

ФОРМОИЗМЕНЕНИЕ И НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ЗАГОТОВКИ ПРИ КОВКЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОФИЛИРОВАНИЯ ЗАГОТОВКИ**Марков О. Е., Злыгорев В. Н., Руденко Н. А., Ячмень Ю. О.**

В статье рассмотрено влияние угла клина выпуклых бойков и глубины вогнутости граней на неравномерность распределения деформаций в теле заготовки. Установлено, что с увеличением угла клина бойков и глубины вогнутостей граней повышается равномерность распределения деформаций. Из всех исследуемых схем деформирования было выделено 2 схемыковки, которые обеспечивают высокое и равномерное распределение деформаций по сечению поковки, при этом зона интенсивной пластической деформации имеет округлую форму с большой площадью поперечного сечения. Для обеспечения равномерного распределения деформаций необходимо получать четырёхлучевую заготовку со степенью обжатия 25...30 % бойками с углом в диапазоне 160...180°. Для обкатки необходимо применять плоские бойки, способ укладки заготовки в бойках – «на ребро». Полученные результаты подтверждаются экспериментальными исследованиями.

У статті розглянуто вплив кута клину опуклих бойків і глибини увігнутості граней на нерівномірність розподілу деформацій у тілі заготовки. Встановлено, що зі збільшенням кута клину бойків і глибини увігнутостей граней підвищується рівномірність розподілу деформацій. Зі всіх досліджуваних схем деформування було виділено 2 схеми кування, які забезпечують високий і рівномірний розподіл деформацій по перерізу поковки, при цьому зона інтенсивної пластичної деформації має округлу форму з великою площею поперечного перерізу. Для забезпечення рівномірного розподілу деформацій необхідно отримувати чотирьохпроменеву заготовку зі ступенем обтиснення 25...30% бойками з кутом в діапазоні 160...180°, бойки для обкатування граней – плоскі, спосіб укладання заготовки в бойках – «на ребро». Отримані результати підтверджуються експериментальними дослідженнями.

Influence of wedge angle and depth of the convex dies concave faces on the uneven distribution of strain in the body of the workpiece was considered in the article. It was established, that increasing wedge angle and depth of concavities dies faces increases the uniformity of strain distribution. Investigating schemes of deformation, 2 schemes, providing high and uniform strain distribution in a cross-section of forging were determined. According to study, zone with intensive plastic deformation was roundshaped with large cross-section. Uniform strain distribution can be obtained by using four-ray workpiece, which has a depth of concavity 25 ... 30 % from the diameter of the workpiece, the angle of the wedge dies was 160 ... 180°, the dies for rounding were flat, the method placing of workpiece in the dies – «on edge». These results are confirmed by experimental studies.

Марков О. Е.

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

Злыгорев В. Н.

Руденко Н. А.

канд. техн. наук,
ст. преп. ДГМА
студент ДГМА

Ячмень Ю. О.

УДК 621.735.36

Марков О. Е., Злыгорев В. Н., Руденко Н. А., Ячмень Ю. О.

ФОРМОИЗМЕНЕНИЕ И НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ЗАГОТОВКИ ПРИ КОВКЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОФИЛИРОВАНИЯ ЗАГОТОВКИ

Основная задача при изготовлении крупных деталей в тяжелом машиностроении – оптимизация технологических процессов получения заготовок [1, 2]. Критериями оптимальности в данном случае служат высокое качество и приемлемая себестоимость деталей ответственного назначения. Все технологические процессы изготовления крупных заготовок обработкой давлением можно разделить на группы по форме получаемых заготовок: диски, валы, плиты, пустотелые поковки. После анализа их изготовления способами пластического деформирования установлено, что около 80...90 % всех технологических процессовковки предполагают применение энергоёмкой операции осадки. Эту операцию в большинстве случаев назначают, как вспомогательную, для увеличения площади поперечного сечения заготовки для возможности получения требуемых размеров деталей. При осадке в осевой зоне слитка возникает неблагоприятное напряженно-деформированное состояние, которое приводит к образованию разрывов в осевой зоне слитка [3].

