

2. При обкочуванні труб найбільші значення інтенсивностей напружень, деформацій та ресурсу пластичності виникають при зменшенні кроку k обкочування (рис. 14-16).

3. Розроблено технології та оснащення для виготовлення трьохзахідних гвинтоподібних труб з використанням оправки з трьохзахідною різьбою та роликів.

4. Значної різниці в НДС при виготовленні одно- та трьохзахідних гвинтоподібних труб не спостерігається (див. рис. 5-7).

Список літератури: 1. Демчук Л.В. Теплоаеродинамічна ефективність гвинтоподібних труб з рівно розвиненою поверхнею / Л. В. Демчук, В.А. Рогачов, О.М. Терех, О.І. Руденко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий – 2011 – №5/8 (53) – С. 26-29. 2. Письменний Є.М. Теплообмін пучків труб з рівно розвиненою поверхнею/ Є.М. Письменний, В.А. Рогачов, О.М. Терех, В.І. Коньшин, Д.С. Омельчук // Восточно-Европейский журнал передовых технологий – 2013 – №1/8 (61) – С. 30-33. 3. Пат. 2121405 РФ, МКИ В 21 D 15/04. Способ изготовления винтовых деталей и устройство для его осуществления. Заявл. 20.12.1995; Опубл. 10.11.1998, – 6 с. 4. Маковей В.О. Профілювання гвинтоподібних труб обкочуванням / В.О. Маковей, Ю.П. Бородій, А.В. Кліско, П.Ю. Проценко // Вісник Київського політехн. ін-та. Машинобудування. – 2010. – №60. – С. 55-60. 5. Маковей В.О. Исследование локального деформирования трубы при профилировании винтовых канавок / В.О. Маковей, П.Ю. Проценко // Вестник Национального технического университета «ХПИ». – 2011. – №46. – С. 107-115. 6. Маковей В.О. Моделювання процесу профілювання канавок на трубах роликів обкочуванням / В.О. Маковей, П.Ю. Проценко // Вісник Київського політехн. ін-та. Машинобудування. – 2011. – №62. – С. 203-206.

Надійшла до редколегії 28.10.2013

УДК: 21.983.3.001 – 621.983.7.004

Особливості профілювання одно- та трьохзахідних гвинтоподібних труб / Маковей В. О., Проценко П. Ю. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2013. – № 43 (1016). – С. 153–162. Бібліогр.: 6 назв.

Проведено моделювання декількох варіантів обкочування роликом одно- і трьохзахідних канавок на трубі з використанням програмного пакета Deform 3D. В якості профілюючих елементів для отримання канавок використовувалися ролик і оправка. Исследовано вплив різних параметрів (діаметра ролика D_p , шага винта труби k , глибини канавки h , частоти вращения оправки n) на напружено-деформоване стан труби. Предложена технология и конструкция обкатной головки для получения трехзаходной винтовой канавки на трубе.

Ключові слова: роликовое обкочування, одно- та трьохзахідні гвинтоподібні труби, напружено-деформоване стан, трьохроликова обкатна головка.

The simulation of several options roller spinning one- and three-start helical groove on the tube using a software package Deform 3D was conducted. As profiling elements for obtaining grooves were used rollers and the mandrel. The effect of various parameters (diameter roller D_p , screw pitch of the tube k , groove depth h , frequency of rotation of the mandrel n) on the stress-strain state of the tube was investigated. Proposed technology and design spinning-head to obtain three-start helical groove on the tube.

Keywords: roller spinning, one- and three-start helical tube, stress-strain state, three-roll spinning-head

УДК 621.735.36

О. Е. МАРКОВ, докт. техн. наук, проф., ДГМА, Краматорск

РАЗРАБОТКА СХЕМЫ КОВКИ ВАЛОВ С ИНТЕНСИВНЫМИ ПЛАСТИЧЕСКИМИ ДЕФОРМАЦИЯМИ

В работе исследованы схемы ковки валов с применением предварительного профилирования заготовки клиновыми бойками. Для этой схемы установлена неравномерность распределения

деформаций по сечению поковки. Правка профилированной заготовки плоскими бойками обеспечивает равномерное распределение деформаций. Максимальное значение показателя жесткости схемы напряженного состояния обеспечивается при окончательной ковке плоскими бойками профилированной заготовки.

