

Кухарь В.В.,*
Фролов Е.А.,**
Николенко Р.С.,*
Суглобов Р.В.*

*Приазовский государственный
технический университет,

г. Мариуполь, Украина

**Полтавский национальный технический
университет,

г. Полтава, Украина

E-mail: kvv_mariupol@mail.ru

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
ФОРМОИЗМЕНЕНИЯ ЗАГОТОВОК
ПОД ОБЪЕМНУЮ ШТАМПОВКУ
ПРИ ЭКСЦЕНТРИЧНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ
ОСАДКЕ РАДИУСНЫМИ ВСТАВКАМИ**

УДК 621.735.043

Изложены методика и результаты экспериментальных исследований формоизменения заготовок при эксцентричной осадке радиусными штамповыми вставками. Исследования проведены на физических моделях из свинца и обоснованы необходимостью поиска новых способов получения профилированных заготовок под объемную штамповку для расширения номенклатуры поковок, штампуемых на кривошипных прессах. Приведены графические зависимости относительных геометрических показателей формоизменения заготовок от величины радиуса штамповых вставок и степени деформации при фиксированной величине эксцентриситета внедрения инструмента. Показаны различия в закономерностях формоизменения заготовок с отношением высоты к диаметру 1,0 и 2,0, что необходимо учитывать при проектировании технологических переходов объемной штамповки для достижения экономии материальных ресурсов и обеспечения высокой стойкости штампового инструмента.

Ключевые слова: профилирование заготовок, выпуклые штамповые вставки, эксцентричная осадка, объемная штамповка, геометрические показатели формоизменения.

Введение

Условия производства поковок объемной штамповкой на кривошипных горячештамповочных прессах (КГШП) позволяют минимизировать припуски на изделия, повысить их геометрическую точность, снизить вредное влияние шума и вибраций на оператора, автоматизировать технологические процессы, повысить производительность. Однако, при прочих равных условиях, номенклатура поковок, штампуемых на КГШП, является более узкой, чем номенклатура поковок, штампуемых на паровоздушных штамповочных молотах (ПШМ). Это связано, прежде всего, с жестким нерегулируемым ходом КГШП, из-за чего возможности предварительного профилирования исходных заготовок и формообразования поковок весьма ограничены [1]. Для обеспечения требуемых формы и размеров профилированных полуфабрикатов под поковки определенных типов используют вальцовку заготовок на ковочных вальцах [2] или их подготовку другими формоизменяющими способами, связанными с использованием дорогостоящего дополнительного оборудования. Такие мероприятия оправданы только при массовом характере производства, который в настоящее время встречается крайне редко. Отказ от предварительного профилирования повышает расход металла, снижает стойкость штампов КГШП, увеличивает энергетические затраты на штамповку. Учитывая, что штампы КГШП работают в более неблагоприятных условиях, чем штампы ПШМ, то поиск новых способов профилирования заготовок в штамповом пространстве прессового оборудования представляет весьма актуальную задачу.

Анализ известных исследований и публикаций

Первые попытки получать профилированные заготовки в штампах кривошипных прессов были осуществлены новатором кузнечно-штамповочного производства А.В. Потехиным, который, по мнению авторов [3, 4], внес значимый вклад в усовершенствование технологий изготовления поковок в условиях мелкосерийного производства. Им были внедрены в производство способы комбинированной ковочно-штамповки мелких партий поковок на экономичном и точном оборудовании: кривошипных и кривошипно-коленных прессах с использованием дешевой, быстросменной технологической оснастки (подкладных инструментов, штампов и приспособлений), время на переналадку которой существенно сокращалось. Такие новаторские приемы были успешно применены на прессах с номинальной силой от 1 МН до 6,3 МН, при этом номенклатура изготавливаемых на них изделий (в условиях ленинградского завода «Свобода» в 1947 г.) была доведена до 500 наименований [3].

