

УДК 621.777.4

Косенко М. В.  
Нагорская И. В.  
Гулькова О. В.

## АНАЛИЗ НАЧАЛЬНОЙ СТАДИИ ВЫДАВЛИВАНИЯ ПОЛЫХ КОНИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ

Важнейшую роль в развитии авиа- и ракетостроения, автомобильной и других высокотехнологичных отраслей играет освоение новых наукоемких и ресурсосберегающих технологий обработки материалов. При этом холодное выдавливание является эффективным технологическим методом изготовления деталей и заготовок с высокой точностью размеров и качеством поверхностей. Несмотря на очевидные преимущества, применение этих процессов на производстве невелико из-за действующих на активный инструмент усилий.

Одним из наиболее эффективных направлений решения данной проблемы является поиск и освоение новых схем деформирования, которые дают возможность снизить давление и усилие формообразования деталей [1–3]. К таким процессам можно отнести схемы комбинированного выдавливания, которые также позволяют повысить сложность, как наружного, так и внутреннего профиля конических деталей.

Наиболее перспективным направлением изучения способа получения полых конических деталей является исследование и разработка процессов комбинированного (прямообратного) выдавливания. Так как именно комбинированный процесс позволяет значительно снизить удельные нагрузки на инструмент.

При анализе процесса выдавливания установлено, что управляющими параметрами процесса являются непосредственно углы наклона образующей матрицы и пуансона, положение заготовки в матрице и условия контактного трения.

Авторами статьи [4], предложено, чтобы форма и размеры предварительно оформленной заготовки выбирались, так чтобы она как можно выше располагалась и хорошо центрировалась в матрице. Поэтому соотношения размеров следует принимать исходя из рис. 1 в заштрихованной зоне, так как выше этой зоны возможна сквозная прошивка, а ниже уменьшается время действия комбинированного двустороннего течения металла.



Рис. 1. Выбор размеров для предварительно оформленной заготовки

Однако авторы статьи не учитывают влияние условий контактного трения в начале процесса. Область с наибольшим временем действия комбинированного выдавливания определялась экспериментальным путем, что требует теоретического обоснования полученных результатов.

Принимая во внимание, что углы наклона образующих матрицы и пуансона являются основополагающим фактором, так как приводят к изменению внешнего и внутреннего контура детали, то целью статьи является анализ влияния положения заготовки и условий контактного трения (поскольку ими можно варьировать в пределах одного соотношения углов) на силовой режим на начальной стадии выдавливания полых конических деталей.

Проанализировав начальную стадию выдавливания, установлено, что возможно протекание двух процессов: проталкивания и внедрения. Процесс проталкивания характеризуется втягиванием заготовки в полость матрицы по ее наклонным образующим; при этом происходят процессы прямого истечения металла за счет обжатия заготовки матрицей и обратного истечения металла в зазор между матрицей и пуансоном. Процесс внедрения характеризуется течением металла под пуансоном в прямом направлении за счет внедрения пуансона в заготовку конечной высоты и в обратном направлении за счет внедрения пуансона в заготовку.

Для уточнения границ протекания процессов проталкивания и внедрения построим математическую модель обоих случаев на основе метода верхней оценки (МВО). Основными критериями для выбора метода послужили его простота и возможность автоматизации. Схема процесса проталкивания с основными геометрическими параметрами и годограф скоростей представлен на рис. 2, а для процесса внедрения на рис. 3. Для определения величины скорости на годографе скоростей в аналитическом виде использовалась методика, основанная на описании вектора скорости уравнением прямой с заданным угловым коэффициентом. Предлагаемая методика позволила уменьшить затраты времени на нахождение компонентов скоростей, а так же обладает большой вариативностью к различным управляющим параметрам процесса, например таким как, угол конусности матрицы или пуансона.

