

# КУЗНЕЧНО-ШТАМПОВОЧНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ КУЗНЕЧНО-ШТАМПОВОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

УДК 621.73

*КУХАРЬ В.В.*, канд. техн. наук, доц., ДВНЗ «ПГТУ», Мариуполь

### ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ УДЛИНЕННЫХ ИЗДЕЛИЙ С КОНЦЕВЫМ ЗАОСТРЕНИЕМ ПРОДОЛЬНОМ РАЗРЫВОМ ЗАГОТОВОК

Выполнено конечно-элементное моделирование изменения параметров напряженно-деформированного состояния и степени использования запаса пластичности при получении удлиненных изделий с концевым заострением продольным разрывом заготовки. Проведено сравнение показателей степени использования запаса пластичности, рассчитанных по разным методикам. Выполнены исследования макроструктуры изделий и дана оценка их технологической наследственности.

Виконане скінчено-елементне моделювання зміни параметрів напружено-деформованого стану і ступеня використання запасу пластичності при одержанні подовжених виробів із кінцевим загостренням подовжнім розриванням заготовки. Проведено порівняння показників ступеня використання запасу пластичності, що розраховані по різних методиках. Виконані дослідження макроструктури виробів та дана оцінка їх технологічній спадковості.

The finite-elements simulation of change of parameters of stress-deformation state and degree of using of plasticity keeping during receiving of oblong produced parts with end sharp by longitude break of billet were used. Comparison of indexes of using of plasticity keeping those determinate by different methods was executed. Researches of macrostructure of produced parts were used and estimation of technological legacy was given.

**Введение.** К поковкам с удлиненной осью и заостренным концом относят широкую группу изделий для производства слесарно-монтажного инструмента, метательных приспособлений, зубил, крейнцисселей, зубьев бороны и т.п. Технологии производства таких поковок разнообразны и зависят от конфигурации изделия, наличия утолщений, уступов.

**Постановка проблемы.** Изготовление удлиненных поковок с наличием заострений на ковочных вальцах зачастую связано с образованием облоя и необходимостью ввода операций его обрезки [1]. Получение удлиненных поковок с заострением возможно способами выдавливания [2] и штамповки в закрытых штампах [3], при этом используют материалоемкие самокомпенсирующиеся штампы, работающие в тяжелых условиях. Более упрощенную форму инструмента применяют при ковке на радиально-ковочных [4, 5] и радиально-обжимных [6] машинах. Однако, кроме сложной кинематики, данным

устройствам свойственна высокая стоимость и ориентирование на массивные изделия с крупной программой выпуска.

Новым оригинальным способом получения поковок удлиненной конфигурации с заострением, согласно полезным моделям [7–9], является растяжение с разрывом заготовки. При этом из одной длиномерной (спаренной) заготовки производят две детали, заострение которых формируется в месте образования шейки. Принципы контролируемого разрыва успешно используют в технологиях прокатки [10]. Однако применение растяжения с разрывом заготовки для бесштампового формообразования поковок требует проведения комплекса экспериментально-теоретических исследований и накопления базы знаний, необходимых для разработки технологий получения изделий с требуемыми служебными свойствами.

**Анализ последних публикаций.** Среди основных предпосылок бесштампового формообразования длиномерных изделий следует указать на осевое растяжение в режиме сверхпластичности [11], с помощью которого производят не только поковки с заостренным концом, но и заготовки периодического профиля (рис. 1).

Известные способы механических испытаний образцов на растяжение по ГОСТ 1497-84, выполняемые на стандартизированных испытательных машинах, также сопровождаются разрывом заготовок с оформлением заострений по утоненной шейке. Вопросам изучения напряженно-деформированного состояния (НДС) и, частично, формоизменения шейки при растяжении уделялось достаточно внимания в работах [12–14]. В диссертации [15] предложено эмпирическое описание радиуса вогнутости разрываемого профиля в месте шейкообразования. Следовательно, исследования в данной области являются развивающимися до настоящего времени.

