

P A S S D E S I G N . R U



ЭЛЕКТРОННЫЙ ЖУРНАЛ
КАЛИБРОВОЧНОЕ БЮРО

ВЫПУСК 16

Разработка и внедрение
обучающих систем для
подготовки студентов ВУЗов, ССУЗов
и повышения квалификации кадров



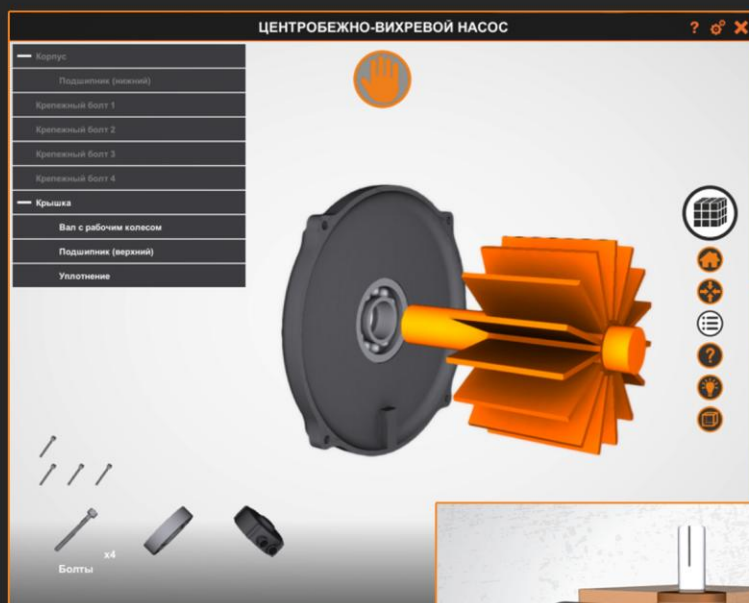
МЫ ПРЕДЛАГАЕМ ГОТОВЫЕ РЕШЕНИЯ

3D АТЛАСЫ ОБОРУДОВАНИЯ
3D СБОРКА/РАЗБОРКА
АНИМАЦИОННЫЕ ФИЛЬМЫ
ТРЕНАЖЕРЫ ИМИТАТОРЫ
ЭЛЕКТРОННЫЕ КУРСЫ
ЭЛЕКТРОННЫЕ ПЛАКАТЫ

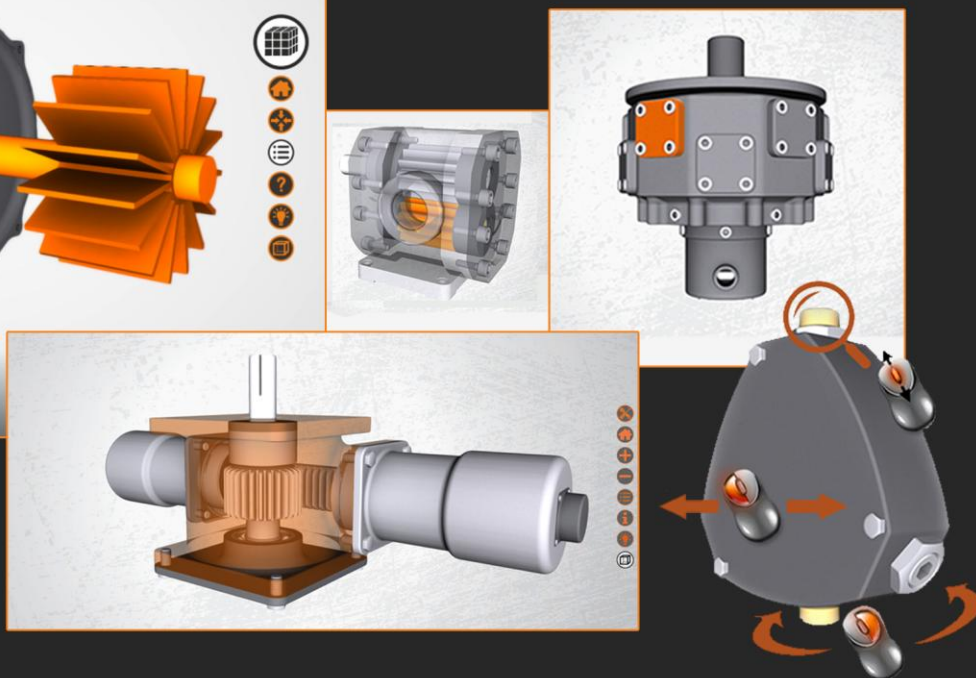
- Проблемы с текучкой кадров?
- Неоправданные затраты на обучение?
- Сотрудники долго и некачественно выполняют ремонт?

КОМПАНИЯ SIKE ПРЕДЛАГАЕТ УНИКАЛЬНОЕ РЕШЕНИЕ

ОБУЧАЮЩАЯ СИСТЕМА «ВИРТУАЛЬНЫЙ МЕХАНИК»



Быстрая подготовка
квалифицированного ремонтного
и обслуживающего персонала на
виртуальном оборудовании



Россия, г. Магнитогорск, 455023
Тел.: 8 (3519) 22-22-44, 22-04-05
E-mail: info@sike.ru
Сайт: sike.ru
Интернет-магазин: shop.sike.ru

«КАЛИБРОВОЧНОЕ БЮРО» Электронный научный журнал. Выпуск 16

Дата опубликования: 30.06.2020.