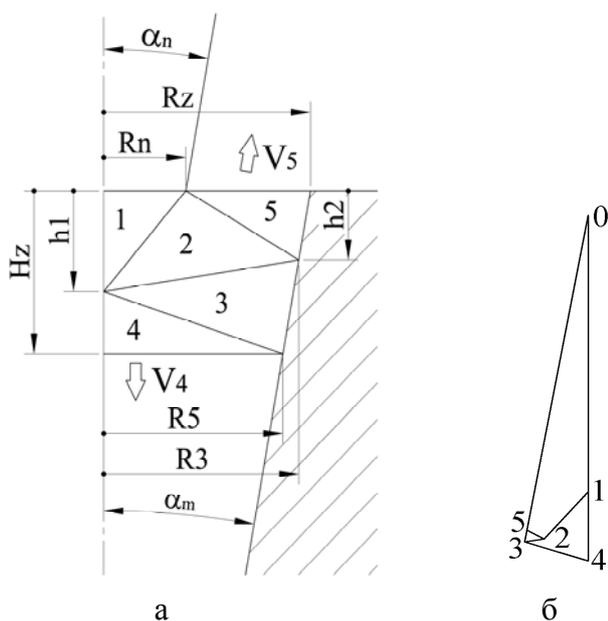


Рис. 2. Расчетная схема (а) и годограф скоростей (б) для определения силовых характеристик процесса проталкивания

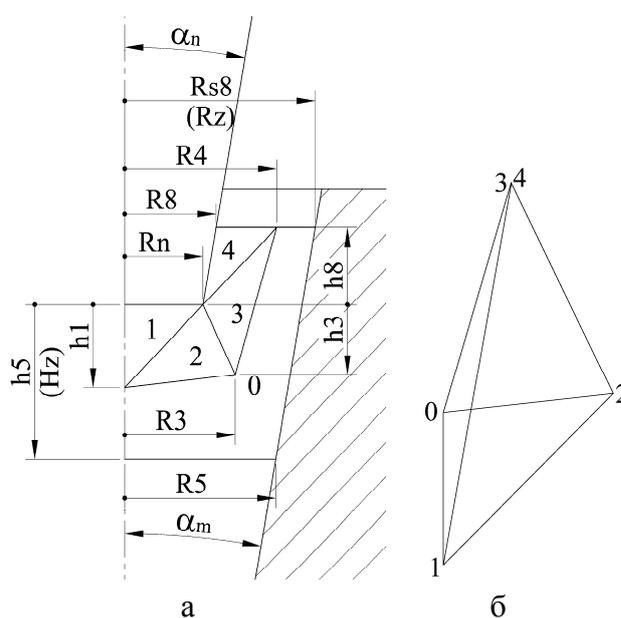


Рис. 3. Расчетная схема (а) и годограф скоростей (б) для определения силовых характеристик процесса внедрения

Определение приведенного давления для расчетных процессов при различных соотношениях  $H_z/R_z$ , которое характеризует относительные размеры заготовки, и  $R_n/R_z$ , которое характеризует относительный радиус пуансона, производилось пакетом прикладных программ MathCad.

Поскольку оба рассматриваемых процесса (рис. 2, 3) являются взаимно исключаяющимися, то для определения процесса, который проходит в данный момент, необходимо сравнить их силовые параметры. И тогда тот процесс, для которого необходимо меньше затрат энергии, и будет протекать в данный момент. Сравнительный анализ приведенного давления процессов проталкивания и внедрения при различных углах наклона образующей матрицы и пуансона, условий контактного трения, а так же соотношения размеров заготовки в форме усеченного конуса представлены на рис. 4, 5.

