точности и экономичности. Привода штанг должны обеспечивать:

- высокую точность отработки заданного закона движения;
- высокую жесткость;
- высокую дискретность перемещения.
- повышенная производительность за счет бесперебойности обработки;
- невысокая стоимость;
- возможность выполнять монотонную, циклическую работу.
- быстрое действие, качество и точность обработки.
- не требует перерывов.
- практически не нуждается в отдыхе.

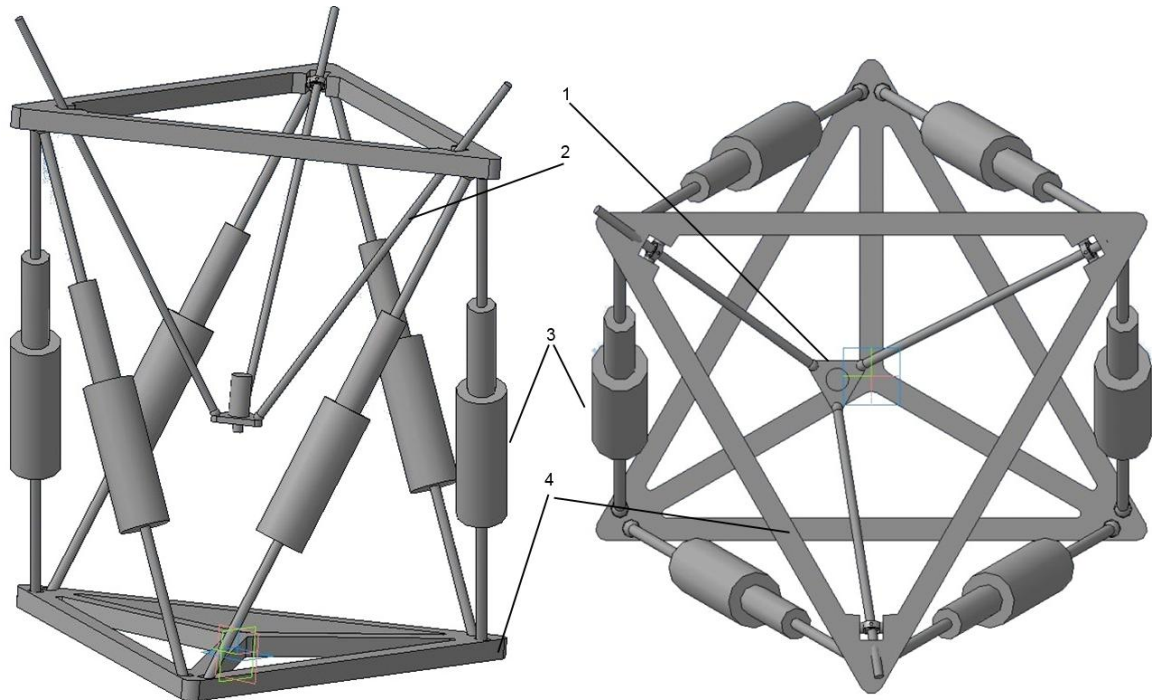
Наиболее известными линейными передачами являются:

- пневмо-, гидроприводные;
- электроприводные;
- передача винт-гайка;
- роликвинтовая передача (РВП) [2];
- шариковинтовая передача (ШВП) [3];
- волновая винтовая передача (ВВП) [4];
- упругая система перемещения (УСП) [5].

В настоящее время всё большее предпочтение отдается электромеханическим приводам. Это вызвано следующими его достоинствами: уни-

версальность; простота устройства; легкость; возможность работы в экстремальных внешних условиях.

Принципиальная конструкция станка-робота, на основе которой проведен анализ приводов штанг, представлена на рис. 1.



1 – фрезерный шпиндель; 2 – штанга трипода; 3 – штанга гексапода; 4 – рама (верхняя и нижняя части)

Рис. 1 Принципиальная конструкция станка-робота

Гексаподы рассматриваются как альтернатива современным 5-ти координатным станкам. Что касается жесткости конструкции, то большее количество штанг обеспечивает большую жесткость системы. [6, 7]

Для обеспечения работоспособности гексапода необходимо иметь такую конструкцию штанг, которая бы обеспечивала управление точностью, позиционированием, усилием каждой из штанг гексапода (рис. 1 поз. 3) и трипода (рис. 1 поз. 2) в зависимости от линейных размеров других 5-ти и 2-х штанг соответственно [6].

В конструкции рис. 1 рассмотрены два варианта конструктивного исполнения штанг: поз. 3 – штанга гексапода и поз. 2 – штанга трипода. Т.е. принципиальная конструкция данного станка-робота является совмещением гексапода, как рамы станка-робота, и трипода, который управляет положением рабочего органа.

Одним из вариантов конструктивного исполнения подвижной штанги является использования гидроцилиндра двухстороннего действия для настройки размера штанги, а также использования гидропластовой «зажимной втулки» для фиксации штока гидроцилиндра и его более точного позиционирования нарушаемого вследствие его осевых смещений под действием нагрузки от трипода во время обработки [8].

Конструктивним исполнением штанги трипода можно предложить использования шарико-винтовой пары (ШВП), получающую настройку через червячный редуктор (ЧР) от шагового двигателя (ШД). Червячный редуктор является подобием механизма заклинивания ШВП, а также способствует дискретности перемещения штанг. Шаговый двигатель обладает высоким крутящим моментом, что хорошо сказывается на сокращении времени настройки штанг в процессе обработки заготовок.

ВЫВОДЫ

Т.к. в наше время наибольшее предпочтение отдается электромеханическим приводам, учитывая их универсальность; простота устройства; легкость; возможность работы в экстремальных внешних условиях, то одним из вариантов привода подвижной штанги целесообразно использовать электромеханический привод для управления рабочим органом.

Для настройки механизма возможно к применению в приводе подвижной штанги использовать гидропривода с фиксацией штока.

Рассмотрев перечень механизмов представленных в литературе, в дальнейшей перспективе можно советовать к использованию в линейных приводах передач типа ШВП, ВВП, РВП и УСП.

ЛИТЕРАТУРА

1. Черпаков Б. И., Альперович Т. А. *Металлорежущие станки. Учебное пособие* – М.: Академия, 2003 – 368 с.
2. Пат. РФ № 2451220. F16H 25/22//F16B 33/02. Планетарная роликвинтовая передача с модифицированной резьбой роликов / Д. А. Блинов, В. И. Маф-тер, А. Я. Ляпунов и др. Оpubл. 20.05.2012, Бюл. № 14.
3. Пат. США № 1831080. Шариковинтовая передача / Б. Ф. Шмидт. Оpubл. 10.11.1931.
4. Пат. США № 29779964. Прецизионный линейный привод / К. В. Массер. Оpubл. 18.04.1961.
5. Пат. США № 5969892. G02B 7/182. Редуктор с гибкой структурой / Р. Б. Слешер. Оpubл. 19.10.1999.
6. Кузнецов Ю.Н. Концепция гибридных компоновок станков с параллельной кинематикой на модульном принципе / Ю.Н. Кузнецов, Д.А. Дмитриев // Труды международной научной конференции "Technologies and Systems TechSys'2009", Пловдив (Болгария), Journal of the Technical University Sofia, branch Plovdiv "Fundamental Sciences and Applications". – 2009. – Vol. 14. – С. 19–36.
7. Глазунов, В.А. *Пространственные механизмы параллельной структуры: учебное пособие* / В.А. Глазунов, А. Ш. Колискор, А.Ф. Крайнев. – М.: Наука, 1991. – 94 с.
8. <http://www.ngpedia.ru/id642563p1.html>

УДК 621.9.047

Есаулова Ю.Р., науч. рук. Ласкин В.М. (Украина, г. Днепропетровск, НМетАУ)

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ИЗНОШЕННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТРЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ОБРАБОТКИ

Застосування електроерозійної обробки для відновлення зношених поверхонь тертя. Розроблено технології відновлення зношених поверхонь тертя на базі електроерозійного зміцнення й чистової обробки алмазним вигладжуванням і полімерабразивним інструментом.

Качество поверхности оказывает значительное влияние на эксплуатационные свойства деталей. Известно, что 80...85% машин выходит из эксплуатации в результате изнашивания деталей, и только 15...20% – по другим причинам. На величину и интенсивность износа поверхностей в подвижных сопряжениях машин непосредственное влияние оказывает шероховатость, а на износостойкость трущихся поверхностей оказывает влияние расположение поверхностей. При сочетании поверхностей, имеющих одинаковое направление неровностей при их перпендикулярном направлении к движению, износ достигает максимального значения, а поверхности, имеющие произвольный микрорельеф, благодаря наличию углублений, обладают лучшей теплоотдачей, позволяют разместить больше смазки и лучше её удерживать, что способствует уменьшению износа.

В машиностроении широко применяются различные методы получения износостойкого поверхностного слоя деталей, работающих в условиях трения. К основным методам относятся: термообработка, различные виды химико-термической обработки, физико-термическая, химическая обработка, пластическое деформирование, напыление износостойких соединений, наплавка легированным элементом, различные электрофизические методы, в том числе и электроэрозионное упрочнение (ЭЭУ), комбинированные методы. Указанные методы позволяют упрочнять поверхностный слой деталей, работающих в условиях трения, а в сочетании с чистовой обработкой упрочнённых поверхностей позволяют повышать его износостойкость. Однако полностью устранить износ трущихся поверхностей невозможно, поэтому возникает необходимость восстанавливать изношенные поверхности ценных ответственных деталей, так как изготовление новых деталей (или их закупка) при ремонте машин и изделий может оказаться значительно дороже их восстановления. Одним из наиболее простых и доступных методов, который можно использовать для восстановления поверхностей является электроэрозионный. При данном методе достигается большая прочность сцепления легируемого материала с материалом основы, происходит упрочнение обрабатываемой поверхности, оборудование просто по конструкции и удобно в эксплуатации. В ра-

ботах [1-3] рассмотрены вопросы повышения сплошности покрытия, снижения шероховатости легированной поверхности и чистовой обработки упрочненных поверхностей для вновь изготавливаемых деталей. Однако с точки зрения применения данных методов для восстановления изношенных поверхностей трения данные методы изучены мало.

Целью данной работы является изучение технологических возможностей применения электроэрозионного упрочнения и последующей чистовой обработки для восстановления изношенных поверхностей трения и разработка интегрированных технологических процессов восстановления поверхностей.

Для большинства деталей, подвергаемых восстановлению электроэрозионным методом необходимо осуществлять предварительную обработку поверхностей от продуктов коррозии, окислов, грязи и т.п.

Наиболее простым, не требующем специального оборудования и химической обработки (экологически чистым), способом, не разрушающим обрабатываемую поверхность, является обработка эластичными металлическими проволочными кругами с диаметром проволоки 0,2-0,3 мм. Такие круги позволяют обрабатывать плоские, наружные и внутренние цилиндрические, конические и фасонные поверхности используя только универсальные станки и инструменты. Также особенностью данного инструмента является его способность обрабатывать даже труднодоступные места. Особенно актуально применение данного инструмента для предварительной обработки внутренних поверхностей глубоких отверстий, где доступ других инструментов значительно затруднен. При этом проволочный круг закрепляется в цанге, установленной в штанге или закреплённой на гибком валу.

После операции предварительной обработки выполняются несколько операций электроискрового легирования. При этом для обработки наружных цилиндрических поверхностей целесообразно применение роторных головок (рис. 1), которые позволяют значительно повысить производительность обработки, сплошность покрытия, механизировать процесс электроэрозионного упрочнения. Роторная головка легко устанавливается на суппорте токарного станка и подключается к генератору.



Рис. 1 Роторная головка для ЭЭУ наружных цилиндрических поверхностей

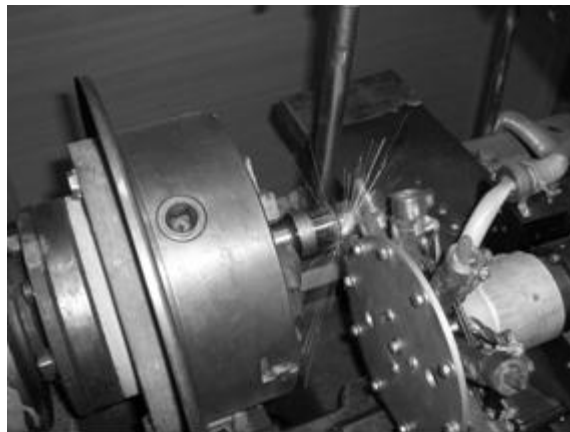


Рис. 2 Процесс нанесения твердого сплава на поверхность оправки

Конструкция роторной головки предусматривает установку в ней 10 подпружиненных электродов призматической формы. При обработке головке задаётся вращение в том же направлении, что и для заготовки, а также сообщается продольная подача. При этом скорость вращения заготовки должна составлять 1,5-2,0 м/мин, а продольная подача роторной головки 0,2-0,4 мм на оборот заготовки. Таким образом, достигается сплошность покрытия около 95%. Фотография нанесения слоя твердого сплава на поверхность оправки представлена на рис. 2.

Как было ранее отмечено, нанесенный слой легирующего материала имеет сравнительно небольшую глубину (до 0,1 мм). Кроме того, не все материалы образуют твердые растворы между собой. Поэтому при восстановлении деталей из легированных сталей целесообразно вначале легировать никелем за 1-2 прохода, а затем твердым сплавом ВК8 также за 1-2 прохода. Как показали экспериментальные исследования [2, 3], применение большего количества проходов увеличения глубины легируемого слоя не дает, а наоборот приводит к его разрушению. Однако после операции электроэрозионной обработки возникает нагар, окисные пленки и шлаки, препятствующие последующему легированию. В связи с этим возникает необходимость удалять их с обработанной поверхности, не разрушая при этом нанесенный слой, особенно после легирования никелем, т.к. никель, будучи пластичным материалом, "плывет" и легко удаляется с обработанной поверхности даже при небольших усилиях. В результате проведенных исследований было установлено, что применение эластичных полимерабразивных кругов позволяет достаточно эффективно удалять окисные пленки, шлаки и нагар, не нанося значительных повреждений легируемого слоя. После легирования твердым сплавом более эффективно применение эластичных металлических проволочных кругов с диаметром проволоки 0,15-0,2 мм. Данные способы обработки позволяют также осуществлять контроль за сплошностью покрытия обрабатываемой поверхности легирующим материалом.

После окончания операции электроискрового легирования необходимо осуществлять чистовую обработку восстановленной поверхности с целью снижения шероховатости. В качестве метода для чистовой обработки применяется алмазное выглаживание [3, 4] и притирка. Фотография процесса выглаживания представлена на рис. 3. При этом кроме снижения шероховатости легированной поверхности происходит уточнение геометрической формы поверхности и увеличение твердости поверхностного слоя детали. Как показывают исследования, после алмазного выглаживания легированных поверхностей достигается шероховатость до Ra 0,63 мкм. При необходимости дальнейшего снижения шероховатости поверхности возможно применение полирования алмазными пастами с зернистостью 40 и 25 мкм. Фотография полированной детали представлена на рис. 4.



Рис. 3 Процесс выглаживания оправки



Рис. 4 Фотография обработанной детали

ЛИТЕРАТУРА

1. А.Г. Бойцов, В.А. Смоленцев, Л.А. Хворостухин Упрочнение поверхностей деталей комбинированными способами. М.: Машиностроение. – 1991. – 144с.
2. Проволоцкий А.Е. Повышение качества поверхностей, обработанных электроискровым методом // Электронная обработка материалов. – 1988. – №2. – С. 83–84.
3. Проволоцкий А.Е. Негруб С.Л., Ласкин В.М. Использование возможностей эластичных кругов при обработке поверхностей после электроискрового упрочнения
4. Б.А. Эйзнер О формировании шероховатости поверхности при электроэрозионном методе обработки // Электронная обработка материалов. – 1988. – №2.

УДК: 544.772.4:533.697.3

Єременко Р.О., наук. кер. Мочалін Є.В. (Україна, м. Київ, НАУ)

ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ГАЗОДИНАМІКИ ВИХРОВОГО МЛИНА ТИПУ «ГАЗОВА ФОРСУНКА»

На основі чисельного моделювання показано вплив обраної моделі турбулентності на середні показники тиску та швидкості а також картину течії робочого середовища у подрібнювальній камері вихрового млина типу "газова форсунка" за різних початкових умов швидкості.

Вихровий млин (ВМ) являє собою універсальну подрібнювальну установку, що має значний потенціал у промисловому застосуванні. Її сутність полягає у низькошвидкісному ударному подрібненні матеріалу під час багаторазових зіткнень частинок зі стінкою камери. У ВМ ефективно подрібнюються крихкі та пластичні матеріали: полімерні відходи, стружка кольорових металів, тирса, тальк, крохмаль, цукор. Можливе руйнування структурних елементів у рідкому середовищі (клітини мікроорганізмів, емульсії, суспензії), тощо [1].

Одним із перспективних напрямків застосування ВМ є порошкова металургія, що має місце і у авіа-космічній техніці, дозволяючи створювати унікальні за характеристиками сплави, наприклад, на основі алюмінію, що відрізняються високою надійністю та жаростійкістю. Встановлено, що композиційні алюмінієві матеріали при температурах 300–500°C мають кращі показники міцності та повзучості, аніж усі промислові алюмінієві сплави [2].

Так як, на даний момент, найпоширеніші технології отримання алюмінієвого порошку базуються на розпиленні розплавленого алюмінію в атмосфері інертного газу, або шляхом розмелювання алюмінієвих частинок у кульових млинах з додаванням інертного газу, то має сенс розглянути шлях отримання алюмінієвого порошку у млині, що використовує інертний газ у якості робочого тіла (необхідність використання інертного газу зумовлена вибухонебезпечністю алюмінієвого порошку).

Ця задача вимагає попередніх розрахунків і узгоджень характеристик та режимів роботи майбутньої установки на етапі проектування, і хоча на сьогоднішній день існує багата різноманітність конструкцій ВМ, наприклад [1, 3], відсутня повноцінна теоретична база для розрахунку та проектування вихрових камер ВМ. Проте, за наявності сучасних методів комп'ютерного розрахунку та моделювання ця задача частково спрощується.

В основу даного дослідження було покладено роботу [4], в якій приводяться методи розрахунку камери, принципова конструкція якої приведена у [1], проте вона містить у собі ряд певних спрощень:

- повітря розглядається як нестисливе середовище, так як швидкість потоку дозвукова;
- колова швидкість повітря значно перевищує радіальну швидкість та швидкість частинок;

– вважається що всі частинки в камері, незалежно від їх розміру та форми, рухаються в площині, що перпендикулярна її вісі, по траєкторіям однакової форми, з рівним розподілом по азимуту та висоті;

– частинки, що поступають в камеру, миттєво виходять на стаціонарну траєкторію. Ділення відбувається по каскадному механізму. Відведення подрібнених частинок вважається миттєвим. Тому процес подрібнення в камері вважається стаціонарним.

Сучасні методи чисельного моделювання дозволяють розглядати значно більш загальну постановку без багатьох з перелічених вище обмежень.

Метою дослідження є створення моделі ВМ, що дозволить оцінити основні параметри установки, створити рекомендації щодо проектування ВМ, дослідити можливі перспективні конструктивні рішення для покращення характеристик ВМ. Дана робота містить порівняння результатів чисельного моделювання течії робочого середовища у подрібнювальній камері ВМ типу “газова форсунка”, за принциповою схемою [1].

Для моделювання течії газу в камері ВМ було застосовано пакет безкоштовних бібліотек та утиліт OpenFOAM (the Open Source Field Operation and Manipulation) версії 3.0+. Геометрія вихрової камери в першому наближенні будується за принциповою схемою [1], з тангенціальним однональним підведенням газу (рис. 1). Розглядається течія у дозвуковому режимі, тому стисливістю газу нехтуємо. Розраховуватиметься лише та область, де, безпосередньо, відбуватиметься подрібнення частинок. Додатково

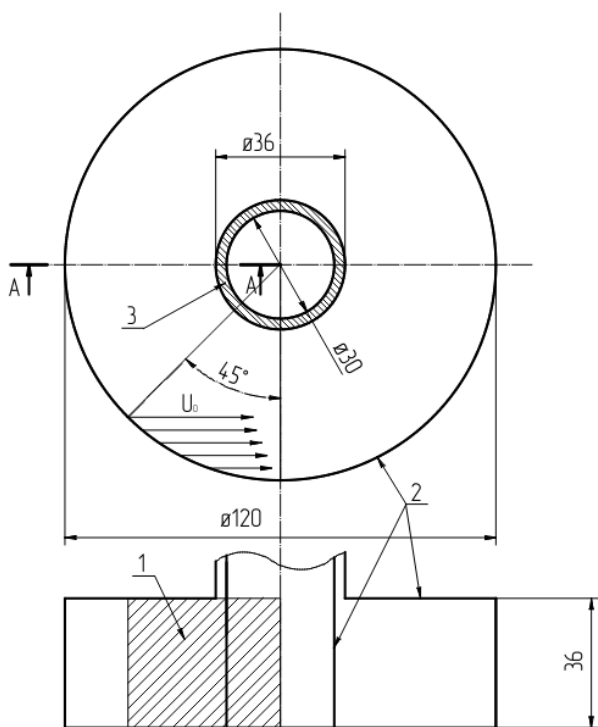


Рис. 1 Схема розрахункової області

ве подовження розрахункової сітки в осьовому напрямку зумовлене необхідністю коректного моделювання параметрів турбулентності закрученого потоку у випадку наявності зворотніх течій.

Течія в області приймається нестационарною, тому використовується вирішувач з великим кроком по часу *rimpleFoam*. Для замикання рівнянь Рейнольдса скористаємось моделями турбулентності *k-epsilon* та *Lauder Reese Rodi (LRR) RSM*, а отримані результати порівняємо між собою.

Розрахункова область схематично зображена на рис. 1. Граничні умови задано у наступному порядку:

нумеру порядку:

1 – гранична умова входу:

nut calculated
 k fixedValue
 p zeroGradient
 epsilon fixedValue
 U fixedValue
 2 – гранична умова стінки:
 nut nutkWallFunction
 k kqRWallFunction
 p zeroGradient
 epsilon epsilonWallFunction
 U fixedValue
 3 – гранична умова виходу:
 nut calculated
 k inletOutlet
 p fixedValue
 epsilon inletOutlet
 U pressureInletOutletVelocity

У результаті чисельних розрахунків для вхідної швидкості потоку $U_0 = 15, 25, 35$ м/с, окремо для моделі турбулентності k-epsilon та LRR RSM були отримані наступні значення середньої величини перепаду тиску по області та середньої швидкості в камері (рис. 2), а також картина течії у перерізі А-А (див. рис. 1) на якій порівняно вплив вибору моделі турбулентності (рис. 3):

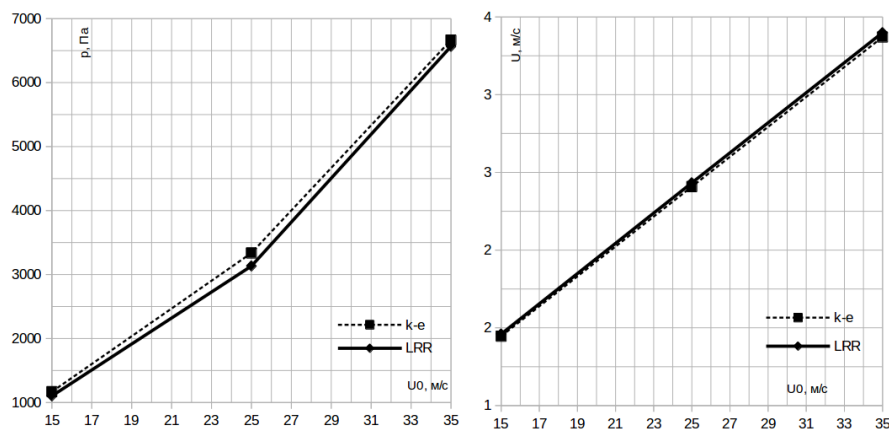


Рис. 2 Середні показники перепаду тиску та швидкості в камері

k-Epsilon

LRR RSM

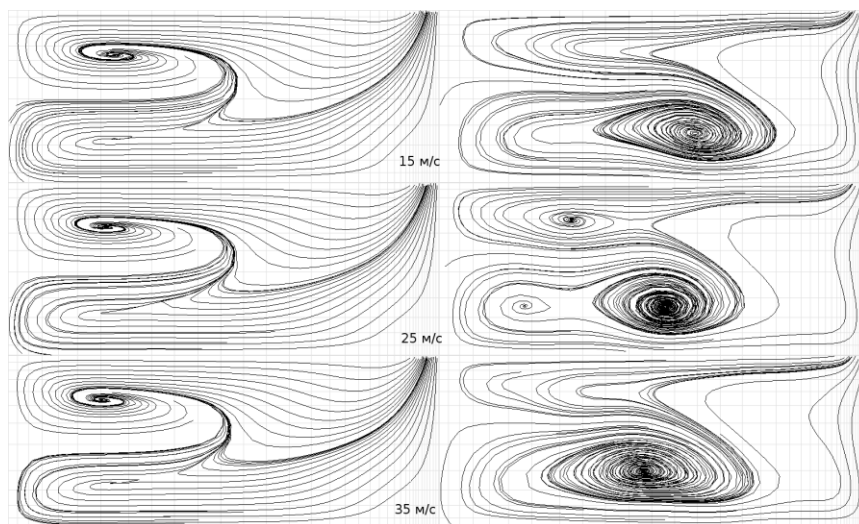


Рис. 3 Картини течії в перерізі А-А

Моделювання показало, що різниця між середніми значеннями перепаду тиску по області та середніми швидкостями в камері є незначною при використанні вищезазначених моделей турбулентності, проте, значною мірою змінюється картина течії у характерному перерізі камери. Більш детальну картину течії дав розрахунок з використанням моделі турбулентності LRR, так як вона додатково розраховує тензор напружень Рейнольдса. У даній постановці не спостерігались зворотні течії, характерні для розрахунків закручених потоків, так як в центрі камери був незначний надлишковий тиск.

Подальшим кроком є оцінка руху твердих частинок в у полі швидкостей розвинутої течії, підбір параметрів камери та частинок.

ЛІТЕРАТУРА

1. Правдина М., Вихревая мельница [Электронный ресурс] / М. Правдина. – Режим доступа: <http://www.itp.nsc.ru/Institute/Priklad/Priklad07.htm>. – 14.03.2016.
2. Арзамасов, Б. Н. Конструкционные материалы [Текст] / Б. Н. Арзамасов. – М.: Машиностроение, 1990. – 687 с.
3. Пат. 2537497 Российская Федерация, МПК В02С13/00 В02С19/00. роторно-вихревая мельница тонкого помола / Ступко Т. В., Невзоров В. Н., Костылев А. А. Заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Красноярский государственный аграрный университет". Но: 2537497. Заявлено 08.11.2012. Опубл. 10.01.2015.
4. Правдина М.Х. Моделирование аэродинамики и измельчения в вихревой камере: автореф. дис. докт. техн. наук: 01.02.05 / Правдина Маргарита Хаймовна. – Новосибирск, 1994. – 29с.

УДК 629,7.014-519 (043,2)

Жимбровський Ю.О., Саган І.Б., наук. кер. Антонов В.К., Олєфір О.І (Україна, м. Київ, Національний авіаційний університет)

ЛІТАЛЬНИЙ АПАРАТ ІЗ ЗАМКНЕНИМ КРИЛОМ

Розглянуто компоновку та конструкцію безпілотного літального апарату із замкненим типом крила.

Із розвитком авіації висуваються все жорсткіші вимоги до масових характеристик, та характеристик стійкості і керованості літальних апаратів.

Компоновка літального апарату із замкнутим крилом має кращі масові характеристики, та характеристики стійкості і керованості, чим літальний апарат із класичною аеродинамічною схемою.

Оцінимо деякі характеристики аналогів літаків із замкненим крилом, які наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Порівняння VA-1 і JW-1

Параметри	VA-1	JW-1
Стріловидність переднього крила	30°	30,5°
Стріловидність заднього крила	-30°	-32°
Кут поперечні V-подібності переднього крила	7,5°	5°
Кут поперечні V-подібності заднього крила	-15°	-20°
Подовження крила	12,7	11,25
Місце з'єднання крил (% розмаху крила)	54%	60%
Відносна площа елевонів	0,44	0,3
Число Re	$3,14 \cdot 10^5$	$1 \cdot 10^6$
Статичний запас стійкості	0,4	0,35
Відносна хорда поверхні керування (% хорди крила)	28% (38% для руля висоти)	20%

Геометрії крил VA-1 і JW-1 подібні. Але в JW-1 оптимізована аеродинамічна кривка крила, і крила в місцях стику більш віддалені одне від одного, що зменшує індуктивний опір, і поліпшує стабільність.

В Національному авіаційному університеті працює ініціативна група із числа викладачів та студентів, загальною кількістю понад двадцять осіб. Партнером нашої групи є «СПД Кисельов Я.Ю.», що є постачальником бортового обладнання. Об'єктом досліджень є нові компоновки літальних апаратів. Головним об'єктом досліджень є розробка і побудова безпілотного літака із замкнутим крилом, переважним використанням якого розглядаються застосування для вирішення екологічних задач. Також літак призначається для проведення дослідів побудови систем керування, що забезпечують задану якість перехідних процесів. Ще розгляда-

ються питання обробки даних польотних випробувань. А особливо увага приділяється побудові тренажерного комплексу що дозволяє значно спростити процес ручного управління, відтворити режими автоматичного управління на всіх етапах польоту, від стоянки до зупинки, в тому числі польоту за заданим в плані маршрутом. Запропонована система посадки в автоматичному або командному режимі. Розроблено програмне забезпечення що дозволяє моделювати процеси руху на всіх режимах. Застосовується електродистанційна система керування.

Поздовжня стійкість літака забезпечується за рахунок різних кутів установки передніх і задніх консолей крил. Також їй сприяє наявність скосу потоку від передніх консолей на великих кутах атаки. Бокова стійкість забезпечується за рахунок різних за знаком кутів стріловидності передніх і задніх консолей крил. Наприклад при додатному куті ковзання на передній правій і задній лівій консолях підйомна сила збільшується, а на передній лівій і задній правій зменшується. Таким чином при польоті із ковзанням, зокрема за наявності бокових вітрових збурень, зменшується момент відносно повздовжньої осі літака у порівнянні із літаком класичної конструкції із стріловидним крилом. Ці позиції використовувалися у якості вихідних при побудові літака. З метою їх підтвердження побудовано легку модель планера випробування якої підтвердили правильність вихідних посилок. Ескіз даного літака наведений на рис. 1.

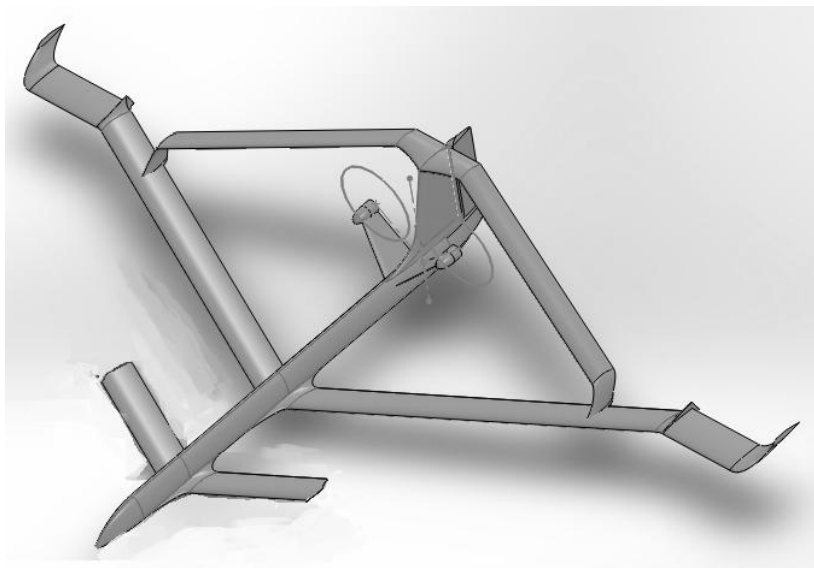


Рис. 1 Ескіз безпілотного літального апарату із замкненим крилом.

Перевагою замкнутого типу крила перед монопланом є те, що його маса зменшується, при тій самій міцності за рахунок роботи крила в основному не на згин (коли крило працює як консоль), а на розтягання-стискання (коли нижнє крило розтягується, а верхнє стискається).

Управління літаком здійснюється з використанням аеродинамічних рулів і тяги двигунів. На кінцях передніх крил розташовані поворотні закінцівки (елевони). Вони мають осьову компенсацію. Їх відхилення приводить до створення поперечного чи повздовжнього моменту, тобто вони ви-

користуються за подвійним призначенням – для керування в повздовжній і поперечній площинах. Кіля обладнано рулем напрямку який зокрема може мати рогову компенсацію. В носовій частині фюзеляжу міститься додатковий аеродинамічний руль. Він має декілька ступенів вільності. Руль створює керуючі моменти відносно всіх трьох зв'язаних осей літака. Таким чином він повторює функції керованих закінцівок крил і руля напрямку. Він працює за схемою «утка». Одночасне відхилення за кінцівок крила і руля «утка» створює додаткову підйомну силу, або момент відносно зв'язаних осей літака. Таким чином здійснюється автономність управління кутовим і поступальним рухом.

Розмах крила приблизно $L_{кр}=6$ м; середня аеродинамічна хорда $b_{сах}=0,2$ м; довжина фюзеляжу $L_{ф}=3,5$ м.

Дослідний екземпляр літака обладнується двома електричними двигунами, це дещо зменшує час польоту і його дальність, але суттєво спрощує експлуатацію дослідного зразка.

Фюзеляж має конструкцію напівмонокок, в ньому можна розмістити корисне навантаження. Фюзеляж обладнаний технологічними люками що полегшує його обслуговування. Носовий приладний блок виготовлений з композитного матеріалу кафедрою технічної механіки нашого університету під керівництвом професора Астаніна В.В. При його виготовленні використані нові наукові технологічні підходи розроблені завідувачем кафедри технічної механіки. Конструкція літака має вагу не більше 10 кілограм. При питомому навантаженні на крило (за повною площею) $P=40$ Па площа крила:

$$S_{кр} = \frac{m_0 \cdot g}{P} = \frac{10 \cdot 9,81}{40} \approx 2,45 \text{ м}^2$$

ВИСНОВКИ

Виготовлена модель для визначення аеродинамічних характеристик, та характеристик керованості та стійкості літального апарату із замкненим крилом. А в подальшому ці дослідження можна використати в побудові літаків аналогічної компоновки.

ЛІТЕРАТУРА

1. Ковтонюк И.Б. Статический показатель рациональности аэродинамической компоновки органов поперечного управления самолета / И.Б. Ковтонюк // Интегрированные технологии та энергосбережения. Щоквартальний науково-практичний журн. – 2011. № 1. – С. 32–34.
2. Статистические данные зарубежных пассажирских самолетов (по данным иностранной печати // Обзор ЦАГИ № 601. – 1981 –34с.

УДК 621.893

Журавлева А.Н. науч. рук. Ковалевский С.В., Олейник С.Ю. (Украина, г. Краматорск, ДГМА)

АНАЛИЗ СПОСОБОВ НАНЕСЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ АНТИФРИКЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ С ЗАДАНЫМИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМИ СВОЙСТВАМИ

В статье представлен анализ существующих способов нанесения металлических антифрикционных покрытий. Основное внимание уделяется соответствию полученного антифрикционного слоя на основе баббита Б83 эксплуатационным требованиям, которые предъявляются к вкладышам подшипников прокатных станков. На основе анализа делаются выводы о дальнейших исследованиях для разработки эффективного способа нанесения баббитового покрытия.

Современное машиностроительное производство диктует необходимость применения ресурсосберегающих и энергосберегающих технологий при снижении себестоимости и соответствии требований качества выпускаемой продукции.

В конструкциях прокатных, проволочных, сортовых и листовых станков в качестве опоры валков применяются подшипники скольжения, которые передают усилия, возникающие при деформации металла, от валков на станину и другие узлы рабочей клетки и удерживают валки в заданном положении. Особенностью работы таких подшипников является высокая удельная нагрузка, которая в разы превышает нагрузку подшипников общего назначения, и обусловлена сравнительно малыми габаритами шейки валка и большими усилиями прокатки [1]. Поэтому к конструкции подшипников и к материалу их скользящей части предъявляются особые требования. В связи с изложенным выше разработка технологии изготовления вкладышей подшипников является важной и актуальной.

Подшипник жидкостного трения (ПЖТ) для валков прокатных станков содержит втулку-вкладыш 1 (рис. 1) с гидродинамическими карманами и отверстиями для подвода смазывающей жидкости, втулку-цапфу 4, переднюю 7 и заднюю крышки 8, закрепленную в подушке. В подушке выполнены карманы, расположенные вне рабочей зоны подшипника, соединенные через отверстия с карманами втулки-вкладыша. Имеются полости для подвода и отвода смазывающей жидкости, соединенные с ее карманами посредством дросселей. Втулка-вкладыш, кроме того имеет две группы канавок на внутренней стороне нерабочей части. Карманы втулки-вкладыша расположены на одинаковом расстоянии от обоих ее торцов [2]. В процессе работы силы сопротивления в ПЖТ сводятся к внутреннему трению в слое масла, разделяющем трущиеся поверхности. В зависимости от вязкости масла, скорости, нагрузки и величины зазоров в подшипниках коэффициент трения 0,002–0,008.

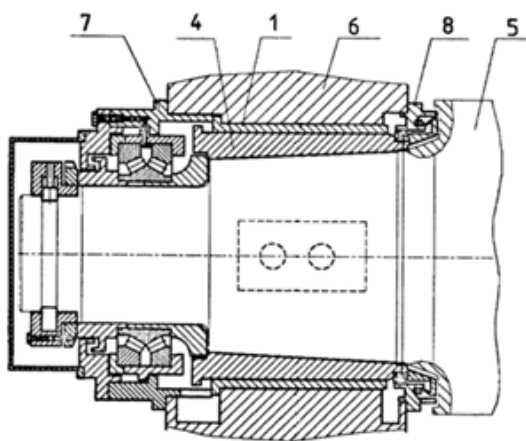


Рис. 1. Конструкция подшипникового узла вала прокатного стана [2]

Режим жидкостного трения, рассматриваемых в данной работе ПЖТ, достигается гидростатодинамическим способом. В переходных режимах в поддерживающие карманы подшипника подается смазка под высоким (40–150 МПа) давлением, благодаря чему и обеспечивается жидкостный режим трения. При установившейся скорости прокатки подача смазки высокого давления прекращается, после чего подшипник работает как гидродинамический. При этом система гидростатического привода работает около 5–

10 % времени цикла прокатки [3].

Работа подшипника сопровождается износом вкладыша и цапфы, что нарушает правильную работу механизма и самого подшипника. Один из важнейших факторов, определяющих работоспособность подшипника, – это материалы, из которых изготовлены его элементы. Наилучшее сочетание материалов следующее: "твердая" поверхность вала и "мягкая" – отверстия. Однако, несмотря на "мягкость", поверхность отверстия должна быть достаточно прочной, иначе возникающие нагрузки приведут к его разрушению [4]. Второй важный фактор – это сцепление антифрикционного слоя с металлической подложкой, что достигается при помощи различных методов и технологий нанесения этого слоя. Достигается это использованием многослойных вкладышей, состоящих из различных материалов, что позволяет добиться "мягкой" поверхности и низкого коэффициента трения при высокой усталостной прочности [5, 6]. Третий фактор – это правильная геометрическая форма и гладкая поверхность (шероховатость 0,32–1,6 мкм) вала и отверстия, образуемое вкладышами, при котором между ними обеспечивается определенный зазор, который составляет 0,03–0,08 мм [4].

Учитывая то, что базовый уровень надежности прокатного стана заложен в его конструкции и постоянно снижается в процессе эксплуатации, не менее актуальной и не менее сложной задачей является снижение эксплуатационных затрат. Оптимальным решением этих проблем при относительно небольших затратах является повышение качества наиболее важных при эксплуатации рабочих поверхностей.

Целью данной работы является анализ существующих способов нанесения металлических антифрикционных покрытий (АП) на подшипники скольжения узлов прокатных станков с разных позиций, что позволит обосновать основные принципы нового метода нанесения покрытий с заданными эксплуатационными свойствами.

Выбор антифрикционного материала вкладыша зависит от режима его работы (скорости и удельного давления). Широко применяются такие антифрикционные материалы: чугун, бронза, латунь, алюминиевые сплавы, баббит, металлокерамические материалы, графит, синтетические пластические материалы, дерево и древеснослоистые пластики, резина. В рассматриваемой конструкции подшипниковых узлов наиболее широко применяются – баббиты [7, 8].

Подшипниковые материалы, называемые баббитами, состоят из мягких металлов Sn, Pb, Cd, Sb, Zn и характеризуются наличием твердых структурных составляющих в пластичной матрице [7]. Для подшипников, которые являются объектом исследования, применяют баббитовый сплав Б83 – сплав на основе олова, содержащий 83% Sn, 11% Sb, 6% Cu. Баббиты отлично прирабатываются, обладают хорошими антифрикционными свойствами, однако имеют такой недостаток как низкую усталостную прочность, что проявляется в выкрашивании антифрикционного слоя (АС) во время эксплуатации подшипника.

Разнообразие технологических методов нанесения металлических антифрикционных материалов широко освещены в научной и учебной литературе [5, 9, 10]. Однако рассмотрим основные, наиболее широко применяемые в промышленности и сделаем анализ этих методов относительно второго фактора, указанного выше – структура, состав, сцепление с подложкой и как следствие показатель усталостной прочности АС.

Основные требования, которые предъявляются к АС следующие: плотность и сплошность покрытия, низкая пористость, высокая когезия, адгезия с поверхностью металлической подложки, формирование мелкодисперсной структуры баббита, высокая усталостная прочность, равномерность покрытия по толщине и достаточно высокая чистота его поверхности [9-13]. Достигнуть наилучшего результата позволяют (рис. 2):

1. Повышение прочности сцепления путем нанесения многослойных покрытий с материалами, характеризующими высокой взаимной адгезией и адгезией с металлической подложкой (как правило, это олово, бронза, латунь, никель) [14].

2. Возможность управления температурным режимом формирования баббитового слоя, что позволит повысить качество сцепления путем создания определенной энергии связи атомов ОЦК и ГЦК решетках материала подложки [15].

3. Получение мелкозернистой структуры, где наиболее эффективным известным способом является штамповка антифрикционного слоя в процессе кристаллизации баббита (температурный интервал 380–250°C). Воздействие деформирующим инструментом позволяет сформировать структуру с равномерно распределенным в мягкой основе твердыми частицами со средним размером 50 мкм [12].

Недостатком всех методов является низкое качество поверхности антифрикционного слоя, что вынуждает наносить этот слой с припуском под дальнейшую механическую обработку. В свою очередь физико-

механические свойства слоя изменяются по глубине и при снятии припуска не соответствуют техническим требованиям.

