

УДК 621.777.04

Алиев И. С.
Корденко М. Ю.
Самогладов А. Д.

КОМБИНИРОВАННОЕ ВЫДАВЛИВАНИЕ ПОЛЫХ КОНИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ

Важнейшую роль в развитии машиностроительной отрасли играет освоение новых наукоемких и ресурсосберегающих технологий обработки материалов. При этом холодная объемная штамповка является эффективным технологическим методом изготовления деталей и заготовок с высокой точностью размеров и качеством поверхностей. Наиболее перспективными методами обработки давлением являются процессы точной объемной штамповки выдавливанием [1, 2].

Характерной особенностью процессов комбинированного выдавливания является многовариативность силового и кинематического воздействия на деформируемую заготовку [3]. При изготовлении полых конических деталей в традиционном технологическом процессе реализуется схема обратного выдавливания коническим пуансоном заготовки, уложенной на дно конической матрицы. При использовании фасонированной заготовки в виде усеченного конуса, процесс характеризуется повышенными удельными и полными нагрузками, а также слабой проработкой донной части заготовки. Когда в качестве исходной заготовки используется цилиндрический образец, то штампуемое изделие имеет разностенность и неравномерность [4]. Изготовление полых конических деталей с использованием схемы раздачи на коническом противополоуансоне характеризуется постоянным возрастанием силы деформирования и недостаточной деформируемостью металла [5].

На качество изготавливаемых изделий обработкой давлением существенно влияет напряженно-деформированное состояние (НДС) заготовки в процессе пластического объемного деформирования. А на течение металла при деформации и НДС заготовки влияет множество факторов, основными из которых являются способ деформирования, форма инструмента, форма и материал заготовки, кинематический режим и т. д. Формирование свойств изделия связано с внешними кинематическими и силовыми воздействиями на заготовку и зависит от подавляющего механической схемы деформации (НДС). Кинематическое воздействие может способствовать резкому улучшению обработки структуры деформированного металла, устранению застойных зон и снижению неравномерности деформации [6]. Схема комбинированного обратного-прямого выдавливания заготовки, расположенной в средней по высоте зоне матрицы, лучше с точки зрения проработки донной части. Снижение деформирующих сил при этом происходит за счет появления сил активного контактного трения, когда на наружной поверхности полуфабриката трение начинает играть полезную роль и способствует истечению металла в непрерывно сужающийся зазор между пуансоном и матрицей [7].

Для определения оптимальной схемы получения полых конических деталей необходим анализ способов комбинированного выдавливания как с точки зрения прогнозирования формообразования детали, так и оценки поля напряжений и деформаций и технологической деформируемости металла.

Целью работы является исследование напряженно-деформированного состояния, а также силовых режимов деформирования при комбинированном выдавливании полых конических деталей.

Чтобы определить схему с оптимальным силовым режимом процесса комбинированного выдавливания необходимо проанализировать ряд факторов, которые имеют влияние на данный параметр. В данном случае были рассмотрены фактор формы заготовки и были выбраны два вида заготовок с цилиндрической и конической формы (рис. 1). В силу симметрии рассматривается половина схемы в исходном состоянии и на заключительной стадии процесса выдавливания.

Для моделирования использован метод конечных элементов (МКЭ) в среде DEFORM-3D. Были выбраны следующие параметры процесса комбинированного выдавливания:

– механические свойства материал заготовки Al-5056 (алюминиевый сплав), количество элементов 15000, скорость инструмента была принята $V = 1$ мм/с, коэффициент трения между материалом заготовки и инструментом $\mu = 0,08$ (закон Зибеля).

– геометрические параметры процесса (см. рис. 1): R – радиус матрицы ($R = 12$ мм), R_0 – радиус пуансона ($R_0 = 8$ мм), r_1 – радиус скругления пуансона ($r = 2$ мм), r_1 – радиус скругления матрицы ($r = 2$ мм), α – угол конуса в отверстии матрицы ($\alpha = 20^\circ$), α – угол конуса пуансона ($\alpha = 20^\circ$), l – высота конической заготовки ($l = 25$ мм), l – высота цилиндрической заготовки ($l_0 = 25$ мм). Ход пуансона для конической заготовки составил 30 мм, для цилиндрической – 40 мм.

На основе полученных данных были получены картины искажения координатных сеток, графики сил комбинированного выдавливания, а также поля распределения интенсивности деформаций и напряжений.

