

**Совершенствование процесса осадки четырехлучевых заготовок  
с углом вогнутых граней 150°**

Студенты гр. 10402120: Щекало Д.В., Дешко Г.Д.  
Научный руководитель – Томило В.А.  
Белорусский национальный технический университет

В современных условиях для Республики Беларусь важно развитие экспортно-ориентированных отраслей индустрии. Конкурирование на международных рынках требует повышения качества и снижения себестоимости производимой продукции.

Крупногабаритные детали в тяжелом машиностроении производятся ковкой слитков. Металл слитка обладает низкими механическими свойствами, которые являются следствием дендритной структуры и недостатка минуса осадочного происхождения. Устранить дендритную структуру и заварить внутренние пустоты можно, если изготавливать поковки с высоким уклоном. Для этого в технологическом циклековки используется кузнечное осаждение заготовки. Однако в литературе можно встретить важную информацию о влиянии операции осаждения на заваривание внутренних пустот. Актуальным направлением исследований является усовершенствование операции осаждения, которое можно осуществить за счет изменения формы осаждающих формы заготовки. Это позволит изменить деформированное и напряженное состояние заготовки, что повысит проработку литой структуры и качество поковок в целом [1].

Разработка и проектирование техпроцессов изготовления крупногабаритных поковок направлены на поиск рациональных способов осаждения для повышенной проработки структуры металла. В крупногабаритных деталях основная локализация внутренних дефектов является осевой зоной. Это вызвано соответствующим напряженно-деформированным состоянием (НДС) при деформировании. Применение операций осаждения и протягивания повышает равномерность механических свойств, но при этом повышается трудо- и энергоемкость процессовковки.

В последние годы количество крупных поковок, изготовленных из слитков, увеличивается. Это связано с увеличением мощности тяжелых машин. Однако качество произведенных поковок не всегда отвечает требованиям заказчика. Низкое качество производимых крупных поковок объясняется низким качеством исходных слитков [2, 3].

Авторами работы [4] показано, что в последнее время возросла потребность в изготовлении массивных деталей, изготавливаемых с использованием осаждения. Качество таких поковок определяется по механическим свойствам и степени неоднородности структуры металла. Применяемые процессыковки массивных поковок не гарантируют получения высокого качества.

В работе [5] показано, что существуют специальные методыковки крупногабаритных изделий. Эти методыковки отличаются типом используемых операций, режимами деформирования и геометрией бойков [6]. Механические свойства деталей в основном зависят от назначения осаждения и последующего протягивания. При этом резервы разработки новых технологических процессовковки еще полностью не исчерпаны. При разработке эффективных техпроцессов деформирования основной интерес вызывает совершенствование операции кузнечного осаждения.

В работе [7] отмечается, что рост объемов производства поковок высокого качества требует развития и внедрения новых техпроцессовковки крупногабаритных заготовок для деталей с низкими затратами на ковку. Однако в работе не исследовались новые способы осадки, позволяющие снизить силу деформирования. Снизить силу операции осаждения можно за счет

деформирования секционным инструментом или изменением площади пересечения заготовки.

Повышение механических свойств деталей ответственного назначения за счет заваривания внутренних пустот и повышения равномерности проковки структуры слитка на основе усовершенствования операции осадки четырехлучевых слитков.

Моделирование процесса осадки профилированных на четырехлучевое сечение заготовок проводилось методом конечных элементов (МКЭ). По результатам моделирования устанавливались распределение НДС проковки и формоизменение искусственного дефекта после деформирования. После профилирования все заготовки осаждались на 50 %.

Уравнение связи компонент скоростей напряжений и деформаций (1)

$$S_{ij} = \frac{2\bar{\sigma}}{3\dot{\varepsilon}} \dot{\varepsilon}_{ij}, \quad (1)$$

где  $\dot{\varepsilon}_{ij}$ ,  $\sigma_{ij}$  – компоненты скоростей деформации и напряжений;

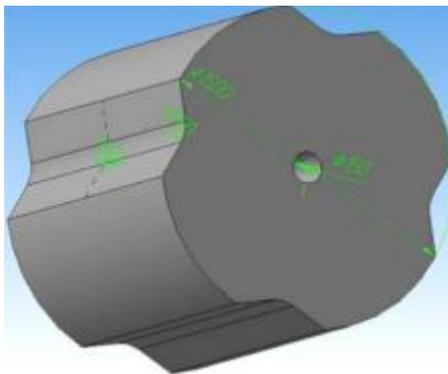
$S_{ij}$  – компоненты девиатора напряжений.

Кривая течения задана уравнением  $\bar{\sigma} = \sigma(\bar{\varepsilon}, \dot{\varepsilon}, T)$ ,

где  $\bar{\varepsilon}$ ,  $\dot{\varepsilon}$  – интенсивности деформаций и скоростей деформаций;

$T$  – температура, °С.