Способы группового производства поковок [4] основаны на разбиении сложного технологического процесса на отдельные простейшие переходы, выполняемые в определенной последовательности в ручьях ковочных приспособлений или штампов, снабженных сменными вставками или накладками для регулировки величины обжатия за ход пресса. Предварительную ковку заготовки производят обычно на одном прессе, а штамповку из подготовленной по форме и размерам заготовки – на втором, параллельно

работающем прессе, с того же нагрева. То есть проводят своего рода подготовку заготовок вне ручьев штампов операциями свободного формоизменения. Основным недостатком здесь является то, что при штамповке задействован не один пресс, а несколько единиц оборудования. При необходимости проведения осадки заготовок большого диаметра применяют накладки, частично покрывающие площадь осаживаемой заготовки, осадку выполняют за два и более хода ползуна [3, 4]. При этом величину осаживаемой площади необходимо согласовывать с силой, развиваемой прессом на данном участке рабочего хода.

В работе [5] рассмотрены возможности расширения области применения КГШП на свободную ковку для производства фасонных поковок путем применения подвижного стола с клиновым механизмом для регулировки закрытой высоты прессы. При этом для привода клина используют винтовую пару с диаметром винта 300 мм (для КГШП 12,5 МН), что усложняет кинематическую схему машины и требует согласования скорости подачи клина с технологическими режимамиковки.

Наиболее широко известны способы подготовки формы заготовки с использованием операции осадки штамповыми вставками (плитами) вогнутого или выпуклого профиля [6, 7]. В зависимости от конфигурации и размеров поковок, свойств их материала при заданных термомеханических условиях подбирают геометрию инструмента, размеры исходной заготовки, степень её осадки. Необходимыми режимами редуцирования и регенерации профиля заготовки при деформировании после кантовки получают различные конфигурации полуфабрикатов под поковки пластин, основываясь на принципах наименьшего периметра и наименьшего сопротивления. Комплексный учет влияния таких факторов, как размеры и степень деформации заготовок, реологические свойства материалов при заданной температуре и скорости деформирования, условия на контактных поверхностях позволяет получать после осадки заготовки с профилем боковой поверхности различной вогнутости или бочкообразности [7]. Для получения фасонных полуфабрикатов под поковки дисков с фланцевой частью известен способ осадки заготовок с затрудненным истечением на одном из торцов [8]. Данный эффект реализуется, например, путем дифференцированного нагрева заготовки по длине, а использование электротермии, в целом, рассматривают как отдельный способ влияния на форму заготовки при деформировании на прессах [7, 9].

Обобщение и систематизация способов свободного формоизменения и вариантов интенсификации пластического течения металла заготовки позволили разработать классификацию процессов бесштампового (безручьевого) профилирования заготовок [7, 9], на основе которой развиты принципы проектирования энергоресурсосберегающих технологий объемной штамповки на прессовых машинах.

Постановка проблемы

Выше показано, что процессы профилирования заготовок на основе осадки представляют значимую составляющую способов безручьевого подготовки формы заготовок под объемную штамповку на прессах. При этом технологические возможности профилирования заготовок выпуклым инструментом имеют ограничения по номенклатуре поковок, которые рационально штамповать из профилированного полуфабриката [7]. Для расширения технологических возможностей способа подготовительной осадки заготовок выпуклыми продолговатыми (радиусными) плитами предложено такие вставки внедрять в торцы заготовок с эксцентриситетом, когда обеспечивают несовпадение вертикальных осей заготовки и стрелы прогиба вставок. В работе [10] проведено конечно-элементное моделирование процесса эксцентричной осадки заготовок такими радиусными вставками и исследовано изменение напряженно-деформированного состояния материала заготовок по объему с их исходным соотношением высоты H_0 к диаметру D_0 равным 1,0 при отношении эксцентриситета e внедрения к диаметру $e/D_0 = 0,25$ в диапазоне отношений радиуса выпуклости плиты R к диаметру заготовки от 0,6 до 2,25. Варьирование относительными параметрами H_0/D_0 , e/D_0 , R/D_0 , а также степенью деформации осадки, которую условно принимали как $\epsilon_h = [(H_0 - h)/H_0] \cdot 100\%$, где h – конечное расстояние между образующими оппозитных радиусных плит после осадки, приводит к различному характеру формоизменения заготовок при профилировании, что до настоящего времени подробно не изучено.

