

У статті описано застосування процесів холодного об'ємного штампування (ХОШ), що дозволяє різко скоротити витрати металу при забезпеченні необхідного рівня якості. За допомогою кінцево-елементного моделювання був вивчений силовий режим процесу бічного видавлювання та формозміна при двосторонній подачі з варіацією міжосьової відстані відростків і швидкостей деформування, що дозволило зробити висновок про залежність зусилля деформування від міжосьової відстані.

**Ключові слова:** штампування, бокове видавлювання, відростки, силовий режим, моделювання, міжосьова відстань.

The article describes the use of cold forging processes (CFP), which allows to drastically reduce the consumption of metal, while ensuring the required level of quality. The finite element method has been studied for the power mode of the lateral extrusion process and deformation state in double-sided forging with the variation of axial distance and velocity of deformation processes that led to the conclusion based deforming force of the axial distance.

**Keywords:** forging, lateral extrusion processes, lateral, power mode, simulation, center axial distance.

УДК 621.771

**А. С. АРАЛКИН**, канд. техн. наук, доц., ГВУЗ «КНУ», Кривой Рог;  
**С. И. НЕЙМИРКО**, инженер, ГВУЗ «КНУ», Кривой Рог.

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ МОЛОТОВОГО ШТАМПА

Выполнен анализ причин выхода из строя молотовых штампов. Дана оценка времени удара и сил, действующих на штамп при штамповке. Расчетным путем установлены температурные деформации деталей в месте установки центрирующей шпильки. Получены параметры деформации в месте сопряжения шпильки и штампа. Разработаны конструктивные мероприятия, повышающие надежность работы центрирующих шпилек и штампа в целом.

**Ключевые слова:** молотовый штамп, конструкция, центрирующие шпильки, сила удара, температурные деформации, упругие перемещения, энергия деформации, потери энергии.

**Введение.** Современное производство все более широко оснащается новым высокопроизводительным металлообрабатывающим оборудованием, которое работает на интенсивных режимах – высоких скоростях резания. К такому оборудованию, например, можно отнести 5-ти координатный обрабатывающий центр (ОЦ) с ЧПУ известной фирмы C.V. Ferrari серии D. Эти ОЦ устойчивы к термическим искажениям и оснащены системами компенсации температурных искажений и автоматической их корректировки по трем осям. Электродвигатель привода главного движения станка может работать в плавно изменяющемся диапазоне 16–20 тыс. об/мин. Для сравнения можно привести пределы частот шпинделя еще широко используемого многоцелевого станка с ЧПУ IP-500MФ4: 21–3000 об/мин. Универсальный 5-ти осевой вертикальный ОЦ фирмы «Okuma» (Япония) уже может применяться для комплексной обработки деталей из различных материалов, в том числе и высоколегированных сталей, закаленных сталей с твердостью поверхности HRC 58...60 при скоростях шпинделя от 8 до 35 тыс. об/мин. Похожие скоростные характеристики имеют станки фирмы «KOVOSVIT DS. a.s.»

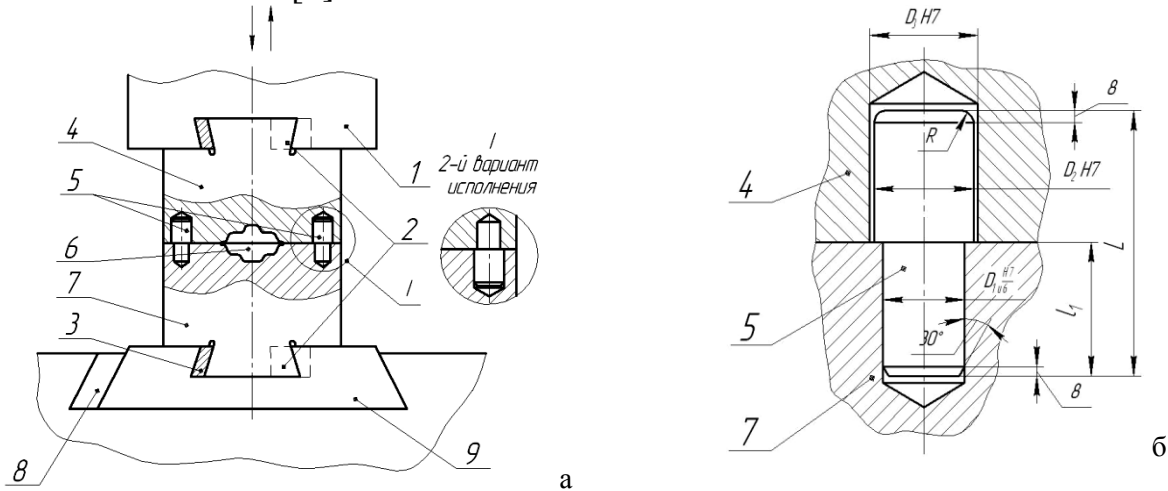
(Чехия). Вертикальные ОЦ MCV 750 RAPID и MCV 1270 RAPID могут работать при частотах вращения шпинделя до 24 тыс. об/мин [1]. Технология обработки изделий уже рассматривается в разрезе стратегии их обработки, суть которой сводится к постоянству снимаемого объема стружки в единицу времени или постоянной мощности резания. В связи с этим особенно важно обеспечить повышенную точность размеров обрабатываемой на заготовки с высоким качеством поверхности. В настоящей работе рассматривается проблема повышения точности и качества поковок штампованных, получаемых в открытых штампах, которые будут обрабатываться на современном оборудовании на форсированных режимах резания.

