

ЗАКРЫТИЕ ОСЕВЫХ ДЕФЕКТОВ ПРИ ОСАДКЕ ЗАГОТОВОК С ВОГНУТЫМ ПОПЕРЕЧНЫМ СЕЧЕНИЕМ

Марков О. Е.

Исследован новый процесс осадки профилированных заготовок. Разработан новый способ повышения качества осевой зоны крупных поковок. Способ заключается в осадке слитков, которые предварительно профилированы на четырехлучевую заготовку выпуклыми клиновыми бойками. Методом конечных элементов исследовано влияние угла клина бойков и степени обжатия при профилировании на закрытие осевых дефектов при осадке и напряженно-деформированное состояние заготовки. Установлены рациональные геометрические параметры четырехлучевых заготовок, которые способствуют максимальному закрытию осевых дефектов слитка. При уменьшении угла вогнутости граней повышается уровень сжимающих напряжений в осевой зоне. Интенсивное закрытие осевых дефектов в процессе осадки обеспечивают четырехлучевые заготовки с углом вогнутостей граней $140...160^\circ$ и их глубиной 15 %.

Досліджено новий процес осадження профільованих заготовок. Розроблено новий спосіб підвищення якості осьової зони крупних поковок. Спосіб полягає в осадженні злитків, які попередньо профільовані на чотирьохпроменеву заготовку опуклими клиновими бойками. Методом скінчених елементів досліджено вплив кута клина бойків та ступеня обтиснення при профілюванні на закриття осьових дефектів при осадженні і напружено-деформований стан заготівки. Встановлено раціональні геометричні параметри чотирьохпроменевих заготівок, які сприяють максимальному закриттю осьових дефектів зливка. Зменшення кута увігнутості граней підвищує рівень стискаючих напружень в осьовій зоні. Інтенсивне закриття осьових дефектів у процесі осадження забезпечують чотирьохпроменеві заготівки з кутом увігнутостей граней $140 \dots 160^\circ$ і їх глибиною 15 %.

A new process of shaped workpieces upsetting had been investigated. The new method for a quality increasing of heavy-forgings axial zone had been developed. This method consists in upsetting of ingots which was pre-profiled on four-beam workpiece by convex wedge dies. On based of finite element method an influence of dies wedge angel and a degree of reduction during profiling on a closure of axial defects at upsetting and stress-strain state of workpiece were investigated. The rational geometrical parameters of the four-beam workpieces were established. These parameters promote to maximal closure of the ingots axial defects. Decrease of faces concave-angel increase a value of a compressive stress in the axial zone of the workpiece. Intensive closure of the axial defects during upsetting provide the workpieces which have the angel of convex faces equal to $140...160^\circ$ and the degree of the reduction 15 %.

Марков О. Е.

д-р техн. наук, проф. каф. ОМД ДГМА
oleg.markov.ond@mail.ru

УДК 621.735.3

Марков О. Е.

ЗАКРЫТИЕ ОСЕВЫХ ДЕФЕКТОВ ПРИ ОСАДКЕ ЗАГОТОВОК С ВОГНУТЫМ ПОПЕРЕЧНЫМ СЕЧЕНИЕМ

Технологии ковки крупных поковок направлены на придание формы заготовке и заваривание внутренних дефектов слитков металлургического происхождения. Проанализировав технологические процессыковки крупных поковок из слитков, было установлено, что около 80...90 % технологических процессовковки предполагает применение операции осадки, которая необходима для увеличения размеров исходной заготовки, обеспечения высокого коэффициента укова и проработки литой структуры [1]. При этом операция осадки – самая энергоемкая и трудоемкая операция, которая требует дополнительного подогрева заготовки, смены инструмента, затрат энергии на деформирование, что увеличивает себестоимость поковок и снижает производительность процессовковки. Влияние осадки на качество поковки и заваривание внутренних пустот до конца не исследовано и требует дальнейшего изучения. На сегодняшний день в литературе можно встретить противоречивую информацию по вопросу влияния операции осадки на качество крупных поковок [1–3].

