

УДК 621.73

Каргин С. Б.
Марков О. Е.
Кухарь В. В.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ СЛИТКА ПРИ КОВКЕ НА ТРЕХЛЕПЕСТКОВУЮ ЗАГОТОВКУ

В общей номенклатуре поковок, изготавливаемых ковкой на прессах, большая доля приходится на поковки валов. Для нужд машиностроения выпускаются валы различные как по геометрии – гладкие, с уступами, с фланцами и т. д., так и по назначению – валы турбогенераторов и прокатные валки, дизельные и судовые валы, колонны ковочных прессов [1].

В турбинных установках ротор работает в высокотемпературных условиях и испытывает большие напряжения от центробежных сил и крутящих моментов. Скорость вращения роторов достигает до 3000 об/мин [2]. Прокатные валки эксплуатируются в условиях одно-временного действия остаточных и контактных напряжений, изгибающих и тепловых нагрузок, крутящего момента [3] и др. Колонны прессов работают на растяжение и изгиб [4].

В зависимости от назначения изделия, к ним предъявляют различные требования, обусловленные условиями их эксплуатации. Исходной заготовкой дляковки крупных валков является кузнечный слиток, т.е. заготовка – объект деформирования с присущими ему дефектами внутреннего строения, в виде усадочных раковин, рыхлости, несплошностей и неметаллических включений. Поэтому перед кузнечным производством стоит сложная и актуальная задача получения поковок с гарантированными эксплуатационными характеристиками.

Традиционные процессыковки, решающие задачи раздробления литой структуры, придания формы, повышения механических свойств, не всегда способны при ковке крупных слитков обеспечить устранение дефектов и необходимый уровень качества поковок по всему сечению.

В связи с этим одной из важнейших задач, стоящих перед кузнечным производством, является разработка и исследование процессовковки, обеспечивающих при небольших уклонах при протяжке формирование заданной структуры металла по сечению поковок. Решения этой задачи особенно важно в отношенииковки крупных поковок ответственного назначения.

Как отмечает Л. Н. Соколов [5]: «основными направлениями обеспечения технологической эффективности процессовковки следует считать рационализацию формы слитка, направленную на достижение необходимой величины деформаций, при минимальном количестве операций и проектирование режимов обжатий, обеспечивающих минимум затрат энергии».

В Московском институте стали и сплавов разработаны инновационные технологииковки крупных поковок, в основе которых лежит явление интенсивных макросдвиговых деформаций в направлении обжатия при ковке литого трехлепесткового слитка [6, 7]. Однако, по нашему мнению, изготовление литого трехлепесткового слитка не всегда экономически целесообразно, т. к. связано с изготовлением специальных изложниц сложной конфигурации.

В настоящее время большое внимание уделяется разработке кузнечного инструмента с целью оптимизации процессаковки. Анализ условий деформационной проработки металла показал, что чем больше число плоскостей максимального сдвига удается получить при обжатии, чем больше их протяженность, тем при меньшей деформации наступает разрушение литой структуры.

Дляковки крупных поковок наибольшее значение приобретают бойки, обжатие которыми способствует повышению направленной турбулентности течения металла по всему сечению, что позволяет при небольших степенях деформации локализовать деформацию во внутренних слоях заготовки. Одним из вариантов регулирования течения металла является

применение бойков с профильной выпуклой рабочей поверхностью. Авторами разработана конструкция таких бойков [8], при обжатии которыми обычного кузнечного слитка можно получить трехлепестковую заготовку (рис. 1).

