

Міністерство освіти і науки України  
Донбаська державна машинобудівна академія

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**  
до самостійної роботи над курсом  
«Технологічні лінії та комплекси металургійних цехів»

Розглянуто і схвалено  
на засіданні кафедри автоматизованих  
металургійних машин та обладнання  
Протокол № 16 от 09.10.2019

Краматорськ 2019

УДК 669.1

Методичні вказівки до самостійної роботи над курсом “Технологічні лінії та комплекси металургійних цехів” для бакалаврів спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» / В. А. Федорінов, Ю. К. Доброносів . – Краматорськ : ДДМА, 2019. – 40 с.

Укладені відповідно до програми дисципліни. Містять рекомендації до вивчення розділів курсу з докладним переліком тем, які вивчаються, підготовки до лабораторних і практичних занять контрольних робіт, перелік літератури до вивчення курсу, питання до екзаменів.

Укладачі

В. А. Федорінов, проф.  
Ю.К.Доброносів, доц.

Відп. за випуск

Ю.К.Доброносів, доц.

## ЗМІСТ

|  |    |
|--|----|
| 1 Загальні вказівки                          | 5  |
| 2 Розгорнута програма курсу                  | 6  |
| 3 Практичні заняття                          | 26 |
| 4 Лабораторні роботи                         | 28 |
| 5 Індивідуальна робота                       | 29 |
| 5.1 Курсова робота                           | 29 |
| 5.2 Розрахунково-графічні завдання           | 30 |
| 6 Підсумковий контроль знань                 | 30 |
| 7 Навчально-методичні матеріали              | 30 |
| 7.1 Основна література                       | 30 |
| 7.2 Допоміжна література                     | 31 |
| 7.3 Методичні вказівки                       | 31 |
| Додаток А. Варіанти домашніх завдань         | 32 |
| Додаток Б. Питання до екзаменаційних білетів | 44 |

## 1 ЗАГАЛЬНІ ВКАЗІВКИ

Розвиток чорної і кольорової металургії, які є базовими галузями промислового комплексу України, нерозривно пов'язаний з розширенням асортименту, підвищенням якості і зниженням собівартості металопродукції прокатних цехів на основі вдосконалення існуючих і створення нових високоефективних технологій і обладнання.

. У сучасних металургійних цехах технологічні операції здійснюються переважно за потоковим і безперервним принципами, що дозволяють широко застосовувати комплексну механізацію і автоматизацію. Створення нових технологій в металургійних цехах вимагає використання досягнень в різних галузях науки і техніки і підготовки висококваліфікованих інженерів, конструкторів і механіків, знання теоретичних основ, зокрема, обробки металів тиском.

. Самостійна робота студента є важливою часткою вивчення курсу ““Технологічні лінії та комплекси металургійних цехів” ”. Самостійна робота над курсом включає в себе:

Опрацювання лекційного матеріалу і літератури, що рекомендується;

Підготовку до практичних занять ;

Підготовку до виконання і захисту лабораторних робіт;

Підготовку до контрольних робіт;

Закріплення набутих знань пр виконанні домашніх практичних завдань.

. Самостійна робота студента над підручником або навчальним посібником є однією з головних видів роботи над курсом .Студентам рекомендується керуватися наступними положеннями:

Вивчати курс «“Технологічні лінії та комплекси металургійних цехів”» слід систематично протягом усього навчального періоду. Вивчення ж курсу в стислі терміни перед екзаменами не дає глибоких і міцних знань.

Обравши яке-небудь навчальне видання (з рекомендованих викладачем) як основне, студент повинен дотримуватися даного посібника при вивченні всієї частини курсу або, принаймні, цілого розділу.

Заміна одного посібника іншим в процесі вивчення може призвести до втрати логічного зв'язку між окремими питаннями, але якщо основний підручник не дає повної або ясної відповіді на деякі питання програми, необхідно звертатися до інших підручників.

Вивчення навчального посібника повинно супроводжуватися складанням короткого конспекту.

Самостійну роботу з вивчення курсу студент повинен систематично контролювати. З цією метою після вивчення чергового розділу потрібно ставити питання для самоперевірки і відповідати на них.

Студент не повинен обмежуватися тільки запам'ятовуванням формул, необхідних для розрахунків технологічних процесів, він повинен самостійно виводити деякі формули.

Вивчення курсу передбачає також виконання самостійних домашніх задач. Тематика цих задач наведена в методичних вказівках до практичних завдань

Закріплення лекційного матеріалу студентами планується з розрахунку 1-1,5 години на 2 години лекції. Підготовка до практичних занять та лабораторних робіт – з розрахунку 1-1,5 години на 2 години роботи в аудиторії.

По всіх розділах курсу, що вивчається, приводяться посилання на літературу, що відноситься до даного розділу. Наприклад, при вивченні обладнання обтискних прокатних станів студент може знайти потрібні йому відомості в джерелах: [1, с.110-113]; [4, с.111-112]., [5, с. 11-22].

## 2 СТРУКТУРА КУРСУ

Студенти вивчають Дисципліну на протязі двох триместрів. Курс для бакалаврів складається з чотирьох модулів, склад яких наведений в таблиці 2.1

Склад модулів дисципліни “Механічне обладнання металургійних заводів”

| № п/п | Кратний зміст модуля  | Триместр | Загальна кількість годин | Кредитів ECTS | Кількість аудит. годин | Форми і методи контролю | тиждень проведення |
|-------|---|----------|--------------------------|---------------|------------------------|-------------------------|--------------------|
| 1     | Технологічні лінії доменного та сталеплавильного виробництв       | 8        | 38                       | 1             | 21                     | Контр. роб №1           | 4                  |
|       |   |          |                          |               |                        | Захист лаб. роб.1-3     | 3,4,5              |
| 2     | Основи теорії ОМТ та теорії прокатки                              | 8        | 52                       | 1,5           | 28                     | Контр. роб №2           | 9                  |
|       |   |          |                          |               |                        | Захист лаб. роб.4-7     | 6,7,8,9            |
| 3     | Технологічні лінії виробництва напівпродукту та сортового прокату | 9        | 61,5                     | 1,7           | 33                     | Контр. роб №3           | 5                  |
|       |   |          |                          |               |                        | Захист лаб. роб.8-11    | 2,3,4,5            |
| 4     | Технологічні лінії виробництва листового прокату                  | 9        | 64,5                     | 1,8           | 36                     | Контр. роб №4           | 9                  |
|       |   |          |                          |               |                        | Захист лаб. роб.12-16   | 6,7,8,9            |
|       | Усього  |          | 306                      | 6             | 146                    | Іспит                   |                    |

### 3 РОЗГОРНУТА ПРОГРАМА КУРСУ

#### 3.1 ЛЕКЦІЇ

МОДУЛЬ 1 Технологічні лінії доменного та сталеплавильного виробництв.

Розділ 1 Виробництво чавуну.

Тема 1.1 Вступ. Металургійний завод з повним циклом виробництва.

Вступ. Завдання й тенденції розвитку чорної металургії. Структура металургійного виробництва. Схема та вантажопотоки металургійного заводу з повним циклом виробництва.

/2, с.12-26/

Тема 1.2 Збагачувальне виробництво. Підготовка сирих матеріалів до доменної плавки. Техніко-економічна доцільність підготовки сировини до доменної плавки. Етапи підготовки. Дроблення і сортування сировини. Стадії і способи дроблення. Способи збагачення (промивка, випалення, магнітна сепарація, флотація, гравітаційні способи). Фізико-хімічні основи спікання. Кускування, технологічний процес агломерації (схема, технологія). Склад агломераційної шихти. Обдавання. Процес виробництва залізорудних окатишів (схема, технологія). Склад шихти для виробництва окатишів.

/1, с. 18-47/

Тема 1.3 Виробництво чавуну. Характеристика доменного процесу і вимоги, що пред'являються до профілю доменної печі. Зони печі. Заходи щодо інтенсифікації доменного процесу. Показники роботи доменної печі. Подача шихти в доменну піч (скипові підйомники, транспортні схеми). Організація доменної плавки (організація завантаження шихти, подача дугтя, відведення колошникового газу і його очищення, прибирання і використання чавуну і шлаку). Планування доменних цехів. Бездоменне виробництво чавуну.

/1, 50-104/, /2, с.71-91/

Розділ 2 Виробництво сталі.

Тема 2.1 Конвертерне та мартенівське виробництво сталі.

Виробництво сталі. Класифікація способів виробництва сталі і їх коротка характеристика). Виробництво сталі в конверторах. Мартенівський процес. Виробництво сталі в двохванних печах.

/1, с.112-156/, /2, с.101-134/

Тема 2.2 Електросталеплавильне виробництво. Позапічна обробка сталі.

Виробництво сталі в дугових сталеплавильних печах. Стадії плавлення. Позапічна обробка сталі. Види позапічної обробки. Піч – ківш.

/1, с.207-242, 443-471/, /2, с.346-368/, /4/.

Тема 2.3 Сталеливарний агрегат безперервної дії (САБД).

Умови створення САБД, техніко-економічна доцільність. Варіанти САБД. САБД конструкції ІРСИД (схема, технологія).

САБД конструкції BISR (схема, технологія). САБД з переробки металобрухту. Стан і перспективи розвитку САБД.

/1, с.428-442/

Тема 2.4 Технологічні основи безперервного лиття заготовок.

Технологічні основи безперервного лиття заготовок. Суть безперервного лиття. Техніко-економічні переваги. Варіанти машин безперервного лиття заготовок (МБЛЗ). МБЛЗ вертикального типу і з вигином злитка після кристалізації (схема, технологія). МБЛЗ радіального типу і криволінійні МБЛЗ (схема, технологія), переваги і недоліки. МБЛЗ горизонтального типу (схема, технологія), їх переваги. Беззливкова прокатка (спосіб Бессемера) і способи його реалізації.