Целью работы является экспериментальное выявление закономерностей формоизменения заготовок при профилировании эксцентричной осадкой радиусными плитами. Знание данных закономерностей необходимо для определения номенклатуры поковок, под которые целесообразно использовать изучаемый способ профилирования, разработки методики расчета заготовки, физико-геометрических условий профилирования и выбора технологических переходов горячей объемной штамповки.

Изложение основного материала

Как показали исследования [7], в виду того, что осадке подвергают заготовки с $H_0/D_0 \geq 1,0$, а также из-за малости площади контакта инструмента и заготовки, влиянием фактора трения на конечное

формоизменение заготовок при осадке выпуклым инструментом можно пренебречь. Привлекали методы физического моделирования пластического течения на образцах из свинца сурьмянистого марки ССу, реологические характеристики которого соответствуют реологическим характеристикам группы конструкционных среднеуглеродистых сталей в диапазоне температур горячей деформации. Исследования выполняли на универсальной разрывной машине номинальной силой 0,2 МН. Следовательно, в процессе проведения эксперимента обеспечивали условия статического нагружения заготовок.

Осадку выполняли выпуклыми (радиусными) бойками (рис. 1) из стали 5ХНВ ($R_a = 6,3$ мкм) с радиусом закругления рабочей поверхности $R = 30; 50; 75$ и $112,5$ мм, т.е. выдерживали отношение $R/D_0 = 0,6; 1,0; 1,5$ и $2,25$. Диаметр образцов $D_0 = 50$ мм, высота образцов $H_0 = 50$ мм и 100 мм, т.е. отношение $H_0/D_0 = 1,0$ и $2,0$ соответственно. При осадке обеспечивали фиксированный эксцентриситет вертикальной оси плит и экспериментального образца $e = 12,5$ мм (рис. 2), т.е. для всех заготовок отношение e/D_0 составляло $0,25$. Образцы осаживали в диапазоне $\epsilon_h = 20...50$ % с шагом $\Delta\epsilon_h = 10$ %. Измерения проводили после каждого обжатия с помощью штангенциркуля. Схема обмера образцов показана на рис. 3. Для обеспечения статистической обработки результатов замеров каждый эксперимент при одинаковых условиях повторяли пять раз.

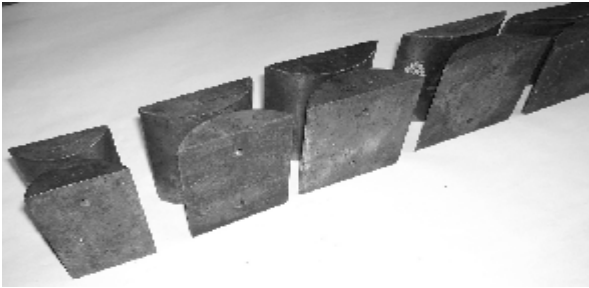


Рис. 1 – Набор бойков для проведения эксперимента

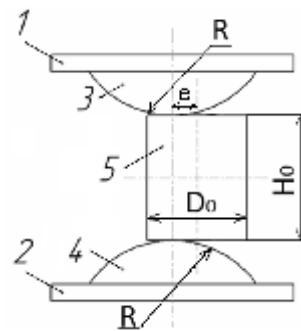


Рис. 2 – Схема эксцентричной осадки заготовки радиусными бойками:
1 - 2 – верхняя и нижняя осадочная плита;
3 - 4 – верхний и нижний радиусный боек;
5 – заготовка