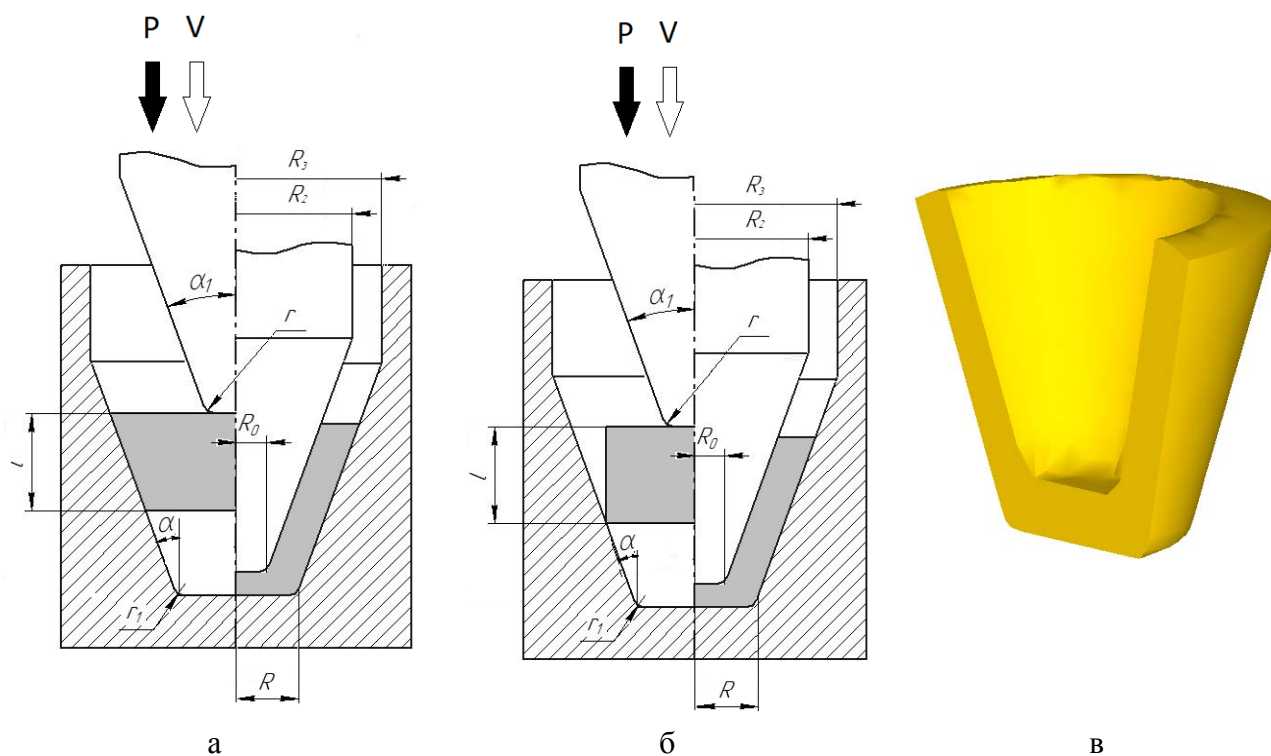


Рис. 1. Схема комбинированного выдавливания конических деталей из конической (а) и цилиндрической (б) заготовки и получаемый полуфабрикат (в)

Анализ показал, что на начальной стадии выдавливания (степень деформации заготовок составила $\varepsilon = 17\%$) характер распределения деформаций отличается. В конической заготовке максимальная величина деформаций (рис. 2) выше, чем в цилиндрической заготовке и сосредоточена на рабочей кромке пуансона. В этом случае величина деформаций для конической и цилиндрической заготовки достигает 1,13 и 0,75 единиц соответственно.

