

в доменной печи позволит существенно улучшить технико-экономические показатели плавки.

Эффективность использования такого агломерата планируется изучить на одной из доменных печей заводов Приднепровья.

Список литературы

1. Мигуцкий, Л.Р. Пути интенсификации процесса спекания концентратов и стабилизация механических свойств агломерата / Л.Р. Мигуцкий, И.И. Ровенский // Сб. IV Межд. конференции доменщиков. - Острава, ЧССР, 1970. - с.51-54.
2. Учитель, А.Д. Формирование характеристик крупности шихтовых материалов аглодоменного производства. / А.Д. Учитель, В.А. Колосов, В.В. Севернюк [и др.] // Тр. V Межд. конгресса доменщиков. - Днепропетровск, 1999. - с.145-153.
3. Базилевич, С.В. Агломерация / С.В. Базилевич, Е.Ф. Вегман. - Москва.: Металлургия, 1967.-368с.
4. Коршиков, Г.В. Качество агломерата и возврата на различных стадиях обработки спека. / Г.В. Коршиков, С.Л. Зевин, Е.В. Невмержицкий [и др.] // Сталь. - 1988. - №12. - с.6-11.
5. Коршиков, Г.В. Динамика структурных преобразований агломерата при стабилизации. / Г.В. Коршиков, М.А. Хайков, В.Я. Лядова [и др.] // Изв. высш. Уч. завед. Черная металлургия. - 1990. - №1. - с.12-14.
6. Сулименко, Е.И. Стабилизатор гранулометрического состава агломерата. / Е.И. Сулименко, В.И. Верещак, В.В. Бочка [и др.] // Патент Украины на полезную модель №26646. - Бюл. №15. - 2007.

Рукопись поступила в редакцию 17.03.14

УДК 621.771

А.С. АРАЛКИН, А.А. ХРУЦКИЙ кандидаты. техн. наук, доц.,
С.И. НЕЙМИРКО, инженер Криворожский национальный университет

РАЗРАБОТКА И АПРОБАЦИЯ НОВОЙ КОНСТРУКЦИИ МОЛОТОВОГО ШТАМПА В УСЛОВИЯХ ОАО «КРИВОРОЖГОРМАШ»

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.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Показатели качества поковок штампованных (ГОСТ 7505-89) в современном производстве тесно связаны с технологическими возможностями и техническими характеристиками используемых металлообрабатывающих станков. Машиностроительное производство все более широко оснащается новым высокопроизводительным 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 С.В. Ferrari серии D. Электрощпиндель 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 ИР-500МФ4: 21-3000 об/мин. Универсальный пятиосевой вертикальный ОЦ фирмы «Okuma» (Япония) уже может применяться для комплексной обработки деталей из различных материалов, в том числе высоколегированных и 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]. В связи с этим для сохранения целостности режущего инструмента особенно важно обеспечить повышенную точность размеров обрабатываемой 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 исследований и публикаций. Известно, что перекоп штампа приводит к систематически повторяющемуся браку одного и того же вида с высоким процентом отбраковки – перекоп по разьему, утонение стенки и пр. Он вызван ошибками при конструировании штампов и связан с тем, что конструктор не предусмотрел в штампе направляюще [2,3].

Как правило, горячую объемную штамповку [4] выполняют на молотах в штампах с центрирующими шпильками (рис. 1). Этот процесс заключается в формообразовании заготовок, предварительно нагретых до температуры 1000 - 1200 °С, в фасонных полостях штампов, сдавленных со значительным усилием.