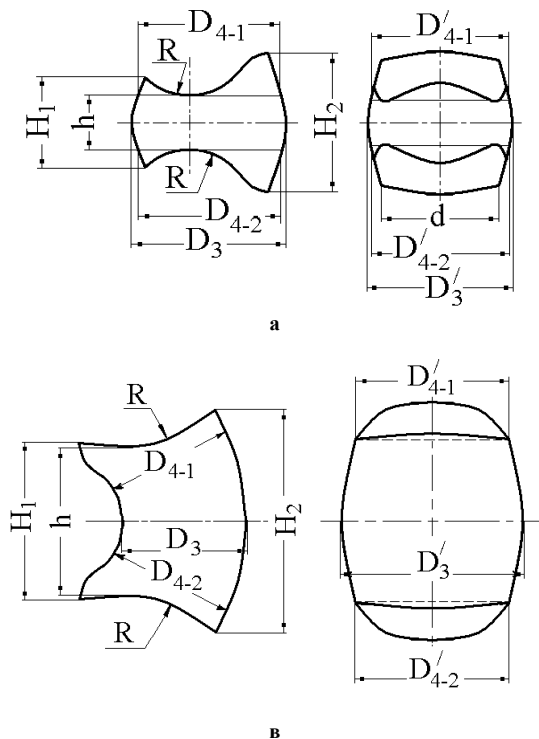


Рис. 3 – Схема обмера и образцы после эксцентричной осадки выпуклыми бойками с радиусом R :
а - б – $H_0/D_0 = 1,0$; в - г – $H_0/D_0 = 2,0$; $H_1, H_2, d, D_3, D'_3, D_{4-1}, D_{4-2}, D'_{4-1}, D'_{4-2}$ – контролируемые размеры



б



г

Для определения относительных показателей формоизменения использовали средние значения (математические ожидания) пяти замеров по предложенной схеме. В расчетах использовали усредненные размеры симметричных верхней и нижней части профилированных полуфабрикатов: $D_4 = (D_{4-1} + D_{4-2})/2$ и $D_4' = (D_{4-1}' + D_{4-2}')/2$. За базовые безразмерные показатели формоизменения заготовки принимали следующие отношения: D_3/D_0 , D_3'/D_0 , D_3/D_3' , D_4/D_0 , D_4'/D_0 , D_4/D_4' , H_1/H_0 , H_2/H_0 , H_1/H_2 , B/D_0 . Экспериментальные зависимости некоторых относительных показателей формоизменения цилиндрических образцов с $H_0/D_0 = 1,0$ и $H_0/D_0 = 2,0$ от величины относительного радиуса осадочных плит R/D_0 и степени деформации осадки ε_h при фиксированной величине эксцентриситета e приведены на рис. 4 - рис. 6. Среди изучаемых показателей формоизменения можно выделить группу, отвечающую за изменение диаметральных размеров (рис. 4), высотных размеров (рис. 5) и изгиб заготовки (рис. 6), характерный для заготовок с $H_0/D_0 = 2,0$.