Оптимизация технологических процессов изготовления крупных заготовок заключается в исключении или в замене неэффективных энергоёмких операций такими, которые не приводят к увеличению затрат, при этом гарантируют получение заданного качества. Исключить операцию осадку можно за счёт применения укороченных слитков [4]. Основной дефект кузнечного слитка, который должен быть устранен операциямиковки – осевая пористость [5]. Эффективным способом заковывания осевых дефектов слитков является применение кузнечной операции протяжки [6]. При протяжке, особенно заготовок большого диаметра, необходимо обеспечить равномерное распределение деформаций по сечению заготовки и состояние всестороннего неравномерного сжатия в осевой дефектной зоне слитка [7].

Наиболее эффективными способами пластического деформирования повок типа валов являются процессыковки слитков вырезными бойками или плоскими по схеме через квадрат и восьмигранное сечение. Наибольшую универсальность обеспечивают технологические процессыковки плоскими бойками за счёт исключения смен инструмента. Однако эта схема приводит к образованию непродеформированных зон заготовки, которые контактируют с инструментом. Устранить данный недостаток возможно за счётковки слитков выпуклыми бойками (профилирования заготовки) и последующей обкатки вырезными или плоскими бойками. Более универсальной схемой профилирования четырёхлучевой заготовки будет применение выпуклых бойков, которые универсальны и применимы для различных диаметров заготовок (рис. 1). В данной работе будет исследован комплексный подход, который заключается в поиске рациональной геометрии выпуклых клиновых бойков дляковки укороченных слитков, глубины обжатия этими бойками и способ последующей обкатки. Ковка слитка производится с кантовкой на 90°, продавливание выпуклыми клиновыми бойками позволит получить четырёхлучевую заготовку, что в итоге дополнительно повысит уровень сжимающих напряжений в осевой части слитка при последующей обкатке.

Цель работы – исследование влиянияковки выпуклыми бойками с различными углами и степенью обжатия на равномерность распределения пластических деформаций в теле заготовки. Задача исследования сводится к определению эффективных углов выпуклого клинового бойка, установления рациональных степеней обжатий и способов последующей обкатки на круглое сечение, при которых происходит равномерное распределение деформаций.

Исследовались следующие углы клиновых выпуклых бойков: 140° , 160° и 180° (плоские бойки) и двухсторонняя глубина вогнутостей граней (обжатия) 15 %, 25 %, 35 % от диаметра заготовки.