**Анализ последних исследований и литературы.** Известно, что перекос штампа приводит к систематически повторяющемуся браку одного и того же вида с высоким процентом отбраковки – перекос по разьему, утонение стенки и пр. Он вызван ошибками при конструировании штампов и связан с тем, что конструктор не предусмотрел в штампе направляющие [2].

Как правило, горячую объемную штамповку [3] выполняют на молотах в штампах с центрирующими шпильками (рис. 1). Этот процесс заключается в формообразовании заготовок, предварительно нагретых до температуры 1000–1200°C, в фасонных полостях штампов, сдавленных со значительным усилием. Нагрев снимает сопротивление металла деформированию, обеспечивает заполнение полости ручья сложной формы. Нагретая исходная заготовка из печи переносится в штамп, где ударами молота формируется требуемая заготовка. Оборудование для горячей объемной штамповки – штамповочный молот, устанавливаемый на массивное основание – шабот, масса которого в 20–25 раз превышает массу падающих частей, – машина ударного действия для пластической деформации металлических заготовок за счет накопленной кинетической энергии удара поступательно движущихся частей.

В процессековки на верхней части 4 штампа возникают боковые усилия, сдвигающие ее относительно нижней 7, что снижает точность штамповки и вызывает преждевременный износ полости ручья 6. Для противодействия этим усилиям в половинках молотового штампа выполняют направляющие устройства: замки или центрирующие шпильки 5 (направляющие колонки). Кроме того, шпильки применяются для выверки штампа при его монтаже на молоте и компенсации смещения хода бабы молота при его работе. Применение шпилек имеет преимущества, так как для изготовления обычных направляющих требуется с поверхности разьема штампа снять дополнительный слой металла, равный высоте направляющих. Шпильки запрессовывают с натягом в нижней части штампа по посадке Н7/у6 [4]. Для этого нижний штамп предварительно нагревают до 350–450°C и в него запрессовывают шпильки. Величина натяга составляет примерно 0,08...0,10 мм, в зависимости от диаметра шпильки. Нормальные напряжения при посадке шпилек в штамп создаются за счет линейной усадки по диаметру отверстия при охлаждении штампа. В верхней части штампа предусматривают ответные отверстия, в которые шпильки входят с зазором. Величина зазора составляет 0,5...1 мм [5].

Вся разметка на штампе: хвосты, гравюра и шпильки ведется от контрольных углов. Для этого используют две строго взаимно перпендикулярные, точно обработанные поверхности на боковых сторонах штампа. Отверстия под шпильки выполняют на точном оборудовании – фрезерно-расточных станках с ЧПУ или координатно-расточных станках, так как конусность и эллипсоидность отверстий не допускается. Применение штампов в кузнечнопрессовом производстве сдерживается их высокой стоимостью и низкой стойкостью [6].



1 – баба молота, 2 – сухари, 3 – клинья штампа, 4, 7 – верхняя (пуансон) и нижняя (матрица) части штампа, 5 – направляющие шпильки, 6 – полость ручья, 8 – клин штамподержателя, 9 – штамподержатель.

