

УДК 621.771

## КУЗНЕЧНАЯ ПРОТЯЖКА ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗАГОТОВОК

Андреященко В.А.

*Карагандинский государственный технический университет, Караганда, e-mail: Vi-ta.z@mail.ru*

В данной работе изучен процесс кузнечной протяжки цилиндрических заготовок под плоскими, комбинированными бойками и бойками новой конструкции. Исследование проведено при помощи современного программного комплекса DEFORM-3D. Было изучено напряженно-деформированное состояние заготовок, подвергнутых кузнечной протяжке, за одно обжатие. Показано, что распределение гидростатического давления при деформировании цилиндрических заготовок под плоскими и комбинированными бойками носит гетерогенный характер. Использование бойков новой конструкции способствует формированию однородного напряженно-деформированного состояния, позволяет полностью исключить растягивающие напряжения в центральных слоях заготовки. Разбег значений интенсивности деформаций уменьшился на 15% по сравнению с комбинированными бойками.

**Ключевые слова:** кузнечная протяжка, цилиндрические заготовки, DEFORM-3D, напряженно-деформированное состояние

## FULLERING OF CYLINDRICAL SAMPLES

Andreyachshenko V.A.

*Karaganda state technical university, Karaganda, e-mail: Vi-ta.z@mail.ru*

The fullering of cylindrical samples by flat, combined dies and dies of a new design studied in the work. Research has been developed using DEFORM-3D software. The strain-stress state of sample during fullering with one rate. Hydrostatic pressure distribution during the deformation of cylindrical samples with use flat and combined dies is heterogeneous in nature. Use new dies promotes uniform of strain-stress state. This completely eliminates the tensile stresses in the central areas of sample. Span values of strain effective decreased by 15% compared with the combined dies.

**Keywords:** fullering, cylindrical samples, DEFORM-3D, strain-stress state

В последние годы интенсивно разрабатываются технологии обработки, основанные на методе интенсивной пластической деформации (ИПД). Методы интенсивной пластической деформации эффективны для измельчения микроструктуры различных материалов, что приводит к значимому улучшению прочностных характеристик при достаточном уровне пластических [1, 2]. При этом перед исследователями стоит важная задача повышения качества получаемых заготовок при минимальных материальных и энергетических затратах. Повышение механических свойств заготовок при улучшении структуры металла обуславливает высокую технологичность ее последующей переработки, что снижает издержки, себестоимость и повышает спрос на данный вид продукции у производителей, тем самым обеспечивается более высокая конкурентоспособность в условиях рыночной экономики. Повышение комплекса механических свойств заготовок при снижении его себестоимости в условиях массового производства позволяет создавать новую высокотехнологичную продукцию, в том числе, используемую при создании различных новых видов металлоизделий. В работе [3] на основании многочисленных работ отечественных и зарубежных исследователей вы-

полнен анализ факторов, влияющих на параметрыковки крупных поковок. Выявлено, что на качество поковки оказывает большое влияние напряженно-деформированное состояние (НДС). Все факторы, влияющие на НДС заготовки в процессековки можно разделить на три группы: фактор формы, в который входит форма инструмента и заготовки, кинематический фактор и температурный фактор. При деформировании металла с целью измельчения структурных составляющих большое влияние имеет макросдвиговая деформация. Положительная роль макросдвигов в деформационной проработке структуры заключается в появлении микролиний скольжения (микросдвигов) в большом количестве зерен с различной кристаллографической ориентировкой, для которых границы зерен не являются препятствием. Подобные изменения микроструктуры металла способствуют измельчению зерен и положительно влияют на уровень механических свойств и могут быть достигнуты путем использования новых схемковки, обеспечивающих высокий уровень сдвиговых деформаций в заготовке [4, 5]. В настоящее время идет активная разработка инновационных способовковки, которые позволяют интенсифицировать проработку внутренних слоев слитка при незначитель-

ных коэффициентах общего уклона, при этом основные из них связаны с реализацией макросдвигов материала заготовки [6–8]. В работе [5] макросдвиги формируются за счет изменения формы очага деформации при протяжки в вырезных комбинированных бойках несимметричной формы. Авторы работы [9] используют ступенчатые бойки для лучшей проработки осевой зоны заготовки и снижения количества проходов ковки. Согласно работе [10] повышение уровня и равномерности механических свойств поковки за счет дополнительной проработки металла закручиванием, а также повышение производительностиковки за счет достижения требуемых механических свойств при меньших уклонах достигается использованием инструмента для протяжки заготовок с закручиванием. Также известен [11] инструмент для протяжки, содержащий верхний и нижний бойки с цилиндрическими рабочими поверхностями для создания оптимальной технологииковки и развития благоприятной картины НДС в заготовке. Кроме того, для получения высококачественных заготовок используют всестороннюю ковку [12] или ковку металла при двукратном ходе пуансонов в противоположных направлениях [13–14].

