

УДК 621.73

**Кухарь В. В.
Николенко Р. С.**

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВАРИАНТОВ ГОРЯЧЕЙ ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКИ ПЛОСКИХ СЛОЖНОПРОФИЛЬНЫХ ПОКОВОК

Среди основных технологических проблем, возникающих при разработке технологий горячей объемной штамповки поковок различной конфигурации, следует выделить адаптацию варианта штамповки к установленному в цехе оборудованию. Так, поковка «Суппорт» (рис. 1, а) является представителем классификации поковок, штампуемых на винтовых фрикционных прессах [1]. Данное изделие, согласно источнику [2], относят к плоским сложнопрофильным поковкам. Однако поковки типовой (по морфологическим признакам) формы входят и в классификацию поковок, штампуемых на кривошипных горячештамповочных прессах (КГШП), а, следовательно, могут быть отштампованы на данном виде оборудования, которым оборудованы современные кузнечно-штамповочные цехи. В обоих случаях технологи сталкиваются с проблемой высоких расходных коэффициентов, т. к. на указанном виде оборудования затруднительно проводить подготовительное профилирование заготовок.

В работах [3, 4] показано преимущество использования осадки инструментом выпуклого профиля в качестве профилирующей операции перед последующей штамповкой. Номенклатура штампуемых в настоящее время изделий из полуфабриката, полученного такой операцией, довольно ограничена, что требует выбора радиуса выпуклых ручьевых вставок и разработки технологических переходов с учётом используемого оборудования. Такой выбор осуществляют на основании результатов работ [5–7] по исследованию напряжённо-деформированного состояния (НДС) и формоизменения при осадке выпуклыми радиусными штамповыми вставками с эксцентриситетом нагрузки. Однако определение наименее материалоемкой технологии штамповки поковки типа «Суппорт» требует проведения анализа технологических вариантов её изготовления способами горячей объемной штамповки.

Целью данной работы является разработка и анализ вариантов горячей объемной штамповки плоской сложнопрофильной поковки (на примере поковки «Суппорт») для выбора наименее материалоемкой технологии.

Поковка «Суппорт» используется в машиностроительных конструкциях, испытывает напряжения изгиба и растяжения. Материал – Сталь 40 ГОСТ 1050 – 88, масса детали – 3,188 кг (рис. 1, б), масса поковки (с назначенными по ГОСТ 7505 припусками и напуском на отверстие) – 3,4 кг.



Рис. 1. Вид поковки «Суппорт» (а) и деталь с отверстием (б):

А – опорная часть; Б – соединительная (крепежная) часть; В – переходная часть; Г – отверстие в детали

Анализировали три варианта штамповки поковки «Суппорт»:

1. Штамповка из заготовки без предварительного профилирования.
2. Штамповка из заготовки, профилированной эксцентричной осадкой радиусными штамповыми вставками.

3. Многоручьевая штамповка из одной заготовки с радиальным расположением четырёх поковок.

Для разработки технологических процессов рассматриваемой поковки была построена её эпюра диаметров и эпюра сечений (рис. 2).