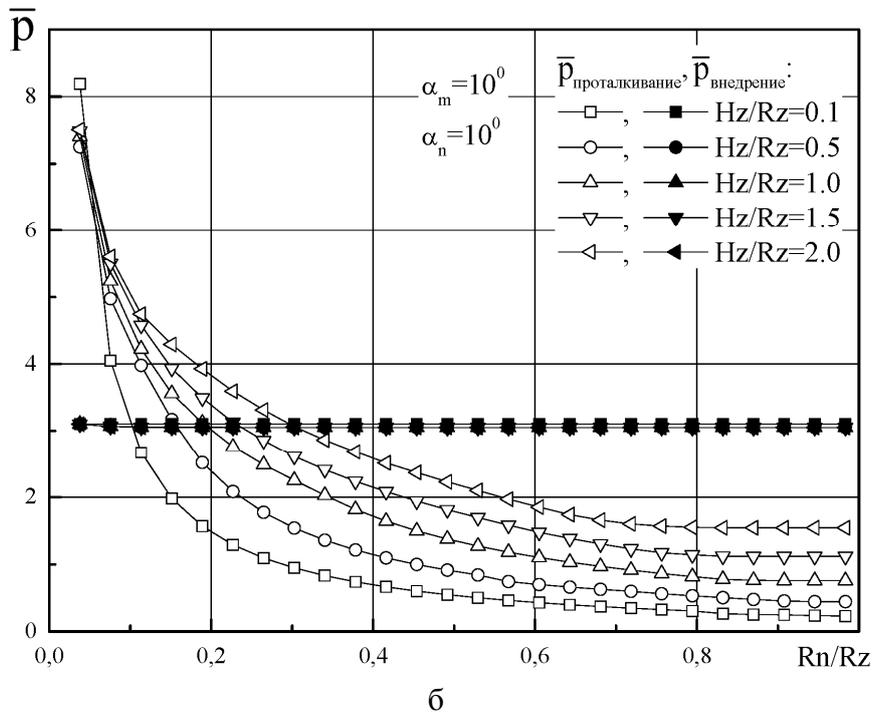
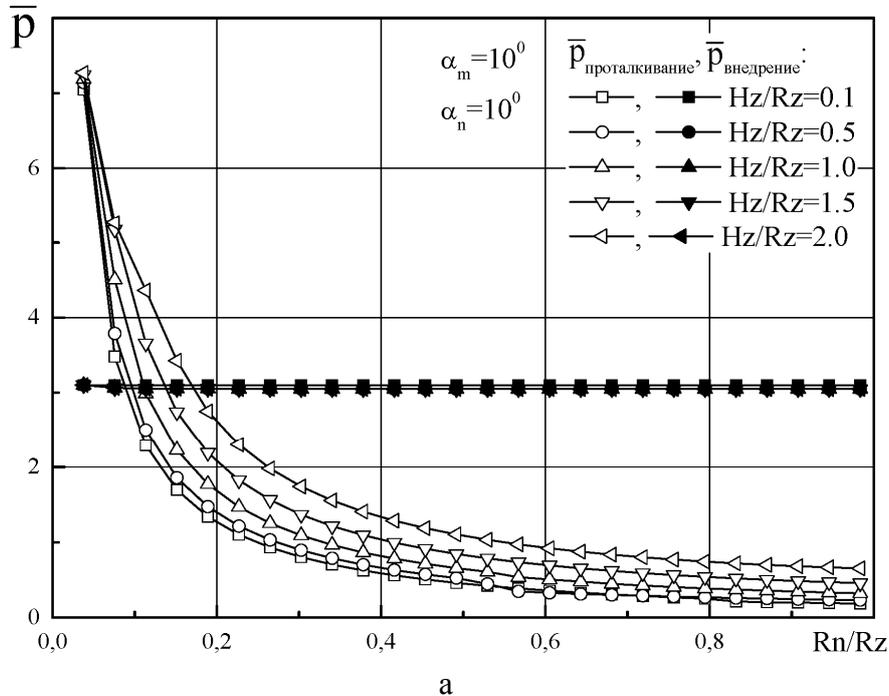
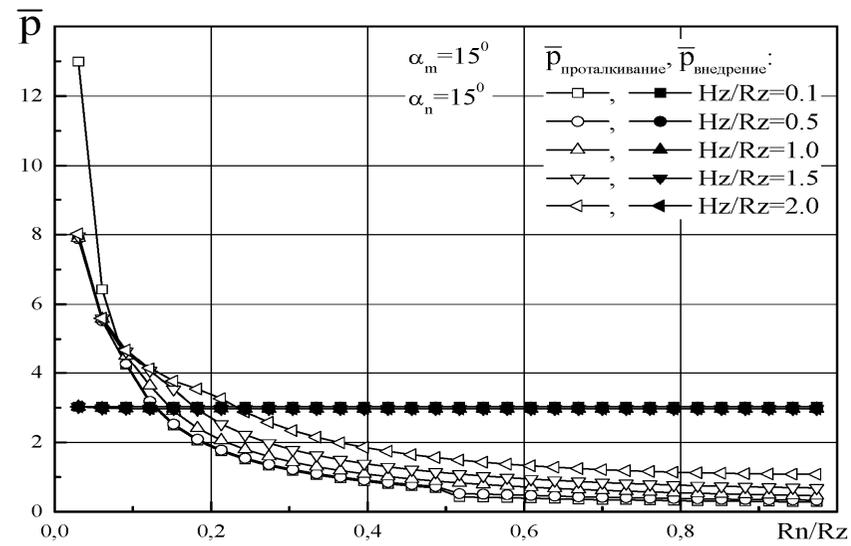
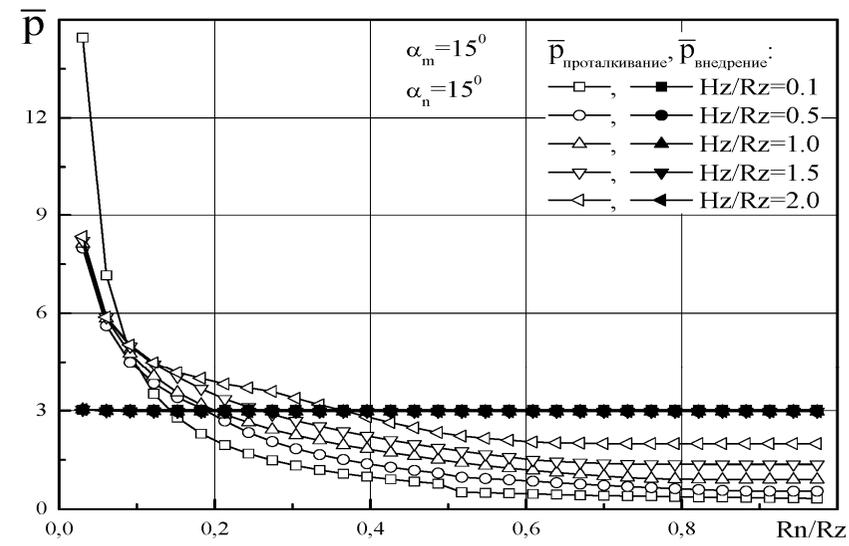