Модели для конечно-элементного моделирования имели следующие размеры: внешний диаметр заготовки  $D = 1,5$  м, высота заготовки  $H = 3,75$  м, диаметр отверстия дефекта принимался 10 % от наружного диаметра заготовки (0,15 м), угол граней заготовки составлял  $150^\circ$  (рисунок 1). Глубины на вогнутых гранях ( $d/D$ ) исследовались в диапазоне 15 %, 20 % и 25 % от диаметра заготовки. Материал – сталь 70Х3ГНМФ ГОСТ 1050–2013, температура нагрева заготовки  $1150$  °С, температура инструмента –  $20$  °С, коэффициент трения 0,45, сетка содержит 75 000 элементов, скорость деформирования 35 мм/с.



**Рисунок 1 – 3D-модель профилированной заготовки на четырехлучевое сечение**

Показатель схемы напряженного состояния осевой зоны заготовки (2)

$$P_\sigma = \frac{3\sigma_{cp}}{\sigma_i}, \quad (2)$$

где  $\sigma_{cp}$  – гидростатическое давление, МПа;

$\sigma_i$  – интенсивность напряжений, МПа.

На заковку в процессе осаждения четырехлучевой заготовки влияет глубина вогнутых граней. В исследовании использовались грани с углом  $150^\circ$  и относительная их глубина  $d/D$  составляла 25 %; 20 % и 15 %. Степень заковывания отверстия после осаждения профилированных четырехлучевых заготовок на 50 % показана на рисунке 2. По результатам моделирования было обнаружено, что для рассматриваемых параметров глубин граней происходит заковка отверстия в средней части поковки. Степень заковывания отверстия больше для образцов с относительной глубиной граней 0,85. Заготовки, профилированные на глубину  $d/D = 0,75$ , показали худшие результаты по закрытию осевого дефекта.

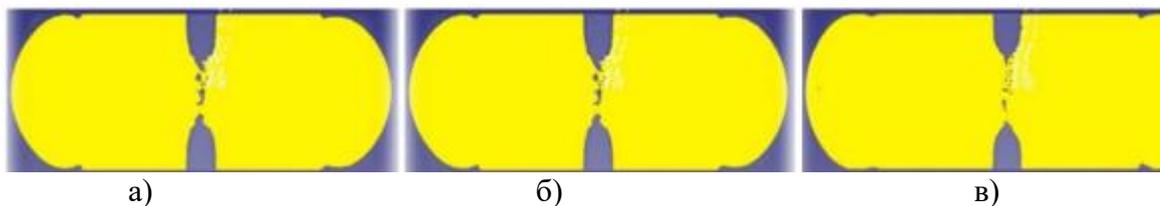


Рисунок 2 – Заковка отверстия после осаждения профилированных четырехлучевых заготовок на 50%;  
а –  $d/D = 0,75$ ; б –  $d/D = 0,80$ ; в –  $d/D = 0,85$

Зависимость механизма заковывания отверстия в процессе осаждения четырехлучевых моделей с разной относительной высотой граней показана на рисунке 4. Анализ полученных результатов (рисунок 3) позволил установить, что относительная глубина граней больше 15 % ( $d/D = 0,85$ ) не приводит к увеличению степени заковки дефекта.

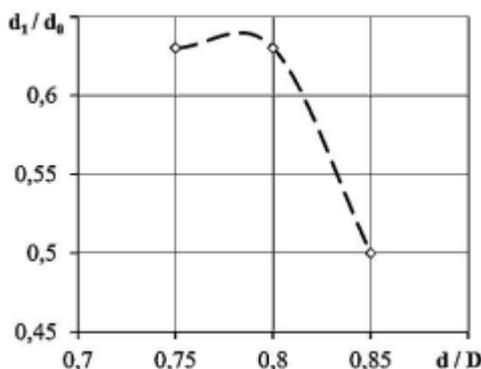


Рисунок 3 – Зависимость относительного диаметра отверстия в процессе осаждения четырехлучевых моделей с разной относительной глубиной граней

После осаждения четырехлучевых заготовок с  $d/D = 0,85$  на 50 % происходит заковка среднего относительного диаметра ( $d_1/d_0$ ) дефекта на 50 % (рисунок 3).

Разработка техпроцессаковки невозможна без установления распределения температур в процессе осаждения четырехлучевых заготовок. Распределение температурных полей в теле заготовки влияет на силовые и деформационные параметры, а также на исчерпание ресурса пластичности материала. Для упрощения исследования достаточно проследить изменение температуры по перерезу заготовки.

Анализ способа осаждения четырехлучевых заготовок с разными глубинами граней позволили установить, что распределение температур в процессековки находится в температурном интервале. Тепловое состояние заготовки для разных вариантов осаждения совпадает, следовательно, охлаждение заготовки в процессе деформирования имеет одинаковое влияние на НДС и дальше не исследуется.

