

УДК 621.73

Кухарь В. В., д.т.н., проф., Николенко Р. С., асп., Бурко В. А., к.т.н., доц.  
ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, Украина

## ПРИМЕНЕНИЕ ПАКЕТА DEFORM 3D ДЛЯ АНАЛИЗА ВАРИАНТОВ ТЕХНОЛОГИЙ ШТАМПОВКИ ПОКОВОК «СУППОРТ»

Kuhar V., Nikolenko R., Burko V.  
SHEI «Priazovskiy State Technical University», Mariupol, Ukraine

### APPLICATION OF DEFORM 3D PACKAGE FOR ANALYSIS OF TECHNOLOGY OPTIONS OF DIE-FORGING OF FORGINGS "SUPPORT"

*Проведен анализ технологических переходов и технико-экономических показателей трёх вариантов штамповки плоской поковки «Суппорт» с наличием перепадов поперечного сечения (материал - сталь 40 ГОСТ 1050-88) в пакете Deform 3D без предварительного профилирования, с внедрением предварительного профилирования осадкой выпуклыми продолговатыми бойками с наличием эксцентриситета и многоштычной штамповки. По результатам моделирования построены графические зависимости распределения интенсивностей напряжений и интенсивностей деформаций в исследуемых сечениях по трём технологиям. Выявлено, что внедрение предварительного профилирования осадкой выпуклыми плитами с эксцентриситетом нагрузки перед операцией штамповки приводит к снижению интенсивности напряжений на 5% и интенсивности деформаций на 25% в гравюре окончательного ручья, улучшению заполнения гравюры штампа и позволяет сократить отходы металла в облой до 22%.*

*Ключевые слова:* осадка, предварительное профилирование, выпуклые бойки, моделирование, штамповка, интенсивность деформации, интенсивность напряжений

#### Введение

В современном машиностроении и металлургической промышленности достаточное внимание уделяется вопросам, связанным с модернизацией старых и разработкой новых технологических процессов, которые позволяют достичь максимального энерго- и ресурсосбережения с улучшением показателей качества продукции. При горячей объёмной штамповке максимальное приближение формы заготовки к форме готового изделия, т.е. предварительное профилирование, позволяет значительно сократить потери материала в облой, снизить затраты на последующую механическую обработку, а также повысить стойкость штампового инструмента. Для данных технологий вопросы профилирования заготовок остаются наиболее актуальными, т.к. штампы, подвергаясь интенсивному ударно-абразивному износу, воздействию высоких температур и давлений, работают в весьма неблагоприятных условиях [1].

В работах [2–4] авторами исследовано и показано преимущество использования осадки инструментом выпуклого профиля в качестве профилирующей операции перед последующей штамповкой. Однако, номенклатура штампуемых в настоящее время изделий из полуфабриката, полученного такой операцией, довольно ограничена, что требует подбора подходящей конфигурации бойков и разработки технологических переходов с учётом используемого оборудования. Исследование напряжённо-деформированного состояния (НДС) и формоизменения при осадке выпуклыми радиусными бойками с эксцентриситетом нагрузки было выполнено авторами в работах [5–7]. Одной из поковок, усовершенствование технологии штамповки, которой целесообразно за счёт использования профилирования заготовок эксцентричной осадкой выпуклыми бойками, является изделие «Суппорт» (рис. 1).

#### Цель

Целью данной работы является разработка и анализ вариантов штамповки плоской поковки с наличием перепадов (неравномерности) поперечного сечения с использованием пакета конечно-элементного анализа Deform 3D на примере поковки «Суппорт».

#### Исследование

Указанная поковка используется в машиностроительных конструкциях, испытывает деформации изгиба и растяжения. Материал – Сталь 40 ГОСТ 1050 – 88, масса детали – 3,188 кг, масса поковки (с назначенными по ГОСТ 7505 припусками и напуском на отверстие) – 3,4 кг.

Штамповка такой поковки может быть произведена на паровоздушном штамповочном молоте (ПШМ) и кривошипном горячештамповочном прессе (КГШП).

В зависимости от вариантов изготовления и используемого оборудования возможно применение способов многоручьевого штамповки. Варианты штамповки на ПШМ не рассматривали как менее рациональные как с точки зрения материалоемкости, так и с точки зрения ориентирования на цеха, оборудованные КГШП.