Ключевые слова: ковка; дефекты; бойки; МКЭ; деформации; напряжения.

Введение. В тяжелом машиностроении основное внимание уделяется качеству получаемых поковок. Ультразвуковой контроль (УЗК) крупных валов обнаруживают наличие внутренних дефектов, которые не соответствуют требованиям Европейского стандарта SEP 1921 по классу D/d. Зона ослабления отраженного сигнала в центральной части вала соответствует потокораспределению металла осевой зоны в процессе осадки [1–4]. Поэтому можно предположить, что причина снижения качества крупных валов – применение осадки, которая назначается для увеличения сечения заготовки и повышения коэффициента укова [5; 6]. Основной операцией для формирования валов является кузнечная протяжка, которая более интенсивно измельчает литую структуру и способствует заковыванию осевых дефектов [7]. Протяжкой без осадки сложно накопить высокий уровень пластических деформаций в теле поковки и получить из кузнечных слитков бочки вала. Не применять осадку с целью снижения затрат на ковку с сохранением качества поковок и обеспечить возможность получения заданных размеров вала возможно за счёт применения новых схем ковки с интенсивными пластическими деформациями укороченных слитков с $H/D = 0,7 \dots 1,2$ [8; 9].

Осесимметричные поковки с удлиненной осью относятся к простым по геометрической форме поковкам, но для их ковки часто требуется применение сложных схем деформирования и применение специального инструмента. Это связано с высокими требованиями, предъявляемыми к деталям ответственного назначения. Вследствие высокой неравномерности распределения деформаций в процессе ковки валов сложно обеспечить высокую проработку литой структуры [6]. Повысить уровень пластических деформаций в поковке и равномерность их распределения возможно за счёт ковки с профилированием слитка выпуклыми клиновыми бойками. Протяжка выпуклыми бойками уменьшает удлинение, что позволяет увеличить число проходов за счёт незначительного уменьшения площади поперечного сечения при протяжке и накопить высокий уровень деформаций в теле поковки [10].

Цель работы – определение схемы ковки с интенсивными пластическими деформациями при ковке укороченных слитков выпуклыми клиновыми бойками.

Исследование проблемы. Теоретическое исследование процессов ковки с учетом разупрочнения стали в горячем состоянии проводилось с использованием метода конечных элементов [11]. Материал заготовки 34ХНМ, диаметр $D = 2000$ мм, длина 1000 мм. Температура начала ковки 1200°C . Исследуемые углы клиновых бойков 140° , 160° и 180° (плоские). Ковка заготовок производилась по схемам (табл. 1) до круглого сечения диаметром $D_k = 1265$ мм, что обеспечивало уков равный 2,0. По результатам

моделирования определялась неравномерность распределения деформаций по сечению поковки ($\Delta e = e_{\max} - e_{\min}$).

Ковка выпуклыми клиновыми бойками исключает образование застойных зон под деформирующим инструментом, как в случае применения плоских бойков (см. табл. 2). Применение выпуклых бойков способствует проработке поверхностных и центральных слоёв заготовки. Для угла в 140° и обжатия 35 % максимальные деформации возникают под выпуклыми бойками (см. табл. 2), глубина зоны пластической деформации незначительна. Обратная закономерность характерна для ковки плоскими бойками. В этом случае на поверхности образуются застойные зоны, а зона пластической деформации проникает глубоко к центральным слоям заготовки. Чем больше угол клина бойка, тем выше уровень деформаций в центре и больше площадь продеформированной части заготовки.

После формирования четырёхлучевой заготовки выпуклыми бойками недеформированными зонами остаются углы (рёбра заготовки), а в случае ковки плоскими – зоны, контактирующие с инструментом (табл. 2). Меньшая неравномерность распределения деформаций характерна для формирования четырёхлучевой заготовки клиновыми бойками с углом 160° .

Формирование четырёхлучевой заготовки это вспомогательная операция, которая направлена на профилирование заготовки для обеспечения при дальнейшей её обкатке в вырезных или плоских бойках равномерного распределения деформаций в осевой дефектной зоне заготовки (слитка). Заготовка с вогнутой боковой поверхностью в поперечном сечении обеспечивает podpor 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 (табл. 3). Рассмотрению не подлежат схемы, которые приводят к образованию зажимов и складок на боковой поверхности заготовки.