Рис. 1 – Облойная молотовая штамповка в открытом штампе:  
а – схема штампа; б – центрирующая шпилька

**Цель исследований, постановка проблемы.** Целью настоящей работы является установление основных причин выхода из строя молотовых штампов и разработка мероприятий по их совершенствованию конструкции, обеспечивающих надежное закрепление центрирующих шпилек и бесперебойную работу штампа в целом.

**Материалы исследований.** Штампы работают в тяжелых условиях с обязательным разогревом перед началом работы. Опыт их эксплуатации в условиях кузнечнопрессового цеха ОАО «Криворожгормаш» (г. Кривой Рог) показывает (табл. 1), что более половины случаев (рис. 2) выхода из строя штампов связано с выпадением направляющих шпилек из посадочного места.

Выпавшая шпилька часто попадает на гравюру или в полость ручья штампа, что при повторном ударе молота вызывает трещины или даже разрушение штампа. Главная опасность – возможный травматизм штамповщика или людей, находящихся поблизости.

Оценку создания наиболее опасных условий для выпадения направляющих шпилек штампа выполняли по результатам аналитических исследований. Расчетным путем определяли распределение энергии падающих частей паровоздушного молота штамповочного марки 17КП (МА 2147) и определяли коэффициент восстановления.

Таблица 1. Анализ причин выхода из строя молотовых штампов на ОАО «Криворожгормаш» (2006...2008 г.г.)

№ п/п	Причины поломок молотовых штампов	Кол-во штампов	Долевая часть, %
1	Трещины в штампе	32	8,96
2	Потеря формы и размеров поковки	42	11,76
3	Забойны зеркала штампа	36	10,08
4	Износ хвостов штампа	34	9,53
5	Выпадение шпилек	186	52,1
6	Другое (заклинивание поковки в штампе, комбинация дефектов)	27	7,57
7	ИТОГО:	357	100%

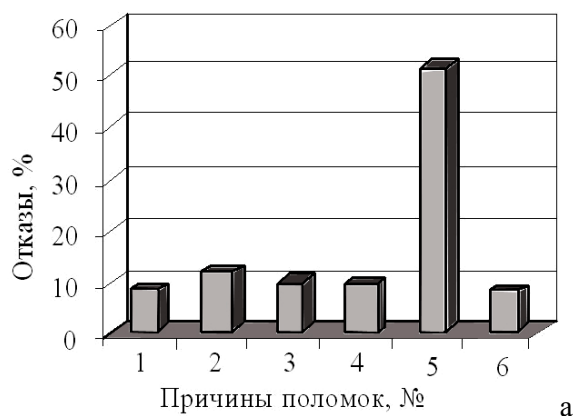


Рис. 2 – Количественная оценка причин входа из строя молотовых штампов: а – гистограмма поломок; б – шпилька, выпавшая из гнезда штампа

*Основные характеристики молота:* энергия удара 125000 Дж, масса падающих частей  $m=5000$  кг, давление сжатого воздуха 0,6–0,7 МПа, масса шабота 99420 кг, масса молота общая с шаботом 140360 кг.

Силу удара  $F$  в расчетах определяли из условия изменения количества движения, т.е.  $m \cdot dV = F \cdot dt$ . Время удара  $dt = 2L/c$ ,  $c = 5850$  м/с – скорость звука в стали,  $L$  – характерный размер молота. Для завершающей стадииковки за характерный размер принимали высоту нижней части штампа – 0,4...0,8 м. Рассчитанная по таким исходным данным сила удара составила 1200 тн.

Работа, затрачиваемая на подъем молота, равна увеличению его потенциальной энергии:  $E_i = m_1gh$ . При падении молота его потенциальная энергия переходит в кинетическую. Таким образом, затрачиваемая работа равна кинетической энергии тел в начале удара по раскаленному металлу:

$$E_1 = \frac{m_1 v_1^2}{2} \quad (1)$$

Скорость падающей части: 
$$v_1 = \sqrt{\frac{2E_i}{m}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 125000}{5000}} = 7,07 \text{ (м/с)}.$$