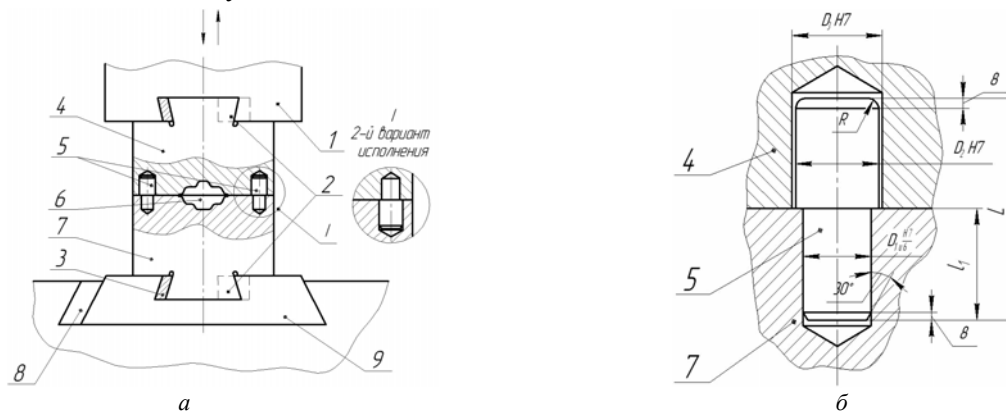


Рис. 1. Облойная молотовая штамповка в открытом штампе: *а* – схема штампа; *б* – центрирующая шпилька, 1 – баба молота, 2 – сухари, 3 – клинья штампа, 4, 7 – верхняя (пуансон) и нижняя (матрица) части штампа, 5 – направляющие шпильки, 6 – полость ручья, 8 – клин штамподержателя, 9 – штамподержатель

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 разъема штампа снять дополнительный слой металла, равный высоте направляющих. Шпильки запрессовывают с натягом в нижней части штампа по посадке H7/u6 [5]. Для этого нижний штамп предварительно нагревают до 350-450°С 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 [6]. 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 [7].

Постановка задачи. 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.

Изложение материалов и результаты. 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 выхода из строя штампов связано с выпадением направляющих шпилек из посадочного места.

Причины выхода из строя штампов на ОА "Криворожгормаш" (2006... 2008 гг.).

Причины поломок молотовых штампов	Кол-во штампов	Долевая часть, %
Трещины в штампе	32	8,96
Потеря формы и размеров поковки	42	11,76
Забойны зеркала штампа	36	10,08
Износ хвостов штампа	34	9,53
Выпадение шпилек	186	52,1
Другое (заклинивание штампа, комбинация дефектов)	27	7,57
Итого:	357	100

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.

Характеристики молота: энергия удара 125000 Дж, масса падающих частей $m=5000$ кг, давление сжатого воздуха 0,6-0,7 МПа, масса молота 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 $dt=2L/c$ [15]. $c=5850$ 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: $E_n = m_1 gh$. При падении молота его потенциальная энергия переходит в кинетическую. Таким образом, затрачиваемая работа равна кинетической энергии тел в начале удара по раскаленному металлу

$$E_1 = (m_1 v_1^2) / 2 \quad (1)$$

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

Начальная скорость деформации равняется 6-8 м/с, конечная - 0 м/с, а ее продолжительность 0,003-0,002 с [5]. Согласно теоремы Карно потерянная при неупругом ударе кинетическая энергия $\Delta E = E_1 - E_2$ идет на деформацию поковки и нагрев тел [8,9]

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

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); $k = (u_2 - u_1) / (v_1 - v_2)$ - коэффициент восстановления штампа: При ударе абсолютно пластичных тел $k=0$; 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) $k=0,7-0,8$ [6].

Учитывая (1) после преобразований для неподвижного фундамента молота ($v_2=0$) [8]

$$\Delta E = m_2 \cdot E_1 (1 - k^2) / (m_1 + m_2). \quad (3)$$

Вредная энергия, теряемая на сотрясение основания

$$E_2 = E_1 - \Delta E = E_1 \left[1 - \frac{m_2 (1 - k^2)}{m_1 + m_2} \right] \quad (4)$$

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.

Зависимость энергии деформации и энергии упругости от ударов на разных стадияхковки					
k	$k=0$	$k=0,25$	$k=0,55$	$k=0,75$	$k=1,0$
ΔE	120547,16	113012,96	84081,64	52739,38	0
E_2	4452,84	11987,04	40918,36	72260,62	125000

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

$$\Delta E = -6 \cdot 10^{-11} x^3 - 6630,1x^2 + 9643,8x + 11807 \quad (5)$$

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

$$E_2 = -2 \cdot 10^{-10} x^3 - 6630,1x^2 + 9643,8x + 6924,1 \quad (6)$$

При максимальном сближении верхней и нижней частей штампа [7] проявляется нагрузочная фаза, при которой кинетическая энергия преобразуется в энергию упругого деформирования сталкивающихся частей штампа в месте их контакта (рис. 2).