Основные методы нанесения баббита на вкладыши крупногабаритных подшипников скольжения	Достоинства метода	Недостатки метода
Центробежная заливка (традиционный метод)	При неограниченной толщине наплавки возможно изменять химический состав слоя, наносить многослойные покрытия, относительная простота оборудования	Высокая пористость, трещины, коробление, крупнозернистая структура, низкая усталостная прочность
Газотермическое напыление	Толщина до 5 мм, обеспечивает высокую производительность, позволяет наносить покрытия на достаточно крупные детали. Возможно использовать мобильные установки	Сложность обеспечения стабильности свойств и надлежащего уровня качества покрытия. Высокая пористость до 10 %, снижение усталостной прочности, слабое сцепление перенесенного материала с подложкой
Электроэрозионное легирование	Толщина 0,002 – 2 мм, возможность обеспечить прочное сцепление баббита с подложкой, путем нанесения слоистых покрытий, обеспечивающих прочную металлическую связь проведение процесса в локальных местах. Возможность управления физическими явлениями в процессе ЭЭЛ для получения требуемого качества слоя	Высокая шероховатость поверхности, снижение усталостной прочности, возникновение в поверхностном слое растягивающих остаточных напряжений
Электроискровое легирование	Возможность нанесения на обрабатываемую поверхность компактным электродом любых токопроводящих материалов в том числе порошковых. Высокая прочность сцепления наносимого слоя с материалом основы. Низкая энергоемкость процесса. Простота осуществления технологических операций	Невысокая эффективность процесса формирования легированного слоя. Существенное ограничение по толщине наносимого слоя.
Термомеханическое нанесение покрытия: метод штамповки в процессе кристаллизации	Возможность управления температурными и деформационными режимам в процессе кристаллизации баббита, что обеспечивает достаточно высокую прочность сцепления и создание мелкозернистой структуры антифрикционного слоя	Возможность применения только для разъемных вкладышей подшипников

Рис. 2 Достоинства и недостатки основных методов нанесения баббита на вкладыши ПЖТ прокатных станов

ВЫВОДЫ

Анализ известных способов нанесения АП показал, что задача получения поверхностей с заданными эксплуатационными свойствами является нерешенной и актуальной на сегодняшний день. Сложность физических явлений, происходящих в процессе получения АС, позволяет предположить, что наиболее эффективный результат будет получен при разработке

и исследовании нового комбинированного способа нанесения АП и закономерностей формирования структуры слоя.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Технология прокатного производства [Текст] / А.П. Грудев, Л.Ф. Машкин, М.И. Ханин. – М.: Металлургия, 1994. – 656 с.*
2. *Барков Н.А. Оборудование прокатно-прессово-волочильных цехов. Конспект лекций. [Текст] / сост. Н.А. Барков, В.П. Катрюк, Д.С. Ворошилов – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2011. – 79 с.*
3. . Пат. 2139765 РФ, В21В31/02. Подшипник жидкостного трения для валков прокатных станов / Кудрявцев С.Н., Никитин А. С., Кудрявцев М. С; заявитель и патентообладатель Открытое акционерное общество "Электростальский завод тяжёлого машиностроения". - № 98117352/02; заявл. 17.09.98; опубл. 20.10.99, Бюл № 12.
4. *Подшипники скольжения с автокомпенсацией износа: монография [Текст] / Д.Г. Авдеев, Н.В.Бабеец, С.С.Мусиенко, Ю.А. Васечко, И.Н. Редько. - Новочеркасск: ЮРГТУ, 2000. – 97 с.*
5. *Тарельник В.Б. Проблемы изготовления и эксплуатации подшипников скольжения [Текст] / В.Б Тарельник, В.С. Марцинковский // Вісник СумДУ. Серія Техн. науки. – 2004. – № 2. – С. 151-156.*
6. *Тарельник В.Б. Исследование прочности сцепляемости баббитового слоя подшипников скольжения с подложкой / В.Б Тарельник, В.С. Марцинковский, А.В. Белорус // Вісник Харківського національного технічного ун-ту сільського господарства ім. Петра Василенка. – Х. : ХНТУСГ, 2010. – Вип. 94. – С. 102-108.*
7. *Гуляев А.П. Металловедение. Учебник для вузов 6-е изд.. перераб. и доп. [Текст] / А.П. Гуляев. – М.: Металлургия, 1986. – 544 с.*
8. *Чернавский С.А. Подшипники скольжения / С.А. Чернавский. – М.: МАШГИЗ, 1963. – 245 с.*
9. *Черноволов М.И. Способы формирования антифрикционных покрытий на металлические поверхности трения / М.И. Черноволов, И.В. Шепеленко [Текст]// Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація, 2012. – Вип. 25, ч. 1. – С. 3–8.*
10. *Кутьков А.А. Износостойкие и антифрикционные покрытия [Текст] / А.А. Кутьков. - М.: Машиностроение, 1976. – 152 с.*
11. *Марцинковский, В. С. Підвищення ефективності технології виготовлення підшипників ковзання високошвидкісних турбокомпресорних агрегатів : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.02.08 « Технологія машинобудування » / Марцинковский Василь Сигізмундович ;. НТУ “ Харківський політехнічний інститут ” – Харків, 2008. – 23 с.*
12. *Фазлыхметов, Р.Ф. Штамповка антифрикционного слоя в процессе кристаллизации баббита Б83 при изготовлении подшипников скольжения : автореф. дис. на соиск. уч. степени канд. техн. наук : спец. 05.03.05 «Технологии и машины обработки давлением» / Фазлыхметов Рустем Фаузиевич ; Институт проблем сверхпластичности металлов РАН – Уфа, 2007. – 20 с.*
13. *Лузан С.О. Предлагаемые общие принципы управления качеством газопламенных покрытий при восстановительном ремонте деталей [Текст] / Лузан С.О. – Механіка та машинобудування. – 2011, № 2. – С. 211-219.*
14. *Тарельник В.Б. Новый способ формирования антифрикционного баббитового слоя подшипников скольжения / В.Б. Тарельник, А.В.Дзюба // Вісник НТУ «ХПИ», 2015.- №4 (1113). – С. 51 – 56.*
15. *Тарельник В.Б. Влияние температуры формирование антифрикционных баббитовых покрытий на поверхностную энергию стальной подложки/ В.Б. Тарельник, А.В.Дзюба, Г.А. Бакай // ВІСНИК ХНТУСГ ім. П.ВАСИЛЕНКА. Технічний сервіс машин для рослинництва, 2014. – Вип. 145. – С. 137 – 143.*

УДК 621.873

Збитнев П.В.¹, науч. рук. Неженцев А.Б.² (Украина, г. Северодонецк, ВНУ им. В. Даля¹; г. Киев, НТУУ «КПИ»²)

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРИВЕДЕННОЙ СИЛЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА КРАНА С ЧАСТОТНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Описана математическая модель приведенной силы асинхронного привода грузоподъемного крана с частотным управлением, которая предназначена для использования в многомассовых моделях кранов при исследовании динамических нагрузок.

Все больше грузоподъемных кранов выпускаются с частотно-управляемыми электроприводами, обладающими бесспорными преимуществами по сравнению с традиционным релейно-контакторным управлением: более широкий диапазон регулирования частоты вращения ротора (в том числе – выше номинальной); высокая точность и плавность регулирования скорости исполнительных механизмов; жесткие механические характеристики; значительно меньшие потери электроэнергии. Вместе с тем, при исследовании переходных процессов кранов с помощью многомассовых расчетных схем движущую (тормозную) силу привода часто задают в виде упрощенных зависимостей, которые не позволяют обеспечить необходимую точность расчета динамических нагрузок и установить влияние параметров частотного управления на нагружение элементов крана и груз.

Выражения для определения момента двигателя при частотном управлении даны в работах [1-3]. Однако очень мало публикаций, посвященных исследованиям динамических нагрузок, действующих на элементы привода, металлоконструкции грузоподъемных кранов и грузы.

Приведенная к ходовым колесам мостового крана сила привода (с учетом зависимости момента двигателя M от текущих фазного напряжения статора U_1 , частоты f_1 и скольжений s и s_k) определяется по выражению:

$$P_{\text{част}} = \frac{u_M}{r} \cdot \eta^{\pm 1} \cdot M = \frac{u_M}{r} \cdot \eta^{\pm 1} \cdot \frac{2 \cdot M_k \cdot \left(\pm a \cdot s_k \right)}{\frac{s}{s_k} + \frac{s_k}{s} + 2 \cdot a \cdot s_k}, \quad (1)$$

где u_M – передаточное число привода;

r – радиус ходового колеса, м;

$\eta^{\pm 1}$ – коэффициент полезного действия механизма передвижения крана (в двигательном режиме знак «+», в тормозных – знак «-»);

M – момент двигателя, Н·м;

M_k – критический момент двигателя, Н·м, при частотном управлении.

$$M_k = \frac{3}{2} \cdot \frac{U_1^2}{\omega_{0H} \cdot X_{к.н} \cdot \left[f_{l*} \cdot \rho_{lk} \pm \sqrt{\left(\rho_{l*}^2 + \rho_{lk}^2 \right) \cdot \left(\rho_{l*}^2 + \rho_{lk}^2 \right)} \right]}, \quad (2)$$

где s и s_k – скольжение и критическое скольжение двигателя соответственно,

$$s_k = \pm \frac{R'_2}{f_{1*} \cdot x_{к.н}} \cdot \sqrt{\frac{f_{1*}^2 + \rho_{1\mu}^2}{f_{1*}^2 + \rho_{1к}^2}}, \quad (3)$$

где a – коэффициент, определяемый по формуле

$$a = \frac{R_1 \cdot f_{1*}^2}{R'_2 \cdot (f_{1*}^2 + \rho_{1\mu}^2)}, \quad (4)$$

где U_1 – действующее значение фазного напряжения, В;

$\omega_{0н}$ – синхронная скорость двигателя при номинальной частоте $f_{1н} = 50$ Гц, рад/с;

$x_{к.н} = x_1 + x'_2$ – индуктивное фазное сопротивление короткого замыкания при номинальной частоте $f_{1н} = 50$ Гц (x_1 и x'_2 – соответственно, индуктивное фазное сопротивление обмоток статора и ротора, приведенное к обмотке статора), Ом;

$f_{1*} = f_1 / f_{1н}$ – относительная частота тока статора (f_1 и $f_{1н}$ – текущее и номинальное значение частоты тока статора, соответственно, Гц);

R_1 и R'_2 – активное фазное сопротивление обмоток статора и ротора, приведенное к обмотке статора, Ом;

$\rho_{1к} = R_1 / x_{кн}$ и $\rho_{1\mu} = R_1 / x_{\muн}$ – относительные величины ($x_{\muн}$ – индуктивное сопротивление контура намагничивания при номинальной частоте $f_{1н} = 50$ Гц, Ом).

Для обеспечения постоянства перегрузочной способности двигателя, значение фазного напряжения U_1 следует поддерживать согласно закону:

$$U_1 = U_{1н} \cdot \sqrt{\frac{f_{1*} \cdot \rho_{1к} \pm \sqrt{(f_{1*}^2 + \rho_{1к}^2) \cdot (f_{1*}^2 + \rho_{1\mu}^2)}}{\rho_{1к} \pm \sqrt{(f_{1*}^2 + \rho_{1к}^2) \cdot (f_{1*}^2 + \rho_{1\mu}^2)}}} \cdot \frac{M_c}{M_n}, \quad (5)$$

где M_c – момент статического сопротивления на валу двигателя, Н·м;

M_n – номинальный момент на валу двигателя, Н·м.

В (2), (3) и (5) знак плюс перед радикалами относится к двигательному режиму, минус – к генераторному.

При задании силы привода крана по формуле (1) с учетом (2)-(5) обеспечивается постоянство перегрузочной способности двигателя независимо от характера нагрузки (постоянная или переменная).

Механические характеристики асинхронного двигателя механизма передвижения мостового крана при частотном управлении по выражению (1) показаны на рис. 1.

Следует отметить, что приведенные формулы для расчета приведенной силы электропривода крана с частотным управлением относятся к важному, но не единственному закону регулирования напряжения в зависимости от частоты. В работах по асинхронному электроприводу [1, 2] также изложены другие законы частотного управления, которые обладают достоинствами, но реализация которых в крановых механизмах может вызвать значительные трудности. В зависимости от закона частотного управления асинхронным двигателем выражение для момента M в формуле (1) будет иметь различный вид.

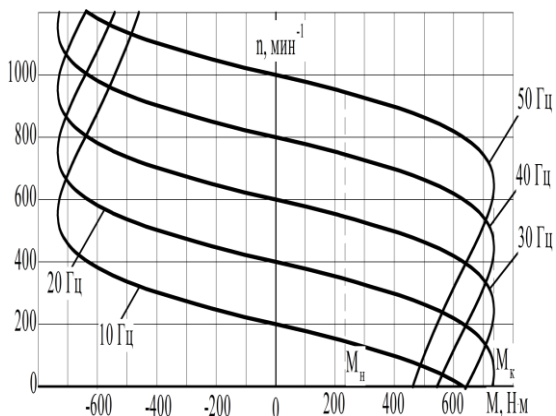


Рис. 1 Механические характеристики асинхронного двигателя

Вместе с тем вопросы торможения кранов при частотном управлении до настоящего времени очень мало исследованы.

В данной статье описана математическая модель приведенной силы электропривода крана с частотным управлением, обеспечивающая постоянство перегрузочной способности двигателя независимо от характера нагрузки на валу, что является очень важным применительно к механизмам передвижения кранов, так как сила сопротивления передвижению может изменяться в широких пределах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Булгаков А.А. Частотное управление асинхронными электродвигателями / А.А. Булгаков. – М.: Энергоиздат, 1982. – 216 с.
2. Сандлер А.С. Автоматическое частотное управление асинхронными двигателями / А.С. Сандлер, Р.С. Сарбатов. – М.: Энергия, 1974. – 328 с.
3. Ключев В.И. Теория электропривода / В.И. Ключев. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 560 с.
4. Неженцев А.Б. Динамические нагрузки при передвижении мостовых кранов с частотным управлением / А.Б. Неженцев, С.М. Аветисян, Д.В. Гонтарь // *Materiály IX mezinárodní vědecko - praktická konference «Přední vědecké novinky – 2013». Díl 10. Technické vědy. Chemie a chemická technologie: Praha. Publishing House «Education and Science» s.r.o, 2013. – P. 24–27.*
5. Неженцев А.Б. Снижение нагрузок при передвижении мостовых кранов с частотным управлением / А.Б. Неженцев, Д.В. Гонтарь, С.М. Аветисян // *Материали за 9-а международна научна практична конференция, «Научният потенциал на света». - Том 20. Технологии. – София: «Бял Град-БГ» ООД, 2013. – С. 44-47.*

УДК 658.512.011.56

Карасевич Ю.Ю., науч. рук. Сорокин В.Ф., Третьяк В.В. (Украина, г. Харьков, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»)

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА ПРОИЗВОДСТВА НА СТАКАХ С ЧПУ ДЕТАЛИ АВИАЦИОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

В статье рассмотрены возможности технологической подготовки производства на станках ЧПУ детали авиационного двигателя. Рассмотрены вопросы моделирования детали, заготовки, прессформы, а также проектирование управляющей программы для изготовления детали в системе SolidCAM.

Сегодня эффективная и рациональная эксплуатация станков с ЧПУ возможна только с использованием специального программного обеспечения для создания управляющих программ вне оборудования, на рабочем месте технолога [1-3]. (Computer aided manufacturing) является система SolidCAM – комплексное CAD/CAM/CAE – решение для конструкторско-технологической подготовки производства.

Внедрение SolidCAM позволяет машиностроительным предприятиям подойти к автоматизации системно и решить сразу несколько бизнес-задач, охватив весь производственный процесс: существенно сократить сроки проектирования и повысить его качество, осуществлять сложные инженерные расчеты, программировать оборудование с ЧПУ. Рассмотрим использование данной системы для детали типа «Проставка» (рис. 1).

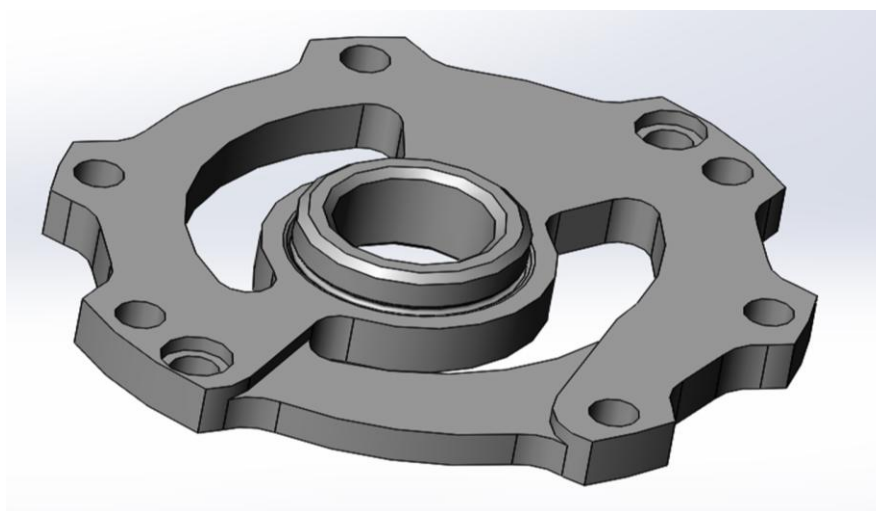


Рис. 1 Объектная модель детали «Проставка»

Данную деталь можно обработать на одном станке за одну операцию. Поэтому с точки зрения технологичности с позиции обработки на станке с ЧПУ можно считать деталь технологичной.

При обработке данной детали можно применить специальная фрезерную оснастку. С точки зрения применения специальной оснастки деталь

не технологична. При фрезеровании проставки можно использовать стандартный покупной инструмент.

С точки зрения применяемого инструмента деталь технологична. Существует три основных метода получения заготовок: литье, штамповка и использование сортового проката.

Каждый из методов этих методов имеет свои преимущества и недостатки, которые и определяют выбор способа получения заготовки для конкретного случая и в зависимости от производственных условий.

Учитывая конфигурацию детали, в качестве метода формообразования принимаем решение об использовании в качестве способа получения заготовки штамповку.

Учитывая конфигурацию детали, в качестве метода формообразования будем использовать метод горячей штамповки в закрытых штампах на КГШП. Используем горизонтальную линию разъема штампа. С учетом назначения штамповочных уклонов, линии разъемаштампа, радиусов скругления и припусков на механическую обработку, в системе SolidCAM можно разработать 3D-модель заготовки (рис. 2).

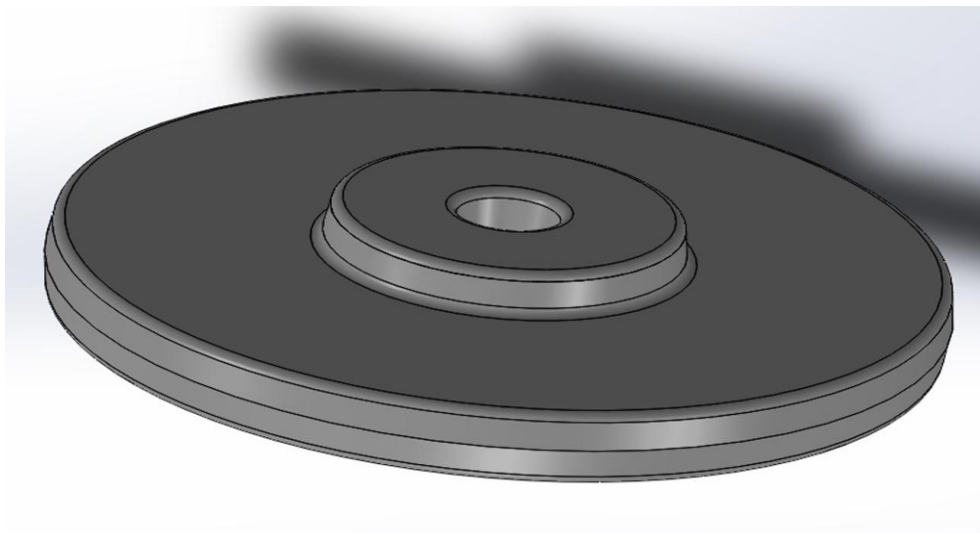


Рис. 2 Модель заготовки

Расположение поковки в штампе подбирается в зависимости от ее конфигурации. С учетом выше перечисленных требований спроектирована модель штампа для изготовления заготовки для детали типа «Проставка».

Вид модели штампа представлен на рис. 3. Штамп состоит из следующих основных элементов: плиты нижней (служит для крепления оснастки на столе штампа); плиты верхней (передает усилие от штампа на пуансон); пуансона; матрицы (обеспечивает заданную форму заготовки); направляющих (для ориентации верхней плиты относительно нижней, и соответственно пуансона относительно матрицы); пружины (для обеспечения возврата верхней плиты в исходное положение); стандартные изделия.

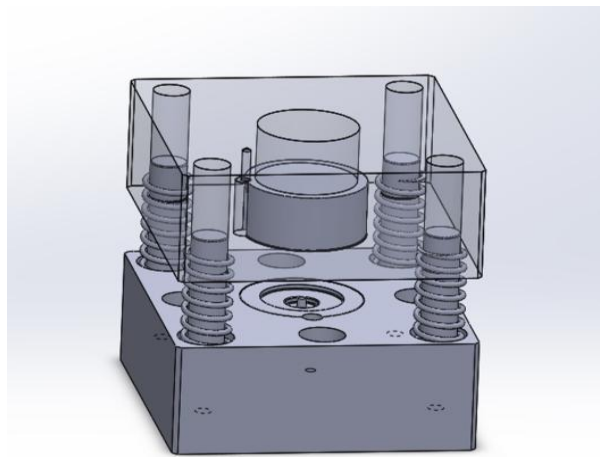


Рис. 3 Объектная модель сборки штампа

Расчет траектории движения инструмента при изготовлении детали может быть осуществлен постпроцессором программы с использованием входных данных задаваемых технологом.

После построения траекторию движения можно проверить визуально и с помощью специальных симуляторов, чтобы исключить аварийные ситуации связанные с врезанием инструмента или оснастки в деталь, оснастку или в органы станка.

При задании входных данных необходимо указать: координаты начального положения инструмента, координаты безопасной зоны для инструмента, координаты подхода – отхода инструмента, тип обработки, технологические данные (глубина резания, количество проходов и т.д.).

После генерации операции, траектория движения инструментов имеет вид, представленный на рис. 4.

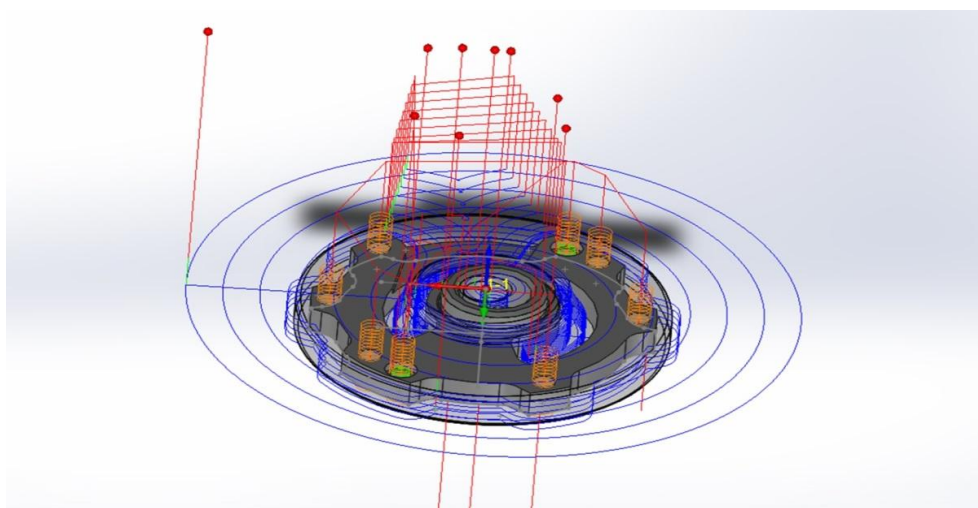


Рис. 4 Траектория движения инструментов

Визуальный контроль или верификация позволяет оценить и проконтролировать правильность заданных параметров и построенной траектории движения инструментов.

Контроль осуществляется благодаря возможности симуляции обработки как отдельной операции, так и всей обработки в целом. Кадры симуляции представлены на рис. 5.

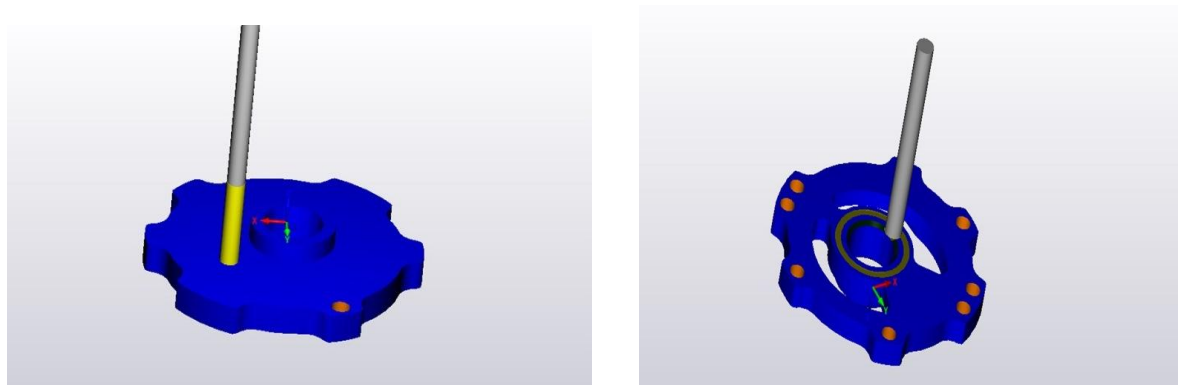


Рис. 5 Симуляция обработки.

ВЫВОДЫ

В системе SolidWorks созданы 3D-модели детали, заготовки и пресс-формы для детали авиационного двигателя «Проставка». Разработаны чертежи этих деталей, разработана управляющая программа для изготовления этой детали на современных станках с ЧПУ.

Исходя из этого можно сделать вывод, что использование программы может существенно сократить время на конструкторско-технологическую подготовку в том числе авиационных деталей а также улучшить качество их изготовления при использовании новейшего оборудования для станков с ЧПУ, что может существенно облегчить жизнь машиностроительного предприятия.

Представленные модели и выполненные в системе SolidCAM могут успешно применяться на предприятиях авиа-космической отрасли и автомобилестроения, в судостроении, в энергетике, в машиностроении и других отраслях техники.

ЛИТЕРАТУРА

1. Килов А.С., Вольнов С.В., Килов К.А. Проектирование и производство поковок (штампованных заготовок): Серия учебных пособий из шести книг. Книга 1. Проектирование и производство поковок (штампованных заготовок). – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2004. – 155с.
2. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т.2 / Под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1985. – 496 с.
3. Серебrenицкий, П.П. и Схиртладзе А.Г. Программирование для автоматизированного оборудования: Учебник для средн. проф. учебных заведений / Под ред. Ю.М. Соломенцева. – М.: Высш. шк. 2003. – 592 с.

УДК 658.5.012.1

Кисельова І.А., наук. кер. Олійник С.Ю. (Україна, м. Краматорськ, ДДМА)

МОЖЛИВОСТІ СИСТЕМИ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ PLANT SIMULATION ПРИ ПРОЕКТУВАННІ ТА РЕКОНСТРУКЦІЇ МЕХАНОСКЛАДАЛЬНИХ ДІЛЯНОК В МАШИНОБУДУВАННІ

В статті було розглянуто можливості застосування програми імітаційного моделювання Plant Simulation для моделювання механоскладальних ділянок дрібносерійного і серійного виробництва. Приведено приклад застосування цієї програми для пошуку резервів підвищення продуктивності виробництва.

Аналіз області застосування систем імітаційного моделювання (ІМ) за 2015 рік визначив, що поточна роль ІМ – це допомога при плануванні змін, оптимізація, порівняння альтернатив, проектування нового, тобто стратегічний і тактичний рівень. Найбільш широко поширене застосування систем імітаційного моделювання (СІМ) у виробництві, логістиці, ланцюжку поставок, сфері послуг, споживчому ринку, управлінні активами і проектами, управлінні персоналом, соціальної динаміки, охорони здоров'я. Знаходять застосування СІМ серед фахівців в області моделювання в аеродинаміці, механіці, хімії, метрології. Однак відносна частка поширення і застосування методів імітаційного моделювання щодо інших методів моделювання та аналізу незначна.

На практиці перевірено, що застосування СІМ може допомогти підвищити ефективність, знизити витрати, попередити від помилкових рішень, але це і призводить до проектної, епізодичної і нестійкої практики його застосування в більшості випадків серед консультантів, які володіють експертними знаннями в технології [1].

Інструмент для імітаційного моделювання Tecnomatix® Plant Simulation призначений для моделювання та оптимізації виробничих систем та процесів [2]. Plant Simulation є продуктом стандартного застосування в німецькому автомобільній промисловості, та міцно завоював там свої позиції [1].

Метою даної роботи є огляд можливостей застосування програми імітаційного моделювання Plant Simulation для механоскладальних ділянок дрібносерійного і серійного машинобудівного виробництва.

При проектуванні, реконструкції та технічному переозброєнні цехів і дільниць в машинобудівному виробництві важливим етапом є синтез структури. Для вирішення цього завдання потрібно провести глибокий аналіз номенклатури виробництва і обсягів продукції, що випускається. Завдання структуризації для цехів дрібносерійного виробництва, які характеризуються різноманітною номенклатурою деталей і виробів, що виготовляються послідовно на одних і тих же робочих місцях вирішувати досить складно. Сучасне проектування передбачає системний

підхід, при якому найбільш ефективною є програмно-цільова організація виробничих процесів [3]. Запропонувати ефективні рішення допомагають методи імітаційного моделювання.

Програмне середовище імітаційного моделювання Plant Simulation при проектуванні та реконструкції механоскладальних ділянок в умовах дрібносерійного виробництва необхідне при вирішенні завдань управління технологічними та логістичними процесами, оптимізації матеріалопотоків, завантаження ресурсів, методу управління для всіх рівнів планування від цілого виробництва до окремих ділянок.

Програма представлена як візуально об'єктно-орієнтоване середовище для побудови імітаційних моделей. Для розширення стандартних можливостей при моделюванні і створення максимально реалістичних моделей в Plant Simulation закладено язик програмування SimTalk [2].

Моделі будуються зі стандартних елементів серед яких представлені [4]:

– Material Flow – об'єкти, призначені для обробки рухомих об'єктів (Source – джерело деталей, SingleProc – одинична операція, Buffer – накопичувач, Line – конвеєр);

– Movable Units – рухомі об'єкти (Entity – деталь, Container – тара, Transporter – самохідний транспорт);

– Information Flow – об'єкти для інформаційного забезпечення моделі (змінні, таблиці, генератори подій, інтерфейси обміну даними, методи для обробки подій);

– User Interface – об'єкти для представлення даних (графіки, діаграми). Всі об'єкти мають набір параметрів таких як час операції, і поведінка.

Більш складні структури будують об'єднуючи базові об'єкти і додаючи підпрограми (методи) обробки подій на язику SimTalk. При цьому є можливість створювати призначені для користувача бібліотеки об'єктів і ієрархічні моделі. Під час моделювання рухомі об'єкти (Movable Units) переміщуються по створеній структурі, генеруючи події в моменти часу, які визначаються параметрами об'єктів.

За результатами моделювання автоматично збирається статистика – продуктивність за проміжок часу, завантаження устаткування, енергетичні витрати та багато інших показників.

Найбільш актуальними завданнями при реконструкції та плануванні ділянки що вирішуються методами імітаційного моделювання є:

1. Можливість враховувати при моделюванні транспортні переміщення деталей дозволяє вибрати оптимальний варіант при зміні технологічного процесу. В роботі [5] розглянуто метод, при якому імітація переміщення деталі не впливає на загальний час виробництва. Аналіз вантажопотоків дозволяє виключити їх перетин або згущення.

2. Визначення продуктивності обладнання, аналіз і оптимізація його завантаження [6].

3. Оперативна зміна і управління виробничими потоками [6-8].

4. Аналіз витрат ресурсів (електроенергії) на ділянці механічної обробки, що дозволяє прийняти рішення щодо їх зменшення, або оптимізувати ці витрати [8].

Проведемо аналіз можливості моделювання роботи ділянки механічної обробки та пошук резервів підвищення продуктивності при наступних умовах: розглянути варіанти технологічних процесів (ТП) при випуску деталей двох типів (умовно деталь А і деталь В).

Технологічний процес обробки деталі А (кількість 100 шт): фрезерно-центрувальна ($T_{шт-к} = 9$ хв), токарна чорнова ($T_{шт-к} = 60$ хв), токарна чистова ($T_{шт-к} = 32$ хв), фрезерна ($T_{шт-к} = 15$ хв). Технологічний процес обробки деталі В (200 шт кількість): токарна чорнова ($T_{шт-к} = 40$ хв), токарна чистова ($T_{шт-к} = 100$ хв), свердлильна ($T_{шт-к} = 12$ хв). Перший варіант – деталі виготовляються послідовно (Виготовляються всі деталі А, потім всі деталі В). На рис. 1 представлена імітаційна модель ТП виготовлення деталі за першим варіантом.

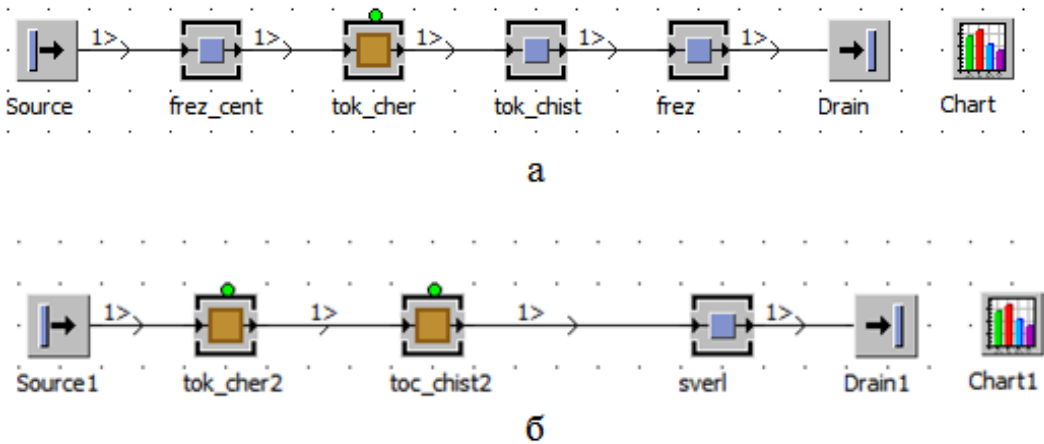


Рис. 1 Моделювання обробки деталі А (а) і деталі В (б) послідовно

Результат моделювання представлено на рис. 2.

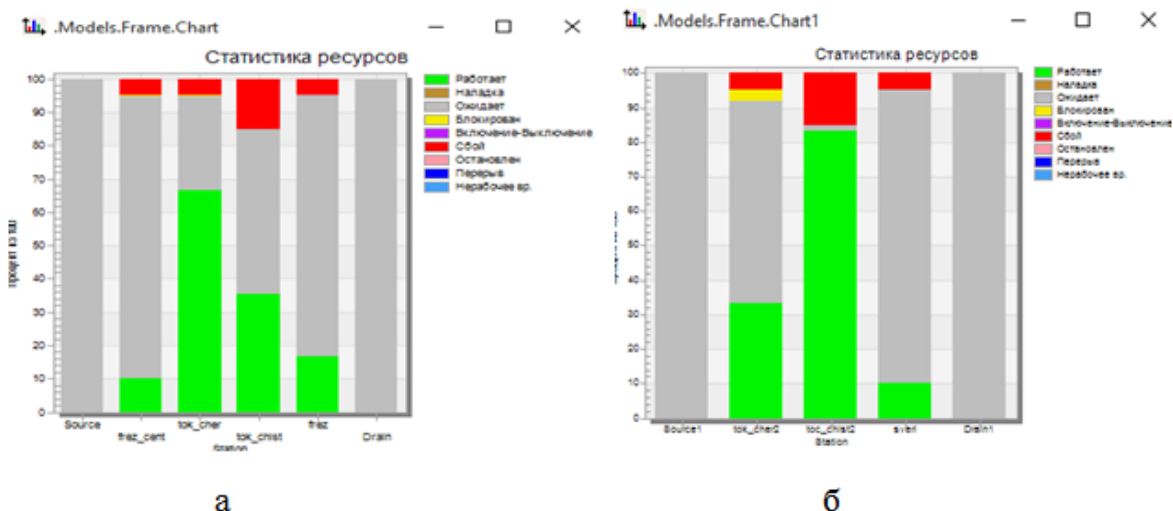


Рис. 2 Вікно статистики ресурсів для першого варіанту ТП виготовлення деталей

Другий варіант – деталі виготовляються паралельно партіями по 10 шт. На рис. 3 представлена модель ТП виготовлення деталі по другому варіанту.

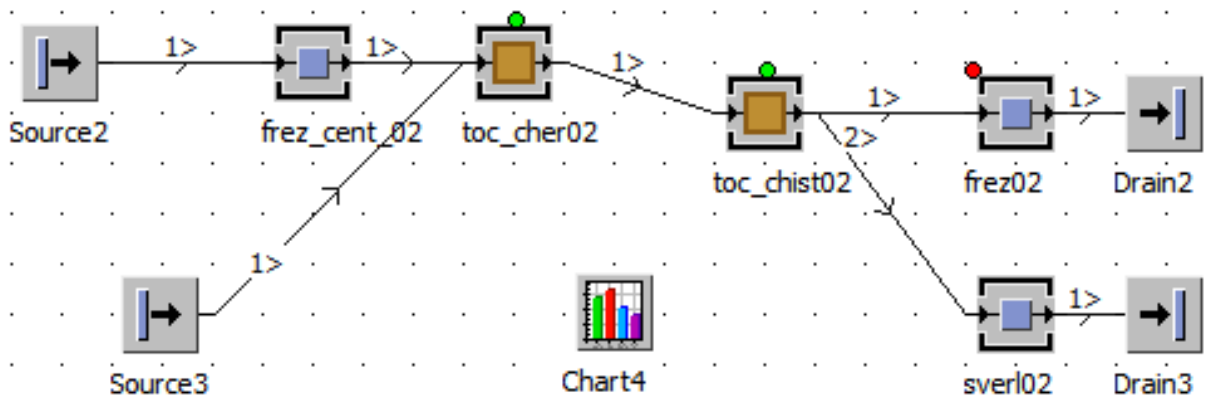


Рис. 3 Моделювання обробки деталі А і деталі В паралельно партіями

Результат моделювання представлено на рис. 4.

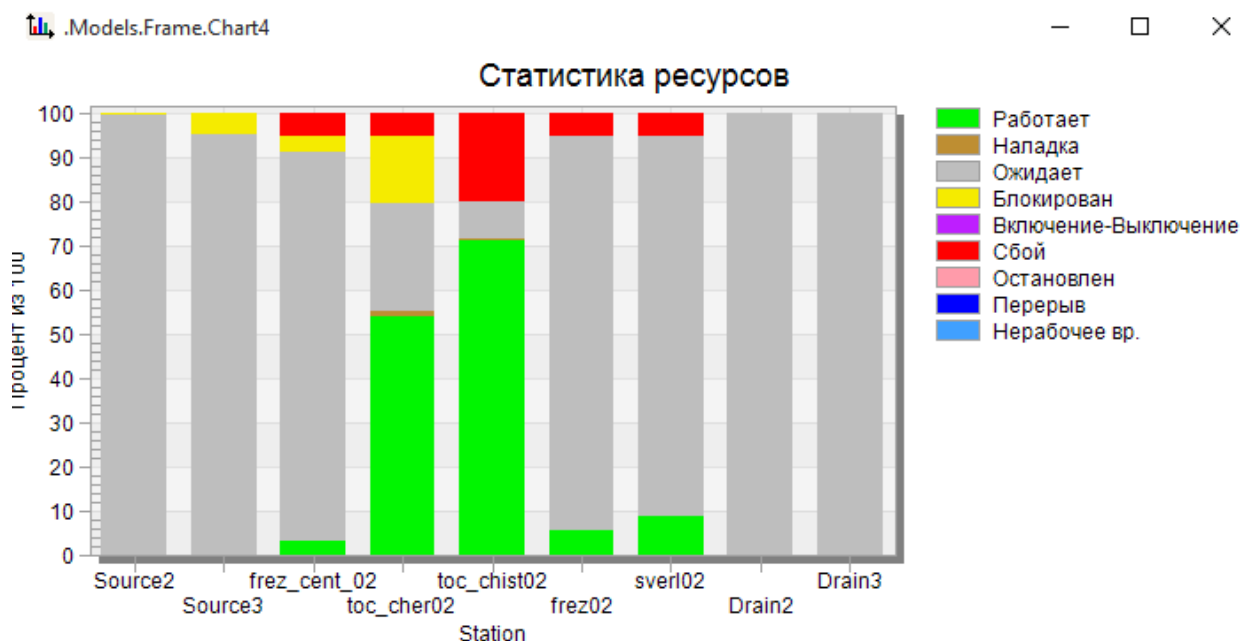


Рис. 4 Вікно статистики ресурсів для другого варіанту ТП виготовлення деталей

Моделювання показало наступні результати:

- продуктивність виготовлення деталей за другим варіантом ТП збільшилася на 15% (виготовлення деталей за першим варіантом із заданою трудомісткістю становить 1,65 місяця, по другому – 1,4 місяця);
- збільшилося завантаження токарних верстатів на чорновій і чистовій операціях.

ВИСНОВКИ

Імітаційне моделювання роботи виробничої ділянки в прикладній програмі Plant Simulation дозволить не тільки отримати ефективні рішення на етапі його проектування, реконструкції або технічному оновленні, але і дозволить провести аналіз і оптимізацію технологічних процесів на вже діючих виробничих ділянках.

ЛІТЕРАТУРА

1. Борщев А.В. Имитационное моделирование: состояние области на 2015 год, тенденции и прогноз / А.В. Борщев // Имитационное моделирование. Теория и практика, 21-23 октября 2015 : ФГБУН Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН (ИПУ РАН). – Москва, 2015. Электронный доступ: <http://simulation.su/uploads/files/default/2015-immmod-borchev-new.pdf>
2. S. Bangsow: *Manufacturing Simulation with Plant Simulation and Simtalk: Usage and Programming with Examples and Solutions*. - Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2010. – 308p. – ISBN 978-3-642-05073-2
3. Мельников Г.Н., Вороненко В.П. *Проектирование механосборочных цехов*. - М.: Машиностроение, 1990. – 350с.
4. *Tecnomatix Plant Simulation 10 Step-by-Step Help*. (2010). Siemens Product Life cycle Management Software Inc
5. Чижев М.И. Моделирование технологических процессов в Tecnomatix Plant Simulation / М.И. Чижев, Ю.С. Скрипченко, П.Ю. Гусев // Вестник ВГТУ, 2011. – Выпуск № 12-2. – С. 18–20.
6. Чижев М.И. Автоматизации и оптимизация технологических процессов в Tecnomatix Plant Simulation / М.И. Чижев, Ю.С. Скрипченко, П.Ю. Гусев // Вестник ВГТУ, 2011. – Выпуск № 12-1. – С. 36–38.
7. Чижев М.И. Имитационное моделирование производства деталей из полимерных композиционных материалов / М.И. Чижев, Ю.С. Скрипченко, П.Ю. Гусев // Компьютерные исследования и моделирование, 2014. – Т 6 № 2. – С. 245–252.
8. Курненьков Д.Н. Моделирование работы участка механического цеха на основе заданного рабочего плана в среде имитационного моделирования Plant Simulation / Д.Н. Курненьков, А.Ю. Шурыгин // Техника и технологии машиностроения: материалы IV между- нар. студ. науч.-практ. конф. (Омск, 25 – 30 марта 2015 г.). – С. 132–139.

УДК 621.6

Клешнёва О.А., науч. рук. Нижник С.Н. (Украина, г. Харьков, НАКУ «ХАИ»)

АНАЛИЗ СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ШЕСТЕРЕННЫХ НАСОСОВ

Основными агрегатами, лимитирующими надежность и ресурс гидравлических систем, являются насосы и двигатели. Требования, предъявляемые к ним, сводятся к обеспечению заданных давления и производительности при минимальном весе и габаритах, максимального КПД, минимальной трудоемкости и стоимости изготовления, простоте обслуживания, надежности работы в эксплуатационных условиях, большого ресурса.

Этим требованиям удовлетворяют шестеренные насосы. Это обуславливает широкое применение их в машиностроении, химической и нефтяной промышленности, в сельском и коммунальном хозяйстве.

На летательных аппаратах шестеренные насосы применяются в гидравлических системах управления самолетом и в качестве масляных и топливных насосов двигателей. Так же, к вышеперечисленным преимуществам можно отнести способность шестеренного качающего узла работать в широком диапазоне вязкости и температур рабочих жидкостей, отсутствие необходимости дополнительной смазки движущихся частей насоса.

Существует множество факторов, резко снижающих производительность шестеренного насоса. Ниже приведены основные, оказывающие наиболее значительное влияние [1].

1) Высокая чувствительность к увеличению зазоров между шестернями и корпусом, появление торцовых зазоров приводит к значительному понижению объемного КПД.

2) Интенсивный износ трущихся деталей (шестерни – корпус, подпятники – шестерни) приводит к снижению ресурса работы качающего узла.

3) Из-за наличия кавитации, возможно скалывание и даже разрушение зубьев. При этом необходима досрочная замена шестерен.

4) Подача пульсирующего потока в систему, что приводит к колебаниям давления, повышенному шуму и неравномерной работе.

Также к существующим недостаткам можно отнести необходимость ручной доводки трущихся поверхностей, ручной сборки методом подбора деталей, [2] что крайне невыгодно в условиях массового производства, потребность в дорогостоящем высокоточном зуборезном оборудовании.

Таким образом, целью работы является анализ существующих методов повышения производительности работы шестеренных насосов, выбор и оптимизация наиболее экономичных и оптимальных среди них в условиях массового и серийного производства.

Вначале кратко рассмотрим принцип работы на примере конструктивной схемы качающего узла, приведенной на рис. 1. Жидкость, заклю-

ченная в объемах, образованных впадинами зубьев и плотно охватывающими их расточками корпуса, переносится из полости всасывания в полость нагнетания. Ведущая шестерня приводится во вращение рессорой, связанной с ведущей шестерней и с приводом при помощи шлицевых соединений. Ведущая и ведомая шестерни вращаются на подшипниках. Фланцы шестерен прижаты к неподвижным подпятникам. С другой стороны между фланцами шестерен и подшипников расположены подвижные подпятники. Они поджимаются к фланцам шестерен при помощи накладки и небольшой силы пружин, находящихся в корпусах подшипников. Поверхности, подлежащие интенсивному износу и ручной доработке, выделены на рис. 1 утолщенной линией. Также для отсутствия радиального и осевого биения, герметизации, предусмотрено торцевое уплотнение.