Основным дефектом кузнечного слитка является осевая рыхлость. Последовательность и назначение кузнечных операций должна быть такой, чтобы заварить этот дефект. Устранение этого дефекта состоит из уменьшения размеров осевого дефекта (закрытие) и обеспечения высокого уровня сжимающих напряжений при высокой температуре для заваривания стенок пустот.

Характерными дефектами для крупных поковок, которые претерпевают операцию осадку, являются определяемые ультразвуковым контролем несплошности, располагающиеся порознь или в виде скоплений размером до 5 мм. Для дисков с отверстием эти дефекты располагаются на середине высоты поковки и распространяются перпендикулярно его стенке на глубину до 150 мм [4]. Указанные дефекты вызваны неблагоприятным напряженно-деформированным состоянием (НДС) при осадке и увеличением размеров дефектной зоны в поперечном направлении от действия растягивающих напряжений [5–7]. Таким образом, операция осадки цилиндрических заготовок не способствует закрытию осевых дефектов слитков. Для закрытия осевых дефектов при осадке необходимо обеспечить НДС, которое способствует завариванию пустот и несплошностей. Повысить уровень сжимающих напряжений в осевой зоне заготовки можно за счет обеспечения подпора ее боковой поверхности [8]. Известные способы получения заготовки с вогнутой боковой поверхностью сложнореализуемы в условияхковки слитков. Перспективным направлением профилирования слитка перед осадкой является получение заготовки с вогнутым поперечным сечением протяжкой выпуклыми клиновыми бойками [9]. Формирование вогнутых граней в заготовке перед осадкой повысит равномерность распределения деформаций и обеспечит подпор осевой зоны. Этот вопрос на сегодняшний день не исследован и нет конкретных рекомендаций по рациональной геометрии таких заготовок перед осадкой.

Цель работы – определение геометрии заготовок с вогнутым поперечным сечением, которая обеспечивает интенсивное закрытие осевых дефектов.

Теоретическое исследование механизма изменения осевого дефекта при осадке проводилось с применением конечно-элементного моделирования. Результатами расчёта являются распределение деформаций и средних напряжений в теле заготовки, а также изменение формы и размеров осевого дефекта в процессе осадки. Степень деформации заготовки со-

ставляла 50 %, как рекомендуемая величина при осадке слитков для получения достаточной проработки. Заготовка имела следующие геометрические параметры: максимальный диаметр $D = 1500$ мм и длина $L = 1500$ мм, что соответствует размерам укороченного слитка ($H/D = 1$). Искусственный осевой дефект имел диаметр $d_{0деф} = 0,1D$ (рис. 1), который моделирует максимально возможный осевой дефект в слитках. Грани заготовки предварительно продеформированы выпуклыми клиновыми бойками с углами α , равными 140° , 160° , 180° и радиусом закругления 150 мм. Относительный прогиб вогнутых граней заготовки (d/D) варьировался в пределах $0,75$; $0,80$; $0,85$. Материал заготовки – сталь 38ХМ, начальная температура проведения процесса $T = 1200$ °С, коэффициент трения $0,35$, начальная температура инструмента 20 °С, сетка содержит 60000 элементов, скорость движения плоской осадочной плиты – 20 мм / сек.