/1, с.512-535/, /6, с.433-457/, /11/, /12/.

## МОДУЛЬ 2 Основи теорії ОМТ та теорії прокатки.

### Розділ 3 Основи теорії ОМТ

Тема 3.1 Основи пластичної деформації монокристалів та поліметалів

Елементи теорії обробки металів тиском (ОМТ). Види ОМТ. Будова металів і сплавів. Холодна деформація монокристалу. Теорія дислокацій. Холодна й гаряча деформація металів.

/4, с.17-34/

Тема 3.2 Напружений стан в точці та деформованому металі.

Напружений стан в точці. Тензор напружень. Головні нормальні й максимальні дотичні напруження. Октаедричні напруження. Кола Мора.

/4, с.42-67/

Тема 3.3 Деформований стан Показники деформації. Умови рівноваги.

Поняття про деформований стан металу. Малі деформації. Тензор деформацій. Сума малих деформацій. Закон сталості обсягу. Закон найменшого опору, правило найменшого периметра. Великі деформації. Сума істинних деформацій. Швидкість деформації. Схеми деформованого стану. Рівняння рівноваги осередку деформації.

/4, с.68-79/

Тема 3.4 Умови пластичності. Плоска задача.



Умови пластичності (Тріскі-Сен-Венана, Губера-Мізеса). Фактичний опір деформації. Порівняння основної й спрощеної умов пластичності. Плоский напружений і плоский деформований стан металу. Умова пластичності для плоскої деформації.

/4, с.86-103/

Розділ 4 Основи теорії прокатки

Тема 4.1 Основи теорії прокатки. Параметри осередку деформації.

Елементи теорії прокатки. Умова захвата металу валками. Осередок деформації і його параметри. Нейтральний кут. Нейтральний перетин. Випадки прокатки.

/4, с.104-112/

Тема 4.2 Кінематичні параметри осередку деформації. Випередження. Уширення.

Випередження та відставання при прокатці, фактори, що їх визначають. Формула Дрездена. Вибір швидкостей валків безперервного стану. Розширення при прокатці, фактори, що його визначають.

/4, с.115-122, 166-174/

Тема 4.3 Енергосилові параметри при прокатці. Сила та момент прокатки.

Формула Целікова для визначення контактних напружень при прокатці. Вплив зовнішнього тертя, натяжінь і відношення  $l/h_{cp}$  на величину нормальних напружень при прокатці тонких смуг. Сила прокатки. Середні нормальні контактні напруги при прокатці й фактори, що їх визначають (механічні властивості металу, напружений стан металу в осередку деформації). Напрямок рівнодіючих сил при прокатці. Методика визначення сили холодної прокатки з урахуванням пружного стиску валків. Момент прокатки.

/4, с.175- 247/

МОДУЛЬ 3 Технологічні лінії виробництва напівпродукту та сортового прокату.

Розділ 5 Виробництво напівпродукту та сортового прокату

Тема 5.1 Структура та технологічні основи прокатного виробництва

Задачі технологічної підготовки прокатного виробництва. Структура та спеціалізація прокатного виробництва. Класифікація станів по призначенню та розташуванню робочих клітей. Температурний режим гарячої прокатки. Швидкість прокатки. Обтиснення при прокатці, вибір його величини.

/3, с.7-16, 29-34, 57-62/, /4, с.123-128/

Тема 5.2 Основи калібрування профілів

Елементи теорії калібрування валків. Калібрування профілю, калібрування валків. Сортамент прокатних виробів, сортамент стану. Типи та форми калібрів. Елементи калібру. Закриті та відкриті калібри. Середня лінія валків і лінії прокатки. Правила розташування калібрів на бочках валків. Нейтральна лінія калібру. Розмір стану. Прокатка з верхнім і нижнім тиском.

/3, с.35-56/

Тема 5.3 Технологічні основи виробництва напівпродукту

Виробництво напівпродукту та заготовок. Класифікація напівпродукту. Призначення блюмінга. Сортамент злитків і блюмів. Типи блюмінгів. Состав обладнання (блюмінг 1300). Технологічний процес. Калібрування валків блюмінга. Призначення слябінга. Сортамент злитків і слябів. Обладнання слябінгів. Технологія виробництва катаних слябів (слябінг 1250). Призначення заготовочних станів. Типи заготовочних станів. Сортамент заготовок. Особливості технологічного процесу на безперервних заготовочних станах (НЗС 900/700/500). Дефекти напівпродуктів, їхнє походження. Способи попередження та видалення дефектів.

/3, с.65-78, 83-89//

Тема 5.4 Виробництво сорту. Рейко-балкові стани

Виробництво сортового прокату. Рейкобалкові й універсальні балкові стани. Сортамент продукції. Типи рейкобалкових станів, состав обладнання. Особливості технології на цих станах (рейкобалковий стан 950/800). Особливості обробки рейок: гарячий вигин, холодне виправлення, фрезерування кінців, свердловка отворів. Термообробка рейок. Процес уповільненого охолодження, ізотермічна витримка.

/3, с.146-163/

Тема 5.5 Крупносортні та середньосортні стани

Крупносортні та середньосортні стани. Сортамент продукції. Технологія прокатки (напівбезперервний стан 600, безперервний стан 450).

/3, с.164-209/

Тема 5.6 Виробництво дрібного сорту та дроту

Дрібносортні стани. Сортамент продукції. Обладнання та технологія прокатки. Напівбезперервні дрібносортні стани. Дротові стани. Сортамент продукції. Технологічний процес. Двохстадійне охолодження. Термообробка катанки в потоці. Технологічні та конструкційні засоби підвищення якості дрібного сорту та дроту.

/3, с.211-283/

Тема 5.7 Сортові ливарно-прокатні модулі

Структура сортових ЛПМ. Способи поєднання прокатки з безперервним литтям, їх особливості, переваги. Питання синхронізації процесів лиття і прокатки. Структура сортових ЛПМ.

ЛПМ з литтям профільованих заготовок

/11/, /12/

МОДУЛЬ 4 Технологічні лінії виробництва листового прокату

Розділ 6 Виробництво листового прокату

Тема 6.1 Виробництво товстих листів та плит

Класифікація листового прокату. Сортамент і вимоги, пропонувані до точності, механічним властивостям, структурі й якості поверхні штаб і листів. Основні параметри точності листового прокату. Загальна характеристика виробництва товстих листів. Типи станів для прокатки товстих листів. Сортамент товстолистових станів. Склад, характеристика та розташування встаткування товстолистових станів. Товстолистовий стан 3600 заводу "Азовсталь". Технологічний процес виробництва товстих листів. Нагрівання, видалення окалини. Способи прокатки листів зі злитків і слябів (поздовжня й поперечна схеми прокатки, прокатка "на кут"). Обробка товстих листів: термічна обробка, виправлення, різання. Удосконалення технології прокатки товстих листів. Шляхи та способи збільшення виходу придатного прокату при виробництві товстих листів.

/3, с.290-338/, /6, с.322-374/

Тема 6.2 Виробництво широких штаб. НШПС та ННШПС

Гаряча прокатка штаб на безперервних і напівбезперервних станах. Особливості НШПС. Покоління НШПС. НШПС-2000 «Северсталь». Сучасні НШПС з чорною реверсивною кліттю. Підготовка та нагрівання слябів. Прокатка розкатів у чорнових і чистових групах клітей, раціональні режими обтисень. Видалення

окаліни. Використання CoilBox та захисних екранів. Режими охолодження валків і штаби. Згортання штаби в рулон. Поздовжня й поперечна різнотовщинність гарячекатаних штаб (причини виникнення та способи усунення).

/3, с.339-396/, /6, с.385-419/

#### Тема 6.3 Стани Стекеля. Широкоштабові ЛПМ

Реверсивні стани з моталками в пічах (стани Стекеля). Склад обладнання, технологія прокатки. Проблеми виробництва надтонких гарячекатаних штаб. Широкоштабові ЛПМ: склад обладнання, технологія, особливості суміщення двох потоків слябів в лінію стану. ЛПМ з тонкослябовою МНЛЗ.

/6, с.375-384, 420-454, 547-585/, /11/, /12/

#### Тема 6.4 Виробництво холоднокатаних смуг та стрічок. НТА.

Технологія виробництва холоднокатаних смуг. Параметри холоднокатаних смуг (точність, штампуємість, планшетність, шорсткість і чистота поверхні). Процес дресирування і його задачі. Фактори, що визначають штампуємість смуг. Різнотовщинність холоднокатаних смуг і фактори, що її визначають. Планшетність готового прокату. Загальна схема технологічного процесу виробництва холоднокатаних смуг і листів. Очищення гарячекатаних заготовок від окислів. Технологія видалення окаліни на неперервних травильних агрегатах (НТА). Склад обладнання НТА та його призначення. Порівняння сірчаноокислотних та соляноокислотних НТА.

/3, с.409-442/, /7, с. 24-33, 68-106/

#### Тема 6.5 Неперервні та реверсивні стани холодної прокатки

Склад, характеристика й розташування устаткування станів холодної прокатки. Класифікація станів холодної прокатки. Технологія виробництва холоднокатаних смуг на неперервних та реверсивних станах. Тенденція розвитку й удосконалення холодної прокатки листів. Прокатка холоднокатаних смуг на безперервних станах і станах "нескінченної" прокатки (обтиснення, рівні натягу, технологічне змащення, маршрут валків та ін.) Багато валкові стани. Натягіння і його роль при холодній прокатці смуг. Технологічне змащення і його роль при холодній прокатці смуг. Процес дресирування і його задачі.

/3, с.442-504/, /7, с.110-274/.

## 3.2 ПРАКТИЧНІ ЗАНЯТТЯ ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №1.

Визначення енергосилових параметрів процесу гарячої прокатки широких листів і штаб.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №2.

