

Выводы. Предложена методика расчета микроструктуры металла в процессе горячего пластического деформирования. Проведен расчет микроструктуры поковки из стали Mn18Cr18N полученной осадкой. Установлено, что разность размеров зерна в поковке достигает до 3 раз.

Список литературы: 1. *Dobrzański L.A.* Influence of hot-working conditions on a structure of high-manganese austenitic steels / *L.A. Dobrzański, A. Grajcar, W. Borek* // Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering. – VOLUME 29. ISSUE 2. August 2008, pp. 139–142. 2. *Mirzadeha H.* EBSD study of a hot deformed austenitic stainless steel / *H. Mirzadeha, J.M. Cabreraa, A. Najafizadehb, P.R. Calvillo* // Materials Science and Engineering A 538 (2012) pp. 236–245. 3. *Xuyue Yang* Isochronal Annealing Behavior of Magnesium Alloy AZ31 after Hot Deformation / *Xuyue Yang, Hiromi Miura, Taku Sakai* // Materials Transactions, Vol. 46, No. 12 (2005) pp. 2981 to 2987. 4. *Барыкин Н.П.* Влияние технологических параметров радиально-сдвиговой прокатки на структуру стали 45 / *Н.П. Барыкин, Н.В. Лопатин* // Кузнечно-штамповочное производство, 2007, №4 – С. 17–20. 5. *Wen-wu HE* Simulation and Analysis on Microstructure Evolution of Large Generator Retaining Ring during Multi-fire Forging / *Wen-wu HE, Jian-sheng LIU, Hui-qin CHEN, Hui-guang Guo* // Advanced Materials Research Vols. 97-101 (2010) pp 176–181

Bibliography (transliterated): *Dobrzański L.A.* Influence of hot-working conditions on a structure of high-manganese austenitic steels *L.A. Dobrzański, A. Grajcar, W. Borek* Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering. – VOLUME 29. ISSUE 2. August 2008, p. 139–142. 2. *Mirzadeha H.* EBSD study of a hot deformed austenitic stainless steel *H. Mirzadeha, J.M. Cabreraa, A. Najafizadehb, P.R. Calvillo* Materials Science and Engineering A 538 (2012) p. 236–245. 3. *Xuyue Yang* Isochronal Annealing Behavior of Magnesium Alloy AZ31 after Hot Deformation *Xuyue Yang, Hiromi Miura, Taku Sakai* Materials Transactions, Vol. 46, No. 12 (2005) pp. 2981 to 2987. 4. *Bary'kin N.P.* Vliyanie texnologicheskix parametrov radial'no-sdvigovoj prokatki na strukturu stali 45 *N.P. Bary'kin, N.V. Lopatin* Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo, 2007, No4 – P. 17–20. 5. *Wen-wu HE* Simulation and Analysis on Microstructure Evolution of Large Generator Retaining Ring during Multi-fire Forging *Wen-wu HE, Jian-sheng LIU, Hui-qin CHEN, Hui-guang Guo* Advanced Materials Research Vols. 97-101 (2010) p. 176–181.

Поступила (received) 28.10.2014

УДК. 621.771.63

А. С. ЗАБАРА, аспирант НТУ «ХПІ»

МЕТОДИКА ТРЕХМЕРНОГО МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ГНУТЫХ ПРОФИЛЕЙ ЗАМКНУТОГО СЕЧЕНИЯ

В статье разработана методика трехмерного математического моделирования гнутых профилей замкнутого сечения методом осадки трубной заготовки, обеспечивающая получение качественных профилей. Модель методом конечных элементов позволяет рассчитать геометрию формоизменения трубной заготовки по всем проходам, определить параметры напряженно-деформированного состояния трубы в любой точке и в любой момент времени.

Ключевые слова: гнутый профиль замкнутого сечения, калибровка, конечно-элементная модель, осадка трубы.

Введение. Современный уровень развития строительства в Украине требует применения новых высокоэкономичных профилей. Одним из видов таких профилей являются гнутые профили замкнутого сечения.

В литературе отсутствуют данные, позволяющие разработать технологию производства гнутых профилей замкнутого сечения, поэтому для расширения сортамента производимых в Украине профилей, необходимо выполнить анализ процесса формообразования, который обеспечит создание технических основ для организации их производства [1].

Ansys Ls-dyna позволяет моделировать процесс формообразования гнутых профилей замкнутого сечения, при этом отсутствуют ограничения по форме и размерам заготовки в отличие от теоритических расчетов.

Моделирование процессов ОМД в программе Ansys Ls-dyna позволяет определить все необходимые параметры напряженно-деформированном состоянии металла в любой точке и в любой момент времени [2].