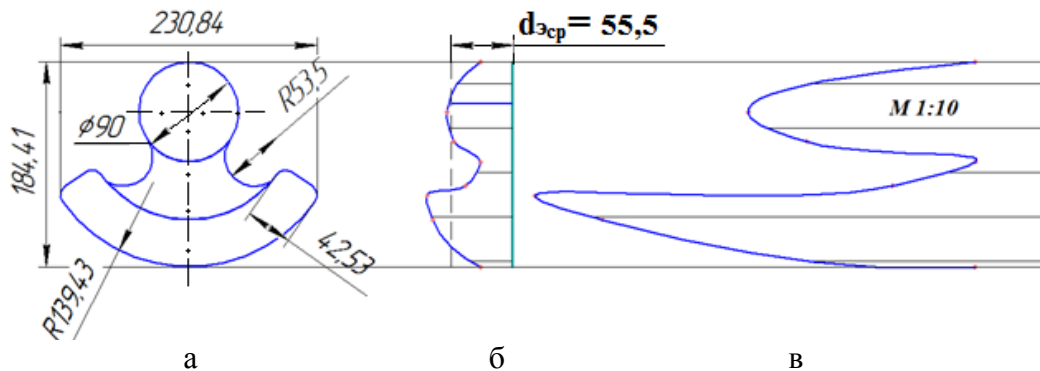


Рис. 2. Поковка «Суппорт» (а), её эпюра сечений (б) и эпюра диаметров (в)

Анализ всех технологических вариантов штамповки выполняли в пакете конечно-элементного анализа Deform-3D (лицензия №8145). Модель упрочнения так же, как и граничные условия, взяты в соответствии с условиями, предложенными программой. Температурные условия принимали изотермическими, температура деформации 1100°C (индукционный нагрев). Модели инструмента были построены в программном пакете КОМПАС-3D.

Первый вариант производства поковки «Суппорт» (рис. 3) включает отрезку от прутка цилиндрической заготовки с размерами $\varnothing 90 \times 113$ мм (масса 5,49 кг), индукционный нагрев, горизонтальную установку в черновой ручей, предварительную и окончательную штамповку в открытых ручьях с последующей обрезкой облоя в горячем состоянии на обрезном кривошипном прессе, усилием 6,3 МН. Подача поковки с облоем от КГШП к обрезному прессу производится транспортером.

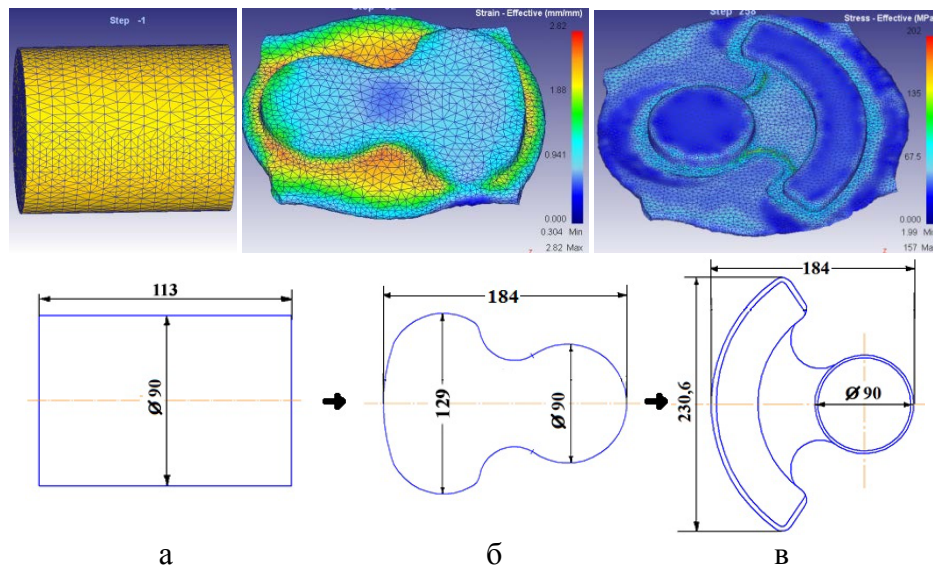


Рис. 3. Технология штамповки без предварительного профилирования:
а – заготовка; б – предварительная штамповка; в – окончательная штамповка

Технологический процесс сопровождался нестабильными окончательными размерами поковки в краевых областях опорной части из-за недоштамповки до требуемых размеров. Это объясняется тем, что поковки «Суппорт» с тонким полотном и перепадами поперечного сечения требуют больших удельных сил (давлений) на гравюре штампа для полного оконча-

тельного оформления размеров изделия, а отсутствие промежуточного приближения формы заготовки к конфигурации поковки приводит к неблагоприятному распределению давлений по гравюре. Большие степени обжатия и быстрое охлаждение полотна плоской поковки на штампе приводят к значительному росту сопротивления деформирования металла, увеличению доли упругой деформации станины пресса, к нерегламентированной толщине облая.