Розрахунок енергосилових параметрів процесу холодної прокатки тонких смуг.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №3.

Розподіл одиничних витяжок по проходах. Розрахунок режимів обтиснень по граничних умовах захвату.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №4.

Розрахунок режимів обтиснень по потужності електродвигунів прокатного стана.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №5.

Визначення положення нейтральної лінії калібру. Розрахунок калібрування безперервних станів.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №6.

Розрахунок режимів обтиснень при прокатці з розбиванням ширини на ТЛС.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №7.

Техніко-економічні показники виробництва сортової сталі.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №8.

Техніко-економічні показники виробництва листової сталі

3.3 ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1.

Вплив зовнішнього тертя на характер і зусилля деформації при осадці. Закон найменшого опору та правило найменшого периметру.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2

Геометричні параметри осередку деформації. Практичне використання закону сталості об'єму..

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3.

Вивчення умов захоплення металу при прокатці. Визначення коефіцієнта тертя.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4.

Дослідження випередження прокатці в гладких валках.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №5.

Дослідження розширення при прокатці в гладких валках

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №6.

Вплив зовнішніх зон на середній контактний тиск..

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №7.

Прокатка квадратних і круглих профілів.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №8.

Дослідження впливу способу прокатки злитків на коефіцієнт машинного часу і продуктивність стану

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №9.

Моделювання схем прокатки при виробництві товстих листів.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №10.

Вплив технологічного мастила на енергосилові параметри холодної прокатки смуг.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №11.

Вплив переднього і заднього натяжінь на силу і момент прокатки.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №12.

Вплив нерівномірної деформації на якість листового прокату.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №13.

Дослідження контактних напружень при прокатці.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №14

Моделювання способів прокатки товстих листів високої якості.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №15

Дослідження процесу травлення відпалених смуг.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №16

Дослідження процесу асиметричної прокатки.



#### 4.4 ІНДИВІДУАЛЬНА РОБОТА

Метою індивідуальних завдань є заглиблення знань студентом з відповідних розділів програми та набуття вміння індивідуальної роботи з літературою та логікою мислення з особливостей роботи запропонованих механізмів. Індивідуальна робота включає виконання курсової роботи, домашніх практичних задач, а також пропрацювання матеріалу, винесеного на самостійне вивчення.

Питання, які виносяться на самостійне пропрацювання.

Результатом самостійного вивчення зазначених тем є короткий конспект. Теми, винесені на самостійне пропрацювання, включено до модульних питань відповідних розділів.

## КОНТРОЛЬНІ РОБОТИ

Метою виконання контрольних робіт є поточний контроль рівня набутих знань. Контрольні роботи виконуються по закінченні вивчення розділу або блоку тем розділу.

8 триместр

К.р.1 Технологічні основи доменного й сталеплавильного виробництва

К.р.2 Основи теорії ОМТ та теорії прокатки

9 триместр

Розділ 2.

К.р.№3. Технологічні лінії виробництва напівпродукту та сортового прокату.

К.р. №4 Технологічні лінії виробництва листового прокату.

Оцінювання знань відбувається на основі модульно-рейтингової системи.

Рейтингова оцінка за модуль виводиться шляхом складання оцінок контрольних точок.

Кожна лабораторна робота оцінюється в 1-3 бали

Критерії оцінки рейтингових контрольних точок наведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 Критерії оцінювання модулів

| №                  | Назва    | оцінка |      |
|--------------------|----------|--------|------|
|                    |          | мін    | макс |
| Модуль 1           |          |        |      |
| 1                  | К.р.1    | 52     | 91   |
| 2                  | Л.р. 1-3 | 3      | 9    |
|                    | Сумарна  | 55     | 100  |
| Ваговий коефіцієнт |          | 0,15   |      |
| Модуль 2           |          |        |      |
| 1                  | К.р.2    | 51     | 88   |
| 2                  | Л.р. 4-7 | 4      | 12   |
|                    | Сумарна  | 55     | 100  |
| Ваговий коефіцієнт |          | 0,35   |      |
| Модуль 3           |          |        |      |

|                    |           |      |     |
|--------------------|-----------|------|-----|
| 1                  | К.р.3     | 51   | 88  |
| 2                  | Л.р. 8-11 | 4    | 12  |
| Сумарна            |           | 55   | 100 |
| Ваговий коефіцієнт |           | 0,25 |     |
| Модуль 4           |           |      |     |
| К.р.4              |           | 50   | 85  |
| Л.р. 12-16         |           | 5    | 15  |
| Сумарна            |           | 55   | 100 |
| Ваговий коефіцієнт |           | 0,25 |     |

Виконання усіх контрольних точок є обов'язковим для позитивної оцінки модуля.

Підсумковий контроль знань здійснюється складанням іспиту у 9-му триместрі. Екзаменаційна оцінка виводиться як сума модульних оцінок, помножених на вагові коефіцієнти. Якщо всі модулі оцінені позитивно, вони за бажанням студента автоматично зараховуються як екзаменаційна оцінка. В протилежному випадку студенти здають іспит за питаннями до відповідного модуля (додаток А).

Підготовка до модульних контролів та іспитів передбачає пропрацювання вивченого матеріалу відповідно до питань, приведених в додатку А на основі конспекту лекцій та літератури, зазначеної в розділі 2 відповідно тематики лекційного матеріалу.

## 6 НАВЧАЛЬНО – МЕТОДИЧНІ МАТЕРІАЛИ

### 6.1 Основна література

1 Машины и агрегаты металлургических заводов. Уч.для вузов/А.И.Целиков, П.И.Полухин, В.М.Гребеник и др.:В3т. -Т.3 Машины и агрегаты для производства и обработки проката.-М.:Металлургия,1988.-674с.

2 Королев.А.А. Механическое оборудование прокатных и трубных цехов/ А.А. Королев.-М.:Металлургия,1987.-544с.

3 Корольов А. Конструкция и расчет машин и механизмов прокатных станов/ А.А. Королев -М.:Металлургия,1985.-462с.

4 Королев А.А. Прокатные станы и оборудования прокатных цехов/ А.А. Королев -М.:Металлургия,1981,-203с.



5 Коновалов Ю. В. Справочник прокатчика. Справочное издание в 2-х книгах. Книга 1. Производство горячекатаных листов и полос/ Ю. В. Коновалов – М. : Теплотехник, 2008. – 640 с

6 Коновалов Ю.В. Справочник прокатчика Справочное издание в 2-х книгах. Книга 2. Производство холоднокатаных листов и полос/ Ю. В. Коновалов – М. : Теплотехник, 2008. – 668 с

7 Прокатное производство /П.И.Полухин, Н.М.Федосов, А.А.Королев, Ю.Г.Матвеев.-М.:Металлургия,1988.-668с.

8 Специальные прокатные станы/А.И.Целиков, М.В.Барбарич, М.В.Васильчиков и др..-М.:Металлургия, 1982.-356с.

9 Машиностроение: Энциклопедия в 40 т. 2-е изд. – М.: Машиностроение, 2002. – Т.IV-5 Машины и агрегаты металлургического производства/ В.М. Синицкий, Н.В. Пасечник, В.Г. Дрозд и др. – 912с.

## 6.2 Додаткова література

10 Роспасиенко В.И. Современные средства зачистки проката./ В.И. Роспасиенко, В.Н. Ульяницкий, И. Лисаченкова. - К.: ИСДО,1995.-384с.

11 Химич Г.Л. Механическое оборудование цехов холодной прокатки / Г.Л. Химич, М.Б.Цалюк– М.:Металлургия,1982.-386с.

12 Терентьев В.С Адьюстаж тонколистовых станов./ В.С Терентьев, М.Б. Цалюк -М.: Металлургия, 1961. - 339с.

13 Когос Г.В.. Механическое оборудование волочильних и лентопрокатных цехов./ Г.В. Когос. -М.: Металлургия,1980.-310с.

14 Прокатные станы. Справочник. В 3т. – Т.1 Обжимные, заготовочне и сортопрокатные станы 500 – 950 / В.Г.Антипин, С.В.Тимофеев, Д.К.Нестеров и др. – М.:Металлургия,1992.-429с.

15 Прокатные станы. Справочник. В 3т. – Т.2 Средне-, мелкосортные и специальные станы / В.Г.Антипин, С.В.Тимофеев, Д.К.Нестеров и др. – М.:Металлургия,1992.-496с.

16 Прокатные станы. Справочник. В 3т. – Т.3 Листопркатные станы и профилегибочные агрегаты / В.Г.Антипин, Д.К.Нестеров, В.Г.Кизиеви др. – М.:Металлургия,1992.-428с.

17 Тонкослябовые литейно-прокатные агрегаты для производства стальных полос/ В.М.Салганик, И.Г.Гун, А.С.Карандаев, А.А.Радионон. – М.: МГТУ им. Баумана, 2003. – 506с.

18 С.П. Новые процессы и станы для пркатки изделий в винтовых калибрах / С.П. Грановский. - М.:Металлургия,1980.-116с. ые литейно-прокатные агрегаты для производствай конспект.

19 Ульяницький В.Н. Російсько- український термінологічний словник з механічного устаткування металургійних підприємств і металургійного машинобудування /В.Н. Ульяницький.- К: ИСДО, 1994.- 336с.

### 6.3 Методичні вказівки

20 Конспект лекцій з дисципліни «Механічне обладнання металургійних заводів. Частина 1» (для студентів спеціальності 7.090218) / Укл. Ю.К.Добронос.- Краматорськ: ДДМА, 2010

21 Конспект лекцій з дисципліни «Механічне обладнання металургійних заводів. Частина 2» (для студентів спеціальності 7.090218) / Укл. Ю.К.Добронос.- Краматорськ: ДДМА, 2011

22 Методичні вказівки до лабораторних робіт № 9-17 з дисципліни «Механічне обладнання заводів чорної металургії» (для студентів спеціальності 7.090218) / Укл. Ю.К.Добронос.- Краматорськ: ДДМА, 2011.-64с.