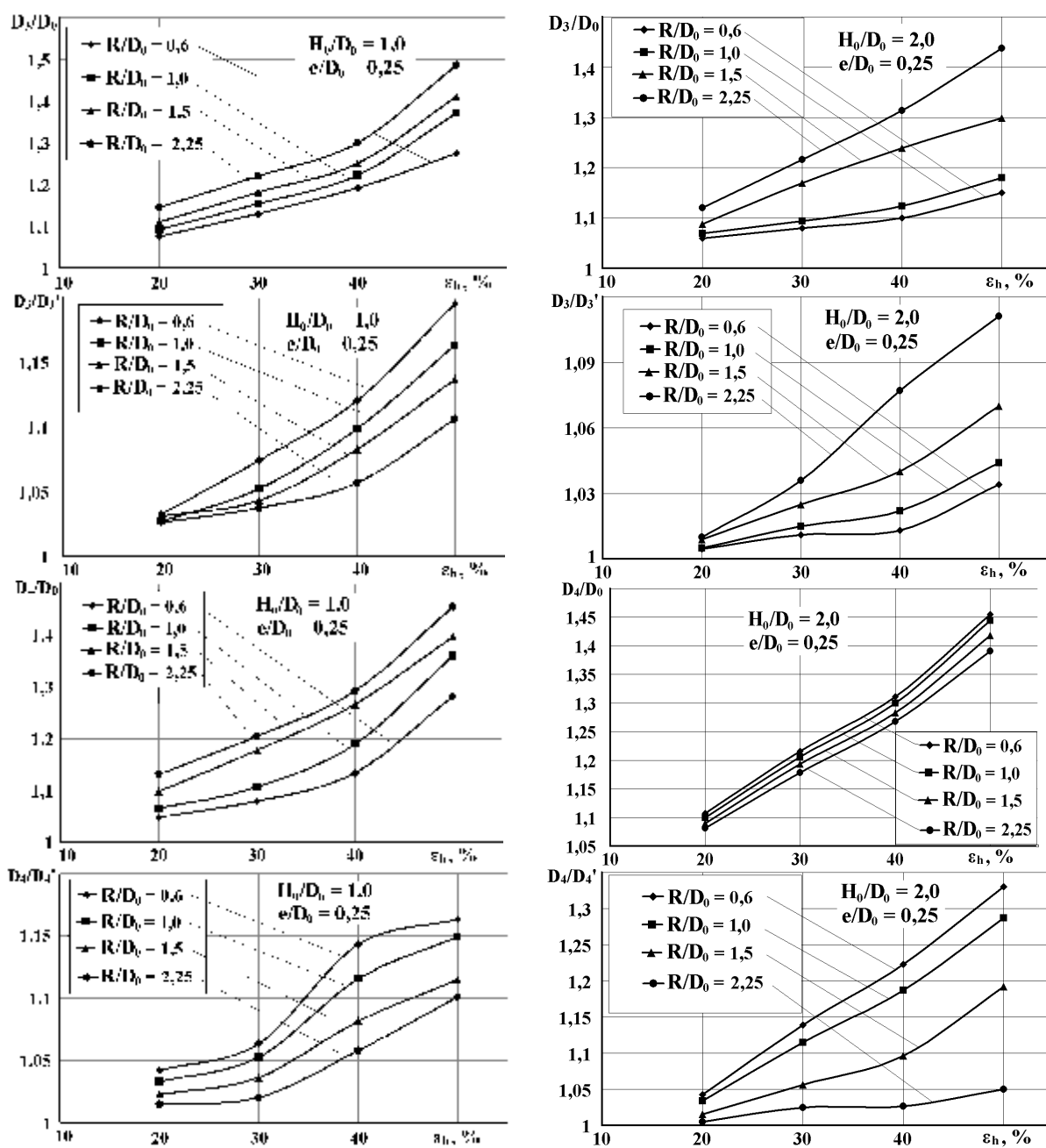


Рис. 4 – Экспериментальные зависимости изменения диаметральных размеров образцов от относительного радиуса (R/D_0) выпуклых вставок при осадке с фиксированным эксцентриситетом ($e/D_0 = 0,25$)