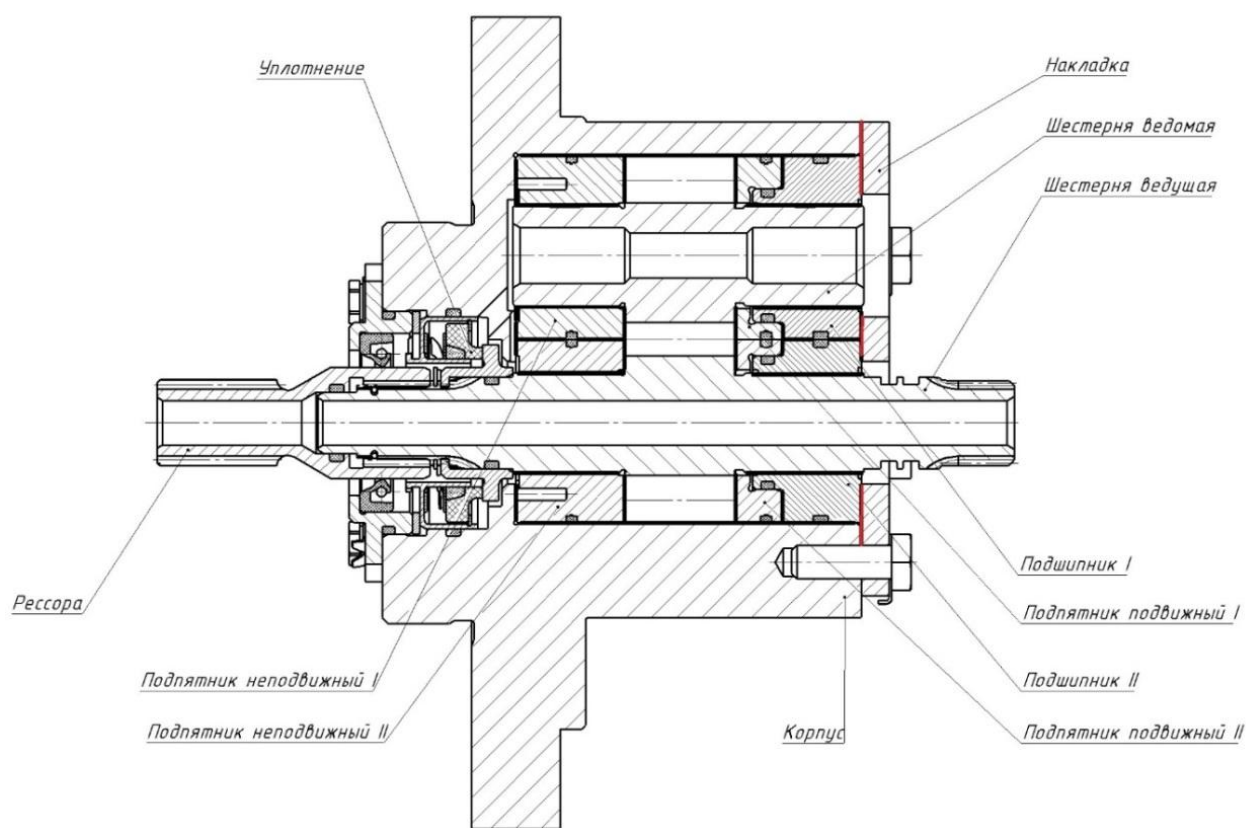


Рис. 1 К описанию принципа работы

При отсутствии кавитации объемные потери, приводящие к резкому снижению производительности шестеренного насоса, это перетекание рабочей жидкости между:

- торцами шестерен и подпятников;
- шестернями и расточками в корпусе качающего узла вследствие приработки;
- зубьями шестерен из-за неплотности контакта между зубьями.

Потери перечислены в порядке их значимости. Утечки через торцевые зазоры составляют около 75% суммарных потерь [1].

В рассматриваемой конструкции отсутствует гидравлическое поджатие и данный зазор определяется ходом пружин, расположенных в корпусах подшипников ($\Delta=0,001-0,007$ мм – места зазора выделены красным на рисунке). Эта величина выбирается так, чтобы гарантировать сохранение пленки жидкости между трущимися поверхностями с учетом неровностей и биений этих поверхностей [1]. Последние должны быть минимальны, поэтому трущиеся поверхности обязательно притирают вручную. Ввиду этого на трущихся поверхностях подпятников целесообразно применение антифрикционного покрытия, что не только обеспечит постоянство зазора независимо от приработки, а ещё и упростит процесс сборки и увеличит ресурс работы подпятника [2-3]. Определение оптимального зазора затруднительно без использования вычислительной техники. Поэтому при проектировании качающего узла необходимо использовать современные CAD/CAM/CAE системы для определения прямой зависимости между величиной торцевого зазора и производительностью насоса.

Высокий объемный КПД в течение длительного времени увеличивается за счет применения специальных материалов для изготовления корпуса насоса и самих шестерен. Например, разработаны полукруглые части корпуса насоса, контактирующие с вращающимися шестернями по наружному диаметру, имеющие трехслойную конструкцию: наружный слой выполняется из жесткого материала; внутренний слой – из упругого листового материала; промежуточный, более толстый слой – из упругой пластмассы толщина которого может меняться (увеличиваться) в процессе эксплуатации. Так обеспечивается постоянный зазор в паре трения: «внутренний слой корпуса насоса – концы зубьев шестерен» независимо от износа трущихся деталей за счет увеличения промежуточного слоя корпуса, выполненного из упругой пластмассы [5].

Подача перекачиваемой жидкости шестеренным насосом носит пульсирующий характер, что тоже снижает его производительность. Для уменьшения пульсации рабочей жидкости, подаваемой насосом, в рассматриваемой конструкции предусмотрен разгрузочный клапан, который срабатывает при чрезмерном давлении рабочей жидкости. Так, при давлении 25 кгс/см^2 жидкость воздействует на иглу клапана, пружина сжимается. Уменьшается фактический размер К1. Излишки топлива через открывшийся канал (на рис. 2 выделен красным), а далее – через каналы в корпусе поступают в полость всасывания.

Работа шестеренного насоса сопровождается кавитацией. Местная кавитация проявляется внешне в форме характерного шума, вызываемого гидравлическими ударами, приводит к местному разрушению материала стенок корпуса, подшипников, подпятников и т.д. Разрушение начинается вследствие того, что давление в месте удара потока о стенку превышает предел упругости материала. Бронза и латунь обладают высокой эрозионной стойкостью. Именно поэтому в рассматриваемой конструкции подпятники изготовлены из материала БрСу3НЗЦ3С20Ф0,2К [1].

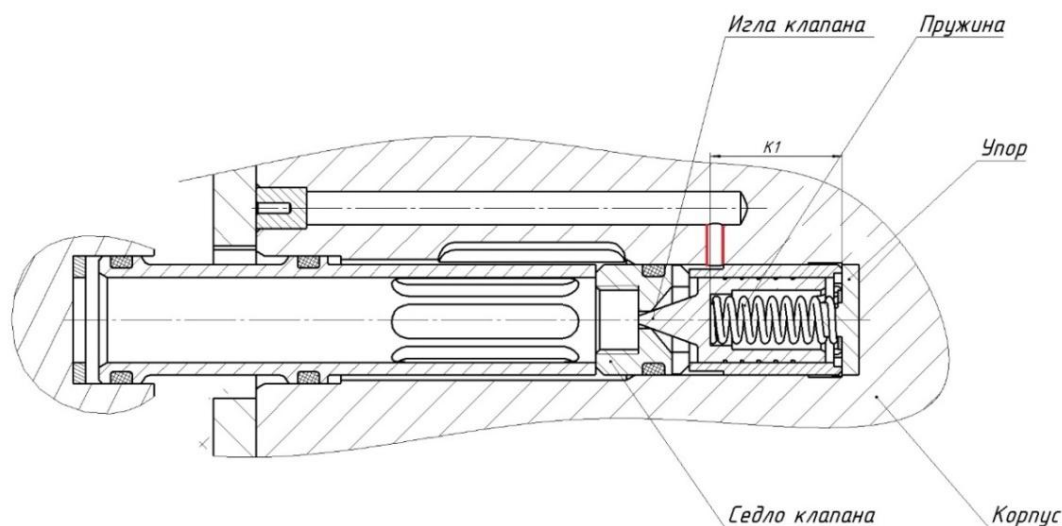


Рис. 2 Клапан

Рациональнее всего применение в шестеренных насосах положительной передачи. В такой передаче толщина зуба у основания увеличена, прочность зуба является достаточной, несмотря на уменьшенный радиус сопряжения с впадиной. Также при увеличенной толщине зуба у основания уменьшается вероятность откалывания зуба, что увеличивает ресурс работы зубчатого колеса [4].

ВЫВОДЫ

Были рассмотрены различные конструктивные и технологические меры повышения производительности работы шестеренных насосов. На практике выше изложенные решения чаще всего применяются в комплексе для получения максимально высокой производительности при длительном ресурсе работы и простоте изготовления. Наиболее прогрессивным методом является применение специальных материалов и нанесение антифрикционных покрытий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Е.М. Юдин – Шестеренные насосы основные параметры и их расчет, М., Машиностроение, 1964 г.
2. Аустов И.П. Влияние качества сборки на типовые дефекты шестеренных насосов авиационного назначения. Сборка в машиностроении, приборостроении: сб. ст. 2007. № 12. С. 51-54
3. Аустов И.П., Свищёв А.В. Оценка износа пары трения авиационного агрегата на основе теории фрикционной усталости // Известия Самарского. научного. центра Российской. академии наук. 2011. Т. 13, № 4 (3). С. 940-943.
4. ТММ. Проектирование и анализ зубчатых механизмов : метод. указ. / сост. : П.А. Галкин, Л.Х. Никитина. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2008. – 32 с. – 250 экз.
5. <http://neftegaz.ru/science/view/906>

УДК 678.02:678.5.059

Колосов О.Є., Сівецький В.І., Сідоров Д.Е., Івіцький І.І., наук.
кер. Сокольський О.Л. (Україна, м. Київ, НТУУ «КПІ»)

ПРОГРЕСИВНІ ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ ВИГОТОВЛЕННЯ ВИСОКОМІЦНИХ НАМОТУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ З ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИТІВ У ХІМІЧНОМУ МАШИНОБУДУВАННІ

Розглянуто напрями застосування прогресивної ультразвукової технології при виготовленні високоміцних намотувальних виробів і конструкцій з реактопластичних полімерних композитів у хімічному та спеціальному машинобудуванні

У світі сучасні композити все впевненіше витісняють "класичні" металеві матеріали. Нові волокна, тканини і препреги (попередньо просочені полімерним зв'язуючим орієнтовані волокнисті наповнювачі) отримали широке поширення в авіаційній, космічній, атомній промисловості, машинобудуванні, в трубопроводному транспорті. Так, наприклад, препреги застосовуються при виготовленні корпусів літаків і вертольотів, крил, обтічників, гвинтів. Використання цих матеріалів дозволяє знизити вагу і, як наслідок, витрату палива повітряних суден, збільшити характеристики міцності і термін їх служби.

На основі препрегів виготовляють сучасні будівельні матеріали, що відрізняються рядом унікальних властивостей. Не менш перспективним ринком застосування препрегів є їх використання у вітроенергетиці при виготовленні лопатей вітроенергетичних установок.

Крім того, препреги можуть застосовуватися в автомобіле- і суднобудуванні, для виготовлення суднових корпусів і несучих деталей автокузовів; в будівництві, в тому числі для армування бетонних конструкцій. У медицині препреги застосовуються при виготовленні протезів. Номенклатура виробів товарів народного споживання, що виготовляються з препрегів, також надзвичайно широка: автобампери особливої міцності, шоломи та інше захисне обладнання для будівельників, прохідників, спортсменів, товари для туризму і відпочинку (рибальські вудки), а також спортивний інвентар (ключки для гольфу, оснастка велосипедів, роликів ковзанів).

У машинобудуванні (як хімічному, так і спеціальному) препреги використовуються для формування високоміцних намотувальних виробів та конструкцій (оболонок тиску, корпусних конструкцій тощо).

В роботі досліджувались питання розроблення і подальшого впровадження інноваційних технологічних засад енергоощадного одержання високоміцних намотувальних виробів для вітчизняної промисловості і спеціального машинобудування з реактопластичних напівфабрикатів-препрегів на основі полімерних зв'язуючих та орієнтованих волокни-

стих наповнювачів із застосуванням низькочастотного ультразвуку (УЗ) за кавітаційних режимів.

Перша ідея роботи полягає в використанні експериментально установленої можливості направленої зміни властивостей полімеру і кінцевого полімерного композиційного матеріалу (ПКМ) на його основі за рахунок застосування УЗ-модифікації. Попередньо експериментально було досліджено, що при цьому можна змінювати хімічну будову полімеру, його фізичну (надмолекулярну) структуру, склад та фазову структуру композиційного олігомеру і полімерного зв'язуючого на його основі.

Було встановлено, що при здійсненні УЗ-обробки полімерних рідких середовищ ефективним напрямком є використання УЗ-кавітації у низькочастотному діапазоні. При цьому зростає інтенсивність озвучування і скорочується час УЗ-обробки у порівнянні з традиційною технологією. Тому з цієї точки зору доцільним є визначення ефективних параметрів УЗ-обробки шляхом їх оптимізації для досліджуваних режимних параметрів одержання ПКМ на основі препрегів.

Друга ідея роботи полягає в експериментально встановлених результатах, що свідчать про скорочення загального часу одержання реактопластичних композицій в результаті застосування УЗ-обробки щонайменше в 2 рази (для ЕК «холодного твердіння») і у 3-4 рази (для епоксидних композицій – ЕК «гарячого твердіння»). Також експериментально було встановлено, що застосування зовнішньої УЗ-дії приводить до покращення якості гомогенізації ЕК та підвищення фізико-механічних властивостей одержуваних затверділих епоксидних полімерів – ЕП. Це дає базу для обґрунтування засад енергоощадності при розробленні процесів одержання виробів з ПКМ на основі препрегів при застосуванні УЗ-модифікації.

Третя ідея роботи полягає в тому, що ефективним напрямком одержання якісних наповнених ЕК і ЕП є використання УЗ для покращення їх гомогенізації, модифікування (УЗ-активацію) поверхні волокнистого наповнювача (ВН) безпосередньо перед його просоченням ЕЗ для збільшення площі питомої поверхні ВН та поліпшення адгезії. Це дає змогу вибирати ефективні режимні параметри виготовлення препрегів та конструктивно-технологічні параметри реалізуючого просочувально-сушильного обладнання.

Четверта ідея роботи полягає в застосуванні математичних методів планування експерименту для оптимізації режимних параметрів базових процесів одержання препрегів та виготовлення ПКМ на їх основі, що дозволяє істотно скоротити спектр і кількість необхідних експериментів, зменшити фінансові й часові витрати на їх проведення, прогнозувати технологічні параметри процесів фізико-хімічної модифікації ЕК, а також кінцеві властивості одержуваних ПКМ на їх основі.

Таким чином, розв'язання досліджуваної проблеми забезпечить суттєве підвищення продуктивності процесів одержання ПКМ, зокрема, для хімічного та спеціального машинобудування, і значну економію

енергоресурсів, а також поліпшить екологічну обстановку при їх одержанні, що в кінцевому результаті буде сприяти економічному і соціальному прогресу в Україні.

ВИСНОВКИ

Отримані результати розроблених УЗ-технологічних засад можуть являти базу для детермінації енергоефективних режимів і конструктивно-технологічних параметрів випускаємих у цей час просочувально-сушильних машин. При цьому за розробленими засадами енергозбереження досягається за рахунок дії кумулятивних чинників: покращення гомогенізації ПЗ ультразвуком, УЗ-активація поверхні ВН для поліпшення його змочуваності ПЗ, дегазація структури ВН безпосередньо перед просочуванням, збільшення продуктивності процесу просочування та дозованого нанесення, а також суттєве скорочення загального часу отримання препрегів при покращенні властивостей кінцевого затверділого ПКМ.

ЛІТЕРАТУРА

1. Колосов О.Є. Математичне моделювання базових процесів виготовлення полімерних композиційних матеріалів із застосуванням ультразвукової модифікації [текст] : монографія / Колосов О.Є., Сівецький В.І. та ін. – К.: ВД «Едельвейс», 2012. – 268 с.
2. Колосов О.Є. Одержання волокнистонаповнених реактопластичних полімерних композиційних матеріалів із застосуванням ультразвуку [текст] : монографія / О.Є. Колосов, В.І. Сівецький, О.П. Колосова. – К.: ВПК ВПК «Політехніка», 2015. – 295 с.
3. Колосов О.Є. Одержання високоякісних традиційних та наномодифікованих реактопластичних полімерних композиційних матеріалів [текст] : монографія / Колосов О.Є. – К.: ВПК «Політехніка» НТУУ «КПІ», 2015. – 227 с.

УДК 65.011.56: 622.7.05

Косковецька О.В., наук. кер. Кіяновський М.В., Бондар О.В. (Україна, м. Кривий ріг, ДВНЗ «Криворізький національний університет»)

МОДЕЛЮВАННЯ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ В СЕРЕДОВИЩІ MODELA PLAYER 4 І ВІДТВОРЕННЯ ЇЇ НА ВЕРСТАТІ ROLAND MDX-20

Розглянуто стратегію максимального використання в навчальному процесі можливостей САПР, для наскрізного автоматизованого проектування. Визначені шляхи реалізації поставленої задачі та наведені приклади впровадження в навчальний процес САМ-систем.

Сучасна технологія виконання проектно-конструкторських робіт побудована на використанні таких програмних продуктів, які дозволяють швидко й оперативно вирішувати поставлені завдання. Актуальною стає задача максимального використання в навчальному процесі можливостей САПР студентами для автоматизованого проектування: виконання креслень, створення тривимірних моделей виробу для подальшої наглядної обробки [1].

Використовуючи у навчальних цілях програму MODELA 4 Player, яка входить до САМ системи і є програмним забезпеченням багатофункціонального пристрою – настільної фрезерної машини і 3D-сканера MDX-20, експортуємо з САД програми спроектовану модель деталі. Програма використовується для виконання тривимірного масштабування, завдання напрямку фрезерування, свердління, а також автоматичної побудови і відображення траєкторії інструмента. MODELA 4 Player підтримує автоматичну зміну інструмента і автоматичний поворот деталі при використанні поворотної осі. Цю програму також можна використовувати для тривимірного гравірування.

За допомогою функцій програми вводимо параметри припусків, глибини, режимів, інструменту для механічної обробки [2].

При моделюванні обробки деталей створюємо траєкторії та встановлюємо «0» верстата. Уже потім йде налаштування фрезерно-копіювального верстату MDX-20 і виведення створеної команди для обробки (рис. 1).

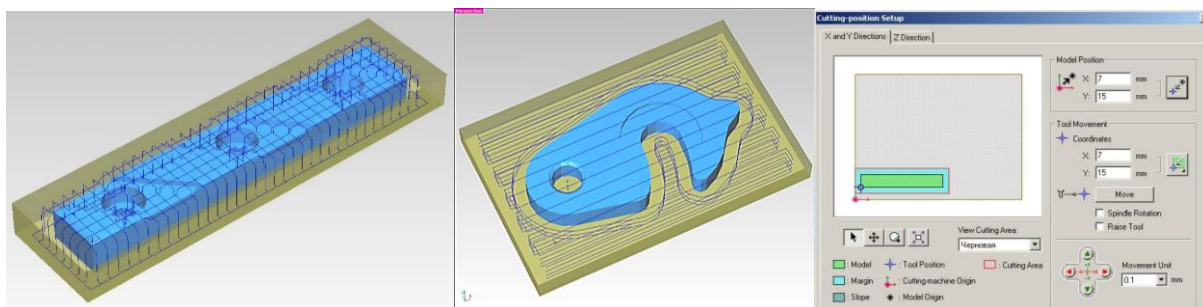


Рис. 1 Наглядна траєкторія та виведення «0» верстата для обробки

В результаті використання програми та верстата отримуємо модель деталі (рис. 2).



Рис. 2 Оброблені деталі «Пластина» і «Шайба»

Таким чином, впровадження наскрізної підготовки САПР у навчальному процесі дозволить сформувати фахівця високої кваліфікації, здатного орієнтуватися в різноманітних програмних модулях із практичним їх впровадженням на виробництві, яке дає змогу отримати наглядну модель, скоротивши ресурси, час та підвищити продуктивність роботи.

ЛІТЕРАТУРА

1. Криськов О.Д. САПР операцій механічної обробки. Математичне моделювання технологічних процесів / Криськов О.Д. – Кіровоград: КНТУ, 2004. – 75с.
2. Бордовская., Н.В. Реан А.А. Педагогика. Учебник для вузов – СПб: Издательство “Питер”, 2000. – 304 с.

УДК 621.9

Кулик Р.Ю., науч. рук. Ковалевский С.В. (Украина, г. Краматорск, ДГМА)

АКУСТИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА КАЧЕСТВА СБОРКИ МНОГОБОЛТОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

В статье представлено обоснование применения акустических методов для определения усилия затяжки резьбовых соединений, необходимого для технологических операций сборки механизмов и машин при их производстве или ремонте, что особенно важно для обеспечения качества многоболтовых соединений.

Объективная оценка работоспособности и безопасности технических объектов, содержащих резьбовые соединения, в большинстве случаев невозможна без наличия достоверной информации о действующих в соединяемых деталях усилиях [1]. Простейшие устройства контроля усилия затяжки, такие как динамометрические ключи, имеют большие погрешности [2].

В настоящее время все чаще применяются методы неразрушающего контроля, в частности – методы акустического контроля. Однако, область применения акустических методов, можно расширить и использовать для исследования усилия затяжки болтовых соединений. Такой метод имеет преимущество применения в производственных условиях [3].

В основе метода определения напряженного состояния детали, положен упруго акустический эффект. Его сущность заключается в расчете линейных зависимостей скорости упругих волн от напряжений, надежное экспериментальное определение которых стало возможным с появлением современной ультразвуковой и радиоэлектронной измерительной техники [4].

Таким образом, методы акустики могут применяться для контроля многоболтовых ответственных соединений.

Сложные сборочные соединения состоят из множества элементов, каждый элемент имеет свою массу и резонансную частоту. Подавая акустический сигнал на деталь можно увидеть спектр каждого элемента, в том числе – болтовых соединений. В качестве возбуждающего воздействия подводимого к контролируемому объекту, можно использовать, по нашему мнению два способа:

- импульсный – метод, при котором, объект подвергается однократному возбуждению (механическому, электромагнитному);
- спектральный – на деталь подается «белый шум», при помощи которого получают резонансные частоты всех соединений.

Первый метод имеет существенный недостаток – скорость протекания процесса очень высока, а, следовательно, время протекания, настолько мало, что зафиксировать полную информацию о процессе не представляется возможным.

Используя второй метод, время и скорость протекания процесса неограниченны, что позволяет получить полную информацию об объекте [5].

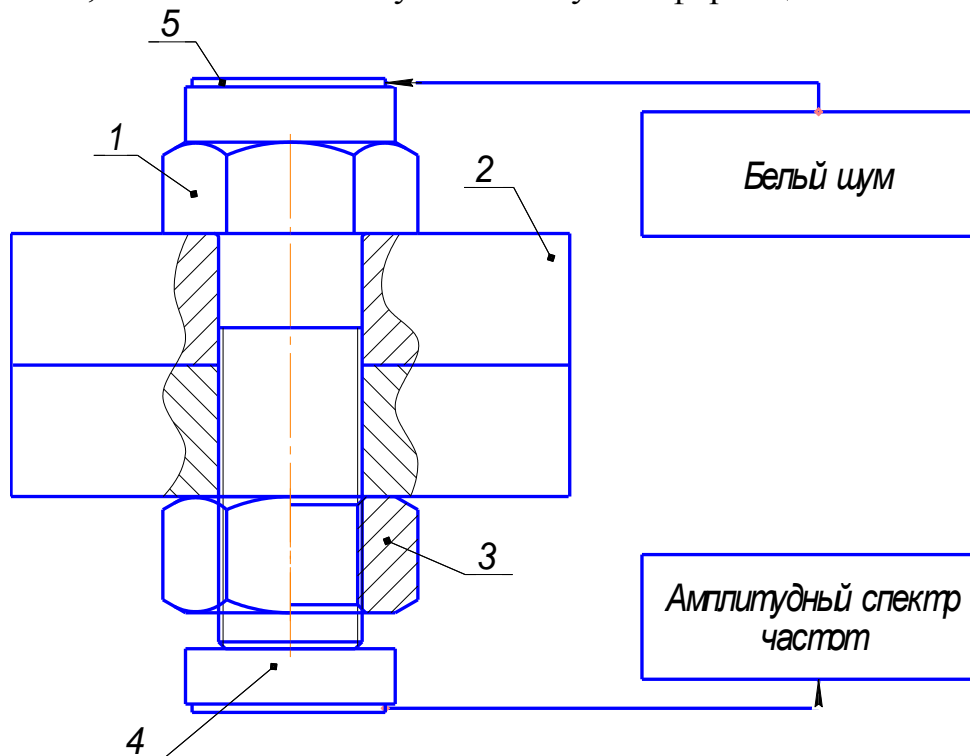


Рис. 1 Схема простого болтового соединения.

На рис. 1 представлена схема простого болтового соединения, состоящая из двух пластин 2, скрепленных болтом 1 и гайкой 3. При помощи излучателя 5 на деталь подается «белый шум», который фиксируется датчиком 4 в виде амплитудного спектра частот. Для определения собственной частоты болта определяем его массу. Отраженный спектр многоболтового соединения позволяет, определить его резонансную частоту под напряжением. Изменяя силу затяжки можно определить характер изменения резонансных частот болтового соединения при том или ином установившемся значении.

Таким образом, зная изменение частот элементов в простом соединении можно предположить, что такие же изменения будут происходить и в сложной конструкции, но количество резонансных частот будет зависеть от числа болтовых соединений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ермолов И.Н. Теория и практика ультразвукового контроля. М.: Машиностроение, 1981.240с.
2. Методы акустического контроля металлов, под ред. Н.П.Алешина. М.: Машиностроение, 1989.456с.
3. Ультразвуковые преобразователи для неразрушающего контроля, под ред. И.Н.Ермолова. М.: Машиностроение, 1986. 280с.
4. Неразрушающий контроль. В 5 кн. Кн.2. Акустические методы контроля: Практик. пособие / И.Н.Ермолов, Н.П.Алешин, А.И.Потапов; под ред. В.В.Сухорукова. М.: Высшая школа, 1991. 283с.

5. Ковалевский С. В. Развитие методов акустической диагностики в машиностроении: монография / С. В. Ковалевский, Е. С. Ковалевская, В. И. Тулупов. – Краматорск : ДГМА, 2014. – 91 с.

УДК 621.914.5

Лебедь М.С., науч. рук. Тулупов В.И. (Украина, г. Краматорск, ДГМА)

МЕТОДЫ ПОВЕРХНОСТНОГО УПРОЧНЕНИЯ ЗУБЧАТЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Проанализированы технологические методы поверхностного упрочнения зубчатых колес, преимущества и недостатки отдельных технологий, а также дана оценка наиболее перспективным решениям.

Ключевыми вопросами при проектировании зубчатых передач является выбор материала и способа их упрочнения. При выборе стали для изготовления необходимо учитывать ее стоимость, обрабатываемость, прокаливаемость и деформацию колеса при термической обработке. Так как основным элементом является зуб, применяемые стали и методы упрочнения должны обеспечивать высокую контактную и усталостную прочность, прочность при изгибе, ударе и износостойкость зуба.

Зубчатые традиционно изготавливают из высоконикелевых цементуемых сталей 12ХН3А, 18Х2Н4МА, 20Х2Н4А, 20ХГН2МБФ, 20Х3НЗМФБА, содержание никеля в которых находится в пределах 2,5...4,4%. Чаще в силовых передачах применяются сталь 20Х2Н4А, 20Х3НЗМФБА.

В настоящее время никель является одним из наиболее распространенных легирующих элементов, применяемых для повышения изломно-прочностных характеристик сталей. Положительные стороны легирования стали никелем проявляются, прежде всего в обеспечении прокаливаемости, в обеспечении вязкости сердцевины, в снижении чувствительности к различного вида концентратором напряжений.

Для достижения высоких характеристик контактной и изгибной выносливости зубчатые колеса из этой стали подвергают также поверхностному упрочнению.

Наиболее распространёнными видами упрочнения рабочих поверхностей эвольвентного зацепления являются ППД и химико-термическая обработка.

Поверхностное пластическое деформирование ППД – простой и эффективный способ повышения несущей способности и долговечности деталей машин и частей сооружений, в особенности работающих в условиях знакопеременных нагрузок. В зависимости от конструкции, свойств материала, размеров и характера эксплуатационных нагрузок деталей применяются различные виды ППД: накатка и раскатка роликами и шариками, обкатка зубчатыми валками, алмазное и др. способы обработки.

Широкое применение такого метода объясняется его техническими достоинствами (простотой реализации, сравнительно высокой производи-

тельностью, универсальностью, высокой стойкостью и надежностью используемого инструмента).

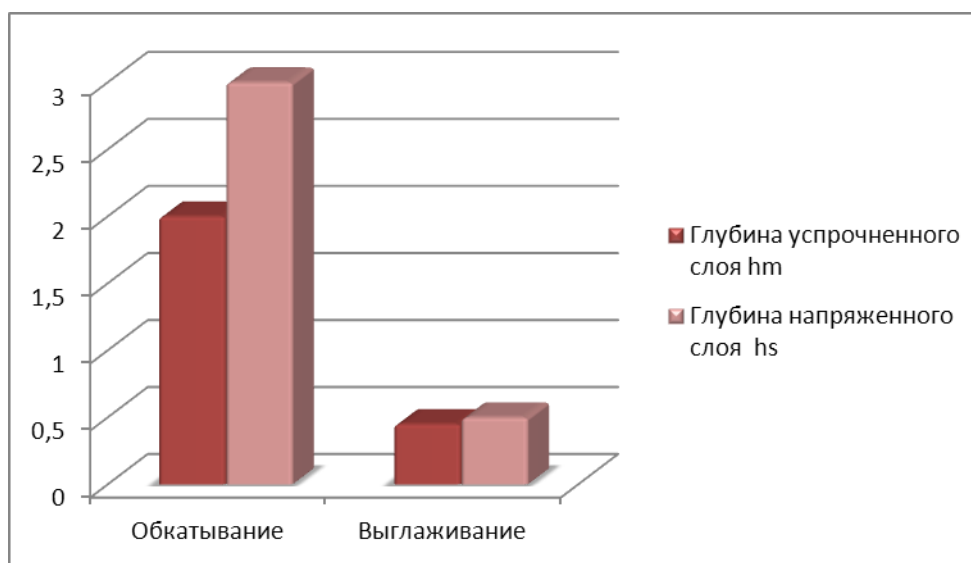


Рис. 1 Зависимость глубины упрочняемого слоя от глубины напряженного слоя

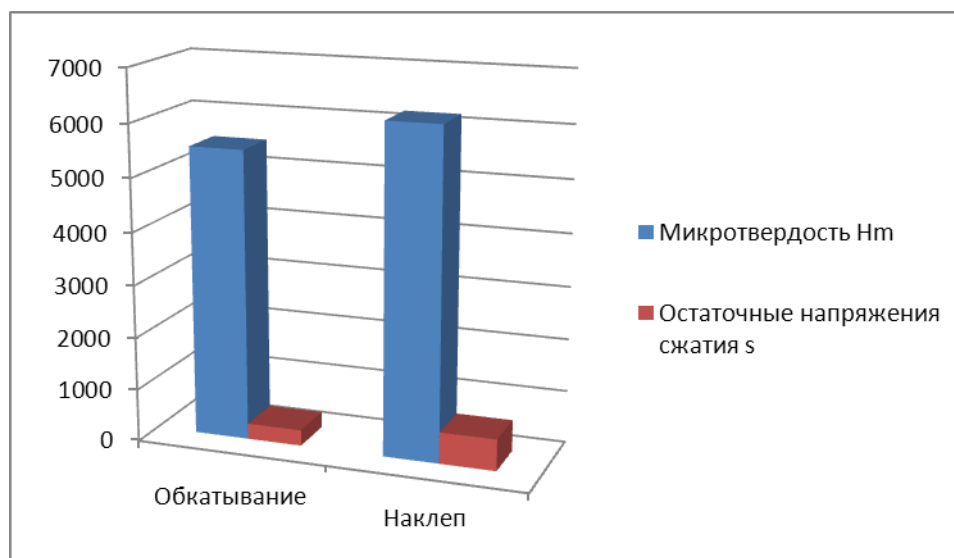


Рис. 2 Зависимость микротвердости от остаточных напряжений сжатия

Наряду с достоинствами, ему присущи недостатки, существенно ограничивающие технологические возможности: необходимость тщательной (без задиров и наростов), точной по размерам предварительной обработки поверхности с низкой исходной шероховатостью; возможность возникновения во время процесса ППД перенаклепа и шелушения обрабатываемой поверхности; сложность и трудоемкость процедур экспериментального установления режимных технологических параметров и т.п.

В настоящее время наиболее распространёнными способами упрочнения зубчатых поверхностей деталей машин являются поверхностные химико-термическая обработка – цементация, азотирование и закалка ТВЧ,

а также объемная закалка, является самым распространенным для сталей с содержанием $Ni > 3\%$.

Высоконикелевые стали характеризуются после закалки значительным количеством остаточного аустенита, который снижает изгибно-усталостную прочность материала. Для уменьшения содержания остаточного аустенита после цементации вводится дополнительный высокотемпературный отпуск и обработка холодом (-70 град.) после закалки. Стали высоколегированные типа 20XГН2МБФ термоупрочняются без операций промежуточного нагрева под закалку. Режим термообработки: цементация, подстуживание, непосредственно закалка и низкий отпуск.

Чтобы уменьшить коробление деталей в процессе закалки, рекомендуется применять закалочные прессы для цилиндрических и конических зубчатых колес различных габаритов. Фиксация деталей в закалочных штампах производится по базовому посадочному отверстию ступицы и базовым опорным торцам ступицы и зубчатого венца.

При объемной закалке на поверхности и сердцевине зуба можно получить достаточно большую твердость и требуемую ударную вязкость, но величина поверхностной твердости зуба оказывается недостаточной для обеспечения изгибной и контактной выносливости зубьев мелко модульной зубчатой передачи, а следовательно и обеспечения функциональных характеристик приводов с одновременным снижением их массогабаритных показателей при повышенной нагрузочной способности и безотказности работы в экстремальных условиях космического пространства в течение срока активного существования 10-15 и более лет.

Метод закалки токами высокой частоты (ТВЧ) основан на том, что если в переменное магнитное поле, создаваемое проводником-индуктором, поместить металлическую деталь, то в ней будут индуцироваться вихревые токи, вызывающие нагрев металла. Чем больше частота тока, тем тоньше получается закаленный слой.

Азотирование зубчатых поверхностей деталей машин применяется при удельной нагрузке в зубчатом зацеплении $W \leq 450$ Н/мм, т.к. в этом случае максимальные касательные напряжения лежат на глубине 0,2-0,3 мм, а упрочненный слой при азотировании достигает 0,6-0,7 мм и обладает повышенной твердостью $> 600HV$ и износостойкостью. При удельной нагрузке $W > 450$ Н/мм производится цементация зубчатых колес. Упрочненный слой глубиной до 1,4 мм, поверхностная твердость 56-62 HRC. В настоящее время прогрессивными процессами химико-термической обработки является ионное азотирование и ионная цементация.

Одновременное поверхностное упрочнение эвольвенты и впадин обеспечивает высокую контактную прочность и, что особенно важно, одинаковое упрочнение переходного участка между эвольвентой и впадиной.

Такая обработка способствует ликвидации возникающих радиальных погрешностей при изготовлении колес, частично или полностью локализует дефекты, полученные при зубофрезеровании, термической обработке токами высокой частоты (ТВЧ) и зубошлифовании, такие, как глубокие

риски, микротрещины, шлифовочные прижоги и т.п. Повышается точность зацепления, тем самым снижается нагрузка на зубья и, как следствие, изгибные и контактные напряжения, что позволяет практически избежать поломок и сколов зубьев.

Величина шероховатости до ППД, по всему контуру – $Ra=1,25-1,6$ мкм, а после ППД по всему контуру – $Ra=0,32$ мкм. Одновременно уменьшаются и другие параметры:

- понижается уровень наибольшей высоты неровностей профиля до $R_{max}= 2-3$ мкм против $R_{max}= 5...6$ мкм у шлифованных зубьев;
- сглаживается радиус вершин выступов, особенно в переходном участке от эвольвенты к впадине зубьев от $r=50-200$ мкм до $r=500-600$ мкм, что свидетельствует о более пологих формах неровностей;
- изменяются характеристики опорных, поверхностей.

Ликвидация погрешностей способствует равномерному распределению тепловых потоков и отвод ее в тело зуба, в результате еще больше повышается прочность зуба. Значительно улучшаются шумовые и вибрационные характеристики зубчатых передач, а это значит, что и сопряженные узлы и детали (корпус редуктора, подшипники, тяговый двигатель и др.) испытывают меньшие нагрузки.

Износостойкость повышается в 1,4-1,5 раза, предел выносливости зубьев увеличивается в 1,5-1,7 раза. Остаточные напряжения растяжения в поверхностном слое переходят в более благоприятные напряжения сжатия 250-350 мПа, причем происходит измельчение блоков мозаики, повышается плотность дислокаций, в результате увеличиваются прочностные свойства.

Для достижения технического результата известный инструмент для поверхностного упрочнения зубьев колес пластическим деформированием, содержащий втулку с установленным на ней калибрующим элементом в виде зубчатого колеса, упрочняющим эвольвенту, снабжен установленным на втулке элементом для упрочнения впадин, выполненным в виде изогнутых пружинящих штифтов, на торцах которых укреплены калибровочные вставки из твердого сплава, имеющие сферическую поверхность, при этом инструмент имеет возможность ввода калибрующих частей с осевым усилием в беззазорное зацепление с обрабатываемым колесом, при вращении которого, перемещаясь вдоль зубьев, одновременно равномерно распределяет усилие на поверхность эвольвенты, основания зубьев и впадины между ними.

На рис. 3, а изображен инструмент в разрезе; на рис. 3, б – вид сбоку; на рис. 3, в – место 1 (см. рис. 3); на рис. 3, г – разрез А-А рис. 3, в. Инструмент для поверхностного упрочнения зубьев колес пластическим деформированием, содержащий втулку с установленным на ней калибрующим элементом в виде зубчатого колеса, упрочняющим эвольвенту, отличающийся тем, что инструмент снабжен установленным на втулке элементом для упрочнения впадин, выполненным в виде изогнутых пружинящих штифтов, на торцах которых укреплены калибровочные вставки из твердого сплава, имеющие сферическую поверхность, при этом инструмент имеет возможность ввода калибрующих частей с осевым усилием в беззазор-

ное зацепление с обрабатываемым колесом, при вращении которого, перемещаясь вдоль зубьев, одновременно равномерно распределяет усилие на поверхность эвольвенты, основания зубьев и впадины между ними.

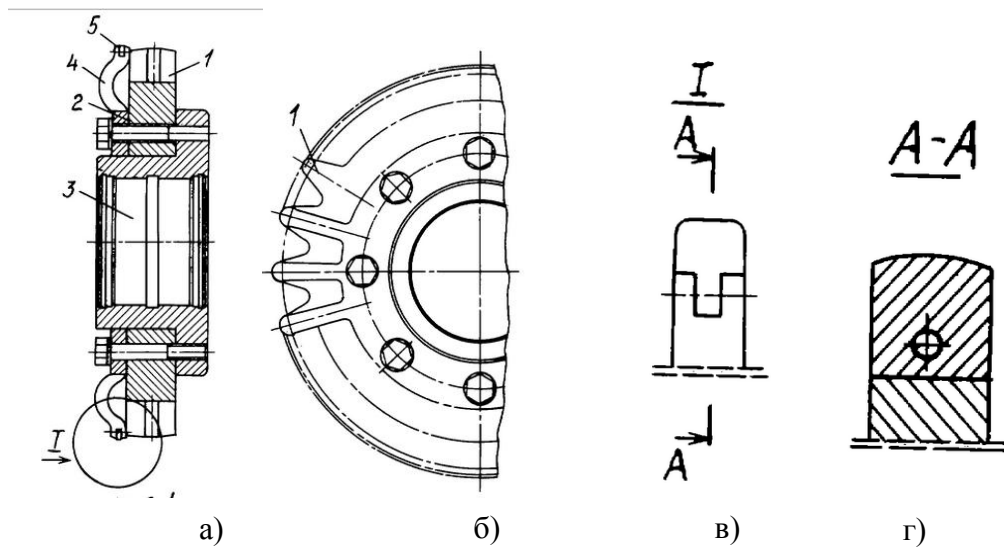


Рис. 3 Инструмент для поверхностного упрочнения зубьев колес пластическим деформированием

Таким образом, становится очевидным, что, отдельное упрочнение не может гарантировать постоянство воздействия по усилию и времени контактирования упрочняющих поверхностей инструментов и обрабатываемых зубьев колес. Общеизвестно, что концентрация напряжений при работе зубчатых передач приходится на основание зуба. Одновременное поверхностное упрочнение эвольвенты и впадин обеспечивает высокую контактную прочность и, что особенно важно, одинаковое упрочнение переходного участка между эвольвентой и впадиной.

Ионно-плазменная технология нанесения трибологических износостойких покрытий. Для нанесения покрытий на поверхность обрабатываемого инструмента, деталей и узлов используются потоки ионов и плазмы, генерируемые в условиях вакуума или при атмосферном давлении. Наиболее интенсивному воздействию подвергаются поверхностные слои зубчатые поверхности деталей, контактирующие между собой (пары трения). Широкими возможностями для нанесения покрытий обладают вакуумные установки, содержащие дуговые испарители и распылительные магнетронные источники [1]. Скорость нанесения защитных покрытий дуговым методом выше, чем магнетронным. Однако микрокапельный режим дугового испарения металла на катоде приводит к образованию микрокапель размером в единицы-десятки микрометров на поверхности обрабатываемых изделий. При этом шероховатость поверхности возрастает. Магнетронный метод нанесения покрытий обычно применяется для получения пленок толщиной до 10 мкм. Дуговые и магнетронные источники имеют различные конструкции магнитных систем

для управления дуговым и магнетронным разрядами [2, 3]. Общим является форма катода. Обычно применяются плоские дисковые и прямоугольные катоды. Для магнетронных и дуговых установок промышленного применения используется также длинные вращающиеся цилиндрические катоды для увеличения степени использования материала катода. В источниках с цилиндрическими катодами она составляет 70-80%, в магнетронных источниках с дисковыми и прямоугольными катодами используется только 25-30% материала катода.

Технологии нанесения трибологических покрытий на внутренние поверхности деталей и узлов начинают внедряться в промышленности. Зарубежная компания Mahle применяет ионно-плазменное нанесение покрытий на рабочие поверхности зубчатых поверхностей, маркируя их "Sputter" (катодное распыление). Такие поверхности с плазменной обработкой поверхности используют в производстве двигателей легковых и грузовых автомобилей Audi, Mercedes-Benz, MAN [4].

ВЫВОДЫ

Важным резервом экономии материальных и трудовых ресурсов является применение поверхностного упрочнения высококонцентрированными источниками нагрева, что позволяет значительно повысить срок службы изделий, улучшить их эксплуатационные характеристики, снизить стоимость изготовления и ремонта. Основной отличительной особенностью методов поверхностного упрочнения высококонцентрированными источниками нагрева является возможность получения высоких скоростей нагрева и охлаждения материалов, на несколько порядков превышающих значения, характерные для традиционных методов упрочнения, что способствует получению упрочненных слоев с недостижимым ранее уровнем эксплуатационных свойств.

ЛИТЕРАТУРА

1. Попов В.Ф., Горин Ю.Н. *Процессы и установки электронно-ионной технологии*. – М.: Высш. Шк., 1988.
2. Mahan J.E. *Physical vapor deposition of thin films.*: John Wiley & Sons, 2000.
3. Пашенцев В.Н. *Характеристика плазмы магнетрона на больших расстояниях от катода // Прикладная физика*. – 2009. № 4. – С. 91–95.
4. *Современная трибология: Итоги и перспективы*. Под ред. Фролова К.В. – М.: Издательство ЛКИ, 2008.

УДК 621.74.043.1

Лелека Д.В., Пятница А.А., науч. рук. Криворучко А.М., Макеев С.Ю.
(Украина, г. Днепропетровск, НМетАУ)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЛИТЬЯ ВИБРАЦИОННОЙ ОБРАБОТКОЙ

В условиях литейного цеха Днепропетровского агрегатного завода выполнены экспериментальные исследования повышения качества литья в кокиль методом низкочастотной вибрационной обработки. Применение исследуемой технологии уменьшает количество брака и может быть рекомендовано для использования в условиях больших производственных мощностей.

На современном этапе развития машиностроения одной из важнейших и актуальных задач стоит развитие ресурсосберегающих технологий снижения отходов при изготовлении деталей из железоуглеродистых сплавов и, особенно, из цветных металлов. Для получения заготовок при литье очень важно снижать брак отливок, получать изделия с минимальными припусками на снятие стружки.

Литейное производство является заготовительной базой машиностроения. Несмотря на длительное время существования производства отливок, технология их изготовления имеет немало недостатков, способствующих снижению качества литья [1]. Анализ работы литейных предприятий показывает, что производство отливок терпит значительные убытки от брака литья. О количестве и видах литейных дефектов можно судить на площадках брака, где складывается дефектное литье. Но еще хуже, когда брак выявляется не сразу, а после того, как заготовка прошла все стадии обработки, и в готовой детали методами неразрушающего контроля выявляются внутренние дефекты.