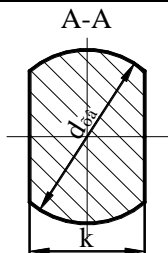
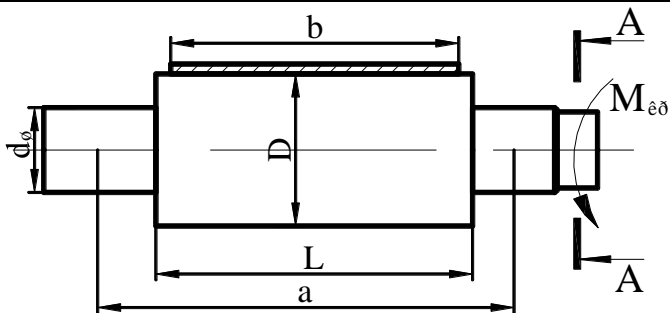
23 Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни «Механічне устаткування заводів чорної металургії» (устаткування прокатних цехів) для студентів спеціальності 7.090218. Заняття № 8-15 / Укл. Добронос Ю.К.- Краматорськ: ДДМА, 2010.-46с.

## 7 ЗАВДАННЯ НА РГР

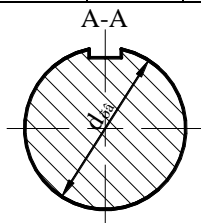
### Завдання до РГР 1

Завдання 1 Розрахувати листовий валок (вар.1-15) на статичну міцність і деформацію, сортовий валок (вар.16-30) на статичну й циклічну міцність.

Таблиця 7.1 Вихідні дані до завдання 1.



| Вар. | A<br>мм | L<br>мм | b<br>мм | D<br>мм | dш<br>мм | dxв<br>мм | P<br>МН | M<br>кр<br>кНм | k<br>мм |
|------|---------|---------|---------|---------|----------|-----------|---------|----------------|---------|
| 1    | 2850    | 1700    | 1500    | 1000    | 600      | 480       | 15      | 1600           | 300     |
| 2    | 3250    | 2000    | 1800    | 1000    | 600      | 520       | 25      | 2200           | 380     |
| 3    | 3600    | 2500    | 2200    | 1100    | 750      | 700       | 23      | 7000           | 550     |
| 4    | 1300    | 900     | 800     | 750     | 450      | 400       | 4       | 1000           | 300     |
| 5    | 1000    | 400     | 330     | 400     | 260      | 220       | 2       | 600            | 160     |



| Вар. | A<br>мм | L<br>мм | b<br>мм | D<br>мм | dш<br>мм | dxв<br>мм | P<br>МН | M<br>кр<br>кНм | k<br>мм |
|------|---------|---------|---------|---------|----------|-----------|---------|----------------|---------|
| 6    | 2850    | 1700    | 1400    | 1000    | 600      | 480       | 14      | 1650           |         |
| 7    | 3250    | 2000    | 1700    | 1000    | 600      | 500       | 24      | 2100           |         |

Продолжение таблицы А.1

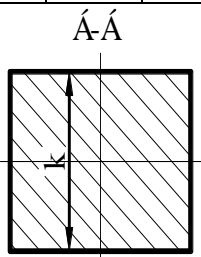
|   |      |      |      |      |     |     |    |      |  |
|---|------|------|------|------|-----|-----|----|------|--|
| 8 | 3600 | 2500 | 2000 | 1100 | 750 | 680 | 25 | 5600 |  |
|---|------|------|------|------|-----|-----|----|------|--|



|    |      |      |      |      |     |     |     |     |  |
|----|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|--|
| 16 | 1850 | 1200 | 0.3L | 800  | 460 | 420 | 5   | 410 |  |
| 17 | 1600 | 610  | 0.6L | 1000 | 400 | 380 | 3   | 380 |  |
| 18 | 1160 | 800  | 0.4L | 400  | 250 | 200 | 1.2 | 40  |  |

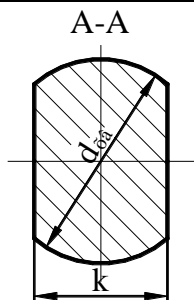
Продолжение таблицы А.1

|    |      |     |           |     |     |     |      |    |  |
|----|------|-----|-----------|-----|-----|-----|------|----|--|
| 19 | 660  | 400 | 0.7L      | 250 | 130 | 120 | 0.36 | 8  |  |
| 20 | 1050 | 625 | 0.65<br>L | 400 | 240 | 185 | 2    | 30 |  |



| Вар. | a<br>мм | L<br>мм | x<br>мм   | D<br>мм | dш<br>мм | dxв<br>мм | P<br>МН | M<br>кр<br>кНм | k<br>мм |
|------|---------|---------|-----------|---------|----------|-----------|---------|----------------|---------|
| 21   | 1850    | 1200    | 0.7L      | 800     | 460      |           | 6       | 400            | 300     |
| 22   | 1600    | 610     | 0.4L      | 1000    | 400      |           | 2.5     | 400            | 320     |
| 23   | 1160    | 800     | 0.55<br>L | 400     | 250      |           | 1       | 42             | 150     |
| 24   | 660     | 400     | 0.3L      | 250     | 130      |           | 0.4     | 9              | 85      |
| 25   | 1050    | 625     | 0.25<br>L | 400     | 240      |           | 1.5     | 32             | 130     |

Продовження табл.7.1



| Вар. | a<br>мм | L<br>мм | x<br>мм | D<br>мм | dш<br>мм | dxв<br>мм | P<br>МН | M<br>кр<br>кНм | k<br>мм |
|------|---------|---------|---------|---------|----------|-----------|---------|----------------|---------|
| 26   | 1850    | 1200    | 0.25    | 800     | 460      | 400       | 5.5     | 430            | 300     |

|    |      |     |           |      |     |     |      |     |     |
|----|------|-----|-----------|------|-----|-----|------|-----|-----|
|    |      |     | L         |      |     |     |      |     |     |
| 27 | 1600 | 610 | 0.4L      | 1000 | 400 | 380 | 2.7  | 410 | 320 |
| 28 | 1160 | 800 | 0.7L      | 400  | 250 | 200 | 1.3  | 39  | 140 |
| 29 | 660  | 400 | 0.45<br>L | 250  | 130 | 120 | 0.38 | 10  | 80  |
| 30 | 1050 | 625 | 0.75<br>L | 400  | 240 | 180 | 1.8  | 31  | 130 |

### Завдання до РГР 2

Виконати проектувальний розрахунок пари гвинт-гайка й розрахувати потужність привода електромеханічного натискного механізму

Таблиця 7.2 Вихідні дані до завдання 2.

| № варіанта | Швидкість переміщення валків<br>$V$ мм/с | Сила прокатки<br>Сила прокатки<br>Р МН | Вага валка, що врівноважується<br>G кН | Тип різі |
|------------|--|--|--|----------|
| 1          | 250                                      | 30                                     | 1500                                   | Упорна   |
| 2          | 25                                       | 25                                     | 1800                                   | Упорна   |
| 3          | 100                                      | 15                                     | 1300                                   | Упорна   |
| 4          | 0,5                                      | 30                                     | -                                      | Упорна   |
| 5          | 0,5                                      | 0,4                                    | -                                      | Трапец.  |
| 6          | 2  | 0,5                                    | -                                      | Трапец.  |
| 7          | 0,5                                      | 10                                     | -                                      | Упорна   |
| 8          | 1  | 20                                     | -                                      | Упорна   |
| 9          | 5  | 5                                      | 700                                    | Упорна   |
| 10         | 2  | 30                                     | 1900                                   | Упорна   |
| 11         | 1  | 0,8                                    | 100                                    | Трапец.  |
| 12         | 1  | 25                                     | 1400                                   | Упорна   |
| 13         | 0,5                                      | 20                                     | -                                      | Упорна   |
| 14         | 50                                       | 25                                     | 1600                                   | Упорна   |
| 15         | 10                                       | 10                                     | 1200                                   | Упорна   |
| 16         | 15                                       | 15                                     | 1200                                   | Упорна   |
| 17         | 5  | 17                                     | 1300                                   | Упорна   |
| 18         | 1  | 0,5                                    | 200                                    | Трапец.  |

| Продовження табл.7.2 |     |     |      |         |
|----------------------|-----|-----|------|---------|
| 19                   | 20  | 45  | 1900 | Упорна  |
| 20                   | 3   | 0,7 | 350  | Трапец. |
| 21                   | 20  | 27  | 1750 | Упорна  |
| 22                   | 1   | 12  | 500  | Упорна  |
| 23                   | 6   | 1   | 200  | Трапец. |
| 24                   | 8   | 2   | 170  | Трапец. |
| 25                   | 1,5 | 7   | -    | Трапец. |

Завдання до РГР 3

Розрахувати станину робочої кліти на міцність і деформацію за даними, наведеним на рис. 7.1 і в таблиці 7.3.