Второй вариант включал в себя профилирующую операцию эксцентричной осадки радиусными штамповыми вставками для приближения формы заготовки к геометрии гравюры чернового ручья (рис. 4). Для локализации давлений в области «А» (см. рис. 1), снижения упругой деформации станины пресса, улучшения заполнения гравюры штампа предложено выполнять операцию осадки заготовки радиусными штамповыми вставками с обеспечением эксцентриситета оси выпуклости инструмента к вертикальной оси заготовки (рис. 4). За счет такого профилирования происходит перераспределение металла по длине расчётной заготовки (согласно эпюре диаметров) с обеспечением требуемых объёмов в местах формирования областей «А», «Б» и «В» (по рис. 1). Это позволило снизить массу заготовки с 5,49 кг до 4,277 кг, т.е. достичь экономии металла 1,21 кг на каждой поковке на 22%. При этом исключена частичная недоштамповка и обеспечено полное оформление полотна поковки.

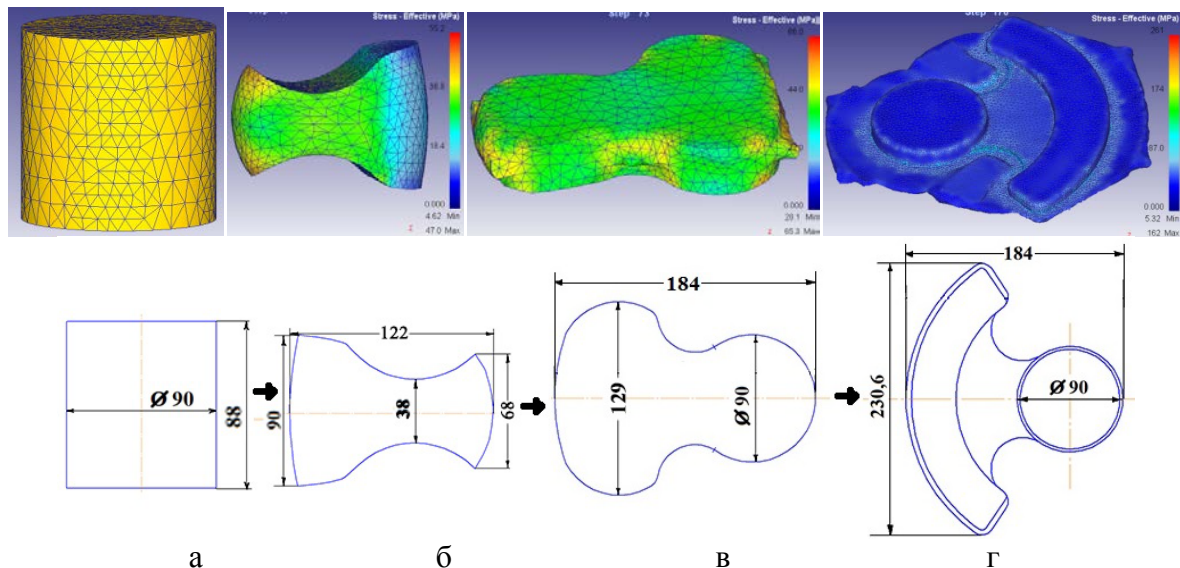


Рис. 4. Технология с предварительным профилированием заготовки осадкой радиусными штамповыми вставками с эксцентриситетом:

а – заготовка; б – профилирование; в – предварительная штамповка; г – окончательная штамповка

В третьем варианте представлен процесс многоступенчатой штамповки поковки из заготовки диаметром 300 мм и высотой 60 мм в штампе при крестообразном расположении ручьёв (см. рис. 5).