Реализация указанной методики значима и актуальна, поскольку позволит повысить как объемы производства, так и потребления в стране и, тем самым, конкурентоспособность отечественной экономики.

Анализ последних исследований и литературы. Анализ научно-технической литературы показал, что при изготовлении гнутых профилей замкнутого сечения мало данных о напряженно-деформированном состоянии металла при осадке трубной заготовки в универсальных четырехвалковых калибрах. Установлено, что определение напряженно-деформированного состояния сводится к трехмерному математическому описанию процесса [3].

В работах выполненных ранее [3-4], при математическом моделировании процесса формообразования гнутых профилей замкнутого сечения с помощью программного продукта DEFORM, каждый проход рассчитывался отдельно. Использование программного продукта Ansys Ls-dyna, позволяет моделировать непрерывный процесс формообразования в трех калибрах, определять более точную геометрии по перечному сечению готового профиля, а также позволяет провести более точный анализ достоверности полученных результатов.

Для выявления уровня достигаемых деформаций и возможной потери устойчивости полок гнутых профилей замкнутого сечения, необходимо провести анализ напряженно-деформированного состояния с использованием программного продукта Ansys Ls-dyna [2]. При осадке исходной трубной заготовки построение математической модели сводится к описанию начальных и граничных условий, а также выбору системы уравнений, описывающих напряженно-деформированное состояние металла.

Цель исследований, постановка проблемы. Цель настоящей работы является разработка методики трехмерного математического моделирования гнутых профилей замкнутого сечения методом осадки трубной заготовки.

В соответствии с поставленной целью в работе решены следующие основные задачи:

- выполнено построение расчетной модели трубной заготовки и калибров валков;
- выполнено построение конечно-элементной (КЭ) модели процесса;
- определены контактные параметры процесса, введены ограничения и нагрузки, действующие на модель;
- проведен анализ результатов исследований.

Построение расчетной модели трубной заготовки и калибров валков. Для лучшей наглядности и достоверности получаемых результатов, а также для получения более точной геометрии по перечному сечению готового профиля, моделировали непрерывный процесс формообразования ГПЗС одновременно во всех универсальных четырехвалковых клетях стана.

Исходя из принятых размеров и упрощений физической модели создается геометрическая модель, состоящая из набора объемов связанных между собой.

Моделирование начиналось с построения исходной трубной заготовки и прокатных роликов.

Построение исходной трубной заготовки выполнялось путем вытягивания окружности заданного радиуса и заданным центром.

Для построения геометрии твердотельной модели калибров, разрабатывался макрос, содержащий команды программного пакета Ansys Ls-dyna (операции вытягивания, вращения и копирования), что позволило выполнить параметрическое моделирование калибров валков путем объединения макросов в единую программу.

Сечение калибра строили таким образом, чтобы поверхность была ограничена четырьмя линиями. Это делалось для дальнейшего построения упорядоченной КЭ сетки с целью получения более точных результатов.

Построение калибров выполнялось путем пересечения поверхностей кругов заданного радиуса с заданным центром. Полученные поверхности калибров вращались вокруг соответствующей оси, тем самым превращаясь в объемы.

Конечно-элементная (КЭ) модель процесса. Необходимые типы элемента выбираем из библиотеки типов элемента в Ansys Ls-dyna. Анализ научно-технической литературы показал, что при решении трехмерных задач ОМД в большинстве используются типы элемента Solid 164 и Shell 163 [2].

Для моделирования процесса формообразования ГПЗС выбираем тип элемента Shell 163. Такой тип элемента позволяет уменьшить время расчета и устойчив к воздействию больших деформаций. Тип элемента Shell 163 представляет собой 3-х или 4-х узловой трехмерный оболочечный элемент с возможностями определения мембранных свойств.

Для трубной заготовки модель материала – билинейный изотропный. Билинейная изотропная модель материала используется для описания упругопластических деформаций. Кривая модели состоит из двух элементов – упругой составляющей и пластической составляющей.

Для роликов модель материала – твердый материал. Используется для определения твердого (недеформированного) материала.

Создание КЭ сетки возможно в виде тетраэдров или параллелепипедов. Учитывая, что тип элемента Shell 163, тело исходной трубной заготовки и тела роликов представляют собой оболочку, то есть толщина значительно меньше других размеров (длина, диаметр), применяем параллелепипеды.

Для исходной трубной заготовки разбиение создавали таким образом, чтобы по толщине умещалось 2 КЭ.

Разбиение поверхностей на КЭ представлено рис. 1.