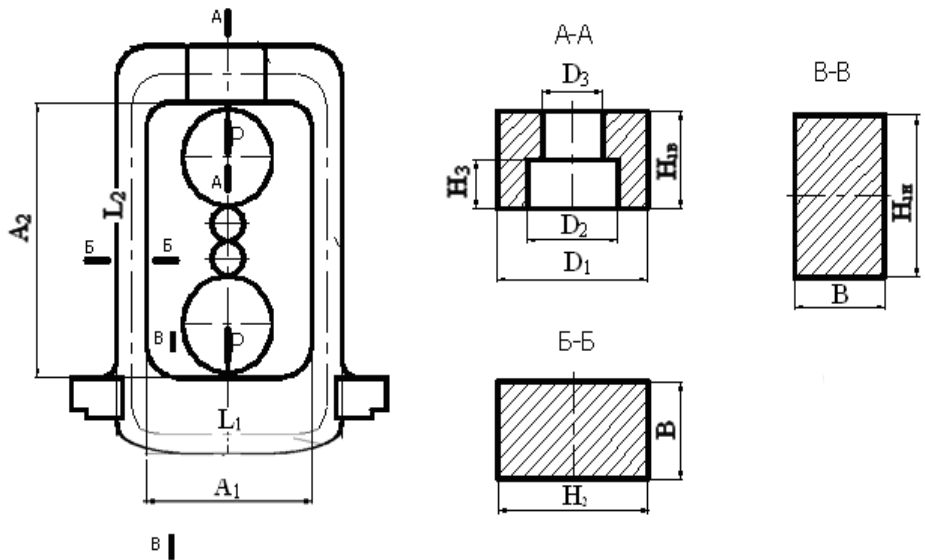


Рисунок 7.1 – Розміри станини

Таблиця 7.3 Вихідні дані до завдання 3.

| № вар. | P     | A1   | A2   | H1B  | H1H  | H2  | H3  | B   | D1   | D2  | D3  |
|--------|-------|------|------|------|------|-----|-----|-----|------|-----|-----|
| 1      | 20000 | 1450 | 5500 | 1100 | 1150 | 700 | 730 | 650 | 1500 | 780 | 500 |

|    |       |      |      |      |      |      |     |     |      |     |     |
|----|-------|------|------|------|------|------|-----|-----|------|-----|-----|
| 2  | 17000 | 1260 | 5300 | 1000 | 1000 | 550  | 720 | 500 | 1500 | 750 | 600 |
| 3  | 35000 | 1500 | 5300 | 1200 | 1250 | 800  | 865 | 750 | 1300 | 850 | 620 |
| 4  | 25000 | 1300 | 4850 | 1200 | 1200 | 800  | 750 | 700 | 1500 | 860 | 580 |
| 5  | 30000 | 1500 | 5200 | 1250 | 1200 | 750  | 800 | 720 | 1700 | 900 | 670 |
| 6  | 23000 | 1560 | 6100 | 1150 | 1150 | 700  | 750 | 700 | 1700 | 800 | 600 |
| 7  | 5000  | 1000 | 2500 | 600  | 650  | 400  | 450 | 350 | 760  | 400 | 300 |
| 8  | 400   | 360  | 830  | 350  | 400  | 250  | 110 | 200 | 245  | 100 | 70  |
| 9  | 25000 | 1800 | 6400 | 1300 | 1250 | 800  | 700 | 700 | 1540 | 900 | 620 |
| 10 | 25000 | 1260 | 4570 | 1250 | 1300 | 850  | 710 | 650 | 1400 | 760 | 550 |
| 11 | 24000 | 1620 | 4500 | 1200 | 1240 | 800  | 750 | 700 | 1500 | 920 | 650 |
| 12 | 900   | 450  | 1365 | 400  | 450  | 320  | 250 | 300 | 430  | 260 | 170 |
| 13 | 27000 | 1730 | 6400 | 1180 | 1200 | 840  | 750 | 800 | 1600 | 920 | 650 |
| 14 | 7000  | 910  | 3300 | 650  | 650  | 400  | 440 | 300 | 1250 | 600 | 380 |
| 15 | 2000  | 710  | 2350 | 500  | 500  | 300  | 350 | 250 | 600  | 370 | 250 |
| 16 | 400   | 280  | 1000 | 300  | 350  | 150  | 130 | 100 | 400  | 150 | 100 |
| 17 | 10000 | 1000 | 3600 | 850  | 850  | 600  | 420 | 500 | 850  | 400 | 250 |
| 18 | 12000 | 1200 | 3950 | 950  | 900  | 650  | 400 | 550 | 1000 | 450 | 280 |
| 19 | 14000 | 1200 | 4000 | 1100 | 1150 | 700  | 600 | 650 | 1000 | 440 | 300 |
| 20 | 16000 | 1000 | 3900 | 1150 | 1150 | 720  | 550 | 650 | 1100 | 500 | 320 |
| 21 | 18000 | 1300 | 4000 | 1200 | 1300 | 900  | 650 | 750 | 1200 | 800 | 500 |
| 22 | 22000 | 1500 | 4400 | 1250 | 1300 | 900  | 700 | 800 | 1250 | 700 | 540 |
| 23 | 8500  | 930  | 3200 | 700  | 750  | 500  | 450 | 400 | 950  | 500 | 360 |
| 24 | 28000 | 1710 | 5800 | 1250 | 1250 | 850  | 800 | 800 | 1400 | 900 | 600 |
| 25 | 45000 | 1650 | 6500 | 1400 | 1450 | 1000 | 990 | 800 | 1500 | 980 | 700 |

## 8 ПРИКЛАДИ ВИКОНАННЯ РГР

### 8.1 Приклад виконання РГР1

Розрахувати на статичну й циклічну міцність валок сортового стана.

Вихідні дані: довжина бочки валка 500 мм, відстань між підшипниковими опорами 1000 мм, відстань від лівої опори до калібру  $X = 450$  мм, діаметр бочки по дну калібру  $= 340$  мм, діаметр шийки  $= 240$  мм, хвостовик тріфевий з діаметром  $d_{хв} = 200$  мм, сила прокатки  $P = 1.1$  МН, момент прокатки на одному валку  $M = 45$  кНм. Матеріал валка сталь 55, напруження, що допускається  $[\sigma] = 140$  МПа.

Рішення.



Розрахункова схема валка є двохопорною балкою, навантаженою силою прокатки  $P$  у калібрі на відстані  $X$  від лівої опори (рис. 3.2). Визначимо опорні реакції з умови рівноваги валка:

$$\Sigma MA = 0; P \cdot X - RB \cdot a = 0$$

$$RB = P \cdot X / a = 1,1 \cdot 106 \cdot 450 / 1000 = 495000 \text{ Н}$$

$$\Sigma MB = 0; P \cdot (a - X) - RA \cdot a = 0$$

$$RA = P \cdot (a - X) / a = 1,1 \cdot 106 \cdot (1000 - 450) / 1000 = 605000 \text{ Н}$$

Небезпечними перерізами є перетин по калібру I-I і перетини при переході шийки в бочку II-II і III-III, причому більше навантаженою є опора з боку холостого хвостовика, тому з урахуванням крутіння варто розраховувати обидва перетини переходу шийки в бочку.

Визначимо згинальні моменти в перетинах I-I, II-II і III-III :

$$MI-I = RA \cdot X = 605000 \cdot 450 = 272250000 \text{ Нмм}$$

$$MII-II = RA \cdot (a - L) / 2 = 605000 \cdot (1000 - 500) / 2 = 151250000 \text{ Нмм}$$

$$MIII-III = RB \cdot (a - L) / 2 = 495000 \cdot (1000 - 500) / 2 = 123750000 \text{ Нмм}$$

Будуємо епюру згинальних моментів (див.рис.3.2)

Визначаємо напруження вигину в небезпечних перерізах:

$$\sigma I-I = MI-I / 0.1D^3 = 272250000 / 0.1 \cdot 3403 = 69.27 \text{ МПа}$$

$$\sigma II-II = MII-II / 0.1d^3 = 151250000 / 0.1 \cdot 2403 = 109.4 \text{ МПа}$$

$$\sigma III-III = MIII-III / 0.1d^3 = 123750000 / 0.1 \cdot 2403 = 89.5 \text{ МПа}$$

Будуємо епюру крутних моментів, зневажаючи втратами на тертя в підшипниках (див.рис.3.2). Очевидно, що в перетинах I-I і III-III крутний момент дорівнює  $M_{пр} = 45 \text{ кНм}$ , а в перетині II-II крутний момент відсутній. Визначаємо напруження крутіння в перетинах I-I і III-III:

$$\tau I-I = M_{пр} / 0.2D^3 = 45000000 / 0.2 \cdot 3403 = 5.7 \text{ МПа}$$

$$\tau III-III = M_{пр} / 0.2d^3 = 45000000 / 0.2 \cdot 2403 = 16.2 \text{ МПа}$$

Визначаємо еквівалентні напруження

$$\sigma I-I \text{ экв} = \sqrt{\sigma_{I-I}^2 + 3\tau_{I-I}^2} = \sqrt{69,27^2 + 3 \cdot 5,7^2} = 69,9 \text{ МПа}$$

$$\sigma II-II \text{ экв} = \sigma II-II = 109.4 \text{ МПа}$$

$$\sigma III-III \text{ экв} = \sqrt{\sigma_{III-III}^2 + 3\tau_{III-III}^2} = \sqrt{89,5^2 + 3 \cdot 16,2^2} = 93.7 \text{ МПа}$$

Перевіряємо хвостовик валка на крутіння. Для тріфогового хвостовика момент опору на крутіння

$$W = 0.115 d^3_{хв} = 0.115 \cdot 2003 = 920000 \text{ мм}^3$$

$$\text{напруження крутіння } \tau_{хв} = M_{пр} / W = 48.9 \text{ МПа}$$

Приймаємо напруження на крутіння, що допускається  $[\tau_{кр}] = 0.5[\sigma] = 70 \text{ МПа}$

У всіх перетинах еквівалентні напруження менше за допустимі, значить статична міцність валка забезпечена.