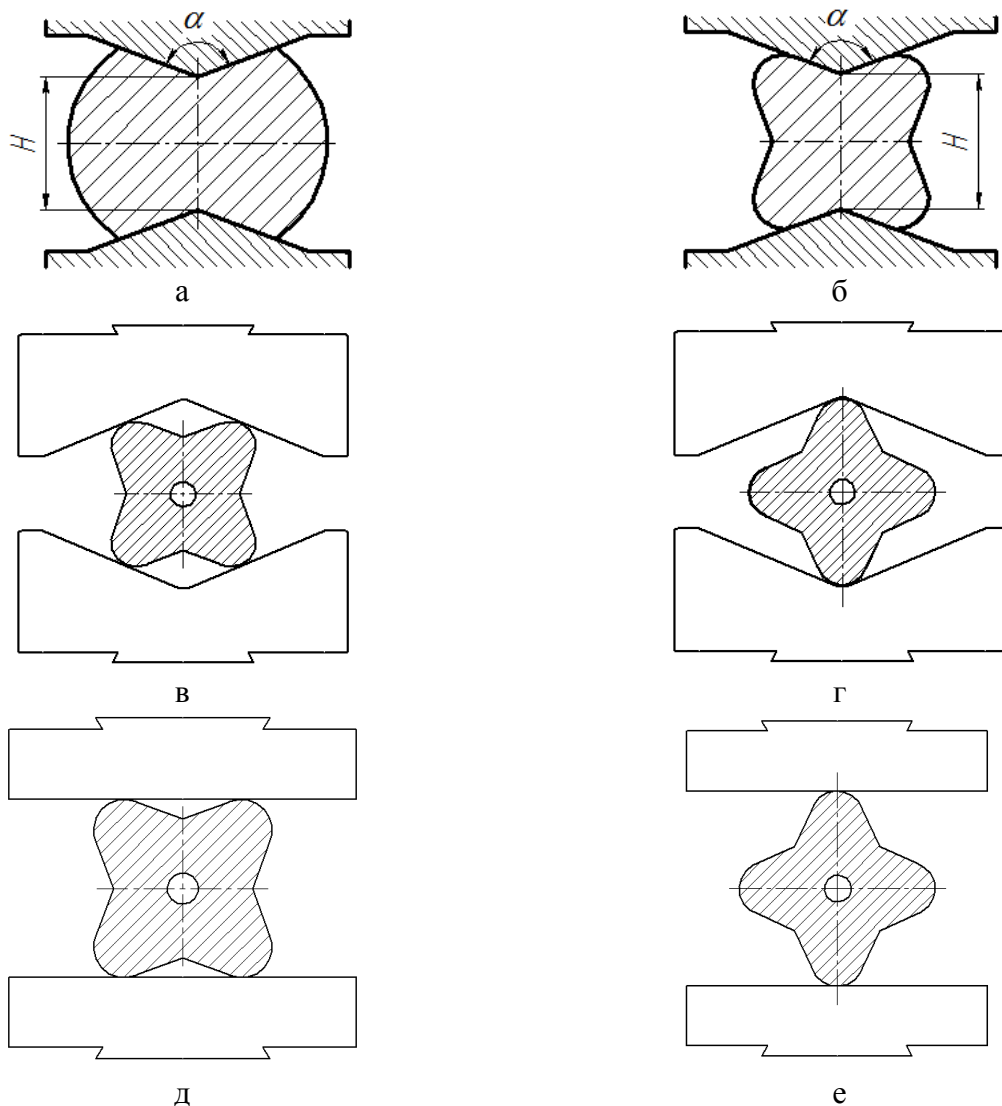


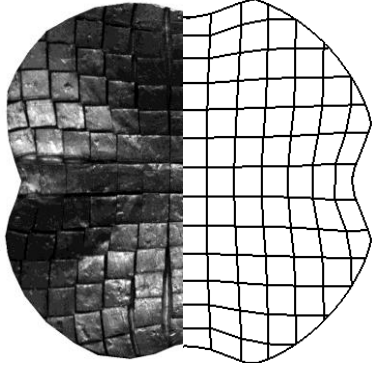
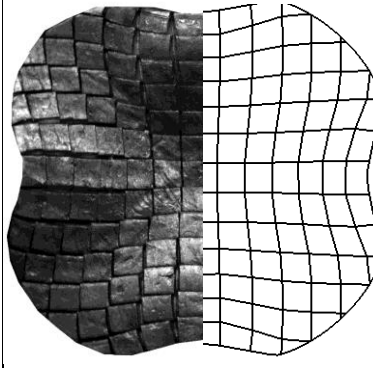
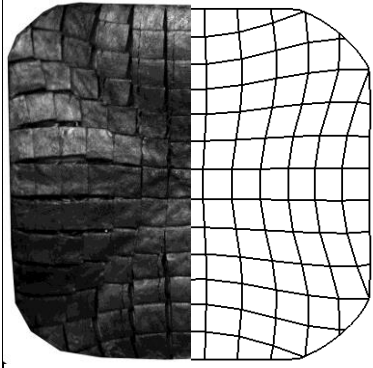
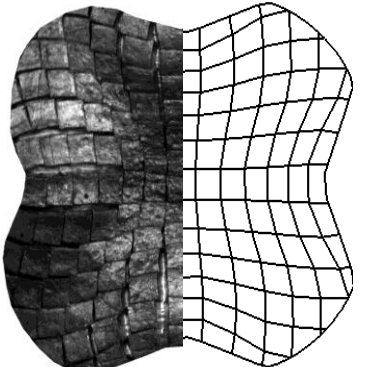
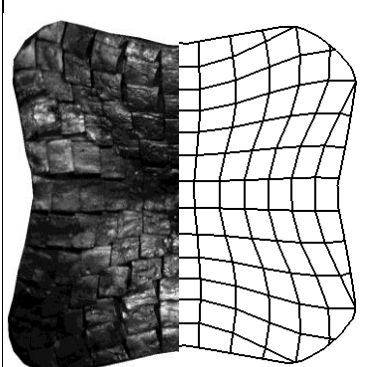
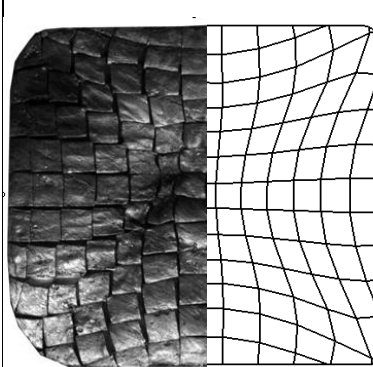
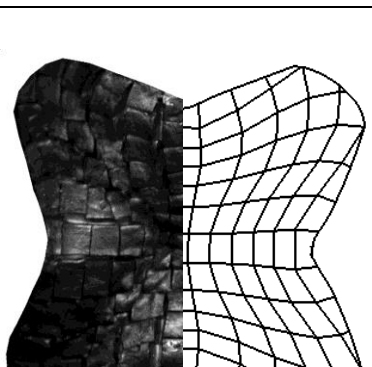
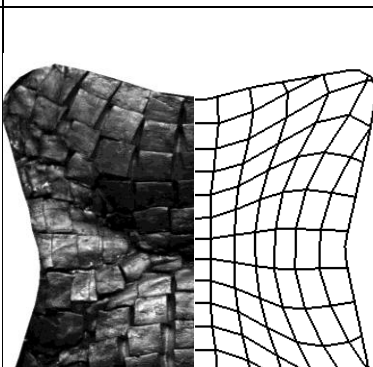
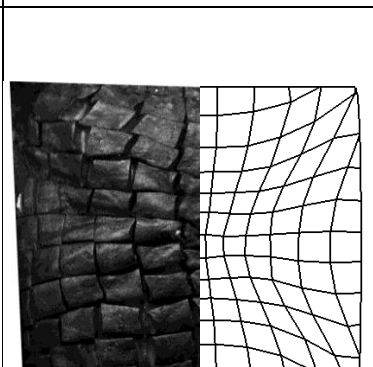
Рис. 1. Переходыковки выпуклыми клиновыми бойками:

а – получение двулучевой заготовки; б – получение четырехлучевой заготовки; в – обкатка вырезными бойками «плашмя»; г – обкатка вырезными бойками «на ребро»; д – обкатка плоскими бойками «плашмя»; е – обкатка плоскими бойками «на ребро»

Для исследования была получена заготовка диаметром 40 мм. Было исследовано влияние двух факторов: угол клина выпуклых бойков α и глубина вогнутостей граней ϵ . Факторы варьировались на трёх уровнях: угол $\alpha = 140^\circ$, 160° , 180° , глубина $\epsilon = 15\%$, 25% , 35% . Каждую заготовку протянули в выпуклых бойках, при этом каждый проход, по длине осуществлялся по пять обжатий. С одного торца заготовки наносилась координатная сетка с шагом 3 мм. Результаты деформированной координатной сетки после протяжки выпуклыми клиновыми бойками при получении четырёхлучевой заготовки представлены в табл. 1.

Таблица 1

Деформированная координатная сетка после обжатия на четырёхлучевую заготовку выпуклыми клиновыми бойками с различными углами и глубиной вогнутостей

	Угол бойка 140°	Угол бойка 160°	Угол бойка 180°
Глубина вогнутости 15%			
Глубина вогнутости 25%			
Глубина вогнутости 35%			

Закономерность распределения деформаций по сечению, как и до кантовки – выпуклые бойки прорабатывают больше периферийные слои, а плоские – центральные. Эта закономерность справедлива для обжатий до 15%, при больших обжатиях (получения глубоких вогнутостей) выпуклые бойки способствуют возникновению деформаций и в осевой зоне заготовки.

После формирования четырёхлучевой заготовки выпуклыми бойками непродеформированными зонами остаются углы (рёбра заготовки), а в случаековки плоскими – зоны, контактирующие с инструментом (табл. 1, третья строка). Меньшая неравномерность распреде-

ления деформаций характерна для формирования четырёхлучевой заготовки бойками с углом 160° .

