

**8th International Scientific Conference  
Science and Society 2015**

- [9] Perelygin Yu. P., Kireev S. Yu., Yagnichenko N. V. Zinc electrodeposition from acidulous lactate electrolyte// Electroplating and Surface processing. -2011. -Vol. XIX. - № 3. -P. 30-32
- [10] Kireev S. Yu., Perelygin Yu. P. On the microhardness of electroplated coatings// New chemical Technologies, protection and special covering: production and application (VK-83-115) – Penza, 2015
- [11] Voevodin A. A., Spasskiy S. E., Yerokhin A. L. Defining microhardness of light coating with account for its thickness and hardness of substrate// Plant Laboratory. – M.: Machine Building. -№10. –Vol. 57. -1991. P. 45-46

**Korobova N.V., Dmitriev A.M., Aksenenko A.Yu.**

**EFFECT OF TOOL DIMENSIONS  
AND FRICTION CONDITIONS ON  
THE COMBINED EXTRUSION  
PROCESS LOAD PARAMETERS**

**Korobova N.V. Dr. of Sciences, MSTU “STANKIN”,  
Moscow, Russia**

**Dmitriev A.M. Dr. of Sciences, corresponding member  
of RAS, MSTU “STANKIN”, Moscow, Russia**

**Aksenenko A.Yu. engineer, MSTU “STANKIN”,  
Moscow, Russia**

**Abstract**

Influence of tool dimensions and friction conditions on load of combined extrusion process for producing hollow cup-rod part from hollow cylindrical workpiece was investigated in this article. Matrix of experiment which combines physical and numerical simulation was applied. The analysis of mathematical model allowed establishing the dependence between process factors and load value at the end of punch stroke under combined extrusion into "sliding" die.

**8th International Scientific Conference  
Science and Society 2015**

**Keywords:** combined extrusion, cold volume stamping, cup formed part, sliding die, active directed friction forces, reduction of stamping force, metal flow control.

**ВВЕДЕНИЕ**

Совершенствование заготовительного производства требует постоянного развития и разработки новых, прогрессивных технологий получения полуфабрикатов для изготовления широкой номенклатуры деталей [6, 10].

Значительными преимуществами при получении осесимметричных полуфабрикатов в заготовительном производстве обладают технологии холодной объемной штамповки (ХОШ), обеспечивающие максимальную точность поковок и высокий коэффициент использования металла (КИМ) [4]. Существенный объем штампуемых деталей - детали типа стакан с постоянной и переменной толщиной стенки. Получение деталей с различными формами внутренней и наружной поверхности ведется в несколько переходов прямого и обратного выдавливания [5]. При изготовления полых осесимметричных поковок с переменной толщиной стенки оправдано применение комбинированного выдавливания из полых и сплошных заготовок [2, 8]. Это позволяет обеспечить снижение трудозатрат за счет минимизации переходов штамповки и исключения промежуточной термообработки, а также рационализировать энергоемкость на производстве при уменьшении силы выдавливания и сокращении количества используемого оборудования.

Холодное выдавливание характеризуется возникновением высоких удельных сил на инструменте вследствие упрочнения материала заготовки при деформировании [5]. Процесс накопления деформаций по ходу выдавливания в объеме заготовки не только способствует получению изделий с заданными механическими характеристиками, но и ограничивает возможность изготовления детали за минимальное количество переходов штамповки без её разрушения или зарождения в ней дефектов [4, 7].

Экспериментальные исследования показали, что комбинированное выдавливание характеризуется нестационарным истечением материала в каналы штампа, эволюцией формы и размеров очага (очагов) пластической деформации (ОПД) по ходу выдавливания, неопределенностью получаемых размеров элементов детали, а также неустойчивостью силового режима выдавливания [8, 1].