Виконаємо перевірку валка на циклічну міцність у найбільш навантажених перетинах II-II і III-III

Визначимо поріг витривалості при вигині й крутінні для сталі 55 з межею міцності  $\sigma_B = 750$  МПа. Поріг витривалості при вигині:

$$\sigma_{-1} = (0,45 \dots 0 \dots 0,55) \sigma_B = 0,5 * 750 = 375 \text{ МПа};$$

Поріг витривалості при крутінні:

$$\tau_{-1} = 0,6 \quad \sigma_{-1} = 0,6 * 375 = 225 \text{ МПа}.$$

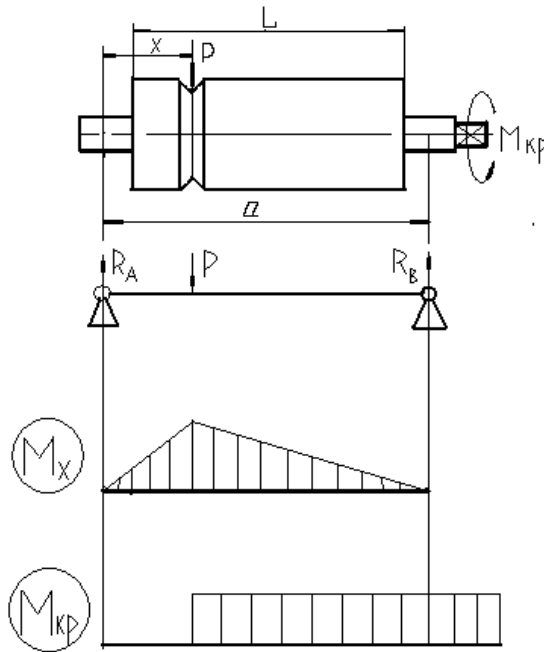


Рисунок 8.1- Розрахункова схема сортового валка

Напруження вигину змінюються за симетричним циклом, напруження крутіння – за віднулевым. Тоді амплітудне значення циклу напружень при вигині для перетину II-II  $\sigma_a = \sigma_{II-II} = 109,4$  МПа, для перетину III-III  $\sigma_a = \sigma_{III-III} = 89,5$  МПа. Середня напруження циклу при вигині  $\sigma_m = 0$ .

Амплітудне значення циклу напружень при крутінні, дорівнює середній напрузі циклу й дорівнює для перетину II-II (напру-

ження крутіння рівні 0)  $\tau_a = \tau_m = 0,5\tau$  II-II = 0, для перетину III-III  $\tau_a = \tau_m = 0,5\tau$  III-III =  $0,5 \cdot 16,2 = 8,1$  МПа.

Масштабні фактори при вигині й крутінні  $\varepsilon\sigma$  і  $\varepsilon\tau$  вибираємо з табл.V.4 [1.с.214]. Для шийки діаметром 240мм, що працює на вигин і крутіння  $\varepsilon\sigma = 0,64$ ,  $\varepsilon\tau = 0,56$ . Ефективні коефіцієнти концентрації напружень при вигині й крутінні вибираємо з табл.V.5 [1.с.214]. Для жолобника в місці переходу шийки в бочку приймаємо  $k\sigma = 2,1$ ,  $k\tau = 1,7$ . По рис. V.11 [1.с.215] вибираємо коефіцієнт якості поверхні за графіком 2, тоді  $\beta = 0,85$ . Коефіцієнти асиметрії циклу напружень для вуглецевих сталей  $\psi\sigma = 0,15$ ,  $\psi\tau = 0,05$ . Підставляємо обрані значення у формули (3.9), знаходимо коефіцієнти запасу міцності при вигині й крутінні:

для перетину II-II

$$n\sigma = 375 / (2,1 \cdot 109 / 0,85 \cdot 0,64) = 0,89$$

$$n = n\sigma = 0,89$$

для перетину III-III

$$n\sigma = 375 / (2,1 \cdot 89,5 / 0,85 \cdot 0,64) = 1,08$$

$$n\tau = 225 / (1,7 \cdot 8,1 / 0,85 \cdot 0,56 + 0,05 \cdot 8,1) = 7,65$$

$$n = 1,08 \cdot 7,65 / \sqrt{(1,08^2 + 7,65^2)} = 1,07$$

В обох перетинах значення  $n$  менше мінімально припустимого значення  $[n]=1,3$ , тому циклічна міцність валка для заданих умов не забезпечений і його діаметр необхідно збільшити.

## 8.2 Приклад виконання РГР2

Вибрати потужність привода й спроектувати пару гвинт - гайка натискного механізму прокатного стану.

Вихідні дані: швидкість переміщення валка  $V=20$  мм/с, сила прокатки  $R_{пр}=32$  МН, вага частин, що врівноважуються,  $G=2000$  кН, тип різі - упорна.

Рішення.

Визначимо параметри пари гвинт – гайка натискного механізму. Кожен гвинт сприймає половину сили прокатки, тому розрахункову силу приймаємо рівної  $Y = R_{пр}/2 = 32/2 = 16$  МН =  $16 \cdot 10^6$  Н.

Вибираємо матеріал гвинта сталь 45, матеріал гайки бронза АЖ 9-4

З умови міцності на стиск визначимо мінімальний діаметр натискного гвинта, прийнявши допустиме напруження для сталі 45  $[\sigma] = 140 \text{ МПа}$

$$d_{\min} = \sqrt{\frac{4Y}{\pi[\sigma]}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 16 \cdot 10^6}{3,14 \cdot 140}} = 381 \text{ мм}$$

Приймаємо мінімальний діаметр гвинта й діаметр підп'ятника  $d = 380 \text{ мм}$

За ГОСТ 10177-82 вибираємо різь упорну з діаметром зовнішнім  $d_H = 400 \text{ мм}$ , середнім  $d_{cp} = 391 \text{ мм}$ , внутрішнім  $d_B = 380 \text{ мм}$ , кроком  $S = 12 \text{ мм}$ , при цьому внутрішній діаметр різі не менш мінімального діаметра гвинта.

Визначаємо основні розміри гайки зі співвідношень

Зовнішній діаметр гайки  $D = 1,7 d = 1,7 \cdot 400 = 680 \text{ мм}$

Висота гайки  $H \sim D = 700 \text{ мм}$

Число витків різі  $z = H/S = 700/12 = 58,3$

Перевіряємо витки гайки на зминання по формулі:

$$\sigma_{cm} = \frac{4Y}{\pi(d_H^2 - d_B^2)z} \leq [\sigma]$$

$$\sigma_{cm} = 4 \cdot 16 \cdot 10^6 / (3,14 \cdot (400^2 - 380^2) \cdot 58,3) = 22,5 \text{ МПа}$$

Розраховане напруження менше допустимого  $[\sigma]_{cm} = 40 \text{ МПа}$

Перевіряємо витки гайки на зріз :

$$\tau = \frac{Y}{k_1 H \pi d_H} \leq [\tau]$$

де  $k_1$ - коефіцієнт, що враховує тип різі. Для упорної різі  $k_1 = 0.65$ , для трапецеїдальної  $k_1 = 0.6$ ;

$$\tau_{cp} = 16 \cdot 10^6 / (0.6 \cdot 700 \cdot 3,14 \cdot 400) = 30,3 \text{ МПа}$$

Розрахункове напруження  $\tau_{cp}$  трохи вище допустимого  $[\tau_{cp}] = 30 \text{ МПа}$ .

Збільшимо висоту гайки , підставивши у формулу значення  $[\tau_{cp}]$

$$H = 16 \cdot 10^6 / (0.6 \cdot 30 \cdot 3,14 \cdot 400) = 707 \text{ мм}$$

Приймаємо висоту гайки  $H = 710$  мм

Перевіряємо напруження на контактній поверхні гайки зі станиною по формулі

$$\sigma_{cm} = \frac{4P}{\pi(D^2 - d_e^2)} \leq [\sigma]_{cm}$$

$$\sigma_{cm} = 4 \cdot 16 \cdot 106 / 3,14 \cdot (6802 - 4002) = 67,4 \text{ МПа}$$

Розрахункове напруження  $\sigma_{cm}$  менше допустимого  $[\sigma]_{cm} = 80$  МПа.

Визначимо потужність привода одного механізму. На товстолистовому стані валки встановлюють у паузах між пропусками, тому розрахунок потужності ведемо по силі переврівноважування валків, що становить  $(0,2 \dots 0,4) G$ . Тому при розрахунку потужності розрахункова сила для одного гвинта  $Y = 0,3 \cdot 2000000 / 2 = 300000$  Н.

Визначимо крутний момент на натискному гвинті. У зв'язку з невеликою швидкістю установки динамічним моментом зневажаємо. Коефіцієнт тертя в під'ятнику приймаємо рівним  $\mu = 0,1$ , кут тертя в різьбі  $\rho = 5,70$ . Попередньо визначаємо кут підйому гвинтової лінії

$$\alpha = \arctg(S / \pi d_{cp}) = \arctg(12 / 3,14 \cdot 391) = 0,560$$

Тоді

$$M_{кр} = Y \left[ \frac{d_n}{2} \mu + \frac{d_{cp}}{2} \operatorname{tg}(\alpha + \rho) \right]$$

$$M_{кр} = 300000 / (380 \cdot 0,1 / 3 + 391 \cdot \operatorname{tg}(5,7 + 0,56) / 2) = 8759 \text{ Н мм}$$

Визначимо кутову швидкість гвинта

$$\omega = 2 \cdot 3,14 \cdot 20 / 12 = 10,47 \text{ с}^{-1}$$

Визначаємо потужність двигуна натискного механізму по формулі (3.12), прийнявши к.к.д. передач  $\eta = 0,7$

$$N = 8759 \cdot 10,47 / 0,7 = 131009 \text{ Вт} = 131 \text{ кВт}$$

Приймаємо  $N = 135$  кВт

### 8.3 Приклад виконання РГР 3

Вихідні дані:

Висота вікна станини  $A_2 = 5000$  мм

Ширина вікна станини  $A_1 = 1600$  мм

Розміри перетинів стійки й поперечок (див.рис. 3.4)