Таблица 1. Основные переходы получения четырёхлучевых заготовок и обкатки их на круглое сечение

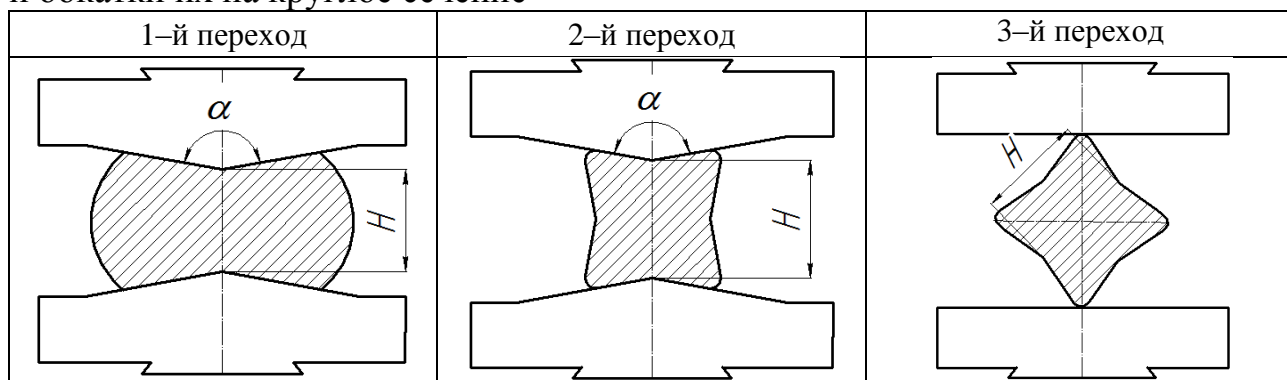
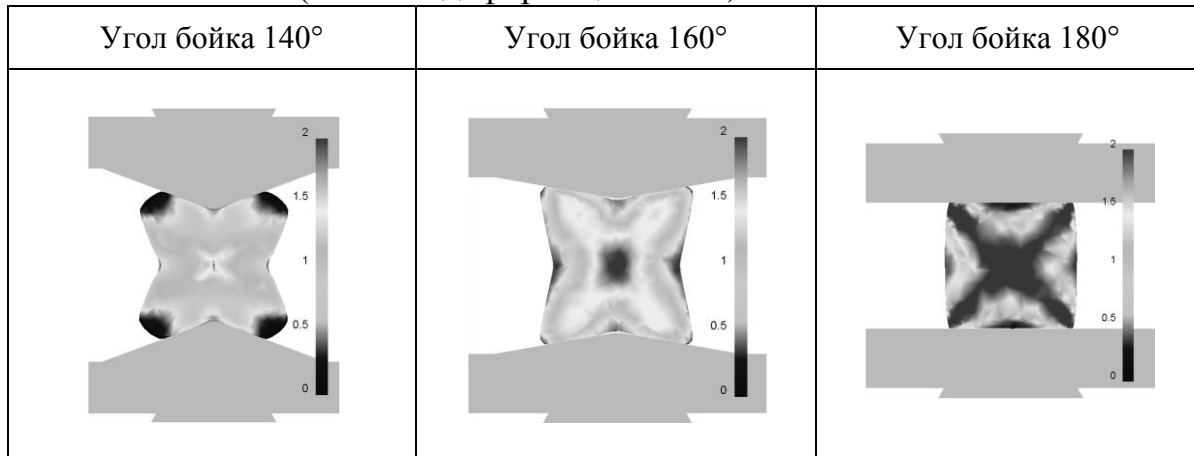


Таблица 2. Распределение интенсивности деформаций при ковке заготовок клиновыми бойками (степень деформации 35 %)