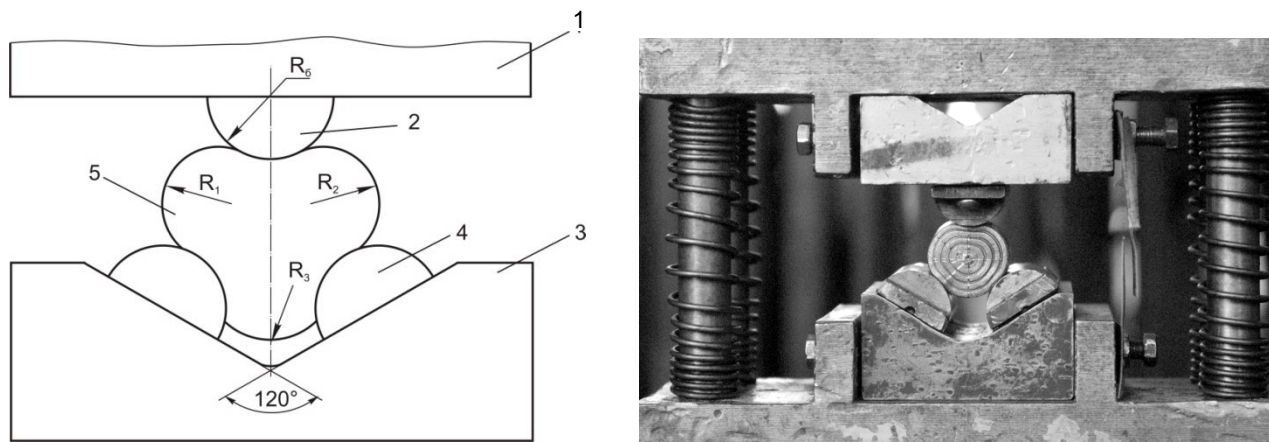


Рис. 1. Обжатие заготовки комбинированными профилированными бойками:

1 – боек верхний плоский; 2 – вставка выпуклая верхняя; 3 – боек вырезной нижний; 4 – две выпуклые вставки; 5 – заготовка

Целью работы является анализ напряженно-деформированного состояния круглой поковки при обжатии комбинированными профилированными бойками, выполненный методом конечных элементов с помощью программы QForm (лицензия ДГМА № u1221).

Угол выреза бойков принимался равным $\alpha = 120^\circ$. Отношение диаметра инструмента ($D_{инстр}$) к диаметру заготовки ($D_{заг}$) составило $D_{инстр}/D_{заг} = 0,6; 0,8; 1,0$. Величина деформации задавалась равной 7 %; 14 %; 21 %.

В табл. 1 представлены изменения интенсивности деформаций в зависимости от изменения профиля отжатой заготовки и соотношения $D_{инстр}/D_{заг}$.

Протяжка на трехлучевую заготовку при $D_{инстр}/D_{заг} = 0,6$.

