

металла с 0,6 до 0,9, сокращение сроков подготовки производства новых изделий в 1,5 раза.

#### **Заключение**

Разработанная математическая модель позволяет объективно оценить влияние скоростных и деформационных параметров на силовые режимы штамповки изделий в разъемных матрицах из алюминиевого АМг6 и титанового ВТ6С сплавов. Сравнение экспериментальных результатов исследований с теоретическими показывает удовлетворительную сходимость.

Работа выполнена в рамках федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России», государственного задания Министерства образования и науки Российской Федерации на 2012-2014 годы и грантов РФФИ.

#### **Литература**

1. Изотермическое формоизменение анизотропных материалов жестким инструментом в режиме кратковременной ползучести / С.С. Яковлев, С.П. Яковлев, В.Н. Чудин, В.И. Трегубов, А.В. Черняев. М.: Машиностроение, 2009. 412 с.
2. Изотермическое деформирование высокопрочных анизотропных металлов / С.П. Яковлев, В.Н. Чудин, С.С. Яковлев, Я.А. Соболев. М: Машиностроение, 2004. 427 с.

#### ***Протяжка коротких заготовок без образования дефекта зажим***

д. т. н. проф. Алиев И.С., Кальченко П.П., Швец А.А., к.т.н. Жбанков Я.Г., Таган Л.В.  
*Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск.*  
*E-mail: [vzhbankov@gmail.com](mailto:vzhbankov@gmail.com)*

В тяжелом машиностроении значительное место занимают крупногабаритные детали ответственного назначения типа валов и роторов. Основным способом их изготовления является ковка протяжкой [1, 2]. Проанализировав технологические процессы, применяемые на отечественных предприятиях, можно прийти к выводу, что основная масса технологических процессов получения таких деталей включает в себя осадку и протяжку, в случае применения обычных кузнечных слитков, и просто протяжку, в случае применения коротких слитков [3, 4]. Осадка обычных кузнечных слитков применяется для получения высоких значений улова в изделии, что обеспечивает высокий уровень его механических свойств [5, 6]. Протяжка применяется также как формообразующая операция.

После осадки заготовка, как правило, имеет незначительную высоту. Протяжка осажженной или короткой исходной заготовки осуществляется с малыми относительными обжатиями и подачами. Это обуславливает деформирование только лишь периферийных слоев заготовки, в результате, как следствие, образуются наплывы на торцы заготовки [7], которые при дальнейшей протяжке трансформируются сначала в утяжину, а после при больших уловах могут трансформироваться в свищи на торцах поковки, что является неисправим браком и требует при создании технологии предусматривать дополнительные напуски на торец поковки.

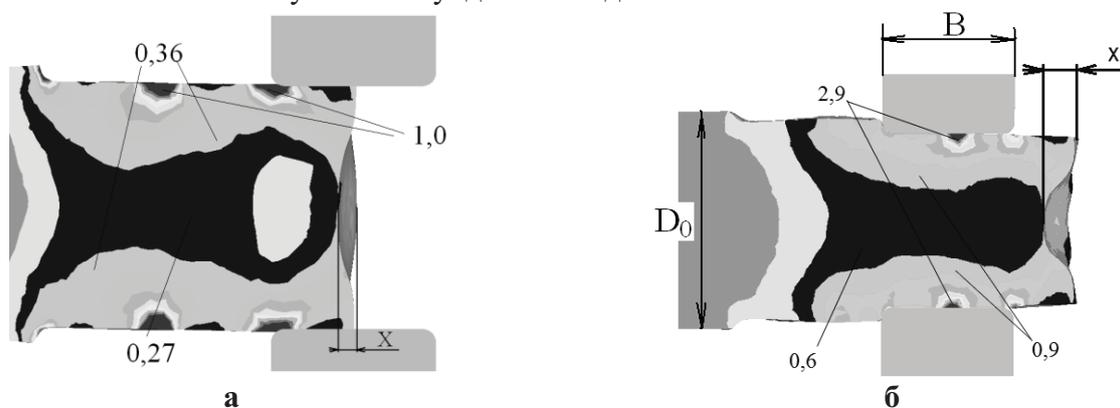
В производстве с таким явлением могут бороться использованием специальных вогнутых сферических осадочных плит [8]. Торцы заготовки после осадки такими плитами будут выпуклыми, что будет компенсировать при протяжке наплыв металла в периферийных слоях заготовки. Однако не всегда в инструментальном парке кузнечных цехов машиностроительных предприятий имеются такие осадочные плиты, кроме того протяжку могут осуществлять без применения операции осадки, в случае использования коротких слитков и слитков ЭШП. Таким образом, исследование влияния параметров ковки на образование утяжины на торцах заготовки и разработка режима ковки, позволяющего исключить данный дефект, является актуальным.