Начальная скорость деформации равняется 6–8 м/с, конечная – 0 м/с, а ее продолжительность 0,003...0,002 с [4]. Согласно теоремы Карно потерянная при неупругом ударе кинетическая энергия  $\Delta E = E_1 - E_2$  идет на деформацию поковки и нагрев тел

$$\Delta E = E_1 - E_2 = \frac{1-k}{1+k} \cdot \left[ \frac{m_1}{2} (u_1 - v_2)^2 + \frac{m_2}{2} (u_2 - v_1)^2 \right], \quad (2)$$

где  $v_1$  и  $v_2$  – скорости тел до удара;

$u_1$  и  $u_2$  – скорости тел после удара;

$m_2 = 135360$  кг – масса неподвижных частей (шабота и опертого на него молота, без подвижных частей);

$k$  – коэффициент восстановления штампа:

$$k = \frac{u_2 - u_1}{v_1 - v_2}, \quad (3)$$

При абсолютно пластичном ударе  $k = 0$ ; при упругом ударе  $k = 1$ .

Реальный удар всегда упруго-пластичный, причем, в начале штамповки  $k = 0,15-0,4$ , в процессе формирования поковки штампованной (собственно штамповка)  $k = 0,5-0,65$  и в конце штамповки (при последнем ударе)  $k = 0,7-0,8$  [5].

Учитывая (1) после преобразований для неподвижного фундамента молота ( $v_2 = 0$ ) [6]

$$\Delta E = (1 - k^2) \cdot \frac{m_2}{m_1 + m_2} \cdot E_1. \quad (4)$$

Вредная энергия, теряемая на сотрясение основания

$$E_2 = E_1 - \Delta E_2 = E_1 \left[ 1 - (1 - k^2) \cdot \frac{m_2}{m_1 + m_2} \right], \quad (5)$$

Соотношения между распределением энергии и коэффициентами восстановления (табл. 2) показывают, что наиболее опасными для молотового штампа являются последние удары молота, когда поковка уже практически полностью сформирована.

Таблица 2. Зависимость энергии деформации и энергии упругости от ударов на разных стадияхковки

$k$	$k=0$	$k=0,25$	$k=0,55$	$k=0,75$	$k=1,0$
$\Delta E$	120547,16	113012,96	84081,64	52739,38	0
$E_2$	4452,84	11987,04	40918,36	72260,62	125000

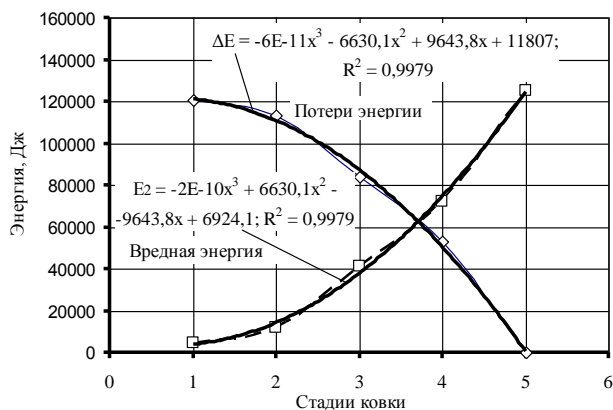


Рис. 3 – Анализ затрат энергии деформации

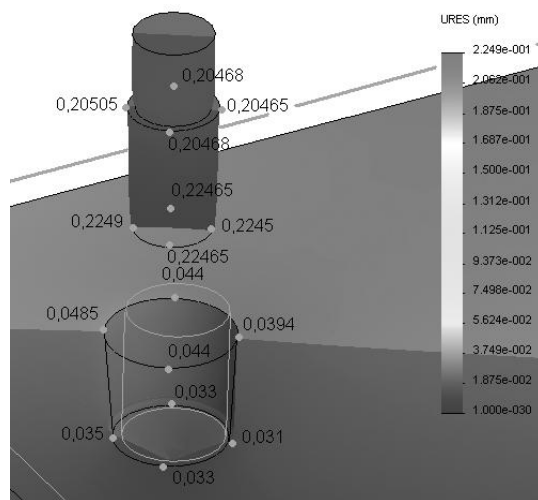


Рис. 4 – Деформации в сопряжении шпильки

Аппроксимация потерь энергии, как функция этапов ковки (рассмотрено 5 этапов) описывается полиномом 3-ей степени, достоверность аппроксимации  $R^2=0,6679$ , Дж:

$$\Delta A = -6 \cdot 10^{-11} x^3 - 6630,1x^2 + 9643,8x + 11807. \quad (6)$$

Энергия, затрачиваемая на деформацию нижней части штампа и основания молота,  $R^2=0,6679$ , Дж:

$$A_2 = -2 \cdot 10^{-10} x^3 - 6630,1x^2 + 9643,8x + 6924,1. \quad (7)$$

При максимальном сближении верхней и нижней частей штампа [5] проявляется нагрузочная фаза, при которой кинетическая энергия преобразуется в энергию упругого деформирования сталкивающихся частей штампа в месте их контакта. Фактически в конце ковки вся энергия удара падающих частей молота передается штампу. После максимального сближения, начинается вторая фаза – разгрузочная, при которой размеры и форма тел восстанавливаются. При исследовании соударяющихся тел методами элементарной механики предполагается, что отдельные части каждого тела в результате удара одновременно испытывают одинаковые изменения своего состояния.

Для определения характера напряжений в зоне контакта центрирующей шпильки с поверхностью посадочного отверстия нижней части штампа и оценки их деформаций (перемещений) в момент удара использовали программное обеспечение *SolidWorks*. На примере сопряжения  $\varnothing 50H7^{+0,025}_{0}/u6^{+0,086}_{+0,070}$  установлено, что на конечной стадии ковки деформация отверстия и шпильки различна как по длине сопряжения так и в поперечных направлениях (рис. 4), что связано с разной толщиной прилегаемого материала штампа. В момент удара нижняя часть штампа упруго деформируется и проседает (показано тонкой линией), отверстие расширяется и его усредненный диаметр под действие растягивающих напряжений увеличивается до  $\varnothing 50,077$  мм. Шпилька под действием напряжений сжатия уменьшается в среднем до  $\varnothing 49,57$  мм. При этом,

максимально возможный первоначальный натяг в сопряжении – 86 мкм полностью ликвидируется. Под действием обратных упругих деформаций нижняя часть штампа возвращается в исходное положение выталкивает направляющую шпильку. Таким образом создаются условия для их выпадения.

Соприкасаясь с металлом, нагретым до температурыковки (1000–1200°C), штамп тоже разогревается. Нагрев молотового штампа меняется циклически, возрастая при каждом ударе, и к концу штамповки температура достигает 450°C на глубине 1–0,5 мм от контактной поверхности в нижней неподвижной части штампа и 300°C в верхней подвижной его части [8].

Расчеты температурных деформаций штампа показали, что за счет разных значений коэффициента линейных расширений материала штампа Стали 5ХМА ( $\alpha_1=14,1 \cdot 10^{-6}$ ) и материала направляющей шпильки Стали 40Х ( $\alpha_1=12,2 \cdot 10^{-6}$ ) натяг в сопряжении шпилек с нижней частью штампа может уменьшаться до 18,9 мкм.

Таким образом, образование в процессе штамповки, особенно в ее конечной стадии, значительных температурных градиентов по сечению штампа, а также циклический характер теплового воздействия в сочетании с циклически изменяющимися волнами напряжений создают неблагоприятные условия для запрессованных в штамп направляющих шпилек. Это создает условия для их выпадения из посадочного места, так как в таких тяжелых условиях никакая посадка с натягом не выполнит своей функции.

Идея работы состоит в том, чтобы направляющие шпильки после запрессовки в нижнюю часть штампа развальцовывать изнутри в их концевой части. Для этого разработаны варианты способов внутренней развальцовки полых и сплошных шпилек (рис. 5).

Шпильки рекомендуется устанавливать на переходных посадках или на посадках с натягом [9].