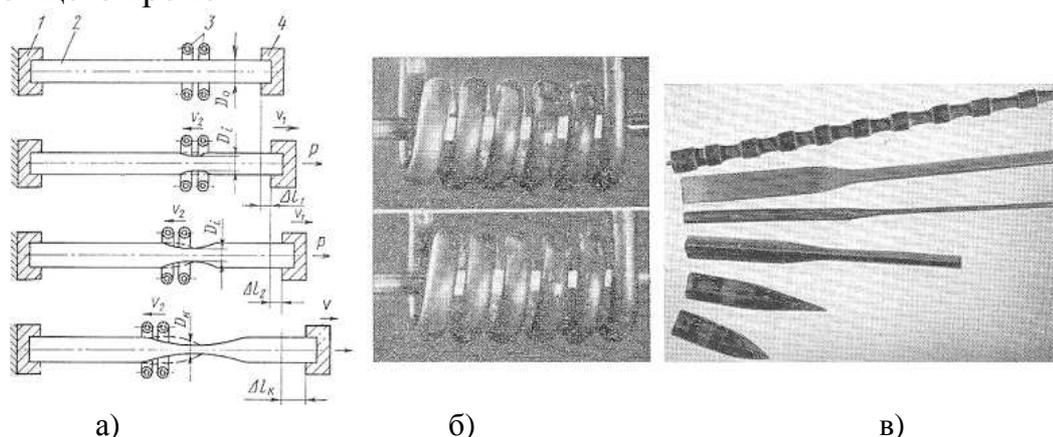


Рис. 1. Формообразование в режиме сверхпластичности [11]:  
 а – схема процесса; б – заготовка в индукторе; в – типовые изделия,  
 1 и 4 – неподвижный и подвижный зажим разрывного пресса,  
 2 – заготовка, 3 – индуктор

Конфигурация изделия после растяжения с разрывом имеет типовую форму зубил, зубьев бороны (рис. 2). Таким образом, исследуемый способ профилирования может служить завершающей или промежуточной операцией, аналогичной протяжке или подкатке. Применение данной операции является выгодной альтернативой технологиям многопереходной штамповки стержневых деталей с заострениями (рис. 3), предлагаемым в работах [16, 17], с очевидным сокращением числа технологических переходов и улучшением формирования геометрии пикообразной части.



Рис. 2. Зуб бороны (а) и зубило пикообразное (б)

Для управления формоизменением осуществляют зональный нагрев заготовки в месте разрыва, причем предпосылки для снабжения разрывных машин нагревательными приборами существуют достаточно давно, что указано в работе [18]. Авторами [9] для выполнения бесштампового профилирования заготовок способом растяжения с разрывом была предложена конструкция машины, предполагающая проведение дифференцированного нагрева и закалки заострений после разделения заготовки.

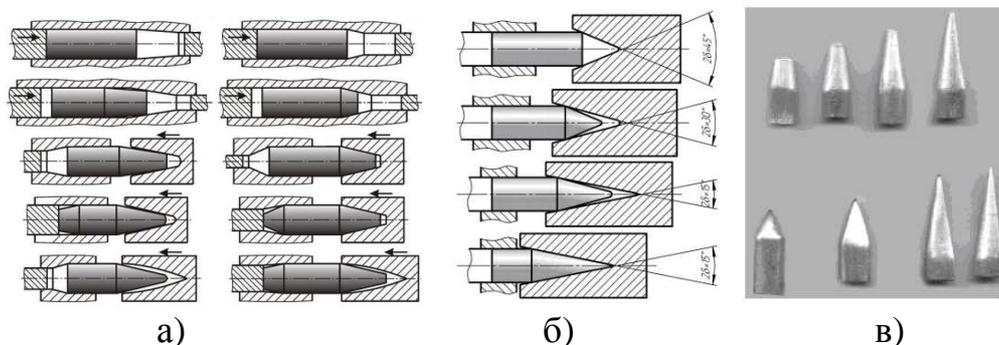


Рис. 3. Технологии многопереходной высадки стержней [17] с заострениями (а и б) и штампованные образцы (в)

В работах [19, 20] проведено исследование геометрических макропоказателей деформации энергосиловых характеристик процесса растяжения с разрывом заготовок круглого и квадратного поперечного сечения в зависимости от длины зоны нагрева в месте разделения. Критериальный анализ показал значительные энергетические преимущества способа с точки зрения сопоставления затраченной работы деформации с показателями конечного формоизменения. Предложенные расчетные зависимости для определения длины участка нагрева и протяженности рабочего хода машины до разрыва заготовки положены в основу проектирования технологических процессов производства зубил

пневматических молотов для разрушения футеровки металлургических емкостей [20, 21].

Особенностью формообразования изделий является локализация деформации в зоне формирования заострения. Несмотря на известный постулат о том, что горячая деформация способствует «залечиванию» микротрещин, которые могут возникать в зонах растягивающих напряжений, особый интерес представляет исследование НДС на участке разрыва и прогнозирование технологической наследственности в заостренной части изделий, где нагрузки, возникающие при эксплуатации, максимальны.

**Цель работы.** Целью настоящей работы является исследование НДС, степени использования запаса пластичности и металлографический анализ заостренной части удлиненных изделий, полученных продольным разрывом заготовок, для оценки технологической наследственности.