Целью данной работы является исследование механизма образования торцевой утяжины в процессе протяжки, влияния параметров механического режима ковки на ее величину и разработка нового режима протяжки, позволяющего избежать образования данного дефекта.

Методом конечных элементов проведено моделирование процесса ковки протяжкой за-

готовки по заводским режимам. Моделирование процесса протяжки проводилось в программе, которая основана на методе конечных элементов. В качестве заготовки был принят цилиндр диаметром 1000 мм и длиной 2000 мм из материала Сталь 45. Начальная температура заготовки 1200°C, заготовка разбивалась на 50000 конечных элементов, скорость деформирования 25 мм/с, при моделировании коэффициент пластического трения Зибеля принимался равным 0,35. Протяжка осуществлялась плоскими бойками шириной  $B=600$  мм радиусом скругления кромки рабочей поверхности 50 мм. Подача составляла  $2/3$  ширины бойка, единичное обжатие 100 мм. Протяжка производилась по схеме круг – квадрат – восьмигранник – круг проходами. На исходной заготовке оттянуты две ступени диаметрами 800 и 900 мм. Результаты моделирования в виде поля распределения интенсивности логарифмических деформаций в поперечном сечении заготовки приведены на рисунке 1.

Как видно из рисунке 1, центральная часть заготовки имеет низкую деформацию, наибольшие деформации по сечению сосредоточены у периферийных слоев заготовки, что при дальнейшей термической обработке может привести к структурной неоднородности и неоднородности механических свойств. Кроме того, видно, что на торцевой части появилась утяжина и часть поковки с утяжиной уйдет в отход.



**Рисунок 1. Поле распределения интенсивности логарифмических деформаций в поперечном сечении заготовки в процессе протяжки плоскими бойками с подачей 400 мм и единичным обжатием 100 мм (а – протяжка на диаметр 900 мм, б – протяжка на диаметр 800 мм)**

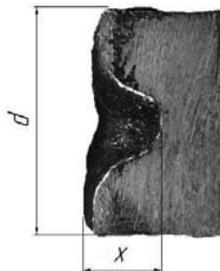
Проведено физическое моделирование процесса протяжки заготовки плоскими бойками по заводским режимам. Моделирование проводилось на заготовках, полученных отливкой в изложнице, с последующей калибровкой в матрице до диаметра  $D_0 = 36$  мм из свинца с содержанием 1% сурьмы для схожести механических характеристик модельного материала с натуральным – сталь 45.

В ходе эксперимента исследовалась зависимость глубины образования вогнутости ( $x$ ) на торцевой поверхности заготовки от величины обжатия и подачи при протяжке цилиндрической заготовки плоскими бойками. Для схожести эксперимента с условиями протяжки поковки после ее осадки применялась заготовка с относительной высотой  $H / D_0 = 1,5$  ( $H$  – высота заготовки,  $D_0$  – диаметр исходной заготовки). Величина обжатия ( $\epsilon_h$ ) принималась равной 8 и 16 % от диаметра исходной заготовки, подача –  $f = 1 / 3 \dots 2 / 3$  от ширины бойка.