Другим вариантом повышения проработки структуры является ковка нецилиндрических заготовок, например трухлучевой или многолучевой формы [15–16].

Проект направлен на решение проблемы повышения качества заготовок, получаемых кузнечной протяжкой за счет реализации интенсивной пластической деформации и управления структурообразованием и формированием свойств деформируемых металлов.

В результате проведения исследований планируется путем разработки нового устройства, реализующего интенсивную пластическую деформацию, и технологии деформирования в нем добиться высокого качества обрабатываемых металлов, обеспечив при этом высокие механические характеристики.

### Материалы и методы исследования

Исследование кузнечной протяжки цилиндрических заготовок осуществлялось методом конечных элементов в среде программного комплекса DEFORM 3D, позволяющего конструировать трехмерные модели, имеющие свойства объектов, моделирование которых производится.

Для создания моделей заготовки и оснастки, использовалась система автоматизированного проектирования КОМПАС 3D. Создание моделей осу-

ществлялось с учетом геометрического подобия с масштабным фактором = 1. После построения, модели импортировались в программный комплекс DEFORM 3D.

Одним из основных параметров, характеризующих точность расчета, является конечно-элементная сетка. Деформируемое тело в модели было определено сеткой тетрагональных конечных элементов, распределенных в объеме заготовки. Общее количество конечных элементов выбрано равным 30000, что позволяет производить расчет с достаточной точностью. Оснастка в модели имеет свойства абсолютно жесткого тела. Механическое поведение деформируемого тела при деформировании описано моделью пластического поведения. Материал оснастки и заготовки задается выбором из базы данных программы. Для оснастки использована инструментальная сталь. В качестве модельного материала использована конструкционная сталь марки 35. Моделирование осуществлялось с учетом теплообмена (теплопередачи) между заготовкой, оснасткой и окружающей средой при нормальных условиях (температура окружающей среды принимается равной 20 °С). Для инструмента выбрана комнатная температура. Температура заготовки задавалась в соответствии с ковочным интервалом и выбрана равной 900 °С.

Условия трения на поверхности контакта во многом определяют процесс протекания деформирования, и соответственно, силовые параметры и напряженно-деформированное состояние в очаге деформации. В данной работе коэффициент трения выбран равным 0,3 на основании ранее проведенных исследований [66].

После задания всех условий процесса деформирования устанавливается общее количество шагов расчета с соотношением шага ко времени или перемещению, после чего модель задается на расчет.

В данной работе было исследована кузнечная протяжка цилиндрических заготовок под плоскими бойками, комбинированными бойками (верхний боек плоский, нижний вырезной), а также в инструменте, имеющим подвижную рабочую поверхность для оптимизации напряженно-деформированного состояния. При исследовании принято допущение, что длина заготовки равна ширине бойков, жесткие концы не рассматривались. Был рассмотрен единичный ход инструмента, размеры заготовки  $\varnothing 20 \times 60$  мм.

### Результаты исследования и их обсуждение

Специфической особенностьюковки цилиндрических заготовок является напряженно-деформированное состояние в процессе деформирования. При ковке цилиндрических заготовок весьма опасным является интенсификация напряжений в центральной части заготовки. Как правило, линии действия максимальных скалывающих напряжений расположены в форме креста под углом 90° друг к другу и 45° к оси приложения нагрузки. Появление ковочного креста может вызвать разрыхление и растрескивание заготовки в центральной части. Помимо этого, при кузнечной протяжке цилиндрических заготовок в попе-

речном сечении возникает большой градиент напряжений и деформаций.

Далее в работе сравнили напряженно-деформированное состояние при кузнечной протяжке цилиндрических заготовок под плоскими и комбинированными бойками (верхний боек плоский, нижний вырезной). Для вырезного бойка использован угол выреза равный  $120^\circ$ .