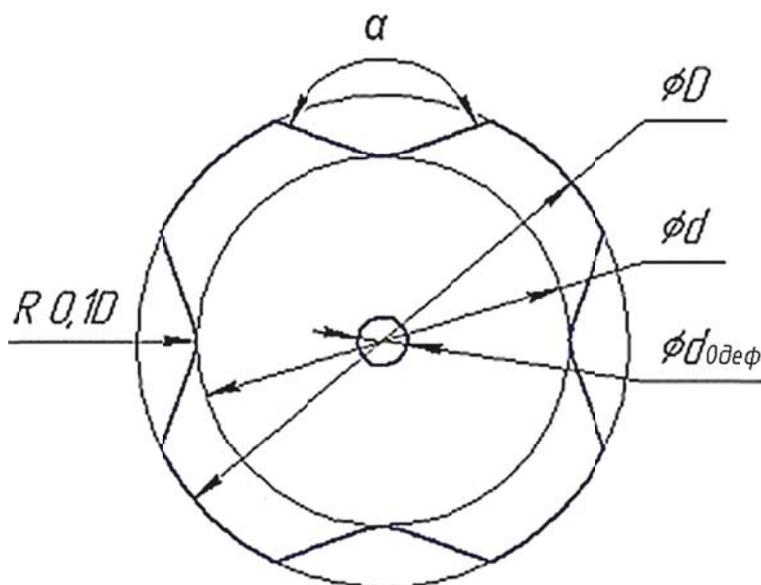


Рис. 1. Схема поперечного сечения заготовки с вогнутым поперечным сечением

В табл. 1 и 2 представлены результаты распределения интенсивности логарифмических деформаций, средних напряжений и формоизменение осевого дефекта в продольном сечении заготовки. Осадка заготовок с различной формой вогнутого поперечного сечения приводит к распределению деформаций, аналогичных процессу осадки цилиндрических образцов (табл. 1). Максимальные деформации ($e_i \approx 1,0$) локализируются в центральной осевой зоне, а минимальные деформации ($e_i \approx 0$) в торцевых зонах заготовки, контактирующих с инструментом. Зона пластических деформаций качественно и количественно совпадает для различных параметров вогнутого поперечного сечения. Это позволяет сделать вывод о минимальном влиянии формы поперечного сечения заготовки с вогнутым профилем на деформированное состояние (табл. 1).

Однако осадка заготовок с вогнутым поперечным сечением приводит к изменению напряженного состояния металла заготовки в осевой зоне. Максимальные сжимающие средние напряжения ($\sigma_{cp} = -70$ МПа) возникают в месте расположения дефекта при углах вогнутых граней α , равных $140 \dots 160^\circ$ и величине прогиба вогнутых граней 15 % (табл. 2).

Увеличение угла вогнутых граней и их прогиба способствуют снижению уровня и площади зоны сжимающих средних напряжений. Исследуемые схемы характеризуются преобладанием сжимающих напряжений в теле заготовки, за исключением периферийной боковой зоны, которая имеет форму бочки (табл. 2).

Таблица 1

Распределение интенсивности логарифмических деформаций для схем осадки заготовок с вогнутым поперечным сечением