Эксперимент осуществлялся следующим образом: цилиндрическая заготовка укладывалась на нижний плоский боек шириной  $B = 28$  мм с подачей, равной  $1 / 3$ ,  $1 / 2$  или  $2 / 3$  ширины бойка, после чего производился нажим на заготовку верхним плоским бойком такой же ширины. Величина обжатия производилась на постоянную величину, равную 3 или 6 мм, со скоростью 1 мм/с. Протяжка путем последовательных подач осуществлялась проходами по всей длине заготовки. Ковка проводилась по схеме круг – квадрат – восьмигранник – круг путем кантовки заготовки вокруг оси на  $90^\circ$  и  $45^\circ$  до диаметра  $d = 15$  мм при величине обжатий, равной 3 мм, и до  $d = 18$  мм при величине обжатий, равной 6 мм. Таким образом, было промоделировано 6 схем протяжки.

В процессе эксперимента наблюдалось изменение формы и размеров торцов заготовки,

на которых образовывалась вогнутость (утяжина) (рисунок 2, 3), глубина которой замерялась после каждого перехода ковки от начального до конечного диаметра с шагом 3 и 6 мм для заготовок, протягиваемых с различной величиной обжатия. Перед тем как на торцевой поверхности начинал образовываться зажим, таким образом усложняя замер глубины вогнутости, в торцевую полость заготовки вставлялся щуп, и далее в процессе протяжки замерялась длина его свободного конца (рисунок 4). По мере уменьшения длины свободного конца щупа определялась глубина зажима.



**Рисунок 2. Образование вогнутости (утяжины) на торцевой поверхности поковки**

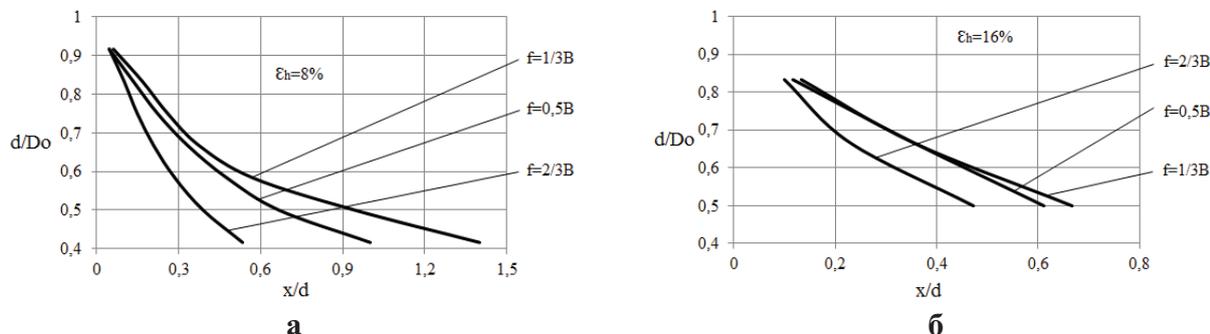


**Рисунок 3. Постадийное образование вогнутости торцевой поверхности заготовки в ходе протяжки**



**Рисунок 4. Замер глубины зажима торцевой поверхности заготовки щупом**

По результатам экспериментальных исследований были построены графики зависимости относительной глубины зажимов от величины обжатия и подачи (рисунок 5) при протяжке.



**Рисунок 5. График зависимости относительной глубины утяжины (зажима) от диаметра получаемого отверстия при различных режимах протяжки**

Анализ полученных данных позволил установить, что при протяжке цилиндрической заготовки плоскими бойками до диаметра, равного 0,4 от исходного (уков  $\approx 6$ ), с величиной относительного обжатия 8 % диаметра исходной заготовки и подачами, равными 1/3 от ши-

рины бойка, образуется зажим на торцевой части заготовки глубиной  $1,4$  ее диаметра (рисунок 5 а). Это объясняется тем, что при таких подачах и величинах обжатия происходит течение (деформирование) лишь периферийных слоев металла заготовки, при этом осевая зона остается непроработанной. При протяжке с подачей, равной  $1/2$  ширины бойка, до диаметра, равного  $0,4$  от начальной длина зажима, его длина равна  $1$  диаметру заготовки, а при протяжке с подачей, равной  $2/3$  ширины бойка, его длина уменьшается до  $0,53$  диаметра заготовки.

