

т.е. периодов до (τ_1) и после ($\tau_2 = \tau_1 + \Delta\tau > \tau_1$) принятия рископонижающих мер, в частности применения магнитного очистного устройства с эффективностью работы ψ .

Значения τ_2/τ_1 и $\Delta\tau/\tau_1$, а, следовательно, и величина финансового эквивалента снижения риска ΔR (в течение годового ресурса времени $\tau_{год}$), устанавливаемая в соответствии с найденным выражением:

$$\Delta R = \left[U_1 - U_2 (1 - \psi)^{0,83} \right] \cdot N_{отр} \cdot \frac{\tau_{год}}{\tau_1}, \quad (6)$$

существенно возрастают при повышенных значениях ψ , где: U_1 и U_2 – ущерб (в основном, связанный с ремонтом) до и после принятия рископонижающих мер.

При этом финансовый эквивалент снижения риска для множества энергообъектов $N_{отр}$ оказывается на 1,5-3 порядка выше самих затрат, что стимулирует разработку и применение именно высокоэффективных очистных аппаратов, из которых действительно более предпочтительными являются магнитные, поскольку ферропримеси обладают ферромагнитными свойствами.

Работа выполнена при поддержке Гранта Президента Российской Федерации для молодых ученых – кандидатов наук и их научных руководителей (МК-115.2007.08).

Выводы

Изучен характер дистанционных зависимостей индукции, ее градиента и силового фактора между противостоящими магнитными элементами сепаратора с плоскими активными стержнями. Найденные функциональные частные и обобщающие зависимости позволили обнаружить автомодельные (провальные) участки силового фактора.

Литература

1. Сандуляк А.В., Сандуляк А.А., Ершова В.А. Жалюзийно-магнитный сепаратор для очистки газодисперсных смесей. – Экология и промышленность России, 2006, с.26-29.
2. Сандуляк А.В., Сандуляк А.А., Нюнин Б.Н. Магнитная очистка сырья для производства пластмассовых изделий. – Тара и упаковка, 2004, №4, с.50-51.

Исследование кинематики процесса радиального выдавливания с «бегущим» очагом деформации

д.т.н., проф. Калпин Ю.Г., к.т.н., доц. Петров П.А., Петров М.А.
МГТУ «МАМИ»

Изделия типа «стержень с утолщением» могут быть получены обработкой давлением в равной степени как в условиях, соответствующих холодной деформации, так и в условиях полугорячей либо горячей деформации. Использование поперечного выдавливания в технологии штамповки позволяет снизить энергозатраты и устранить возможность разрушения в зоне перехода от утолщения (фланца) к стержневой части изделия. Эффективность технологических процессов поперечного и комбинированного выдавливания обеспечивается, прежде всего, за счет значительного сокращения расхода металла и повышения КИМ (в 1,5–2,5 раза) и снижения трудоемкости последующей механической обработки резанием. Однако, помимо совершенствования технологии набора утолщения, остается актуальным вопрос о способе увеличения деформируемой части стержневой заготовки, а, следовательно, и увеличения конечного соотношения L/D . В статье приводятся результаты экспериментальных исследований процесса радиального выдавливания с «бегущим» очагом деформации изделия типа «стержень с утолщением». Показана принципиальная возможность получения изделий типа «стержень с утолщением» за счет комбинирования в одном инструменте двух технологических схем: высадку и поперечное (радиальное) выдавливание. Выполненные исследования позволили получить количественную оценку изменения высоты утолщения в зависимости от соотношения длины высаживаемой части изделия к ее диаметру, а также в зависимости от композиции используемой технологической смазки. Полученные данные могут быть

использованы при проведении численного моделирования процесса радиального выдавливания с «бегущим» очагом деформации.

В общем и специальном машиностроении широко применяются детали стержневой формы с утолщением. Примерами таких деталей являются деталь «Вал-колесо», «Вал-шестерня трансмиссии», «Вал», «Палец шаровой», «Клапан» и др. Заготовки для последующей механической обработки для перечисленных деталей могут быть получены методом объемной штамповки (холодной либо горячей).