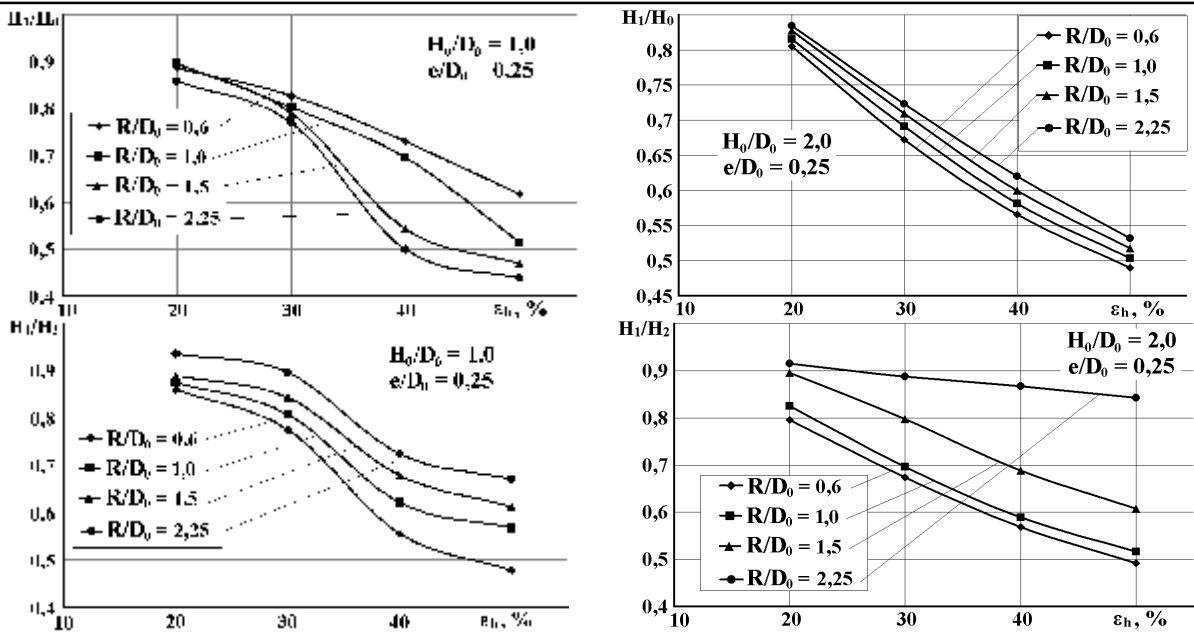


Рис. 5 – Экспериментальные зависимости изменения высотных размеров образцов от относительного радиуса (R/D_0) выпуклых вставок при осадке с фиксированным эксцентриситетом ($e/D_0 = 0,25$)

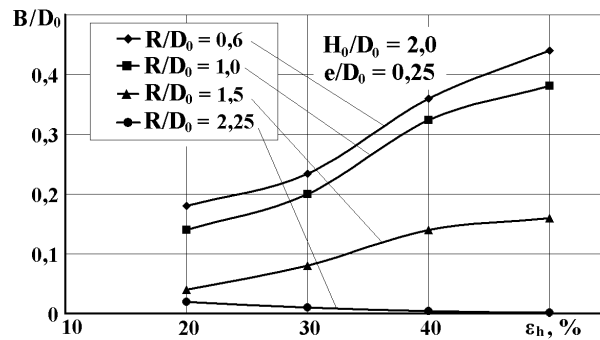


Рис. 6 – Зависимость относительного прогиба образцов от относительного радиуса (R/D_0) выпуклых вставок при осадке с фиксированным эксцентриситетом ($e/D_0 = 0,25$)

Анализируя данные графические зависимости, следует отметить рост показателей изменения размеров в диаметральной плоскости по ходу осадки, причем в направлении поперек горизонтальной оси осадочных вставок наблюдается более интенсивная раздача, по сравнению с направлением вдоль их оси (см. рис. 4). Увеличение относительного радиуса R/D_0 приводит к возрастанию относительных показателей формоизменения на середине высоты профилированного полуфабриката в поперечном направлении (D_3/D_0), в то время как значения относительных показателей в продольном направлении (D_3/D_3') в данных сечениях снижаются. На интенсивность набора металла в диаметральных приторцовых сечениях существенное влияние оказывает появление продольного изгиба, возникающего при увеличении относительной высоты заготовки. Так возрастание значений относительного радиуса вставок при осадке заготовок с $H_0/D_0 = 1,0$ сопровождается ростом значения поперечного показателя D_4/D_0 , в то время как для заготовок с $H_0/D_0 = 2,0$ наблюдается снижение значений показателя D_4/D_0 при увеличении радиуса выпуклых продолговатых штамповых вставок. В данных сечениях макропоток материала в продольном направлении также меньше, чем в поперечном направлении. Кроме того, в приторцовых сечениях у более высоких заготовок ($H_0/D_0 = 2,0$) интенсивность набора металла большая, т.к. у более низких заготовок ($H_0/D_0 = 1,0$) деформация сосредотачивается в серединной зоне полуфабриката.

Наличие эксцентриситета внедрения радиусных вставок в тело цилиндрической заготовки со стороны торцов приводит к несимметричной форме полуфабриката относительно оси движения инструмента. При этом у полуфабрикатов, полученных из более низких заготовок ($H_0/D_0 = 1,0$), наблюдается уменьшение относительной высоты минимального отростка (H_1/H_0) с ростом относительного радиу-

са. А у изогнутых полуфабрикатов, полученных из заготовок с ($H_0 / D_0 = 2,0$), увеличение значения характеристики R / D_0 сопровождается ростом относительного показателя H_1 / H_0 (см. рис. 5). С ростом степени деформации относительный показатель H_1 / H_2 для заготовок обоих типоразмеров снижается, что позволяет ориентировать способ на производство поковок с широким диапазоном (0,5...0,9) отношения минимального и максимального отростков, в том числе для изделий с изогнутой осью.