Уменьшение утяжины с увеличением подачи объясняется увеличением пятна контакта бойка и заготовки, что, в свою очередь, способствует проникновению очага деформации в глубь заготовки. Таким образом, кроме периферийных слоев заготовки, интенсивнее течь начинают и осевые слои, что способствует меньшему опережению периферийных слоев заготовки. Кроме того, на контакте заготовки и инструмента действуют значительные силы трения, сдерживающие интенсивное течение приконтактных слоев.

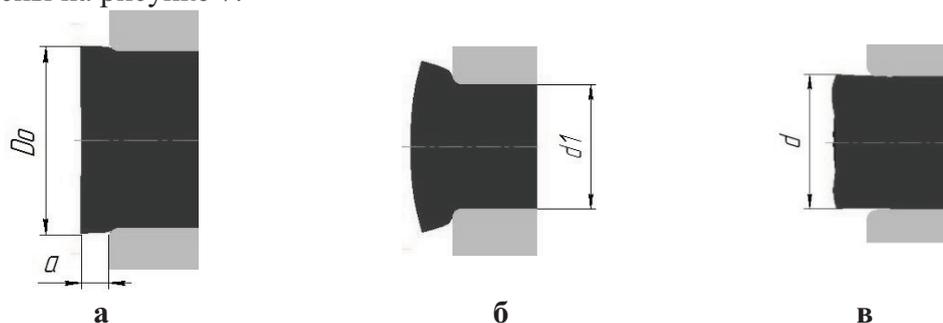
При протяжке цилиндрической заготовки плоскими бойками с величиной обжатия, равной  $16\%$  от диаметра исходной заготовки и подачами  $f = (1/3 \dots 2/3) \cdot B$  до диаметра, равного  $0,5$  исходного, наблюдается некоторое уменьшение глубины зажима в сравнении с протяжкой с обжатиями, равными  $8\%$  диаметра исходной заготовки. Это объясняется тем, что с увеличением обжатия очаг деформации проникает глубже в объем заготовки и ее центральные слои более интенсивно текут в осевом направлении.

Установлено, что при протяжке с подачами, равными  $1/3 \dots 1/2$  ширины бойка, глубина зажима заготовки при протяжке на диаметр  $0,5$  от исходного, составляет  $0,61 \dots 0,66$  конечного диаметра заготовки. С увеличением подачи до  $2/3$  ширины бойка глубина осевого зажима уменьшается до  $0,47$  конечного диаметра заготовки.

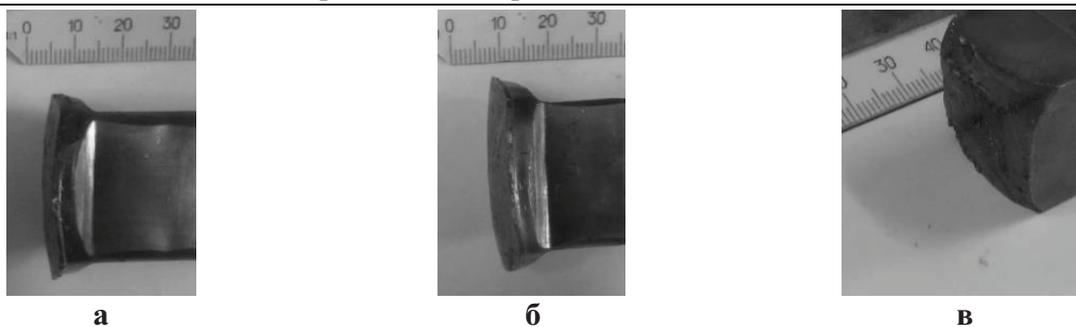
Таким образом, при протяжке по схеме круг-круг с фиксированной подачей и обжатием малой величины на торце заготовки будет образовываться утяжина, трансформирующаяся в дальнейшем при протяжке в зажим. Для уменьшения его относительной величины протяжку необходимо вести с максимально возможными обжатиями и максимальной подачей.