**Изложение основного материала.** Как известно, длина участка местного нагрева оказывает влияние на такие параметры, как величина рабочего хода до разрыва заготовок, максимальное усилие деформации растяжения, размеры и конфигурация геометрических характеристик заостренного участка. Исходя из конечных размеров поковки «зубило» (длина концевой заостренной части  $l_k = 32$  мм, диаметр  $d = 26$  мм; материал – сталь 60С2А) на основе разработанной методики расчета [20, 21] был спроектирован технологический процесс производства изделий растяжением с разрывом из спаренной заготовки  $\varnothing 26$  мм и длиной 500 мм (рис. 4). При этом температура нагрева центральной части спаренной заготовки составляет 1100 °С. Длину участка нагрева ( $l_n$ ) и величину рабочего хода ( $\Delta l$ ), обеспечивающего разрыв заготовки, рассчитывали как

$$l_n = \alpha \cdot l_k + \beta \cdot d = 1,292 \cdot 32 + 0,083 \cdot 26 = 43 \text{ мм}; \quad (1)$$

$$\Delta l \geq \alpha' \cdot l_n + \beta' \cdot d = 1,5125 \cdot 32 + 0,7329 \cdot 26 = 67,5 \text{ мм}, \quad (2)$$

где  $\alpha = 1,292$ ,  $\beta = 0,083$  и  $\alpha' = 1,513$ ,  $\beta' = 0,733$  – коэффициенты для нагретых стальных заготовок [21].

Оценку НДС и степени использования запаса пластичности (СИЗП) проводили путем конечно-элементного моделирования процесса деформации в осесимметричной постановке при помощи итерационного решателя Abaqus/Standart. Заготовку представляли в виде центральной нагретой деформируемой упрочняемой зоны и холодных жестких недеформируемых участков, контактирующих с захватными органами разрывного пресса (см. рис. 4). Для моделирования процесса растяжения заготовки на её торцах определяли граничные условия, обеспечивающие их перемещение вдоль оси заготовки в противоположных направлениях со скоростью 0,5 мм/с, что соответствует скорости деформирования.

При аппроксимации модели заготовки сеткой конечных элементов использовали четырехузловые осесимметричные квадратичные конечные

элементы с редуцированной схемой интегрирования и контролем вырожденности, размер которых составлял 0,5 мм. Упрочнение материала при заданной температуре и скорости деформации учитывали согласно данным справочника [22].

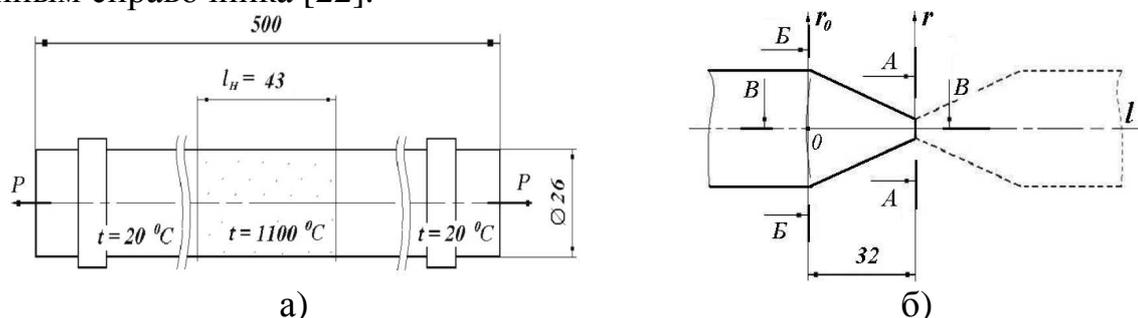


Рис. 4. Схема к модели разрыва заготовки для получения поковки «зубило» до деформирования (а) и в момент разделения (б)

Исходя из установленных в процессе моделирования значений главных напряжений ( $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ ), компонентов тензора напряжений ( $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{xz}$ ) и интенсивности напряжений ( $\sigma_i$ ) в объеме деформируемой части заготовки определяли следующие параметры [23, 24]:

- показатель Надаи-Лоде:

$$v_\sigma = \frac{2\sigma_2 - \sigma_1 - \sigma_3}{\sigma_1 - \sigma_3}; \quad (3)$$

- коэффициент напряженного состояния:

$$k_\sigma = \sigma_{cp} / T, \quad (4)$$

где  $T = \sigma_i / \sqrt{3}$  – интенсивность касательных напряжений;

$\sigma_{cp} = (\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z) / 3$  – гидростатическое напряжение.