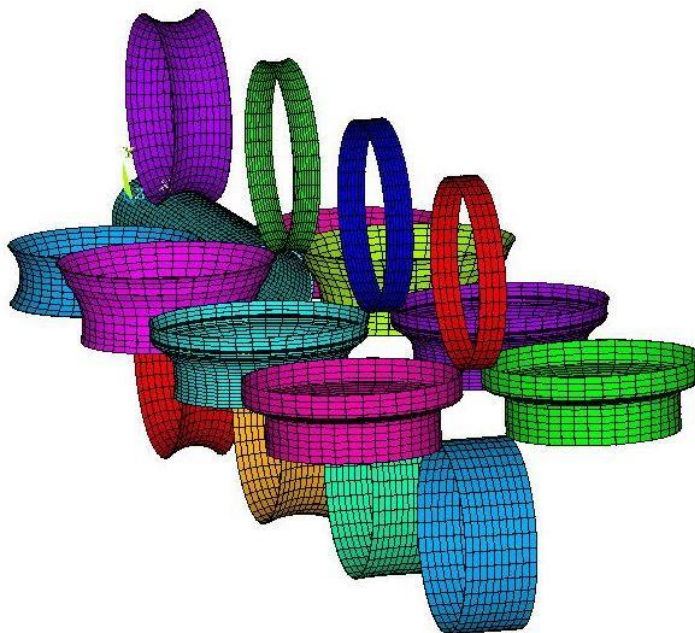


Рис. 1 – Разбиение поверхностей валков и заготовки на КЭ перед началом расчета процесса формообразование гнутого профиля замкнутого сечения

После создания КЭ сетки определяем части. Каждой части соответствует определенный геометрический объект, материал и тип конечного элемента.

Определение контактных параметров процесса, введение ограничений и нагрузок, действующих на модель. Формующие ролики

ограничены от всех перемещений, разрешено только вращение в направлении плоскости процесса формообразования. На исходную плоскую заготовку ограничения не прикладываются. На ролики задавались угловые скорости, соответствующие направлению проката. Движение трубной заготовки через калибры происходит под воздействием сил трения, возникающих в процессе подгибки элементов полок, что полностью соответствует реальному процессу.

Для исключения взаимного проникновения трубной заготовки и формирующих роликов определяем условия контакта.

Условия контактного взаимодействия на базе элемента Shell 163 приняты следующим образом: трубная заготовка – формирующие ролики – Forming surface-to-surface contact (ASTS). Контакт surface-to-surface применяется для произвольно расположенных тел, которые могут иметь большие области контакта и эффективны для тел, которые подвержены большому относительному скольжению друг относительно друга.

Трение между трубной заготовкой и роликами задавали 0,12, что соответствует холодной прокатке стали с эмульсией 0,09-0,13 [5].

Вращение роликов задавали следующим образом. Угловые скорости вращения роликов рассчитывали исходя из условия, что линейная скорость движения профилируемой трубы равна 0,5 м/с:

$$W = v/r$$

где W – угловая скорость вращения роликов рад/с;

v – линейная скорость движения профилируемой трубы, м/мин;

r – радиус ролика по дну калибра, мм.

Принимаем радиус ролика по дну калибра равным 0,11 м. Тогда угловая скорость вращения роликов равна:

$$W = 0,5/0,11 = 4,54 \text{ рад/с.}$$

Результаты исследований. Анализ результатов расчета по разработанной математической модели показал фактическую форму очага деформации, конечное формоизменение гнутых профилей замкнутого сечения на переднем конце, и в установившемся процессе – энергосиловые параметры. На рис. 2–3 показаны поля напряжений и деформаций возникающих при профилировании гнутых профилей замкнутого сечения в 1–3 проходах.

Проанализируем напряженно-деформированное состояние исходной трубной заготовки между переходами. В процессе профилирования происходит формоизменение поперечных сечений заготовки, при этом в универсальных четырехвалковых клетях стана осуществляется выпрямление круглых участков полок профиля.

Полки готового профиля профилируются из круглого состояния заготовки до плоского, то есть кривизна полок профиля уменьшается до нуля, а места изгиба профилируются до радиуса готового профиля. При этом неравномерность деформаций на полках профильной заготовки сводится к минимуму путем равномерного распределения кривизны по наружной поверхности профиля в поперечном сечении заготовки.