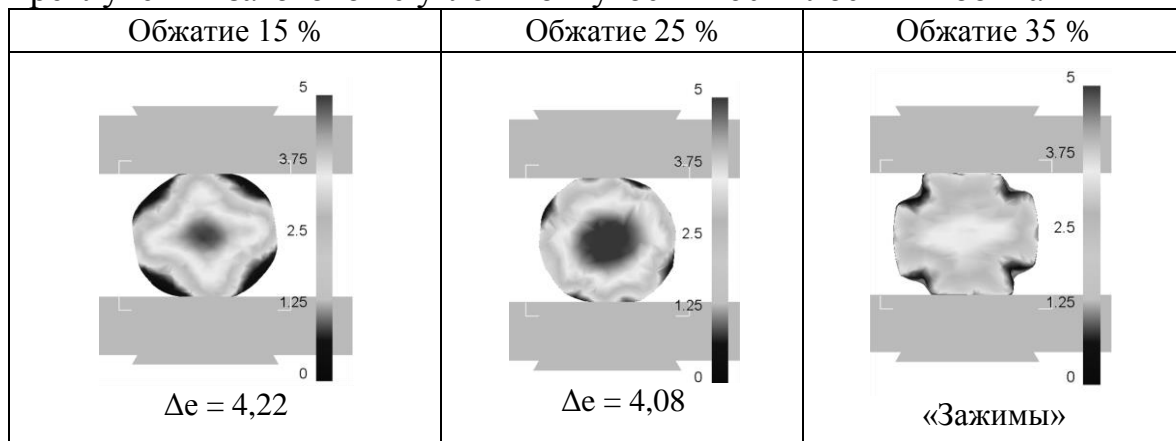


Результаты исследований. Анализ результатов моделирования позволил установить, что условию получения поверхности поковки без зажимов не отвечают схемы ковки четырехлучевых заготовок выпуклыми клиновыми бойками с углом 140° для различных степеней обжатия и способов обкатки на круглое сечение (форма бойков и вариант укладки в бойках). Можно сделать вывод, что угол клина бойков в 140° не представляет интереса для получения четырехлучевых заготовок, так как в этом случае образуются поверхностные зажимы и далее эта схема не рассматривается.

Аналогичные дефекты были отмечены для схемы получения четырехлучевой заготовки с углом вогнутостей граней 160° при степенях обжатия более 25%. Это позволяет дать рекомендацию по предельным степеням обжатия ($\epsilon \leq 25\%$) цилиндрической заготовки выпуклыми клиновыми бойками с углом в 160°. Более того, можно отметить, что схема укладки четырехлучевой заготовки «плашмя» в вырезных и плоских бойках может также приводить к образованию зажимов.

Для угла клина выпуклых бойков в 160° рациональным является способ расположения четырехлучевой заготовки в бойках по схеме «на ребро» (табл. 1).

Таблица 3. Распределение интенсивности деформаций при обкатке четырехлучевых заготовок с углом вогнутости 160° плоскими бойками



После исключения нерациональных способов получения четырёхлучевой заготовки и их обкатки остаются 19 схем ковки из 36, которые не обеспечивают образование поверхностных дефектов формы на поковке. Из этих рациональных схем ковки профилированных заготовок: 7 схем с углом вогнутости граней 160° и 12 схем с углом 180° – заготовка с квадратным поперечным сечением. Эти заготовки были обкатаны вырезными и плоскими бойками. Для выбора эффективной схемы ковки провели количественное сравнение распределения деформаций по сечению поковки для схем деформирования, которые не приводят к образованию поверхностных зажимов. Распределение деформаций определялось по диаметру поковки в зоне максимальной её неравномерности на середине ширины бойка, где присутствуют застойные зоны, контактирующие с инструментом и максимальные деформации в осевой зоне. Для угла в 160° максимальные логарифмические деформации в центральной зоне с уровнем в 6,0 единиц обеспечивает схема обкатки плоскими бойками четырёхлучевой заготовки с обжатием $\varepsilon = 25\%$ (рис. 1, линия 2). Минимальные деформации для этой схемы около 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. 1, 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. 1, линия 7).

Для угла в 180° и последующей обкатки вырезными бойками максимальные деформации, которые возникают в центральной осевой зоне с уровнем в $\approx 5,0$ единиц, обеспечивает схема протяжки с обжатием $\varepsilon = 35\%$ с укладкой «на ребро» (рис. 2, линия 3). Для этой схемы характерна высокая неравномерность распределения деформаций по диаметру поковки ($\Delta\varepsilon = 4,49$) за счёт значительной зоны затруднённой деформации в периферийной части. Минимальную неравномерность распределения деформаций для этого угла вогнутости $\Delta\varepsilon = 2,61$ при максимальном значении деформации в осевой зоне около 3,0 единицы обеспечивает укладка заготовки «плашмя» с вогнутостью $\varepsilon = 15\%$ (рис. 2, линия 4).