При образовании шейки напряженное состояние деформируемой части из линейного переходит в объемное. Поэтому исследовали комплекс показателей СИЗП ( $\Psi$ ) [23, 24]:

- по В. Л. Колмогорову:

$$\Psi_1 = \frac{\Lambda}{\Lambda_p} < 1 \quad \text{или} \quad \Psi_1 = \int_0^\tau \frac{H(\tau)}{\Lambda_p [k_\sigma(\tau)]} d\tau < 1, \quad (5)$$

где  $\tau$  – время деформирования;

$H = \xi_i \cdot \sqrt{3}$  – интенсивность скоростей деформаций сдвига, здесь  $\xi_i$  – интенсивность скорости деформации;

$\Lambda = \int_0^\tau H d\tau = \sqrt{3} \cdot e_i$  – степень деформации сдвига, здесь для

обозначения интенсивности деформации используем  $e_i$ ;

$\Lambda_p = \sqrt{3} \cdot e_p$  – предельная степень деформации сдвига, при которой наступает разрушение, причем  $e_p = \ln(l_p / l_0)$ , где  $l_0$  и  $l_p$  – длина образцов до и после разрыва по результатам испытаний на растяжение при заданных условиях деформирования;

- по Г. Д. Делю, В. А. Огородникову и В. Г. Нахайчуку:

$$\Psi_2 = \int_0^{e_i} n \frac{e_i^{n-1} de_i}{e_p(\eta)^n} < 1, \quad (6)$$

где  $n = 1 + 0,2 \arctg(d\eta / de_i)$  и  $\eta = 3\sigma_{cp} / \sigma_i = (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3) / \sigma_i$ ;

- с учетом третьего инварианта тензора напряжений в виде:

$$\Psi_3 = \int_0^{e_i} (1 + f) \frac{e_i^f de_i}{e_p(\eta, v_\sigma)^{1+f}}, \quad (7)$$

где  $f = 0,2 \arctg\left(\frac{d\eta}{de_i} + \frac{d\chi}{de_i}\right)$ , здесь  $\chi = \sqrt[3]{\sigma_1 \sigma_2 \sigma_3} / \sigma_i$ ;

$$e_p(\eta, v_\sigma) = 1,85(0,41v_\sigma - 0,51\eta);$$

- с учетом объемного НДС с нелинейным законом накопления повреждений:

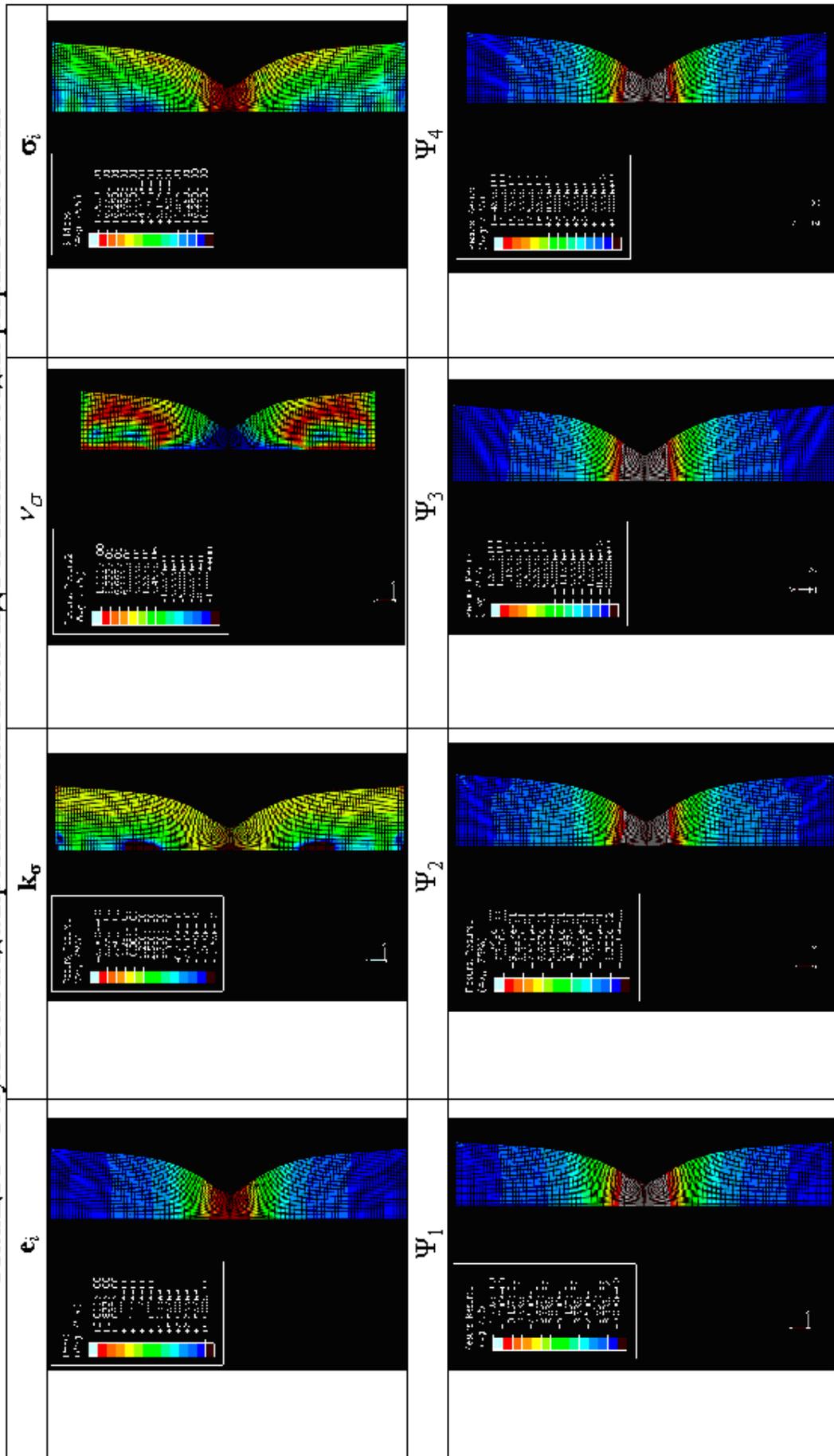
$$\Psi_4 = \int_0^{e_i} n \frac{e_i^{n-1} de_i}{e_p(\eta, v_\sigma)^n}, \quad (8)$$