Осаждение четырехлучевых заготовок с различными параметрами вогнутого поперечного сечения приводит к распределению деформаций, аналогичных процессу осаждения цилиндрических образцов. Деформации с максимальной величиной располагаются в центральной части поковки, а с минимальной – на плоских торцах поковки.

Распределение деформаций для различных параметров заготовок с четырехлучевым сечением аналогичны. Но при осаждении четырехлучевых заготовок с глубиной граней  $d/D = 0,85$  площадь деформаций с максимальной величиной больше на 35...45 % по сравнению с другими параметрами заготовок.

Осаждение четырехлучевых заготовок изменяет напряженное состояние в поковке (рисунок 4). В средней и осевой части поковки возникают средние деформации со знаком минус, что свидетельствует об образовании в зоне осевой рыхлости заготовки сжимающих напряжений с величиной около – 85 МПа при относительной глубине  $d/D = 0,85$  (рисунок 4 (в)).

Повышение относительной глубины граней четырехлучевых заготовок приводит к изменению распределения средних напряжений в металле заготовки. Глубокие грани уменьшают площадь и величину сжимающих напряжений. Осаждение четырехлучевых заготовок не исключает образования бочкообразной боковой поверхности с локализацией на этой поверхности растягивающих напряжений.

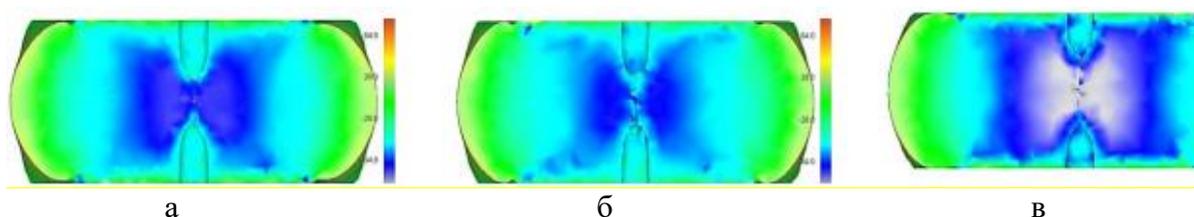


Рисунок 4 – Гидростатические напряжения при осаждении четырехлучевых заготовок:

а –  $d/D = 0,75$ ; б –  $d/D = 0,80$ ; в –  $d/D = 0,85$

Исследован новый способ осаждения четырехлучевых заготовок с углом граней  $150^\circ$  и разными глубинами этих граней. По результатам исследования установлены НДС заготовки закономерности изменения размеров осевого отверстия в процессе осаждения. Анализ полученных результатов позволил установить эффективные рекомендации процесса осаждения и его преимущества перед существующим способом деформирования.

Заковка отверстия начинает происходить при деформации 10 %. Максимальная ковка отверстия происходит после осаждения на 65 % для относительной глубины граней 15... 20 %

от диаметра заготовки. Вогнутые грани величиной 15 % от диаметра заготовки приводят до возникновения в теле заготовки сжимающих напряжений после осаждения на 55 %. Кроме этого, в осевой зоне четырехлучевой заготовки для указанных параметров возникают максимальные деформации, которые будут способствовать заковыванию внутренних дефектов. Повышение уровня деформация при осаждении четырехлучевых заготовок приводит к повышению величины сжимающих напряжений в теле поковки.

#### Список использованных источников

1 Повышение качества поковок на основе осадки заготовок с вогнутыми гранями. / О. Марков [и др. ] // Восточно-Европейский журнал корпоративных технологий. – 2018. – №5. – С. 16–24.

2 Критерии усадочной пористости и оптимизированная конструкция 100-тонного поковочный слиток 30X2H4MФ / Ван Дж [и др. ] // Матер. Дизайн. – 2012. – №35. – С. 446–456.

3 Критерий закрытия пустот в крупных слитках при горячей штамповке / Чжан Х-Х [и др. ] // J Mater Process Tech. – 2009. – №209(4). – С. 1950–1959.

4 Добжански, Л. А. Влияние режимов горячей обработки на структуру высокомарганцевых аустенитных сталей. / Л. А. Добжански, В. Борек, А. Грайчар // Журнал достижений в области материалов и технологии производства. – 2008. – № 29. – С. 139–142.

5 Исследование зарядной комбинации на основе. Правило подбора массы партии для энергосбережения при ковке / З. Байцин [и др. ] // Математические проблемы в технике. – 2015. – С. 1–9.

6 Амели, А. Параметрическое исследование остаточных напряжений и ковочной нагрузки в холодном радиальном процессковки / А. Амели, М. Р. Моваххеди // IntJ Adv Manuf Tech. – 2007. – № 33 (1–2). – С. 7–17.

7 Ф. Хиппенстиль Последние разработки в области зубчатых сталей для использования на электростанциях. / Ф. Хиппенстиль, К. –П. Иоганн // Встреча Forgemasters, Сантандер. – Испания. – 2008.