С целью подробного анализа в заготовках было выделено 6 точек, расположенных на равном расстоянии друг от друга в поперечном (вертикальном) сечении заготовки. Точки размещены в центральной относительно длины заготовки плоскости. Точка 1 располагалась вблизи верхней поверхности заготовки, точка 6 вблизи нижней, точки 3 и 4 в центре заготовки.

На рис. 1 показано среднее гидростатическое давление, т.е. средние напряжения, действующие в выбранных точках. Данные

графиков показывают существенный разбег как дляковки под плоскими бойками, так и дляковки под комбинированными бойками. Уже в начальный момент времени наблюдается существенная гетерогенность напряженного состояния. Условия, в которых находятся периферийные слои металла принципиально отличаются от условий для центральных слоев, отсюда следует неравномерность проработки металла по сечению образца, различная вытяжка слоев заготовки от центра к периферии. В определенный момент времени (8–15 сек. на графике) при ковке под плоскими бойками наблюдается рост гидростатического давления с отрицательного ближе к нулю. Такой характер кривых вызван увеличением значений растягивающих максимальных нормальных напряжений. Причем особенно сильно это выражено для периферийных слоев металла.

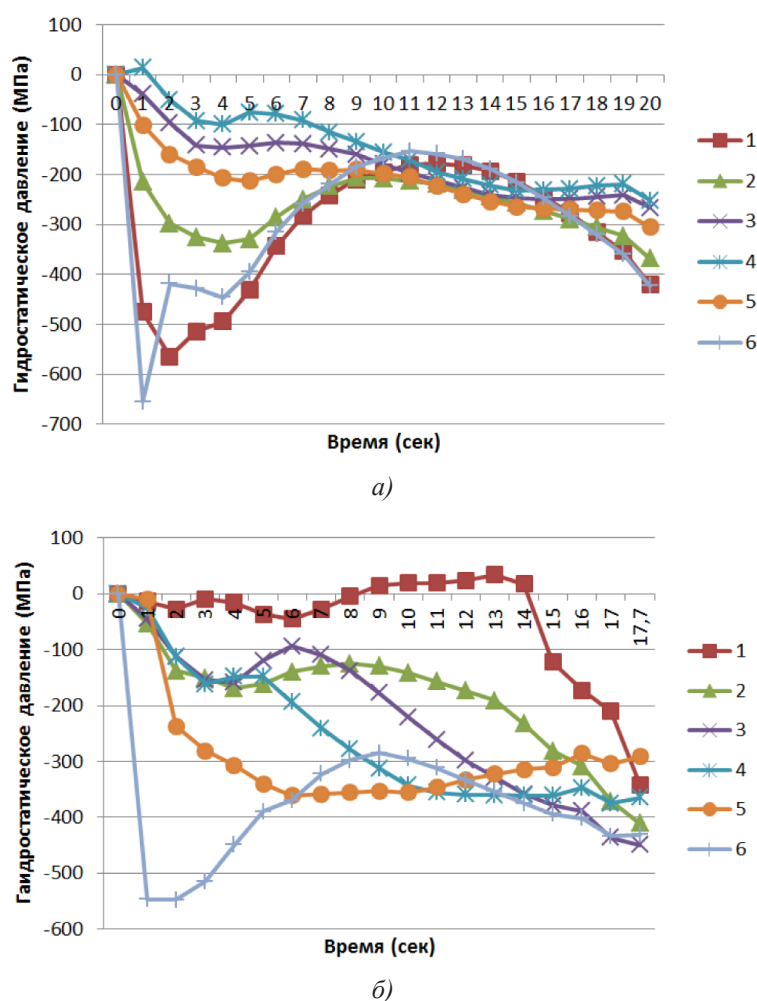


Рис. 1. Гидростатическое давление при деформировании цилиндрических заготовок под плоскими (а) и комбинированными (б) бойками