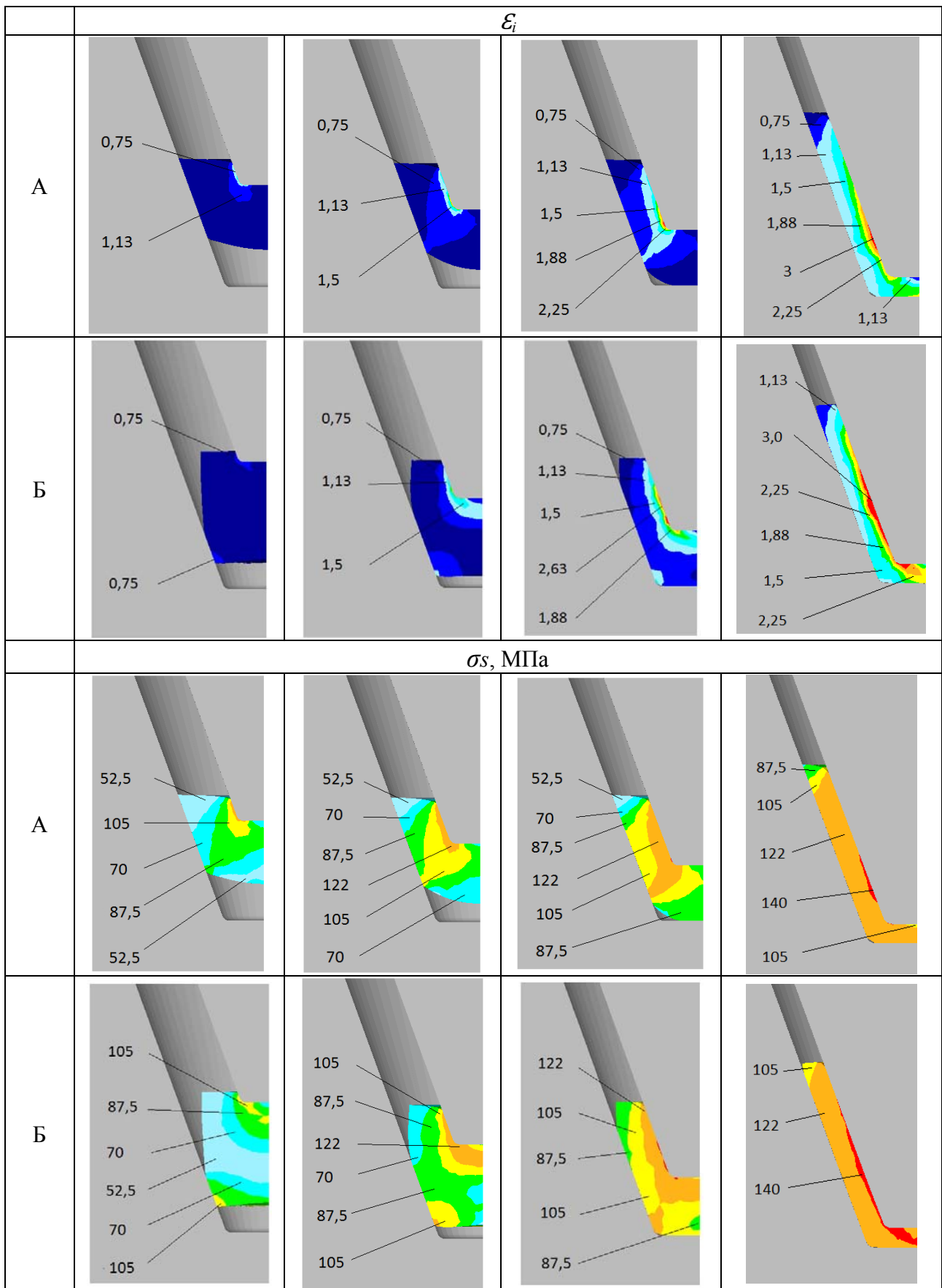


Рис. 2. Поля распределения интенсивности деформаций (ε_i) и напряжений (σ_s) в процессе комбинированного выдавливания с использованием конической (А) и цилиндрической (Б) заготовки