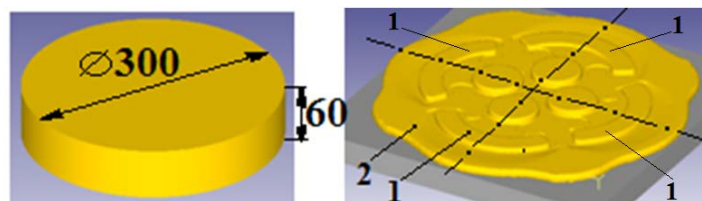


Рис. 5. Многоступенчатая штамповка: (1 – поковки; 2 – облой)

Конечно-элементная модель поковки пластины на окончательной стадии штамповки со схемой замера распределения интенсивностей напряжённо-деформированного состояния (НДС) в продольном и поперечном сечении приведена на рис. 6.

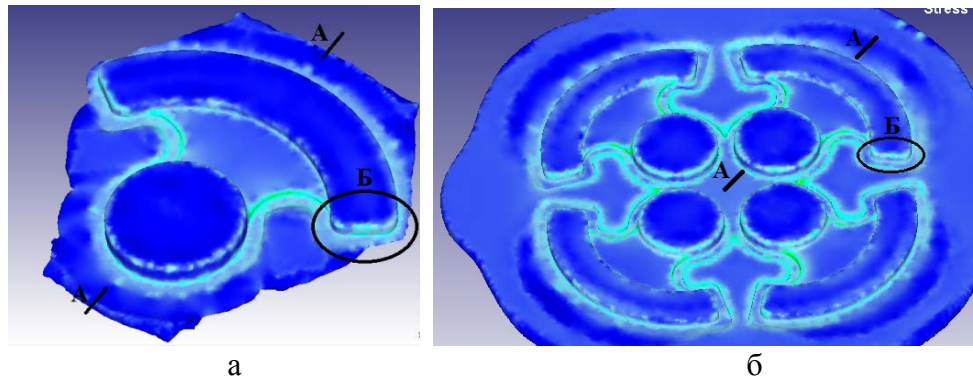


Рис. 6. Конечно-элементная модель отштампованной поковки и продольное сечение А-А и сечение Б-Б, в которых проводили анализ НДС:

а – в обычном штампе; б – многоступенчатая штамповка

Для построения графиков распределения НДС в сечении А-А поковки в окончательном ручье было выбрано 20 контрольных точек (рис. 7, а) для измерения, а в сечении Б-Б – 10 контрольных точек (рис. 7, б) для определения интенсивностей напряжений и интенсивностей деформаций.



Рис. 7. Точечная схема для измерения НДС в указанных сечениях: а – сечение А-А; б – сечение Б-Б

По результатам моделирования построены графики распределения интенсивностей напряжений и интенсивностей деформаций в продольном направлении (А) и в сечении Б по трём технологиям (рис. 8–11).