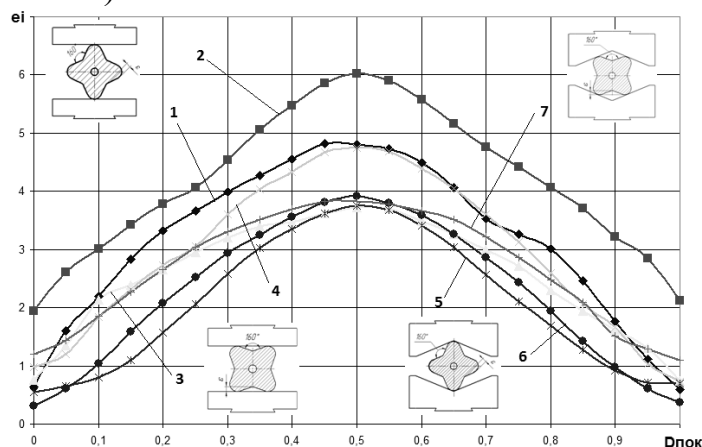


Рис. 1 – Неравномерность распределения деформаций после обкатки вырезными и плоскими бойками четырёхлучевых заготовок с вогнутостью 160° :

1, 2 – плоские бойки «на ребро», $\varepsilon = 15\%$ и 25% , соответственно;

3, 4 – плоские бойки «плашмя», $\varepsilon = 15\%$ и 25% , соответственно;

5, 6, 7 – вырезные: «на ребро» $\varepsilon = 15\%$ и 25% , «плашмя» $\varepsilon = 25\%$, соответственно

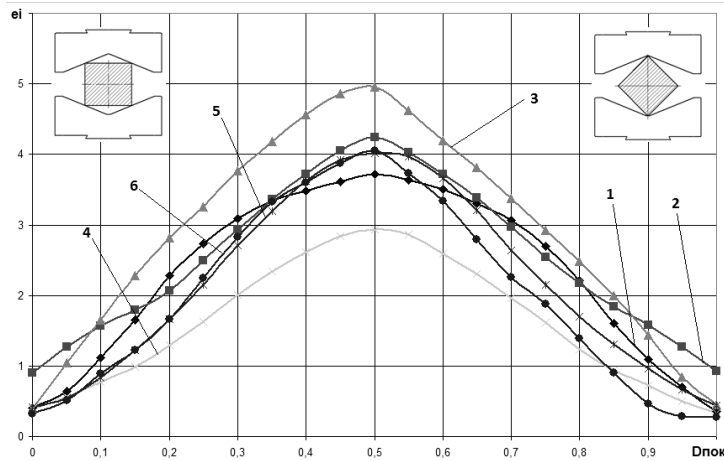


Рис. 2 – Неравномерность распределения деформаций после обкатки вырезными бойками заготовок с квадратным поперечным сечением (угол 180°):
 1, 2, 3 – укладка «на ребро», $\varepsilon = 15\%$, 25% и 35% , соответственно;
 4, 5, 6 – укладка «плашмя», $\varepsilon = 15\%$, 25% и 35% , соответственно

Для угла в 180° с последующей обкаткой плоскими бойками через квадратное и восьмигранное сечение максимальные деформации в центральной зоне с уровнем $\approx 5,5$ единиц обеспечивают две схемы с обжатием 15% и 35% с укладкой «плашмя» (рис. 3, линия 4 и 6). 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 обжатием $\varepsilon = 25\%$ (рис. 3, линия 2).