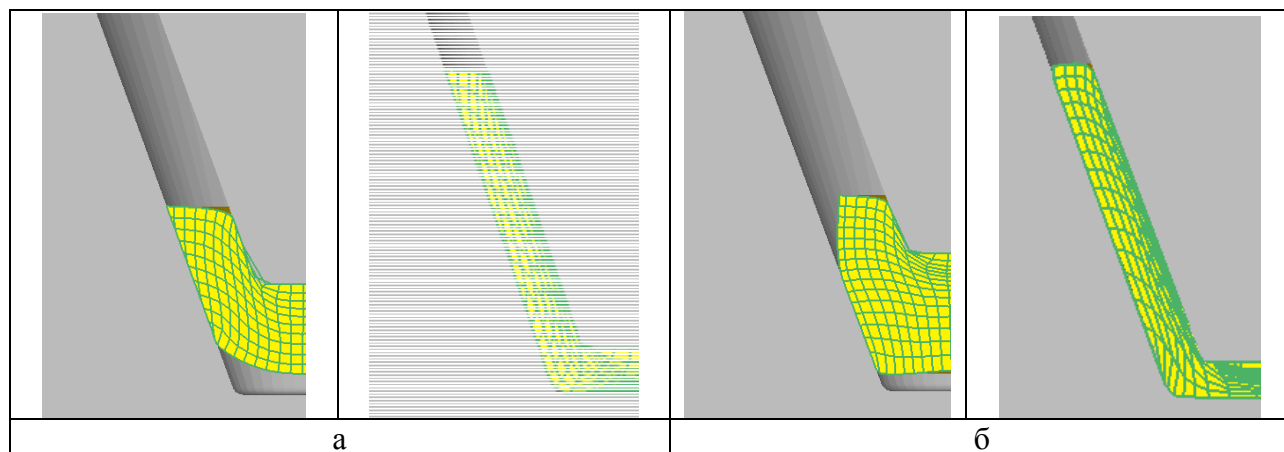


Рис. 3. Искажение координатной сетки в процессе комбинированного выдавливания конической (а) и цилиндрической (б) заготовок

На следующем этапе ($\varepsilon = 34\%$) поля распределения интенсивности деформаций по-прежнему различны. Видно, что в конической заготовке деформации распределяются от кромки пуансона преимущественно к его боковой поверхности. Существенный объем конической заготовки составляют деформации, равные 0,75. В то время как в цилиндрической деформации сосредоточены в зоне от кромки к центральной части поверхности заготовки. Большой объем заготовки имеет более низкую проработку металла, чем в первом случае. На этом этапе величина максимальная деформаций в обеих заготовках составляет 1,5.

Поля распределения интенсивности деформации на следующей стадии ($\varepsilon = 51\%$) все также разнятся. Здесь характер распределения для обеих заготовок схож с предыдущим этапом, однако значения величин деформаций изменились. Так для конической заготовки максимальные деформации достигают 2,25 единиц, а у цилиндрической заготовки эти значения равняются 2,63.

На последнем этапе ($\varepsilon = 68\%$) выдавливания видно, что поля распределения интенсивности деформаций в обеих заготовках качественно совпадают. Деформации имеют похожий характер распределения, с использованием цилиндрической заготовки максимальные деформации занимают больше объема, сосредоточенные в осевой части заготовки, нежели в первом случае. На этой стадии наблюдается постепенное увеличение величины деформаций как для конической, так и для цилиндрической заготовки. Установлено, что в первом случае максимальные деформации наблюдаются в осевой зоне заготовки, в то время как в цилиндрической заготовке максимальные деформации распределены почти по всей внутренней поверхности и их величина достигает 3, что способствует возникновению дефектов и образования трещин при дальнейшей обработке полуфабриката. Использование конической заготовки исключает такое явление металла, а также имеет достаточную проработку для дальнейшей обработки полученного полуфабриката.

Поля распределения интенсивности напряжений (рис. 2) имеют схожий характер по ходу всего процесса выдавливания. Аналогично полям распределения интенсивности деформаций максимальные напряжения на конечном этапе для цилиндрической заготовки распределены практически по всей внутренней поверхности, в то время как в конической заготовке максимальные напряжения сосредоточены в центре в осевой зоне заготовки (рис. 3). В цилиндрической заготовке наблюдается достаточно высокий занимаемый объем максимальных напряжений, равных 140 МПа.

Также был проанализирован график сил комбинированного выдавливания деталей из исходных заготовок конической и цилиндрической формы.