$H_{1в} = 1100$  мм;  $H_{1н} = 1120$  мм,  $D_1 = 1400$  мм;  $D_2 = 800$  мм;  
 $D_3 = 500$  мм;  $H_2 = 750$  мм;  $H_3 = 700$  мм;  $B = 650$  мм

Сила, що діє на станину  $P = 20$  МН

Рішення

На кожен станину діє сила  $Y = P/2 = 20/2 = 10$  МН

Визначимо геометричні характеристики станини:

Розміри нейтральних ліній (3.32)

$$L_1 = A_1 + 2H_2/2 = A_1 + H_2 = 1600 + 800 = 2400 \text{ мм}$$

$$L_2 = A_2 + (H_{1в} + H_{1н})/2 = 5000 + (1100 + 1120)/2 = 6110 \text{ мм}$$

Для визначення геометричних характеристик верхньої поперечки представимо перетин А-А у вигляді трьох прямокутників I, II, III з розмірами, зазначеними в дужках (рис.8.2):

I ( $H_{1в} \times D_1$ ),

II ( $H_3 \times D_2$ ),

III ( $H_4 \times D_3$ )

де  $H_4 = H_{1в} - H_3 = 1100 - 700 = 400$  мм

Площа  $F_{1в} = F_I - (F_{II} + F_{III}) = (H_{1в} \times D_1) - (H_3 \times D_2 + H_4 \times D_3) =$

$$1100 \times 1400 - (700 \times 800 + 400 \times 500) = 780000 \text{ мм}^2$$

Для визначення моменту інерції перетину визначимо координати центра ваги кожного із прямокутників  $y_I$ ,  $y_{II}$ ,  $y_{III}$  і центра ваги всього перетину ус.

$$y_I = H_{1в}/2 = 1100/2 = 550 \text{ мм}$$

$$y_{II} = H_3/2 = 700/2 = 350 \text{ мм}$$

$$y_{III} = H_3 + H_4/2 = 700 + 400/2 = 900 \text{ мм}$$

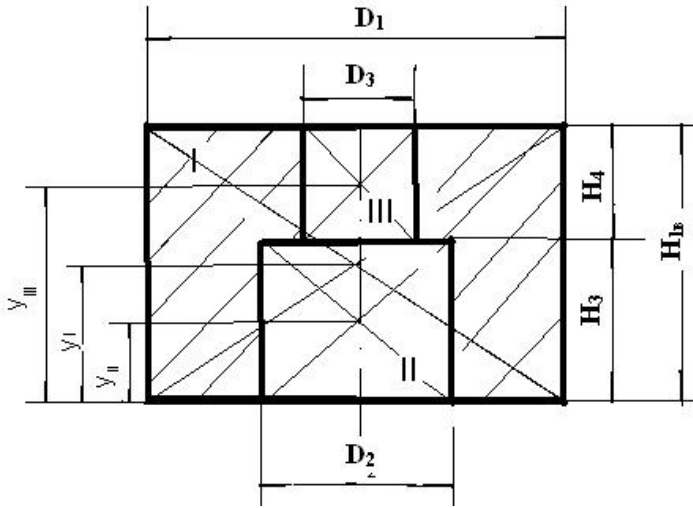


Рисунок 8.2 - Розбивка перетину верхньої поперечки на окремі фігури

Площі прямокутників I, II, III

$$F_I = H_{1B} * D_1 = 1100 * 1400 = 1540000 \text{ мм}^2$$

$$F_{II} = H_3 * D_2 = 700 * 800 = 560000 \text{ мм}^2$$

$$F_{III} = H_4 * D_3 = 400 * 500 = 200000 \text{ мм}^2$$

Тоді

$$y_c = (y^* F_I - y_{II}^* F_{II} - y_{III}^* F_{III}) / (F_I - F_{II} - F_{III}) =$$

$$= (550 * 1540000 - 350 * 560000 - 900 * 200000) / (1100 * 1400 - 700 * 800 -$$

$$500 * 400) = 603,8 \text{ мм}$$

Моменти інерції прямокутників

$$I = (D_1 * H_{1B}^3) / 12 + (y_c - y_I)^2 * F_I = (1400 * 1100^3) / 12 + (603,8 - 550)^2$$

$$* 1540000 =$$

$$= 159740770933 \text{ мм}^4$$

$$I_{II} = (D_2 * H_3^3) / 12 + (y_c - y_{II})^2 * F_{II} = (800 * 700^3) / 12 + (603,8 - 350)^2$$

$$* 560000 =$$

$$= 58938753067 \text{ мм}^4$$

$$\begin{aligned}
 III &= (D3 * H43)/12 + (yc - yIII)^2 * FIII = (500*4003)/12 + (603,8 - \\
 &900)^2 * 200000 = \\
 &= 20213554667 \text{ мм}^4
 \end{aligned}$$

Момент інерції

$$\begin{aligned}
 II_B &= II - III - III = 159740770933 - 58938753067 - \\
 &- 20213554667 = 80588463199 \text{ мм}^4
 \end{aligned}$$

$$\text{Момент опору } W_{1B} = II_B / y_c = 80588463199 / 603,8 = 133468802 \text{ мм}^3$$

$$\text{Площа } F_{1B} = F_I - F_{II} - F_{III} = 780000 \text{ мм}^2$$

Перетин нижньої поперечки В-В (див.рис. 3.4)

$$\text{Площа } F_{1H} = H_{1H} * B = 1120 * 650 = 728000 \text{ мм}^2$$

$$\begin{aligned}
 \text{Момент опору } W_{1H} &= (B * H_{1H}^2) / 6 = (650 * 1120^2) / 6 = 135893333 \\
 &\text{мм}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Момент інерції } II_H &= (B * H_{1H}^3) / 12 = (650 * 1120^3) / 12 = 76100266667 \\
 &\text{мм}^4
 \end{aligned}$$

Перетин стійки Б-Б (див.рис. 3.3)

$$\text{Площа } F_2 = B * H_2 = 650 * 750 = 487500 \text{ мм}^2$$

$$\text{Момент опору } W_2 = (B * H_2^2) / 6 = (650 * 750^2) / 6 = 60937500 \text{ мм}^3$$

$$\begin{aligned}
 \text{Момент інерції } I_2 &= (B * H_2^3) / 12 = (650 * 750^3) / 12 = 22851562500 \\
 &\text{мм}^4
 \end{aligned}$$

Визначимо статично невизначені моменти у вузлах верхньої й нижньої поперечок по формулах :

$$M_{ос} = \frac{Y \cdot l_1}{4} \cdot \frac{1}{2 \cdot \left( 1 + \frac{l_2}{l_1} \cdot \frac{I_{1г}}{I_2} \right)} \qquad M_{он} = \frac{Y \cdot l_1}{4} \cdot \frac{1}{2 \cdot \left( 1 + \frac{l_2}{l_1} \cdot \frac{I_{1н}}{I_2} \right)}$$

$$M_{0B} = 10 * 10^6 *$$

$$\begin{aligned}
 &2400 / (4 * 2 * (1 + (6110 * 80588463199 / 2400 * 22851562500))) = \\
 &= 300656883 \text{ Н мм}
 \end{aligned}$$

$$M_{0H} = 10 * 10^6 *$$

$$\begin{aligned}
 &2400 / (4 * 2 * (1 + (6110 * 76100266667 / 2400 * 22851562500))) =
 \end{aligned}$$



$$=316518018 \text{ Н мм}$$

Визначимо максимальні згинальні моменти у верхній і нижній поперечках по формулі

$$M_{(e,n)} = \frac{Y \cdot l_1}{4} - M_{o(e,n)}$$

$$M_{1В} = (10 \cdot 106 \cdot 2400 / 4) - 300656883 = 5699343117 \text{ Н мм}$$

$$M_{1Н} = (10 \cdot 106 \cdot 2400 / 4) - 316518018 = 5683481982 \text{ Н мм}$$

Напруження в поперечках

$$\sigma_{1В} = M_{1В} / W_{1В} = 5699343117 / 133468802 = 42,7 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{1Н} = M_{1Н} / W_{1Н} = 5683481982 / 135893333 = 41,82 \text{ МПа}$$

Напруження в стійках з боку вікна (максимальні) з боку дії максимального  $M_0$ , тобто  $M_{1В}$ :

$$\sigma_2 = Y / (2F_2 + M_{1В} / W_2) = 10 \cdot 106 / (2 \cdot 487500) + (5699343117 / 60937500) = 103,7 \text{ МПа}$$

Значення напружень у поперечках не перевищують, а в стійках перевищують допустиме напруження  $[\sigma] = 80 \text{ МПа}$ . Це означає необхідність збільшити перетин стійок.

Визначимо деформацію станини.

Деформація стійки:

$$\delta_2 = \frac{Y \cdot l_2}{2 \cdot E \cdot F_2}$$

$$\delta_2 = 10 \cdot 106 \cdot 6110 / (2 \cdot 2.1 \cdot 10^5 \cdot 487500) = 0,3 \text{ мм}$$

Деформація верхньої поперечки від згинального моменту

$$\delta_{1e} = \frac{l_1^2}{8 \cdot E \cdot I_{1e}} \cdot \left( \frac{Y \cdot l_1}{6} - M_{oe} \right)$$

$$\delta_{1В} = 24002 (10 \cdot 106 \cdot 2400 / 6 - 300656883) / (8 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 80588463199) = 0,164 \text{ мм}$$

Деформація нижньої поперечки від згинального моменту

$$\delta_{1н} = \frac{l_1^2}{8 \cdot E \cdot I_{1н}} \cdot \left( \frac{Y \cdot l_1}{6} - M_{он} \right)$$

$$\delta_{1н} = 24002 (10 \cdot 106 \cdot 2400 / 6 - 316518018) / (8 \cdot 2 \cdot 105 \cdot 76100266667) = 0,174 \text{ мм}$$

Деформація верхньої поперечки від сили, що перерізує

$$\delta_{3в} = k \cdot \frac{Y \cdot l_1}{4 \cdot G \cdot F_{1в}}$$

$$\delta_{3в} = 1,2 \cdot 10000000 \cdot 2400 / (4 \cdot 80000 \cdot 780000) = 0,115 \text{ мм}$$

Деформація верхньої поперечки від сили, що перерізує

$$\delta_{3н} = k \cdot \frac{Y \cdot l_1}{4 \cdot G \cdot F_{1н}}$$

$$\delta_{3н} = 1,2 \cdot 10000000 \cdot 2400 / (4 \cdot 80000 \cdot 728000) = 0,124 \text{ мм}$$

Сумарна деформація станини

$$\delta = \delta_{1в} + \delta_{1н} + \delta_{3в} + \delta_{3н} + \delta_2 = 0,164 + 0,174 + 0,115 + 0,124 + 0,3 = 0,877 \text{ мм}$$

Деформація станини не перевищує 1 мм.