Описанное свидетельствует о том, что назрела реальная необходимость в разработке метода, позволяющего оказать помощь литейщикам для снижения различных дефектов и устранения причин их возникновения. В качестве такого метода предлагается использование виброимпульсного воздействия.

Цель проведения экспериментальных исследований – установление принципиальных возможностей применения способа вибрационного воздействия в технологическом процессе литья в кокиль для повышения эффективности производства в условиях Днепропетровского агрегатного завода.

Основной задачей проведения экспериментальных исследований по вибрационной обработке является определение общей эффективности применения этой технологии для повышения качества продукции, подтверждения в натуральных условиях данных лабораторных исследований вибрационного воздействия, а также разработка технологии применения метода в условиях завода.

Научное обоснование метода вибрационного воздействия.

В технологическом процессе литья ввиду неравномерности застывания металла фазовые превращения (в процессе кристаллизации и остывания), сопряженные с увеличением или уменьшением объема отдельных зерен, порождают значительные остаточные напряжения. В отливке могут образовываться условные слои с различной плотностью. Приповерхностные слои застывают быстрее и в них создаются напряжения, вызывающие деформации растяжения, а внутренние слои генерируют напряжения сжатия, уравнивающие растягивающие напряжения. По этой и по ряду других причин в готовом изделии получается сложная картина напряженно-деформированного состояния, которая негативно влияет на конечную форму заготовки.

Для снижения таких градиентов напряжений предлагается применять вибрационную обработку застывающего металла [2]. Метод низкочастотной виброобработки предназначен для снижения остаточных механических напряжений в металлоконструкциях с высокими требованиями к их качественным характеристикам. При использовании метода определяли собственную частоту изделия, после чего конструкция подвергается вибрационной обработке на резонансной частоте в течение 15-20 минут, в результате чего происходило перераспределение механических напряжений.

В сравнении с базовым технологическим процессом завода, при литье в кокиль на стадии застывания металла получаемое изделие подвергали вибрационной обработке, при этом в процессе кристаллизации и остывания на вибростенде размещали сам кокиль с застывающим металлом.

Исследования проводились в литейном цехе путем виброобработки заготовок при литье в кокиль. Для экспериментов технологом завода предложены три типа деталей с максимальным выходом брака, это детали «Корпус», «Щит» и «Крыльчатка», изготавливаемые из сплава АЛ9-Т5. Вибрационная нагрузка создавалась путем наложения низкочастотных колебаний с помощью установки ЭВ63-4УЗ с инерционным дебалансным вибратором мощностью 120 Вт. Вибратор закреплялся под рамой, на которой размещался кокиль (рис.1). В процессе исследований частоту меняли в диапазоне 120-200 Гц, максимальная возмущающая сила составляла 1,8кН.

После остывания отливок производилось их клеймение, обрезка прибыли, термическая обработка, а затем выполнялся контроль макроструктуры, химического состава, механических свойств, рентгенопросвечивание, контроль твердости и люминесцентный анализ на отсутствие трещин.

Результаты проведенных анализов показали, что отливки, полученные с вибрационной обработкой, имеют повышенные механические свойства. Рентгеновский и люминесцентный анализы не выявили дефектов структуры. Отливки, полученные без вибрационной обработки, имеют более низкие механические свойства.



Рис. 1 Вибрационная обработка кокиля с отливкой в литейном цехе

Повышение качества литья путем наложения низкочастотных колебаний является достаточно эффективным методом: устраняются раковины, улучшаются механические показатели заготовки, а именно - временное сопротивление и относительное удлинение. Кроме того, при обработке вибрацией получено более эффективное снижение остаточных напряжений в сравнении с традиционным термическим способом.

ВЫВОДЫ

Вибрационный метод позволяет в широком диапазоне управлять режимными параметрами воздействия за счет изменения значений виброскорости и виброускорения, качественнее и с меньшими затратами уравнивать сжимающие и растягивающие остаточные напряжения, возникающие в заготовке при литье в кокиль. Применение исследуемой технологии уменьшает количество брака и может быть рекомендовано для использования в условиях больших производственных мощностей.

Метод низкочастотной вибрационного воздействия позволяет обрабатывать не только малогабаритные конструкции, но и массой до 100 тонн. При серийном выпуске изделий, обработка может проводиться на вибростенде, и будет вестись автоматически по таймеру. Совокупность экономий на каждом этапе может дать ощутимый экономический эффект в целом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Воронин Ю.Ф. Атлас литейных дефектов. Чёрные сплавы / Ю.Ф. Воронин, В.А. Камаев. – М.: Машиностроение, 2005. – 328 с.
2. А.с. 1570844 SU, В22D 27/08. Способ обработки затвердевающего слитка: ДПИ и Дон. металл. завод / Смирнов А.Н., Петтик Ю.В., Пленлер М.Л. и др. – №4395736/03-02; заявл. 22.03.1988; опубл. 15.06.1990, Бюл. № 22.

УДК 621.77

Макеева А.С., науч. рук. Фролов Я.В. (Украина, г. Днепропетровск, НМетАУ)

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИИ АЛЮМИНИЕВОЙ ПОЛОСЫ, АРМИРОВАННОЙ СТАЛЬНОЙ СЕТКОЙ

Описаны экспериментальные исследования деформации при прокатке алюминиевых полос, армированных стальной сеткой. Установлено, что накопленная в процессе прокатки деформация растяжения проволок приводит к преждевременному разрушению всего пакета при испытаниях вдоль оси прокатки. Лучшие результаты получаются при армировании сеткой, в которой проволоки расположены под углом к оси прокатки. Установлено, что на качество полученного пакета оказывают влияние не только температура и степень деформации, но и диаметр валков.

Весьма перспективными для применения в различных отраслях техники являются композиционные материалы на основе алюминия армированные высокопрочной стальной проволокой имеющие высокие прочностные характеристики и сравнительно малую стоимость. В этом случае алюминиевая матрица снижает удельный вес, а стальная сетка придает композиции прочность и пластичность. Свойства и характеристики таких композиций, в том числе полученных в процессах обработки металлов давлением, описаны в книге [1]. В работах [2, 3] выполнены исследования прочности соединения, полученного при совместной прокатке двухслойной (Al–Al) и трехслойной (Al–сталь–Al) композиции и показано, что скорость деформации не оказывает существенного влияния на свойства композиции, а важными параметрами являются: контактное напряжение, температура и степень деформации.

Целью данной работы является исследование возможности получения композиции, состоящей из двух наружных слоёв алюминиевого сплава и сетки из нержавеющей стали внутри, способом горячей прокатки.

В качестве алюминиевой матрицы были выбраны сплавы АМг6 (аналог ENAW5056), упрочняемый пластической деформацией, и АД31 (аналог ENAW 6063), упрочняемый термообработкой. Пластины для прокатки с размерами 4×36×120 мм. В качестве армирующего материала использовалась плетеная проволочная сетка двух типов из нержавеющей стали типа X18H9: тип А – диаметр проволоки 0,5 мм, размеры ячейки 3×3 мм; тип В – диаметр проволоки 0,25 мм, размеры ячейки 1×1 мм. В качестве заготовки для прокатки были приготовлены пакеты трех типов, скрепленные алюминиевыми заклепками: тип 90 – сетка ориентирована таким образом, чтобы проволочки располагались вдоль и поперек направления прокатки; тип 45 – проволочки сетки ориентированы под углом 45° к направлению прокатки; тип 0 – без сетки. Прокатка проводилась в один или два прохода с нагревом деформацией до температур 200-500°С.

При определении степени деформации в качестве исходной толщины полосы принималась сумма толщин алюминиевых матриц без учета толщины сетки. Коэффициент вытяжки пакета определялся как отношение поперечных сечений до и после деформации. Деформация проволок определялась по площади их проекции на продольную (вдоль оси прокатки) и поперечную плоскости сечения.

Во всех случаях прокатка проходила удовлетворительно. Расслоения пакетов на выходе из стана обнаружено не было. Также после прокатки сетка относительно равномерно заполняла все пакеты. Видимых обрывов или отставания сетки от матрицы обнаружено не было. Механическое и химическое удаление одного слоя матрицы показало, что сетка внутри пакета деформируется неравномерно. Так, для пакетов типа 90 заметен существенный изгиб поперечных сеток в центральной части пакета, а также неравномерное увеличение расстояния между ними.

Анализ искажения формы поперечных проволок показал, что более толстая сетка типа А больше склонна к изгибу, чем сетка типа В. В тоже время, прокатка сплава 5056 при температуре 500°C приводит к меньшему изгибу проволоки, чем прокатка сплава 6063 при температуре 200°C. Увеличение степени деформации в исследованном диапазоне приводит к усилению изгиба поперечных проволок. В пакетах типа 45 вследствие деформации изменился угол между проволоками, а сами проволоки утонились меньше, чем при прокатке пакетов типа 90.

При прокатке с расчетной степенью деформации 30% для сплавов 5056 и 6063 отклонение угла пересечения проволок в сетке типа А составило, соответственно, 12 и 13°. Для сетки типа В значение отклонения угла пересечения проволок для обоих материалов составило 16°. При прокатке сплава 6063 в два прохода с расчетной суммарной степенью 60% (30+30%) деформации отклонение угла пересечения проволок было одинаковым для двух типов сетки и составило 32°.

По сравнению с прокаткой при той же степени деформации пакетов из сплава 5056 заметным является более интенсивная деформация проволок, как в продольном направлении, так и их сплющивание. Во всех случаях коэффициент вытяжки проволок, с учетом удлинения ячейки для пакетов типа 45, был больше, чем суммарный коэффициент вытяжки пакета. Это свидетельствует о том, что проволоки в пакете не порвались. Достижение больших по сравнению с пакетами из сплава 5056 деформаций проволоки можно объяснить благоприятным температурным интервалом деформации аустенитной нержавеющей стали, называемым иногда "эффектом теплой прокатки" [4]. В пакетах типа 45 при трансформации из квадрата в ромб диагональ увеличилась в 1,49 и 1,45 раз для проволок типа А и типа В, соответственно. Вероятность разрыва проволок в этом случае минимальна.

После прокатки пакетов из них с помощью электроэрозионной резки были вырезаны пятикратные образцы для статических испытаний на растяжение вдоль направления прокатки. Наилучший результат при испытаниях пакетов с сеткой показали пакеты 5056-А-45, в которых

$R_{0,2} = 211 \dots 229$ МПа, $R_m = 358 \dots 377$ МПа. Однако относительное удлинение в этих пакетах оказалось ниже: $A_5 = 15,4(\pm 1,2)\%$, $A_{5(R_m)} = 11(\pm 1,5)\%$. Пакеты типа 5056-B-45 показали при испытаниях несколько меньшие значения предела текучести ($R_{0,2} = 201 \dots 205$ МПа) и предела прочности ($R_m = 362 \dots 365$ МПа), однако выиграла по пластичности. Значения A_5 и $A_{5(R_m)}$ составили $17,8(\pm 1)\%$ и $14,5(\pm 0,5)\%$, соответственно, что практически совпадает с результатами испытаний пакетов без сетки.

Пакеты типа 90 показали при испытаниях неудовлетворительные результаты: показатели механических свойств и пластичности находились на уровне 30...70% от результатов пакетов типа 0.

Наблюдение за динамикой разрушения образцов при испытаниях позволило установить механизм разрушения пакетов ирразвивается в такой последовательности: «разрушение одного слоя пакета \rightarrow деламинация \rightarrow разрушение второго слоя пакета». При этом деламинация может ограничиваться одной или несколькими ячейками и не происходить на всей длине образца.

ВЫВОДЫ

Для улучшения свойств пакетов путем армирования проволокой ограничением является накопленная в процессе прокатки деформация растяжения проволок, которая приводит к преждевременному разрушению проволок и всего пакета при испытаниях вдоль оси прокатки. При этом возникает противоречие между требуемой для сварки слоёв матрицы степенью деформации (при данной температуре) и растяжением вследствие этой деформации армирующих проволок. Для оценки целостности проволок в пакете после прокатки следует соотносить коэффициент удлинения диагонали ячейки с общим коэффициентом вытяжки пакета. Если он меньше, то вероятность обрыва очень высока.

Лучшие результаты получаются при армировании сеткой, в которой проволоки расположены под углом к оси прокатки. На механические свойства пакета, армированного проволокой, основное влияние оказывают такие факторы: ориентация проволок, температура прокатки, степень деформации и диаметр валков стана. Негативным результатом экспериментов является то, что во всех случаях недостаточное объемное содержание проволоки в композиции не позволило существенно повысить её прочность.

ЛИТЕРАТУРА

1. Структура и свойства композиционных материалов / К.И. Портной, С.Е. Салибеков, И.Л. Светлов, В.М. Чубаров. – М.: Машиностроение, 1979. – 255 с.
2. Eizadjou M., Danesh Manesh H., Janghorban K. Investigation of roll bonding between aluminum alloy strips // *Material and Design* 29. – 2008. – P. 909-913.
3. Danesh Manesh, H., Shahabi, H. Sh., Effective parameters on bonding strength of roll bonded Al/St/Al multilayer strips // *Journal of Alloys and Compounds*, Volume 476, Issues 1-2, 12 May 2009. – P. 292-299.
4. Frolov Ya.V. The heat conditions of the pilger rolling / Ya. V. Frolov, I. Mamuzic, V. N. Danchenko // *Metallurgia*. – 2006. – № 3. – P. 179-184.

УДК 372.853

Марков Д.К., наук. кер. Лукавенко В.П. (Україна, м. Київ, НТУУ «КПІ»)

СПІВПРАЦЯ ВИЩОГО ТЕХНІЧНОГО НАВЧАЛЬНОГО ЗАКЛАДУ З МАЛОЮ АКАДЕМІЄЮ НАУК

Співпраця науково-педагогічних працівників НТУУ «КПІ» з Малою академією наук в плані керівництва науково-дослідницькою роботою учнів середніх навчальних закладів сприяє кращому розумінню учнями шкільних предметів, покращує мотивацію до їх вивчення, створює передумови для опанування сучасних комп'ютерних технологій у використанні комп'ютера як засобу зібрання та обробки інформації у режимі реального часу.

Кафедра прикладної механіки НТУУ «КПІ» протягом тривалого часу співпрацює з учасниками МАН середніх навчальних закладів м. Києва. Така співпраця полягає у науковому керівництві проектними роботами учнів, використанні лабораторної бази кафедри для виконання наукових досліджень, модернізації та створення лабораторних пристроїв, які знаходять своє використання у навчальному процесі, зокрема в процесі вивчення окремих розділів курсу фізики.

Сучасні комп'ютерні технології прийшли на заміну традиційним, в недалекому минулому, засобам реєстрації сигналів датчиків, як світлопроменеві (шлейфні) осцилографи та самопишучі пристрої з використання світлочутливого та спеціального діаграмного паперу. Нові технології надають можливість за наявної сучасної комп'ютерної техніки підняти шкільний фізичний експеримент на якісно новий рівень. Все це сприяє покращенню розуміння процесів, що відбуваються в об'єктах, що досліджуються.

Особливий інтерес у учнів викликають програми, в яких використана анімація механізмів з синхронним відтворення діаграм, кінематичних чи силових характеристик. Досвід використання таких програм ще раз підтверджує слушну пораду видатного чеського педагога Яна Коменського до того, що у навчанні все що можливо потрібно віддати почуттям.

До науково-дослідницької роботи за програмою Малої академії наук залучались учні гуманітарної гімназії «Гармонія» та ліцею №142 м. Києва. Протягом ряду років під керівництвом доц. кафедри прикладної механіки Лукавенка В.П. учнями гімназії та ліцею були виконані ряд проектних робіт, які доповідались на оглядах-конкурсах МАН, національному етапі міжнародного конкурсу Intel-Техно Україна та займали призові місця. В процесі розробки проектів використовувались середовища PowerPoint, Macromedia-Dreamweaver mx, Flash mx, FrontPage, PowerGraph, Electronics Workbench та ін.

Учнями гуманітарної гімназії «Гармонія» були розроблені наступні проектні роботи: «Екологічні проблеми людства», «Екологічні проблеми

іоносфери», «Енергетичні проблеми людства», «Шкідливий вплив комп'ютера на організм людини», «Про коливання напівжартома та всерйоз». Наведені проекти на районних оглядах-конкурсах Малої академії наук м. Києва займали призові місця.

В процесі роботи над проектами виконувались дослідження з використанням віртуальних середовищ та сконструйованих авторами роботи натурних пристроїв. Під час роботи на проектом «Енергетичні проблеми людства» авторами проводилось дослідження стану енергетичної системи України шляхом цілодобового моніторингу частоти електричної мережі за допомогою електронно-цифрового частотоміру Ф-5041. Також був виконаний аналіз і перспективи використання в Україні водневої енергетики, яка дозволяє, зокрема акумулювання сонячної енергії з використанням паливних елементів, принципову схему яких запропонував англійський вчений Уільям Роберт Гроув.

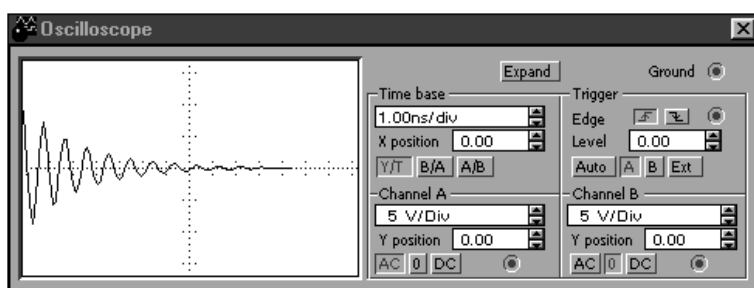


Рис. 1 Вікно віртуального осцилографу

Для аналізу процесів, що відбуваються у коливному електричному контурі використовувалась електронна віртуальна лабораторія Electronics Workbench в середовищі якої складалась схема коливного контуру та виконувалось дослідження електромагнітних коливань шляхом аналізу отриманих осцилограм. На рис. 1 показано вікно осцилографу віртуального середовища в процесі відтворення затухаючих електромагнітних коливань.

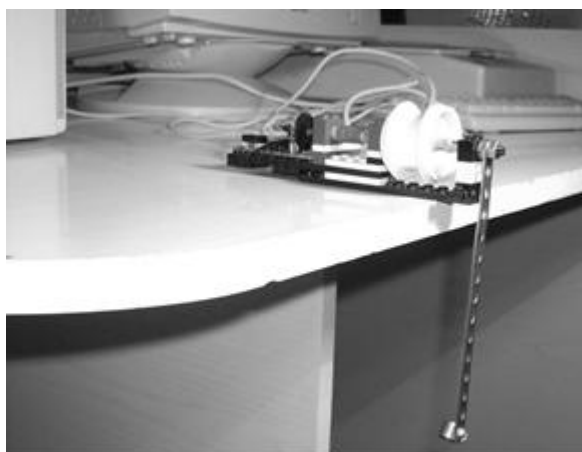


Рис. 2 Фізичний маятник на базі маніпулятора «Миша»

Для цієї ж роботи був сконструйований фізичний маятник на базі механізму маніпулятора «Миша», який під'єднувався до комп'ютера за допомогою штатного конектору «ps/2». На екрані віртуального осцилографу отримували та досліджували осцилограму гармонійних затухаючих електромагнітних коливань.

Подальшим розвитком теми дослідження коливань в природі і техніці була проектна робота учня ліцею 142, дійсного члена Малої академії наук Маркова Д. у співавторстві зі студентами механіко-машинобудівного інституту НТУУ «КПІ» Валько В. та Роцьком В. Ко-

лективом дослідників були розроблені та виготовлені діючі моделі фізичного маятника, та динамічного гасника коливань. Розроблені корисні моделі захищені патентами України відповідно №68402 26.03.2012, бюл. №6 та № 81253 від 25.06.2013 р., бюл. №12 від 25.06.2013 р.

Конструкція фізичного маятника являє собою вертикально стійку, у верхній частині якої рухомо встановлена вісь, на якій закріплено стрижень маятника. Вантаж маятника закріплено на стрижні за допомогою гвинта, що надає можливість змінювати довжину маятника.

Вісь маятника за допомогою муфти з'єднана з ручкою потенціометра, що забезпечує зміну опору потенціометра пропорційно відхиленню маятника. В середній частині вісь має шків і гальмівний пристрій, момент якого можна змінювати регулювати за допомогою гвинта.

Електрична схема передбачає послідовно в ланцюг потенціометра під'єднання гальванічного елемента. Вільними кінцями схема під'єднана до аналогового входу аналого-цифрового перетворювача.

Дослідження проводились в середовищі програмного забезпечення PowerGraph. Модель надає можливість виявити зміну періоду коливань залежно від довжини маятника, та пересвідчитись чи впливає маса вантажу маятника на період його коливань. Пристрій «Фізичний маятник» запроваджено у навчальний процес ліцею №142 м. Києва.

Наступною їх дослідницько-проектною роботою була робота по створенню діючої моделі динамічного демпфера коливань, тобто пристрою, який буде не збуджувати коливання механічної системи, а навпаки, їх гасити.

Пристрій містить П-подібну опору, на якій рухомо встановлена траверса, в середній частині якої рухомо закріплена вісь, маятника. Вантаж маятника закріплено на його стрижні за допомогою гвинта, що надає можливість змінювати довжину маятника гасника. Вісь маятника з'єднана з датчиком кутової координати. На осі маятника додатково встановлено демпферну шайбу, яка притиснута до опори за допомогою пружини.

Зусилля стиснення пружини, а отже і інтенсивність демпфування коливання маятника встановлюється за допомогою регулювальної гайки. В нижній частині П-подібної опори наклеєні тензодатчики, під'єднані до тензопідсилювача, сигнал яких дозволяє контролювати період та амплітуду коливань опори.

Датчик кутової координати і вихід сигналу тензодатчиків з тензопідсилювача під'єднано до аналого-цифрового перетворювача і далі засобами USB-інтерфейсу – до персонального комп'ютера.

На рис. 3 показано робоче вікно середовища PowerGraph та отримані осцилограми коливання опори 1 і маятника демпфера 2.

Пристрій «Динамічний демпфер коливань» запроваджено у навчальний процес кафедри прикладної механіки НТУУ «КПІ».

Дві останні роботи доповідались на республіканському етапі міжнародного конкурсу Intel-Техно Україна і були відзначені дипломами конкурсу 3-го ступеня.

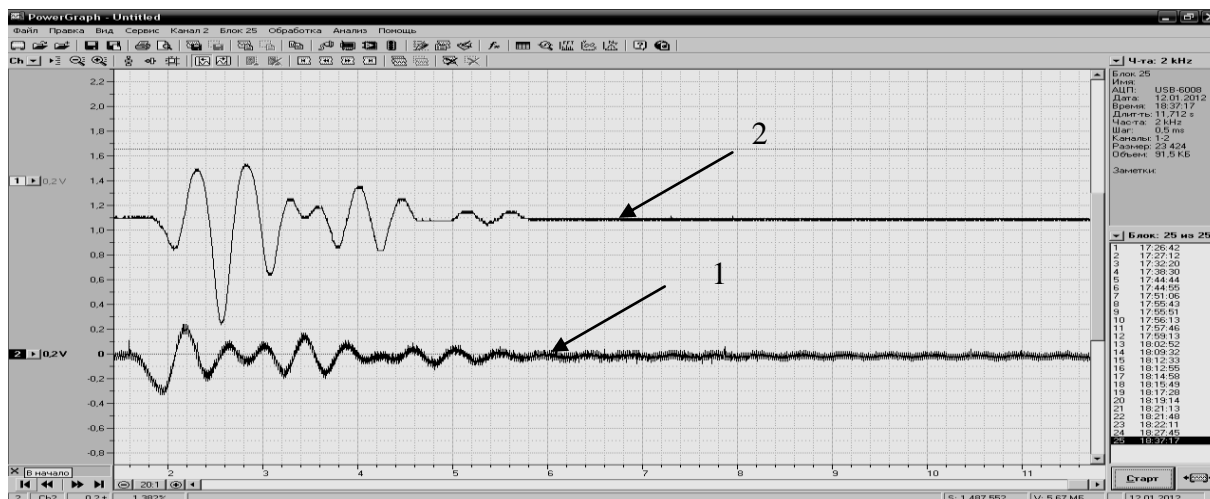


Рис. 3 Осцилограми коливань опори 1, та маятника демпфера 2

ВИСНОВКИ

Виконані учнями членами МАН дослідницькі роботи, та створені пристрої фізичного маятника та динамічного демпфера коливань з використанням датчиків кутових переміщень та віртуального осцилографу наочно показують широкі можливості використання нових комп'ютерних технологій для виконання експериментальних досліджень в режимі реального часу.

При цьому не потрібні світлопроменеві чи електронні осцилографи, які мають недоліки: перші вимагали використання світлочутливого осцилографного паперу; другі вимагають забезпечення синхронізації сигналу та розгортки променя електронно-променевої трубки осцилографу.

Тому в навчальному процесі з метою підвищення якості навчання, доцільно широко використовувати, наряду з традиційними моделями, також віртуальні лабораторії та прилади, засоби аналого-цифрового перетворення сигналів з метою ефективного використання апаратних компонентів персональних комп'ютерів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Корнев Б.Г., Резников Л.М. *Динамические гасители колебаний.* – М.: Наука 1988. – 291 с.
2. Генкин М.Д., Елезев В.Г., Яблонский В.В. *Методы управляемой виброзащиты машин.* – М.: Наука, 1985. – 240 с.

УДК 621.923

Наумова М.І., наук. кер. Фролов В.К. (Україна, м. Київ, НТУУ «КПІ»)

КОМПЕНСАЦІЯ ПРУЖНИХ ДЕФОРМАЦІЙ ОПРАВОК ПРИ ШЛІФУВАННІ ГЛИБОКИХ ОТВОРІВ

В роботі запропоновано спосіб шліфування глибоких циліндричних отворів, при якому твірна шліфувального круга залишається паралельною твірній оброблюваній поверхні, що дозволяє підвищити точність оброблення.

Глибокими вважаються отвори, для яких відношення їх довжини до діаметра складає більше десяти.

На складність процесу оброблення глибоких отворів вказує той факт, що більш ніж 10 розвинених країн (США, Німеччина тощо) створили спеціальну асоціацію «Boring and Trepanning Associating» (BTA), яка володіє монополією в області розробки, виготовлення та освоєння виробництва спеціального обладнання, оснащення та технологій для оброблення глибоких отворів [1].

Формування якості глибоких отворів в основному здійснюється на фінішних операціях. Одним із таких способів оброблення є шліфування. А при нерівномірності припуску на оброблення – це чи не єдиний спосіб досягнення відповідної точності поверхонь [2].

При обробленні таких поверхонь одним з факторів, який найбільше впливає на точність, є жорсткість інструментальних оправок. При недостатній жорсткості оправок не тільки погіршується точність оброблення, але й суттєво зменшується продуктивність процесу через неможливість інтенсифікації режиму різання. Тому інновації в процес шліфування глибоких отворів направлені, зокрема, на підвищення жорсткості інструментальних оправок.

У роботі [3] запропоновано спосіб підвищення продуктивності та точності оброблення глибоких отворів в умовах зниженої жорсткості системи при шліфуванні методом поздовжньої подачі. Представлено конструкцію шліфувальної головки, що має змінну згинальну жорсткість. Однак така конструкція може бути використана лише для оброблення глибоких отворів малого діаметру.

Для підвищення продуктивності та точності оброблення глибоких отворів удосконалюють кінематичну схему оброблення та конструкцію шліфувальних оправок.

Зокрема, запатентовано спосіб шліфування і полірування отворів [4], в якому в якості різального інструмента використовують гнучкий проволочно-абразивно-алмазний інструмент в вигляді циліндра, який встановлюють під гострим кутом до осі оброблюваного отвору. Недоліками способу є те, що використання гнучкого проволочно-абразивно-алмазного інст-

рументу знижує його жорсткість, тим самим зменшуючи точність оброблення.

Існує спосіб оброблення отворів [5], в якому робочу поверхню круга виконують сферичною та встановлюють круг під кутом до осі шпинделя. Недоліками способу є те, що при цьому не забезпечується рівномірне зношування робочої поверхні шліфувального круга, а це також зменшує точність оброблення.

В запатентованому способі керування положенням осі шліфувального круга при внутрішньому шліфуванні глибоких отворів [6] використовують шпиндель на активних магнітних підшипниках, що дозволяє керувати положенням осі шліфувальної оправки. Недоліками цього способу є те, що використання магнітних підшипників зменшує жорсткість опор шпиндельного вузла, тим самим знижуючи точність оброблення. При нагріві обмоток активних магнітних підшипників виникають температурні деформації шпиндельного вузла внаслідок проходження через нього струму. Це потребує встановлення додаткового охолодження. Крім того, активні магнітні підшипники потребують складних систем керування, які затрудняють їх експлуатацію та ремонт.

Наведені дослідження дають можливість стверджувати, що розроблення способів підвищення ефективності шліфування глибоких отворів є актуальною проблемою.

Метою даної роботи є підвищення точності шліфування глибоких отворів, використовуючи можливості стандартного шліфувального обладнання. При цьому недостатня жорсткість шліфувальної оправки повністю компенсується попереднім налагодженням верстата.

В процесі шліфування відбувається деформація інструментальної оправки під дією радіальної складової сили різання P_y , внаслідок чого її вільний кінець відхиляється від вихідного положення на кут $\Theta = \frac{P_y L^2}{2EI}$ (рис. 1). Це призводить до непаралельності твірних шліфувального круга та оброблюваної поверхні, і, як наслідок, нерівномірного зношування робочої поверхні шліфувального круга та зменшення точності оброблення.

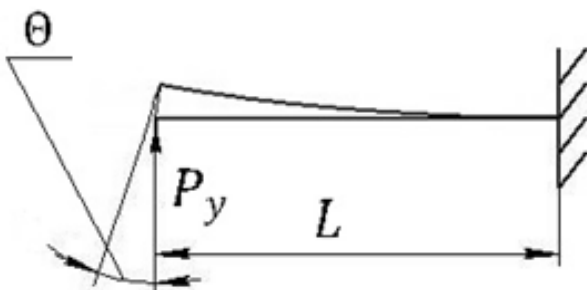


Рис. 1 Схема навантаження шліфувальної оправки

ної подачі $S_{\text{нозд}}$, шліфувальної бабки та поперечної подачі $S_{\text{поп}}$, передньої

Авторами запропоновано забезпечити паралельність твірних, скориставшись технологічними можливостями стандартних внутрішньошліфувальних верстатів, а саме: здійснивши поворот передньої бабки навкруги її вертикальної осі на кут Θ (рис. 2). Вісь деталі повертають відносно осі шліфувального круга в площині розташування векторів поздовж-

бабки за рахунок повороту передньої бабки на кут $\Theta = \frac{P_y L^2}{2EI}$. При цьому необхідно узгодити величини поздовжньої та поперечної подачі вузлів верстата.

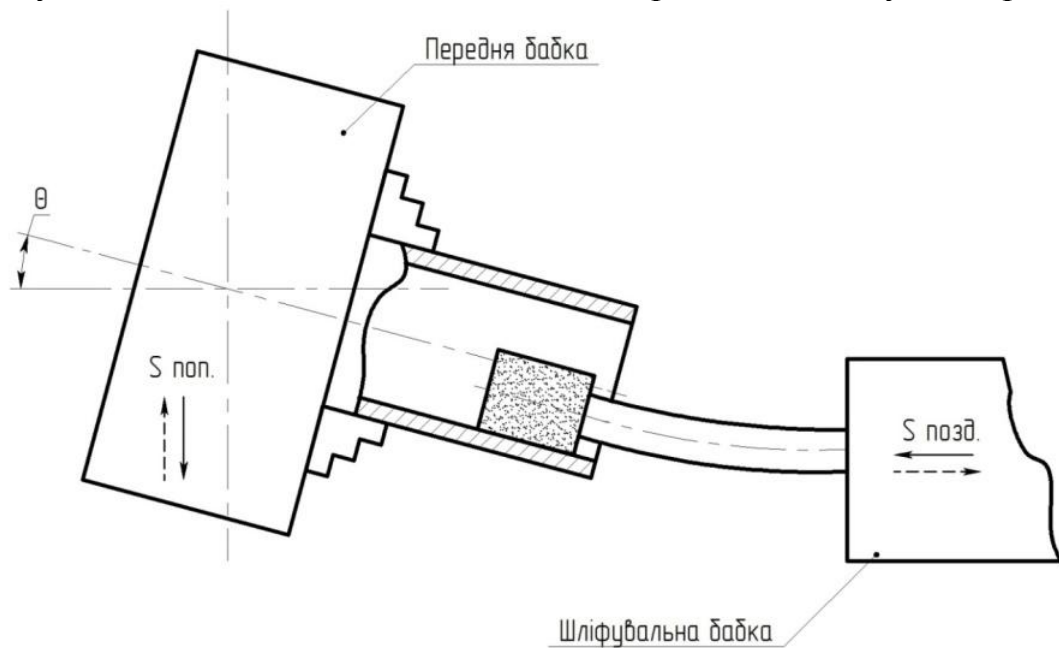


Рис. 2 Схема шліфування з поворотом передньої бабки на кут Θ

Для оброблення отвору по всій довжині шліфувальний круг (шліфувальна бабка) повинен здійснити переміщення від вихідного 1 до кінцевого 2 положення за той же час, що й деталь (передня бабка) від вихідного 3 до кінцевого 4 положення (рис. 3).

Час на переміщення шліфувального круга складає

$$T_1 = \frac{l}{S_{\text{позд.}}},$$

де l – довжина переміщення шліфувального круга (довжина отвору);
 $S_{\text{позд.}}$ – хвилинна поздовжня подача шліфувальної бабки.

Час на переміщення деталі складає

$$T_2 = \frac{h}{S_{\text{поп.}}},$$

де h – довжина переміщення деталі;
 $S_{\text{поп.}}$ – хвилинна поперечна подача передньої бабки.

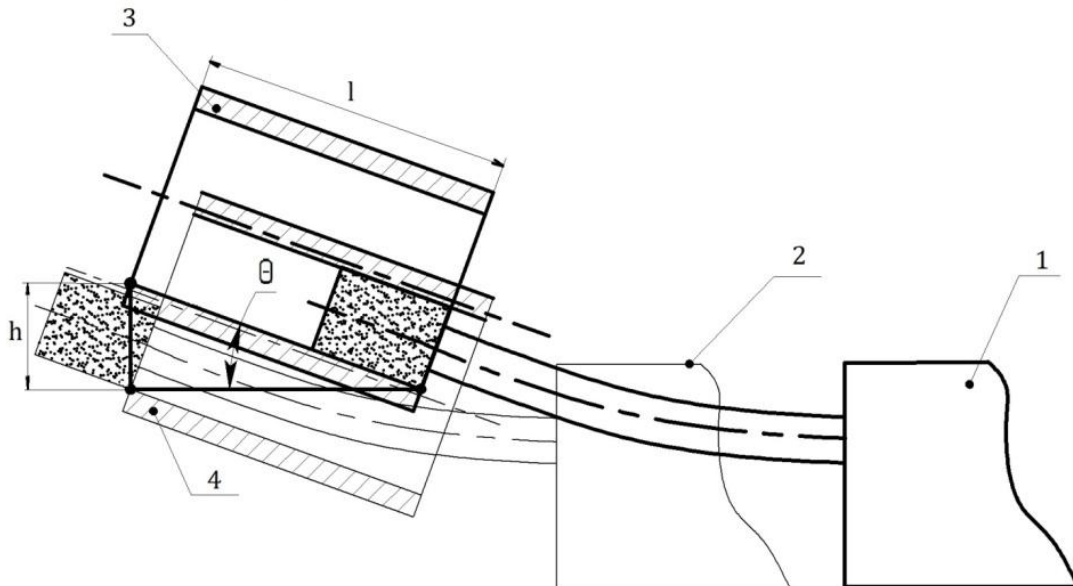
Прирівнюючи T_1 до T_2 , отримаємо:

$$\frac{l}{S_{\text{позд.}}} = \frac{h}{S_{\text{поп.}}}$$

Звідки

$$\frac{S_{\text{позд.}}}{S_{\text{поп.}}} = \text{ctg } \Theta.$$

Поздовжню подачу шліфувальної бабки та поперечну подачу передньої бабки здійснюють одночасно.



1 – вихідне положення шліфувальної бабки; 2 – кінцеве положення шліфувальної бабки; 3 – вихідне положення передньої бабки; 4 – кінцеве положення передньої бабки

Рис. 3 Схема для визначення величини співвідношення поздовжньої та поперечної подач

ВИСНОВКИ

Запропонований спосіб шліфування глибоких циліндричних отворів дозволяє мінімізувати вплив пружних деформацій, що діють на оправку шліфувального круга під час процесу різання, та підвищити точність оброблення. Перспективними є дослідження впливу зміни форми шліфувального круга для удосконалення процесу оброблення глибоких отворів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Отений Я.Н. Прогрессивные методы обработки глубоких отверстий: Монография / Я.Н. Отений, Н.Я. Смольников, Н.В. Олыштынский. – Волгоград: ВолгГТУ, 2003. – 136 с.
2. Брижан Т.М. Технологическое обеспечение высокоточной механической обработки глубоких отверстий / Т.М. Брижан, Р.М. Минчев // *Високі технології в машинобудуванні*. – 2014. – Вип. 1 (24). – С. 11–19.
3. Никифоров И.П. Повышение эффективности внутреннего шлифования в условиях пониженной жёсткости технологической системы: Автореф. дис. д.т.н. / И.П. Никифоров. – СПб.: СПбГПУ, 2007. – 34 с.
4. Патент RU №2130375, МПК В24В 5/06, опубл. 20.05.1999.
5. Патент RU №2237567, МПК В24В 1/00, В24D 17/00, опубл. 10.10.2002.
6. Патент RU №211618, МПК В24В 41/00, опубл. 27.07.1998.

УДК 621.923

Нгуєн Ван Тьєн, Клименко В.Г., наук. кер. Пижов І.М. (Україна, м. Харків, НТУ «ХП»)

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПЛОЩІ КОНТАКТУ КРУГА З ДЕТАЛЛЮ ПРИ ПЛОСКОМУ ТОРЦЕВОМУ ШЛІФУВАННІ

Виконано теоретичні дослідження, що дозволили отримати аналітичні залежності, які пов'язують площу зони контакту різальної поверхні круга з деталлю в умовах плоского торцевого шліфування з попереднім нахилом осі шпинделя. Підтверджено роль у цьому процесі таких факторів як кут попереднього нахилу осі шпинделя, глибина шліфування та діаметр круга. Для конкретних умов шліфування отримані аналітичні залежності для визначення площі контакту. Їх коректність підтверджена даними геометричного комп'ютерного моделювання у середовищі «КОМПАС». Отримані результати сприяють створенню умов для керування тепловою напруженістю процесу обробки, а, отже, розширенню його технологічних можливостей.

Проблема підвищення ефективності процесу шліфування полягає в тому, що значна кількість деталей у машинобудуванні мають плоскі поверхні [1] і підлягає різним видам обробки (обдирне, попереднє, чистове і прецизійне) на плоскошліфувальних верстатах. Значне місце в цьому процесі займає плоске торцеве шліфування, яке має ряд переваг у порівнянні зі схемою, яка базується на застосуванні периферійних шліфувальних кругів. Відомо, що шліфування торцем круга характеризується відносно великою величиною дуги контакту і поверхні взаємодії круга з деталлю, що обумовлює високі температури в зоні шліфування [2, 3]. Тому площа контакту може бути прийнята у якості параметру для керування тепловою напруженістю процесу шліфування. Одним з найбільш ефективних технологічних прийомів регулювання площі контакту різальної поверхні круга (РПК) з деталлю є попередній нахил осі шпинделя верстата [2, 3]. Таким чином, питання, пов'язані з встановленням впливу параметрів зони контакту торцевих кругів з деталлю на площу в умовах шліфування з попереднім нахилом осі шпинделя є актуальними.

Аналіз останніх досліджень і публікацій показує, що дані, стосовно визначення площі контакту торцевого круга з деталлю в умовах попереднього нахилу осі шпинделя відсутні. А це не дозволяє технологам у повній мірі використовувати можливості процесу, що розглядається. Особливості формування плоских поверхонь при застосуванні схем обробки «на прохід» та в умовах багатопрохідного шліфування з попереднім нахилом осі шпинделя детально розглянуто у роботі [4] та інших, які виконані в НТУ «ХП» в останні роки. В них встановлені теоретичні та емпіричні залежності для визначення таких параметрів, як довжина, ширина та довжина дуги зони контакту РПК з деталлю. Як буде показано нижче, ці параметри є вихідними даними для теоретичних розрахунків площі контакту.

Метою даної роботи є встановлення теоретичних залежностей для визначення площі контакту РПК з деталлю стосовно деяких конкретних умов шліфування.

Виконані дослідження підтвердили, що площа контакту РПК з деталлю залежить від ряду факторів. До них (рис. 1) в першу чергу треба віднести кут нахилу α , діаметр круга d_k та глибину обробки t , які визначають такі лінійні параметри зони контакту РПК з деталлю як довжина W' , ширина B' та довжина дуги (L). При певних умовах, як обмежувальний фактор, можуть виступати, наприклад, ширина РПК (W), ширина деталі (B) та схема обробки (симетрична, несиметрична).

Для визначення площі зони контакту ($S_{зк}$) РПК з деталлю приймемо допущення, що довжина контакту не перевищує ширину РПК, тобто $W' < W$, $B' < B$, а $d_{min} \leq B \leq d_k$ (рис. 1, а).

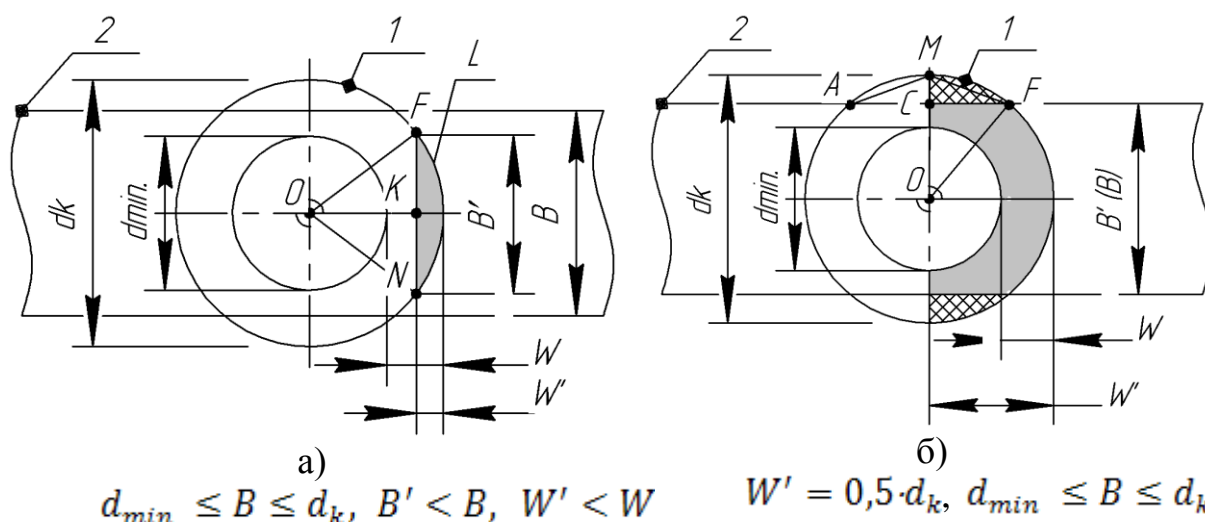


Рис. 1 Розрахункові схеми для визначення площі контакту РПК (1) з деталлю (2)

В цьому випадку зона контакту уявляє собою частину круга, обмежену дугою FN і хордою FN , тобто сегмент. Як видно з рисунка, хорда $FN=B'$, а дуга $FN=L$. Формула для розрахунку площі має вигляд:

$$S_{зк} = S_{сегм.} = \frac{1}{2} \cdot [L \cdot \frac{d_k}{2} - B' \cdot (\frac{d_k}{2} - W')]. \quad (1)$$

Параметри W' , B' та L , які входять до рівняння (1), розраховуються за виразами, які наведені в [4].

Для іншого випадку (рис. 1, б) формула для розрахунку площі має дещо інший вид:

$$S_{зк} = \frac{\pi}{8} \cdot (d_k^2 - d_{min}^2) - \frac{1}{2} [L_{сегм.} \cdot \frac{d_k}{2} - \sqrt{(d_k^2 - B^2)} \cdot \frac{B}{2}]. \quad (2)$$

Довжину дуги сегменту можна розрахувати за формулою Гюйгенса:

$$L_{\text{сегм.}} = \frac{4}{3} \cdot \sqrt{2 \cdot d_k \cdot (d_k - B)} - \frac{1}{3} \cdot \sqrt{(d_k^2 - B^2)}. \quad (3)$$

Комп'ютерне геометричне 3D моделювання зони контакту РПК з деталлю у середовищі «КОМПАС» дозволило не тільки підтвердити правильність теоретичних розрахунків, але і наглядно проілюструвати можливість керування площею обробки. Так, наприклад, картина зміни площі контакту РПК з деталлю по мірі зменшення кута нахилу α має вигляд, який представлено на рис. 2. Зазначимо, що на рисю 2 г умова $W' < W$ не витримується, а тому формула (1) в даному випадку не працює. Для цього випадку справедливою є залежність (2).