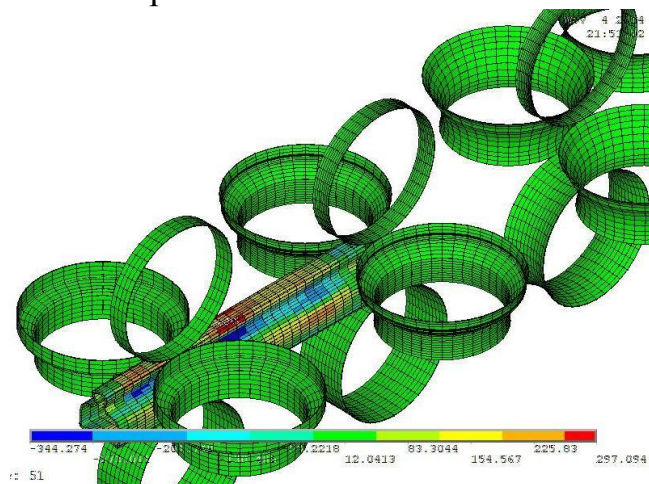


Рис. 2 – Поле продольных напряжений σ_z , при формообразовании гнутого профиля замкнутого сечения. Минимальные и максимальные значения σ_z , МПа: -344 и 297

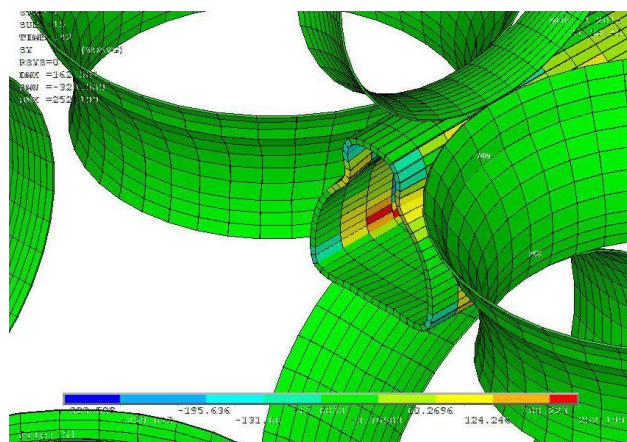


Рис. 3 – Поле напряжений в поперечном сечении σ_y , при формообразовании гнутого профиля замкнутого сечения во втором переходе. Минимальные и максимальные значения σ_y , МПа: -323 и 252

Исходная трубная заготовка подвергается деформации, как на полках, так и в местах изгиба в результате приложения внешних усилий, действующих со стороны валкового инструмента стана по наружной поверхности полок. При этом разгиб полок осуществляется путем контакта заготовки с профилегибочными валками в каждом проходе по наружным поверхностям полок профиля, а подгибаемые участки мест изгиба свободны от контакта.

Деформация трубной заготовки начинается до начала контакта с валками в каждом проходе и заканчивается за осевой плоскостью валков. Данный участок называется участок плавного перехода [5].

При входе трубы в калибр, кромка ее переднего конца соприкасается с вертикальными валками, в заготовке возникают незначительные по величине упругие напряжения. После встречи переднего конца стенки трубы с горизонтальными валками начинается осадка трубы, т.е. процесс формоизменения и образования части очага деформации, которая находится перед осевой плоскостью валков.

Форма поперечного сечения трубы изменяется, приближаясь к конфигурации, определяемой калибром валков данной универсальной четырехвалковой клетки. При этом разгиб полок профиля приводит к тому, что на их наружной поверхности металл в поперечном направлении сжимается, а внутренней поверхности растягивается.

Формообразование угловых зон происходит в условии внеконтактной деформации, то есть, радиус закругления не задан калибровкой. При этом в угловых зонах профиля на их наружной поверхности металл в поперечном направлении растягивается, а внутренней поверхности сжимается.

Таким образом, происходит процесс неравномерного напряженно-деформированного состояния по периметру заготовки, обеспечивающий заданную конфигурацию калибром.

Анализируя напряженно-деформированного состояния можно отметить, что явно выраженные скачки деформаций соответствуют прохождению трубы по проходам, при этом превышает предел перехода в пластическое состояние. Максимальные напряжения возникают на внутренней поверхности углов профиля.

Равномерное распределение кривизны мест изгиба в клетях стана позволило получить качественный готовый профиль за счет исключения дефекта прогибов полок с переформовкой мест изгиба.

Опробование изготовления профиля показало приемлемость разработанной методики трехмерного математического моделирования гнутых профилей замкнутого сечения методом осадки трубной заготовки. Анализ качества полученных профилей подтвердил рациональность принятой методики и режимов формовки.