Формирование четырёхлучевой заготовки это вспомогательная операция, которая направлена на профилирование заготовки для обеспечения при дальнейшей обкатке в вырезных или плоских бойках равномерного распределения деформаций и высокого уровня сжимающих напряжений в осевой дефектной зоне слитка. Заготовки с вогнутой боковой поверхностью в поперечном сечении обеспечивают подпор центральной зоны при последующей обкатке четырёхлучевой заготовки, но при этом может произойти образование поверхностных зажимов. Для этого необходимо проанализировать конечные результаты деформированного состояния, выбрать схему, которая позволяет получить равномерное распределение деформаций в поперечном сечении заготовки. Рассмотрению не подлежат схемы, которые приводят к образованию зажимов и складок на боковой поверхности. Условию получения поверхности поковки без зажимов не отвечают схемы ковки четырёхлучевых заготовок выпуклыми бойками с углом 140° для различных степеней обжатия и способов обкатки на круглое сечение (форма бойков и вариант укладки в бойках). Можно сделать вывод, что угол клина бойков в 140° не представляет интереса для получения четырёхлучевых заготовок, так как в этом случае образуются поверхностные зажимы и далее эта схема не рассматривается.

Аналогичные дефекты были отмечены для схемы получения четырёхлучевой заготовки с углом вогнутостей граней 160° при степенях обжатия более 25%. Это позволяет дать рекомендации по предельным степеням обжатия ($\varepsilon \leq 25\%$) цилиндрической заготовки выпуклыми бойками с углом в 160° . Более того, можно отметить, что схема укладки четырёхлучевой заготовки «плашмя» (рис. 1 в, д) в вырезных и плоских бойках может также приводить к образованию зажимов. Для угла клина выпуклых бойков в 160° рациональный способ расположения четырёхлучевой заготовки в бойках по схеме «на ребро» (рис. 1 г, е).

Полученные экспериментальные координатные сетки после деформирования выпуклыми бойками подтверждают повышенную проработку поверхностных слоёв заготовки (угол 140° и 160° , первый и второй столбец табл. 1) в отличие от схемы ковки плоскими бойками (угол 180° , третий столбец табл. 1), когда максимальные деформации возникают в осевой зоне заготовки. Увеличение степени обжатия (получение большей вогнутости граней) способствует появлению высокой неравномерности распределения деформаций в поперечном сечении заготовки.

Боковые части заготовки получают деформацию после кантовки на 90° и обжатия, при получении четырёхлучевой заготовки (табл. 2). В этом случае происходит снижение неравномерности распределения деформаций за счёт равномерной проковки с четырёх сторон. Дальнейшее выравнивание неравномерности распределения деформаций происходит при последующей обкатке вырезными и плоскими бойками на круглое и квадратное поперечное сечение соответственно.

Для выбора эффективной схемы получения заготовок необходимо провести количественное сравнение распределения деформаций по сечению поковки для схем ковки, которые не приводят к образованию поверхностных зажимов. Распределение деформаций определялось по диаметру заготовки в зоне максимальной её неравномерности – на середине ширины деформирующего инструмента, где присутствуют застойные зоны, контактирующие с инструментом и максимальные деформации – в осевой зоне.

Для угла 160° максимальные логарифмические деформации в центральной зоне с уровнем в 6,0 единиц обеспечивает схема обкатки плоскими бойками четырёхлучевой заготовки с глубиной вогнутости граней (обжатием) $\varepsilon = 25\%$ (рис. 2 линия 2). Минимальные деформации для этой схемы $\approx 2,0$ единиц (неравномерность деформаций $\Delta\varepsilon = 4,0$). Наименьший уровень накопленных деформаций для угла 160° обеспечивают схемы обкатки вырезными бойками с укладкой заготовки «на ребро» (рис. 2 линия 5 и 6). Минимальную неравномерность распределения деформаций для этого угла вогнутости $\Delta\varepsilon = 2,73$ обеспечивает обкатка в вырезных бойках заготовок с вогнутостью $\varepsilon = 25\%$ с укладкой плашмя (рис. 2 линия 7).

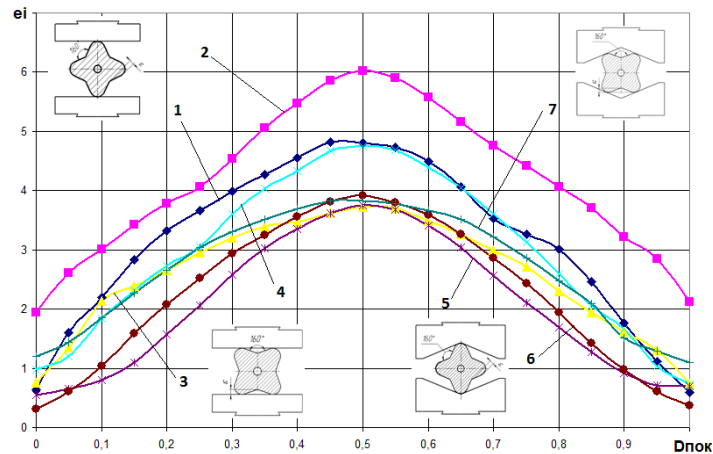


Рис. 2. Неравномерность распределения деформаций после обкатки вырезными и плоскими бойками заготовок с углом 160° и глубиной вогнутости граней 15 % и 25 % :