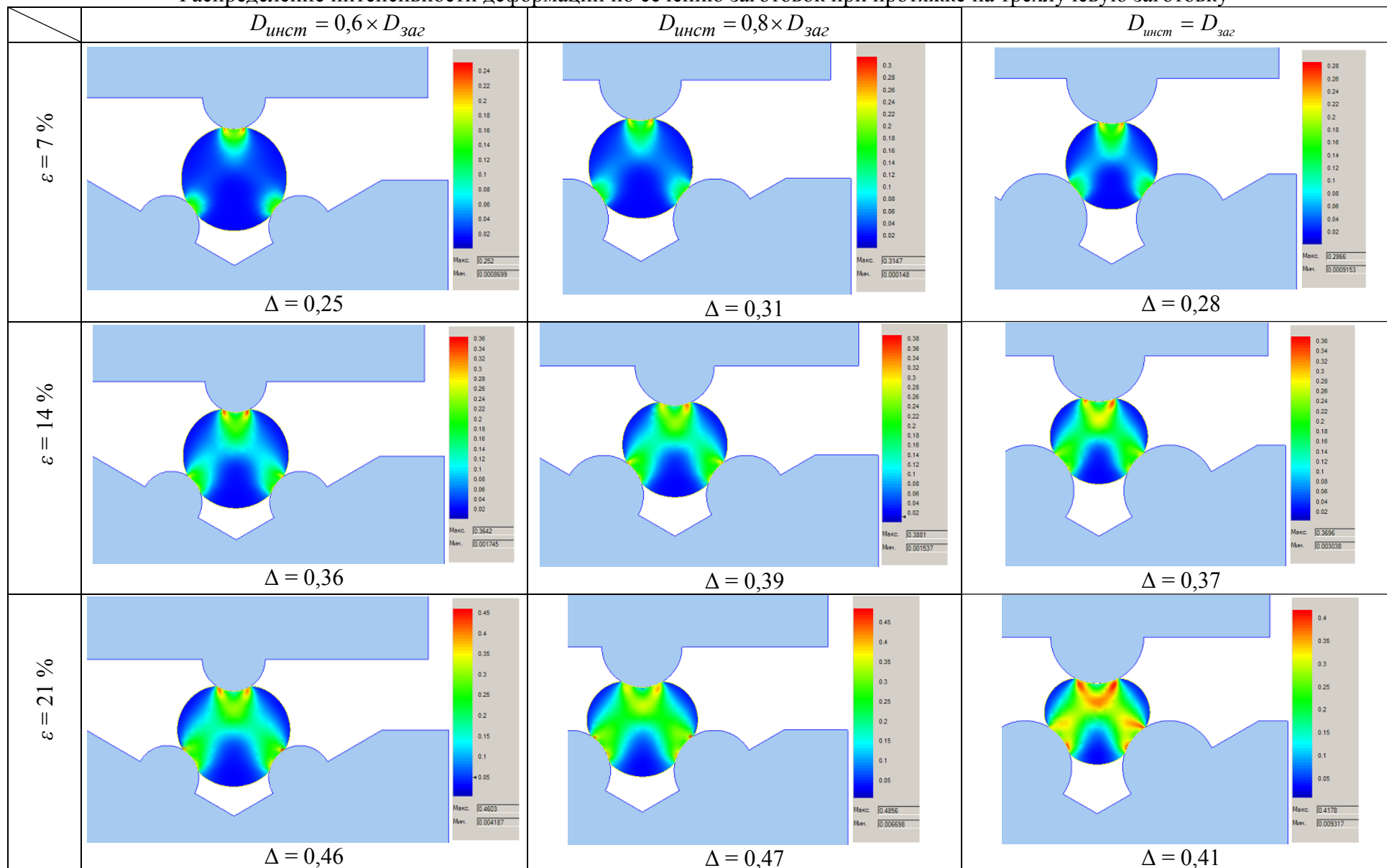
При протяжке профилированными комбинированными бойками, очаг деформации концентрируется на контакте верхнего бойка с заготовкой и распространяется вглубь слитка, при этом очаги деформации образуются и на нижних выпуклостях, вследствие контакта заготовки с выступами и выдавливания металла в пространство между выпуклостями. Максимальные логарифмические деформации концентрируются в верхней части и составляют в среднем $e = 0,18$, в нижней же части они меньше и не превышают $e = 0,14$. При степени деформации 14 %, очаги деформации по-прежнему выше под верхним выступом, вследствие его большого внедрения в слиток и находятся в диапазоне $e = 0,22-0,3$. В центре слитка наблюдается равномерная незначительная проработка ($e = 0,12$). Периферийные свободные зоны не прорабатываются. Очаг деформации составляет около 45–55 %. При дальнейшем приложении нагрузки рост очага деформации происходит не так интенсивно, растут только накопленные деформации, в среднем они составляют $e = 0,25$. Максимальные логарифмические деформации составляют $e = 0,46$ и сконцентрированы под верхним выступом бойка. Периферийные свободные зоны также не деформируются и составляют 45–55 % от площади поперечного сечения заготовки. Неравномерность распределения деформации по сечению заготовки увеличивается с ростом степени обжатия заготовки.

Протяжка на трехлучевую заготовку при $D_{инстр}/D_{заг} = 0,8$

Увеличение радиуса выступов на бойках ведет к большему контакту заготовки и инструмента при приложении нагрузок.