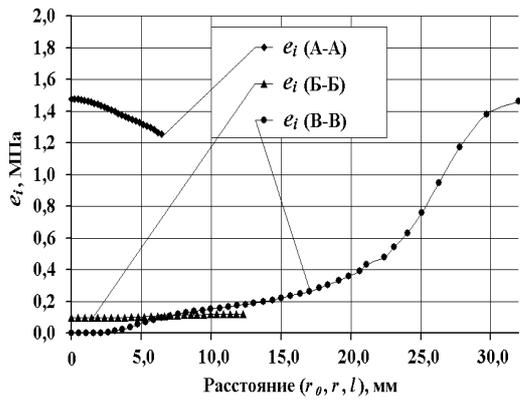
где  $n = 1 + a \frac{d\eta}{de_i} - b \frac{dv_\sigma}{de_i}$ ;  $a = 0,06$ ,  $b = 0,037$ .

Для определения полей распределения параметров ( $k_\sigma$ ,  $v_\sigma$ ,  $\Psi_1$ ,  $\Psi_2$ ,  $\Psi_3$  и  $\Psi_4$ ) в объеме заготовки использовали программное обеспечение, разработанное с использованием интерпретатора языка Python, встроенного в систему Abaqus. Результаты моделирования представлены видео файлами (расширение \*.avi), причем зафиксированные поля изучаемых параметров для стадии разрыва образца приведены в табл. 1.

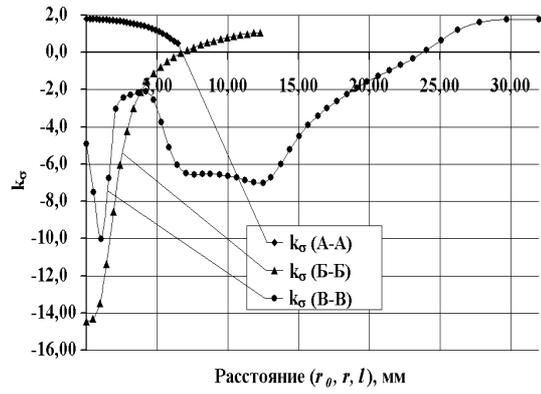
Кроме того, на рис. 5 отображены графики распределения показателей НДС в сечениях А-А, Б-Б и В-В заготовки (по рис. 4, б), а именно интенсивность деформации (см. рис. 5, а), коэффициент напряженного состояния, определенный по выражению (4) (см. рис. 5, б), показатель Надаи-Люде, вычисляемый по формуле (3) (см. рис. 5, в), и интенсивность напряжений (см. рис. 5, в). Абсолютный рост показателей НДС наблюдается в пластической зоне с приближением к оси заготовки по сечению и месту разделения по длине. Таким образом, зона максимальных эксплуатационных нагрузок является наиболее проработанной.

Таблица 1 – Результаты моделирования показателей НДС и СИЗП на стадии разрыва заготовки

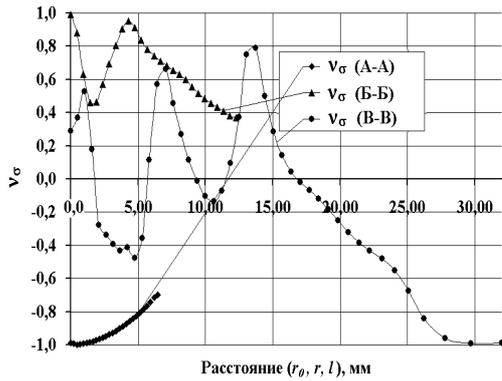




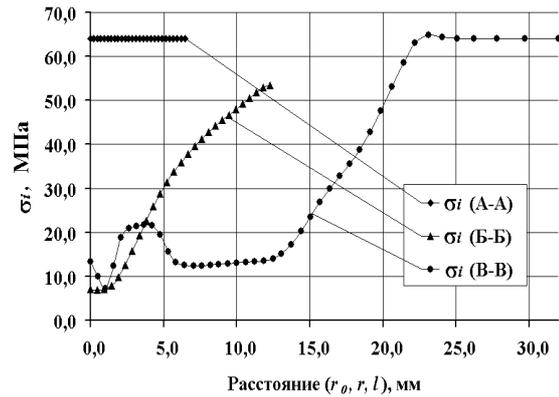
а)