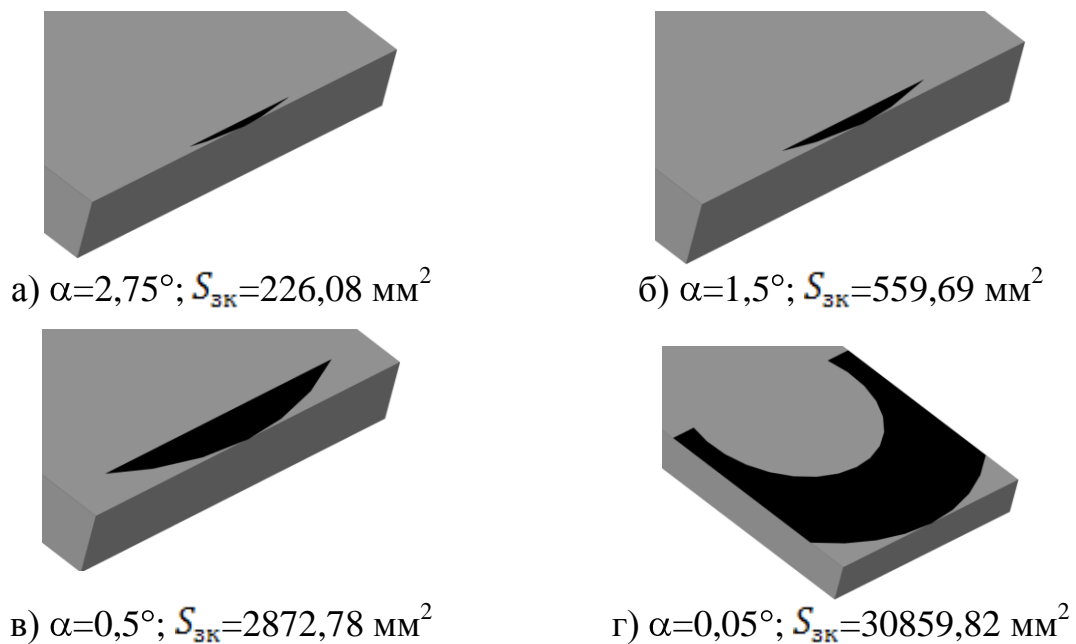


Рис. 2 3D моделі, які відображують вплив кута нахилу осі шпинделя на площу контакту РПК з деталлю ($d_k=400 \text{ мм}$; $d_{\text{min}}=200 \text{ мм}$; $B=250 \text{ мм}$; $t=0,2 \text{ мм}$)

Таким чином, отримані теоретичні залежності можуть бути використані для розрахунків площі контакту РПК з деталлю для наведених конкретних умов обробки. Їх коректність підтверджена даними геометричного комп'ютерного моделювання.

ЛІТЕРАТУРА

1. Маталин А.А. *Технология машиностроения* / А.А. Маталин. – Л.: Машиностроение, 1985. – 496 с.
2. Лурье Г.Б. *Шлифовальные станки и их наладка* / Г.Б. Лурье., В.Н. Комиссаржевская. – М.: Высшая школа, 1972. – 416 с.
3. Наерман М.С. *Справочник молодого шлифовщика*. / М.С. Наерман. – М.: Высш. шк., 1985. – 207 с.
4. Kundrák J., Fedorovich V., Pyzhov I, Markopoulos A., Klimenko V. *Some Features of the Surface Micro- and Macroprofile Formation at Flat Face Grinding with Spindle Axis Inclination* // *Applied Mechanics and Materials*, Vols. 809-810 (2015), pp. 45-50, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.809-810.45, Trans Tech Publications, Switzerland.

УДК 623.451

Новіков А.А., наук. кер. Кузнєцов Ю.М. (Україна, м. Київ, НТУУ «КПІ»)

ГЕНЕТИКОКО-МОРФОЛОГІЧНИЙ ПІДХІД ДО ОПИСУ ЗАХВАТНИХ ПРИСТРОЇВ ПРОМИСЛОВИХ РОБОТІВ ДЛЯ КРИХКИХ ДЕТАЛЕЙ

У даній статті запропонована класифікація захватних пристроїв, як породжувальну систему у вигляді силових потоків, наведені приклади опису захватних пристроїв з різними батьківськими хромосомами для маніпулювання об'єктів з різними властивостями і формами та запропоновано новий захватний пристрій з електромеханічною системою.

Для автоматичного маніпулювання об'єктами різних форм, розмірів та властивостей у роботехнічних системах та комплексах для різноманітних виробництв важливим виконавчим органом є захватні пристрої (ЗП) [3, 4].

У теперішній час створена велика кількість різних виконань ЗП, що обумовлене значною різноманітністю роботизованих операцій та об'єктів (деталей, предметів, виробів), з якими працюють роботи у різних умовах. Різноманітність ЗП класифікують по наступним ознакам: спосіб утримання об'єкта; принцип дії, характер базування об'єкта; ступінь спеціалізації; робочий діапазон розмірів захватного об'єкта; наявність допоміжних пристроїв та механізмів; кількість робочих позицій (захватних органів); вид управління; характер кріплення ЗП до руки промислового робота чи маніпулятора.

ЗП по одній з виконуючих функцій відносяться к певному виду затискних механізмів і, зокрема, затискних патронів, які повинні забезпечувати надійне утримання об'єкта при маніпулюванні за рахунок прикладення сили затиску об'єкта для виключення зриву чи строго регламентованої, щоб не пошкодити об'єкт. Іншими словами, як і в затискних патронах, повинна забезпечуватися необхідна умова – необхідне зусилля затиску.

Отже, у ЗП існують такі ж силові потоки від джерела енергії та привода, як у затискних механізмах, що дозволяє використати при описі та синтезі ЗП теорію генетичного та еволюційного синтезу на різних рівнях структурної організації (рис. 1) [1, 2, 5].

Графічне зображення силових потоків ЗП приведено на рис. 2.

Для маніпулювання з крихкими, м'якими, нежорсткими та скляними об'єктами доцільно використовувати окрім механічних твердотільних перетворювачей, рідкі, в'язкі та повітряні середовища, а також магнітні та електромагнітні поля.

Приклади використання електромагнітного поля наведені на рис. 3 з реалізацією різних силових потоків [2].

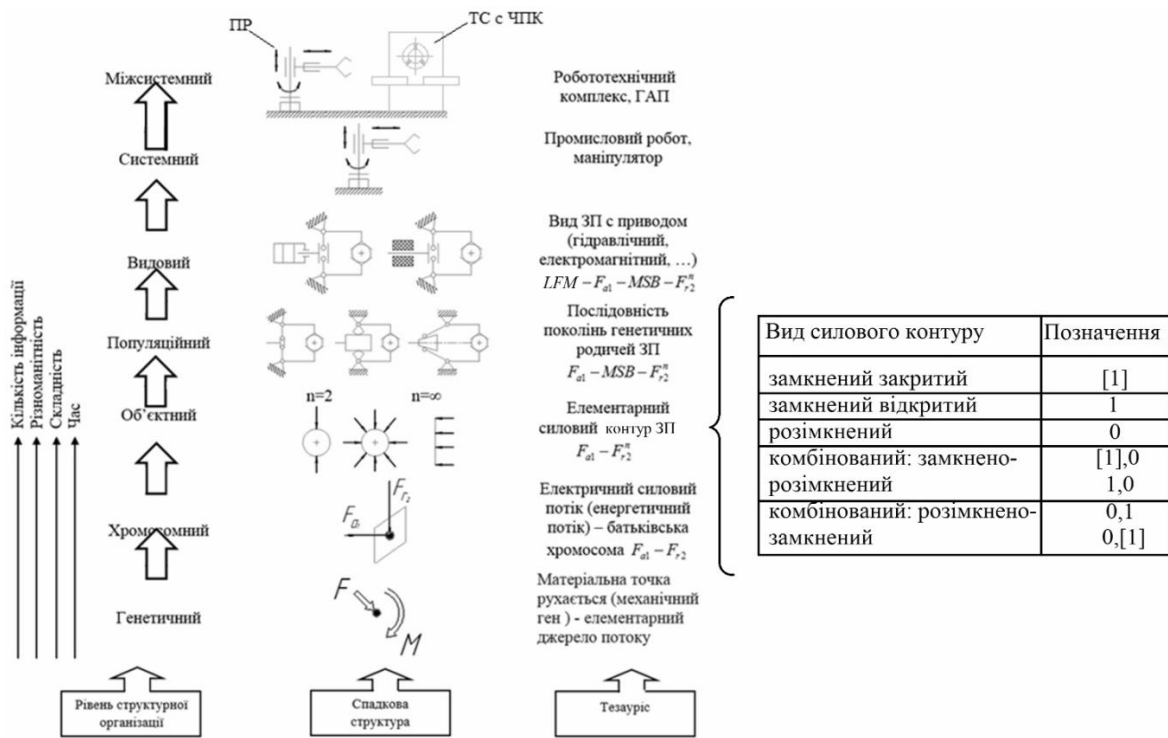


Рис. 1 Генетична модель структурної організації та еволюції складних робототехнічних систем та комплексів у гнучкому автоматизованому виробництві

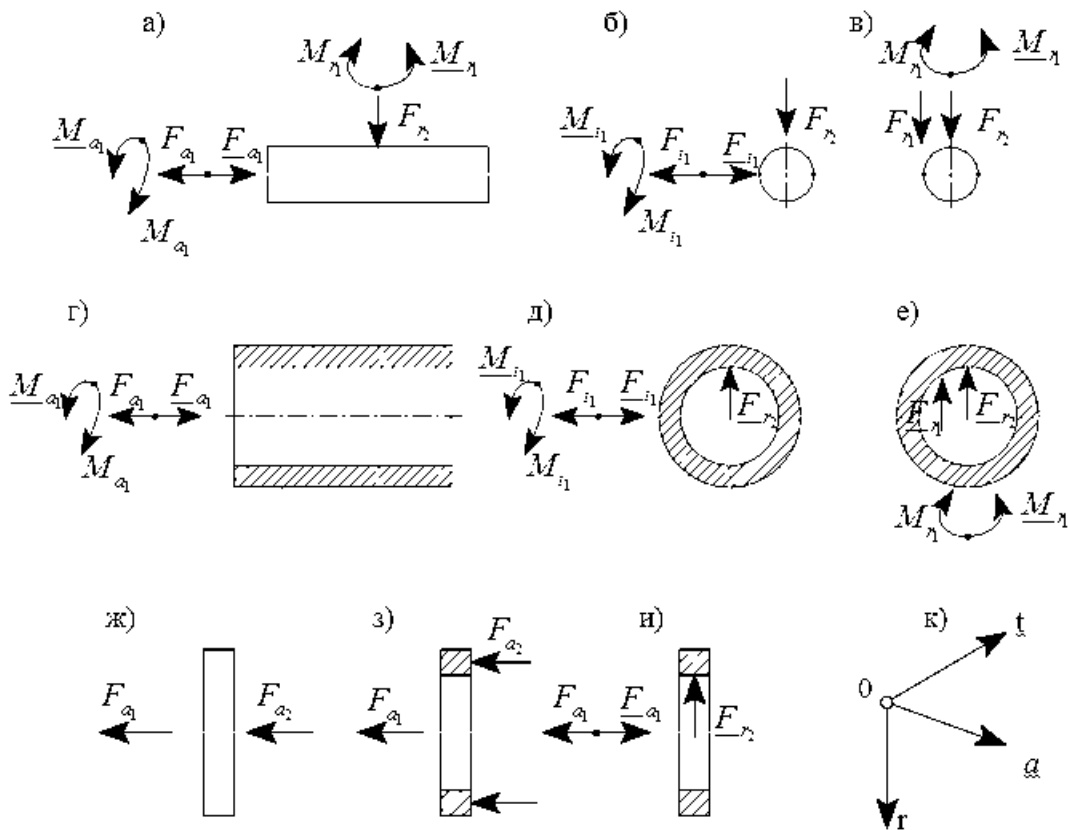


Рис. 2 Варіанти можливих силових потоків у затискних пристроях для маніпулювання суцільними циліндричними (а-в) та пустотілими циліндричними (г-е) деталями, суцільними дисками (ж) та кільцями (з-и) у циліндричній системі координат art (к)

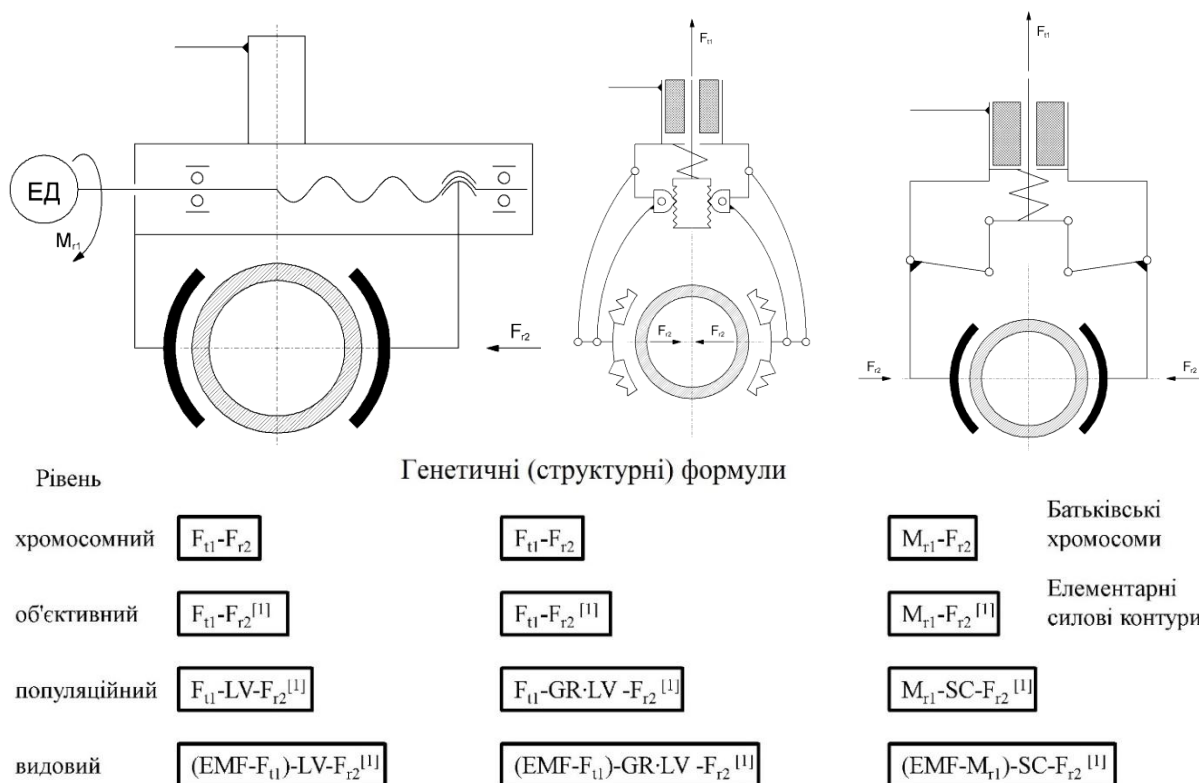


Рис. 3 Приклади використання електромагнітного поля в захватних пристроях і їх генетичні формули

З використанням генетико-морфологічного підходу [1, 2] синтезований на рівні винаходу широкодіапазонний електромеханічний ЗП, який може бути описаний згідно Генетичної класифікації, запропонованої проф. Шинкаренко В.Ф. [5], і класифікації силових потоків, запропонованої проф. Кузнецовим Ю.М.[1, 2] (рис. 4).

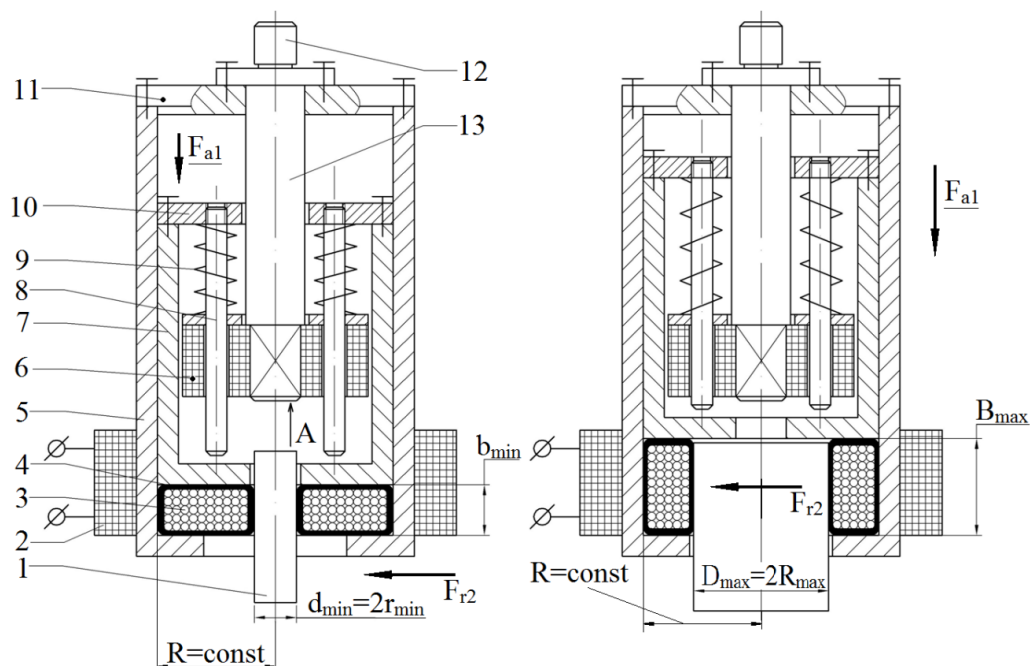


Рис. 4 Запропонований захватний пристрій маніпулятора (генетичний код $F_{a1}-F_{r2}$)

З використанням розділу математики-топології (гумової геометрії), що займається вивченням властивостей фігур (або просторів), які зберігаються при безперервних деформаціях (без порушення цілісності) маємо умову постійного об'єму тіла затискача ЗП ($V_{ЗП} = \text{const}$) [1]:

$$V_{ЗП} = \pi(R^2 - r_{\min}^2)b_{\min} = \pi(R^2 - R_{\max}^2)B_{\max}$$

ЛІТЕРАТУРА

1. Кузнецов Ю. Н. Морфологический синтез станков и их механизмов: Монография / Ю.Н. Кузнецов, Герра Ж.А. Хамуйела, Т.О. Хамуйела; под ред. Ю.Н. Кузнецова. – К.: ООО “ГНОЗИС”, 2012. – 416 с.
2. Кузнецов Ю.Н. Описание и синтез зажимных механизмов станков на различных уровнях сложности структуры /Ю.Н. Кузнецов, ГерраХамуйела, Ибрагим Аль-Рефо // ScientificJournalTechnologicalComplexes, №1(9), Луцк, ЛНТУ, 2014. – с. 12-20.
3. Кузнецов Ю.М. Робототехнічні системи і комплекси фармацевтичного та біотехнологічного / виробництв: Навч. Посібник / Ю.М. Кузнецов, В.Ю. Шибецький, під заг. ред. Ю.М. Кузнецова. – К: ТОВ “Гнозіс”, 2012. – 335 с.
4. Павленко І.І. Промислові роботи: основи розрахунку та проектування. – Кіровоград: КНТУ, 2007. – 420 с.
5. Шинкаренко В.Ф. Основи теорії еволюції електромеханічних систем. – К.: Наукова думка, 2002. – 288 с.

УДК 621.9.06.001.4

Осипенко Н.С., Помазкина А.Ю., науч. рук. Ларшин В. П. (Украина, г. Одесса, ОНПУ)

ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ СИСТЕМЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ

Дається методика быстрого проектирования компьютерной системы технологической диагностики на основе формирования и фиксирования сигналов виброакустических колебаний с применением вибродатчиков AP2019 (сигнал виброускорения) и микрофона типа SPL Lab USB RTA meter (акустический сигнал). Сбор данных производится с помощью устройства сбора данных NI-DAQ_{mx} с программным обеспечением NI-LabVIEW.

Проблема создания компьютерных систем технологической диагностики относится к числу актуальных в технологии машиностроения. Она связана с повышением эффективности технологических процессов обработки деталей из современных труднообрабатываемых конструкторских материалов (сложнолегированные и нержавеющей стали, жаропрочные сплавы, титан и титановые сплавы и т.п.), с одной стороны, и с особенностями высокоскоростной обработки (high speed machining) деталей из цветных металлов типа алюминия и алюминиевых сплавов, с другой стороны. Особую группу материалов в этой связи составляют современные полимерные композиционные материалы (стекло- и углепластики с армирующими волокнами, сочетание углепластика с титаном и т.п.).

Нами установлено, что в обоих указанных случаях к числу ограничивающих факторов относится возможность возникновения недопустимых виброколебаний в зоне обработки, которые приводят к уменьшению стойкости лезвийного режущего инструмента и преждевременному выходу из строя шпиндельных узлов современных станков с ЧПУ. Одним из путей управления динамическим состоянием технологической системы резания (упругая динамическая система) является правильный выбор и регулирование режимных параметров механической обработки, например, скорости резания [1].

Для разработки и апробации компьютерной системы диагностики использована система NI-LabVIEW (компания National instruments), позволяющая выполнять поисковые исследования по оптимизации конструктивных вариантов построения систем технологической диагностики. В качестве примера разработана блок-схема такой системы для операций лезвийной обработки на станке мод. 500 V/5 (рис. 1). В технологическую систему (ТС) указанной модели станка встроены датчики виброколебаний (ДВК) типа AP2019 по осям x , y и z станка. Например, эти датчики размещены на шпиндельном узле станка или непосредственно на обрабатываемой заготовке. Вместо этих датчиков или одновременно с ними может использоваться измерительный микрофон однонаправленного действия, например, микрофон типа SPL Lab USB RTA meter [2]. На выходе блока ДВК формируется первичный сигнал виброколебаний $x(t)$, поступающий на вход бло-

ка быстрого преобразования Фурье (БПФ), который в режиме реального времени формирует спектр сигнала $x(t)$. Т.е. преобразует временной сигнал $x(t)$ в его частотную форму $x(\omega)$.

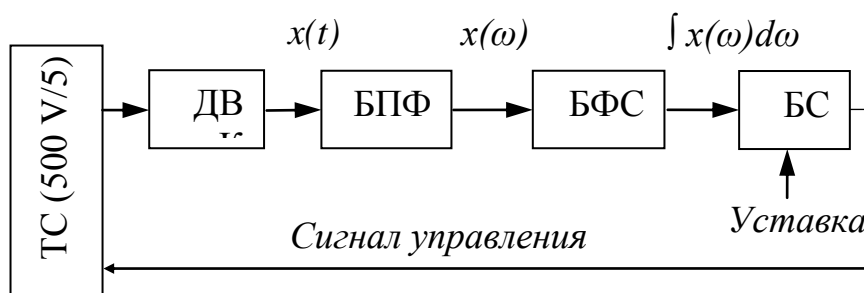


Рис.1 Блок-схема системы технологической диагностики к станку мод. 500 V/5

Далее в блоке формирования сигнала (БФС) в режиме реального времени формируется информационный сигнал для технологической диагностики, представляющий собой, например, развёртку функции $\int x(\omega)d\omega$ во времени. Этот сигнал, в отличие от первичного сигнала $x(t)$, отличается закономерным изменением (трендом) по мере износа режущего инструмента и поэтому может быть использован для количественной оценки состояния технологической системы станка. В блоке сравнения (БС) заданный уровень этого сигнала сравнивается с текущей его величиной и при превышении заданного уровня на выходе блока сравнения вырабатывается сигнал управления, который поступает по цепи обратной связи в технологическую систему станка, и осуществляет коррекцию обработки в соответствии с предварительно заданным алгоритмом. Нами предложены различные алгоритмы коррекции, начиная от выработки команды на смену инструмента и заканчивая адаптивной системой регулирования скорости резания. Научно-исследовательская работа проводится совместно с Уфимским государственным авиационным техническим университетом.

В соответствии с полученными результатами было предложено формировать диагностические информационные сигналы, характеризующие состояние технологической системы обработки при сверлении отверстий малого диаметра (до 3...5 мм) и фрезеровании концевыми фрезами (диаметром 18 мм). Для получения таких сигналов производится соответствующая цифровая обработка первичных сигналов, поступающих от датчиков виброускорения и звукового датчика, включая преобразование спектра первичного сигнала путем исключения из него неинформативных гармонических составляющих.

ЛИТЕРАТУРА

1. M Navy. Помощник в достижении наивысшего уровня выполнения обработки резанием. *Technical Sheet. Okuma Corporation.* – ООО «ПУМОРИ-ИНЖИНИРИНГ ИНВЕСТ».
2. USB RTA Meter (Pro Edition) – измерительный USB микрофон для анализа АЧХ [Электронный ресурс] / Компания Spl-Lab. – Режим доступа: <http://spl-lab.ru/ru/products/usb-rta-meter-pro-edition.html> (англ.). – 09.07.2014.

УДК 621.004.94

Петров С.В., наук. кер. Цивінда Н.І. (Україна, м. Кривий Ріг, ДВНЗ «КНУ»)

ЗАСТОСУВАННЯ CAD/CAM/CAE ТЕХНОЛОГІЙ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ГІРНИЧОГО МАШИНОБУДУВАННЯ

В статті розглянуто приклад застосування студентами CAD/CAM/CAE технологій при проектуванні технологічних процесів виготовлення деталей гірничого машинобудування.

Основною проблемою проектування технологічних процесів виготовлення деталей при ремонті гірничодобувних машин Криворіжжя є різке скорочення термінів технологічної підготовки виробництва (ТПВ).

Тож, застосування високопродуктивних систем автоматизованого проектування, ТПВ та інженерного аналізу (CAD/CAM/CAE систем) є реальний шлях забезпечення конкурентоспроможності машинобудівних підприємств з ремонту унікального гірничого обладнання.

В умовах ДВНЗ КНУ на кафедрі технології машинобудування, об'єднання цих, достатньо різних класів задач, відбувається з застосуванням ліцензованих КОМПАС-3D, КОМПАС Вертикаль 3V, Power SHAPE Delcam, Power MILL Delcam та SolidWorks систем.

Рішення задач технологічної підготовки виробництва базується на використанні єдиної тривимірної геометричної моделі деталі (рис. 1) і заготовки у будь-якій CAD-програмі (КОМПАС-3D; Power SHAPE Delcam або SolidWorks).

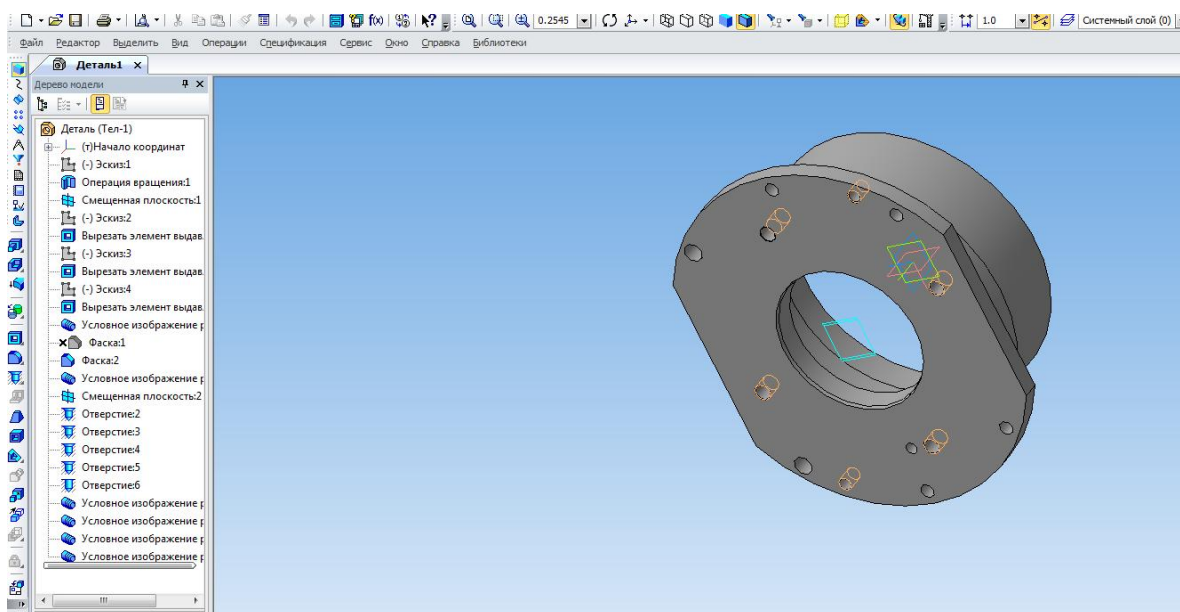


Рис. 1 Побудування тривимірної моделі перехідника навантажувача ковшового універсального в системі КОМПАС-3D

З урахуванням кількості і змісту раніше передбачених технологічних методів обробки поверхонь обираємо типи металорізального інструментів для деталі (рис. 2).

За допомогою керуючої програми FeatureCAM Delcam, створюємо програму обробки масиву отворів (рис. 3).

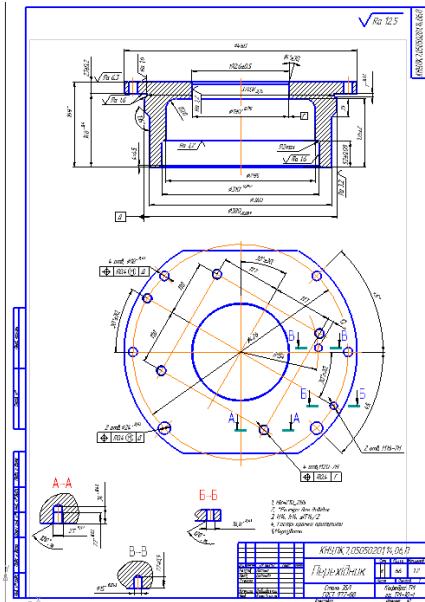


Рис. 2 2D Креслення деталі генероване з 3D моделі

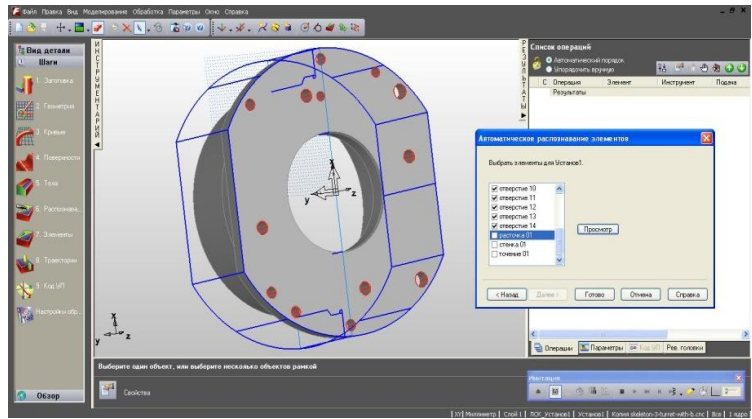


Рис. 3 Створення програми та розпізнавання елементів

Модуль розробки (рис. 4), перевірки (рис. 5) і візуалізації керуючих програм (рис. 6) FeatureCAM Delcam дозволив розробити керуючу програму для обробки деталі.

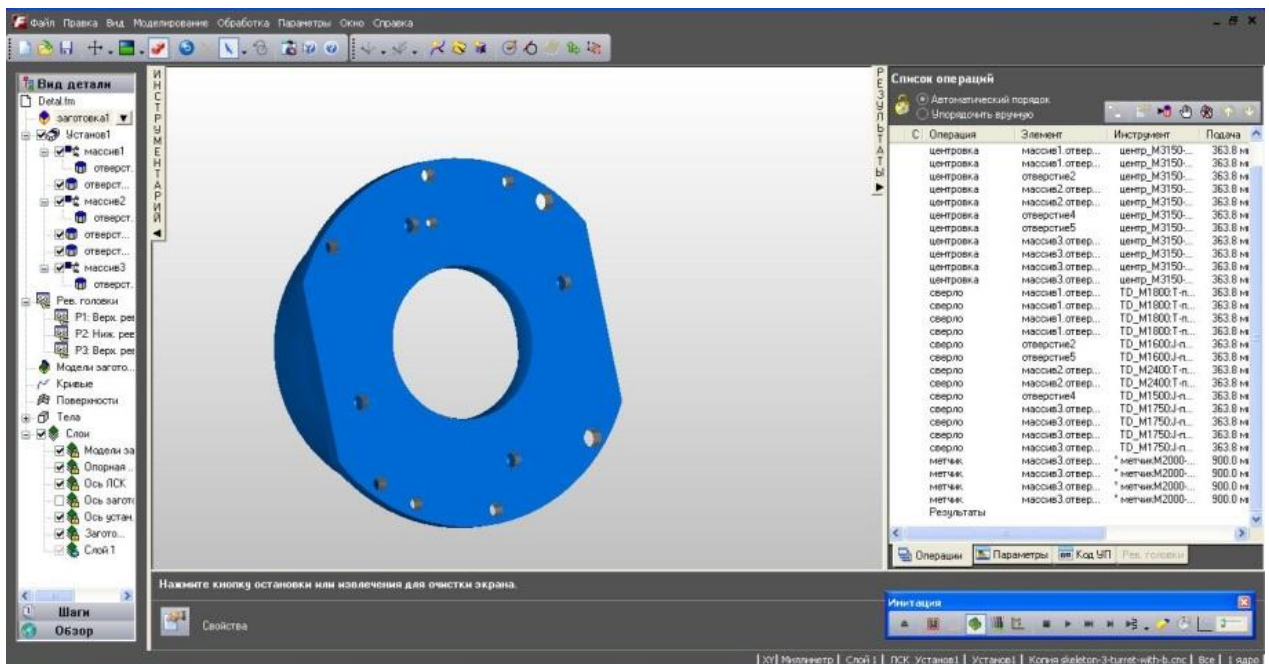


Рис. 4 Створення списку операцій

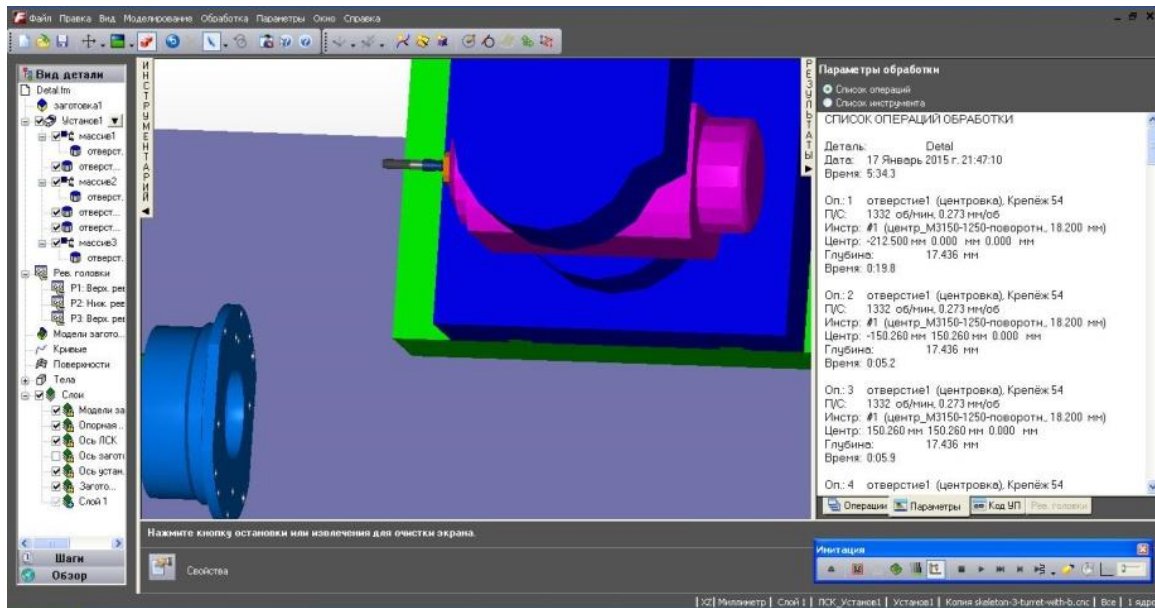


Рис. 5 Виявлення положення деталі на верстаті, запобігання зіткнень інструменту із заготовкою та візуалізація свердління отворів.

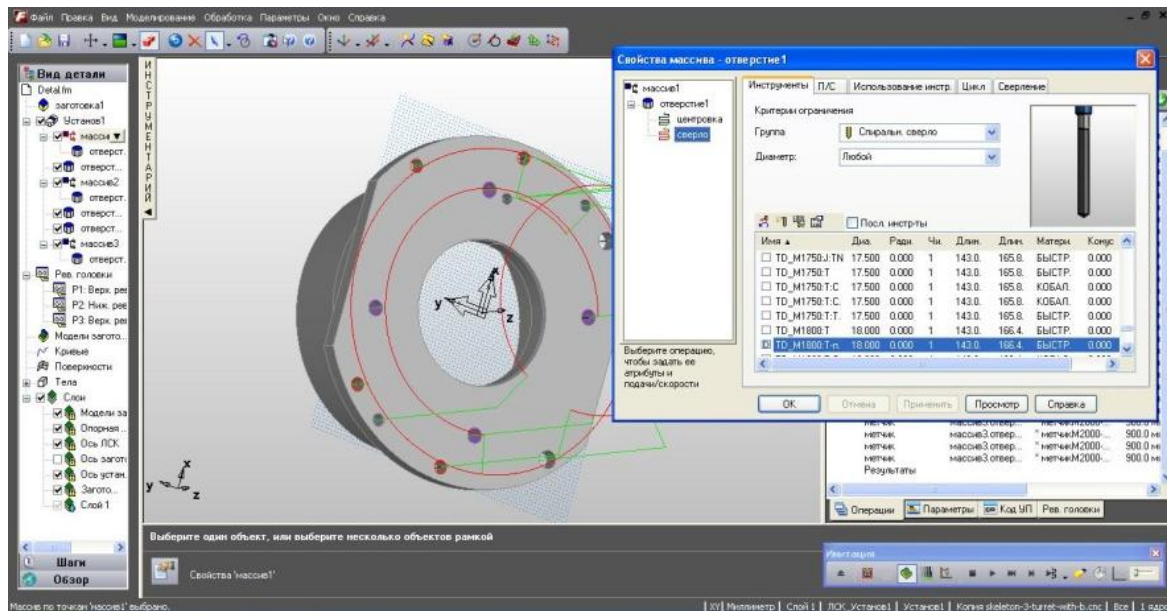


Рис. 6 Візуалізація траєкторії переміщення інструментів

Видача керуючої програми для виконання технологічних переходів для багатоцільової операції на верстаті DMG CTX gamma 2000 TC з пристроєм Sinumerik 840D.

N010 G90 T01 D01 LF

N020 SPOS=0 LF

N030 TRANS Z-483

N040 G0 G19 X150.26 Y150.26 LF

N050 G0 Z9 LF

N060 F0.43 S1620 M3 LF

N070 R101=3 R102=3 R103=2 R104=24 R105=1,5 L

Отримання оптимальних режимів різання, часу та формування карт технологічного процесу проводимо за допомогою програмного забезпечення обробки в КОМПАС Вертикаль V3 (рис. 7).

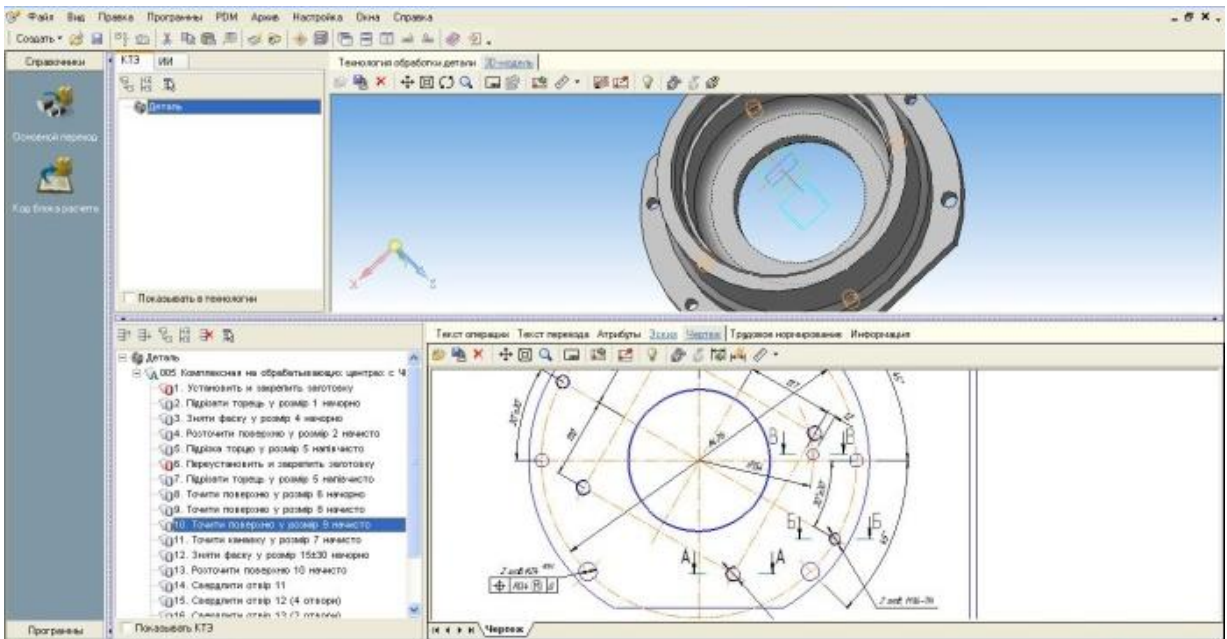


Рис. 7 Формування технологічної документації програми Вертикаль V3

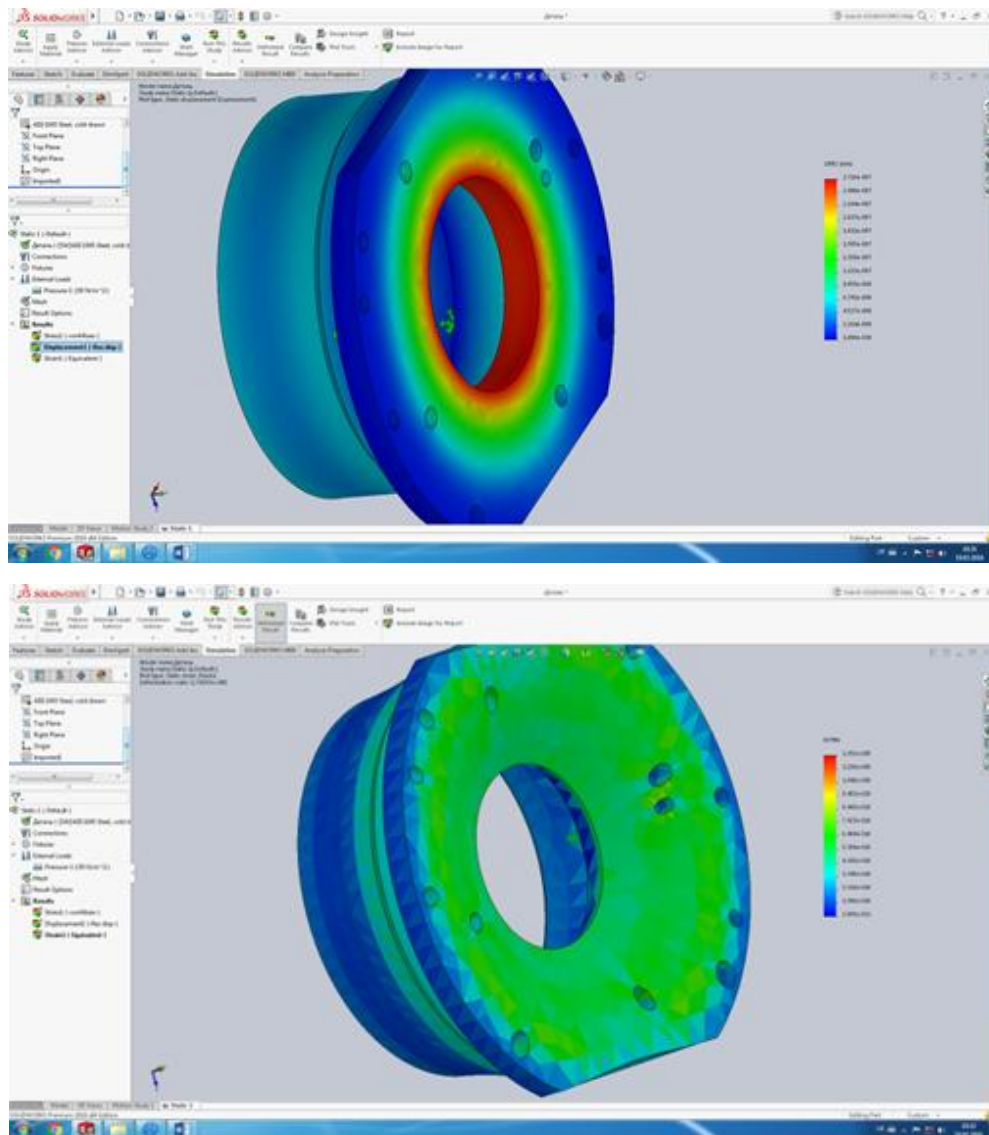


Рис. 8 Схеми прикладення сил в системі SolidWorks та картина деформації поверхонь деталі

В системі SolidWorks на торець 3D моделі були прикладені сили, що відповідають реальним навантаженням вузла, в результаті отримали картину напружено-деформованого стану перехідника (рис. 8).