Уменьшение величины относительного прогиба для заготовок с $H_0 / D_0 = 2,0$ при деформировании радиусными вставками с $R / D_0 = 2,25$ (см. рис. 6) связано с уменьшением эффекта выпуклости деформирующего инструмента и увеличением набора металла в центральной зоне полуфабриката. Снижение значения величины относительного радиуса выпуклых плит приводит к увеличению относительного прогиба в процессе профилирования заготовок таким способом.

Выводы

1. Разработан и исследован способ получения профилированных полуфабрикатов эксцентричной осадкой цилиндрических заготовок радиусными штамповыми вставками, применимый к условиям производства поковок на кривошипных прессах. Установлены закономерности формоизменения заготовок при эксцентричной осадке радиусными вставками, на основании которых целесообразна разработка новых энерго- и ресурсосберегающих процессов объемной штамповки, позволяющих снизить нагрузки на окончательные штамповочные ручки прессовых штампов.

2. Показано, что различия в формоизменении заготовок с $H_0 / D_0 = 1,0$ и $2,0$ позволяют получать полуфабрикаты под широкую номенклатуру поковок: пластин, пластин с несимметричными отростками, с изогнутой осью. Выявлено, что в номенклатуру поковок с несимметричными отростками, производимых на КГШП, могут быть включены поковки с различием размеров отростков в 1,1...2,0 раза.

3. Перспективы исследований в данном направлении заключаются в оценке стабильности формоизменения при профилирующей осадке заготовок радиусными вставками и получении аналитических выражений для описания закономерностей формоизменения, которые требуется положить в основу автоматизированной методики расчета заготовки и технологических параметров штамповочных переходов.

Литература

1. Машиностроение. Энциклопедия / Ред. совет: К.Ф. Фролов (пред.) и др. – М.: Машиностроение. Технологии заготовительных производств. Т. III-2 / И.Л. Акаро, Р.А. Андриевский, А.Ф. Аржанов и др.; Под общ. ред. В.Ф. Мануйлова, 1996. – 736 с.
2. Скрябин С.А. Технология горячего деформирования заготовок из алюминиевых сплавов на ковочных вальцах: монография / С.А. Скрябин. – Винница: О. Власюк, 2007. – 284 с.
3. Атрошенко А.П. Изготовление поковок под кривошипными и винтовыми прессами. Вып. 5 / А.П. Атрошенко, Г.Т. Оболдуев, С.М. Хесин / под ред. П.В. Камнева. – М.; Л.: Машгиз, 1958. – 129 с.
4. Камнев П.В. Групповой метод производства поковок / П.В. Камнев. – Л.: Лениздат, 1981. – 207 с.
5. Роганов М.Л. Развитие операций свободнойковки на кривошипных прессах / М.Л. Роганов // Удосконалення процесів та обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні: зб. наук. пр. – Краматорськ, 2007. – С. 198-201.
6. Володин И.М. Сравнительный анализ традиционных и новых технологических процессов изготовления поковок с развитым фланцем / И.М. Володин, С.А. Бирюков // Удосконалення процесів та обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні: зб. наук. пр. – Краматорськ, 2006. – С. 284-287.
7. Анализ пластического формоизменения в частных задачахковки и штамповки: монография / В.А. Гринкевич, В.В. Кухарь, М.В. Краев, В.А. Бурко. – Мариуполь: изд-во ЗАО «Газета «Приазовский рабочий», 2011. – 336 с.
8. Воронцов А.Л. Исследование осадки цилиндрической заготовки с затрудненным течением металла на одном из торцов / А.Л. Воронцов // Вестник машиностроения. – 2009. – № 2. – С. 67-74.
9. Кухарь В.В. Направления реализации бесштампового профилирования заготовок на прессах / В.В. Кухарь // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2011. – № 7. – С. 173-179.
10. 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.

Поступила в редакцію 03.09.2013

Kukhar V.V., Frolov E.A., Nikolenko R.S., Suglobov R.V. Experimental researches of form-changing of billets for volumetric die-forging with eccentric plastic upsetting by radial tool insertions.