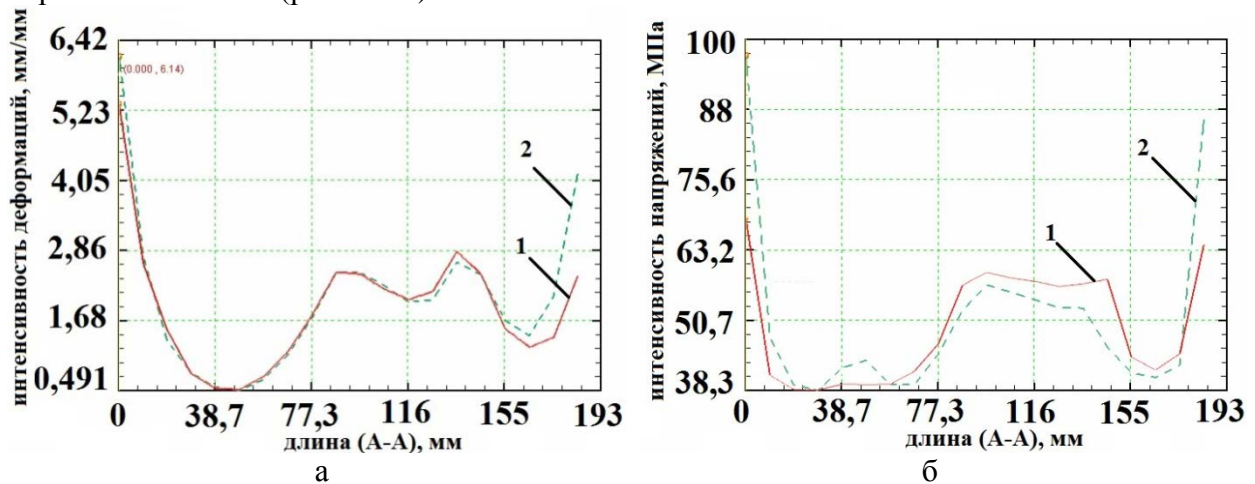


Рис. 8. Распределение интенсивности деформаций (а) и интенсивности напряжений (б) без предварительного профилирования (1) и с предварительным профилированием радиусными штамповыми вставками с эксцентриситетом нагрузки (2) в сечении (А-А) после штамповки

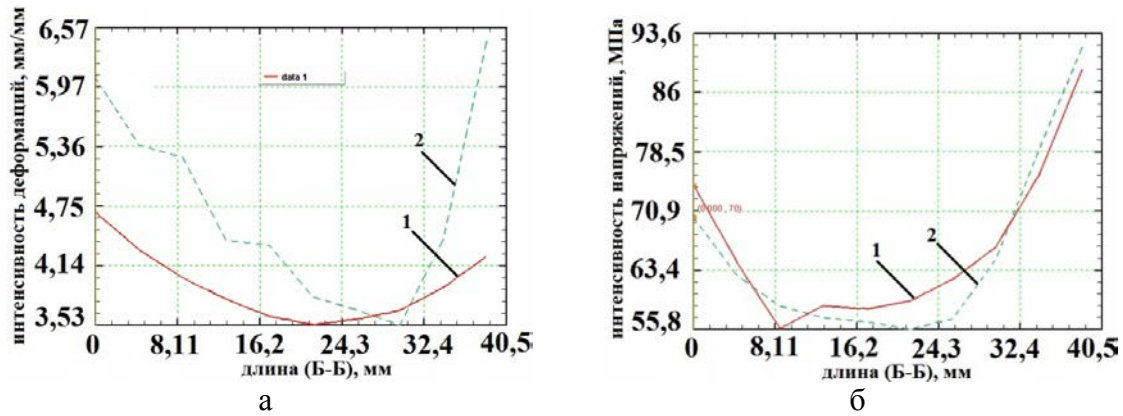


Рис. 9. Распределение интенсивности деформаций (а) и интенсивности напряжений (б) без предварительного профилирования (1) и с предварительным профилированием радиусными штамповыми вставками с эксцентриситетом нагрузки (2) в сечении (Б-Б) после штамповки