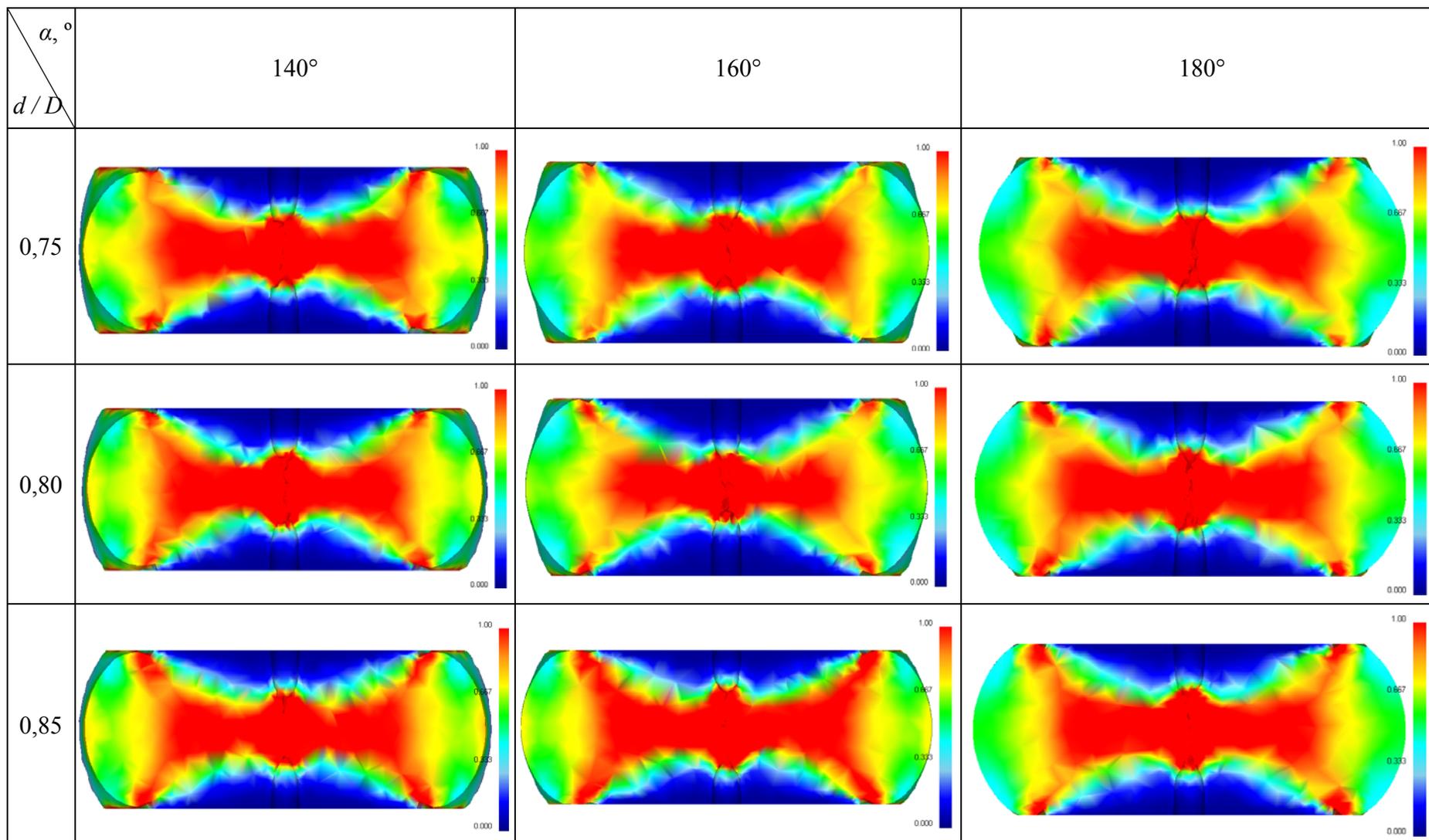
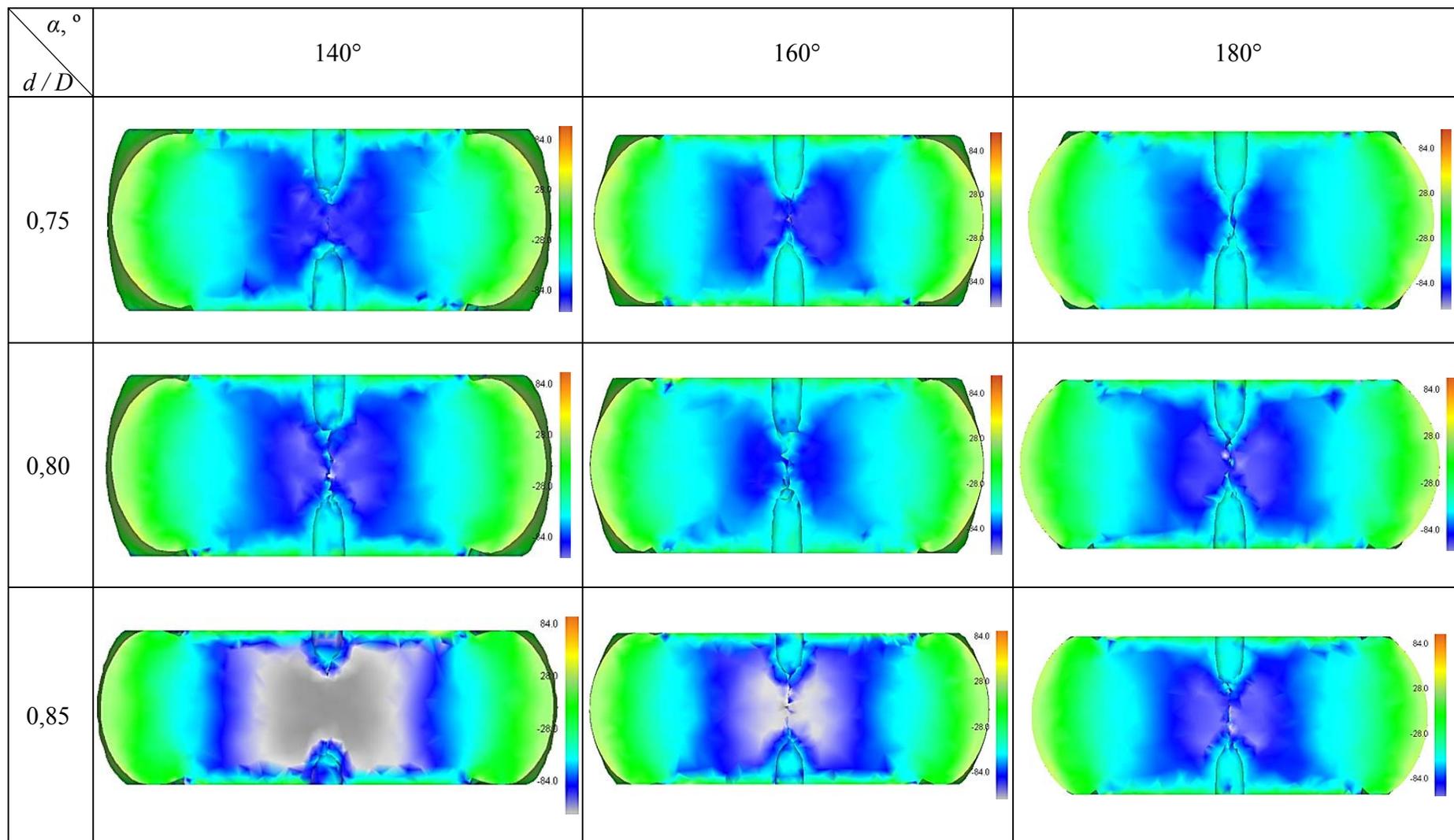