При прикладенні термічного навантаження в 600°C на поверхню, що спрягається з зовнішнім кільцем підшипника, була виявлена зона розподілення температури в процесі роботи вузла для прийняття рішення щодо вибору посадки підшипник-перехідник.

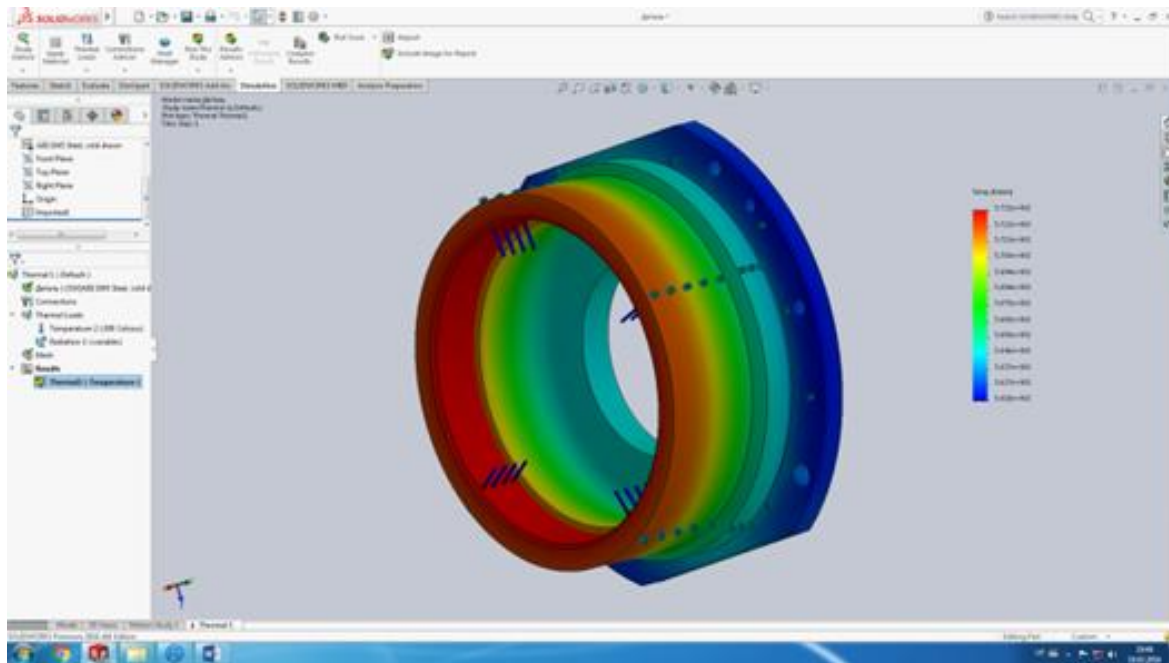


Рис. 9 Схема прикладення термічного навантаження

ВИСНОВКИ

Завдання, що виникають в процесі ТПВ, відносяться до розряду найбільш трудомістких.

Враховуючи специфіку машинобудівних підприємств з ремонту гірничого обладнання можна визначити найбільш потребуємі вимоги до CAD/CAM/CAE систем: створення твердотільних моделей розробка керуючих програм для виготовлення деталей на верстатах с ЧПК, розробка технологічного процесу механообробки, інженерний аналіз моделі на стадії проектування та моделювання процесу складання.

Найкращим чином вирішити весь комплекс задач, які виникають в процесі ТПВ [1], здатна тільки автоматизована система технологічної підготовки виробництва (АСТПВ). АСТПВ дозволяє генерувати та перевіряти безліч варіантів для ухвалення оптимального варіанту технологічного рішення на стадії ТПВ, що знижує собівартість деталі та зменшує строки підготовки виробництва.

ЛІТЕРАТУРА

1. Основные функции САД-систем. Основы САПР. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://bigor.bmstu.ru>.

УДК621.914.5

Плешань В.Ю., науч. рук.: Ковалевский С.В. (Украина, г. Краматорск, ДГМА)

ПРИНЦИПЫ СОЗДАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

Работа направлена на создание станков нового поколения с механизмами параллельной структуры, и основана на использовании перспективных информационных технологий и интеллектуальных компьютерных систем.

Целью современного машиностроения является изготовление продукции высокого качества с минимальными затратами, при постоянном повышении сложности геометрических форм деталей и их точности, с высокими требованиями к сопрягаемым поверхностям и их свойствам, работоспособности изделий и условиям их эксплуатации [1, 2].

Цель работы – сформулировать основные принципы предлагаемой концепции создания станков нового поколения на основе механизмов параллельной структуры (МПС) модульной компоновки.

Актуальность темы. В настоящее время разрабатываются технические исследования, основанные на механизмах параллельной структуры. К их части относят станки – бипод, трипод, пентапод, гексапод, «ножницы». Их особенностью является механизм, представляющий собой две платформы, соединенных подвижной телескопической штангой. Такой механизм обладает:

- высокой точностью позиционирования рабочего органа;
- высокие скорости перемещения;
- сравнительно низкие затраты на обслуживание и ремонт;
- более высокая надежность;
- высокая степень унификации мехатронных узлов, обеспечивающая технологичность изготовления станка и его конструктивную гибкость.

Авторы работ [2, 4, 8] указывают на эволюционную составляющую создавать новые механизмы параллельной структуры. При этом, необходимы решения, позволяющие объединить или максимально сблизить технологическую компоновку станка, которая определяется составом технологических переходов и их совмещением во времени с конструкторской компоновкой, зависящей от набора модулей и их расположения [5, 6, 7].

В частности, станки с параллельной кинематикой являются перспективной альтернативой традиционному металлообрабатывающему оборудованию [3, 4]. Пространственные МПС на штангах переменной или постоянной длины дают возможность обеспечить исполнительному органу (ИО) до 6-и степеней свободы при неизменной структуре механизма, выполнять ускоренные линейные перемещения с одновременной ориентацией относительно объекта обработки, позволяют ИО станка выполнять де-

ликатные и точные манипуляции с объектом обработки. Возможности технологического оборудования с МПС слишком широкие, они могут выполнять практически все виды работ, связанных с обработкой, сборкой, испытанием и контролем изделий. Станки с МПС способны заменить громоздкие обрабатывающие комплексы для средних и небольших деталей, а в некоторых случаях вытеснить полностью станки традиционной компоновки за счет своей многофункциональности [3, 4, 8-10].

Они выделяют основные достоинства механизмов параллельной структуры [10]:

- имеют меньшие массы;
- обладают повышенной жесткостью;
- реализуют одновременно (параллельно) передачу энергии от ведущего звена к ведомому несколькими кинематическими цепями и механизмами;
- обеспечивают рациональное распределение перемещений и нагрузок между несколькими кинематическими цепями;
- образуют замкнутый пространственный контур повышенной жесткости;
- построены на основе бесконсольных конструкций.

Таким образом, процесс оптимального проектирования станка как технической системы является сложным, многоуровневым, многокритериальным, многоэкстремальным и в многосвязной области, начиная от идеи (принципа действия) и заканчивая техническим решением в виде материализованной конструкции [7, 8].

Их особенностью является:

- применение каркасных конструкций несущих систем;
- агрегатно-модульный принцип компоновок;
- использование интеллектуальных технических и компьютерных систем.

ВЫВОДЫ

Создание механизмов параллельной структуры определяет уровень развития производства. При этом необходимо учитывать тенденции рынка и эволюцию технических систем, к числу критериев относятся технологические. Учет принципов системности (целесообразности) и эволюционности наряду с известными принципами теории решения изобретательских задач [11] позволяет утверждать, что технологическая обработка механизмов параллельной кинематики представляет хорошую альтернативу нынешнему подходу к оснащению конкурентоспособности производства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аверьянов О.И. Модульный принцип построения станков с ЧПУ / О.И. Аверьянов. – М.: Машиностроение, 1987. – 232 с.
2. Агрегатно-модульне технологичне обладнання: навч. посібник для ВНЗ. У 3-х част. / Під ред. Ю.М. Кузнєцова. – Кіровоград, 2003. – С. 56–77.

3. Афонин В.Л. *Обрабатывающее оборудование на основе механизмов параллельной структуры* / В.Л. Афонин, П.В. Подзоров, В.В. Слепцов; под общ. ред. В.Л. Афонина. – М.: Изд-во МГТУ СТАНКИН, 2006. – 452 с.
4. Кузнецов Ю.Н. *Компоновки станков с механизмами параллельной структуры* / Ю.Н. Кузнецов, Д.А. Дмитриев, Г.Е. Диневич. – Херсон: ПП Вышемирский В.С., 2010. – 471 с.
5. Балашов Е.П. *Эволюционный синтез систем* / Е.П. Балашов. – М.: Радио и связь, 1985. – 328 с.
6. Волохонский А.Г. *Генетический код и симметрия* / А.Г. Волохонский // *Симметрия в природе*. – Л., 1971. – С. 75.
7. Половинкин А.И. *Законы строения и развития техники* / А.И. Половинкин. – Волгоград, 1985. – 202 с.
8. Кузнецов Ю.Н. *Системно-морфологический подход при создании новых станков и их механизмов* / Ю.Н. Кузнецов // *Процессы механической обработки, станки и инструменты: матер. II Междунар. конф., Житомир, 9–11 октября 2003 г.* – Житомир, 2003. – С. 114–121.
9. <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/2450>.
10. <http://tekhnosfera.com/kinematicheskij-i-silovoy-analiz-ploskih-mehanizmov-parallelnoy-struktury-s-uchetom-osobyh-polozheniy-i-algoritmov-upravl>
11. Альтиуллер Г. С. *Теория и практика решения изобретательских задач* / Под ред. Г. Альтиуллера. – Горький, 1976. – 198 с.

УДК 621.787.4

Попов А.О., наук. кер. Ковалевський С.В., Гущин О.В. (Україна, м. Краматорськ, ДДМА)

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПОВЕРХНЕВОГО ЗМІЦНЕННЯ РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ МАШИН НА ОСНОВІ ПРОЦЕСУ НАКОЧУВАННЯ РОЛИКОМ

В статті розглянуто хід і результати експериментальних досліджень процесу накочування робочих поверхонь деталей машин роликом з круговим профілем. Досліджений вплив кута схрещування вісі ролика відносно вісі заготовки на показники якості робочої поверхні.

Надійність роботи машин безпосередньо пов'язана з якістю поверхневого шару деталей. Втрата працездатності деталей машин зазвичай пов'язана з руйнуванням поверхневого шару. Підвищення терміну експлуатації деталей можливо за рахунок поліпшення механічних характеристик поверхневого шару, а також шорсткості самої поверхні за допомогою поверхневої пластичної деформації.

Поверхнева пластична деформація це спосіб опоряджувально-зміцнюючого оброблення без зняття стружки шляхом деформації мікронерівностей і мікродфектів прилеглих до поверхні шарів матеріалу [1, 2].

На сьогоднішній день існує безліч методів ППД – вигладжування, вібровигладжування, дробоструминне оброблення, накочування сферичним, циліндричним і круговим роликом та інші. Ці способи оброблювання поверхні мають свої переваги: забезпечують досить жорсткі вимоги по шорсткості, твердості поверхні, збільшують зносостійкість деталей машин і стійкість до корозійних дій, знижує собівартість продукції (економія матеріальних ресурсів і енерговитрат)

Проте деяким деталям (що мають конструктивні або технологічні концентратори напруги, виточки, галтелі тощо) традиційні схеми ППД не можуть забезпечити жорсткіші вимоги до втомної міцності і довговічності. Попередні дослідження показали, що у поверхневому шарі окрім стискаючих напружень можуть виникати напруження зрізу якщо вісь ролика повернена на певний кут до вісі деталі. Це призводить до зниження впливу внутрішніх напружень і сприяє підвищенню якості зміцнених поверхонь [3].

З метою підтвердження теоретичних досліджень, уточнення вихідних даних та розширення обсягів результатів теоретичного аналізу у лабораторії кафедри ТМ проведені експериментальні дослідження процесу накочування та зняття характеристичних параметрів якості поверхні деталей машин після зміцнення поверхневого шару.

Експеримент проводився на верстаті 1К625 і полягав у дослідженні впливу зміни робочої подачі і кута схрещування деформуючого ролика на показники якості робочої поверхні.

Експериментальне оснащення (рис. 1) складається безпосередньо із деформуючого ролика 1, який встановлений в державці 2, що закріплена у різцетримачі верстата (рис. 1, б). Ролик має можливість прокручування у державці на певний кут γ і притискається до поверхні валу 3 пружиною 4, яка була заздалегідь тарована. Вал 3, виготовлений із сталі 40ХН, закріплюється в патроні 5 верстата і підтискається задньою бабкою (на схемі не зазначено). Зусилля з яким ролик притискається до поверхні заготовки становить 100 кг.

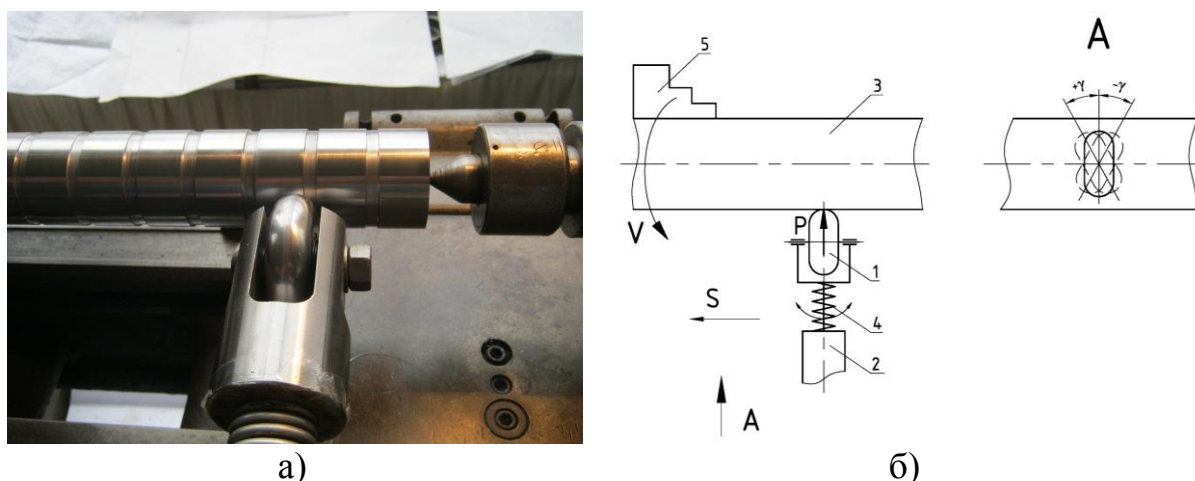


Рис. 1 Загальний вид (а) та схема експериментального оснащення (б) при накочуванні

Заготовка для експериментальних досліджень була попередньо оброблена на токарно-гвинторізному верстаті 1К625 з робочою подачею $S = 0,32 \text{ мм/об}$ при обертах шпинделю $n = 250 \text{ хв}^{-1}$. Оброблена поверхня була розділена на 9 рівних ділянок з твердістю 250...275 НВ і шорсткістю поверхні 2,5 мкм за шкалою Ra (рис. 2).

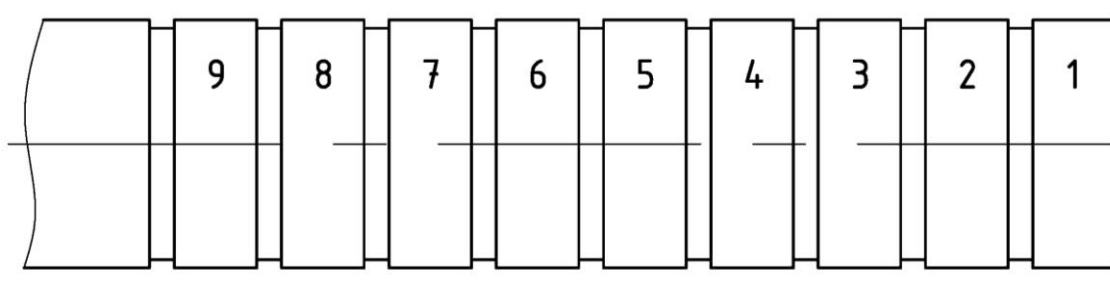


Рис. 2 Ескіз заготовки

Розділення заготовки на рівні ділянки відбувалося відповідно до плану проведення експерименту (табл. 1). На кожній ділянці відбувалось накочування при визначених режимах.

Після накочування заготовка була знята з верстату і встановлена на призми, де проводились дослідження поверхні кожної ділянки окремо.

Зокрема були зняти показники твердості поверхні за допомогою малогабаритного електронного твердоміру ЕТМ-01 і показники шорсткості поверхні електронним профілометром-профілографом TR200.

Таблиця 1

План проведення експерименту

№ ділянки	α , град	S, мм/об
1	0	0,30
2	0	0,15
3	0	0,075
4	+5	0,30
5	+5	0,15
6	+5	0,075
7	-5	0,30
8	-5	0,15
9	-5	0,075

Виходячи з отриманих результатів можна відмітити що твердість поверхні змінилася не значно, до проведення експерименту твердість складала 260..275 НВ, після – 265...285 НВ. А показники шорсткості розподілилися наступним чином (рис. 3).

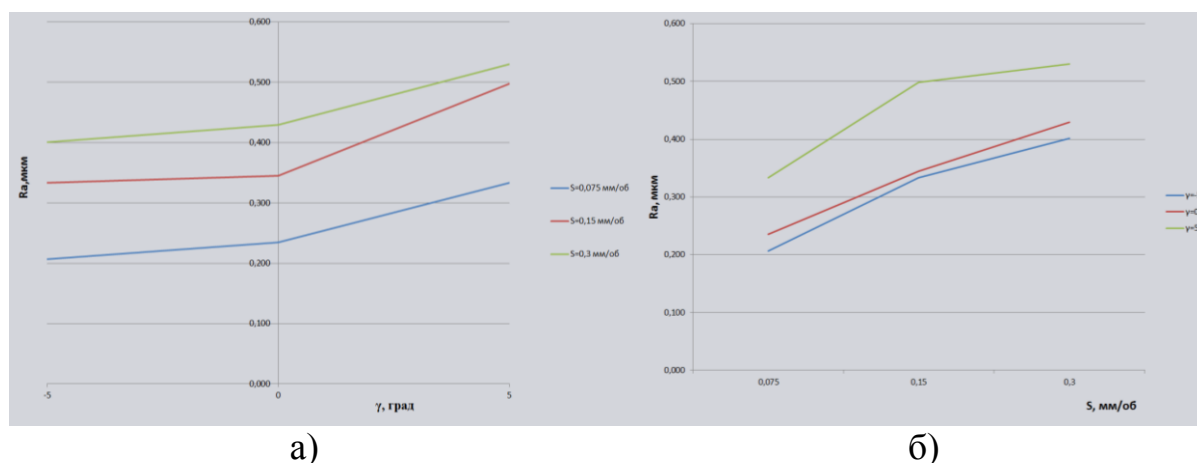


Рис. 3 Порівняльні графіки залежності параметра шорсткості поверхні Ra після накочування від куту схрещування ролика (а) і робочої подачі (б)

Таким чином, по результатам експерименту встановлено, що для досягнення більш жорстких показників шорсткості необхідно вибирати негативний кут схрещування вісі ролика у відповідності до обраних режимів роботи верстату. Також накочування поверхні з негативним кутом схрещування дозволяє обирати більш швидкісні режими роботи верстату для досягнення необхідних показників якості поверхні, що оброблюється.

ЛІТЕРАТУРА

1. Одинцов Л. Г. Упрочнение и отделка деталей поверхностным пластическим деформированием : справочник / Л. Г. Одинцов. – М. : Машиностроение, 1987. – 328 с.
2. Смелянский В. М. Механика упрочнения деталей поверхностным пластическим деформированием / В. М. Смелянский. – М. : Машиностроение, 2002. – 300 с.

3. Ковалевский С. В. Особенности применения роликов при отделочно-упрочняющей обработке наружных поверхностей деталей типа тел вращения / С. В. Ковалевский, А. В. Гуцин // Научный вестник ДГМА. – № 3(15Е). – 2014. – С. 44–49.

УДК 621.774.001

Псюк М.І., наук. кер. Панчук В.Г (Україна, м. Івано-Франківськ, ІФНТУНГ)

ПЕРСПЕКТИВИ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ РІЗЬБОВИХ З'ЄДНАНЬ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ЗАСОБАМИ ПРИ ЇХ ВИГОТОВЛЕННІ

Процес різьбоутворення повинен забезпечувати відповідну якість різьби, а саме герметичність, згвинчуваність і міцність. Ці фактори тісно взаємопов'язані між собою і є визначальними при її експлуатації. Для підвищення якості різьби запропоновано удосконалювати технологічний процес, використовуючи більш доцільні його елементи – методи обробки, обладнання та інструменти.

Різьбові з'єднання широко використовуються в нафтогазовій справі, де з їх допомогою утворюють групи колон для буріння та трубопроводів для постачання нафти чи газу. Вихід з ладу колони здебільшого пов'язаний з несправностями таких з'єднань. Через недостатню якість виготовлення таких з'єднань виникають проблеми у вигляді негерметичності, поганій згвинчуваності та недостатній міцності різьбового з'єднання. Тому необхідно вдосконалювати технологічний процес їх виготовлення.

Актуальним є удоскоалення та підвищення якості таких з'єднань обсадних труб у напрямі підвищення їх герметичності, міцності, кращій згвинчуваності та ремонтпридатності для умов високих експлуатаційних навантажень.

В процесі виготовлення будь-який з елементів різьби – зовнішній, внутрішній і середній діаметри, крок, кут профілю – може мати похибки. Крім того, можливі недотримання заданої шорсткості різьбової поверхні та відхилення від співвісності різьбової частини та труби. Все це призводить до погіршення збирання (згвинчуваності) і якості різьбового з'єднання, знижує його міцність. Оскільки, основними параметрами різі є середній діаметр, крок і кут профілю, то вони визначають характер контакту, міцність та точність різьбового з'єднання.

Похибка кроку різьби виникає внаслідок похибки кроку ходового гвинта верстата та від точності передаточного числа набору шестерень від ходового гвинта до шпинделя.

Похибка кута профілю може виникнути навіть при точному куті профілю при умові, коли передня поверхня різця не є паралельною осі деталі. Зазвичай ця похибка виникає внаслідок неточного виготовлення кута профілю у різьбоутворюючого інструмента, при спрацюванні вершини інструмента, при його неточному переточуванні, при неточному встановленні інструменту на верстаті.

Похибка середнього діаметру призводить до зменшення робочої висоти профілю різьби, зменшення площі контакту, а також до зменшення міцності різьбового з'єднання.

Технологічно якість різьбових з'єднань можна підвищити наступними способами:

- виконувати операції різьбонарізання в більш жорсткій технологічній системі, щоб уникнути вібрацій та коливань, тобто здійснювати операції обробки на верстатах з як найменшою кількістю вузлів;
- проводити встановлення заготовок та інструменту на верстаті за допомогою точних пристроїв;
- здійснювати обробку різьби високоточним профільним інструментом, який дозволяє отримати заданий профіль різьби;
- підвищити стійкість різьбооброблюючого інструменту, тобто довше зберігати свої геометричні параметри;
- виготовляти різьбові поверхні із низькою шорсткістю для збільшення контакту деталей, що згвинчуються;
- підвищити міцність різьбового з'єднання за допомогою методів термічної та хіміко-термічної обробки для запобігання утворенню пластичних деформацій при згвинчуванні, що призводять до заїдання при повторному згвинчуванні.

ВИСНОВОК

Вказані способи підвищення якості різьбових з'єднань теоретично можливо застосувати на практиці, і вони будуть позитивно впливати на процес різьбоутворення. Використання високоточного профільного інструменту з високою стійкістю дозволить отримати якісну різьбу без застосування додаткових технологічних операцій. Таким чином, буде зменшений час на виготовлення та збільшена кількість виготовлених деталей одним інструментом. Підвищення міцності самого з'єднання дозволить збільшити час експлуатації деталей. А при низькій шорсткості різьбове з'єднання буде забезпечувати герметичність, що дуже важливо у нафтогазовій справі.

ЛІТЕРАТУРА

1. Емельянов А. Новые конструкции резьбовых соединений обсадных труб для нефтегазового комплекса [Текст] / А. Емельянов // Бурение & нефть. – 2004. – № 11. – С. 28-31.
2. Карабанов, В. В. Решение проблемы герметичности и надежности обсадных колонн [Текст] / В. В. Карабанов, И. О. Бохоров // Нефтяное хозяйство. – 2012. – № 1. – С. 42-45.
- 3, Рябоконт А.А. Оценка влияния изгибающих нагрузок на герметичность резьбовых соединений обсадных труб с уплотнением "метал-метал" [Текст] / А. А. Рябоконт, В. И. Чернухин, В. А. Ключов, А. Н. Добренков // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2008. – № 6. – С.22-24.

УДК 621.914.5

Рудакова К.А., науч. рук. Ковалевский С.В. (Украина,
г. Краматорск, ДГМА)

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ТРАЕКТОРИИ ДВИЖЕНИЯ ИНСТРУМЕНТА В РАБОЧЕЙ ЗОНЕ ГЕКСАПОДА

В статье представлен анализ особенностей формирования траектории движения инструмента в рабочей зоне гексапода. Даны рекомендации по использованию математического аппарата для моделирования исполнительных движений гексапода.

Развитие машиностроительной индустрии Украины требует совершенствования средств и методов формообразования деталей машин и их контроля [1]. Перспективным направлением создания технологических машин, в том числе для механообработки является использование оборудования на основе механизмов с параллельной кинематикой [2, 3]. Их особенностями являются: высокая жесткость конструкции; достигаемая точность рабочих перемещений при малой (в сравнении с традиционным оборудованием) металлоемкостью [1-3].

В настоящее время станкостроительными фирмами широко предлагаются станки-гексаподы и триподы, однако их применение связано со сложностью управления исполнительными механизмами, для обеспечения заданной траектории движения [4, 5].

В настоящее время ограничено число работ в этом направлении. Это по нашему мнению вызвано тем, что имеет место необходимость решения прямой и обратной задач геометрического проектирования размерных связей в классических представителях механизмов с параллельной кинематикой – гексаподах [5].

Не менее сложные проблемы возникают в механизмах трипод, пантопод, ротопод. Решение задач геометрического проектирования ещё более усложняется при переходе от идеальной схемы механизма с параллельной кинематикой к ее практической реализации.

В общем виде решение задачи формирования траектории движения инструмента в рабочей зоне гексапода сводится к моделированию искомой траектории в виде решения системы уравнений (1):

$$\begin{cases} x(t) = x_0 + (x_1 - x_0)t; \\ z(t) = z_0 + (z_1 - z_0)t; \\ v(t) = v_0 + (v_1 - v_0)t; \\ y(t) = y_0 + (y_1 - y_0)t; \\ \varphi(t) = \varphi_0 + (\varphi_1 - \varphi_0)t; \\ \xi(t) = \xi_0 + (\xi_1 - \xi_0)t; \end{cases} \quad (1)$$

где x_0, y_0, z_0 – координаты начала траектории;

x_1, y_1, z_1 – координаты окончательной траектории;
 φ_0, v_0, ξ_0 – начальные углы;
 φ_1, v_1, ξ_1 – углы окончания;
 t – время.

Таким образом, траектория задается множеством линейных и угловых координат текущего положения инструмента в функции времени t . При этом следует учитывать положение концов (шарниров) управляемых штанг механизма. Это означает, что координаты основания штанг должны лежать в одной плоскости и обеспечивать выполнение условия (2):

$$AX_{l_i} + BY_{l_i} + CZ_{l_i} = 0; \quad i = 1 \dots n \quad (2)$$

где n – количество штанг;

$X_{l_i}, Y_{l_i}, Z_{l_i}$ – координаты подвижного конца i – штанги.

Выполнение этого условия (2) связано с неравномерными и нелинейными изменениями длин штанг при отработке механизмом перемещения по заданной траектории (1), как это показано на рис. 1 [6].

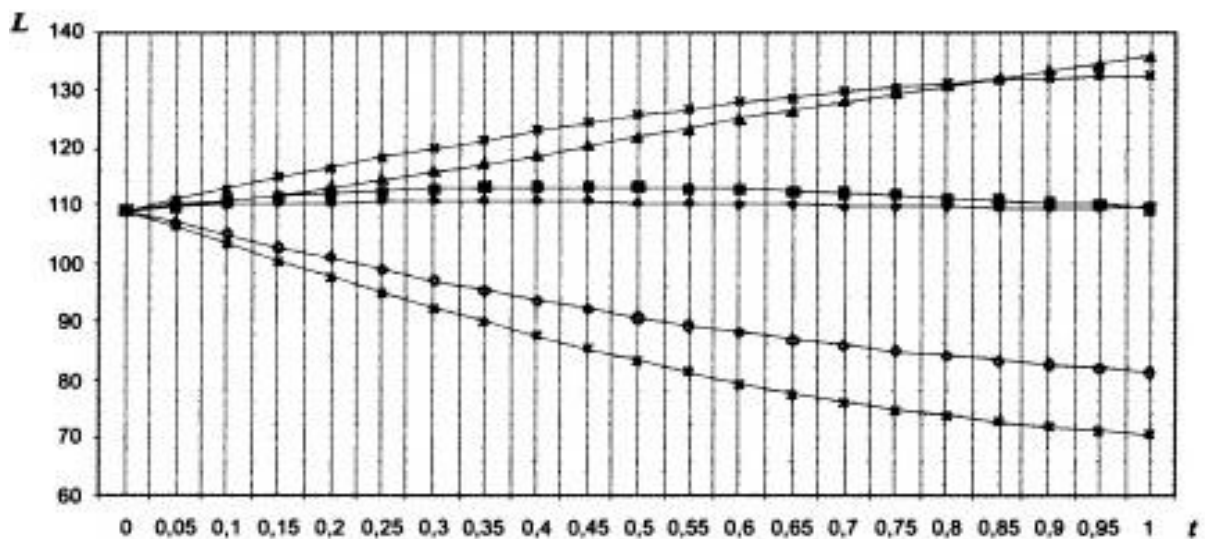


Рис. 1 Длины штанг при прямолинейном движении

Из вышеизложенного следует, что решение задачи формирования траектории движения инструмента в рабочей зоне гексапода сводится к решению задачи поиска функций вида $l_i(t)$ и их составляющих $X_{l_i}, Y_{l_i}, Z_{l_i}$ (3).

$$l_i(t) \rightarrow [X_{l_i}(t), Y_{l_i}(t), Z_{l_i}(t)] \quad (3)$$

Другими словами необходимо в каждый момент времени обеспечить выполнение условий (2) при сформированных функциях (3). Поскольку вид функции (3) не определен и может быть задан в виде аппроксимации функции, предлагается представить их в виде математических выра-

жений описывающих нейросетевую модель. Тогда поиск функции (3) сводится к отысканию весовых коэффициентов системы активационных функций с задаваемыми параметрами на основе таблиц прецедентов. Количество таких прецедентов (кортежей) зависит от требуемой необходимой точности позиционирования исполнительного органа гексапода.

ВЫВОДЫ

Подобная оптимизация траектории способствует улучшению качества работы рассматриваемого станка, так как вследствие отсутствия реверса приводных двигателей уменьшаются переходные процессы, что потенциально уменьшит вероятность возникновения автоколебаний.

Также можно отметить, что такая оптимизация может осуществляться не только на холостом ходу инструмента между технологическими операциями, но и в процессе его работы. Это связано с тем, что одному и тому же положению рабочего инструмента в конструкции гексапода могут соответствовать различные длины штанг, и выбирая их соответствующим образом, можно добиться оптимальной траектории.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мамаев Ю.А. Динамика движения робота-станка с параллельной кинематикой (гексапода) для окончательной обработки деталей сложной геометрии [Автореферат] / Ю.А. Мамаев, Л.А. Рыбак // Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры – Курск, 2014.
2. Короткова Г.П. Принципы целостности (к вопросу о соотношении живых и неживых систем) / Г.П. Короткова. – Л.: Изд-во Ленинград. ун-та, 1968. – 160 с.
3. Кузнецов Ю.Н. Компоновки станков с механизмами параллельной структуры / Ю.Н. Кузнецов, Д.А. Дмитриев, Г.Е. Диневич. – Херсон: ПП Вышемирский В.С., 2010. – 471 с.
4. Афонин В.Л. Обработка оборудования на основе механизмов параллельной структуры / В.Л. Афонин, П.В. Подзоров, В.В. Слепцов; под общ. ред. В.Л. Афонина. – М.: Изд-во МГТУ СТАНКИН, 2006. – 452 с.
5. Кузнецов Ю.Н. Генетико-морфологический принцип создания станков нового поколения / Ю.Н. Кузнецов // Вісник СевНТУ. Вип. 110: Механіка, енергетика, екологія: зб. наук. пр. – Севастополь, 2010.
6. Рыбак Л.А. Эффективные методы решения задач кинематики и динамики робота-станка параллельной структуры / Л.А. Рыбак, В.В. Ержуков, А.В. Чичварин – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2011. – 60 с.

УДК 621.9.02-229

Руденко Р.А., науч. рук. Фролов В.К. (Украина, г. Киев, НТУУ «КПИ»)

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЖЁСТКОСТИ РАСТОЧНЫХ И ВНУТРИШЛИФОВАЛЬНЫХ ОПРАВОК

В работе проанализированы существующие и предложены новые способы повышения жёсткости расточных и внутришлифовальных оправок, практическая реализация которых позволяет повысить точность обработки отверстий.

Мировое производство инструментальных оправок исчисляется миллионами единиц в год (суточный объём выпуска только одного производителя – фирмы Haimer GmbH – составляет 2000 штук [1]). Значительная их часть предназначена для расточных и внутришлифовальных работ.

Одной из главных характеристик оправки, предназначенной для обработки отверстий, является её изгибная жёсткость, т.е. способность сопротивляться изгибающим нагрузкам. Так как прогиб оправки прямо пропорционален прикладываемой радиальной силе и обратно пропорционален её жёсткости, то повышение жёсткости оправки непосредственно влияет на повышение точности обработанных поверхностей и опосредованно – на увеличение производительности процесса за счёт возможности интенсификации режима обработки.

Известно, что на жёсткость оправки влияют следующие факторы: длина оправки, модуль упругости материала и момент инерции сечения оправки. Так как длина оправки определяется длиной обрабатываемого отверстия и не может быть уменьшена, то повысить жёсткость оправки можно только за счёт увеличения последних двух параметров.

Увеличение модуля упругости путём замены материала оправки приводит к значительному увеличению её стоимости, т.к. материалы, обладающие большим, чем у стали, модулем упругости, являются более дорогими. Поэтому оправки изготавливают комбинированными, увеличивая модуль упругости за счёт использования керамических втулок, плотно одетых на основной стальной стержень и находящихся в сжато-напряжённом состоянии [2]. Такой способ также существенно удорожает изготовление оправки.

Увеличение момента инерции сечения оправки возможно за счёт увеличения её диаметра или изменения формы оправки с цилиндрической на коническую [3]. Однако данное решение приводит к увеличению расхода материала и возможно только для оправок, предназначенных для обработки неглубоких отверстий.

Целью данного исследования является повышение жёсткости инструментальных оправок для обработки глубоких отверстий.

Известны балки равного сопротивления изгибу [4], момент сопротивления которых меняется пропорционально изгибающему моменту от внешних нагрузок. Форма и поперечное сечение таких балок разнообразны в зависимости от назначения. Они широко используются в строительстве, при изготовлении рессор – в тех изделиях, где требуется повышенная жёсткость при экономии материала.

Авторами предлагается конструкция инструментальной оправки (рис. 1), в которой консольная часть, традиционно изготавливаемая цилиндрической, выполняется в форме срезанного кубического параболоида 2, диаметр которого увеличивается от места установки инструмента 3 до хвостовика оправки 1.

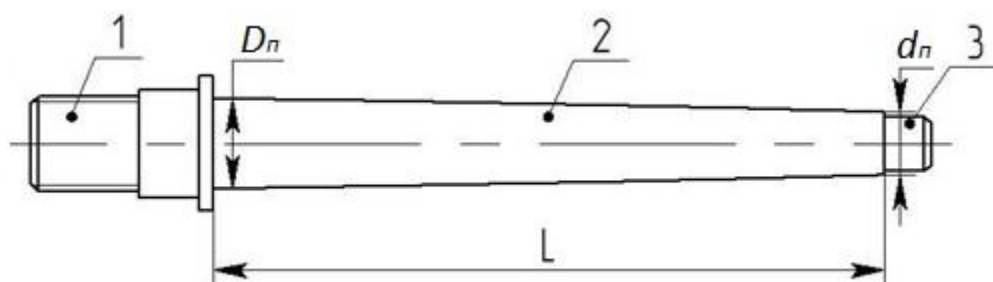


Рис. 1 Инструментальная оправка с консольной частью в форме срезанного кубического параболоида

Сравним жёсткость параболоидной и цилиндрической оправок, учитывая, что длина и объём кубического параболоида равны соответственно длине и объёму исходного цилиндра.

Объём срезанного кубического параболоида определяется из выражения:

$$V_{\text{п}} = \frac{3}{5} \pi \left\{ \left[L + \left(\frac{d_{\text{п}}}{2} \right)^3 \right]^{\frac{5}{3}} - \left(\frac{d_{\text{п}}}{2} \right)^5 \right\}.$$

Объём цилиндра составляет:

$$V_{\text{ц}} = \pi \left(\frac{D_{\text{ц}}}{2} \right)^2 L.$$

Приравняв $V_{\text{п}}$ и $V_{\text{ц}}$, получим:

$$\frac{3}{5} \pi \left\{ \left[L + \left(\frac{d_{\text{п}}}{2} \right)^3 \right]^{\frac{5}{3}} - \left(\frac{d_{\text{п}}}{2} \right)^5 \right\} = \pi \left(\frac{D_{\text{ц}}}{2} \right)^2 L.$$

Решив последнее уравнение относительно $D_{\text{ц}}$, получим выражение для определения диаметра цилиндра, объём которого равен объёму параболоида:

$$D_{\text{ц}} = 2 \times \sqrt{\frac{\frac{3}{5} \left\{ \left[L + \left(\frac{d_{\text{п}}}{2} \right)^3 \right]^{\frac{5}{3}} - \left(\frac{d_{\text{п}}}{2} \right)^5 \right\}}{L}}$$

Прогиб оправки в форме срезанного кубического параболоида определяется из выражения:

$$\omega_{\text{п}} = \frac{4P}{\pi E} \left\{ -\frac{3L^2}{\left[L + \left(\frac{d_{\text{п}}}{2} \right)^3 \right]^{\frac{1}{3}}} + 9L \left[L + \left(\frac{d_{\text{п}}}{2} \right)^3 \right]^{\frac{2}{3}} - \frac{27 \left[L + \left(\frac{d_{\text{п}}}{2} \right)^3 \right]^{\frac{5}{3}}}{5} + \frac{27 \left(\frac{d_{\text{п}}}{2} \right)^5}{5} \right\}$$

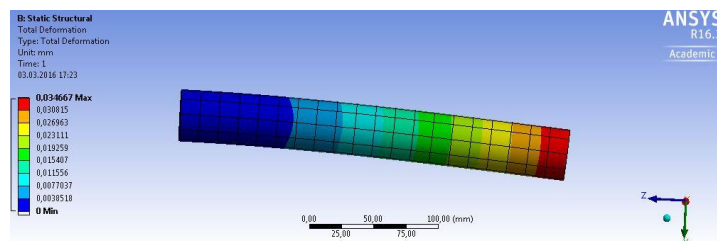
где P – единичная нагрузка, сосредоточенная на конце оправки; E – модуль упругости материала оправки.

Прогиб цилиндрической оправки такой же длины и объёма:

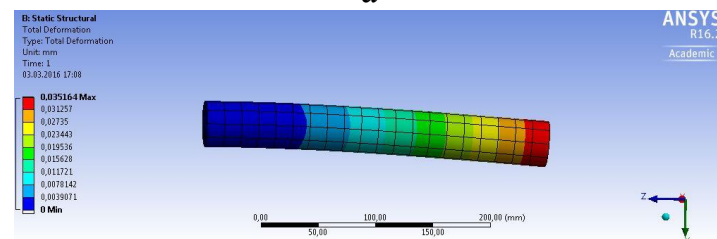
$$\omega_{\text{ц}} = \frac{100PL^5}{27\pi E \left\{ \left[L + \left(\frac{d_{\text{п}}}{2} \right)^3 \right]^{\frac{5}{3}} - \left(\frac{d_{\text{п}}}{2} \right)^5 \right\}^2}$$

Истинность выражений, полученных для определения объёма и прогиба оправок, проверялась в системах Mathcad и T-FLEX CAD. Полученные результаты её подтверждают.

Сравнительный расчёт прогибов оправок выполнялся в системах ANSYS (рис. 2) и SolidWorks (рис. 3). Исходные данные для расчётов: $L = 300$ мм, $\frac{d_{\text{п}}}{2} = 20$ мм, $P = 100$ Н, $E = 200$ кН/мм² (200 ГПа).



а



б

Рис. 2 Расчёт прогиба оправки в форме параболоида (а) и цилиндра (б) в системе ANSYS

Результаты расчётов показывают, что жёсткость оправки в форме срезанного кубического параболоида по сравнению с цилиндрической оправкой возросла на 1,21%. При увеличении соотношения длины и диаметра оправки эффективность предложенной конструкции оправки возрастает, при уменьшении соотношения – снижается. Так, при $L = 600$ мм, $\frac{d_{\text{п}}}{2} = 20$ мм жёсткость оправки в форме параболоида больше на 2,34%, при $L = 300$ мм, $\frac{d_{\text{п}}}{2} = 40$ мм – на 0,16%.

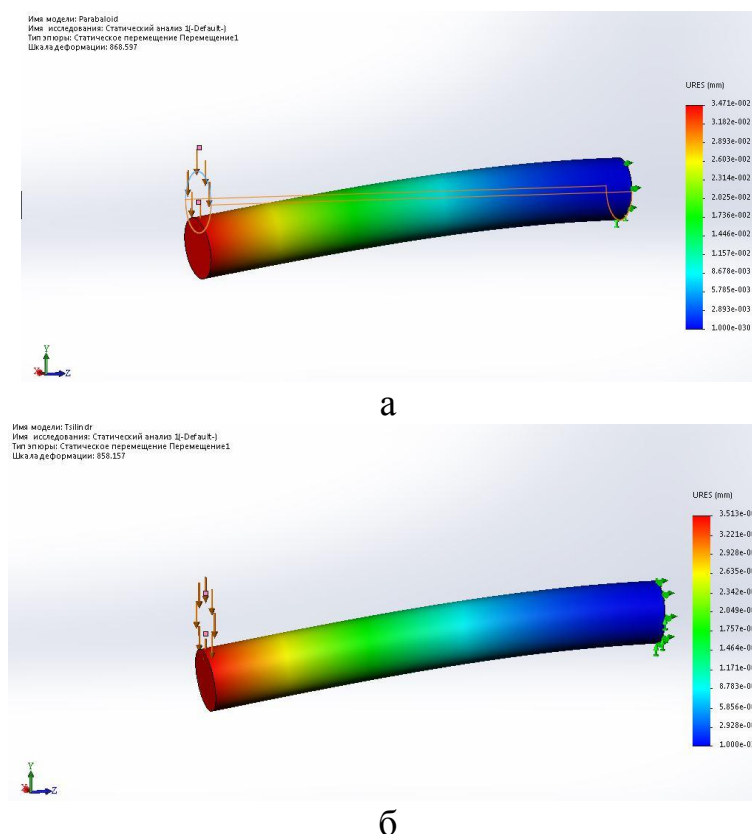


Рис. 3 Расчёт прогиба оправки в форме параболоида (а) и цилиндра (б) в системе SolidWorks

ВЫВОДЫ

Замена традиционной цилиндрической формы консольной части инструментальной оправки на форму в виде срезанного кубического параболоида позволяет повысить жёсткость оправки без изменения себестоимости её изготовления.

ЛИТЕРАТУРА

1. www.haimer.com/
2. Альперович Т.А. и др. Конструкция шлифовальных станков: Учеб. для ПТУ / Т.А.Альперович, К.Н. Константинов, А.Я.Шapiro. - М.: Высшая школа, 1989. - 288с.
3. Акимов В.Л., Иванов В.А. Внутреннее шлифование / Под ред. В.И. Муцяноко. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1986. – 128 с.
4. Справочник по сопротивлению материалов / Писаренко Г.С., Яковлев А.П., Матвеев В.В.; Отв. ред. Писаренко Г.С. – 2-е изд., перераб. и доп. – Киев: Наук. думка, 1988. – 736 с.

УДК 621.941-229.3

Савєлов А.М., наук. кер. Кузнецов Ю.М. (Україна, м. Київ, НТУУ «КПІ»)

ГЕНЕТИКО-МОРФОЛОГІЧНИЙ ПІДХІД ПРИ СИНТЕЗІ ПРИВОДІВ ЗАТИСКНИХ МЕХАНІЗМІВ ВЕРСТАТІВ З ЧПК

У даній статті проілюстровано генетико-морфологічний підхід для опису ЗМ і ПрЗ з механічними перетворювачами енергії, запропонований високошвидкісний шпиндельний вузол з електромеханічними приводами затиску і подачі пінолі.