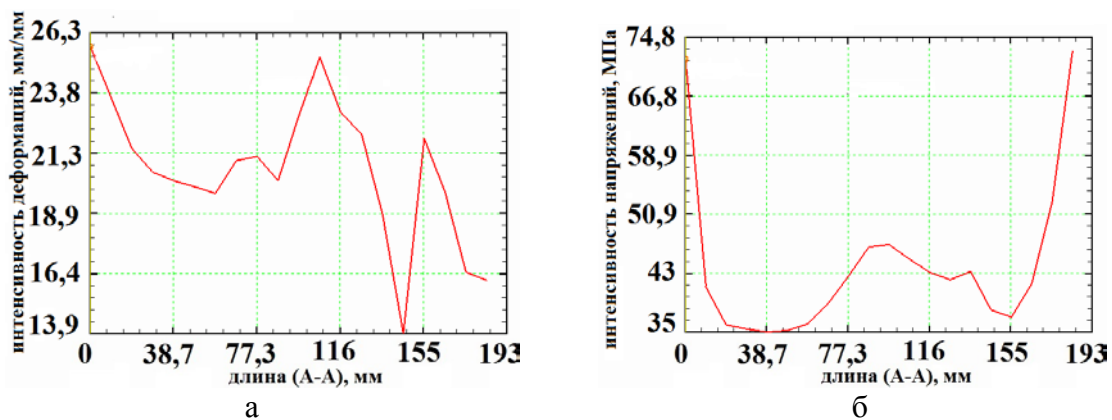


Рис. 10. Распределение интенсивности деформаций (а) и интенсивности напряжений (б) при многоштычной штамповке в сечении (А-А) после штамповки

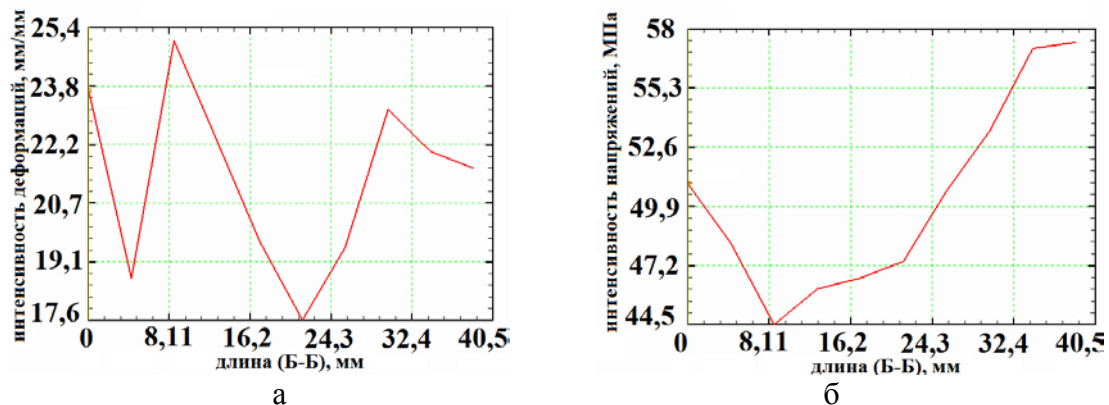


Рис. 11. Распределение интенсивности деформаций (а) и интенсивности напряжений (б) при многоштычной штамповке в сечении (Б-Б) после штамповки

Графики показывают падение значений интенсивностей напряжений и интенсивностей деформаций в переходной части поковки (сечение А-А) на 8% после окончания штамповки с применением осадки радиусными штамповыми вставками с эксцентриситетом нагрузки в качестве профилирующей операции. В сечении Б-Б видно повышение интенсивности напряжений на 5% и интенсивности деформаций на 25% в месте образования облоя в случае штамповки поковки с применением предварительного профилирования осадкой радиусными штамповыми вставками с эксцентриситетом нагрузки, что говорит о лучшем заполнении полости рудья металлом. В случае многоштычной штамповки наибольшая интен-

сивность деформации на окончательной стадии штамповки наблюдается в крепёжной части поковки 26 мм/мм, а интенсивность напряжений в опорной части 74 МПа.

По результатам моделирования построен график необходимой силы для штамповки поковки «Суппорт» по трём вариантам (рис. 12).