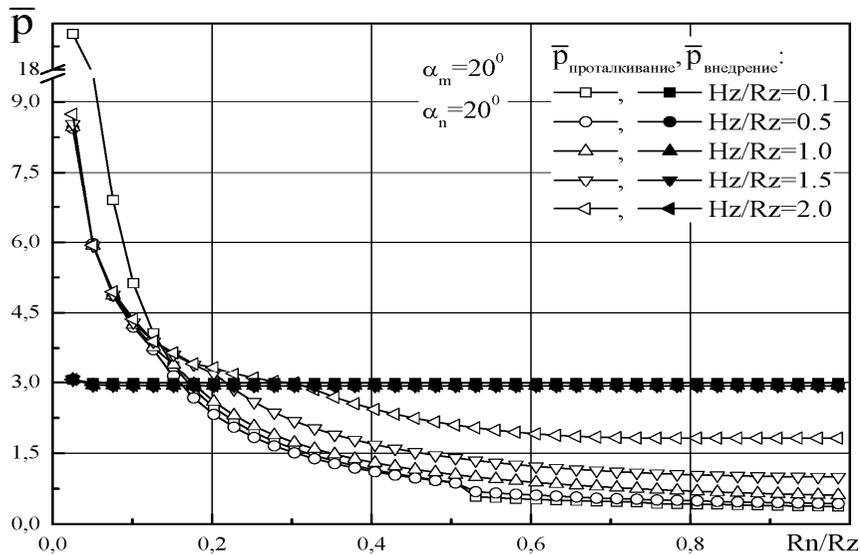
Рис. 4. Силовой режим для процессов внедрения и проталкивания при углах наклона образующей матрицы и пуансона, равных  $10^0$ , и условиях контактного трения  $\mu_s = 0,08$  (а) и  $\mu_s = 0,5$  (б)



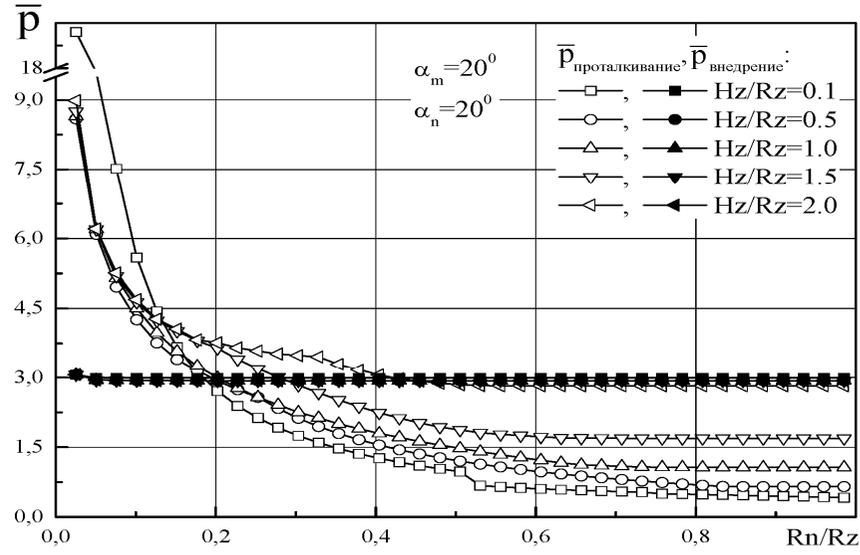
а



б



в



г

Рис. 5. Силовой режим для процессов внедрения и проталкивания при углах наклона образующей матрицы и пуансона  $15^\circ$  (а, б) и  $20^\circ$  (в, г) и условиях контактного трения  $\mu_s = 0,08$  (а, в) и  $\mu_s = 0,5$  (б, г)