Основна частина існуючих затискних механізмів (ЗМ) зберігають традиційну структуру, що часто перешкоджає використанню потенційних можливостей верстата з метою підвищення його техніко-економічних характеристик [3]. У зв'язку із зростаючими вимогами до якості і продуктивності обробки та стійкою тенденцією до підвищення частоти обертання шпинделя постає задача синтезу нових структур шпиндельних вузлів з гібридними електромеханічними системами затиску.

В основі синтогенезу гібридних видів лежать генетичні процеси схрещування, які зумовлюють ускладнення структур з одного боку, і розширення їх функціональних властивостей, з іншого. Основу суміщених структур становлять принципи просторового суміщення двох або декількох структур, які можуть відноситись до різних базових видів. Оператор схрещування моделює механізми структуроутворення суміщених систем із змішаною генетичною інформацією.

Таким чином, структури суміщених систем, що складаються з шпиндельних вузлів з гібридними електромеханічними системами затиску становлять собою просторову композицію принаймні двох елементарних структур (електричної машини та шпиндельного вузла), кожна з яких виконує свою функцію в системі. Тому в такій суміщеній системі просторова форма і кількість рухомих та нерухомих частин, повітряних проміжків, систем живлення і керування визначається конкретною цільовою функцією, відповідною просторовою геометрією і кількістю суміщених елементарних структур.

В даному випадку цільова функція синтезу F_S може бути представлена наступним набором часткових функцій реалізація яких в максимальній мірі визначає успішність результатів проектування (пошуку структури): поєднання функцій електромеханічного приводу і ПрЗ; реалізація безконтактної подачі вхідного зусилля за рахунок електромагнітної взаємодії; подача вхідного зусилля до елементів механізму, що обертаються; співвісність обертальних моментів та зусиль, що виникають в механізмі; забезпечення керованості вихідного осьового зусилля; мінімізація витрат енергії (забезпечення роботи лише під час затиску та розтиску); підвищення питомих показників головного приводу при обмежених габаритах

виробу; можливість ефективного балансування механізму відносно осі обертання та ін. Важливість (першочерговість) врахування зазначених часткових функцій корегується їх ваговими коефіцієнтами, що обираються методом експертної оцінки.

Для визначення структурної різноманітності відомих різновидів шпindelних вузлів з електромеханічними системами затиску необхідним є проведення інформаційного пошуку. Це дає можливість здійснити аналіз генетичної інформації, виявити таксономічні ознаки, час еволюції, напрями структурно-функціональної адаптації і удосконалення та ін.

Структура приводу затиску (ПрЗ) визначається просторовою геометрією і топологією взаємозв'язаних силових контурів та силових потоків. Відповідно з теорією еволюційного синтезу [1, 4] і положеннями генетикоморфологічного підходу [2] до створення та розвитку технічних об'єктів, ПрЗ можна описувати на різних рівнях складності: генетичному, хромосомному, об'єктному, видовому, популяційному, системному, міжсистемному.

Основними критеріями, що визначають структурну організацію ПрЗ в його виконавчій частині є характеристики перетворювачів енергії, що змінюють характеристики вхідного силового потоку (зусилля) у відповідності до певних законів, чим забезпечують появу та підтримку напруженого стану (силового поля) ЗМ за заданим законом функціонування механізму. Отже, концептуально ПрЗ є проміжним перетворювачем силових потоків (енергії у формі силового потоку) між джерелом і перетворювачем енергії ПЕ і ЗП.

Умовно кажучи, якщо абстрактно уявити ЗМ, якого ще не існує, але який треба створити, то модель силових (енергетичних) потоків буде складатися з двох елементарних потоків: один в ПрЗ $F_0(M_0) - F_1(M_1)$, а другий в ЗП $F_1(M_1) - F_2$ без вказівки координатного напрямку сил (моментів) на вході і виході. Тоді повний потік від джерела енергії Е через перетворювачі ПЕ до об'єкта затиску (ОЗ) запишеться у вигляді генетичної формули ЗМ – взаємодії трьох матеріальних точок (штучних генів O, O_1, O_2) (рис. 1)

$$F_0(M_0) - F_1(M_1) - F_2,$$

де на хромосомному рівні для ПрЗ генетичний код буде $F_0(M_0) - F_1(M_1)$, а для ЗП – $F_1(M_1) - F_2$.

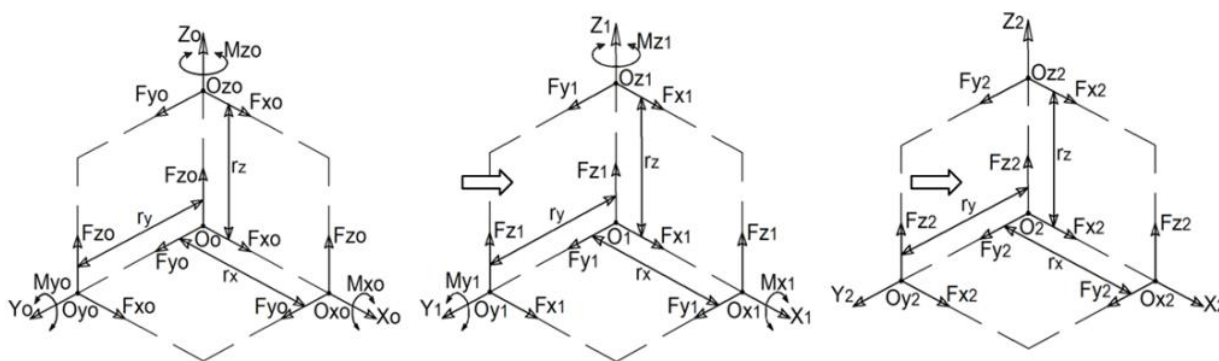


Рис. 1 Модель силових (енергетичних) потоків

Як для ЗП на об'єктному рівні [2] елементарний силовий контур може бути замкнений відкритий, замкнений закритий, розімкнений і комбінований, так і в ПрЗ елементарний силовий контур може бути із замиканням: силовим не пружним (відкритий контур, що завжди пов'язаний з джерелом і перетворювачем енергії); силовим пружним (за рахунок потенційної енергії пружного елемента, наприклад, пакету тарілчастих пружин); геометричним при відключенні від джерела енергії і натягом пружної системи механізм; фрикційним із самогальмовуванням; комбінованим.

За видом енергії силових потоків, що використовується ПрЗ можуть бути: механічні, електромагнітні, рухомих середовищ (гідропневмо) та їх комбінації, що визначає вид енергетичних потоків (взаємодія твердих тіл, електромагнітна взаємодія, тиск рухомих середовищ). Таким чином в ЗМ і, зокрема в ПрЗ, можливе використання різних середовищ і полів в силових потоках [2].

На даному етапі розвитку ЗМ верстатів найбільшого поширення набули ПрЗ механічного виконання. У своїй виконавчій частині (ППМ) існуючі ПрЗ механічного виконання мають геометричні праобрази (моделі), кількість видів яких є обмежена: важільні, клинові, плунжерні, спіральні, зубчасті, гвинтові, пружні. Кількість перетворювачів силових потоків та їх видів (з числа вище перерахованих) може бути різною та комбінуватися. Відповідно у ПрЗ механічного виконання можуть існувати вхідні та вихідні силові потоки у вигляді сил та моментів сил. Очевидною є можливість існування ПрЗ, силові потоки яких розташовуються у тримірному просторі і мають інший набір координатних рухів. Для виявлення нових видів ПрЗ доцільно провести аналіз можливих варіантів просторового розташування та взаємної орієнтації вхідних та вихідних силових потоків.

Породжувальну систему елементарних силових (енергетичних) потоків можна представити у вигляді двох матриць, наповнених «генетичною інформацією», де кожному елементу однієї (вхідної) M_{EN} матриці ставиться у відповідність певний елемент іншої (вихідної) M_{EX} за правилами, котрі визначаються законами функціонування механізму. Такий варіант представлення можливих «генетичних» інформаційних моделей ПрЗ є не дуже зручним для пошуку нових структур ПрЗ тому, що вміщує велику кількість «не придатних» для дійсного стану розвитку технологічного обладнання варіантів із загальної кількості – $N_f = 12 \cdot 12 = 144$, що для тіл обертання дає $N'_f = 12 \cdot 4 = 48$ [2].

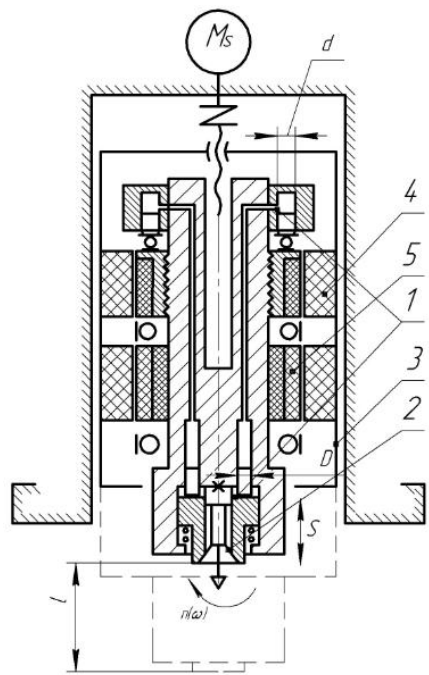
Якщо вхід і вихід силових потоків ПрЗ розташовані на шпіндельному вузлі, то кількість варіантів зменшується. Таким чином можна виділити (скомбінувати) чотири можливі класи ПрЗ, не враховуючи напрямок дії зусилля (моменту) а саме:

1) з ручним затиском в цанговому патроні ($F_{a0} - F_{a1}$); 2) з гідромеханічним затискачем в патроні типу Cogo Grip ($F_{a0} - M_{a1}$); 3) з моторшпинделем, електромеханічним приводом затиску і цанговим патроном (без муфти розмикання) ($M_{a0} - F_{a1}$); 4) з мотор-

шпинделем, електромеханічним приводом затиску і цанговим патроном на- тискної дії зі зворотнім конусом ($M_{a0} - M_{a1}$):

$$M'''_{EN} = \left| \frac{F_{a0}}{M_{a0}} \right| \Rightarrow M'''_{EX} = \left| \frac{F_{a1}}{M_{a1}} \right|$$

З результатів даних досліджень запропонований високошвидкісний шпиндельний вузол з електромеханічними приводами затиску і подачі пі- нолі (рис. 2)



1 – електрогідравлічний привод затиску; 2 – нерухомий цанговий патрон (з прямим конусом); 3 – піноль; 4 – статор; 5 – ротор

Рис. 2 Шпиндельний вузол з автоматичним мотор-шпинделем:

ЛІТЕРАТУРА

1. Балашов Е.П. Эволюционный синтез систем: Монография /Е.П. Балашов – М.: Радио и связь, 1985. –328 с.
2. Кузнецов Ю.Н., Хамуйела Жоаким А.Г., Ангел Попаров. Генетико-морфологический подход к созданию и прогнозированию развития зажимных механизмов для вращающихся деталей // Journal of the Technical University – Sofia Plovdiv branch, Bulgaria “Fundamental Sciences and Applications”. – Bulgaria, vol. 19, Book 2, 2013, ISSN 1310-8271. – pp. 117–13.
3. Кузнецов Ю.М. Проектування цільових механізмів маніпулювання верстатів нового покоління: Навч. Посібник /Ю.М.Кузнецов, Б.І.Придальний; вид.2-ге, змін. /Під загальною редакцією проф. Ю.М.Кузнецова. – Луцьк: Вежа-Друк, 2014. – 428 с.
4. Шинкаренко В.Ф. Основы теории эволюции электромеханических систем: Монография / В.Ф. Шинкаренко. – К.: Наукова думка, 2002. – 288 с.

УДК 621.78.015

Силина Е.В., науч. рук. Ковалевский С.В. (Украина, г. Краматорск, ДГМА)

ВИРТУАЛЬНЫЙ ЭКСПОЗИЦИОННЫЙ ЦЕНТР ПРОБЛЕМНОЙ ЛАБОРАТОРИИ

В статье изложен принцип к созданию виртуально-экспозиционного центра проблемной лаборатории мобильных интеллектуальных технологических машин. Проанализирована возможность использования ресурсов конструкторов сайтов на примере WIX. Показана роль сетевых коммуникаций имеющих большое значение для популяризации и расширения областей использования ее результатов. Рассмотрены возможности WIX платформы.

Созданная на кафедре «Технологии машиностроения» проблемная лаборатория является прогрессивной формой сотрудничества и высшего учебного заведения. Наряду с решением задач лаборатории, таких как развитие теории создания, с конкурента способных ресурсосберегающих технологических машин и принципов управления ими ставиться задачи их практической реализации. Для этих целей необходимо использовать возможность современных каналов представления информации рекламного характера потенциальному потребителю. При этом рынок потенциальных потребителей зависит от качества такой информации и охвата возможной аудитории субъектов, которые еще не вовлечены в число потенциальных потребителей, но могут ими стать [1, 2].

Традиционные виды рекламной продукции ограничены в возможностях такого взаимодействия с возможным потребителем. Известно, что визуализация рекламируемой продукции, в том числе интеллектуальная имеет особое значение для рекламной деятельности. Поскольку интернет ресурсы обладают возможности донести до потенциального потребителя «организованную» информацию поскольку, то использование интернет ресурсов для рекламной деятельности лаборатории имеет преимущества. Эти преимущества заключаются в том, что можно представить информацию, ранжированную по степени детализации описания.

Статичная информация может сопровождать визуализировано динамические модели объекта, а также видеoinформация, структурированная соответственно с целями реклам.

С помощью специализированных сервисов и инструментов можно определить количество потенциальных пользователей, которые ежедневно ищут информацию [1-3].

А для анализа конкурентов можно использовать популярные поисковые системы: например, ввести в поисковую строку запрос «мобильные интеллектуальные технологические машины», и в случае если поисковая выдача покажет более десяти проектов, предоставляющих интеллектуальные технологические машины, то будущий сайт может затеряться в общей

массе конкурирующих ресурсов. Поэтому необходимо очень тщательно подойти к выбору тематики для будущего сайта [4].

Достоинства WIX:

- создание сайта своими руками – простое занятие даже для начинающего вебмастера. Не потребуются навыки программирования, все ясно на интуитивном уровне;
- наиболее эффективный универсальный конструктор, работающий по принципу «перетащи и вставь»;
- большой выбор готовых шаблонов всевозможных тематик на любой вкус;
- возможность настройки ресурса под собственный фирменный стиль;
- высококачественный профессиональный хостинг предоставляется совершенно бесплатно;
- тарифы «Премиум» открывают новые возможности;
- качественные современные макеты;
- возможности SEO;
- интеграция с социальными сетями;
- приятный и понятный интерфейс;
- много обучающей информации на русском языке. Расписан каждый шаг [5].

Текст должен быть легко читаемым, как молодыми, так и престарелыми пользователями, поэтому нам потребуется указывать размер шрифта в относительных единицах, а не в абсолютных, так как размер должны выбирать сами пользователи. При этом текст должен полностью помещаться на странице [6].

Завершив создание Web-узла, необходимо разместить в Internet. Здесь возможны два варианта: первый – использовать компьютер, который вместе с Web-сервером и Web-узлом находится в вашем офисе и подключается к Internet по выделенной или коммутируемой линии; второй – воспользоваться для размещения Web-узла услугами специальных организаций [4].

Рассмотрим второй вариант. Правильный выбор провайдера, предоставляющего доступ к Web-странице, позволит вашим клиентам с максимальным удобством получать необходимую информацию. Кроме того, поддержка Web-сервером специальных возможностей значительно облегчит разработку Web-узла [4].

Пропускная способность каналов. Чтобы посетителям не пришлось слишком долго ждать загрузки страниц, провайдер должен обладать надежным высокоскоростным соединением порядка 1-2 Мбит в секунду. Поддержка сервером провайдера SSI (Server Side Includes, вставки на стороне сервера). Использование SSI позволяет Web-серверу вставлять небольшие объемы динамических данных непосредственно в пересылаемый пользователю HTML-документ. Приглашение HTML-страница "просматривается" в

поисках элементов SSI. Обнаружив такой элемент, сервер вставляет требуемую динамическую информацию. С помощью SSI можно включать один файл в состав другого, исполнять CGI-сценарии и передавать другую информацию. Необходимо уточнить, какие именно функции SSI поддерживаются на сервере провайдера. Поддержка сервером провайдера CGI-сценариев. CGI (Common Gateway Interface, общий шлюзовой интерфейс) – спецификация, позволяющая Web-серверу выполнять произвольные прикладные программы. В результате работы таких программ (сценариев, или "скриптов") создаются HTML-документы. С помощью CGI-сценариев могут приниматься данные от пользователя, они позволяют организовать диалог на Web-страницах, запросы к базам данных и т.д. Создать CGI-сценарий можно с помощью любого популярного языка программирования: Perl, Basic, C, C++, Pascal и т.п. Поддержка моментальной перекодировки. К сожалению, для русского языка в Internet при работе на разных платформах (Windows, Mac, Unix и т.д.) приняты различные кодировки. Чтобы пользователю было легко просматривать страницы, Web-сервер провайдера должен уметь автоматически перекодировать документы в зависимости от поступившего запроса. В противном случае либо содержание вашего Web-узла для некоторых посетителей будет нечитаемым, либо придется обеспечивать несколько копий Web-узла – по одной на каждую поддерживаемую кодировку. Способ обновления страниц. Обычно страницы обновляются по протоколу FTP (File Transfer Protocol, протокол передачи файлов). Некоторые FTP-клиенты позволяют работать с файлами на компьютере провайдера так же, как с собственным диском, – копировать, удалять, переименовывать и т.п [6, 7].

WIX – один из ведущих конструкторов сайтов с технологией drag-and-drop, в котором предложена функциональность использования HTML5. Отличительная особенность – применение возможностей столь популярного сегодня HTML5 для создания сайта [6].

В связи с этим организация рекламного ресурса в виде виртуально-экспозиционного центра проблемной лаборатории является актуальной задачей, успех решения которой зависит от выбора платформы реализации сайта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зольников Д.С. PHP5. Как самостоятельно создать сайт любой сложности. – 2-е изд. стер. – М.: ИТ Пресс, 2007. – 272с.
2. Борисенко А.А. Web-дизайн. Просто как дважды два. – М.: Эксмо, 2008. – 320 с.
3. Якушев, Л. В. Начинаем работать в Интернет. Краткое руководство. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2006. – 128 с
4. <http://www.internet-technologies.ru/how-to-create-internet-magazine.html>
5. <http://www.wix.ru>
6. <http://www.htmlbook.ru>
7. <http://ru.wix.com/blog/2015/11/как-правильно-сделать-сайт/>

УДК 621.9

Соболев М.М., науч. рук. **Медведев В.С.** (Украина, г. Краматорск, ДГМА)

ТОКАРНЫЙ ПАТРОН С ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ДЛЯ УСЛОВИЙ ГПС

Рассмотрен вопрос проектирования станочных приспособлений для условий современного производства. Разработан регулируемый токарный патрон для применения на токарных обрабатывающих центрах. Для обеспечения точной регулировки и надежного закрепления применен шаговый электродвигатель и планетарная передача.

В современном производстве для установки заготовки на токарных обрабатывающих центрах (ОЦ) применяются различные патроны. Его настройка на необходимый размер устанавливаемой заготовки осуществляется несколькими способами. Путем перемещения кулачков архимедовой спиралью, по которой перемещаются кулачки. При вращении диска кулачки синхронно перемещаются к центру патрона или от центра. Заготовка при этом зажимается кулачками таким образом, что её ось совпадает с осью шпинделя станка.

Настройка кулачков специальными винтами. Данный способ применяется, в частности в четырехкулачковых патронах. При вращении специального винта кулачки перемещаются независимо друг от друга. Это позволяет закрепить некруглые заготовки, но увеличивает время настройки, т.к. при закреплении деталей в таких патронах необходимо дополнительно проводить выверку.

Переустановкой кулачков на необходимый диаметр. Данный способ применяется, преимущественно в массовом производстве, т.к. требует специальную оснастку для каждой отдельной детали.

Однако все эти методы имеют недостатки, связанные с потерей времени. В первом случае потеря времени происходит из-за необходимости предварительной и окончательной ручной настройки кулачков на заданный размер, во втором случае настройка происходит также вручную отдельно, для каждого кулачка. При использовании патронов, с переустанавливаемыми кулачками потеря времени происходит во время переналадки оборудования.

Для сокращения времени на установку заготовки на станке, а также повышения точности установки заготовки применяют механизированный привод к токарным патронам. Наибольшее распространение патронов такого типа получили токарные патроны с клиновым или клинорычажным механизмом. Зажим кулачков происходит благодаря пневмо- или гидроприводам, расположенным в задней части патрона. Это значительно сокращает время закрепления заготовки, примерно на 60-80%, но не обеспечивает настройку на заданный размер, как правило, перемещение кулачков от механизированного привода составляет не более 5-10 мм.

Известны ряд механизмов, обеспечивающих настройку на размер заготовки. Однако это выполняется за счет механических устройств. Современные ОЦ должны обеспечивать вспомогательные операции по программе ЧПУ. Для регулирования процесса используют шаговые электродвигатели, они очень точны и надежны, но не могут создавать большой крутящий момент, не более 2400 кН.

Поэтому необходимо разработать конструкцию, которая обеспечивает настройку кулачков по программе ЧПУ.

Цель работы является повышение производительности механообработки, за счет сокращения времени настройки кулачков на необходимый размер.

Задача: анализ существующих приводов и методов закрепления заготовок на токарных станках и разработка конструкции механизма, обеспечивающего настройку на заданный размер.

Как известно в пневмо- и гидроприводе сложно обеспечить его перемещение на заданный размер. Большие возможности по управлению имеют электрические приводы. Однако в настоящее время электрический привод используется только для закрепления заготовки [1].

Для обеспечения управления по программе ЧПУ используются шаговые электродвигатели (ШД). ШД – это синхронный бесщёточный электродвигатель с несколькими обмотками, в котором ток, подаваемый в одну из обмоток статора, вызывает фиксацию ротора. Последовательная активация обмоток двигателя вызывает дискретные угловые перемещения (шаги) ротора [5]. Свойства ШД, которые обеспечат его применение в токарных патронах, обеспечивающих настройку на заданный размер, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Особенности ШД

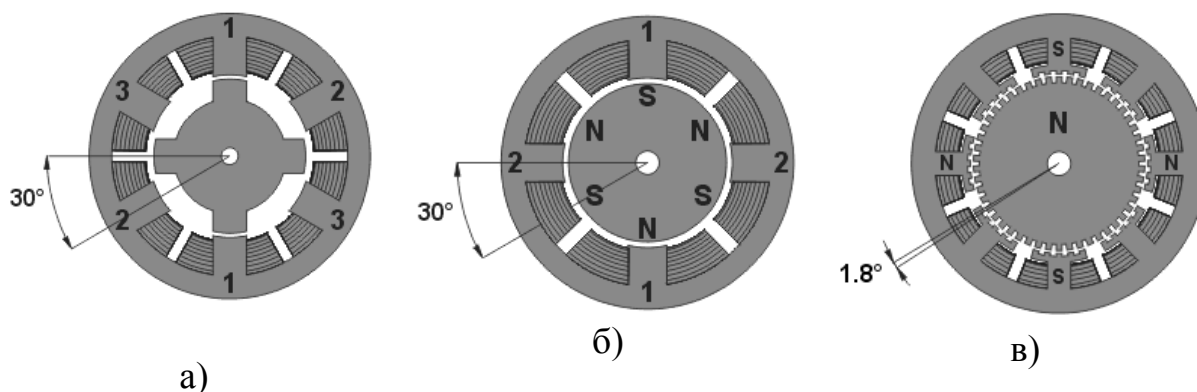
Достоинства ШД	Недостатки ШД
<ul style="list-style-type: none"> • угол поворота ротора определяется числом импульсов, которые поданы на двигатель • прецизионное позиционирование и повторяемость. • возможность быстрого старта/остановки/реверсирования • однозначная зависимость положения от входных импульсов обеспечивает позиционирование без обратной связи 	<ul style="list-style-type: none"> • потребление энергии не уменьшается без нагрузки • затруднена работа на высоких скоростях • невысокая удельная мощность • относительно сложная схема управления

В настоящее время применяются несколько видов ШД [7].

ШДс переменным магнитным сопротивлением имеют несколько полюсов на статоре и не намагниченный ротор зубчатой формы. Упрощенная схема такого двигателя представлена на рис. 1, а. Для простоты на рисунке

ротор имеет 4 зубца, а статор имеет 6 полюсов. Двигатель имеет 3 независимые обмотки, каждая из которых намотана на двух противоположных полюсах статора.

Двигатели с постоянными магнитами состоят из статора, который имеет обмотки, а ротор имеет постоянные магниты (рис. 2, б). Чередующиеся полюса ротора расположены параллельно оси двигателя. Такие двигатели обеспечивают большой магнитный поток, а значит, и большой крутящий момент. Такие двигатели подвержены влиянию обратной ЭДС, что сокращает скорость вращения.



а) – двигатель с переменным магнитным сопротивлением; б) – двигатель с постоянным магнитным сопротивлением; в) – гибридный двигатель

Рис. 2 Виды шаговых электродвигателей

Гибридные двигатели обеспечивают меньшую величину шага, больший момент и большую скорость. Типичное число шагов на оборот для гибридных двигателей составляет от 100 до 400. Гибридные двигатели сочетают в себе лучшие черты двигателей с переменным магнитным сопротивлением и двигателей с постоянными магнитами. Цилиндрический постоянный магнит ротора разделен на две части так, чтобы зубцы верхней половинки ротора являлись южными полюсами, а зубцы нижней половинки – северными, а также верхняя и нижняя половинки ротора должны быть повернуты друг относительно друга на половину угла шага зубцов. Недостатком данной конструкции является более высокая стоимость и несколько большие габариты.

Для выбора конструкции ШД проведено сравнение их параметров, которое приведено в табл. 2. Оценка характеристики шаговых двигателей, проводилась по десятибалльной шкале, где 10 – максимальный результат.

Исходя из данных таблицы, сделаем вывод, что для проектируемого приспособления целесообразно использовать гибридный шаговый электродвигатель.

Однако при применении шагового электродвигателя мы сталкиваемся с главной проблемой – данный привод передает довольно слабый крутящий момент (до 210м кгс*см для двигателей с фланцем 110 мм), поэтому следует применять совместно с механизмом, для усиления передаваемого крутящего момента.

Как известно диапазон сил закрепления при точении лежит в пределах 1-15 КН. Поэтому необходимо между ШД и кулачками иметь редуктор с передаточным числом. $n=4-60$.

Таблица 2

Сравнение шаговых электродвигателей

	Простота изготовления, балл	Максимальная скорость, балл	Компактность, балл	Дешевизна, балл	Создаваемый крутящий момент, балл
Двигатели с переменным магнитным сопротивлением	9	10	10	9	4
Двигатели с постоянным магнитным сопротивлением	9	7	10	10	6
Гибридные шаговые электродвигатели	7	9	8	8	10

Следует учесть, что силовой механизм должен быть хорошо сбалансированным и иметь небольшие габариты, обеспечивающие встраивание в корпус токарного патрона.

Из известных механизмов такие качества имеют планетарный и волновой редуктора.

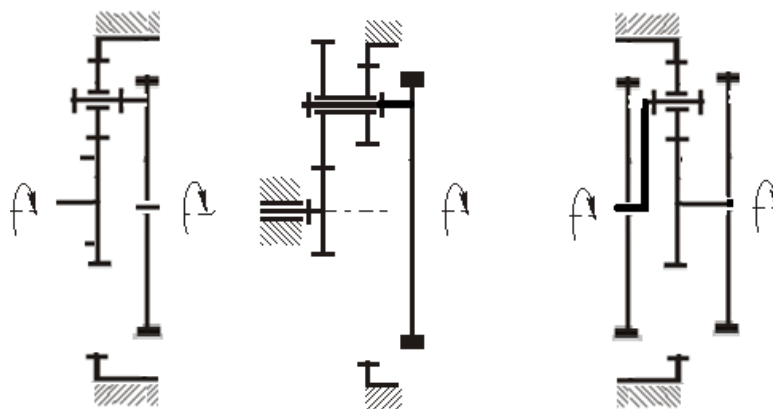


Рис. 4 Схемы планетарных передач

Планетарный механизм более прост в изготовлении и часто применяется в редукторах, т.к. имея небольшие габариты создает довольно большие передаточные числа. Передаточное отношение находится в пределах от 3 до 10, а КПД такой передачи от 0,97 до 0,99 [2].

Волновая передача передает крутящий момент за счет циклического возбуждения волн деформации в гибком элементе. Передача движения может производиться посредством зубьев, винтового принципа, а также фрикционного контакта [5].

Волновые передачи применяются при больших передаточных отношениях, когда требуется повышенная кинематическая точность и низкий уровень шума. Оптимальное передаточное отношение, которое зависит от материала гибкого элемента, составляет 50...320, а КПД от 0,9 до 0,99 [7].

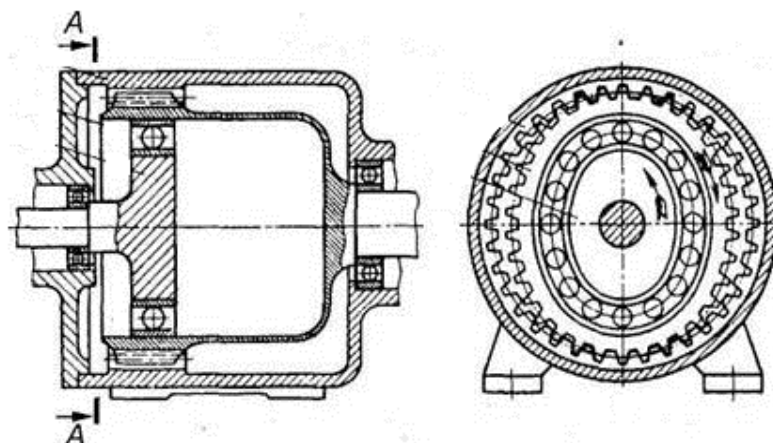


Рис. 5 Схема волновой передачи

При выборе механизма усиления необходимо принять во внимание, что конструкция должна создавать необходимый крутящий момент, а стоимость механизма должна быть экономически оправдана.

Таблица 3

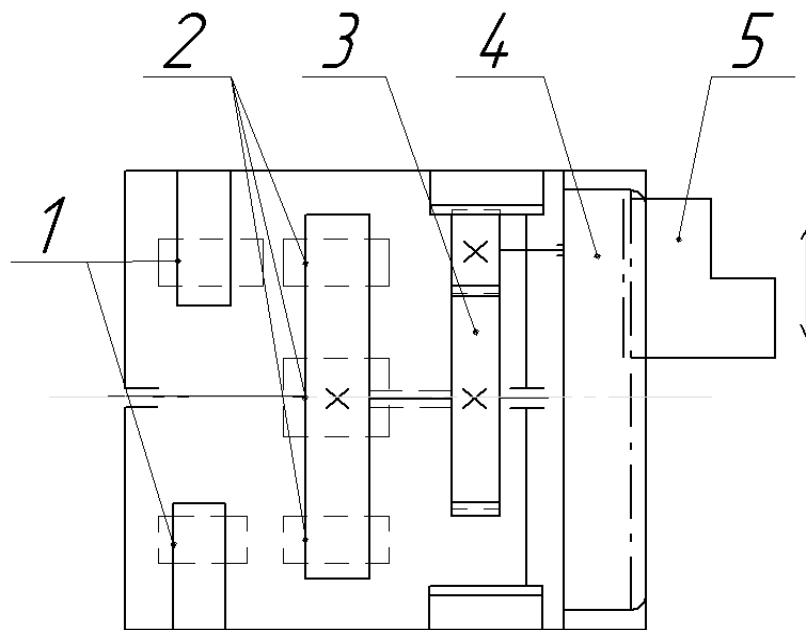
Характеристики механизмов усиления

	Простота изготовления, балл	Передаточное число, раз	Дешевизна, балл	КПД, %
Планетарный	8	3-10	8	97-99
Волновой	5	50-320	5	90-99

Исходя из данных таблицы, сделаем вывод, что для проектируемого приспособления целесообразно использовать планетарный механизм усиления.

Полученных данных достаточно для создания проектной схемы токарного патрона. Схема приведена на рис. 6.

При последовательной активации обмоток статора 1 ротор 2 будет совершать угловые перемещения, приводя в движение планетарный механизм 3. Ось сателлита планетарного механизма 3 соединена с диском 4, при вращении которого кулаки 5 будут перемещаться в осевом направлении. Подобных конструкций приспособлений в литературе не обнаружено.



1 – обмотка статора; 2 – обмотка ротора; 3 – планетарний механізм;
4 – диск; 5 – кулачок

Рис. 6 Проектная схема токарного патрона

ВЫВОДЫ

Разработанный токарный патрон может применяться в токарных обрабатывающих центрах. Его отличительной особенностью является наличие шагового электродвигателя и планетарной передачи. Шаговый электродвигатель обеспечивает управление настройкой кулачков на размер обрабатываемой заготовки от системы ЧПУ ОЦ. Кроме того, планетарная передача позволяет создавать на выходе крутящий момент, достаточный для закрепления заготовки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андрианов В.Н. «Электрические машины и аппараты» – М., «Колос». 1971. – 448 с.
2. Антонов А.С., Артамонов Б.А., Коробков Б.М., Магидович Е. И. Планетарные передачи // Танк. – М.: Воениздат, 1954. – 607 с.
3. Бирюков В.Д., Попов В.В. Универсально-сборная технологическая оснастка для ГПС, ГПМ и многоцелевых станков. Экспресс-информация / Министерство станкостроительной и инструментальной промышленности / ВНИИТЭМП / Сер. 1. Автоматические линии и металлорежущие станки. Вып. 1, М., 1985.
4. Кузнецов Ю.И., Маслов А.Р., Байков А.Н. «Оснастка для станков с ЧПУ», Справочник. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1990. – 512 с.: ил.
5. <https://ru.wikipedia.org/wiki/>
6. <http://www.findpatent.ru/patent/216/2169869>
7. <http://www.teormach.ru/lect18.htm>

УДК 621.9.06.001.4

Спильная Е.А., Соколюк А.В., науч. рук. Ларшин В. П., Лищенко Н.В. (Украина, г. Одесса, ОНПУ, ОНАПТ)

ВЛИЯНИЕ УПРУГИХ ДЕФОРМАЦИЙ ЗАГОТОВКИ НА УРОВЕНЬ ВИБРОАКУСТИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ

Приведены результаты экспериментальных исследований вибраций при плоском фрезеровании концевой фрезой специальной заготовки, имеющей переменную жёсткость.

Поисковые исследования показали, что на уровень виброакустических колебаний существенное влияние оказывают упругие деформации обрабатываемых заготовок. Для учета влияния возможных комбинаций геометрических форм заготовок предложена конструкция заготовки (рис. 1) с переменной жесткостью [1]. В ходе экспериментальных исследований решены следующие задачи:

- установлено влияние режимов фрезерования на виброколебания шпинделя и заготовки;
- установлено влияние переменной жесткости в различных направлениях заготовки на виброколебания элементов технологической системы;
- разработаны предпосылки для создания способа управления колебаниями с учетом индивидуальной жесткости заготовки.

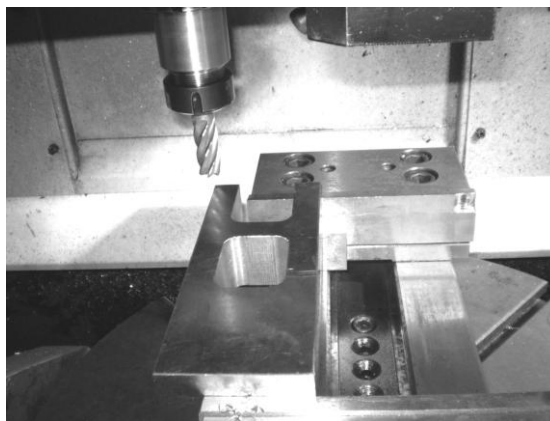
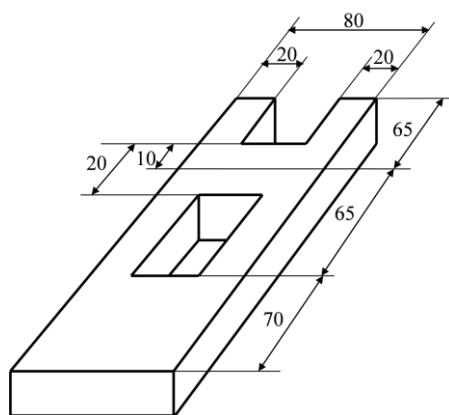


Рис. 1 Конструкция заготовки с переменной жесткостью (слева) и наладка станка перед обработкой этой заготовки (справа)

Условия эксперимента: обрабатывающий центр мод. 500V/5 (ЧПУ SIEMENS SINUMERIC 840 D (номинальная и максимальная частоты вращения шпинделя 1500 и 8000 мин⁻¹); фреза концевая Ø 18 мм; число зубьев 6 (P9K5); призматическая заготовка 200 x 80 x 20 мм (сталь Ст.3). Использованы вибродатчики AP 2019, измерительный микрофон SPL Lab USB RTA meter. Указанные вибродатчики устанавливали одновременно на шпиндель-

ний узел в направлении оси x и на заготовку в направлении осей x y . Микрофон устанавливали на определенном расстоянии от зоны обработки.

Обработку производили на различных режимах фрезерования: частота вращения шпинделя $950 \dots 3800 \text{ мин}^{-1}$, подача на зуб фрезы $0,1 \text{ мм/зуб}$; глубина резания $0,5 \text{ мм}$ (рис. 2).

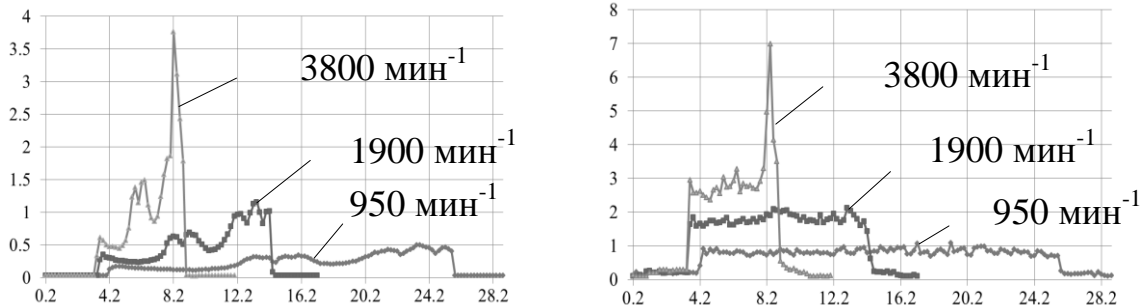


Рис. 2 Изменение информационного сигнала (ось ординат) в зависимости от времени обработки (ось абсцисс) для вибродатчика по оси x (слева) и звукового датчика (справа)

В результате проведенных экспериментов установлено:

- упругая система станка содержит две подсистемы: шпинделя и заготовки;

- которые передают одни и те же колебания из зоны резания с разной чувствительностью, причем подсистема заготовки чувствительнее;

- переменная жесткость заготовки по трем ее участкам в направлении оси y и по толщине стенки в направлении оси x отражается в информационном сигнале вибродатчика, установленном на заготовке в направлении оси x в диапазоне частот вращения шпинделя $950 \dots 3800 \text{ мин}^{-1}$;

- указанная переменная жесткость заготовки в направлении оси x отражается в информационном сигнале вибродатчика, установленном на шпинделе в направлении оси x и звуковом датчике (микрофон) на частоте вращения шпинделя 3800 мин^{-1} ;

- по мере перемещения фрезы по трем участкам заготовки (от жесткого к нежесткому) вибрации заготовки увеличиваются и тем существеннее, чем выше частота вращения шпинделя;

- информационные сигналы от звукового датчика (микрофон) и вибродатчика аналогичны по характеру изменения, например, с увеличением частоты вращения шпинделя в диапазоне $950 \dots 3800 \text{ мин}^{-1}$ информационный сигнал от указанных датчиков возрастает, причем микрофон имеет большую чувствительность по сравнению с датчиком виброускорения;

- установлено, что изменять уровень информационного сигнала вибрации наиболее эффективно производить за счет изменения частоты вращения шпинделя.

ЛИТЕРАТУРА

1. Синопальников В.А. Надежность и диагностика технологических систем: Учебник / В.А. Сипальников, С.Н. Григорьев. – М.: Высш.шк., 2005. – 343 с.

УДК 621.9.06.001.4

Стоянов С.В., Снятков М.В. науч. рук. Ларшин В.П. (Украина, г. Одесса, ОНПУ)

ФОРМИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ В СИСТЕМЕ LabVIEW

Приведено описание автоматизированной системы научных исследований производства компании National instruments в составе устройства сбора данных NI-DAQmx с программным обеспечением NI-LabVIEW.

Современные компьютерные системы технологической диагностики процессов резания могут быть выполнены на основе различных компьютерных прикладных программ по обработке сигналов, к числу которых принадлежат, например, приложения системы сбора данных LabVIEW (компания National instruments), пакет прикладных программ MATLAB и Simulink (компания Mathworks).

Отличительная особенность системы LabVIEW – непосредственное схемотехническое конструирование виртуального измерительного прибора, каждый элемент которого представлен в виде модульного устройства, имеющего вход, выход и функцию преобразования. Например, выходной сигнал вибродатчика AP2019, поступающий (в соответствии с компоновочной схемой на рис. 1) в блок преобразования NI USB-9233 после соответствующего усиления и дискретизации через шасси NI USB-9162 следует по стандартному каналу USB на вход персонального компьютера измерительной системы сбора данных. Графическое программирование измерительной системы в виде виртуального прибора (virtual instrument) позволяет конструировать и отлаживать измерительные системы, работающие в режиме реального времени. Такой режим работы называется «point by point analysis» [1]. LabVIEW – это язык потока данных, позволяющий реализовать возможность некоторого виртуального прибора (или некоторой структуры такого прибора) выполнять свою функцию со скоростью получения сигналов на его входах независимо от положения этих входов на блок-диаграмме этого виртуального прибора.

Возможность программирования информационных сигналов реального времени способствует существенному расширению технологических возможностей металлообрабатывающего оборудования с ЧПУ, поскольку на основе этих сигналов можно встраивать в указанное оборудование соответствующие диагностические системы, начиная от разомкнутых систем графической индикации на мониторе системы ЧПУ и заканчивая замкнутыми системами автоматического регулирования уровня вибрационных сигналов. Это позволит оптимизировать процессы резания по критерию высокой производительности при заданном качестве поверхности и поверхностного слоя обрабатываемых заготовок деталей

машин, так как появление вибраций в зоне резания связано с ухудшением указанных технологических показателей эффективности [2]. Отличие современной измерительной системы NI-DAQ_{mx} от традиционной системы NI-DAQ (Legacy) заключается в многофункциональности и в возможности создания оригинальных разработок для своего случая, что нашло отражение в стратегии «разработчика оригинального оборудования» (OEM: original equipment manufacturer). Программное обеспечение драйвера NI-DAQ_{mx} намного более совершенное, чем базовое для традиционной компьютерной системы сбора данных NI-DAQ (Legacy). Это вызвано изменением подхода к интерфейсу программирования приложений (API – Application Programming Interface) и позволяет организовать многопоточные измерения в реальном времени.

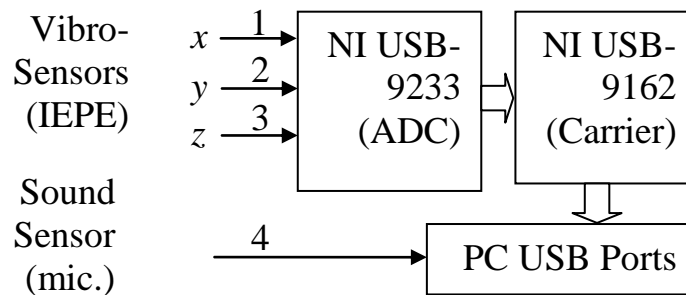


Рис. 1 Блок-схема системы сбора данных на основе измерительного комплекса NI-DAQ_{mx} (National Instrument Data Acquisition)

Указанные преимущества компьютерной системы сбора данных NI-DAQ_{mx} позволяют организовать многооперационную обработку первичного измерительного сигнала в режиме реального времени, выделяя с помощью такой обработки составляющую закономерного изменения сигнала по мере изменения режущей способности и износа режущего инструмента. Этот новый информационный сигнал предложено использовать в системе технологической диагностики процессов резания на многофункциональных станках с ЧПУ.

ЛИТЕРАТУРА

1. *LabVIEW analysis concepts. Part Number 370192C-01. National Instruments Corporation, March 2004 Edition.*
2. *Larshin V.P., Lishchenko N.V. On the problem of vibration in cutting systems / Новые и нетрадиционные технологии в ресурсо- и энергосбережении: материалы научн. техн. конф., 22-24 сентября 2014 г., г. Одесса. – К.: АТМ України, 2014. – с.84-88.*

УДК 665.7, 672.1

Удовенко М.Ю., наук. кер. Митрохін О.А. (Україна, м. Дніпропетровськ, УДХТУ)

ДОСЛІДЖЕННЯ ПЛОЩІ ФАКТИЧНОГО КОНТАКТУ ТРИБОСПОЛУК, ПРИ ТЕРТІ В РЕЖИМІ ВИБІРКОВОГО ПЕРЕНОСУ (ВП)

При контакті твердих тіл, унаслідок хвилястості форми поверхонь, на значній частині номінальної площі контакту не відбувається безпосередньої взаємодії мікрориступів. Тому площа торкання майже не залежить від площі деталей, що сполучаються (номінальної площі контакту) [1].