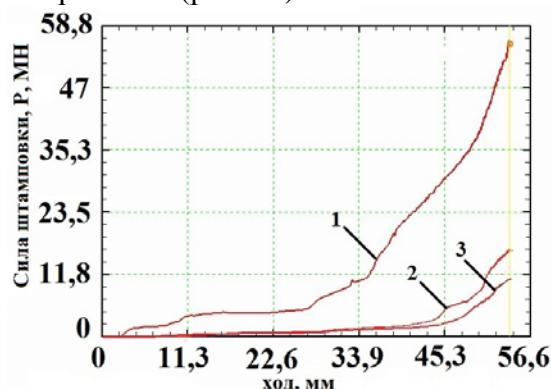


Рис. 12. График распределения силы необходимой для окончательно штамповки поковки «Суппорт» (1 – многошпучная штамповка; 2 – штамповка без профилирования; 3 – штамповка с применением профилирования осадкой радиусными штамповыми вставками)

Из графика (рис. 12) видно, что максимальная сила 57 МН для окончательного деформирования будет необходима в случае варианта многошпучной штамповки, а минимальная 11,5 МН при внедрении предварительного профилирования осадкой радиусными штамповыми вставками с эксцентриситетом нагрузки.

По полученным результатам была составлена таблица технико-экономических показателей штамповки поковки «Суппорт» (табл. 1).

Таблица 1

Технико-экономические показатели вариантов штамповки поковки «Суппорт»

Показатели	Вариант технологии штамповки				
	Штамповка без профилирования (базовая)	Штамповка с профилированием	% от базовой	Многошпучная штамповка	% от базовой
Масса заготовки (M_3), кг	5,49	4,277	77,9	32,39	590
Количество операций (n)	3	4	133	2	66,6
Количество отштампованных поволоков в окончательном ручье (m), шт	1	1	100	4	400
Необходимая сила (P), МН	13,7	11,5	83,9	57	416

Таким образом, штамповка с предварительным профилированием имеет преимущества как с точки зрения экономии металла поковки, так и с точки зрения использования менее мощного и энергоэкономичного штамповочного оборудования.

ВЫВОДЫ

Предложены три технологических варианта изготовления плоской сложнопрофильной поковки (поковка «Суппорт», материал – сталь 40 ГОСТ 1050-88) способами горячей объемной штамповки в пакете Deform-3D: без предварительного профилирования, с внедрением предварительного профилирования эксцентричной осадкой радиусными штамповыми вставками и многошпучной штамповки. По результатам моделирования выявлено, что внедрение предварительного профилирования осадкой радиусными штамповыми вставками с эксцентриситетом нагрузки перед операцией штамповки приводит к снижению интенсивности напряжений на 5% и интенсивности деформаций на 25% в гравюре окончательного ручья, а также к улучшению заполнения гравюры штампа.

Установлено, что применение предварительной осадки заготовки радиусными штамповыми вставками с эксцентриситетом нагрузки в качестве профилирующей операции перед последующей объемной штамповкой снижает необходимую силу окончательной штамповки на 17%. Многоштучная штамповка требует больших (более чем 4 раза) энергосиловых затрат в отличие от штамповки с применением предварительного профилирования, что требует использования мощного дорогостоящего и крупногабаритного оборудования.