**8th International Scientific Conference  
Science and Society 2015**

Среди наиболее эффективных способов снижения удельных сил на инструменте является применение активно направленных сил контактного трения [11]. Использование активного действия сил контактного трения в производственных процессах требует применения специализированных гидравлических прессов, имеющих отдельные приводы матрицы, пуансона и выталкивателя [1, 3]. В ряде случаев возникновение активно направленных сил контактного трения происходит при использовании незакрепленной матрицы, имеющей возможность свободно перемещаться в направлении истечения металла, так называемой «плавающей» матрицы [8]. Перемещение матрицы происходит за счет сил трения на сформированном участке заготовки, скорость перемещения которого выше скорости течения металла в очаге пластической деформации (ОПД). Тем самым разность скоростей движения инструмента и течения металла в ОПД изменяет направление действия сил трения на поверхности инструмент-заготовка и способствует интенсификации процесса выдавливания.

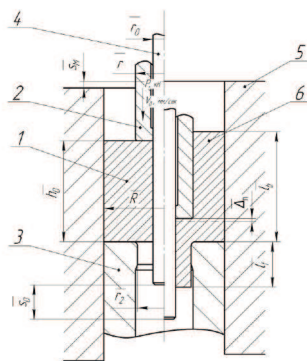
В настоящей работе рассматривается схема комбинированного выдавливания в плавающей матрице с противонаправленным течением металла в коаксиальные каналы, представленная на рис.1. Выдавливание изделия из полый заготовки по предложенной схеме реализуется следующим образом. Полая цилиндрическая заготовка 1 наружным радиусом  $R$ , внутренним радиусом  $r_0$  и высотой  $h_0$  помещается на контрпуансон 3 в матрицу 5. В осевое отверстие заготовки устанавливается оправка 4, радиусом  $r_0$  с отрицательным допуском. Оправка выполнена в виде иглы, которая располагается на оси пуансона 2 и обладает возможностью перемещаться в полости пуансона. При движении пуансона 2 вниз со скоростью  $V_0$  происходит вытеснение металла в зазор между пуансоном и матрицей (истечение в обратном направлении) и в зазор образованный контрпуансоном и оправкой (истечение в прямом направлении). Происходит оформление наружной и внутренней поверхностей полого изделия. Процесс выдавливания прекращается при достижении заданного значения технологических параметров или исчерпания запаса пластичности заготовки. В ходе выдавливания матрица, увлекаемая движением стенки стакана, движется вверх. Величина подъема матрицы  $L_m$  зависит от условий трения, контактного давления и скорости истечения металла.

Ввиду неопределенности течения материала заготовки в

**8th International Scientific Conference  
Science and Society 2015**

каналы штампа по ходу движения пуансона, происходит изменение схематизации очагов пластической деформации, что в свою очередь сказывается на силе выдавливания. Изменение схематизации по ходу выдавливания значительно усложняет аналитический расчет сил выдавливания в зависимости от параметров процесса.

Целью исследования данной работы является установления влияния геометрических размеров и условий трения на силу при комбинированном выдавливании из полной заготовки фиксированной высоты в плавающей матрице. Задачами данного исследования является получение математической модели относительной удельной силы выдавливания от геометрических размеров инструмента и условий трения и анализ полученных с помощью этой модели зависимостей.



**Рис.1. Схема комбинированного выдавливания в плавающей матрице**

$h_0$  - начальная высота заготовки,  $R$  - радиус матрицы,  
 $r_2$  - радиус стрежня,  $r_0$  - радиус оправки,  
 $S_m$  - величина перемещения матрицы,  $s_0$  - величина перемещения оправки,  $l_b$  - высота стакана,  $l_f$  - длина стрежня,  
 $\Delta_n$  - величина упругого восстановления после разгрузки