Анализировали три варианта штамповки поковки «Суппорт»:

1. Штамповка из заготовки без предварительного профилирования.
2. Штамповка из заготовки, профилированной эксцентричной осадкой выпуклыми бойками.
3. Многоручьева штамповка из одной заготовки с радиальным расположением четырёх поволок.

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

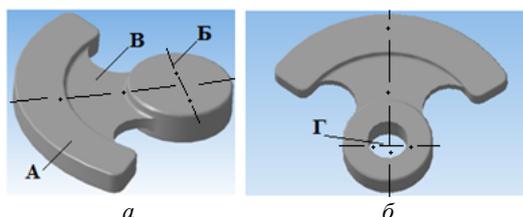


Рис. 1. Поковка «суппорт» (а) и деталь с отверстием (б):

а – опорная часть; б – соединительная (крепёжная) часть; в – переходная часть; г – отверстие в детали

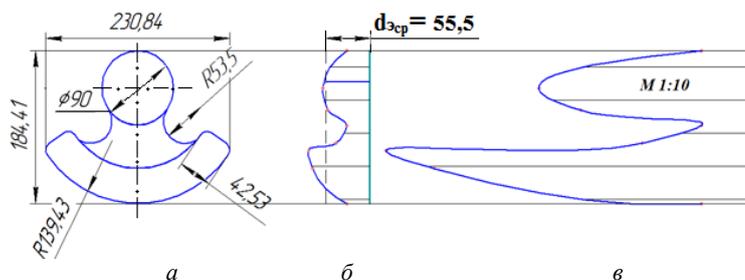


Рис. 2. Поковка «Суппорт» (а), эпюра сечений (б) и эпюра диаметров (в)

Для всех вариантов моделирование выполняли в пакете конечно-элементного анализа Deform 3D (лицензия №8145). Модель упрочнения, также как и граничные условия, взяты в соответствии с условиями, предложенными программой. Температурные условия принимали изотермическими, температура деформации 1100 °С (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), 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 обломом от КГШП к обрезному прессу производится транспортером.