Таблица 1

Распределение интенсивности деформаций по сечению заготовок при протяжке на трехлучевую заготовку



При этом увеличиваются логарифмические деформации по сравнению с предыдущей схемой $e_{\max} = 0,3$, что способствует лучшей проработке осевой зоны. Однако центральная зона интенсивно прорабатывается выше оси заготовки под вдавливанием выпуклости верхнего бойка. Ниже оси заготовки логарифмические деформации резко снижаются до практически нижней отметки, это объясняется тем, что металл вдавливается в полость нижнего бойка между двух симметрично расположенных выступов и при этом не подпирается, т.е. не деформируется. Такая же ситуация и с боковыми периферийными зонами заготовки. По сравнению с предыдущей схемой деформации увеличивается площадь, где возникает очаг деформации и составляет примерно 55–65 % от сечения заготовки при степени обжатия $\varepsilon = 21$ %. Неравномерность распределения деформаций так же увеличивается с ростом степени обжатия заготовки, однако эта неравномерность выше, чем для случая протяжки трехлучевой заготовки с $D_{\text{инстр}}/D_{\text{заг}} = 0,6$.

Протяжка на трехлучевую заготовку при $D_{\text{инстр}}/D_{\text{заг}} = 1,0$.

Для схемы протяжки с равенством диаметров инструмента и заготовки характерно распространение очага деформаций к оси слитка с ярко выраженной областью, которая характеризуется равномерностью деформаций по всей плоскости проработанной зоны ($e = 0,25$). Отличительной особенностью этой протяжки является более развитый по площади поперечного сечения очаг деформации, который при обжатии $\varepsilon = 21$ % составляет около 75–80 %. При этом неравномерность распределения деформаций ниже, чем для относительных радиусов бойков 0,6 и 0,8 и составляет $\Delta = 0,41$. Максимальные деформации в данном случае проникают вглубь заготовки. Следовательно, в данном случае неравномерность деформации меньше, чем для других трехлучевых заготовок с меньшими радиусами бойков. Как и в предыдущих схемах, две боковые и нижняя зоны остаются малодеформированными.

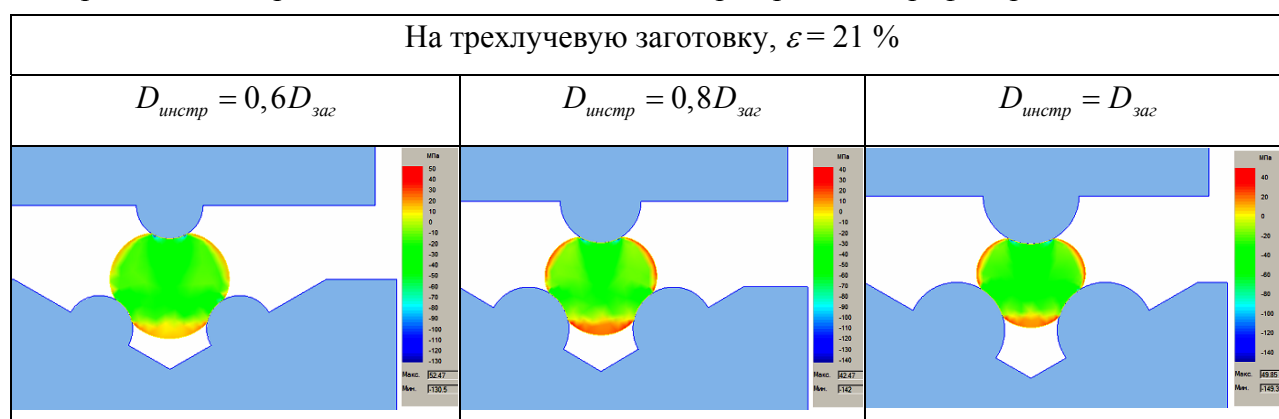
Можно сделать вывод, что для этих трех схем протяжки трехлучевых заготовок увеличение равномерности распределения деформации и возрастание площади очага деформации обеспечивается при больших радиусах цилиндрических бойков, близких к радиусу заготовки.