В результате анализа технико-экономических показателей трех вариантов штамповки показано, что технология с применением предварительного профилирования заготовок эксцентричной осадкой радиусными штамповыми вставками позволяет сократить отходы металла в облой на 22%, по сравнению с вариантом штамповки без профилирования.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ковка и штамповка : справочник : в 4-х т. Т. 2. Горячая объемная штамповка / под ред. Е. И. Семенова. – М. : Машиностроение, 1986. – 592 с.
2. Технологический справочник по ковке и объемной штамповке / под ред. М. В. Сторожева. – М. : Mashgiz, 1959. – 972 с.
3. Кухарь В. В. Экспериментальные исследования формоизменения цилиндрических заготовок при осадке выпуклыми продолговатыми плитами / В. В. Кухарь, В. А. Бурко // *Металлургические процессы и оборудование*. – 2008. – № 4 (14). – С. 35–39.
4. Кухарь В. В. Исследование особенностей формоизменения цилиндрических заготовок при осадке выпуклыми продолговатыми плитами / В. В. Кухарь, В. А. Бурко // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2009. – № 1. – С. 66–68.
5. Кухарь В. В. Исследование напряженно-деформированного состояния заготовок при профилировании выпуклыми плитами с эксцентриситетом нагрузки / В. В. Кухарь, Р. С. Николенко // *Проблемы трибологии (Problems of Tribology)*. – 2012. – № 3. – С. 132–136.
6. Кухарь В. В. Исследование формоизменения заготовок при профилировании выпуклыми плитами с эксцентриситетом нагрузки / В. В. Кухарь, Б. С. Каргин, Р. С. Николенко // *Вісник національного технічного університету «ХПИ»*. – Харків : НТУ «ХПИ», 2012. – № 46 (952). – С. 71–76.
7. Кухарь В. В. Моделирование формоизменения относительно высоких заготовок при осадке выпуклыми плитами с эксцентриситетом нагрузки / В. В. Кухарь, Р. С. Николенко // *Збірник наукових праць (галузевого машинобудування, будівництва)*. – Полтава : ПолтНТУ, 2013. – Вип. 2 (37). – С. 57–61.

REFERENCES

1. Kovka i shtampovka : spravochnik : v 4-h t. T. 2. Gorjachaja obemnaja shtampovka / pod red. E. I. Semenova. – M. : Mashinostroenie, 1986. – 592 s.
2. Tehnologicheskij spravochnik po kovke i obemnoj shtampovke / pod red. M. V. Storozheva. – M. : Mashgiz, 1959. – 972 s.
3. Kuhar' V. V. Jeksperimental'nye issledovanija formoizmenenija cilindricheskix zagotovok pri osadke vypuklymi prodolgovatymi plitami / V. V. Kuhar', V. A. Burko // *Metallurgicheskie processy i oborudovanie*. – 2008. – № 4 (14). – S. 35–39.
4. Kuhar' V. V. Issledovanie osobennostej formoizmenenija cilindricheskix zagotovok pri osadke vypuklymi prodolgovatymi plitami / V. V. Kuhar', V. A. Burko // *Metallurgicheskaja i gornorudnaja promyshlennost'*. – 2009. – № 1. – S. 66–68.
5. Kuhar' V. V. Issledovanie naprjazhenno-deformirovannogo sostojanija zagotovok pri profilirovanii vypuklymi plitami s jekscentrisitetom nagruzki / V. V. Kuhar', R. S. Nikolenko // *Problemi tribologii (Problems of Tribology)*. – 2012. – № 3. – S. 132–136.
6. Kuhar' V. V. Issledovanie formoizmenenija zagotovok pri profilirovanii vypuklymi plitami s jekscentrisitetom nagruzki / V. V. Kuhar', B. S. Kargin, R. S. Nikolenko // *Visnik nacional'nogo tehničnogo universitetu «HPI»*. – Harkiv : NTU «HPI», 2012. – № 46 (952). – S. 71–76.
7. Kuhar' V. V. Modelirovanie formoizmenenija otnositel'no vysokix zagotovok pri osadke vypuklymi plitami s jekscentrisitetom nagruzki / V. V. Kuhar', R. S. Nikolenko // *Zbirnik naukovih prac' (galuzeve mashinobuduvannja, budivnictvo)*. – Poltava : PoltNTU, 2013. – Vip. 2 (37). – S. 57–61.

Кухарь В. В. – д-р техн. наук, проф., зав. каф. ОМД ГВУЗ «ПГТУ»;

Николенко Р. С. – аспирант ГВУЗ «ПГТУ».

ГВУЗ «ПГТУ» – Государственное высшее учебное заведение «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь.

E-mail: kvv_mariupol@mail.ru

Статья поступила в редакцию 09.07.2015 г.