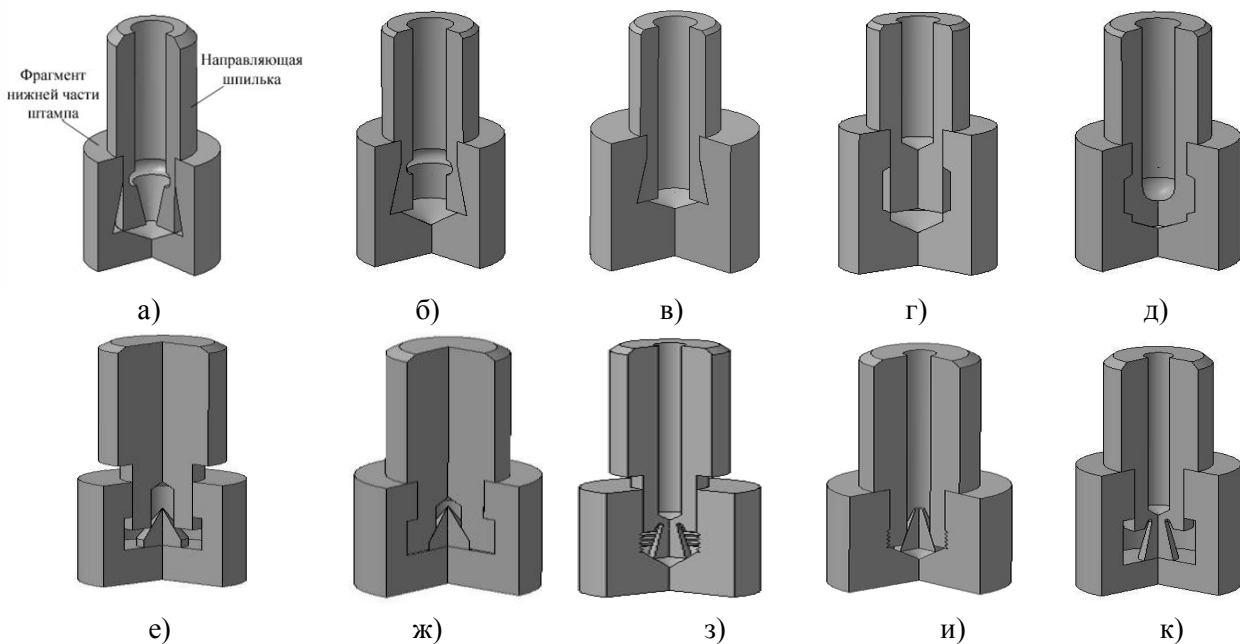


Рис. 5 – Варианты способов внутренней развальцовки направляющих шпилек

Шпильку устанавлюють в обратное коническое гнездо (рис. 5, а) и фиксируют развальцовкой (раздачей) напуска путем прошивания цилиндрической насадки (рис 5, виды б и в). Шпильку можно зафиксировать раздачей ее конца в цилиндрической выточке (виды г и д). Шпильку можно установить в гнездо с предварительно введенной в него конической вставкой (вид е). Путем осадки шпильки до уступа постигают раздачу нижней ее части в выточку гнезда (вид ж). Более совершенная конструкция соединения, когда конус выполнен как одно целое с направляющей шпилькой (вид з) и соединен с ней тонкой перемычкой. При осадке шпильки до уступа перемычка разрывается, а конус раздает ее конец, который фиксируется в отверстии кольцевыми рифтами (вид и). Такое же решение может быть использовано в соединении с раздачей конечной части шпильки в цилиндрической выточке но с полый шпилькой (вид к).

Предложенные конструктивные решения прошли апробацию в условиях Криворожского завода горного машиностроения (КЗГМ), г. Кривой Рог. По результатам испытаний молотовых штампов усовершенствованных конструкций не было отмечено ни одного случая выпадения направляющих шпилек.

#### **Выводы.**

1. По результатам анализа существующих конструкций молотовых штампов установлено, что они не могут обеспечить изготовление качественных заготовок – поковок штампованных для их механической обработки на современном высокоскоростном оборудовании.

2. Установлена главная причина выхода из строя штампов – выпадение направляющих шпилек (свыше 52%).

3. Показано, что для молотовых штампов с массой падающих частей 500 кг сила удара в концековки, когда заготовка уже практически сформирована, может достигать 1200 тн.

4. Путем моделирования с применением программного обеспечения SolidWorks и расчетов температурных деформаций штампа установлено, что натяг в сопряжении направляющей шпильки и штампа полностью ликвидируется.

5. Доказано, что циклически изменяющиеся волны значительных напряжений в сочетании с тепловыми воздействиями создают условия, при которых ни одна посадка с натягом не выполнит свои функции.

6. Разработан ряд конструктивных решений установки направляющих шпилек в нижней части штампа с их развальцовкой изнутри в нижней части. Промышленная апробация штампов новой конструкции подтвердила их работоспособность.