Таблица 2

Распределение средних напряжений для схем осадки заготовок с вогнутым поперечным сечением



Для количественной оценки степени закрытия осевого дефекта были рассчитаны данные по изменению величины относительного диаметра дефекта от степени деформации (рис. 2). Анализ полученных результатов позволил установить, что при степени деформации 40 % максимальное закрытие осевого дефекта ($d_{\text{деф}} / d_{0\text{деф}} = 0,6$) происходит для заготовок с вогнутым поперечным сечением с $d/D = 0,85$, $\alpha = 160^\circ$ и $d/D = 0,85$, $\alpha = 140^\circ$. Наименьшую степень закрытия дефекта ($\approx 10\%$) обеспечивает сечение заготовки с $d/D = 0,75$ и углом 180° (заготовок квадратного поперечного сечения, кривая 3, рис. 2). Заготовки с другими параметрами вогнутости граней обеспечивают по степени закрытия осевого дефекта схожие результаты.

Сравнение степени закрытия осевого дефекта при осадке заготовок с вогнутым поперечным сечением с различными углами вогнутости и величиной прогиба представлено на рис. 3. При угле вогнутых граней 160 и 180° величина прогиба граней заготовки d/D оказывает большее влияние на закрытие дефекта, чем угол вогнутости (рис. 3). Для угла вогнутости 140° величина прогиба граней не оказывает значительного влияния на закрытие дефекта (см. рис. 3, кривая 1). Интенсивное закрытие дефекта происходит у образцов с отношением $d/D = 0,85$ и углом вогнутости граней $140^\circ \dots 160^\circ$.