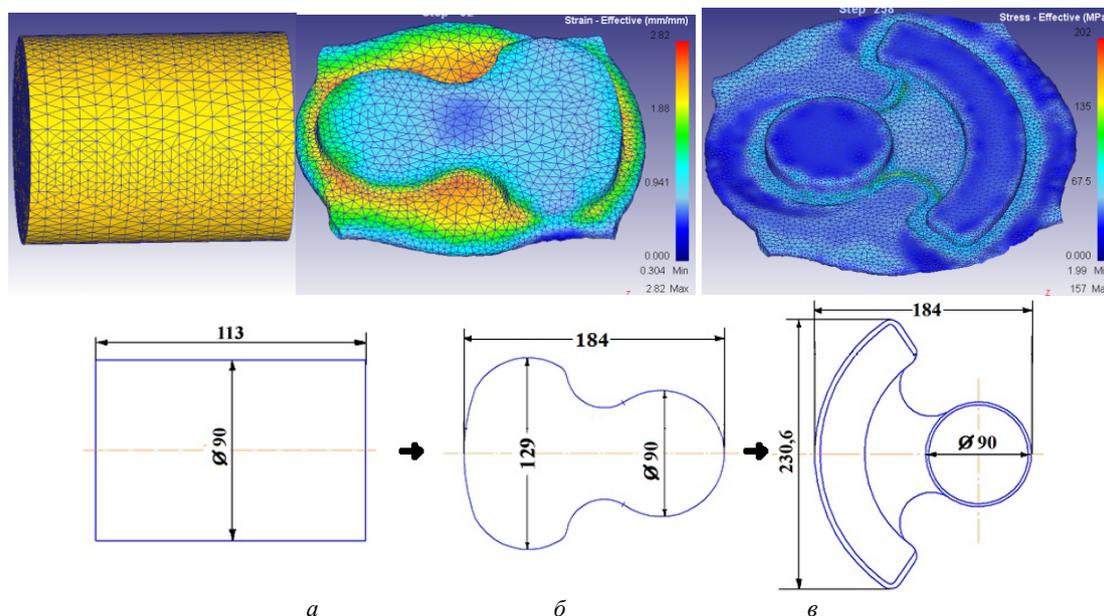
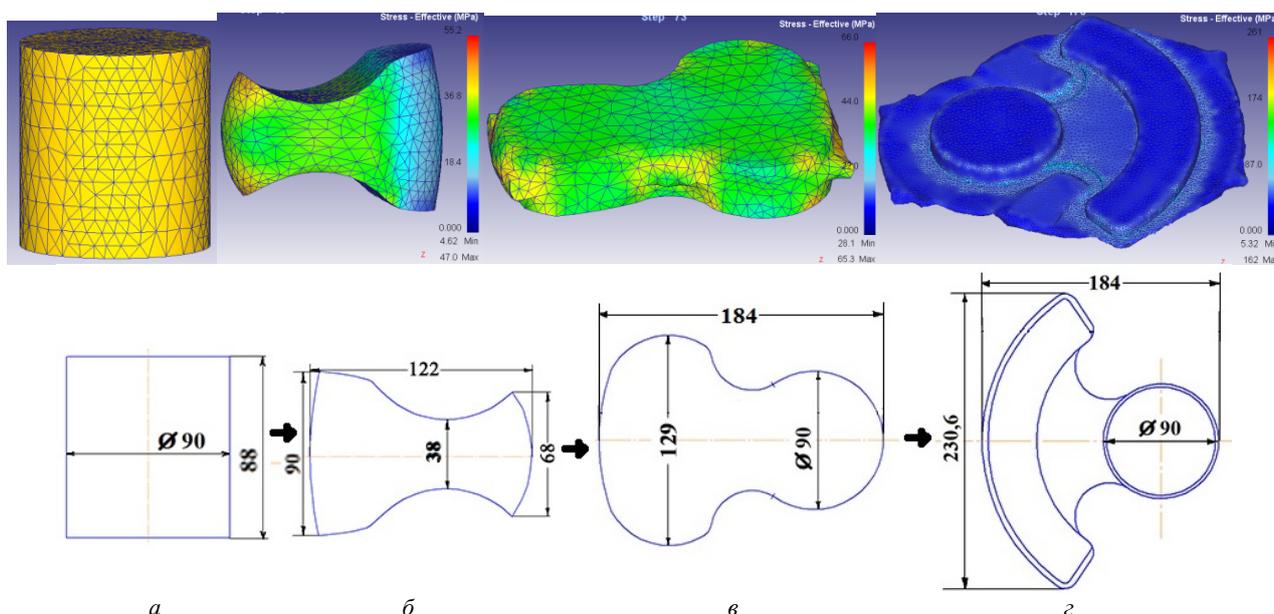


Рис. 3. Технология штамповки без предварительного профилирования:  
а – заготовка; б – предварительная штамповка; в – окончательная штамповка

Технологический процесс сопровождался нестабильными окончательными размерами поковки в крайних 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 для полного окончательного 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 приводит к значительному росту сопротивления деформированию металла, что увеличивает долю упругой деформации станины преса и приводит к недоштамповке и завышенной толщине облоя.

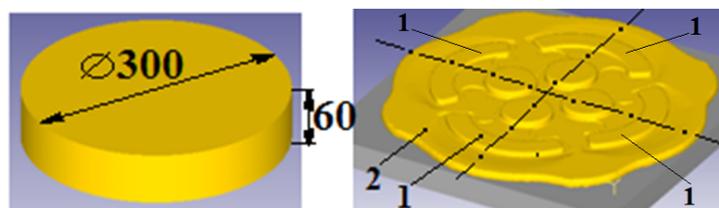
Второй вариант включал в себя профилирующую операцию осадки выпуклыми бойками для приближения формы заготовки к геометрии гравюры чернового ручья (рис. 4). Это позволило снизить массу заготовки с 5,49 кг до 4,277 кг, т.е. достичь экономии металла 1,21 кг на каждой поковке, на 22%. При этом исключена частичная недоштамповка и обеспечено полное оформление полотна поковки.



**Рис. 4. Технология с предварительным профилированием осадкой выпуклыми плитами с эксцентриситетом:**  
а – заготовка; б – профилирование; в – предварительная штамповка;  
г – окончательная штамповка

Для локализации давлений в области «А» (см. рис. 1), снижения упругой деформации станины преса, улучшения заполнения гравюры штампа предложено выполнять операцию осадки заготовки выпуклыми продолговатыми (радиусными) плитами с обеспечением эксцентриситета оси выпуклости плит к вертикальной оси заготовки (рис. 4). Подобное профилирование позволяет перераспределить объём металла по длине расчётной заготовки (эпора диаметров) и обеспечить распределение объёмов металла между областями формирования областей «А», «Б» и «В» (см. рис. 1).