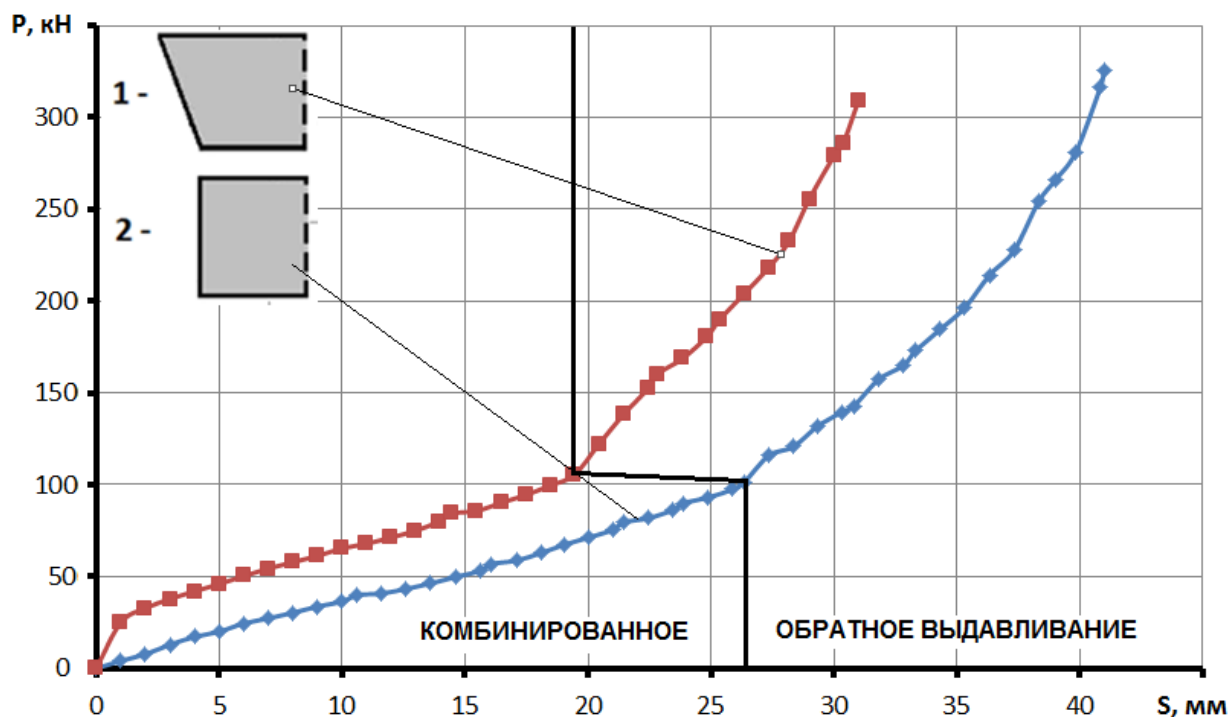


Рис. 4. График зависимости сил деформирования от хода процесса комбинированного выдавливания полых конических деталей

Из рис. 4 видно, что по мере увеличения хода в процессе комбинированного выдавливания сила деформирования плавно возрастает. По сравнению с конической заготовке необходима большая сила для завершения процесса выдавливания. С использованием конической заготовки максимальная сила не превышает 309,3 кН, в то время как с использованием цилиндрической заготовки эта величина достигает 326 кН. Это объясняется тем, что использование конической заготовки по сравнению с цилиндрической заготовкой позволяет получить благоприятное распределение интенсивности деформаций и напряжений. Использование такой геометрии заготовки позволяет обеспечить более равномерное течение металла по ходу процесса, а также заполнение полости матрицы.

ВЫВОДЫ

Установлено, что использование исходной конической заготовки в процессе комбинированного выдавливания полых конических деталей имеет преимущество по сравнению с заготовками цилиндрической формы. Исходя из анализа полей распределения интенсивности деформаций видно, что на начальных стадиях процесса выдавливания цилиндрическая заготовка имеет лучшую проработку как торцевой, так и центральной части, однако по ходу процесса картина распределения деформаций меняется. Максимальные значения интенсивности деформаций для данного варианта достигают 3,0. На конечной стадии определено, что для конической заготовки ниже вероятность разрушения и трещинообразования за счет лучшего распределения деформаций по очагу деформации.

Интенсивность напряжений имеет аналогичную картину распределения с деформациями в течение всего процесса выдавливания. В конической заготовке на конечном этапе выдавливания максимальные напряжения, равные 140 МПа, занимают значительно меньший объем по сравнению с цилиндрической заготовкой, что также может привести к образованию дефектов при дальнейшей обработке полуфабриката.