$d_{\text{деф}}/d_{0\text{деф}}$

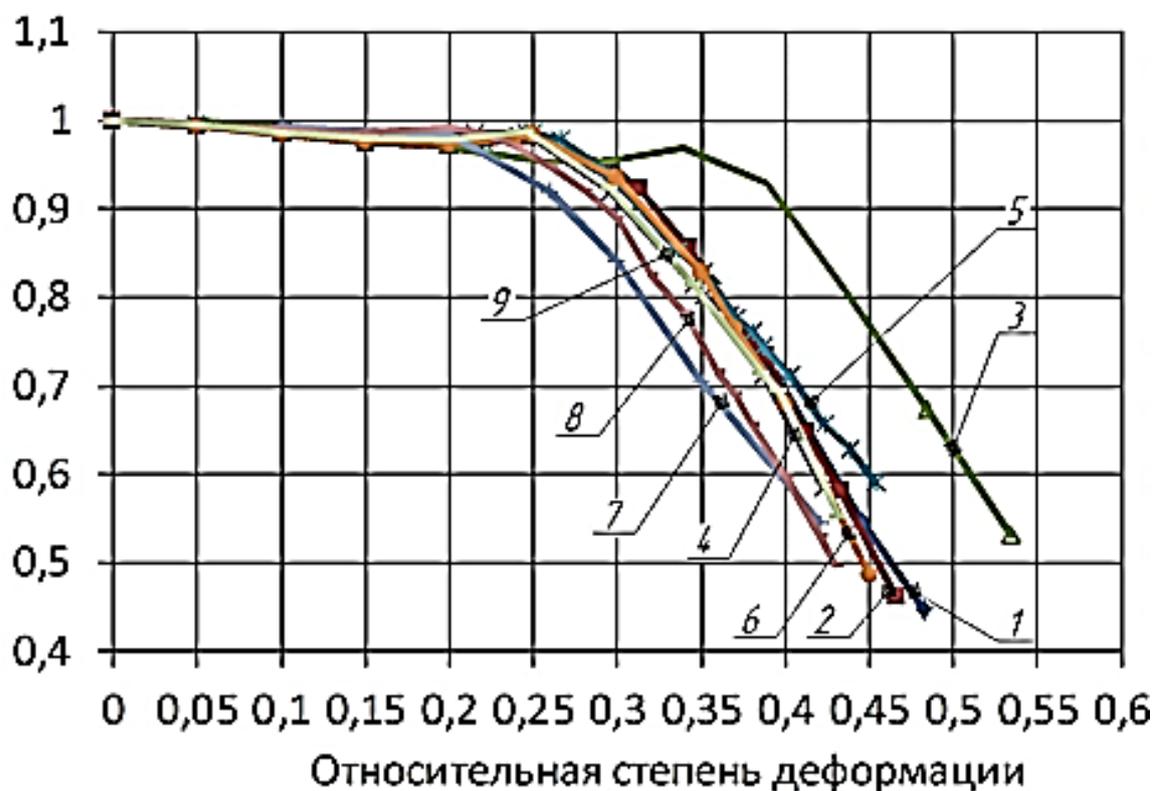


Рис. 2. Изменение относительного диаметра дефекта в зависимости от степени деформации при осадке заготовок с разными геометрическими параметрами с вогнутых граней:

- 1 – $d/D = 0,75$, $\alpha = 140^\circ$; 2 – $d/D = 0,75$, $\alpha = 160^\circ$; 3 – $d/D = 0,75$, $\alpha = 180^\circ$;
- 4 – $d/D = 0,8$, $\alpha = 140^\circ$; 5 – $d/D = 0,8$, $\alpha = 160^\circ$; 6 – $d/D = 0,8$, $\alpha = 180^\circ$;
- 7 – $d/D = 0,85$, $\alpha = 140^\circ$; 8 – $d/D = 0,85$, $\alpha = 160^\circ$; 9 – $d/D = 0,85$, $\alpha = 180^\circ$