**8th International Scientific Conference  
Science and Society 2015**

**МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ**

В исследовании был использован метод многофакторного планирования эксперимента [12]. В качестве варьируемых факторов были выбраны  $X_1$  - относительный радиус матрицы  $R$ ;  $X_2$  - коэффициент трения  $m$ ;  $X_3$  - относительный радиус стержня  $r_2$ ;  $X_4$  - относительный радиус оправки  $r_0$ . Каждый фактор варьировался на трех уровнях. В качестве функции отклика выбрана  $y$  - относительная удельная

$$q = \frac{P}{f_n \cdot \sigma_s}$$

сила выдавливания, где  $f_n$  - площадь пуансона,  $P$  - сила выдавливания, а  $\sigma_s$  - напряжение текучести материала заготовки. Факторы и уровни их варьирования приведены в табл. 1. Выбор уровней варьирования коэффициента трения ( $F_2$ ) обусловлен результатами экспериментов, по определению коэффициента трения методом осадки кольца [13]. Было определено, что для смазки приборной Циатим Ц-201 коэффициент трения лежит в диапазоне  $\tau=0,161^{\wedge}0,314$ , для пасты смазочной экспериментальной (ПСЭ) состоящей из Циатима и 60% порошка  $MoS_2$   $m=0,132; 0,261$ . Отсутствие смазочного материала соответствует условиям трения с коэффициентом  $m=0,326; 0,488$ .

**Таблица 1. Факторы и уровни их варьирования**

Фактор	Условное обозначение	Значения $F_i$		
		0	1	2
Значение факторов $X_i$ на уровнях варьирования в натуральном масштабе				
$F_1$	$R = \frac{R}{r}$	2,09	1,54	1,35
$F_2$	$m$	0,15	0,3	0,45
$F_3$	$r_2 = \frac{r_2}{r}$	0,923	0,68	0,595
$F_4$	$r_0 = \frac{r_0}{r}$	0,391	0,494	0,545

Высота исходной заготовки  $h_0$  и диаметр  $2R_0$  были заданы постоянными  $h = 25,2 \pm 0,2$  мм и  $2R_0 = 30_{-0,2}$  мм. Материал заготовок - алюминиевый сплав АД1. Относительная толщина дна, при которой фиксировались значения функции отклика, была принята постоянной  $h_0/h \approx 0,20$ . Ход пуансона для выбранной высоты заготовок составил  $s = 20 \pm 0,2$  мм.

Для оценки влияния главных эффектов варьируемых

**8th International Scientific Conference  
Science and Society 2015**

факторов была выбрана матрица плана эксперимента  $3^4/9$ , которая включает в себя 9 опытов. В результате реализации эксперимента согласно матрице плана получили математическую модель в виде уравнения регрессии

$$y_j = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i X_i + \sum_{i=1}^k b_{ii} X_i^2, \quad (1)$$

где  $y_j$  - функция отклика,  $X_i$  - варьируемый фактор,  $b_i$  - коэффициенты регрессии,  $k$  - количество варьируемых факторов.

Для обработки экспериментальных данных и последующего регрессионного анализа совершен переход к кодированному масштабу, в котором матрица плана симметрична и ортогональна [12]. В настоящей работе реализован эксперимент, в котором часть опытов матрицы плана выполнялась в виде физического эксперимента (ФЭ), а остальные опыты в виде компьютерного эксперимента (КЭ) с применением моделирования методом конечных элементов в программе DeFORM 2D ver.10.2. Матрица плана, сочетающая в себе компьютерный и физический эксперименты, названа комбинированной матрицей плана эксперимента (комбинированной матрицей). В табл. 2 приведена полная матрица плана эксперимента в натуральном и кодированном масштабе.