Для устранения дефекта утяжины, предложено осуществлять протяжку заготовки по специальному режиму. Данный режим протяжки заключается в профилировании исходной заготовки на первом этапе и доковка заготовки протяжкой на втором. Профилирование заключается в том, что короткую заготовку протягивают сначала в центральной ее части по длине таким образом, чтобы заготовка имела форму катушки. Экспериментально установлено, что профилирование должно осуществляться протяжкой с обжатиями, равными радиусу рабочей кромки бойка, при этом в заготовке должны остаться недеформированные концы длиной  $a$ , равной  $10-15\%$  диаметра заготовки ( $D_0$ ). На рисунке 6 представлены переходы протяжки цилиндрической заготовки с диаметра  $1000$  мм на диаметр  $600$  мм с обжатиями, не превышающими  $10\%$  от исходного диаметра заготовки.

В процессе такого профилирования заготовки по мере уменьшения диаметра ее внутренней части ( $d_1$ ), очаг деформации при обжатии будет ближе расположен к осевым слоям металла, что обусловит их интенсивное продольное течение. При этом торец заготовки становится выпуклым (рисунок 6 б). Экспериментальные переходы протяжки с профилированием представлены на рисунке 7.



**Рисунок 6. Протяжка короткой заготовки с промежуточным профилированием на катушку**



**Рисунок 7. Протяжка короткой заготовки с промежуточным профилированием на катушку**

Такая форма торцевой части заготовки, которую возможно получить в процессе осадки лишь специальными вогнутыми осадочными плитами, исключает возможность образования утяжины при последующей протяжке полученного фланца (рисунок 7 в) до необходимого конечного диаметра (рисунок 6 в). Кроме того, протяжка фланца на заготовке может производиться с повышенными обжатиями, что также усложнит образование утяжины.

#### **Выводы**

С использованием метода конечных элементов и физического моделирования установлено, что при протяжке заготовок по схеме круг-круг по стандартным заводским режимам на ее торцах образуется утяжина, которая в дальнейшем при ковке трансформируется в зажим.

Величина зажима зависит от механического режима протяжки, так, с увеличением относительного обжатия и подачи заготовки величина зажима существенно снижается. Таким образом, протяжку необходимо осуществлять с максимально возможными обжатиями и подачами.

Предложен способ протяжки, позволяющий получать поковки из коротких заготовок без торцевых зажимов, который заключается в предварительном профилировании короткой заготовки на катушку, формировании торцевых выпуклых фланцев и в дальнейшей ковке протяжкой фланцев по стандартным режимам.

#### **Литература**

1. Тюрин В.А. Инновационные технологииковки с применением макросдвигов / В.А. Тюрин // Кузнечно-штамповочное производство, 2007, №11 – С. 15-20.
2. Жбанков Я.Г. Исследование процесса протяжки заготовок бойками со скосом / Я.Г. Жбанков, В.И. Шимко, Л.В. Таган, А.В. Шкира // Кузнечно-штамповочное производство, №1, 2013 – С. 13-18
3. Марков О.Е. Изменение размеров осевых дефектов при осадке заготовок / О.Е. Марков // Обработка металлов давлением: Сборник научных трудов – Краматорск: ДГМА, №4(29), 2011 – С. 103-110.
4. Марков О.Е. Прогрессивная схема протяжки крупных валов из укороченных слитков / О.Е. Марков // Обработка металлов давлением: Сборник научных трудов – Краматорск: ДГМА, №1(30), 2012 – С. 118-122.
5. Zhbakov I. G. Forging of Ingots Without Hot Tops / I. G. Zhbakov, A. V. Perig // Materials and Manufacturing Processes (Thomson Reuters 2011 Impact Factor: 1.058). – 2013. – Vol. 28. – Iss. 3. – pp. 229-235.
6. Дзугутов М.Я. Пластическая деформация высоколегированных сталей и сплавов / М.Я. Дзугутов // М. Металлургия, 1977, 480 с.
7. Биба Н.В., Стебунов С.А. Разработка и совершенствование технологииковки и штамповки с помощью QForm3D // Кузнечно-штамповочное производство: Перспективы и развитие (сб. научных трудов), Екатеринбург: ГОУ ВПО «УГТУ-УПИ», 2005, 884 с., ISBN 5-321-00-172-3.
8. Технологияковки : учебник для вузов / Л.Н. Соколов, И.С. Алиев. О.Е. Марков, Л.И. Алиева. Краматорск : ДГМА, 2011. - 268 с.