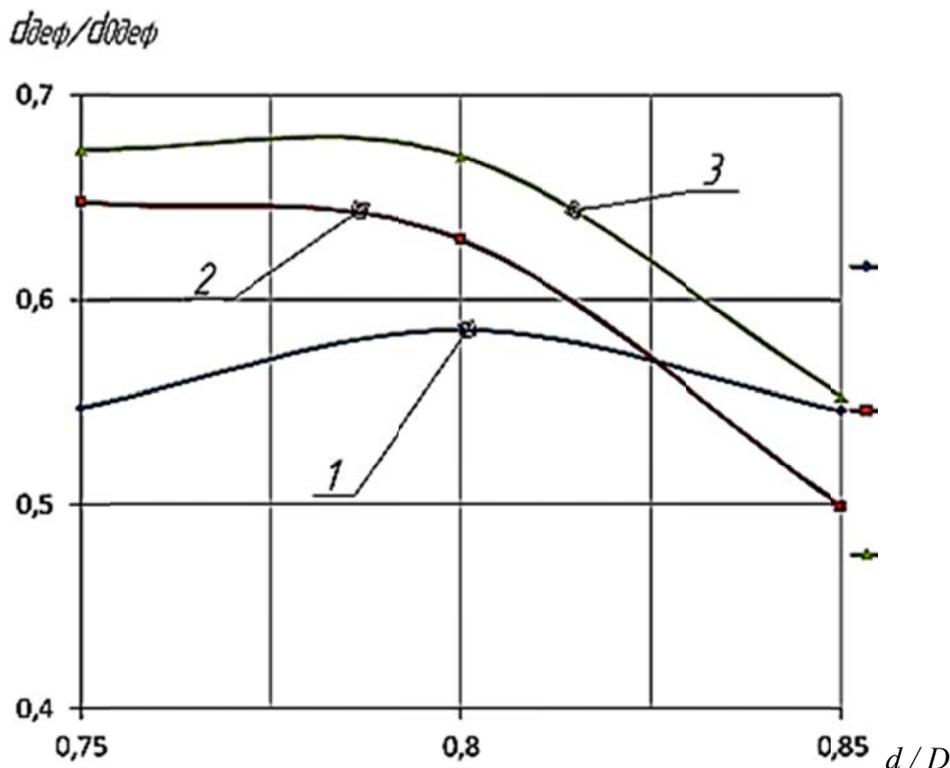


Рис. 3. Изменение относительного диаметра дефекта в зависимости от величины прогиба (d/D) для различных углов вогнутости граней (α) заготовки с вогнутым поперечным сечением после осадки на 50 %:

1 – $\alpha = 140^\circ$; 2 – $\alpha = 160^\circ$; 3 – $\alpha = 180^\circ$

Полученные результаты подтверждаются соответствующим НДС в осевой зоне заготовки в процессе осадки (см. табл. 1). Средние напряжения в этой зоне со знаком «минус» имеют площадь поперечного сечения больше, что свидетельствует о преобладании сжимающих напряжений.

Количественную оценку вероятности закрытия осевого дефекта можно получить на основании показателя жесткости схемы напряженного состояния ($P\sigma = \frac{3\sigma_{cp}}{\sigma_i}$) в осевой зоне (рис. 4). Общей закономерностью процесса осадки заготовок с вогнутым поперечным сечением является увеличение уровня сжимающих напряжений в осевой зоне при увеличении степени деформации (рис. 4). Однако, можно отметить, что заготовка с параметрами $d/D = 0,85$ и $\alpha = 140^\circ$ имеет максимальный уровень сжимающих напряжений ($P\sigma = -9,4$) при степени осадки $\varepsilon = 0,5$.

На рис. 5 представлены результаты распределения интенсивности логарифмических деформаций по высоте заготовки в осевой зоне при степени деформации 50 %.

Распределение интенсивности логарифмических деформаций e_i на оси заготовки с вогнутым поперечным сечением с различными геометрическими параметрами качественно и количественно совпадает с погрешностью до 10 %, что свидетельствует о влиянии профиля лучей заготовки только на напряженное состояние. Таким образом, на деформированное состояние и равномерность распределения деформаций профиль заготовки влияние не оказывает и зависит преимущественно от степени деформации при осадке.

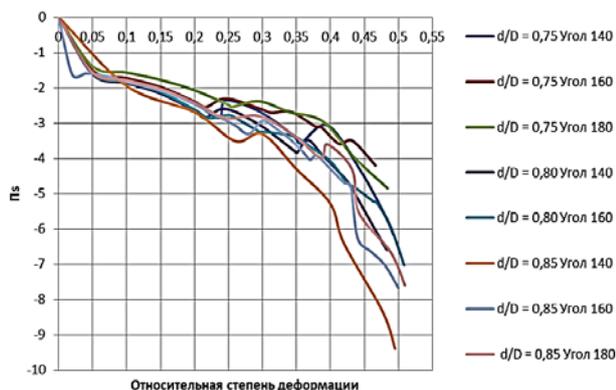


Рис. 4. Изменение показателя жесткости схемы напряженного состояния в зависимости от степени деформации для заготовок с различными параметрами вогнутых граней