б)



в)

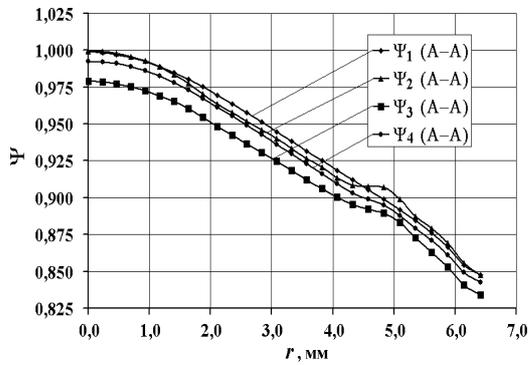


г)

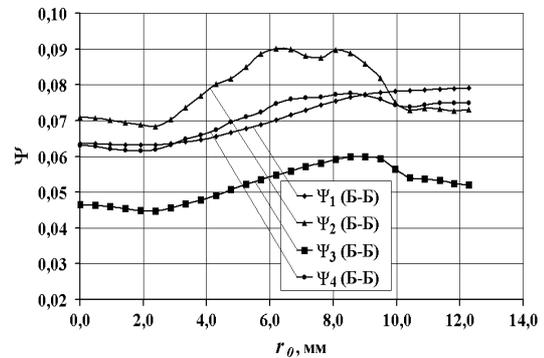
Рис. 5. Показатели НДС в сечениях заготовки:

а – распределение  $e_i$ ; б – распределение  $k_\sigma$ ;

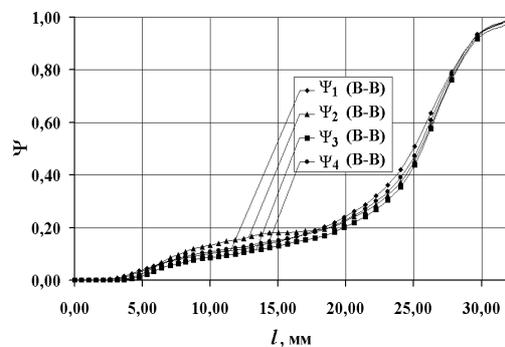
в – распределение  $v_\sigma$ ; г – распределение  $\sigma_i$



а)



б)



в)

Рис. 6. Распределение СИЗП в сечениях заготовки:

а – сечение А-А; б – сечение Б-Б; в – сечение В-В

На рис. 6 приведено сравнение распределений показателей СИЗП, определенных по формулам (5), (6), (7) и (8). Полученные графические зависимости качественно и количественно близки. В месте разрыва, естественно, наблюдается исчерпание запаса пластичности. Однако, уже на расстоянии 5 мм от сечения А-А по длине (что соответствует размеру технологического припуска на заточку концевого заострения) показатели СИЗП находятся на уровне  $\cong 0,7$ , что является вполне удовлетворительным даже для условий холодной пластической деформации.

Для оценки технологической наследственности металла поковок, полученных растяжением с разрывом, проводили макроструктурный анализ. Изделия со сформированным заострением приведены на рис. 7, а. После проведения экспериментальных исследований были отобраны три поковки, разорванные при различных длинах участков нагрева, в том числе изделие, полученное по предложенной технологии производства зубил. После изготовления макрошлифов, данные заготовки были подвергнуты химическому травлению 20 % водным раствором  $\text{HNO}_3$ , текстуру выявляли снятием серного отпечатка по Бауману. Дополнительно металлографические исследования проводили на заготовках для поковок «зубьев бороны» квадратного поперечного сечения (рис. 7, б), разделенных при различной протяженности зоны нагрева (по результатам работы [20]). Учитывая, что используемые изделия «зубьев бороны» имели полученные по традиционной технологии заострения с обратной стороны, появляется возможность выполнить сравнение макроструктуры заостренной части.



Рис. 7. Заготовки круглого поперечного сечения («зубило») (а) и квадратного поперечного сечения («зуб бороны») (б), разделенные при различных длинах участков нагрева

Результаты исследований приведены в табл. 2, где шлифы № 1–3 получены из заготовок с первоначальным круглым поперечным сечением  $\text{Ø}26$  мм (60С2А, «зубило»), а шлифы № 4 и № 5 – из заготовок квадратного поперечного сечения (55Г, «зубья бороны»). Выявленная макроструктура продольных темплетов вполне удовлетворительна и характеризуется хорошо наблюдаемой текстурой в зоне формирования заострения. Волокна вытянуты в направлении действия эксплуатационных нагрузок. Установлено, что полученные по традиционной

технологии заострения имеют перерезанные волокна, что свидетельствует об их получении способами механической обработки (заточки). Очевидно, что формирование заострений пластической деформацией является предпочтительным.