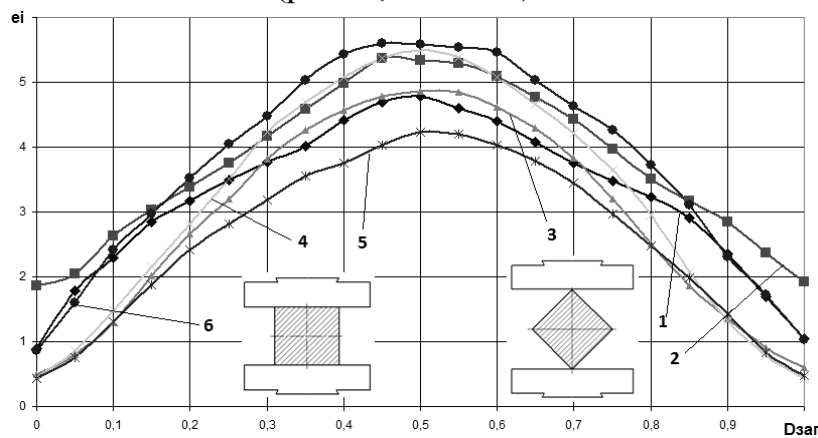


Рис. 3 – Неравномерность распределения деформаций после обкатки плоскими бойками заготовок с квадратным поперечным сечением (угол 180°):
 1, 2, 3 – укладка «на ребро», $\varepsilon = 15\%$, 25% и 35% , соответственно;
 4, 5, 6 – укладка «плашмя», $\varepsilon = 15\%$, 25% и 35% , соответственно

Из рассмотренных схем деформирования можно выделить схему ковки, которая обеспечивает равномерное распределение деформаций по сечению поковки, при этом зона интенсивной пластической деформации имеет округлую форму с максимальной площадью в поперечном сечении – четырёхлучевая заготовка с углом вогнутости и обжатием 160° и 25% , соответственно, которая обкатывается плоскими бойками, способ укладки заготовки «на ребро».

Выводы:

1. Ковка выпуклыми клиновыми бойками с углами α , равными 140° и 160° , исключает образование застойных зон под деформирующим инструментом, что способствует проработке поверхностных и центральных слоёв заготовки. Обратная закономерность характерна дляковки плоскими бойками ($\alpha = 180^\circ$), в этом случае зона пластической деформации сосредотачивается только в центральных слоях заготовки из-за наличия значительных зон затрудненной деформации со стороны действия инструмента. Профилирование заготовки выпуклыми клиновыми бойками с углом 160° на четырёхлучевую заготовку и последующая ее обкатка плоскими бойками с укладкой «на ребро» повышает уровень деформаций в центре и увеличивает площадь зоны пластической деформации за счет уменьшения размеров зоны затрудненной деформации.

2. В результате исследований установлена эффективная геометрия инструмента и технологические режимыковки, позволившие накопить высокий уровень пластических деформаций в поковке, которые послужили рекомендациями для проектирования инструмента и разработки новых технологических процессовковки укороченных слитков без осадки: угол клина бойков – $160^\circ \dots 170^\circ$, обжатие – 25 %, бойки для обкатки – плоские, способ укладки заготовки в плоских бойках – «на ребро».

Список литературы: 1. Каргин С.Б. Исследование протяжки вырезными бойками / С.Б. Каргин, Б.С. Каргин, В.В. Кухарь, О.Е. Марков // Обработка материалов давлением: сб. научн. трудов. – Краматорск: ДГМА, 2010. – № 1 (22). – С. 111-113. – ISSN 2076-2151. 2. Ковка крупных плит без осадки слитков / И. С. Алиев, О. Е. Марков, В. М. Олешко, И. Г. Савчинский // Металлург. – Москва, 2004. – Спецвыпуск – С. 35–37. 3. Соколов Л. Н. Ковка крупных поковок без осадки слитков / Л. Н. Соколов, О. Е. Марков, В. М. Олешко // Тяжелое машиностроение. – Москва, 2006. – № 3. – С. 19–21. 4. 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. – ISSN 2076-2151. 5. Markov O. Investigation of the New Technological Process of Forging Large Shafts without Upsetting / O. Markov, V. Oleshko, V. Zligorev // METAL 2012: Proceedings on CD-ROM. – Brno, Czech Republic, 2012. – ISBN 978–80–87294–29–1. Available on Web site : <http://www.metal2012.com>. 6. Опытковки крупногабаритных плит большой толщины / Л.П. Белова, Б.М. Шлякман, Ю.И. Рыбин, Л.О. Комова // КШП. ОМД – Москва, 2001. – №10. – С.7 – 10. 7. Марков О. Е. Эффективная схемаковки крупных слитков с использованием кузнечной протяжки / О. Е. Марков // КШП. ОМД. – Москва, 2011. – № 8. – С. 44–48. 8. Марков О. Е. Исследование укороченных кузнечных слитков с направленной кристаллизацией / О. Е. Марков // Металл и литьё Украины. – Киев, 2012. – № 7. – С. 12–16. 9. Пат. 21205 Україна, МПК В 22 D 7/06. Виливниця для відливання зливків. / Марков О. Є. Заявл. 12.05.06.; Опубл. 15.03.07. Бюл. №3. 10. Марков О.Е. Внедрение энергосберегающего технологического процессаковки крупных слитков без осадки / О.Е. Марков, В.М. Олешко, В.Н. Злыгорев, И.А. Грачев // КШП ОМД. – Москва, 2011. – № 10. – С. 33–36. 11. Марков О.Е. Установление аналитической связи между напряжениями и скоростями деформаций для моделирования процессов горячего деформирования / О.Е. Марков // КШП ОМД. – Москва, 2012. – № 7. – С. 32–37.