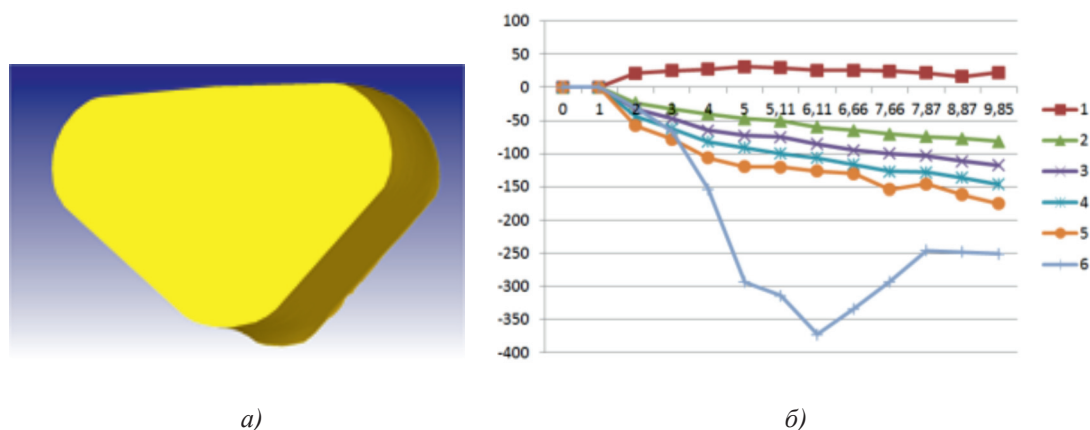


Рис. 2. Заготовка после окончания обжима в бойках новой конструкции (а) и соответствующее гидростатическое давление (б)

Аналогичные изменения характерны также для заготовки, деформируемой в комбинированных бойках. При этом для точки 1 среднее напряжение переходит в область растягивающих напряжений, что является неблагоприятным. Это связано с формированием конуса и смещением слоев металла в вырез бойков. Форма кривых для точек, расположенных ближе к плоскому бойку повторяет форму кривых при ковке под плоскими бойками, однако значения напряжений в этом случае имеют меньшие абсолютные значения. Заметно резкое влияние растягивающих напряжений для точки 3 (рис. 1, б) при деформировании на 5% от исходного диаметра заготовки. Градиент напряжений высок для обоих случаев.

Следствием этого является также высокий градиент интенсивности деформаций для обоих случаев. Для деформирования под плоскими бойками градиент интенсивности деформаций составляет 0,5. При этом характер расположения кривых относительно друг друга меняется на зеркальный в области деформирования на 5% от исходного диаметра заготовки. Использование одного из бойков вырезной формы способствует более равномерному расположению кривых интенсивности деформаций, однако при этом градиент составляет 0,68, при этом траектории для точек 1 и 2 сливаются в одну линию.

Для решения проблемы гетерогенности напряженно-деформированного состояния решено заменить один из бойков (плоский) на боек с подвижными составными частями. При этом боек выполнен таким образом, что в начальный момент времени угол развала составных частей бойка равен углу

вырезного бойка, по мере осуществления движения бойков в направлении друг к другу угол составного бойка плавно увеличивается и к окончанию движения становится равным  $180^\circ$ , т.е. его форма становится аналогичной форме плоского бойка. На рис. 2 представлена форма заготовки после окончания обжима в бойках новой конструкции и соответствующее гидростатическое давление по рассматриваемым характерным 6 точкам.

Использование новой конструкции бойков обеспечивает создание макросдвигов в объеме заготовки. Кроме того, область возникновения максимальных напряжений постоянно меняется в процессе обжима за счет изменения угла составного бойка, что исключит появление зон, испытывающих скалывающих растягивающих напряжений. Учитывая, что один из бойков является вырезным, то точка 1 также как и при деформировании под комбинированными бойками, находится под действием растягивающего гидростатического давления, однако его численные значения являются минимальными и не превышают 30 МПа. Интенсивность напряжений является более гомогенной, по сравнению с двумя рассмотренными выше конфигурациями деформирующих бойков. Более интенсивно прорабатывается зона заготовки, расположенная ближе к составному бойку. Использование бойков новой конструкции позволило полностью исключить растягивающие напряжения в центральных слоях заготовки. Областью, испытывающей растягивающие напряжения, осталась лишь область, смещаемая в угол вырезного бойка. Разбег значений интенсивности дефор-



маций уменьшился на 15% по сравнению с обычными комбинированными бойками. Максимальная склонность к разрушению для рассматриваемого сечения составила 0,07, что фактически полностью исключает разрыхление заготовки при деформировании.