The constructive properties of crank-shaft presses are restricting of technological possibility for followed preparing of billet form to design shape of forging-part and reducing of nomenclature of forged products was grounded. The method for received of profiled semi-finished parts by eccentric forging to upsetting of cylindrical billets by radial tool insertions was worked out and researched for application to condition for producing of forging parts by crank-shaft presses. The methodic and results of experimental researches of form changing of billets during eccentric plastic upsetting by radial tool insertions are expounded. The researches was made on physical models from lead for grounding of necessary for finding a new methods for producing profiled billets for volumetric die-forging with widening of nomenclatures of forging parts that punching by crank-shaft presses. Graphical depends of relative geometric indexes of form changing of billets from parameter of radius of radial tool insertions and degree of upsetting deformation during fixed parameter of eccentric rooting of forging tool are happened. Differences in depends of form changing of billets with relation of high to diameter 1,0 and 2,0 were showed for necessary in counting during designing of technological steps and modes for volumetric die-forging with reaching of economy of material resources and securing of high stability of die tools. The differences in form changing of billets with relation of high to diameter 1,0 and 2,0 allowing to producing of semi-finished parts for width nomenclature of forging parts: plates, plates with unsymmetrical growths, with bended axe. There are explain for forging parts with differences in dimensions of growth from diapason 1,1...2,0 can be including in to selection of forging parts with unsymmetrical growths.

Key words: profiling of billets, radial tool insertions, eccentric plastic upsetting, volumetric die-forging, geometrical index of form-changing.

References

1. Akaro I.L., Andrievskij R.A., Arzhanov A.F. i dr. Pod obsch. red. Manujlova V.F.. Red. sovet: Frolov K.F. (pred.) i dr. Mashinostroenie. Jenciklopedija. Tehnologii zagotovitel'nyh proizvodstv. T. III-2. M., Mashinostroenie, 1996, 736 p.
2. Skrjabin S.A. Tehnologija gorjachego deformirovanija zagotovok iz aljuminievych splavov na kovochnyh val'cah. Monografija. Vinnica, O. Vlasjuk, 2007, 284 p.
3. Atroshenko A.P., Obolduev G.T., Hesin S.M. Pod red. Kamneva P.V. Izgotovlenie pokovok pod krivoshipnymi i vintovymi pressami. Vol. 5. M., L., Mashgiz, 1958, 129 p.
4. Kamnev P.V. Gruppovoj metod proizvodstva pokovok. L., Lenizdat, 1981, 207 p.
5. Roganov M.L. Razvitie operacij svobodnoj kovki na krivoshipnyh pressah, Udoskonalennja procesiv ta obladnannja obrobky tyskom v metalurgii' i mashynobuduvanni. Zb. nauk. pr. Kramators'k, 2007, pp. 198-201.
6. Volodin I.M., Birjukov S.A. Sravnitel'nyj analiz tradicionnyh i novyh tehnologicheskikh processov izgotovlenija pokovok s razvitym flancem, Udoskonalennja procesiv ta obladnannja obrobky tyskom v metalurgii' i mashynobuduvanni. Zb. nauk. pr. Kramators'k, 2006, pp. 284-287.
7. Grinkevich V.A., Kuhar' V.V., Kraev M.V., Burko V.A. Analiz plasticheskogo formoizmenenija v chastnyh zadachah kovki i shtampovki. Monografija. Mariupol', ZAO «Gazeta «Priazovskij rabochij», 2011, 336 p.
8. Vorontsov A.L. Issledovanie osadki cilindricheskoy zagotovki s zatrudnennym techeniem metalla na odnom iz torcov, Vestnik mashinostroenija, 2009, No. 2, pp. 67-74.
9. Kuhar' V.V. Napravlenija realizacii besshtampovogo profilirovanija zagotovok na pressah, Metallurgicheskaja i gornorudnaja promyshlennost', 2011, No. 7, pp. 173-179.
10. Kuhar' V.V., Nikolenko R.S. Issledovanie naprjazhenno-deformirovannogo sostojanija zagotovok pri profilirovanii vypuklymi plitami s jekscentrisitetom nagruzki, Problemy trybologii' (Problems of Tribology), 2012, No. 3, pp. 132-136.