К основным способам получения детали типа «стержень с утолщением» могут быть отнесены: 1) закрытая высадка; 2) высадка в коническую полость пуансона; 3) высадка с редуцированием; 4) поперечное радиальное выдавливание; 5) высадка в подпружиненном пуансоне; 6) высадка в подпружиненной матрице; в зависимости от формы пуансона и размеров заготовки набор утолщения может осуществляться либо за счет высадки, либо за счет поперечного выдавливания; 7) электровысадка. При этом технологический процесс штамповки может быть выполнен на: 1) КГШП; 2) горизонтально-ковочной машине; 3) электровысадочной машине и т.д. Основным условием успешного выполнения перечисленных выше операций является соблюдение на каждом переходе штамповки соотношения $L_{\text{выс}}/D_0 \leq 3$, где: $L_{\text{выс}}$ – длина высаживаемой части стержневой заготовки; D_0 – диаметр исходной заготовки.

Повышение эффективности традиционных технологических процессов штамповки изделий типа «стержень с утолщением» является актуальной задачей, требующей рассмотрения вопросов, связанных с сокращением числа операций штамповки, и, соответственно, повышением производительности труда, улучшением качества и эксплуатационных свойств изделия.

В свою очередь технологические возможности получения деталей типа «стержень с утолщением» могут быть расширены за счет применения поперечного выдавливания, в частности поперечного радиального выдавливания. При поперечном радиальном выдавливании металл выдавливается в круговую полость. В результате на исходной заготовке формируется утолщение. Особенностью технологии поперечного выдавливания является возможность активного регулирования деформационных и силовых параметров процесса посредством изменения кинематики движения деформирующего инструмента. Поперечное выдавливание не имеет недостатка, характерного для высадки, а именно потери продольной устойчивости. Однако металл при формообразовании находится в условиях жесткой схемы напряженного состояния, что при определенных условиях может приводить к образованию трещин на боковой поверхности утолщения.

В данной работе исследуется процесс радиального выдавливания утолщений за счет формирования на стержневой заготовке «бегущего» очага деформации. Подобная схема формообразования была впервые рассмотрена Billigmann и Feldmann в 1973г., а позднее Шварцманом и Копыловым-Хейфецом [1] применительно для двухударного холодновысадочного автомата с «плавающим» (подпружиненным) пуансоном. Однако в работе отсутствуют какие-либо данные об исследовании влияния на течение материала при деформировании таких факторов, как технологическая смазка, геометрия формообразующей полости матрицы, скорость перемещения пуансона и др. Кроме того, конструкция пуансона, предложенная авторами работы [1], достаточно сложна и не обеспечивает его высокую стойкость. При увеличении в плане размера заготовки стойкость отдельных элементов подпружиненного пуансона будет снижаться. Это подтверждается данными работы [1].

Авторами работы [2] предложена упрощенная конструкция инструмента, позволяющего формировать утолщения на стержневых заготовках. При этом соотношение $L_{\text{выс}}/D_0$ в начале процесса деформирования не должно превышать трех. Однако в процессе деформирования это соотношение увеличивается. Это приводит к тому, что к концу процесса деформирования соотношение $L_{\text{выс}}/D_0$ превышает значение, при котором наблюдается потеря продольной устойчивости. Процесс выполняется за один ход технологической машины.

На рисунке 1 представлена принципиальная схема лабораторного инструмента для реа-

лизации изучаемого процесса.

На первой стадии процесса пуансон перемещается вниз под действием прикладываемой силы P_0 (см. рис. 1). Это приводит к деформации свободной части заготовки. Вторая стадия процесса начинается тогда, когда деформируемый материал заготовки начинает касаться формообразующей поверхности матрицы. В этот момент пружина начинается сжиматься, и матрица перемещается вниз. Перемещение матрицы вниз приводит к увеличению свободной (недеформированной) части заготовки.