1 – плоские бойки «на ребро» $\varepsilon = 15\%$; 2 – плоские бойки «на ребро» $\varepsilon = 25\%$; 3 – плоские бойки «плашмя» $\varepsilon = 15\%$; 4 – плоские бойки «плашмя» $\varepsilon = 25\%$; 5 – вырезные бойки «на ребро» $\varepsilon = 15\%$; 6 – вырезные бойки «на ребро» $\varepsilon = 25\%$; 7 – вырезные бойки «плашмя» $\varepsilon = 25\%$

Для угла 180° и последующей обкатке вырезными бойками максимальные деформации, которые возникают в центральной осевой зоне с уровнем в 5,0 единиц, обеспечивает схема с глубиной вогнутости граней (обжатием) $\varepsilon = 35\%$ с укладкой «на ребро» (рис. 3, линия 3). Для этой схемы характерна высокая неравномерность распределения деформаций по диаметру поковки ($\Delta\varepsilon = 4,49$) за счёт наличия значительной зоны затруднённой деформации в периферийной части.

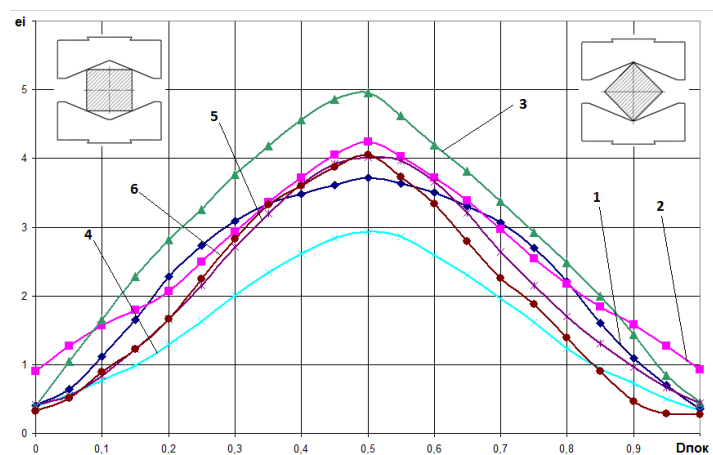


Рис. 3. Неравномерность распределения деформаций после обкатки вырезными бойками четырёхлучевых заготовок с углом 180° и глубиной вогнутости граней 15 %, 25 % и 35 %:

1 – укладка «на ребро» $\varepsilon = 15\%$; 2 – укладка «на ребро» $\varepsilon = 25\%$; 3 – укладка «на ребро» $\varepsilon = 35\%$; 4 – укладка «плашмя» $\varepsilon = 15\%$; 5 – укладка «плашмя» $\varepsilon = 25\%$; 6 – укладка «плашмя» $\varepsilon = 35\%$

Минимальную неравномерность распределения деформаций для этого угла вогнутости $\Delta\varepsilon = 2,61$ при максимальном значении деформации в осевой зоне $\approx 3,0$ единиц, обеспечивает укладка заготовки «плашмя» с вогнутостью $\varepsilon = 15\%$ с укладкой плашмя (рис. 3, линия 4).

Для угла 180° с последующей обкаткой плоскими бойками через квадратное и восьмигранное сечение максимальные деформации в центральной зоне с уровнем в 5,5 единиц обеспечивают две схемы с глубиной вогнутостей граней 15% и 35% с укладкой «плашмя» (рис. 4, линия 4 и 6).