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.

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.

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).

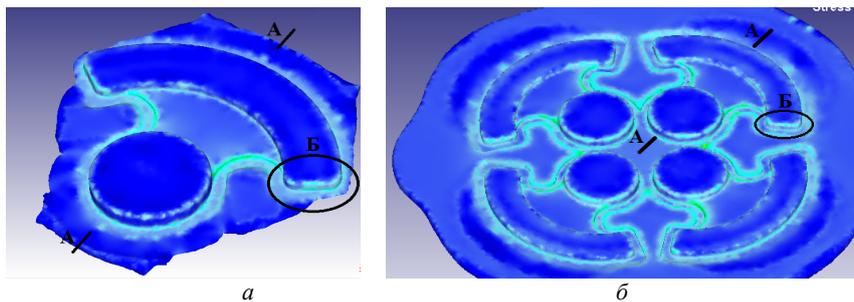


Рис. 6. Конечно-элементная модель отштампованной поковки и продольное сечение А-А и сечение Б-Б, в которых проводили анализ НДС: а – в обычном штампе; б - многшпучная штамповка



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

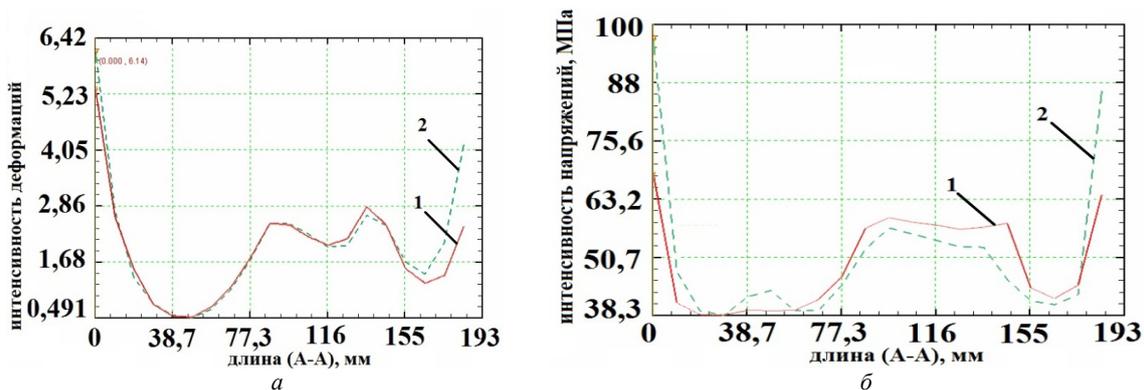


Рис. 8. Распределение интенсивности деформаций (а) и интенсивности напряжений (б) без предварительного профилирования (1) и с предварительным профилированием выпуклыми плитами с эксцентриситетом нагрузки (2) в сечении (А-А) после штамповки

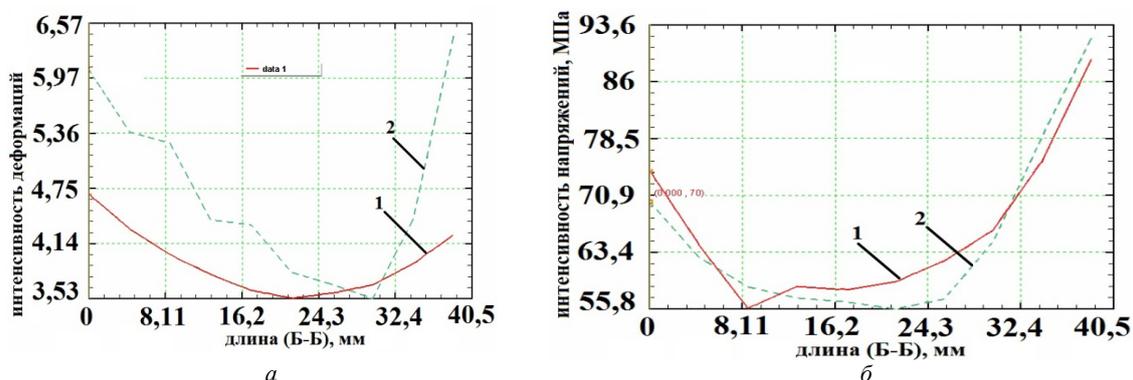


Рис. 9. Распределение интенсивности деформаций (а) и интенсивности напряжений (б) без предварительного профилирования (1) и с предварительным профилированием выпуклыми плитами с эксцентриситетом нагрузки (2) в сечении (Б-Б) после штамповки