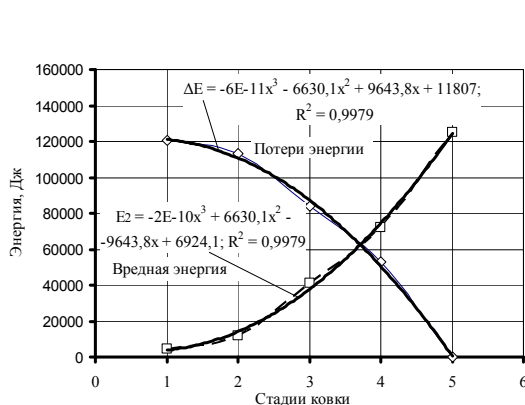


Рис. 2 Анализ затрат энергии деформации

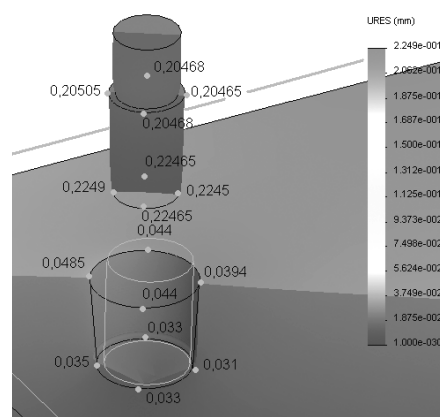


Рис. 3 Деформации в сопряжении шпильки

Фактически в концековки 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 Simulation [12-14].

На примере сопряжения $\varnothing 50H7(0,025) / u6(0,086)$ установлено, что на конечной стадииковки деформация отверстия и шпильки различна по длине сопряжения и в поперечных направлениях (рис. 3), 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 может полностью ликвидироваться. Под действием обратных упругих деформаций нижняя часть штампа возвращается в исходное положение и выталкивает направляющую шпильку. Таким образом, создаются условия для их выпадения.

Соприкасаясь с металлом, нагретым до температурыковки (1000-1200 °С), штамп тоже разогревается. Нагрев молотового штампа меняется циклически, возрастая при каждом ударе, и к концу штампковки температура достигает 450 °С на глубине 1–0,5 мм от контактной поверхности в нижней неподвижной части штампа и 300 °С в верхней подвижной его части [10].

Расчеты температурных деформаций штампа показали, что за счет разных значений коэф-

коэффициента линейных расширений материала штампа Стали 5ХМА ($\alpha_1=14,1 \cdot 10^{-6}$) и материала направляющей шпильки Стали 40Х ($\alpha_2=12,2 \cdot 10^{-6}$) 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 решения проблемы 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. 4). Шпильки рекомендуется устанавливать на переходных посадках или на посадках с натягом [11].

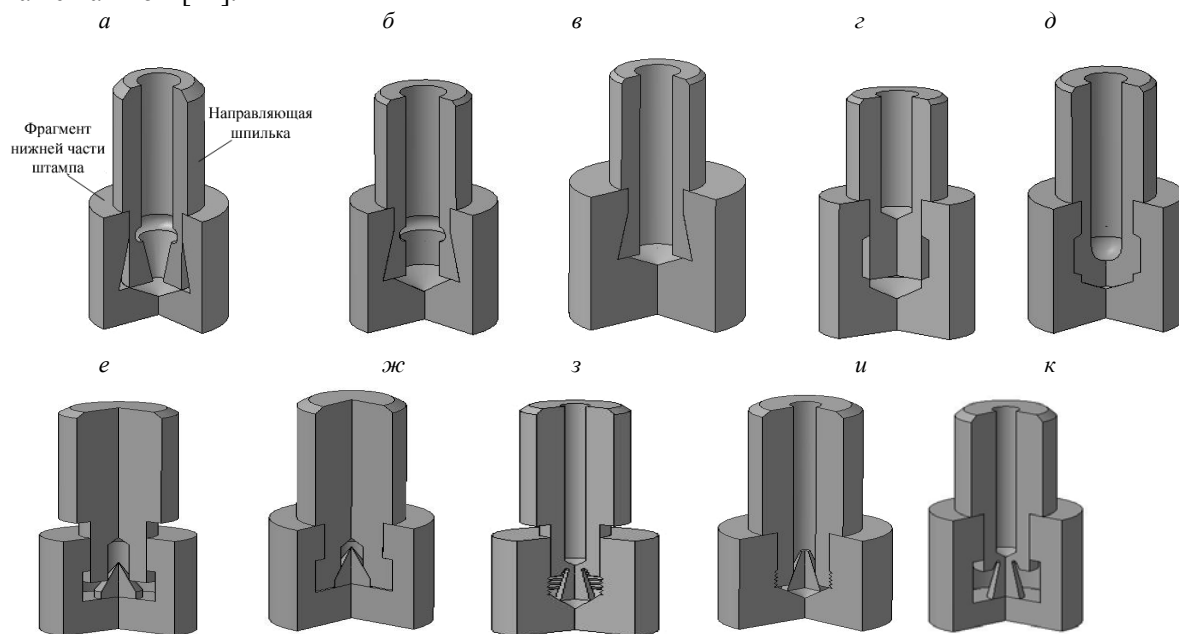


Рис. 4 Варианты способов внутренней развальцовки направляющих шпилек

Шпильку устанавливают в обратное коническое гнездо (рис. 4а) и фиксируют развальцовкой (раздачей) напуска путем прошивания цилиндрической насадки (рис 4б,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 ОАО "Криворожгормаш", г. Кривой Рог. По результатам испытаний молотовых штампов усовершенствованных конструкций не было отмечено ни одного случая выпадения направляющих шпилек.