**Список литературы:** 1. *Аралкин А.С.* Экспериментальные исследования влияния режимов резания на шероховатость обрабатываемой поверхности/ *А.С. Аралкин, А.В Гальченко, Т.А. Готовец, К.А. Аралкина* // Вісник Криворізького технічного ун-ту, № 24.– КТУ. – м. Кривий Ріг, 2009. – С. 76-81. 2. *Титов Ю.А.* Контроль качества поковок / *Ю.А. Титов, А.Ю Титов.* Ульяновск: УлГТУ, 2008.– 70с. 3. *Ковка и объемная штамповка.* Справочник. – Т.1. – Под редакцией *М.В. Сторожева.* – М. Машиностроение, 1967. – 436 с. 4. *Машины и технология обработки металлов давлением.* – Под



редакцией Живова Л.И. – Киев: Вища школа. – 1987. – 213 с. **5.** Живов Л.И. Кузнечно- штамповочное оборудование. Молоты. Винтовые прессы. Ротационные и электрофизические машины./ Л.И. Живов, А.Г.Овчинников – К.: Вища школа, 1985. – 280 с. **6.** Теоретическая механика. Под ред. Б.Н. Фрадлина. – Львов: «Издательство Львовского университета», 1969. – 312 с. **7.** Ребельский А.А. Основы проектирования процессов горячей объемной штамповки. / А.А. Ребельский – Под ред. С.Г. Соловцева. – М.: Машиностроение, 1965. – 293 с. **8.** Семенов Е.И. Ковка и объемная штамповка./ Е.И.Семенов – М.: Высшая школа, 1972. -352 с. **9.** Орлов П.И. Основы конструирования / П.И. Орлов – Кн. 2 М.–: Машиностроение, 1972, 525 с.

Надійшла до редколегії 26.11.2013

УДК 621.771

**Совершенствование конструкции молотового штампа / Аралкин А. С., Неймирко С. И. // Вісник НТУ «ХПИ». Серія: Нові рішення у сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПИ». – 2013. – № 42 (1015). – С. 13-21. Бібліогр.: 9 назв.**

Виконано аналіз причин виходу з ладу молотових штампів. Дана оцінка часу удару і сил, які діють на штамп при штампуванні. Розрахунковим шляхом встановлено температурні деформації деталей в місці установки центруючої шпильки. Отримані параметри деформації в місці сполучення шпильки і штамп. Розроблені конструктивні заходи, що підвищують надійність роботи центруючих шпильок і штамп в цілому.

**Ключові слова:** молотовий штамп, конструкція, центруючі шпильки, сила удару, температурні деформації, пружні переміщення, енергія деформації, втрати енергії.

The analysis of reasons of death hammer of stamps is executed. The estimation of time of blow and forces, operating on a stamp at stamping, is Given. A calculation path is set temperature deformations of details in the place of setting of centering hairpin. The parameters of deformation are got in the place of interface of hairpin and stamp. Structural measures are worked out, a step-up reliability of work of centering hairpins and stamp on the whole.

**Keywords:** hammer stamp, construction, centering hairpins, the power of a blow, temperature deformations, resilient moving, energy of deformation, loss of energy.

УДК 621.742.4

**Т. В. БЕРЛИЗЕВА**, аспірантка, НТУ «ХПИ»

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ХОЛОДНОТВЕРДЕЮЩИХ СМЕСЕЙ НА ЖИДКОМ СТЕКЛЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЦИКЛОКАРБОНАТОВ**

В статье исследованы свойства формовочных смесей для изготовления отливок на основе жидкого стекла с применением фурфурилоксипропилциклокарбонатов (ФОПЦК). Приведен оптимальный состав для смесей на жидком стекле с использованием ФОПЦК, а также с различными ускорителями твердения такими как триэтиламин, триэтанолламин и diazobicycloоктан

**Ключевые слова:** холоднотвердеющая смесь, жидкое стекло, фурфурилоксипропилциклокарбонаты, триэтанолламин, триэтиламин, diazobicycloоктан.

**Введение.** В настоящее время технология получения отливок с использованием холоднотвердеющих смесей (ХТС) на основе жидкого стекла применяется на многих предприятиях, как в Украине, так и в странах СНГ. Это объясняется тем, что смеси на жидком стекле быстро твердеют, а производство ХТС на их основе приводит к улучшению условий труда в действующих литейных цехах, они не ухудшают экологическую обстановку, а также