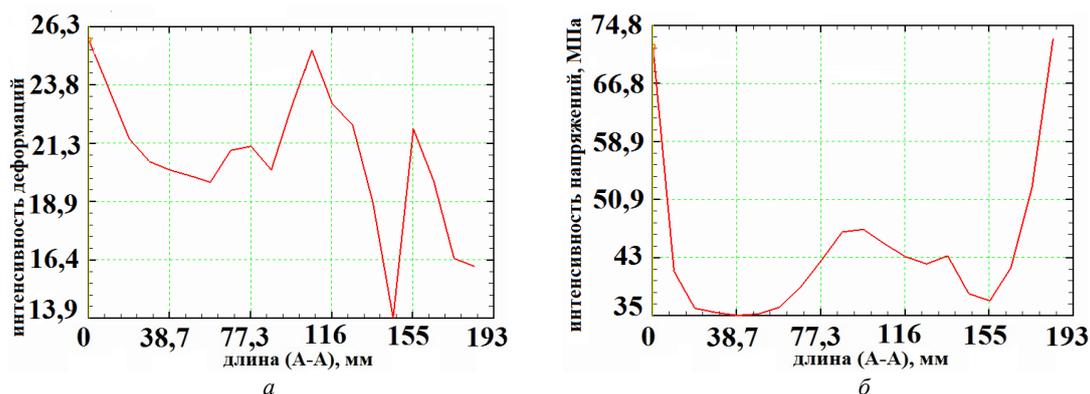


Рис. 10. Распределение интенсивности деформаций (а) и интенсивности напряжений (б) при многоштурной штамповке в сечении (А-А) после штамповки

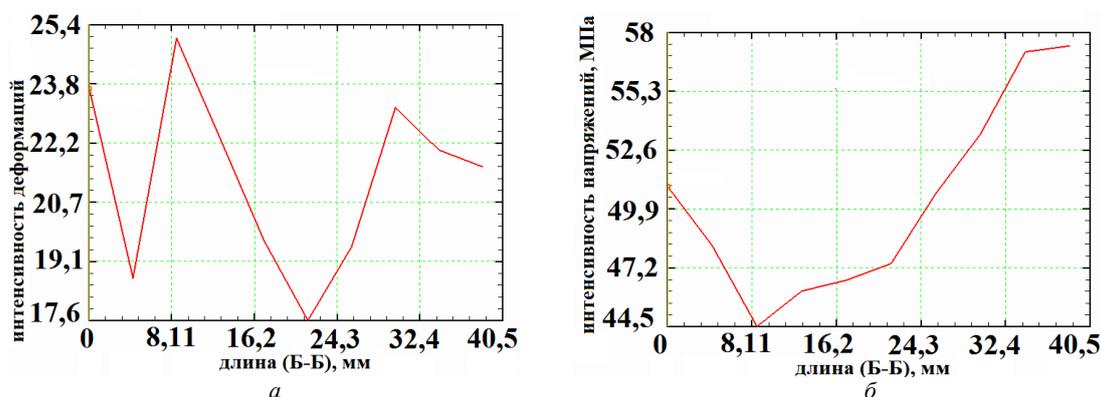


Рис. 11. Распределение интенсивности деформаций (а) и интенсивности напряжений (б) при многоштурной штамповке в сечении (Б-Б) после штамповки

Графики показывают падение значений интенсивностей напряжений и интенсивностей деформаций в переходной части поковки (сечение А-А) на 8% после окончания штамповки с применением осадки выпуклыми плитами 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 выпуклыми плитами с эксцентриситетом нагрузки, что говорит о лучшем заполнении полости ручья металлом. В случае многоштурной штамповки наибольшая интенсивность 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).