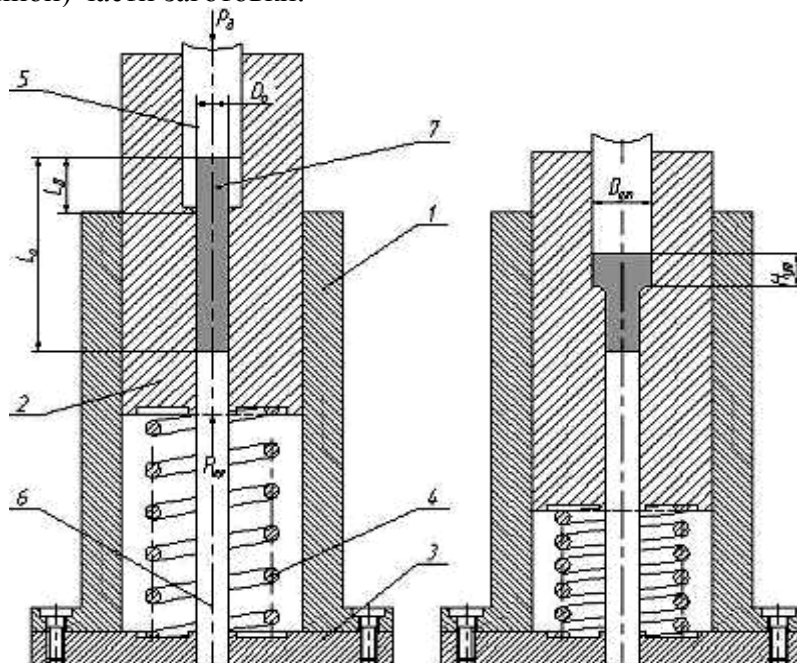


Рис. 1. Схема оснастки: 1-контейнер, 2-матрица, 3-основание, 4-упругий элемент (пружина), 5-пуансон, 6-выталкиватель, 7-заготовка.

Экспериментальное исследование проводили на образцах алюминиевого сплава АД1, диаметром 20 мм и в исходном положении с различной длиной высаживаемой части (L_d). Размеры образцов до и после деформирования с помощью разработанной оснастки приведены в таблице 1 (L_0 – длина исходной заготовки; $H_{ут}$ – высота утолщения после деформирования; $L_{дк}$ – длина деформированной части заготовки, соответствующая $H_{ут}$ и D_0 и рассчитанная с учетом постоянства объема).

Таблица 1

№ опыта	Условия эксперимента	Размеры образцов		
		до деформации	после деформации	
		$L_0/L_d/D_0$, мм	$H_{ут}$, мм	Соотношение $L_{дк}/D_0$
1	$L_d/D_0 = 1,15$	119,5/23/20	9,8	1,15
	Ход пуансона: 13,2 мм			
2	$L_d/D_0 = 1,05$	129,6/21,0/20	11,9	1,23
	Ход пуансона: 10,5 мм			
3	$L_d/D_0 = 1,05$	129,6/21,0/20	9,15	1,34
	Ход пуансона: 13,15 мм			
4	$L_d/D_0 = 1,05$	129,6/21,0/20	8,9	1,67
	Ход пуансона: 19,36 мм			
5	$L_d/D_0 = 1,05$	129,6/21,0/20	14,3	2,44
	Ход пуансона: 30,07 мм			
6	$L_d/D_0 = 1,05$	129,6/21,0/20	15	2,77
	Ход пуансона: 34,13 мм			

На рис. 2 представлен график зависимости перемещения матрицы от перемещения пу-

ансона. Данная зависимость получена на основе проведения экспериментального исследования с использованием инструмента, представленного на рис. 1.

На рис. 3 представлена кинематика формирования утолщения на стержневой заготовке. На рис. 3 а представлен график изменения высоты утолщения в зависимости от перемещения пуансона; на рисунке 3 б – изменения относительного размера утолщения в зависимости от перемещения пуансона.