Анализ полученных распределений показал, что при угле наклона образующей матрицы и пуансона, равном  $10^\circ$ , коэффициентах трения на матрице и пуансоне, равных 0,08, относительных размерах заготовки  $H_z/R_z$ , изменяющихся от 0,1 до 2,0 и относительном радиусе пуансона  $R_n/R_z$ , находящимся в диапазоне от 0,04 до 0,2, преобладающим будет процесс внедрения. Значение приведенного давления равно 3,1 единицы, так как энергетические затраты на его осуществление значительно меньше, чем затраты необходимые для проведения процесса проталкивания. Значение приведенного давления находится в пределах от 7,2 до 3,2 единиц (рис. 4, а), при этом меньшему значению  $R_n/R_z$  соответствует меньшее значение  $H_z/R_z$ . С увеличением значений коэффициентов контактного трения с 0,08 до 0,5 заметно и увеличение зоны, характеризующей процесс внедрения на начальной стадии, соответствующий увеличению диапазона значений относительного радиуса пуансона  $R_n/R_z$  до 0,35 (рис. 4, б). Изменение угла наклона образующей матрицы и пуансона от  $10^\circ$  до  $20^\circ$  с шагом  $5^\circ$  привело к увеличению области процесса внедрения от  $R_n/R_z = 0,25$  для  $15^\circ$  до  $R_n/R_z = 0,32$  для  $20^\circ$  при коэффициенте трения, равном 0,08 (рис. 5, а, в). Соответствующее увеличение области внедрения наблюдается и при коэффициенте трения, равном 0,5 (рис. 5, б, г), в диапазоне от  $R_n/R_z = 0,4$  для  $15^\circ$  до  $R_n/R_z = 0,45$  для  $20^\circ$ .

### ВЫВОДЫ

1. Установлено, что в начальный момент выдавливания полых конических деталей может осуществляться либо процесс проталкивания, либо процесс внедрения.
2. Установлено, что в исследуемой области, характеризующейся относительными размерами заготовки  $H_z/R_z$  в диапазоне от 0,1 до 2,0, процесс внедрения будет наблюдаться в области, которая соответствует диапазону относительного радиуса пуансона  $R_n/R_z$  от 0,04 до 0,2 для угла наклона образующей матрицы и пуансона, равного  $10^\circ$ , коэффициентах трения, равных 0,08, при малых значениях  $R_n/R_z$ , соответствующих малым значениям  $H_z/R_z$ . С увеличением коэффициента трения на деформирующем инструменте и угла наклона образующей матрицы и пуансона соответственно и увеличивается область существования процесса внедрения до  $R_n/R_z = 0,45$  для  $20^\circ$  при  $\mu_s = 0,5$  на начальной стадии процесса выдавливания полых конических деталей.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Косенко М. В. Выдавливание полых конических деталей / М. В. Косенко, П. Абхари // Удосконалення процесів та обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні : тематич. зб. наук. пр. – Краматорськ : ДДМА, 2004. – С. 350–352.
2. Алиев И. С. Интенсификация технологических процессов выдавливания полых деталей / И. С. Алиев, В. П. Еремин // Совершенствование процессов и машин обработки давлением : сб-к научн. трудов. – К. : УМК ВО. – 1988. – С. 9–18.
3. Овчинников А. Г. Основы теории штамповки выдавливанием на прессах / А. Г. Овчинников. – М. : Машиностроение, 1983. – 200 с.
4. Даммер А. Э. Совершенствование процесса выдавливания полых деталей на кривошипных прессах / А. Э. Даммер, Е. В. Эрк, В. Г. Кононов // Кузнечно-штамповочное производство. – 1977. – № 2. – С. 10–11.

Косенко М. В. – ассистент кафедры ОМД ДГМА;  
Нагорская И. В. – магистр ДГМА;  
Гулькова О. В. – магистр ДГМА.

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск.

E-mail: omd@dgma.donetsk.ua