**Таблица 2. План эксперимента в натуральном и кодированном масштабах**

**8th International Scientific Conference  
Science and Society 2015**

№ опыта	$F_i$				В координатном масштабе							
	В масштабе $X_i$				$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$Z_1$	$Z_2$	$Z_3$	$Z_4$
	$F_1$ $X_1$	$F_2$ $X_2$	$F_3$ $X_3$	$F_4$ $X_4$								
1	0	0	0	0	4,3	-1,5	1,9	-0,86	1,66	0,75	0,33	0,11
	2,09	0,15	0,923	0,391								
2	1	0	1	1	-1,2	-1,5	-0,53	0,17	-6,46	0,75	-1,28	-0,34
	1,54	0,15	0,68	0,494								
3	2	0	2	2	-3,1	-1,5	-1,38	0,68	4,80	0,75	0,95	0,23
	1,35	0,15	0,595	0,545								
4	0	1	1	2	4,3	0	-0,53	0,68	1,66	-1,50	-1,28	0,23
	2,09	0,3	0,68	0,545								
5	1	1	2	0	-1,2	0	-1,38	-0,86	-6,46	-1,50	0,95	0,11
	1,54	0,3	0,595	0,391								
6	2	1	0	1	-3,1	0	1,9	0,17	4,80	-1,50	0,33	-0,34
	1,35	0,3	0,923	0,494								
7	0	2	2	1	4,3	1,5	-1,38	0,17	1,66	0,75	0,95	-0,34
	2,09	0,45	0,595	0,494								
8	1	2	0	2	-1,2	1,5	1,9	0,68	-6,46	0,75	0,33	0,23
	1,54	0,45	0,923	0,545								
9	2	2	1	0	-3,1	1,5	-0,53	-0,86	4,80	0,75	-1,28	0,11
	1,35	0,45	0,68	0,391								

Подготовка и проведение КЭ проводились в соответствии с разработанной авторами методикой, включающей экспериментальное определение коэффициента трения для используемых смазочных материалов в паре трения заготовка-инструмент и экспериментальное построение кривой упрочнения материала заготовки. Моделирование методом конечных элементов проводили, принимая следующие допущения: задача осесимметричная, материал заготовки изотропен, модель материала заготовки - жесткопластическая с нелинейным упрочнением, инструмент - абсолютно жесткое тело, трение на контактных поверхностях пропорционально постоянной пластичности  $k$ , количество конечных элементов ~5000 ед.

Полученные согласно методике экспериментальные кривые упрочнения отражающие реологию материала заготовки были аппроксимированы по закону Лудвика-Холломона:

$$\sigma_s = \sigma_0 + K \cdot \epsilon_i^n, \quad (2)$$

Где  $\sigma_0 = 80 \text{ МПа}$  - предел текучести материала,  $K = 119$  - коэффициент упрочнения,  $n = 0,32$  - показатель упрочнения,  $\epsilon_i$  - интенсивность деформаций. Матрица при моделировании задавалась подвижной, массой 12 кг, трением между

**8th International Scientific Conference  
Science and Society 2015**

инструментами пренебрегали.

ФЭ выполнялись на универсальной испытательной машине INSTRON 5989 (США) силой 600 кН и открытой высотой рабочего пространства 700 мм. Заготовки были отрезаны от прутка на универсальном отрезном станке Discotom-6 фирмы Struers (Дания). Отверстия по оси заготовок были просверлены на универсальном токарно-винторезном станке 16К20 (РФ). В качестве смазочных материалов применяли приборную смазку Циатим-201 и экспериментальную смазочную пасту на ее основе с наполнителем из дисульфида молибдена.

Проверку статистической значимости коэффициентов регрессии выполнили исходя из равномерного дублирования. Опыты №1-3 дублировались по 4 раза для расчета дисперсии воспроизводимости результатов. Однородность ряда дисперсий проверяли по критерию Кохрена. Дисперсии оценок коэффициентов математической модели рассчитывали в соответствии с методом регрессионного анализа. Доверительные интервалы коэффициентов регрессии были рассчитаны при уровне значимости 10% и значении t-критерия Стьюдента 1,94. Коэффициенты, величина которых оказалась меньше величины доверительного интервала были признаны статистически незначимыми и исключены из уравнения. Оценку адекватности построенной после преобразований математической модели выполнили по критерию Фишера (F-критерию) при уровне значимости 5%. Если при сравнении расчетных и табличных значений критерия Фишера выполняется условие

$F_{расч} < F_{табл}$ , гипотеза об адекватности всех моделей на 5% уровне значимости подтвердится. Для обработки значений использована программа Microsoft Office Excel 2007, преобразование моделей из кодированного масштаба в натуральный было выполнено при помощи программы MathCAD ver.14.

**РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ**

После реализации комбинированной матрицы плана эксперимента и обработки результатов был получена следующая математическая модель относительной удельной силы комбинированного выдавливания:

$$q = 26,68 + 2,13 \cdot R^2 - 6,62 \cdot R + 5,04 \cdot m^2 - 3,51 \cdot m - 7,37 \cdot r_2 + 63,32 \cdot r_0^2 - 53,6 \cdot r_0 \quad (3)$$



**8th International Scientific Conference  
Science and Society 2015**

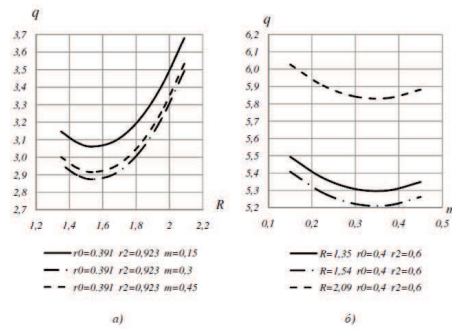
Анализ модели позволил построить зависимости силы выдавливания от варьируемых факторов. Используя модель (3) провели мысленные опыты для построения кривых, представленных на рис. 2. а - г. Каждый рисунок содержит по три кривые, рассчитанные для двух варьируемых факторов при фиксированных уровнях остальных, значения которых указаны на рисунках. Анализ полученных зависимостей и их графиков показал следующее.

Согласно работе [14] относительная удельная сила комбинированного выдавливания зависит от соотношения относительных толщин стенки и стержня. Полная относительная удельная сила комбинированного выдавливания  $q$  включает в себя силу прямого выдавливания  $q_f$  и силу обратного выдавливания  $q_b$ , соотношение которых по ходу пуансона изменяется и может быть определено по формуле:

$$q = \zeta_f \cdot q_f + \zeta_b \cdot q_b, \quad (4)$$

где  $\zeta_b$  и  $\zeta_f$  - коэффициенты, определяемые из условия минимизации полной энергии

процесса, при схематизации очага пластической деформации комбинированного выдавливания на зоны обратного и прямого выдавливания, разделенных сначала жесткой зоной по высоте, а после слияния очагов, цилиндрической границей радиусом  $R_r$ .