Висновок: станина не витримує умови на міцність у стійках

ДОДАТОК А

ПИТАННЯ ДО МОДУЛЬНОГО (ЕКЗАМЕНАЦІЙНОГО)

КОНТРОЛЮ

МОДУЛЬ №1

Обладнання головної лінії прокатного стану

Контрольна робота №1

Питання для підготовки

Класифікація робочих клітей прокатних станів. Склад обладнання робочої кліті..

Вузли та механізми робочих клітей прокатних станів

Робочі валки прокатних станів. Класифікація. Конструктивні особливості.

Підшипники прокатних валків. Класифікація. Підшипники ковзання.

Гідродинамічні ПРТ. Принцип роботи, конструкція, переваги та недоліки.,

Конструкція підшипникових вузлів з підшипниками кочення.

Електромеханічні натискні механізми. Класифікація. Конструктивні особливості.

ГНУ. Конструктивні особливості, конструкції ГНУ зі слідкуючим штоком.

ГНУ з сервоклапаном.

Комбіновані натискні механізми

Механізми врівноваження валків.

Механізми виведення валків на рівень прокатки.

Механізми регулювання профілю міжвалкового зазору. Типи та принцип дії.

Механізми теплового профілювання та протизгину.

Механізми осьового зрушення та перехрещення осей валків

Станини робочих клітей, вибір параметрів станини

Проводки робочих клітей.

Контрольна робота №2

Питання для підготовки

Класифікація прокатних станів і робочих клітей ■

Склад і особливості головної лінії прокатного стана.

Шестеренні кліті. Класифікація. Конструктивні особливості.

Розрахунок шестеренної кліті на перекидання.

Шпинделі прокатних станів. Конструкція шпинделя на вкладишах ковзання.

Розрахунок шпинделя на вкладишах ковзання.

Шпинделі на підшипниках кочення й спеціальні.

Врівноваження шпинделів.

Механізми перевалки валків. Перевалка скобою й муфтою.

Рейковий механізм перевалки валків

Ланцюговий механізм перевалки валків

Гідравлічний механізм перевалки валків.

Механізм перевалки валків безперервної групи клітей.

МОДУЛЬ 2

Машини для розрізання прокату

Контрольна робота №3

Питання для підготовки

Машини для різання прокату, їхня класифікація.

Класифікація ножиць.

Ножиці з прямими ножами. Конструкція ножиць типу «United».

Розрахунок сили різання прямими ножами.

Гільйотинні ножиці. Конструкція гільйотинних ножиць з нижнім різом.

Розрахунок сили різання в похилих і шевронних ножах.

Летучі ножиці Їхні типи.

Барабанні летучі ножиці. Конструкція.

Розрахунок довжини листів, що відрізаються на барабанних летучих ножицях.

Конструкція кривошипно-ексцентрикових летучих ножиць.

Конструкція летучих ножиць з ковзним кривошипом.

Конструкція планетарних летучих ножиць.

13. Дискові ножиці. Конструкція дискових ножиць для обрізки крайок.

Конструкція багатопарних дискових ножиць.

Розрахунок енергосилових параметрів дискових ножиць.

Дискові пили. Типи пил. Конструкція полозкової пили.

## МОДУЛЬ 3

Адьюстажне обладнання прокатних станів

Контрольна робота №4

Питання для підготовки

Моталки гарячої штаби. Конструкція роликово-барабанної моталки.

Моталки з намотувально-натяжним барабаном. Конструкція моталки з пірамідальним валом.

Конструкція моталки з трьохсегментним барабаном.

Конструкція моталок сортового прокату з рухливим і нерухливим бунтом.

Маніпулятори й кантувачі виделкового типу для РБС та крупносортних станів. •

Кантувальні втулки.

Правильні машини. Класифікація. Порівняльна характеристика листопробних машин.

Машини для виправлення листів розтягненням.

Кантувачі в лініях обробки товстих листів.

Сортопробні машини. Конструкція рейкопробної машини.

Багатороликові пробні машини. Їхні параметри. Конструкція 17-роликової пробної машини.

Конструкція 7-роликової пробної машини ТЛС.

Конструкція 9-роликової пробної машини ТЛС.

Розмотувачі. Конструкція розмотувачів. Відгиначі.

Розрахунок механізму зміни діаметра барабана моталки з пірамідальним валом.

Комбіновані пробні машини.

Розрахунок сили виправлення на багатороликових машинах.

Рольганги з груповим приводом. Параметри й конструкція.

Маніпулятор і кантувач блюмінга.

Маніпулятори ТЛС.

МОДУЛЬ 4

Обладнання трубних цехів

Контрольна робота №5

Склад і взаємодія устаткування агрегату виробництва гарячекатаних труб з автомат-станом  
Склад і взаємодія устаткування агрегату виробництва гарячекатаних труб з безперервним розкатним станом

Склад і взаємодія устаткування агрегату виробництва гарячекатаних труб з пілігрим-станом

Конструктивні особливості робочих клітей редуційних і калібрувальних станів

Конструктивні особливості клітей ХПТР  
Конструктивні особливості робочої кліті стана ХПТ

Конструктивні особливості робочої кліті пілігрим- стана, особливості пілігрим-прокатки

Конструктивні особливості робочої кліті автомат- стана для розкатування труб

Конструктивні особливості робочої кліті трьохвалкового розкатного стана

Конструктивні особливості робочих клітей прошивних станів

Конструктивні особливості вихідної частини прошивного стану з осьовим відводом гільзи

Конструктивні особливості автомата, що задає, пілігрим-стану

Схеми волочіння суцільно тягнутих труб.

Склад і взаємодія устаткування агрегатів електричного зварювання прямошовних труб

Склад і взаємодія устаткування агрегату пічного зварювання труб

Склад і взаємодія устаткування агрегату виробництва труб зі спіральним швом

Склад і взаємодія устаткування вакуум-станів для прокатки тугоплавких матеріалів.

Конструктивні особливості робочої кліті вакуум - стану

Конструкція волочильного стану ланцюгового типу.

Конструкція стану для плакування поліметалів

Конструкція стану для прокатки поліметалів

Конструкція стану для прокатки порошкових матеріалів

## ДОДАТОК Б

### ПРИКЛАДИ ЗАВДАНЬ

Модуль 1

К.р.1

1 Вузли та механізми робочих клітей прокатних станів

2. Задача. Розрахувати на статичну міцність робочий валок кварто при наступних параметрах

$a = 3000 \text{ мм}; B = 2000 \text{ мм}; B_1 = 500 \text{ мм}; c_{\text{ш}} = 280 \text{ мм}; r_{\text{ш}} = 250 \text{ мм}$   
 $T = 400 \text{ кН}; M_{\text{ЮОкНм}}; B = 1500 \text{ мм}; [\sigma] = 150 \text{ МПа}$

3 Тест

К.р.2

Шпинделі на підшипниках кочення й спеціальні.

Тест.

■

Модуль 2

К.р.3

Пилы. Типы пил. Механизмы дисковых пил. Особенности механизмов привода пил.

Рассчитать отрезаемую длину листов, если соотношение диаметров верхнего и нижнего барабанов  $DB/Dn = 3/2$ ,  $V_{н} = 5$  м/с,  $co_{н} = 12c'''$

Тест.

Модуль 3

К.р.4

1 Моталки с намоточно-натяжным барабаном. Конструкция моталки с пирамидальным валом.

2 Рассчитать силу правки на третьем ролике при следующих данных  $\sigma = 250$  МПа, шаг роликов  $t = 400$  мм,  $h \times b = 30 \times 2500$  мм. Указать, для какого стана предназначена машина и сколько роликов она должна иметь

3 Тест.

Модуль 4

К.р.5

Склад обладнання прошивного стану.

Конструкція робочої кліти валкового стану холодної прокатки труб ХПТ.

Тест

### КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ ВІДПОВІДЕЙ

«Відмінно»- у роботі немає помилок, обидва питання розкриті у повному обсязі. Припускаються окремі неточності, які не впливають на правильність відповіді.

"Добре"- у роботі немає грубих помилок, вона виконана у повному обсязі, але є незначні помилки, які не мають принципового значення, або робота виконана без помилок, але одне з питань розкрито не в повному обсязі, але більше ніж на половину.

"Задовільно"- робота виконана не повному обсязі (питання розкриті більш ніж на половину), або в одному з питань припущено грубу помилку.

"Незадовільно"- робота виконана не повному обсязі (питання розкриті менш ніж на половину), та (або) з грубими помилками.

До грубих помилок відносяться:

У теоретичних питаннях - розкриття іншої конструкції, наведення невірної або

непрацездатної схеми машини чи механізму, невірне розкриття принципу дії механізмів та машин в цілому, конструкції машини або окремих вузлів;  
У розрахунках - використання невірних формул для розрахунків, грубі математичні помилки, невірний вибір констант, невірне побудування епюр сил та моментів.