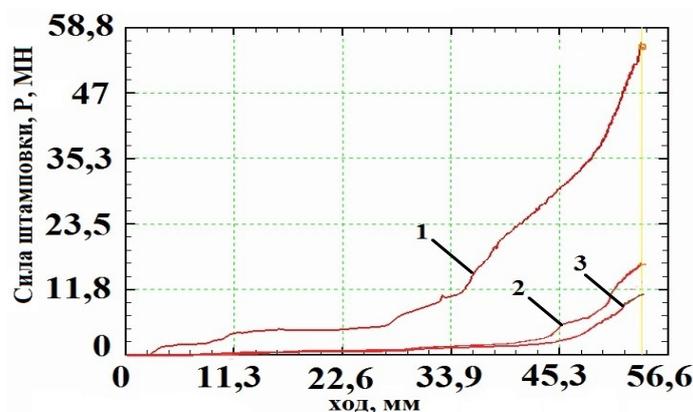


Рис. 12. График распределения силы необходимой для окончательно штамповки поковки «Суппорт»: 1 – многоштурная штамповка; 2 – штамповка без профилирования; 3 – штамповка с применением профилирования осадкой выпуклыми бойками

Из графика (рис. 12) видно, что максимальная сила 57 МН для окончательной штамповки будет необходима в случае многоштычной штамповки, а минимальная 11,5 МН при внедрении предварительного профилирования осадкой выпуклыми бойками с эксцентриситетом нагрузки.

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

Таблица 1

**Технико-экономические показатели**

Показатели	Вариант технологии штамповки				
	штамповка без профилирования (базовая)	штамповка с профилированием	% от базовой	многоштычная штамповка	% от базовой
Масса заготовки ( $M_z$ ), кг	5,49	4,277	77,9	32,39	590
Количество операций (n)	3	4	133	2	66,6
Количество отштампованных поковок 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**

Проведен анализ технологических переходов и технико-экономических показателей трёх вариантов штамповки плоской поковки «Суппорт» с наличием перепадов поперечного сечения (материал - сталь 40 ГОСТ 1050-88) в пакете Deform 3D без предварительного профилирования, с внедрением предварительного профилирования осадкой выпуклыми продолговатыми бойками с наличием эксцентриситета и многоштычной штамповки.

По результатам моделирования выявлено, что внедрение предварительного профилирования осадкой выпуклыми плитами с эксцентриситетом нагрузки перед операцией штамповки приводит к снижению интенсивности напряжений на 5% и интенсивности деформаций на 25% в гравюре окончательного ручья, улучшению заполнения гравюры штампа и позволяет сократить отходы металла воблой до 22%.

Внедрение осадки выпуклыми бойками с эксцентриситетом нагрузки в качестве профилирующей операции перед последующей объёмной штамповкой позволило снизить необходимую силу штамповки на 17%.

Экономия металла при использовании профилирования составила 22% от базовой технологии, затраты силы снижены на 16% от базовой технологии, а количество операций увеличено на одну единицу. Многоштычная штамповка требует большей силы в отличие от штамповки с применением профилирования, в связи с этим повышается стоимость оборудования, но в окончательном ручье получаем в 4 раза больше отштампованных поковок, чем при базовой технологии.

***Анотація.** Проведено аналіз технологічних переходів і техніко-економічних показників трьох варіантів штампування плоскою поковкою «Супорт» з наявністю перепадів поперечного перерізу (матеріал - сталь 40 ГОСТ 1050-88) в пакеті Deform 3D без попереднього профілювання, з впровадженням попереднього профілювання осадкою опуклими продовговуватими бойками з наявністю эксцентриситету і багатоштычного штампування. За результатами моделювання побудовані графічні залежності розподілу інтенсивностей напружень і інтенсивностей деформацій у досліджуваних перетинах по трьох технологіях. Виявлено, що впровадження попереднього профілювання осадкою опуклими плитами з эксцентриситетом навантаження перед операцією штампування призводить до зниження інтенсивності напружень на 5% і інтенсивності деформацій на 25% в гравюрі остаточного ривчака, поліпшенню заповнення гравюри штампа і дозволяє скоротити відходи металу в облої до 22%*

***Ключові слова:** осаджування, попереднє профілювання, опуклі бойки, моделювання, штампування, інтенсивність деформації, інтенсивність напружень.*

***Abstract. Purpose.** Development and analysis of variants of stamping a flat forging with the presence of drops (unevenness) cross-section with a package of finite element analysis Deform 3D, for example, forging "support".*

***Design/methodology/approach.** The analysis of technological transitions and technical and economic indicators of three options of stamping of a flat forgings "Support" with existence of differences of cross section (material - state standard specification 1050-88 steel 40) in a Deform 3D without preliminary profiling, with introduction of preliminary profiling during upsetting by convex oblong*

dies with existence of eccentricity and multi-piece die-forging. Shows dependences of distribution of stress and strain intensities in the studied sections for the three technologies by results of modeling.