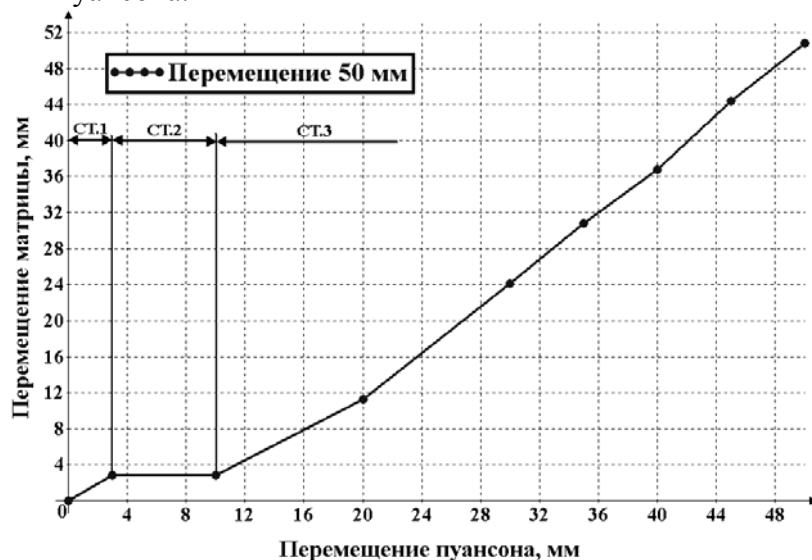
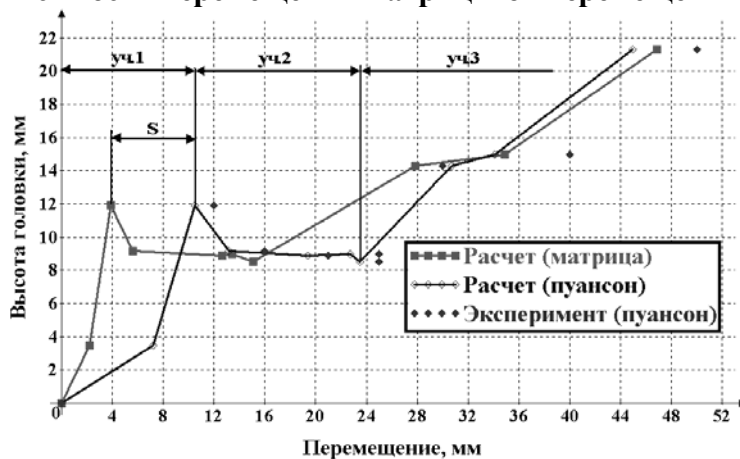
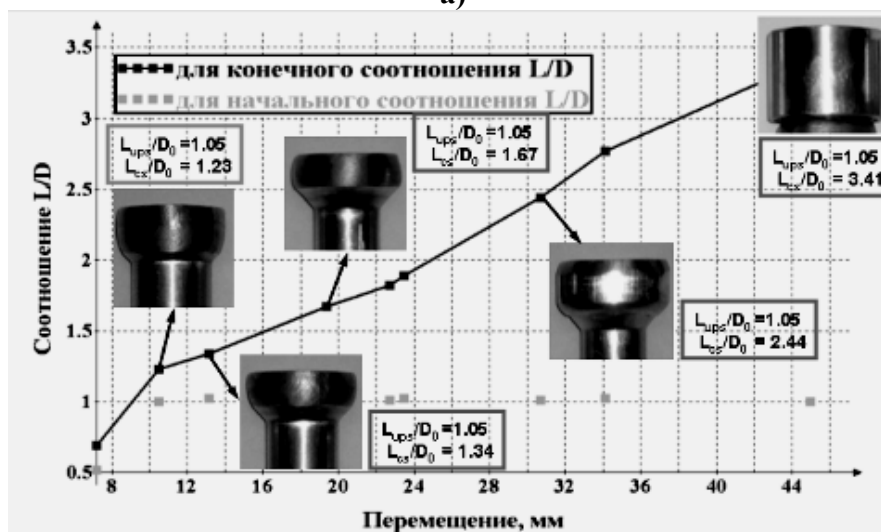


Рис. 2. Зависимость перемещения матрицы от перемещения пуансона.



а)



б)

Рис. 3. Кинематика формирования утолщения.

На графике (рис. 3 а) могут быть условно выделены три участка: участок 1 (уч. 1), участок 2 (уч. 2); участок 3 (уч. 3).

На первом участке (уч. 1) происходит деформирование заготовки за счет ее высадки. На втором участке (уч. 2) матрица начинает смещаться вниз и при этом увеличивается диаметр головки за счет уменьшения ее высоты. И, наконец, на третьем участке диаметр головки достигает максимального значения, т.е. становится равным диаметру канала в матрице, и начинается увеличение высоты головки. На протяжении всего третьего участка матрица продолжает смещаться вниз в направлении перемещения пуансона (рис. 3 б, уч. 3, начиная с перемещения пуансона, равного 24 мм), высота головки растет.


При увеличении хода пуансона силы контактного трения, возникающего между стенками контейнера матрицы и боковой поверхностью заготовки, становятся значительными, поэтому представляет интерес изучение контактного трения в зависимости и от композиции технологической смазки.

Для эксперимента были выбраны смазки: 1) водная мыльная эмульсия; 2) индустриальное масло (И20А); 3) масляная коллоидно-графитовая суспензия; 4) водная коллоидно-графитовая суспензия (ТВ-6). Нанесение смазок осуществляли методом погружения. Материалы образцов: алюминиевый сплав АД1.

Результаты исследования приведены в таблице 2 только для двух смазок.

Таблица 2.

Исследование контактного трения (ход пуансона 35 мм)

Образец (после извлечения)			
Параметры			
1.	L_0/D_0 (нач.)	1,05	1,05
2.	L_0/D_0 (кон.)	2,77	2,76
3.	Ход пуансона	34,13	35
4.	Ход матрицы	34,9	29,1
5.	Высота головки	15	15
6.	Смазка	И20А	ТВ-6

При прочих равных параметрах, наименьшая сила радиального выдавливания достигается при использовании смазки ТВ-6. Например, при соотношении L/D равном 2,8 сила штамповки при использовании смазки ТВ-6 составила 0,0935 МН (9,35 тс), а при использовании индустриального масла И20А – 0,13 МН (13 тс).