Влияние формы профилированных бойков на распределение напряжений

В табл. 2 представлены изменения напряжений в заготовке. Возникающие в процессе протяжки профилированными бойками внутренние и поверхностные напряжения могут привести как к дефектообразованию в заготовке, так и завариванию внутренних дефектов. Это зависит от уровня этих напряжений и их знака. Ниже рассмотрено напряженное состояние при деформировании цилиндрической заготовки выпуклыми цилиндрическими бойками. В заготовке возникают как сжимающие, так и растягивающие напряжения. Опасными являются вторые, так как именно они приводят к трещинообразованию. Сравнивая предел прочности для данного материала и максимальные растягивающие напряжения можно судить о возможных разрушениях при протяжке профилированными бойками.

Таблица 2

Распределение напряжений по сечению заготовок при протяжке профилированными бойками



В центре сжимающие напряжения составляют 35–40 МПа, что улучшает заваривание дефектов. При данной схеме протяжки получается три свободные поверхности, на которых возникают растягивающие напряжения. Для трех соотношений $D_{инстр}/D_{заг}$ растягивающие напряжения в основном концентрируются на свободной нижней поверхности, что объясняется интенсивным выдавливанием металла в полость нижнего бойка. Максимальный показатель просматривается при $D_{инстр}/D_{заг} = 0,6$ из-за увеличения при данной схеме полости между выступами.

ВЫВОДЫ

Анализом напряженно-деформированного состояния, выполненного методом конечных элементов, установлено, что ковка слитков на трехлепестковую заготовку позволяет достаточно интенсивно проработать дефектную осевую зону поковки.

Показано, что кованные трехлепестковые заготовки для изготовления валов более предпочтительны, чем литые как с экономической (не нужны специальные изложницы), так и с технической стороны (происходит достаточная предварительная проковка металла).

Установлено, что конфигурация профиля бойков оказывает влияние на напряженно-деформированное состояние заготовки. Рекомендуется применять $D_{инстр}/D_{заг} = 1,0$, а степень обжатия $\varepsilon = 21\%$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гончаров М. А. Ковка крупных поковок / М. А. Гончаров. – М. : Машигиз, 1945. – 320 с.
2. Лебедев В. Н. Крупные поковки для валов турбогенераторов / В. Н. Лебедев, В. М. Коровина, П. И. Варакин. – М. : Машиностроение, 1968. – 120 с.
3. Надежность и долговечность валков холодной прокатки / П. И. Полухин [и др.]. – М. : Металлургия, 1976. – 448 с.
4. Залесский В. И. Оборудование кузнечно-прессовых цехов / В. И. Залесский. – М. : Высшая школа, 1973. – 632 с.
5. Соколов Л. Н. Состояние и развитие технологииковки крупных поковок / Л. Н. Соколов // Кузнечно-штамповочное производство. – 1985. – № 8. – С. 21–23.
6. Тюрин В. А. инновационные технологииковки с применением макросдвигов / В. А. Тюрин // Кузнечно-штамповочное производство. – 2007. – № 11. – С. 15–20.
7. Тюрин В. А. инновационные технологииковки / В. А. Тюрин // Кузнечно-штамповочное производство. – 2006. – № 5. – С. 27–29.
8. Пат. 50412 Україна, В21J 5/00. Пристрій для протяжки поковок / Б. С. Каргін, С. Б. Каргін, А. В. Титаренко, Р. І. Тихоненко, Н. В. Семенова; заявник і патентовласник ПДТУ. – № u20091274; заявл. 13.11.2009; опубл. 10.06.2010, Бюл. № 11.
9. Пат. 52289 Україна, В21J 5/00. Пристрій для ковальської протяжки / Б. С. Каргін, С. Б. Каргін, В. В. Кухар, Р. І. Тихоненко; заявник і патентовласник ПДТУ. – № 201000628; заявл. 22.01.2010; опубл. 25.08.2010, Бюл. №16. – 2 с.

Каргін С. Б. – аспірант ПГТУ;

Марков О. Е. – канд. техн. наук, доц. кафедри ОМД ДГМА;

Кухарь В. В. – канд. техн. наук, доц. ПГТУ.

ПГТУ – Мариупольский государственный технический университет, г. Мариуполь.

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск.

E-mail: mail@edu.mgp.ua