8th International Scientific Conference  
Science and Society 2015

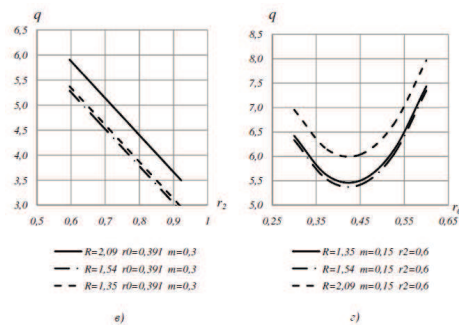


Рис. 2. Зависимость  $q$  от варьируемых параметров

Относительный радиус матрицы  $R$ . В исследуемом диапазоне значений радиуса матрицы сила выдавливания имеет нелинейную зависимость при  $R=1,35..1,65$ , минимальных значений удельная сила достигает при  $R=1,45-1,5$  рис. 2а. При увеличении относительного радиуса  $R>1,6$ , удельная сила увеличивается на 30-35% относительно минимума. Уменьшение толщины стенки, соответствующее уменьшению относительного радиуса матрицы  $R=1,35$ , приводит к незначительному увеличению силы выдавливания на 10-12% рис. 2а. При увеличении толщины стенки увеличение полной удельной силы выдавливания можно объяснить повышением коэффициента  $\zeta_f$ , что соответствует увеличению вклада в общую силу процесса, силы прямого выдавливания. Значения откликов фиксировались при одинаковой относительной толщине дна, что отразилось на характере полученных математических моделей, в частности математической модели (3). При увеличении относительной толщины стенки, увеличивается относительная толщина дна, при которой начинается «стесненное выдавливание». При стесненном выдавливании происходит заметное увеличение силы, а также образование «утяжины». Значения критической толщины дна  $h_{кр}$ , при которой образуется «утяжина» при обратном выдавливании, определены аналитически в работе [14] и экспериментально в работе [15]. При комбинированном выдавливании с увеличением толщины стенки, критическая

**8th International Scientific Conference  
Science and Society 2015**

толщина дна также возрастает. При значениях относительной толщины стенки около 2, критическая толщина дна, отнесенная к радиусу пуансона составляет  $h_{sp}/r=1...1,1$ . При допущении о схожести механики процесса, можно объяснить характер зависимостей силы комбинированного выдавливания, полученных с помощью модели (3).

Коэффициент трения  $m$ . Влияние коэффициента трения  $m$ , принятого в качестве одного из технологических факторов неоднозначно и может быть описано параболической зависимостью с минимумом при значении 0,3-0,35 рис. 26. Колебание значений коэффициента трения в исследуемых пределах, соответствующих различным технологическим смазочным материалам или их отсутствию, незначительно влияет на относительную удельную силу комбинированного выдавливания. С уменьшением трения ( $m=0,15$ ) сила выдавливания увеличивается на 5-9% в зависимости от соотношения толщины стенки стакана  $\Delta_b$  и стенки стержня  $\Delta_s$ . При увеличении трения рост силы несколько ниже.

Относительный радиус стержня  $r_2$ . Относительный радиус выдавливаемого стержня, равный (без учета технологических припусков и упругой деформации системы заготовка- инструмент) диаметру отверстия контрпуансона значительно влияет на силу выдавливания. При варьировании радиуса  $r_2$  от 0,595 до 0,923 относительная удельная сила  $q$  линейно убывает рис. 2в при фиксированном значении относительного радиуса оправки  $r_0$ . Увеличение  $r_2$  соответствует увеличению толщины стенки стержня  $\Delta_s$  получаемого за счет течения металла по направлению движения пуансона. Увеличение  $\Delta_s$  позволяет снизить силу выдавливания на 40-55% относительно значений силы выдавливания при минимальной толщине стенки стержня. Это объясняется большими значениями удельной силы, необходимой для прямого выдавливания стержня со стенкой малой толщины. В других работах также отмечалось значительное влияние радиуса стержня на силовые и деформационные характеристики процесса выдавливания. Так, например, при значениях  $r_2$ , близких к единице, процесс комбинированного выдавливания происходит преимущественно за счет сдвиговых деформаций и локализации очага деформации в узкой области, соединяющей радиусные кромки торцов пуансона и контрпуансона. Существенная локализация очага пластической деформации может привести к возникновению микротрещин и других дефектов в готовом изделии.

**8th International Scientific Conference  
Science and Society 2015**

Относительный радиус оправки  $r_0$ . Варьирование относительного радиуса оправки позволило установить наличие минимума силы выдавливания при значении  $r_0$  от  $0,4r$  до  $0,45r$  рис. 2г. Это объясняется наличием рационального соотношения толщин элементов детали, при котором сила выдавливания достигает своего минимума, что соответствует условиям протекания комбинированного выдавливания. Нелинейная зависимость относительной удельной силы характеризуется увеличением силы на 15-25% при увеличении или уменьшении радиуса оправки.

При выполнении физических экспериментов согласно матрице плана, был отмечен эффект «подъема» матрицы во время выдавливания (на рис. 1 обозначен как  $s_m$ ). Величина  $s_m$  оказалась различной, рис. 3. Незакрепленная матрица перемещается под действием активных сил трения.