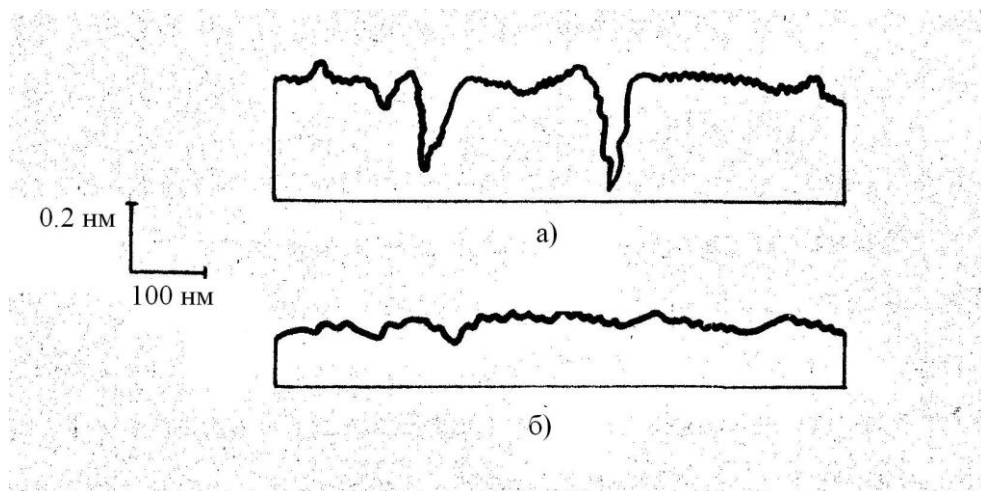
Під фактичною площею контакту розуміють площу, на якій здійснюється контакт мікроповерхонь, утворюючих шорсткість. Фактична площа контакту (ФПК), в порівнянні з номінальною і контурною, в значно більшій мірі наближається до площі, на якій взаємодіють атоми, молекули або іони речовини, хоча вона у ряді випадків їй не дорівнює [1]. Це пов'язано з тим, що окрім мікрошорсткості поверхня має шорсткості вищого порядку, які знаходяться за межами тих, що вирішує здібності сучасних приладів, що слугують для оцінки якості поверхні, так званій субмікрошорсткості. Крім того, сам вираз – площа, на якій має місце взаємодія атомів або молекул, – також значною мірою умовний [2].

Процес контакту при виборчому перенесенні відбувається, в основному, через сервовитну плівку. Проте, реалізувати процес плівкоутворення на всій контактній поверхні часто не вдається. Тому в контакт вступають також мікрориступи поверхонь матеріалів пари тертя. Формування фактичної площі контакту при реалізації виборчого перенесення є складним процесом [3]. Це приводить до певних складнощів у визначенні фактичної площі контакту і вносить значні погрешності до результатів вимірювань і розрахунків.

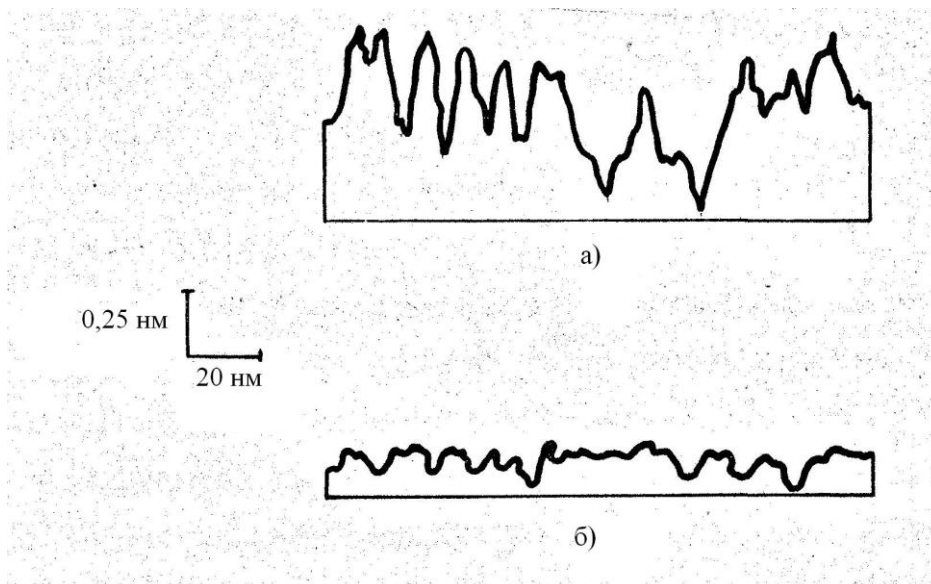
З метою дослідження процесу контакту поверхонь вузла тертя проведені дослідження з визначення фактичної площі контакту елементів пари тертя. Визначення фактичної площі контакту проводилися двома способами: за допомогою профілографування поверхонь і побудови опорної кривої з подальшим обчисленням по певним формулам, а також методом вугільних реплік.

На рис. 1, 2 представлені характерні профілограми бронзової і сталеві поверхонь елементів вузла тертя до і після експерименту. Перед експериментом поверхні зразків ретельно протиралися. Шорсткість поверхні бронзових зразків відповідала десятому, а інших – дев'ятому класу шорсткості. Після тертя в результаті експерименту, досягався відповідно тринадцятий і дванадцятий класи шорсткості. Для рельєфу поверхні до проведення експерименту характерна наявність западин величиною 0.3...0.5 мкм

(рис. 1, а; 2, а). В процесі тертя відбувається в першу чергу контакт виступів, розташованих на вершинах хвиль, які протистоять один одному, а сума висот є найбільшою. В результаті контакту виступи і хвилі деформуються, частково руйнуються і в контакт вступає нова пара виступів і хвиль. Наявність поверхнево активних речовин в змащувальній композиції сприяє розчиненню поверхні тертя бронзи в місцях безпосереднього контакту. Атоми легуючих елементів бронзи (алюміній і залізо) йдуть в змащувальний матеріал. В результаті поверхня бронзи збагачується атомами міді. Мідна плівка, що утворилася на поверхні бронзи і в місцях контакту, володіє високою активністю і здібна до схоплювання із сталеву поверхнею [3].



а) до експерименту; б) після експерименту (при терті в режимі ВП)
Рис. 1 Профілограма поверхні бронзи БрАЖ-9-4

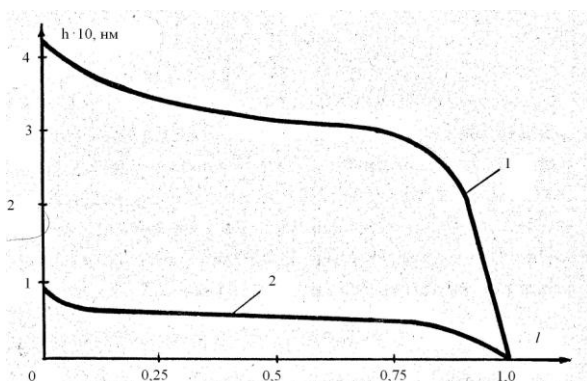


а) до експерименту; б) після експерименту (при терті в режимі ВП)
Рис. 2 Профілограма сталеві поверхні

Адсорбція мідних комплексів присадки на сталеву поверхню і перенесення міді з поверхні бронзи є процесами що самоорганізуються. Тому металополімерна плівка здатна відновлюватися після невеликих локальних

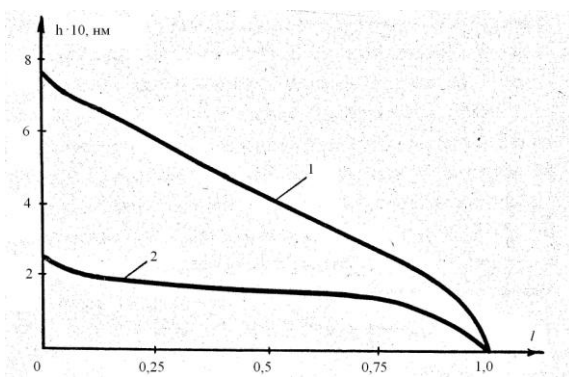
пошкоджень. Процес утворення сервовитної плівки відбувається дискретно. Частинки міді спочатку переносяться на вершини нерівностей сталевих поверхонь, тобто на ті ділянки, які безпосередньо зазнають деформації в результаті контакту з бронзою. Потім відбувається поступове "сповзання" міді, що накопичилася, в западини нерівностей. Цей факт підтверджується профілограмами поверхонь тертя після експерименту (рис. 1, б; 2, б). Западини розміром 0.3...0.5 нм, на них, в основному, відсутні, що не характерно для тертя в середовищі чистого масла И-40А.

Для обчислення площі фактичного контакту згідно формул [1] були побудовані опорні криві бронзової та сталеві поверхонь, які приведені на рис. 3, 4. Як видно з рисунків, характер опорних кривих до і після експериментів різний, що свідчить про зміну топографії поверхонь і перерозподіл матеріалу.



1 – до експерименту; 2 – після експерименту

Рис. 3 Опорні криві бронзової поверхні



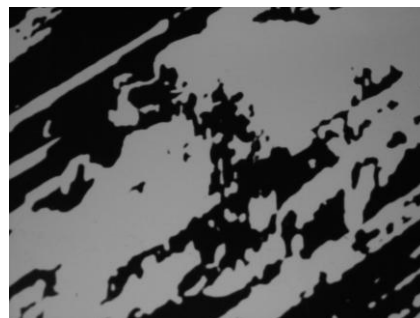
1 – до експерименту; 2 – після експерименту

Рис. 4 Опорні криві сталеві поверхні

На рис. 5 представлені фотографії характерних ділянок поверхонь зразків, покритих вугільними плівками. Як показало планіметривання знімків, ФПК поверхонь зразків, що працюють в середовищі масла И-40А, складає 8-15% від номінальної площі. Введення в масло И-40А розробленої присадки дозволило збільшити величину площі фактичного контакту на 21-43%, тобто в 2,8...3,5 рази.



а)



б)

а) при роботі у середовищі мастила И-40А; б) у середовищі змащуючої композиції.

Рис. 5 Площа фактичного контакту

За допомогою профілограм і опорних кривих визначалися невідомі величини рівнянь [1], та обчислювалася фактична площа контакту. Розрахунок виконувався на ЕОМ. Як показали результати розрахунку, відношення фактичної площі контакту до номінальної до і після експериментів в середовищі змащувальної композиції складало відповідно 0,006-0,009 і 0,025-0,048. При терті в середовищі мінерального масла И-40А фактична площа контакту дорівнювала 1,8-2,1 від номінальної. Таким чином, введення в масло И-40А дозволило, відповідно до даної методики розрахунку, збільшити фактичну площу контакту в 2-2,3 рази. Таке, відносно невисоке для виборчого перенесення збільшення ФПК, очевидно, пов'язано з тим, що реалізація ВП в умовах роботи торцевого ущільнення відбувається не повною мірою.

Обчислення ФПК за допомогою профілографування поверхні не враховує вплив на величину ФПК контактного тиску, який надає певну дію на деформацію фактичної площі контакту. Врахувати цей вплив дозволяє метод вугільних плівок. Притиснення гладкого, оптично прозорого матеріалу (наприклад, скла) дозволяє фотографувати поверхню зразків, створюючи тиск на контакті адекватний питомому контактному тиску під час випробування торцевого ущільнення.

ВИСНОВКИ

Порівнюючи результати визначення ФПК методами профілографування і вугільних плівок необхідно відзначити, що, як і передбачалося вище, перший метод значно спотворює картину контакту поверхонь в умовах вибіркового перенесення і занижує величину ФПК. Метод вугільних плівок дозволяє точніше визначати фактичну площу контакту. Десятиразове визначення цим методом ФПК показало, що коефіцієнт варіації, що характеризує похибку вимірювання залежно від властивості плівки і умов її планіметрування, невеликий і дорівнює 4-6 %.

ЛІТЕРАТУРА

1. Демкин Н.Б. *Контактирование шероховатых поверхностей*. – М., Наука, 1970. – 227с.
2. Демкин Н.Б., Рыжов Э.В. *Качество поверхности и контакт деталей машин*. – М.: Машиностроение, 1981. – 248 с.
3. Гаркунов Д.Н. *Триботехника (износ и безызносность): Учебник для вузов*. – Изд-е 5-е, перераб. и доп. – М.: Изд-во МСХА, 2002. – 632 с.

УДК 532.54:62-73

Ходченко Ф.С., наук. кер. Мочалін Є.В. (Україна, м. Київ, НАУ)

ГІДРАВЛІЧНИЙ ОПІР РАДІАЛЬНИХ КАНАЛІВ ОБЕРТОВОГО ЦИЛІНДРУ РОТАЦІЙНОГО ФІЛЬТРУ

На основі чисельного моделювання показано вплив подачі та частоти обертів на гідравлічні втрати при протіканні рідини крізь канали обертового циліндру.

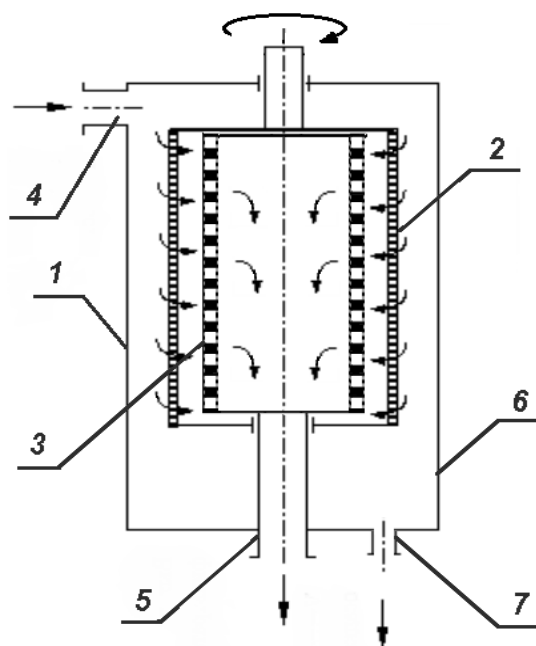
Очищення робочих рідин й палив від забруднюючих механічних домішок – проблема більшості сфер господарчої діяльності людини [1-3]. Видалення домішок є одним з основних складових у загальному комплексі очистки. Зрозуміло, що цей процес не вичерпує всіх маніпуляцій по конденсації рідинних середовищ, однак, у деяких випадках, повністю вирішує проблему забруднення рідини механічними домішками.

Одним з основних рішень даної проблеми є використання відносно дешевого повнопоточного гідродинамічного фільтра, конструктивна схема якого зображена на рис. 1. Він має цілий ряд переваг, про які можна дізнатися з монографії [4], та які роблять його одним з самих перспективних способів зниження собівартості видалення домішок з різноманітних рідин.

Одним із важливих питань оптимізації даного пристрою є гідравлічні втрати при протіканні через обертову поверхню [4]. Тобто актуальним є питання зменшення гідравлічного опору при використанні їх у певній гідросистемі, а це можливо лише при встановленні їх залежності від геометричних та режимних параметрів.

Мета даної роботи – дослідити залежність гідравлічного опору радіальних каналів фільтра від параметрів роботи.

Дана задача має характерні особливості руху рідини. Обертовий рух деталей призводить до закрутки потоків та утворенню вторинних течій у формі вихорів. С точки зору дослідження маємо дуже складний характер течії, який ще не повністю вивчений [4, 5], а отже не піддається докладному аналітичному опису. Тому основним методом отримання характеру та параметрів такого руху



1 – корпус; 2 – фільтрувальний елемент;
3 – внутрішня вставка; 4 – вхідний патрубок; 5 – вихідний патрубок; 6 – бункер; 7 – зливна пробка.

Рис. 1 Конструктивна схема повнопоточного фільтра

є чисельне моделювання.

Для проведення чисельного моделювання обрана двовимірна розрахункова схема, яка відображає періодичний фрагмент перерізу одного отвору фільтруючої поверхні (рис. 2). Крім самого отвору на схемі присутні примежові шари внутрішньої та зовнішньої поверхонь циліндру.

Чисельне моделювання руху рідини базується на повних рівняннях Рейнольдса усередненої турбулентної течії нестисливої рідини (1) у обертовій системі координат (r, φ) з додаванням усередненого рівняння нерозривності (2), та на використанні моделі турбулентності SST $k-\omega$:

$$\frac{\partial \rho \mathbf{V}}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{U} \mathbf{V}) = -\nabla p + \nabla T_e - \rho(\boldsymbol{\Omega} \times \mathbf{V}), \quad (1)$$

$$\nabla \cdot (\rho \mathbf{V}) = 0. \quad (2)$$

Докладніше про постановку задачі, основні схемні підходи та способи апроксимації усіх членів у базових рівняннях, можна дізнатись з джерела [4].

Моделювання проводилось у діапазоні чисел Рейнольдса $Re_\varphi = (1 \div 5) \cdot 10^5$ та $Re_r = (4 \div 10) \cdot 10^2$, де критерії фізичної подібності Re_φ и Re_r визначаються як:

$$Re_r = \frac{Q}{2\pi R_1 l_0 \nu}, \quad Re_\varphi = \frac{\Omega \cdot R_1^2}{\nu}, \quad (3)$$

де Q – секундна об’ємна витрата рідини;

Ω – кутова швидкість обертання фільтроелементу;

l_0 – довжина фільтроелементу.

У результаті численного моделювання були отримані картини ліній течії відносного руху рідини в отворі (рис. 3, б, в) та графік розподілу статичного тиску по довжині каналу, включаючи примежові шари (рис. 3, а).

Як видно з картини течії, на вході у канал утворюється макровихор (рис. 3, б), який звужує прохідну частину потоку. Після цього має місце розширення потоку. Далі рідина рухається як при звичайному проході крізь трубу. При збільшенні частоти обертів фільтроелементу можна спостерігати утворення нового макровихору (рис. 3, в).

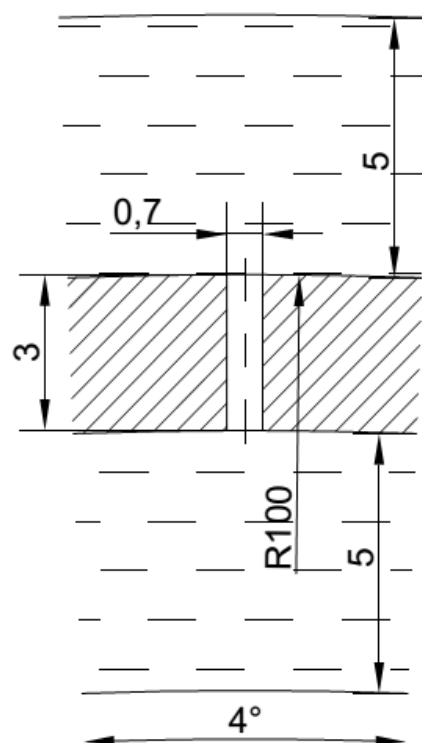


Рис. 2 Розрахункова схема області течії

Стосовно розподілу тиску по довжині каналу (рис. 4, а) маємо характерну картину зміни тиску залежно від швидкості протікання рідини (у примежовому шарі та у зоні вихору), а надалі маємо лінійну залежність втрат по довжині. Зміна тиску у зоні вихру пов'язана зі зменшенням товщини живого потоку, що призводить до збільшення швидкості.

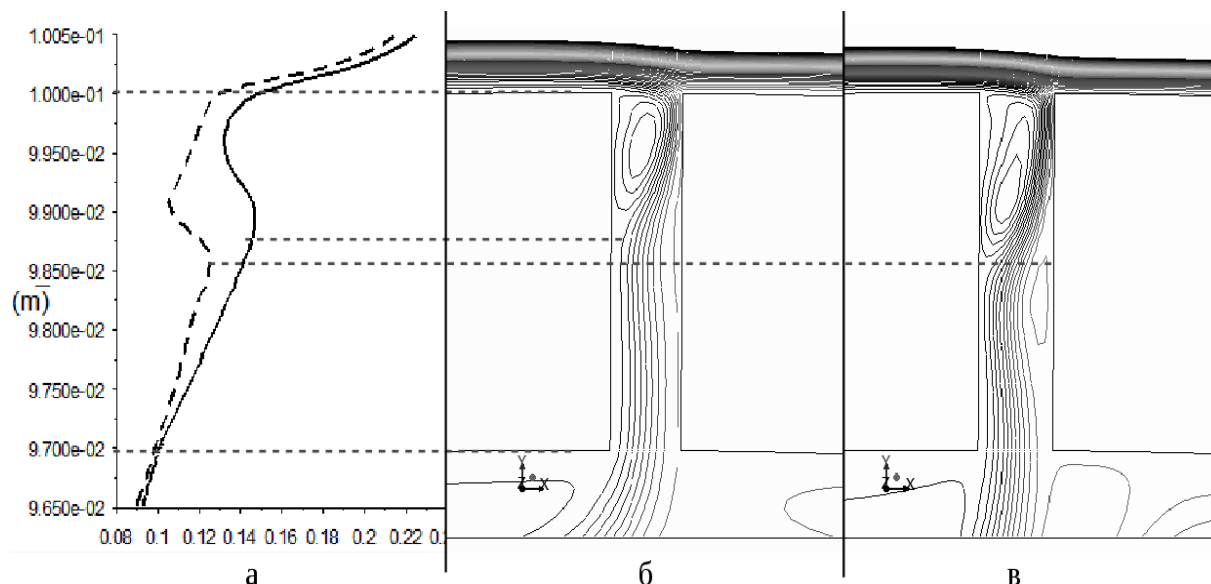


Рис. 3 залежність коефіцієнту опору по довжині отвору (а) і лінії течії відносного руху рідини крізь щілини у обертовому циліндрі для:

$Re_r = 400$, $Re_\phi = 50000$ (б) та $Re_r = 700$, $Re_\phi = 100000$ (в):

$Re_r = 700$, $Re_\phi = 100000$; – $Re_r = 400$, $Re_\phi = 50000$

Отже, залежності носять досить нескладний характер для того, щоб описати їх емпірично. Крім того є можливість представити сумарні втрати як суперпозицію вкладів від декількох джерел гідравлічних втрат. Цей аналіз планується проводити при отриманні достатньої кількості даних, отриманих шляхом чисельного моделювання.

На даному етапі при моделюванні певної кількості конфігурацій з різними параметрами, було отримано набір даних, на підставі яких можна знайти залежність для перепаду тиску, яка враховує вплив цих параметрів.

Так на рис. 4 наведені графіки, на яких показані залежності опору від чисел Рейнольдса в термінах перепаду тиску (рис. 4, а) та коефіцієнта місцевого опору (рис. 4, б).

ВИСНОВКИ

В результаті роботи були отримані картини течії у отворах в обертовому циліндрі на різних режимах роботи ротаційного фільтру, а також були виміряні перепади тиску в залежності від параметрів течії. Надалі проводитимуться дослідження на залежність опору від геометрії отвору. Кінцевою метою є отримання емпіричних розрахункових залежностей для ви-

значення гідравлічних втрат, які можна буде використовувати в інженерних розрахунках.

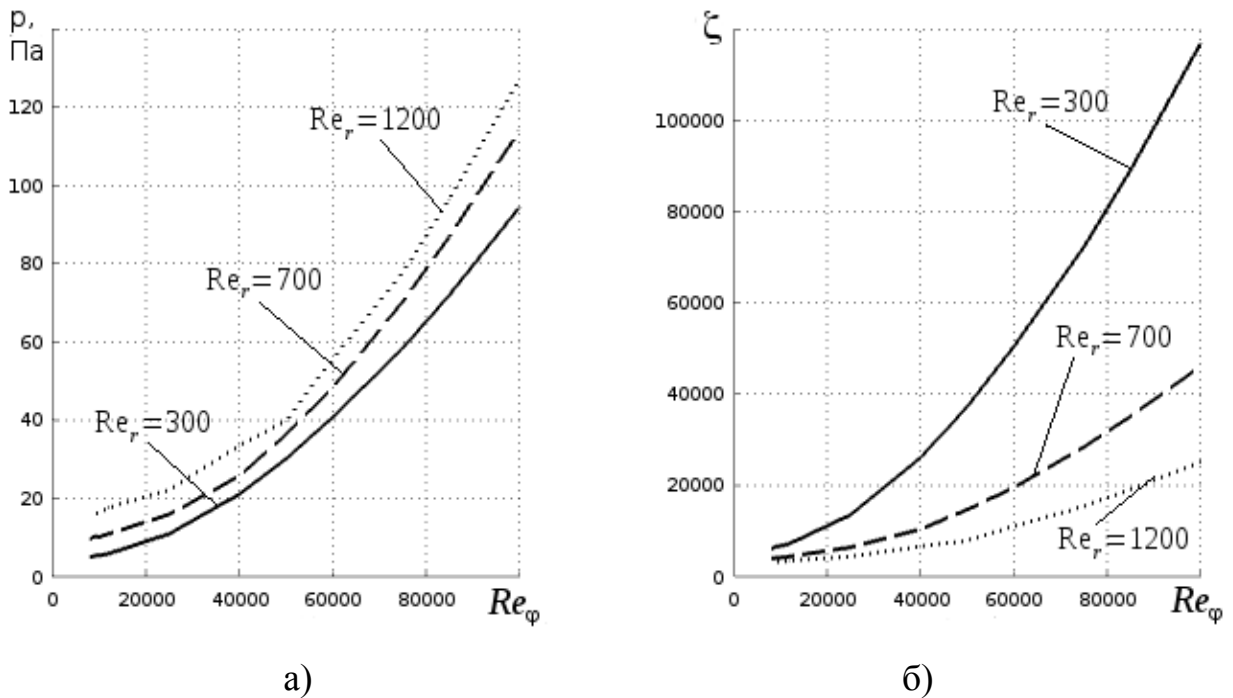


Рис. 4 Перепад тиску (а) та коефіцієнт опору (б) в залежності від режиму течії

ЛІТЕРАТУРА

- 1 Коваленко В.П., Ильинский А.А. Основы техники очистки жидкостей от механических загрязнений. – М.: Химия, 1982. – 272 с.
2. Рыбаков К.В. Фильтрация авиационных топлив. М.: Транспорт, 1977. – 164 с.
3. Шевченко В.С. Долговечность гидравлического оборудования станков / В.С. Шевченко, В.И. Бехтер, О.П. Лапатко. – Минск : Наука и техника, 1973. – 192 с.
4. Мочалин, Е.В. Теплообмен и гидродинамика в полях центробежных массовых сил / Е.В. Мочалин, А.А. Халатов. – Киев: Ин-т техн. теплофизики НАН Украины, 2010. – Т.8: Гидродинамика закрученного потока в ротационных фильтрах. – 428 с.
5. Serre E. Stability of Taylor–Couette flow in a finite-length cavity with radial throughflow / E.Serre, M.A. Sprague and R.M. Lueptow // Phys. Fluids. – 2008. – Vol. 20. – Article ID: 034106. – 10 p.

УДК 004.942

Яворський М.В., наук. кер. Копей В.Б., (Україна, м. Івано-Франківськ, ІФНТУНГ)

ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМ ТРИВИМІРНОГО ПАРАМЕТРИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ДЛЯ РОЗМІРНОГО АНАЛІЗУ

Описані принципи автоматизації розмірного аналізу у SOLIDWORKS® з використанням її інтерфейсу прикладного програмування.

Одними з основних задач розмірного аналізу є задача визначення граничних значень замикаючої ланки розмірного ланцюга (перевірочна задача) та задача підбору граничних значень інших ланок за відомими граничними значеннями замикаючої ланки (проектна задача). Ці задачі можуть розв'язуватись методом максимуму-мінімуму, в якому розглядаються найгірші можливі випадки, та імовірнісним методом, в якому кожна ланка розмірного ланцюга вважається випадковою величиною [1].

Трудомісткість розмірного аналізу зростає, якщо розглядаються великі розмірні ланцюги з непаралельними ланками, наприклад, просторові. В такому випадку доцільним є застосування систем тривимірного параметричного моделювання. Для автоматизації розмірного аналізу ця система повинна мати інтерфейс прикладного програмування (API). Серед найбільш популярних таких систем з API можна назвати комерційну SOLIDWORKS® [2-4] та вільну FreeCAD. Існують спеціалізовані програмні продукти для розмірного аналізу, наприклад, модуль SOLIDWORKS TolAnalyst. Однак він входить тільки в комплекс з вищою ціною SOLIDWORKS Premium (починаючи з версії 2008).

Метою даної роботи є пояснення принципів автоматизації розмірного аналізу в SOLIDWORKS 2004 з використанням її API. Ці ж принципи можна адаптувати для інших CAD, зокрема, FreeCAD.

Розглянемо розмірний ланцюг, який виникає під час фрезерування на налагодженому верстаті лиски у партії валиків, які базуються у призмі (рис. 1).

В даному розмірному ланцюзі розмір h (20 мм) є замикаючим, так як цей розмір утворюється після обробки і залежить від діаметра валика d (розмір $\varnothing 51$ мм) та розміру, на який налагоджують фрезу s (розмір 66,06 мм). Тому модель потрібно побудувати так, щоб розмір h залежав від цих розмірів. Це досягається за допомогою таких засобів параметризації SOLIDWORKS як взаємозв'язки об'єктів ескізу, розміри та сполучення деталей. Наприклад, розмір s побудований на одному з ескізів деталі Detail та з'єднує площину лиски з лінією, яка зв'язана з нижньою кромкою призми взаємозв'язком "на кромці".

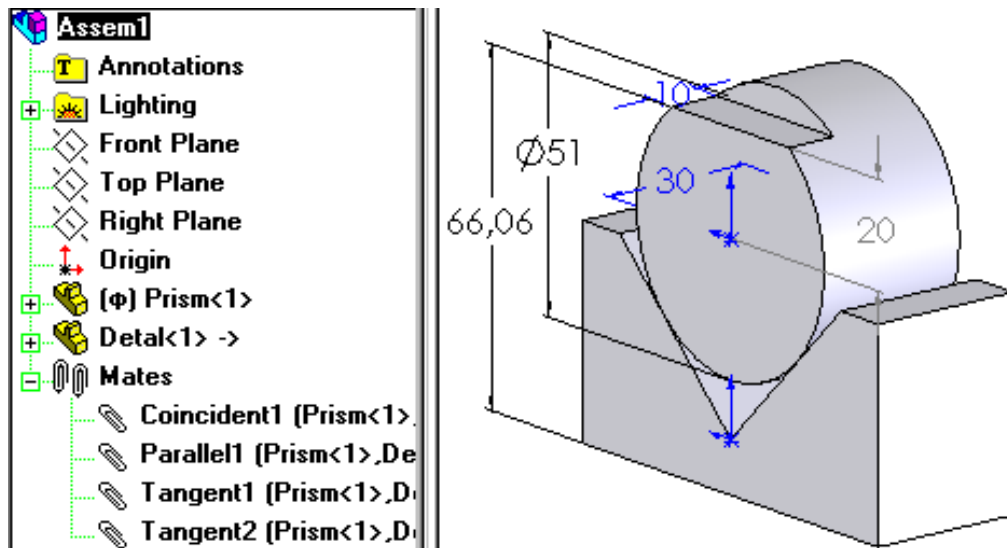


Рис. 1 Тривимірна параметрична модель валика, який базується в призмі

Для знаходження максимального і мінімального значення розміру замикаючої ланки потрібно перерахувати модель для кожної можливої комбінації максимальних і мінімальних значень розмірів, які впливають на замикаючий, і вибрати ті комбінації, для яких значення замикаючої ланки максимальне і мінімальне. Для автоматизації цієї роботи скористаємось SOLIDWORKS API та мовою програмування Python [5] з додатковим модулем win32com:

```
# -*- coding: utf-8 -*-
import win32com.client #імпортувати модуль
win32com.client
#створити об'єкт SldWorks.Application
swApp = win32com.client.Dispatch("SldWorks.Application")
Part=swApp.ActiveDoc # активний документ
res=[] # список результатів
for d in [50.0,51.0]: # перший розмір
    for s in [66.06244584051393, 66.35533905932738]: #
        # другий розмір
        .....# змінити значення параметрів
        .....Part.Parameter("D1@Sketch1@Detail.Part").SystemValue
        e = d/1000
        .....Part.Parameter("D2@Sketch2@Detail.Part").SystemValue
        e = s/1000
        .....Part.EditRebuild3 # перебудувати модель
        .....# визначити значення замикаючого розміру
        .....h=Part.Parameter("D1@Sketch2@Detail.Part").SystemValue
        lue *1000
```

```
.....res.append([d,s,h]) # додати у список результатів  
print res  
print min(res,key=lambda x:x[2])  
print max(res,key=lambda x:x[2])
```

Результатом виконання цієї програми буде список можливих комбінацій розмірів:

```
[[50.0, 66.06244584051393, 20.707106781186546],  
[50.0, 66.35533905932738, 21.000000000000068], [51.0,  
66.06244584051393, 20.000000000000008], [51.0,  
66.35533905932738, 20.292893218813518]]
```

Функції `min` та `max` дозволяють легко знайти в цьому списку комбінації з граничними значеннями замикаючого розміру:

```
[51.0, 66.06244584051393, 20.000000000000008]  
[50.0, 66.35533905932738, 21.000000000000068]
```

Для розв'язування проектної задачі і знаходження граничних значень, наприклад, технологічного розміру s , потрібно в моделі зробити його залежним від розмірів d і h . Для $d=51$ та $h=20$ отримаємо мінімальне значення $s \approx 66,062$, а для $d=50$ та $h=21$ – максимальне $s \approx 66,355$. У випадку не-монотонної залежності між h і s , потрібно застосовувати чисельні методи розв'язування рівнянь, наприклад, ітераційний перебір значень розміру s в заданому діапазоні з достатньо малим кроком.

ВИСНОВКИ

Запропоновані принципи автоматизації розмірного аналізу можна використати і для розв'язування розмірних ланцюгів імовірнісним методом, а також адаптувати їх для використання в інших САД.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Размерный анализ технологических процессов* / В.В. Матвеев, М.М. Тверской, Ф.И. Бойков и др. - М.: Машиностроение, 1982. - 264 с., ил.
2. *Автоматизоване проектування різальних інструментів: Навчальний посібник* / В.Б. Копей, О.Р. Онисько, Л.О. Борушак, Л.Я. Роп'як. - Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2012. - 208с.
3. *Malpass, Luke. SolidWorks 2008 API Programming & Automation* / Luke Malpass. – AngelSix, 2008. – 267 p.
4. *Malpass, Luke. SolidWorks 2009 Advanced Product Development* / Luke Malpass. – AngelSix, 2009. – 246 p.
5. *Бизли, Д. Python. Подробный справочник* / Дэвид Бизли. – СПб.: Символ-Плюс, 2010. – 864 с.

**ЗМІСТ
CONTENTS**

Dejan Šakić INFLUENCE OF ERP IMPLEMENTATION ON FOUNDRY EFFICIENCY	3
Ivan Nikolić OPTICAL MEASUREMENTS OF SURFACE ROUGHNESS CUT WITH WATERJET.....	7
Janjić I., Opačak I. DETERMINATION OF FREQUENCY FACTOR AND ACTIVATION ENERGY FOR BORONIZING OF C15 STEEL	11
Kuliev R.V. CALCULATION AND OPTIMIZATION OF THERMO- MECHANICAL EXPLUSION DE-ICING SYSTEM FOR AIRCRAFT WITH A TAKE-OFF WEIGHT OF 40 TONS.....	16
Milutin Živković CONSTRUCTION AND PRODUCTION SPECIFICS OF CHAINS WITH RINGS AND MECHATRONICS SYSTEM CONTRIBUTION IN THE IMPROVEMENT OF THE SAME.....	19
Milutin Živković CONTACT STRESSES IN ELASTIC AREA AND THEIR IMPACT ON THE CALIBRATION OF CHAINS WITH RINGS	26
Банде Т.М., Карташова М.В. ИССЛЕДОВАНИЕ ВИБРАЦИОННОГО И ЗВУКОВОГО ДАТЧИКОВ В СИСТЕМЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ	31
Бица Р.О. ЗАСТОСУВАННЯ САД/САЕ СИСТЕМ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ АДАПТИВНИХ ЗАТИСКНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ТОКАРНИХ ПАТРОНІВ	33
Блохина И.О., Мирошниченко А.С., Брюхань М.В. ИССЛЕДОВАНИЕ ПОРОШКОВЫХ ПРОВОЛОК ДЛЯ ИЗГОТОВИТЕЛЬНОЙ И ВОССТАНОВИТЕЛЬНОЙ НАПЛАВКИ РОЛИКОВ МНЛЗ.....	38
Бобров Д.С. УПРАВЛЕНИЕ МЕТОДОМ НАНЕСЕНИЯ АНТИФРИКЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ	42
Боровець І.Б. ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ, ВИГОТОВЛЕНИХ І ВІДНОВЛЕНИХ КОМПЛЕКСНИМ МЕТОДОМ.....	46
Браженко В.Н. ВЛИЯНИЕ ВИХРЕЙ ЭКМАНА НА ГИДРОДИНАМИКУ НЕСУЩЕЙ ЖИДКОСТИ В ПОЛНОПОТОЧНОМ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОМ ФИЛЬТРЕ С БУНКЕРОМ	50

Бровко О.А. ИССЛЕДОВАНИЕ ФАКТОРОВ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ ТИПА "ГЕКСАПОД+ТРИПОД" НА ОЖИДАЕМУЮ ТОЧНОСТЬ МЕХАНООБРАБОТКИ	54
Гавриш М.О. МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ВИРОБНИЧОЇ ДІЛЬНИЦІ	56
Дерека Ю.В. РАЗРАБОТКА ГРУППОВОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ГРУППЫ ДЕТАЛЕЙ ТИПА «БЛОК ЦИЛИНДРОВ» В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ СПРУТ ТП	60
Евсюкова Д.Ю., Коваленко В.И. ПЛАНИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ДИНАМИКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ РЕЗАНИЯ.....	64
Емец В.В. ОСОБЕННОСТИ ПРИВОДНЫХ МЕХАНИЗМОВ ПОДВИЖНЫХ ШТАНГ ГЕКСАПОДА	66
Есаулова Ю.Р. ВОССТАНОВЛЕНИЕ ИЗНОШЕННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТРЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ОБРАБОТКИ	69
Єременко Р.О. ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ГАЗОДИНАМІКИ ВИХРОВОГО МЛИНА ТИПУ «ГАЗОВА ФОРСУНКА»	73
Жимбровський Ю.О., Саган І.Б. ЛІТАЛЬНИЙ АПАРАТ ІЗ ЗАМКНУТИМ КРИЛОМ	77
Журавлева А.Н. АНАЛИЗ СПОСОБОВ НАНЕСЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ АНТИФРИКЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ С ЗАДАНЫМИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМИ СВОЙСТВАМИ	80
Збитнев П.В. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРИВЕДЕННОЙ СИЛЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА КРАНА С ЧАСТОТНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ.....	85
Карасевич Ю.Ю. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА ПРОИЗВОДСТВА НА СТАКАХ С ЧПУ ДЕТАЛИ АВИАЦИОННОГО ДВИГАТЕЛЯ	88
Кисельова І.А. МОЖЛИВОСТІ СИСТЕМИ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ PLANT SIMULATION ПРИ ПРОЕКТУВАННІ ТА РЕКОНСТРУКЦІЇ МЕХАНОСКЛАДАЛЬНИХ ДІЛЯНОК В МАШИНОБУДУВАННІ	92
Клешнёва О.А. АНАЛИЗ СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ШЕСТЕРЕННЫХ НАСОСОВ	97

Колосов О.Є., Сівецький В.І., Сідоров Д.Е., Івіцький І.І. ПРОГРЕСИВНІ ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ ВИГОТОВЛЕННЯ ВИСОКОМІЦНИХ НАМОТУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ З ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИТИВ У ХІМІЧНОМУ МАШИНОБУДУВАННІ	101
Косковецька О.В. МОДЕЛЮВАННЯ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ В СЕРЕДОВИЩІ MODELA PLAYER 4 І ВІДТВОРЕННЯ ЇЇ НА ВЕРСТАТІ ROLAND MDX-20	104
Кулик Р.Ю. АКУСТИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА КАЧЕСТВА СБОРКИ МНОГОБОЛТОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ.....	106
Лебедь М.С. МЕТОДЫ ПОВЕРХНОСТНОГО УПРОЧНЕНИЯ ЗУБЧАТЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ МАШИН	109
Лелека Д.В., Пятница А.А. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЛИТЬЯ ВИБРАЦИОННОЙ ОБРАБОТКОЙ	115
Макеева А.С. ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИИ АЛЮМИНИЕВОЙ ПОЛОСЫ, АРМИРОВАННОЙ СТАЛЬНОЙ СЕТКОЙ.....	118
Марков Д.К. СПІВПРАЦЯ ВИЩОГО ТЕХНІЧНОГО НАВЧАЛЬНОГО ЗАКЛАДУ З МАЛОЮ АКАДЕМІЄЮ НАУК	121
Наумова М.І. КОМПЕНСАЦІЯ ПРУЖНИХ ДЕФОРМАЦІЙ ОПРАВOK ПРИ ШЛІФУВАННІ ГЛИБОКИХ ОТВОРІВ	125
Нгуєн Ван Тьєн, Клименко В.Г. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПЛОЩІ КОНТАКТУ КРУГА З ДЕТАЛЛЮ ПРИ ПЛОСКОМУ ТОРЦЕВОМУ ШЛІФУВАННІ	129
Новіков А.А. ГЕНЕТИКОКО-МОРФОЛОГІЧНИЙ ПІДХІД ДО ОПИСУ ЗАХВАТНИХ ПРИСТРОЇВ ПРОМИСЛОВИХ РОБОТІВ ДЛЯ КРИХКИХ ДЕТАЛЕЙ	132
Осипенко Н.С., Помазкина А.Ю. ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ СИСТЕМЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ.....	136
Петров С.В. ЗАСТОСУВАННЯ САД/САМ/САЕ ТЕХНОЛОГІЙ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ГІРНИЧОГО МАШИНОБУДУВАННЯ	138
Плешань В.Ю. ПРИНЦИПЫ СОЗДАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ.....	143
Попов А.О. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПОВЕРХНЕВОГО ЗМІЦНЕННЯ РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ МАШИН НА ОСНОВІ ПРОЦЕСУ НАКОЧУВАННЯ РОЛИКОМ	146

Псюк М.І. ПЕРСПЕКТИВИ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ РІЗЬБОВИХ З'ЄДНАНЬ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ЗАСОБАМИ ПРИ ЇХ ВИГОТОВЛЕННІ	150
Рудакова К.А. ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ТРАЕКТОРИИ ДВИЖЕНИЯ ИНСТРУМЕНТА В РАБОЧЕЙ ЗОНЕ ГЕКСАПОДА.....	152
Руденко Р.А. ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЖЁСТКОСТИ РАСТОЧНЫХ И ВНУТРИШЛИФОВАЛЬНЫХ ОПРАВОК	155
Савєлов А.М. ГЕНЕТИКО-МОРФОЛОГІЧНИЙ ПІДХІД ПРИ СИНТЕЗІ ПРИВОДІВ ЗАТИСКНИХ МЕХАНІЗМІВ ВЕРСТАТІВ З ЧПК	159
Силина Е.В. ВИРТУАЛЬНЫЙ ЭКСПОЗИЦИОННЫЙ ЦЕНТР ПРОБЛЕМНОЙ ЛАБОРАТОРИИ	163
Соболев М.М. ТОКАРНЫЙ ПАТРОН С ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ДЛЯ УСЛОВИЙ ГПС	166
Спильная Е.А., Соколюк А.В. ВЛИЯНИЕ УПРУГИХ ДЕФОРМАЦИЙ ЗАГОТОВКИ НА УРОВЕНЬ ВИБРОАКУСТИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ.....	172
Стоянов С.В., Снятков М.В. ФОРМИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ В СИСТЕМЕ LabVIEW	174
Удовенко М.Ю. ДОСЛІДЖЕННЯ ПЛОЩІ ФАКТИЧНОГО КОНТАКТУ ТРИБОСПОЛУК, ПРИ ТЕРТІ В РЕЖИМІ ВИБІРКОВОГО ПЕРЕНОСУ (ВП).....	176
Ходченко Ф.С. ГІДРАВЛІЧНИЙ ОПІР РАДІЛЬНИХ КАНАЛІВ ОБЕРТОВОГО ЦИЛІНДРУ РОТАЦІЙНОГО ФІЛЬТРУ	180
Яворський М.В. ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМ ТРИВИМІРНОГО ПАРАМЕТРИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ДЛЯ РОЗМІРНОГО АНАЛІЗУ.....	184

Наукове видання

**МОЛОДА НАУКА. ТЕХНОЛОГІЯ
МАШИНОБУДУВАННЯ
Збірник наукових праць**

За загальною редакцією
д-ра техн. наук, проф. С. В. Ковалевського

Формат 60 × 84/16. Ум. друк. арк. **11,51**.
Обл.-вид. арк. **10,45**. Тираж 100 пр. Зам. № 15.

Видавець і виготівник
Донбаська державна машинобудівна академія
84313, м. Краматорськ, вул. Шкадінова, 72.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК №1633 від 24.12.2003