Выводы. Разработана математическая модель упругопластического напряженно-деформированного состояния металла при профилировании ГПЗС в универсальных четырехвалковых калибрах. Определено напряженно-деформированное состояние металла при профилировании ГПЗС в универсальных четырехвалковых калибрах. Установлено, что при формообразовании ГПЗС происходит процесс неравномерного напряженно-

деформированного состояния по периметру заготовки, обеспечивающий заданную конфигурацию калибром. Установлено, что наиболее нагруженным участком ГПЗС, является угловая зона. Разработанная методика трехмерного математического моделирования гнутых профилей замкнутого сечения внедрена на ООО «Иприс-Профиль» и обеспечивает точное выполнение размеров профилей.

Список литературы: 1 Плеснецов Ю. А. Анализ современного состояния производства и применения профильных труб / Ю. А. Плеснецов, А. С. Забара // Збірник наукових праць [Полтавського національного технічного університету ім. Ю. Кондратюка]. Сер. : Галузеве машинобудування, будівництво . – 2013. – Вип. 2. 2 Илюшкин М.В. Моделирование процессов обработки металлов давлением в программе Ansys/Ls-dyna. Учебное пособие / М.В. Илюшкин – Ульяновск: УлГУ, 2013 – 112 с. 3 Данченко В.Н. Разработка технологической схемы производства прямоугольных труб высокой точности на основе математического моделирования / В.Н. Данченко, В.В. Бояркин, Х. Дыя // Производство проката. 2005. № 2. С. 17-20. 4. Забара А.С. Моделирование процесса формообразования специальных гнутых профилей замкнутого сечения / Забара А.С., Плеснецов Ю.А. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2012. – № 46 (952). – С. 40-44. 5. Осадчий В.Я. Технология и оборудование трубного производства / Осадчий В.Я., Вавилин А.С., Зимовец В.Г., Коликов А.П. – М.: «Интернет Инжиниринг» 2001 – 608 с.

Bibliography (transliterated): 1 Plesnetsov Yu. A. Analiz sovremennogo sostoyaniya proizvodstva i primeneniya profil'nyh trub Yu. A. Plesnetsov, A. S. Zabara Zbirnik naukovih prac' [Poltavs'kogo nacional'nogo tehnicnogo universitetu im. Yu. Kondratyuka]. Ser.: Galuzeve mashinobuduvannya, budivnictvo . – 2013. – Vip. 2. 2 Ilyushkin M.V. Modelirovanie processov obrabotki metallov davleniem v programme Ansys/Ls-dyna. Uchebnoe posobie M.V. Ilyushkin – Ul'yanovsk: UIGU, 2013 – 112 p. 3. Danchenko V.N. Razrabotka tehnologicheskoy shemy proizvodstva pryamougol'nyh trub vysokoy tochnosti na osnove matematicheskogo modelirovaniya V.N. Danchenko, V.V. Boyarkin, X. Dyya Proizvodstvo prokata. 2005. No 2. P. 17–20. 4. Zabara A.S. Modelirovanie processa formoobrazovaniya special'nyh gnutyh profilej zamknutogo secheniya Zabara A.S., Plesnetsov Yu.A. Visnik NTU «HPI». Seriya: Novi rishennya v suchasniy tehnologiyah. – Kharkiv: NTU «HPI». – 2012. – No 46 (952). – P. 40–44. 5. Osadchij V.Ya. Tehnologiya i oborudovanie trubnogo proizvodstva Osadchij V.Ya., Vavilin A.S., Zimovec V.G., Kolikov A.P. – Moscow: «Internet Inzhiring» 2001 – 608 p.

Надійшла (received) 09.11.2014

УДК 631.173: 631.312.021: 621.771.8

В. Г. ЗАГОРЯНСКИЙ, канд. техн. наук, доц.,
А. А. ШАПОВАЛ, канд. техн. наук, доц.,
Д. В. МОСЬПАН, канд. техн. наук, доц.,
КрНУ им. М. Остроградского, Кременчуг

К ВОПРОСУ О МИНИМИЗАЦИИ ДЕФОРМАЦИЙ ПРИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ ИЗНОСОСТОЙКОГО ПЛАКИРОВАННОГО ПРОКАТА

В статье уточнен известный расчетный метод (И.А. Рябцев с сотрудниками, ИЭС им. Е.О. Патона) определения деформации плакированного износостойкого проката при закалке. Рассмотрен случай композиции Ст3+У20Х6Т2Д (карбидная износостойкая сталь), применяемой в условиях абразивного изнашивания в сельскохозяйственном машиностроении. Уточнены результаты расчета прогиба биметаллических пластин. В модель расчета прогиба пластин, кроме температуры закалки, введены