Закономерность перемещения «плавающей» матрицы при выполнении ФЭ плана экспериментов имеет сложный нелинейный характер. Величина подъема матрицы в конце хода пуансона при разгрузке системы «заготовка-инструмент-машина» имеет зависимость от различных факторов, определение этой зависимости является задачей дальнейших исследований.

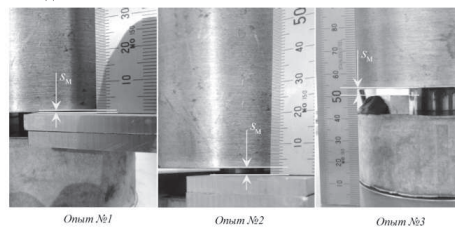


Рис. 3. Подъем плавающей матрицы в конце выдавливания

На рис. 4 представлен график зависимости относительного подъема матрицы в конце хода пуансона от относительного радиуса матрицы (толщины стенки стакана). Снижение подъема матрицы с увеличением толщины стенки стакана можно объяснить уменьшением относительной скорости течения металла в стенку стакана, а также снижением интенсивности течения за счет повышения интенсивности течения в стержень при заданном сочетании уровней варьируемых факторов. Установление закона изменения

**8th International Scientific Conference  
Science and Society 2015**

скорости движения матрицы под действием сил трения позволит оптимизировать закон принудительного перемещения матрицы, обеспечив постоянный уровень превышения скорости матрицы над скоростью истечения металла.

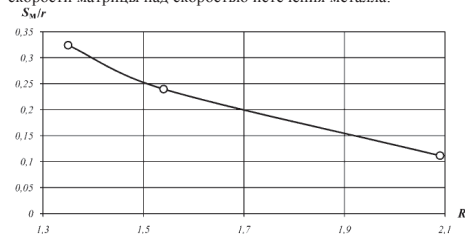


Рис. 4. Зависимость относительного подъема матрицы от относительного радиуса матрицы

Полученные результаты доказывают наличие эффекта действия активно направленных сил трения при выдавливании в плавающей матрице.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Холодное комбинированное выдавливание является перспективным направлением развития энерго и ресурсосберегающих технологий заготовительного производства. При комбинированном выдавливании из полой заготовки за один переход становится возможным получение сложной поковки в виде стакана с переменной толщиной стенки. Исследование операции комбинированного выдавливания методом планирования эксперимента с применением матрицы плана, сочетающей в себе физические и компьютерные эксперименты, позволило построить математическую модель, отражающую зависимость относительной удельной силы выдавливания от размеров инструмента и условий трения. Анализ модели показал, что существенное влияние на величину относительной удельной силы оказывает сочетание толщины стенки стержня и толщины стенки стакана. Варьирование наружного радиуса стержня  $r_2$  позволяет снизить силу выдавливания в 1,5 - 2 раза, при фиксированных параметрах процесса. Изменение внутреннего радиуса стержня  $r_0$  совместно с радиусом матрицы R

**8th International Scientific Conference  
Science and Society 2015**

позволяют достичь минимума силы выдавливания при  $\tau_0=0,42$  и  $R=1,55$ . Управление силами трения за счет применения различных смазочных материалов позволяет незначительно снизить силу выдавливания. Для выдавливания в плавающей матрице можно рекомендовать использование смазочных материалов, обеспечивающих коэффициент трения 0,35. Экспериментально показан эффект «плавающей» матрицы при комбинированном выдавливании осесимметричных полуфабрикатов с противонаправленным истечением материала в коаксиальные каналы. Полученная математическая модель имеет существенное практическое значение, так как может быть использована при разработке процессов комбинированного выдавливания в плавающей матрице и оптимизации силы выдавливания при назначении припусков на механическую обработку и составлении чертежа полуфабриката.