**Findings.** It is revealed that introduction of preparing profiling by an upsetting by convex plates with eccentricity of loading before operation of stamping leads to decrease in intensity of tension on 5% and intensity of deformations on 25% in an engraving of a final brook, to improvement of filling of an engraving of a stamp and allows to reduce metal waste to 22%

**Keywords:** upsetting, preparing profiling, convex plates, modeling, die-forging, strain intensities, stress intensities

#### Библиографический список использованной литературы

1. Довнар С. А. Термомеханика упрочнения и разрушения штампов объёмной штамповки / С. А. Довнар. – М.: Машиностроение, 1975. – 254 с.
2. Бурко В. А. Совершенствование технологических процессов штамповки поковок пластин / В. А. Бурко // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – Хмельницький: ХНУ, 2008. – № 6. – С. 64-67.
3. Кухарь В. В. Экспериментальные исследования формоизменения цилиндрических заготовок при осадке выпуклыми продолговатыми плитами / В. В. Кухарь, В. А. Бурко // Metallurgicheskie 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 // Metallurgическая 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 // Проблеми трибології (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 «ХПІ». – Харків: НТУ «ХПІ», 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 (галузеve машинобудування, будівництво). – Полтава: ПолтНТУ, 2013. – Вип. 2 (37). – С. 57–61.

#### References

1. Dovnar S. A. Termomehanika uprochnenija i razrushenija shtampov objomnoj shtampovki [Thermomechanics hardening and destruction die forging dies]. Moscow: Mashinostroenie, 1975, 254 p.
2. Burko V. A. Sovershenstvovanie tehnologicheskikh processov shtampovki pokovok plastin [Perfection of technological processes of die-forging of plates forgings]. Visnik Khmel'nic'kogo nacional'nogo universitetu. Tehnichni nauki. Khmel'nic'kij: KhNU, 2008, no 6, pp. 64-67.
3. Kuhar' V. V., Burko V. A. Eksperimental'nye issledovanija formoizmenenija cilindricheskikh zagotovok pri osadke vypuklymi prodolgovatymi plitami [Experimental researches of forming cylindrical workpieces at upsetting convex oblong dies]. Metallurgicheskie processy i oborudovanie, 2008, no 4(14), pp. 35–39.
4. Kuhar' V. V., Burko V. A. Issledovanie osobennostej formoizmenenija cilindricheskikh zagotovok pri osadke vypuklymi prodolgovatymi plitami [Research of features of forming cylindrical workpieces at upsetting by convex oblong plates]. Metallurgicheskaja i gornorudnaja promyshlennost', 2009, no 1, pp. 66–68.
5. Kuhar' V. V., Nikolenko R. S. Issledovanie naprjazhenno-deformirovannogo sostojanija zagotovok pri profilirovanii vypuklymi plitami s jekscentrisitetom nagruzki [The research of stress-strain state of workpieces at profiling convex dies with an eccentricity load]. Problemi tribologii (Problems of Tribology), 2012, no 3, pp. 132–136.
6. Kuhar' V. V., Kargin B. S., Nikolenko R. S. Issledovanie formoizmenenija zagotovok pri profilirovanii vypuklymi plitami s jekscentrisitetom nagruzki [Research of forming workpieces at profiling convex dies with an eccentricity load]. Visnik nacional'nogo tehnicnogo universitetu «KhPI», Kharkiv: NTU «KhPI», 2012, no 46 (952), pp. 71–76.
7. Kuhar' V. V., Nikolenko R. S. Modelirovanie formoizmenenija otnositel'no vysokih zagotovok pri osadke vypuklymi plitami s jekscentrisitetom nagruzki [Simulation of forming of relatively high workpieces at upsetting by convex dies with eccentric load]. Zbirnik naukovih prac' (galuzeve mashinobuduvannja, budivnictvo), Poltava: PoltNTU, 2013, no 2 (37), pp. 57–61.

Подана до редакції 01.07.2015