Таблица 2 – Результаты металлографических исследований

№	1	2	3	4	5
Внешний вид шлифа					
Шлиф после макротравления					
Серный отпечаток по Бауману					

В концевой заостренной зоне образца № 3 и в зонах приварки буртов образцов № 4 и № 5 выявлены зоны термического влияния в виде потемнений (см. табл. 2). Серные отпечатки всех проб имеют равномерное распределение точечных ликватов средней интенсивности окраски. После травления дефектов макроструктуры в пробах не обнаружено.

Как правило, процессы горячей деформации сопровождаются динамической рекристаллизацией с восстановлением механических свойств стали, а формирование текстуры улучшает показатели прочности в направлении вытяжки волокон. Соответственно, многие детали, полученные горячей деформацией, вводят в работу и успешно эксплуатируют после производства по технологиям, содержащим элементы нарушения целостности изделия (обрезка облоя поковок, удаление припусков и напусков механической обработкой и т.п.).

**Выводы.** Установлены закономерности развития НДС при формировании концевой заострения в процессе производства поковок «зубил» способом продольного разрыва с дифференцированным нагревом. Выявлено, что показатели степени использования запаса пластичности, рассчитанные по различным методикам, качественно и количественно близки. Промышленная апробация технологии в условиях ПАО «ММК им. Ильича» (г. Мариуполь), оценка макроструктурных показателей и эксплуатация «зубил» подтвердила удовлетворительную технологическую наследственность изделий, полученных способом растяжения с разрывом заготовки.

**Список литературы:** 1. Смирнов В. К. Горячая вальцовка заготовок / В. К. Смирнов, К. И. Литвинов, С. В. Харитонин. – М.: Машиностроение, 1980. – 150 с. 2. Воллак А. Горячая штамповка в разъемных матрицах на прессе двойного действия / А. Воллак // Кузнечно-штамповочное производство. – 1985. – № 3. – С. 3–5. 3. Леванов А. Н. Технологические параметры процесса закрытой штамповки поковок с вытянутой осью в самораскрывающихся штампах / А. Н. Леванов, Д. И. Вичужанин // Изв. вузов. Машиностроение. – 2000. – № 5–6. – С. 101–111. 4. Четырехбойковое ковочное устройство: пат. 2242322 Российская Федерация, МКИ В 21 J 13/02 К 7/16. / А. М. Володин, Л. Г. Конев, В. А. Лазоркин; Заявитель и патентообладатель ОАО «Тяжпрессмаш». – №2003110915/02; Заявл.16.04.03; Опубл. 20.12.04, Бюл. № 65. – 6 с.; ил. 5. Мельников Ю. В. Технично-экономические показателиковки в четырехбойковом ковочном устройстве / Ю. В. Мельников // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2006. – №6. – С. 55–57. 6. Тюрин В. А. Ковка на радиально-обжимных машинах / В. А. Тюрин, В. А. Лазоркин, И. А. Поспелов и др. – М.: Машиностроение, 1990. – 256 с. 7. Спосіб одержання заготовок з загостреним кінцем [Текст]: пат. 18568 Україна, МПК (2006), В21J 5/00 / Діамантопуло К. К., Сердюк О. І., Діамантопуло Ю. К. (Україна); Заявник та патентовласник Приазовський державний технічний університет. – № u200605103; заявл. 10.05.2006; опубл. 15.11.2006, Бюл. №11. – 2 с. 8. Спосіб одержання подвоєної заготовки для безвідходного штампування [Текст]: пат. 24977 Україна, МПК (2006), В21J 5/00 / Діамантопуло Ю. К. (Україна); Заявник та патентовласник Приазовський державний технічний університет. – № u200701522; заявл. 13.02.2007; опубл. 25.07.2007, Бюл. №11. – 2 с. 9. Машина для виробництва поковок типу стрижня з загостреним кінцем [Текст]: пат. 19382 Україна, МПК (2006), В21J 5/00 / Діамантопуло К. К., Сердюк О. І., Діамантопуло Ю. К., Литвин А. М., Мкртчян Е. А. (Україна); Заявник та патентовласник Приазовський державний технічний університет. – № u2006606600; заявл. 13.06.2006; опубл. 15.12.2006, Бюл. №12. – 3 с; іл. 10. Манишин О. Г. Оптимізація технології вальцювання-розділення арматурних профілів методом контрольованого розривання : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.03.05 / Манишин Олександр Гейнійович. – Донецьк, 2003. – 20 с. 11. Смирнов О. М. Обработка металлов давлением в состоянии сверхпластичности / О. М. Смирнов. – М.: Машиностроение, 1979. – 184 с. 12. Качанов Л. М. Основы теории пластичности / Л. М. Качанов. – М.: Наука, 1969. – 420 с. 13. Давиденков Н. Н. Анализ напряженного состояния в шейке растянутого образца / Н. Н. Давиденков, Н. И. Спиридонова // Заводская лаборатория. – 1945. – т.11. – №6. – С.102–118. 14. Музичук В. І. Удосконалення технологічних процесів холодного формозмінювання з однотипним механізмом деформації на основі теорії деформуємості : дис. ... канд. техн. наук:

05.03.05 / *Музичук Василь Іванович*. – Вінниця, 2006. – 216 с. **15.** *Кириця І. Ю.* Удосконалення процесів холодного пластичного деформування при отриманні вісесиметричних заготовок з глухим отвором : дис. ... канд. техн. наук: 05.03.05 / *Кириця Інна Юріївна*. – Вінниця, 2008. – 207 с. **16.** *Панфилов Г. В.* Теоретический силовой анализ штамповки стержневых остроконечных изделий / *Г. В. Панфилов, Д. Н. Исакин, С. С. Груздев* / В. сб.: Исследования в области теории, технологии и оборудования обработки металлов давлением. – Орел–Тула. – 1998. – С. 50–56. **17.** *Хвостов Е. Ю.* Методика проектирования процессов многопереходной холодной штамповки остроконечных стержневых деталей / *Е. Ю. Хвостов, Панфилов Г. В.* // Тез. докл. Всероссийск. научн.-техн. конф. «Студенческая научная весна 2008: Машиностроительные технологии». Секция «Оборудование и технология обработки давлением», посв. 140-летию МГТУ им. Н.Э. Баумана, 7-9 апреля 2008 г. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. – С. 61–69. **18.** *Смирнов Д. П.* Модернизация универсальной испытательной машины УИМ-100 для проведения пластометрических испытаний труднодеформируемых материалов и выбора температурного режима обработки / *Д. П. Смирнов, М. Л. Первов* // Тез. докл. Всероссийск. научн.-техн. конф. «Студенческая научная весна 2008: Машиностроительные технологии». Секция «Оборудование и технология обработки давлением», посв. 140-летию МГТУ им. Н.Э. Баумана, 7-9 апреля 2008 г. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. – С. 40–48. **19.** *Кухарь В. В.* Критеріальний аналіз бесшампового формоутворення удлинённых поковок с заостренным концом / *В. В. Кухарь* // Вісник Хмельницького національного університету. – Хмельницький: ХНУ, 2010. – № 4. – С. 7–11. **20.** *Диамантопуло К. К.* Технологические предпосылки получения удлинённых поковок с заостренным концом / *К. К. Диамантопуло, В. В. Кухарь, Ю. К. Диамантопуло* // Вісник Хмельницького національного університету. – Хмельницький: ХНУ, 2010. – № 2. – С. 41–45. **21.** Спосіб одержання подовжених виробів із загостреним кінцем [Текст]: пат. 55402 Україна, МПК (2009), В21J 5/00 / *Кухар В. В., Почупей В. М., Диамантопуло К. К., Диамантопуло Ю. К.* (Україна); Заявник та патентовласник Приазовський державний технічний університет. – № u201007561; заявл. 17.06.2010; опубл. 10.12.2010, Бюл. № 23. – 2 с. **22.** *Полухин П. И.* Сопротивление пластической деформации металлов и сплавов: справочник / *П. И. Полухин, Г. Я. Гун, А. М. Галкин*. – М.: Металлургия, 1983. – 352 с. **23.** *Колмогоров В. Л.* Пластичность и разрушение / *В. Л. Колмогоров и др.* – Под ред. *В. Л. Колмогорова*. – М.: Металлургия, 1977. – 336 с. **24.** *Огородников В. А.* Деформируемость и разрушение металлов при пластическом формоизменении / *В. А. Огородников*. – К.: УМК ВО, 1989. – 152 с.

**УДК 621.787.4-977**

**А.С.АНИЩЕНКО**, канд. тех. наук, доцент, ГВУЗ «ПГТУ», Мариуполь  
**С.Б.КАРГИН**, аспирант, ГВУЗ «ПГТУ», Мариуполь

## **СОВЕРШЕСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ РАСКАТКИ КОЛЬЦЕВЫХ ТИТАНОВЫХ ПОКОВОК**

Усовершенствованы технологии резки заготовок из титанового сплава 5В, осадки и прошивки бандажей с соотношением высоты заготовок к диаметру, достигающим 3,3, двухпереходной раскатки бандажей на кольцераскатном стане. Приведены температурно-деформационные параметры формоизменения кольцевых поковок, обеспечивающие их высокие физико-механические свойства.

**Ключевые слова:** титановый сплав, осадка, прошивка, раскатка.