**References:**

- [1] Дмитриев А.М., Коробова Н.В., Толмачев Н.С., Аксененко А.Ю. Отечественное развитие и решение проблемы штамповки полых деталей цилиндрической формы, имеющих конический придонный участок // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2014. № 10-2. С. 3-17.
- [2] Аксененко А.Ю., Коробова Н.В., Дмитриев А.М. Анализ различных методов разработки процесса изготовления корпусных деталей комбинированным выдавливанием // Компьютерные исследования и моделирование. 2014. Т. 6. № 6. С. 967-974.
- [3] Дмитриев А.М., Коробова Н.В., Аксененко А.Ю., Толмачев Н.С. Технологичность конструкций создаваемых малогабаритных специализированных прессов // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2012. № 11 (148). С. 3-9.
- [4] Дмитриев А.М., Гречников Ф.В., Коробова Н.В., Толмачев Н.С. Практическое использование изменения механических характеристик конструкционных углеродистых сталей при холодной объемной штамповке // Вестник МГТУ Станкин. 2014. № 4 (31). С. 41-44.
- [5] Дмитриев А.М., Коробова Н.В., Толмачев Н.С. Экспериментальная проверка результатов компьютерного моделирования напряжений на элементе деформирующего инструмента // Вестник

**8th International Scientific Conference  
Science and Society 2015**

- МГТУ Станкин. 2014. № 2 (29). С. 44-49.
- [6] Дмитриев А.М., Коробова Н.В., Петров М.Д. Разработка технологии производства корпуса гидроцилиндра из железного порошка // Вестник МГТУ Станкин. 2014. № 1 (28). С. 54-58.
- [7] Коробова Н.В., Дмитриев А.М., Толмачев Н.С., Аксененко А.Ю. Исследование высокоплотных порошковых цилиндрических заготовок, сформованных на специализированных гидравлических прессах // Заготовительные производства в машиностроении. 2015. № 7. С. 1519.
- [8] Коробова Н.В., Аксененко А.Ю. Исследование операции комбинированного выдавливания в "плавающей" матрице детали типа стакан с наружным полым стержнем // Заготовительные производства в машиностроении. 2015. № 7. С. 32-38.
- [9] Коробова Н.В., Аксененко А.Ю., Башевская О.С., Никитин А.А. Исследование влияния режимов электроэрозионной обработки на микроструктуру и точность прецизионных размеров мелких деталей // Металловедение и термическая обработка металлов. 2015. № 10 (724). С. 1114.
- [10] Aksenenko A.Yu., Klimov V.N., Korobova N.V., Shevchenko S.Yu., Luzgin V.I. Effect of electromagnetic mixing in crystallization on the structure of thixopreforms from castable aluminum alloys // Metal Science and Heat Treatment. 2014. T. 55. № 11-12. С. 665-669.
- [11] Dmitriev A.M., Korobova N.V. Expanding field of application of cold die forging by inducing active contact friction forces // Journal of Friction and Wear. 2013. T. 34. № 3. С. 232-237.
- [12] Новик Ф.С., Арсов Я.Б. Оптимизация процессов технологии металлов методами планирования экспериментов. - М. - София: Машиностроение - Техника, 1980. - 304 с.
- [13] Male A.T. and Cockcroft M.G. «A method for the Determination of the Coefficient of Friction of Metals Under Condition of Bulk Plastic Deformation» // J. Inst. Met., Vol.93, pp. 38-46, 1964-65
- [14] Дмитриев А.М., Воронцов А. Л. Технологияковки и объемной штамповки. Часть 1. Учебник для вузов по специальности «Машины и технологии обработки давлением». М.: Машиностроение-1, 2005. - 500 с.

**8th International Scientific Conference  
Science and Society 2015**

- [15] Головин В.А., Ракошиц Г.С., Навроцкий Г.А.  
Технология и оборудование холодной штамповки. М.:  
Машиностроение. 1987. - 350 с.