### Выводы

В работе рассмотрен процесс кузнечной протяжки при использовании плоских, комбинированных и новых бойков. Показано, что при деформировании под первыми двумя конструкциями бойков наблюдается существенная гетерогенность как напряженного, так и деформированного состояний. Выявлено, что использование новой конструкции бойков эффективно снижает неоднородность напряженно-деформированного состояния с исключением образования растягивающих напряжений в центральных слоях обрабатываемой заготовки.

### Список литературы

1. Цито А., Гуишл Ж., Винатьер С., Лэйлор П., Нгуен Т.П., Пиле П., Дакулси Г. Биологическое влияние *In vitro* шероховатости поверхности титана, полученной травлением фосфатом кальция. *Биоматериалов*, Январь 2005, т. 26, р. 2, С. 157–165. ISSN 0142-9612.
2. Джармар Т., Палмкист А., Брэйнемарт Р., Германсон Л., Энгвист Х., Томсен П. Характеристики поверхностных свойств коммерчески применяемых зубных имплантантов с использованием сканирующей электронной микроскопии, сфокусированным ионным пучком и высоко-разрешающего просвечивающего электронного микроскопа. *Клиника зубных имплантантов и их исследования*, Март 2008, т. 10, р. 1, С. 11–22. ISSN 1708-8208.
3. Алиев И.С., Жбанков Я.Г., Периг А.В. Факторы, влияющие на параметрыковки крупных поковок // *Вестник ПНИПУ «Машиностроение, материаловедение»*. Том 15 – № 1. – С. 27–44.

4. Тюрин В.А. Механизм пластического деформирования с макросдвигами // *Известия вузов. Черная металлургия*, 1998. – № 12 – С. 36–39.
5. Алиев И.С., Жбанков Я.Г., Периг А.В. Моделирование кузнечной протяжки в комбинированных бойках несимметричной формы. *Вестник НТУУ «КПИ»*. Серия машиностроение. – 2013. – № 3 (69). – С. 77–83.
6. Тюрин В.А. Инновационные технологииковки с применением макросдвигов // *Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением*. – 2007. – № 11. – С. 15–20.
7. Марков О. Новые технологические процессы свободнойковки // *Новые технологии и достижения в металлургии и материаловедении*. – Ченстохова: Quick-druk, Польша. – 2012. – С. 414–418.
8. Кухарь В.В., Василевский О.В. Экспериментальные исследования режимов кузнечной протяжки заготовок с обкаткой в комбинированных бойках. *Вестник НТУ «ХПИ»*. – 2013. – № 43 (1016). – С. 27–44; С. 139–148.
9. Алиева Л.И., Жбанков Я.Г., Станков В.Ю. Ковка поковок типа валов с продольным сдвигом специальными бойками // *Вестник НТУ «ХПИ»*. – 2013. – № 43 (1016). – С. 27–44; С. 3–10.
10. Петунин А.Ю., Поддубный К.В., Скащенков А.В. Устройство для протяжки заготовок с закручиванием. Патент SU 1593773. Оpubл. 23.09.90, Бюл. 35 (72).
11. Машеков С.А., Нуртазаев А.Е., Бижаева Н.Т., Удербаяева А.Е. Численное моделирование методом конечных элементов НДС заготовки при протяжке в инструменте с цилиндрической рабочей формой // *Вестник КазНТУ № 4 (74)*, 2009.
12. Машеков С.А., Нуртазаев А.Е., Удербаяева А.Е. Численное моделирование методом конечных элементов // *Вестник КазНТУ № 1 (77)*, 2010.
13. Машеков С.А., Нуртазаев А.Е., Удербаяева А.Е. Численное моделирование методом конечных элементов НДС заготовки при деформировании в специальном устройстве (сообщение 2) // *Вестник КазНТУ № 2 (78)*, 2010.
14. Машеков С.А., Нуртазаев А.Е., Удербаяева А.Е., Машекова А.С. Численное моделирование методом конечных элементов НДС заготовки при деформировании в специальном устройстве (сообщение 3) // *Вестник КазНТУ № 4 (80)*, 2010.
15. Каргин С.Б. Инновационные технологииковки крупных поковок // *Вестник национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт»* Серия Машиностроение. – № 60. – С. 165–168.
16. Каргин С.Б. Инновационные технологииковки крупных поковок // *Обработка материалов давлением*. – 2012. – № 2 (31). – С. 101–106.