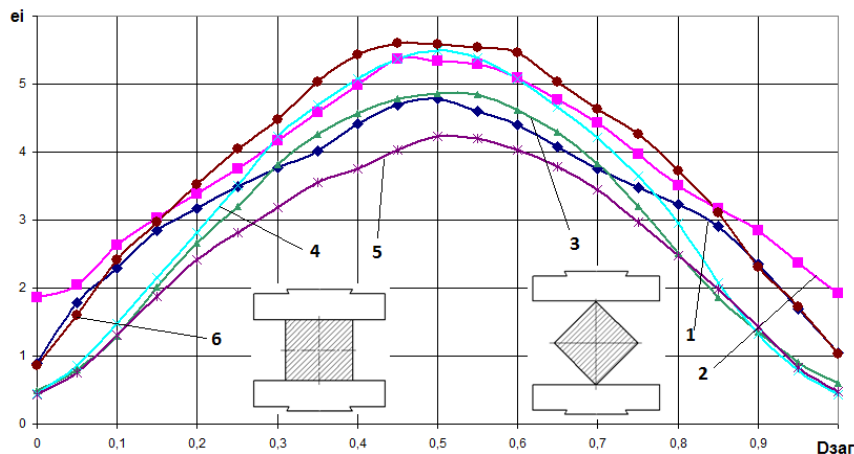


Рис. 4. Неравномерность распределения деформаций после обкатки плоскими бойками четырёхлучевых заготовок с углом 180° и глубиной вогнутости граней 15 %, 25 % и 35 %:

1 – укладка «на ребро» $\varepsilon = 15\%$; 2 – укладка «на ребро» $\varepsilon = 25\%$; 3 – укладка «на ребро» $\varepsilon = 35\%$; 4 – укладка «плашмя» $\varepsilon = 15\%$; 5 – укладка «плашмя» $\varepsilon = 25\%$; 6 – укладка «плашмя» $\varepsilon = 35\%$

Минимальную неравномерность распределения деформаций ($\Delta e = 3,5$) с относительно высокой деформацией в осевой зоне обеспечивает схема обкатки с укладкой «на ребро» четырёхлучевой заготовки с глубиной вогнутости граней $\varepsilon = 25\%$ (рис. 4, линия 2).

ВЫВОДЫ

Исследовано деформированное состояние заготовки при протяжке выпуклыми бойками с различной геометрией, а также последующей обкатке в вырезных бойках и плоских бойках. Из всех исследуемых схем деформирования выделено 2 схемы ковки, которые обеспечивают высокое и равномерное распределение деформаций по сечению поковки, при этом зона интенсивной пластической деформации имеет округлую форму с большой площадью поперечного сечения: угол клина выпуклых бойков $160^\circ \dots 180^\circ$, глубина вогнутости граней 25 %, бойки для обкатки – плоские, способ укладки заготовки в бойках – «на ребро».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тюрин В. А. Инновационные технологии ковки с применением макросдвигов / В. А. Тюрин // КШП ОМД. – 2007. – № 11. – С. 15–20.
2. Тюрин В. А. Инновационные технологии ковки / В. А. Тюрин // КШП ОМД. – 2006. – № 5. – С. 27–29.
3. Марков О. Е. Изменение размеров осевых дефектов при осадке заготовок / Марков О. Е. // Обработка материалов давлением: сб. науч. тр. – Краматорск: ДГМА. – 2011. – № 4 (29). – С. 103–110.
4. Тепловое состояние при формировании укороченных кузнечных слитков с направленной кристаллизацией / И. С. Алиев, О. Е. Марков, С. С. Захарчук, Л. В. Таган // Обработка материалов давлением. – 2012. – №2 (31). – С. 85–89.
5. О механизме возникновения химической неоднородности в стальном слитке / В. А. Вишняков, Н. М. Данилов, В. Д. Дементьев, О. В. Трифонов // Известия вузов. Чёрная металлургия. – 1977. – № 2. – С. 35–39.
6. Тюрин В. А. Разновидности процессов кузнечной протяжки / В. А. Тюрин // КШП ОМД. – 2009. – № 9. – С. 5–8.
7. Марков О. Е. Прогрессивная схема протяжки крупных валов из укороченных слитков / О. Е. Марков // Обработка материалов давлением. – 2012. – №1 (30). – С. 118–122.
8. Исследование напряженно-деформированного состояния при обжатии слитка выпуклым и вырезным бойками / Л. П. Белова [и др.] // Известия вузов. Чёрная металлургия. – 1986. – № 3. – С. 81–85.