Выводы

Графики, представленные на рис. 2 и 3, могут быть использованы для корректировки результатов численного моделирования исследуемого процесса;

Исследуемый процесс обеспечивает получение полуфабрикатов с отношением $L_0/D_0 > 3$ за один ход технологической машины.

Литература

1. Шварцман Я.О., Копылов-Хейфец С.И. Пути улучшения технологических параметров холодной высадки и объемной штамповки. // Кузнечно-штамповочное производство. 1977, №6, с.36-38.
2. Калпин Ю.Г., Петров П.А., Петров М.А. Разработка нового способа получения детали типа «стержень с утолщением». // Известия ТулГУ. Серия. Механика деформируемого твердого

тела и обработка металлов давлением. Тула: ТулГУ, вып.2, 2005, с.50-56.

Формирование технологического процесса изготовления колец подшипников

к.т.н., проф. Колтунов И.И.
МГТУ «МAM»

Описана методика оптимизации технологического процесса изготовления колец подшипников. Разработана математическая модель, позволяющая на этапе проектирования технологического процесса выявить оптимальные сочетания основных параметров изделия, технологических и эксплуатационных факторов.

Актуальной задачей современного машиностроения является создание и проектирование машин нового целевого назначения, позволяющих повысить точность обработки при выполнении заданных требований по производительности и затратам на производство. Машиностроительные детали с внутренними криволинейными поверхностями используются в таких областях промышленности, как авиационная, энергетическая, автомобильная, металлургическая, станкостроительная, легкая и пищевая. Криволинейной поверхностью выполнены наиболее ответственные элементы механизмов и сложных деталей, которые определяют ее служебное назначение и ресурс работы [1, 2]. Это характерно для таких важных деталей и узлов машиностроения, как подшипники качения.

Проектирование подшипника качения подразумевает проведение большого количества инженерных расчетов по определению его эксплуатационных показателей, таких как статическая и динамическая грузоподъемность, быстроходность и так далее, зависящих в основном от формы контакта дорожек качения колец и роликов (шариков) [3, 4]. Но даже когда основные параметры и показатели будут рассчитаны, нельзя гарантировать их обеспечение, пока не будет разработан технологический процесс изготовления основных элементов подшипника. По конструкции подшипник качения представляет собой сложную механическую систему, состоящую из наружного и внутреннего колец, сепаратора, тел качения, уплотнения и других элементов. От точности и качества изготовления каждого из элементов конструкции зависит точность и качество подшипника в целом. Ниже на примере наружного кольца подшипника описана методология оптимизации технологического процесса его изготовления.

В общем случае последовательность формирования технологического процесса изготовления наружного кольца подшипника может быть представлена в виде объединения четырех этапов – заготовительного, механической и абразивной обработки, отделочного [5]. Кольца подшипников качения являются наиболее металлоемкими и трудоемкими деталями в подшипниковом производстве. Затраты на металл составляют в среднем более 35% от суммы затрат на изготовление колец. Поэтому усовершенствование методов и технологий изготовления заготовок колец подшипников направлено на мероприятия по экономии металла за счет повышения качества заготовок и снижения за счет этого себестоимости производства колец. Эксплуатационные требования, предъявляемые к подшипникам качения, определяют выбор исходного металла для их изготовления. Кольца подшипников должны обладать высоким сопротивлением пластическим деформациям в условиях контактных напряжений, высокой контактной выносливостью и износостойкостью. Этим требованиям удовлетворяют хромистые стали марок ШХ15 и ШХ15СГ, цементируемые легированные стали марок 18ХГТ, 15НМ, 20Х2НЧА, 203ХФ, среднеуглеродистые стали ШХ10, 65Г, 55СМА, 50ХН, нержавеющие стали марок Х18, 0Х18Н9 и 1Х18Н9Т, а также теплоустойчивые стали и сплавы ЭИ161, ЭИ347, ЭИ944, ЭИ94Е и др.

В зависимости от методов изготовления и габаритных размеров колец применяют металл в виде холоднотянутых и горячекатаных отожженных прутков круглого сечения, горячекатаного неотожженного проката круглого и квадратного сечений, отожженного полосового проката, а также холоднокатаных и горячекатаных обточенных труб. При изготовлении