Коническая заготовка имеет лучшую геометрию, а также более благоприятное распределение интенсивности деформаций и напряжений в процессе выдавливания, что позволяет получить меньшую силу процесса. Также коническая заготовка имеет меньший ход для получения полуфабриката, что дает возможность повысить общую производительность процесса для получения готового изделия.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алиев И. С. Исследование технологического процесса выдавливания полых конических деталей / И. С. Алиев, Ю. А. Кащенко, В. П. Еремин // *Прогрессивные технологии, оборудование и оснастка для интенсификации процессов обработки давлением : сб-к науч. тр. – К. : УМК ВО, 1991. – С. 22–31.*
2. Алиева Л. И. Комбинированное выдавливание полых деталей / Л. И. Алиева, Р. С. Борисов // *Ресурсозберігаючі технології виробництва та обробки тиском матеріалів у машинобудуванні : зб. наук. пр. в 2-х ч. Ч. 1. – Луганськ : Вид-во СНУ ім. В. Даля, 2004. – С. 49–55.*
3. Евдокимов А. К. Обратное выдавливание в конической матрице / А. К. Евдокимов, О. М. Герасимова, Е. В. Житникова // *Исследования в области теории, технологии и оборудования штамповочного производства : сб. науч. тр. – Тула : ТулГУ, 1996. – С. 185–191.*
4. Алиев И. С. Моделирование процессов комбинированного выдавливания / И. С. Алиев, Е. М. Солодун, К. Крюгер // *Механика деформированного твердого тела и обработка металлов давлением : сб. науч. тр. – Тула : ТулГУ, 2000. – С. 21–27.*
5. Овчинников А. Г. Прямое выдавливание конических стаканов. В кн. : *Совершенствование процессов объемной штамповки / А. Г. Овчинников, А. В. Хабаров. – М. : МДНТП, 1980. – С. 103–108.*
6. Теория пластических деформаций металлов / Е. П. Унксов, У. Джонсон, В. Л. Колмогоров [и др.]; под ред. Е. П. Унксова, А. Г. Овчинникова. – М. : Машиностроение, 1983. – 598 с.
7. Алиев И. С. Деформированное состояние полых конических деталей при комбинированном выдавливании / И. С. Алиев, М. В. Косенко, И. В. Нагорская // *Научный вестник ДГМА : сб. науч. тр. – № 3 (14Е). – Краматорск : ДГМА. – С. 105–111.*

REFERENCES

1. Aliev I. S. Issledovanie tehnologicheskogo processa vydavlivanija polyh konicheskikh detalej / I. S. Aliev, Ju. A. Kashhenko, V. P. Eremin // *Progressivnye tehnologija, oborudovanie i osnastka dlja intenzi-fikacii processov obrabotki davleniem : sb-k nauch. tr. – K. : UMK VO, 1991. – S. 22–31.*
2. Alieva L. I. Kombinirovannoe vydavlivanie polyh detalej / L. I. Alieva, P. C. Borisov // *Resur-sozberigajuchi tehnologii virobnictva ta obrobki tiskom materialiv u mashinobuduванні : zb. nauk. pr. v 2-h ch. Ch. 1. – Lugans'k : Vid-vo SNU im. V. Dalja, 2004. – S. 49–55.*
3. Evdokimov A. K. Obratnoe vydavlivanie v konicheskoj matrici / A. K. Evdokimov, O. M. Gerasimova, E. V. Zhitnikova // *Issledovanija v oblasti teorii, tehnologii i oborudovanija shtampovochnogo proizvodstva : sb. nauch. tr. – Tula : TulGU, 1996. – S. 185–191.*
4. Aliev I. S. Modelirovanie processov kombinirovannogo vydavlivanija / I. S. Aliev, E. M. Solodun, K. Krjuger // *Mehanika deformirovannogo tverdogo tela i obrabotka metallov davleniem : sb. nauch. tr. – Tula : TulGU, 2000. – S. 21–27.*
5. Ovchinnikov A. G. Prjamoje vydavlivanie konicheskikh stakanov. V kn. : *Sovershenstvovanie processov ob#emnoj shtampovki / A. G. Ovchinnikov, A. V. Habarov. – M. : MDNTP, 1980. – S. 103–108.*
6. Teorija plasticheskikh deformacij metallov / E. P. Unksov, U. Dzhonson, V. L. Kolmogorov [i dr.]; pod red. E. P. Unksova, A. G. Ovchinnikova. – M. : Mashinostroenie, 1983. – 598 s.
7. Aliev I. S. Deformirovannoe sostojanie polyh konicheskikh detalej pri kombinirovannom vydavli-vanii / I. S. Aliev, M. V. Kosenko, I. V. Nagorskaja // *Nauchnyj vestnik DGMA : sb. nauch. tr. – № 3 (14E). – Kramatorsk : DGMA. – S. 105–111.*

Алиев И. С. – д-р техн. наук, проф., зав. каф. ОМД ДГМА;
Корденко М. Ю. – аспирант кафедры ОМД ДГМА;
Самоглядов А. Д. – аспирант кафедры ОМД ДГМА.

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск.

E-mail: omd@dgma.donetsk.ua

Статья поступила в редакцию 15.11.2018 г.