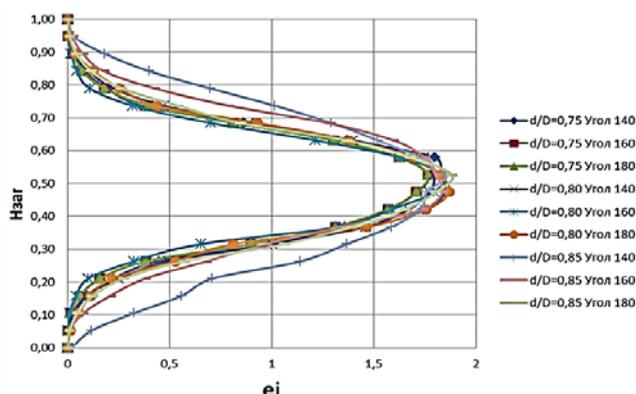


Рис. 5. Распределение интенсивности логарифмических деформаций по высоте заготовки с различными параметрами вогнутых граней после осадки 50 %

ВЫВОДЫ

При уменьшении угла вогнутости граней повышается уровень сжимающих напряжений в осевой зоне.

На закрытие внутренних дефектов и НДС при осадке заготовок различным поперечным сечением вогнутых граней определяющим является величина прогиба граней d/D .

Осевой дефект в процессе осадки интенсивнее закрывается при углах вогнутости граней $\alpha = 140^\circ \dots 160^\circ$ и величине относительного прогиба граней $d/D = 0,85$. Эти параметры могут быть рекомендованы как эффективные с точки зрения повышения качества осевой зоны слитка в процессе осадки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Применение способа осадки слитков кольцами в процессахковки валов / И. С. Алиев, О. Е. Марков, М. В. Олешко, В. Н. Злыгорев // *Обработка материалов давлением : сб. науч. тр. – Краматорск : ДГМА, 2010. – № 2 (23). – С. 94–98.*
2. Влияние операции выворота поковки коническими плитами на распределение деформаций / И. С. Алиев, О. Е. Марков, Я. Г. Жбанков, С. А. Близняк // *Обработка материалов давлением : сб. науч. тр. – Краматорск : ДГМА, 2010. – № 3 (24). – С. 64–68.*
3. Внедрение энергосберегающего технологического процессаковки крупных слитков без осадки / О. Е. Марков, В. М. Олешко, В. Н. Злыгорев, И. А. Грачев // *Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. – Москва, 2011. – № 10. – С. 33–36.*
4. Соколов В. Е. О природе волосовых трещин в поковках турбинных дисков из стали 34ХНЗМА / В. Е. Соколов, А. И. Потапов, Н. Н. Александрова // *Кузнечно-штамповочное производство. – 1987. – № 4. – С. 8.*
5. Дурынин В. А. Исследование и совершенствование технологии производства с целью повышения ресурса стальных изделий из крупных поволоков ответственного назначения / В. А. Дурынин, Ю. П. Солнцев. – СПб. : ХИМИЗДАТ, 2006. – 272 с. : ил.
6. Марков О. Е. Влияние операции осадки на закрытие осевых дефектов слитков / О. Е. Марков // *Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. – Москва, 2012. – № 6. – С. 20–25.*
7. Марков О. Є. Зміна розмірів осевих дефектів при осадженні заготовок / О. Є. Марков // *Обработка материалов давлением : сб. науч. тр. – Краматорск : ДГМА, 2011. – № 4 (29). – С. 103–110.*
8. Солодун Е. М. Анализ деформированного состояния при ковке валов с билетировкой на вогнутую бочку / Е. М. Солодун, О. Е. Марков, О. А. Тесленко // *Вісник ДДМА : зб. наук. праць. – Краматорськ, 2006. – № 2. – С. 128–131.*
9. Марков О. Є. Розвиток наукових основ проектування та удосконалення технологічних процесів кування крупных поволоков зі злитків : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра техн. наук : спец. 05.03.05 «Процеси та машини обробки тиском» / Марков О. Є. ; ДДМА. – Краматорськ, 2012. – 36 с.