Надійшла до редколегії 27.10.2013

УДК 621.735.36

Разработка схемыковки валов с интенсивными пластическими деформациями / Марков О. Е. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення у сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2013. – № 43 (1016). – С. 162–169. Бібліогр.: 11 назв.

У роботі досліджено схеми кування валів з застосуванням попереднього профілювання заготовки клиновими бойками. Для цієї схеми встановлена нерівномірність розподілу деформацій по перерізу поковки. Правка профільованої заготовки плоскими бойками забезпечує рівномірний

розподіл деформацій. Максимальне значення показника жорсткості схеми напруженого стану забезпечується при остаточному куванні плоскими бойками профільованої заготовки.

Ключові слова: ковка; дефекти; бойки; МСЕ; деформації; напруги.

The schemes of forging shafts with preliminary of a profiling workpiece by wedge dies were investigated. The non-uniform of strain distribution in the transverse cross-section of the forgings was determined. The forging of the profiling workpiece by flat ensures the uniform strain distribution. The maximal value of the parameter of the stress state scheme was provided at the final forging the profiling workpiece by flat die.

Key words: forging; defects; dies; FEM; strain; stress.

УДК 621.771.26.001

В. С. МЕДВЕДЕВ, докт. техн. наук, гл. науч. сотруди́ник, ГП «УкрНТЦ «Енергосталь», Харків;

Е. В. БАЗАРОВА, асистент, ДонГТУ, Алчевск;

А. А. ЧИЧКАН, канд. техн. наук, зам. нач. сортопрокатного цеха, ПАО «АМК», Алчевск;

В. А. ШПАКОВ, канд. техн. наук, доц., ДонГТУ, Алчевск.

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ КАССЕТ С НЕПРИВОДНЫМИ ВЕРТИКАЛЬНЫМИ ВАЛКАМИ ДЛЯ ЧИСТОВЫХ КЛЕТЕЙ СОРТОВЫХ СТАНОВ

Представлен анализ результатов математического моделирования напряженно-деформированного состояния (НДС) кассеты с неприводными валками чистовой клетки 580 стана 600 с использованием метода конечных элементов и деформационной модели прочности металла. Определено влияние изменения диаметра неприводных вертикальных валков и температуры прокатываемой полосы на НДС кассеты. Отмечено, что по прочностным характеристикам конструкция кассеты удовлетворяет условию прочности. Однако в реальных условиях работы прокатного стана жесткость конструкции кассеты в горизонтальной плоскости недостаточна, что приводит к разнотолщинности готового проката. В результате моделирования НДС элементов кассеты разработаны мероприятия по ее модернизации.

Ключевые слова: кассета с неприводными вертикальными валками, напряженно-деформированное состояние, двутавровая балка, качество готовой прокатной продукции.

Введение. Повышение качества сортового проката, снижение материальных и энергетических затрат на его производство является одной из основных проблем повышения эффективности работы прокатных станов и обеспечения конкурентоспособности готовой продукции. Особенно остро эта проблема стоит при производстве двутавровых балок и швеллеров с параллельными полками на сортовых станах, в составе которых отсутствуют универсальные клетки. Прокатка профилей с параллельными полками на таких станах осуществляется в клетях дуо или трио с применением кассет с неприводными вертикальными валками [1].

В Украине по такой технологии производятся двутавровые балки на крупносортовых станах ПАО «АМК» и ПАО «МК «АЗОВСТАЛЬ». Повышение точности профилей на этих станах достигается стабилизацией температурно-