Выводы. 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.

Установлена главная причина выхода из строя штампов - выпадение направляющих шпилек (свыше 52 %). Показано, что для молотовых штампов с массой падающих частей 5000 кг сила удара в конце ковки, когда заготовка уже практически сформирована, может достигать 1200 тн.

Путем моделирования с применением программного обеспечения SolidWorks Simulation и

расчетов температурных деформаций штампа установлено, что рассмотренная модель достаточно прочная. Максимальное напряжение в материале модели составляет 326 МПа, коэффициент запаса прочности составляет 1,9; деформация отверстия под палец направлена наружу, что приводит к увеличению диаметра отверстия. Деформированное отверстие принимает форму конуса, расширяясь наружу. Максимальная деформация на наружной кромке отверстия составляет 0,0245 мм. Деформация пальца направлена вовнутрь, что приводит к уменьшению посадочного диаметра. Максимальная деформация составляет 0,023 мм.

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

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. **Altan T.** Metal forming: fundamentals and applications. /**Altan T., Oh S.-I., Gegel H.L.** -Metal Park: American Society For Metals, 1983.
4. Ковка и объемная штамповка. Справочник. – Т.1. – Под редакцией **М.В. Сторожева.** - М.: Машиностроение, 1967. – 436 с.
5. Машины и технология обработки металлов давлением. – Под редакцией **Живова Л.И.** – Киев: Вища школа. – 1987. – 213 с.
6. **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.
7. Теоретическая механика. Под редакцией **Б.Н. Фрадлина.** - Львов: «Издательство Львовского университета», 1969. – 312 с.
8. **Ребельский А.А.** Основы проектирования процессов горячей объемной штамповки. / **А.А. Ребельский** – Под редакцией **С.Г. Соловьева.** – М.: Машиностроение, 1965. – 293 с.
9. **Ponter A.R.S.** Minimum theorem for cyclic load in excess of shakedown, with application to the evaluation of ratchet limit // **Ponter A.R.S., Chen H. A.**- European Journal of Mechanics A/Solids. - 2001. - Vol. 20. - No.4. - P. 539-553.
10. **Семенов Е.И.** Ковка и объемная штамповка./ **Е.И.Семенов** – М.: Высшая школа, 1972. -352 с.
11. **Орлов П.И.** Основы конструирования / **П.И. Орлов** – Кн. 2 М.–: Машиностроение, 1972, 525 с.
12. **Matt Lombard.** SolidWorks 2010 Bible // **Matt Lombard** - Wiley, 2010.- 1179 p.
13. **Randy Shih.** Introduction to Finite Element Analysis Using SolidWorks Simulation 2011 // **Randy Shih.**- SDC Publications,2011.- 451 p.
14. Paul Kurowski. **Details about Engineering Analysis with SolidWorks Simulation 2010** // Paul Kurowski.- **SDC Publications, 2010.- 409 p.**
15. <http://ru.wikipedia.org/wiki/Удар>

Рукопись поступила в редакцию 17.03.14

УДК 621.311

І.О. СІНЧУК, канд. техн. наук, доц., А.М. ЯЛОВА, М.А. БАУЛІНА, аспіранти
Криворізький національний університет
К.П. БОГОДИСТ, старший викладач
Кременчуцький національний університет ім. Михайла Остроградського

ДО РЕАЛІЙ РОЗБУДОВИ СЛУЖБИ ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ ГІРНИЧОРУДНОГО КОМБІНАТУ

Розглянуто питання формування ефективної структури енергетичного менеджменту на базі промислового підприємства. Виділено всі переваги та бар'єри на шляху створення служби енергетичного менеджменту. Запропоновано модель системи енергоменеджменту для гірничорудного комбінату.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Більше 70 % промислового потенціалу України та фінансових надходжень до держбюджету – це металургійна промисловість та гірничодобувна її галузь [1].