Издается в авторской редакции

УЧРЕДИТЕЛЬ И ИЗДАТЕЛЬ: Кинзин Дмитрий Иванович.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор:

Д.И. Кинзин – кандидат технических наук, доцент.

Технический редактор:

С.А. Левандовский – кандидат технических наук, доцент.

Адрес редакции: 455000, г.Магнитогорск, ул. Ломоносова, 34, 8.

Адрес в Интернет: www.passdesign.ru.

Издание зарегистрировано в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций и входит в базу данных Российского индекса научного цитирования (РИНЦ)

Свидетельство о регистрации ЭЛ № ФС 77–51759 от 23.11.2012

ISSN 2308-6440

© Кинзин Дмитрий Иванович

СОДЕРЖАНИЕ

Сортопрокатное производство	5
<i>В.В.Тюттерев, В.Ю.Рубцов</i>	
ПРОИЗВОДСТВО ШПУНТОВОЙ СВАИ ТИПА ЛАРСЕН В УСЛОВИЯХ РЕЛЬСО- БАЛОЧНОГО ЦЕХА АО «ЕВРАЗ-НТМК»	5
<i>В.В.Курочкин, В.Ю.Рубцов, П.А.Алыпов</i>	
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОКАТКИ Z-ОБРАЗНОГО АСИММЕТРИЧНОГО ПРОФИЛЯ	10
Производство специальных видов проката	15
<i>В.Ю.Рубцов, О.И.Шевченко, В.В.Курочкин</i>	
ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ КРИВЫХ ВТОРОГО ПОРЯДКА ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ША- РОПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ.....	15
Волоочильное производство	21
<i>О.С.Железков, С.Б.Лизов, Б.С.Адамчук</i>	
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВОЛОЧЕНИЯ ПРОВОЛОКИ ТРАПЕЦИЕВИДНОГО ПРОФИЛЯ В МОНОЛИТНОЙ ВОЛОКЕ	21
Сведения об авторах	25

В.В.Тютерев, В.Ю.Рубцов

АО «ЕВРАЗ Нижнетагильский металлургический комбинат»

ПРОИЗВОДСТВО ШПУНТОВОЙ СВАИ ТИПА ЛАРСЕН В УСЛОВИЯХ РЕЛЬСОБАЛОЧНОГО ЦЕХА АО «ЕВРАЗ-НТМК»

Аннотация. Шпунт корытного типа системы Ларсен в настоящий момент производится на АО «ЕВРАЗ-НТМК» в условиях цеха прокатки широкополочных балок. Прокатка из 12 пропусков в 9 калибрах сопровождается интенсивными обжатиями, напряжениями и повышенным износом валков. На проектируемом рельсобалочном стане АО «ЕВРАЗ-НТМК» существует возможность использовать 17 пропусков с целью снижения нагрузки и увеличения ресурса прокатных валков.

Ключевые слова: шпунт, рельсобалочный цех, цех прокатки широкополочных балок, валок, калибр.

С целью расширения сортамента выпускаемой продукции, на АО «ЕВРАЗ-НТМК» запланировано техническое перевооружение рельсобалочного цеха (РБЦ) с установкой группы универсальных клетей. Одним из заложенных профилей для освоения на новом стане является шпунт корытного типа системы Ларсен [1]. В настоящий момент данный профиль производится на АО «ЕВРАЗ-НТМК» в условиях цеха прокатки широкополочных балок (ЦПШБ) [2].

Для определения возможностей увеличения числа калибров и пропусков в условиях ЦПШБ, в табл. 1 представлена сравнительная характеристика стана ЦПШБ и планируемого стана РБЦ.

Таблица 1

Сравнительная характеристика станов ЦПШБ и РБЦ

ЦПШБ		РБЦ	
Обжимная клеть 1300		Обжимная клеть BD1	
Диаметр бочки валка мм	1300	Диаметр бочки валка по буртам, мм	900
Длина бочки валка, мм	2800	Длина бочки валка, мм	2300
Скорость прокатки, м/сек	6,8	Скорость прокатки, м/сек	4,2
Максимальное усилие прокатки, кН	7900	Максимальное усилие прокатки, кН	4700
Универсально-балочный стан		Обжимная клеть BD2	
BK1, BK2			
Диаметр бочки валка, мм	1250	Диаметр бочки валка, мм	1100
Длина бочки валка, мм	1300	Длина бочки валка, мм	2800
Скорость прокатки, м/сек	10	Скорость прокатки, м/сек	7,2
Максимальное усилие прокатки, кН	4500	Максимальное усилие прокатки, кН	14260
ГУК		DR1, E, DF2, UF	
Диаметр валков горизонтальных, мм	1500	Диаметр валков горизонтальных, мм	1440
Диаметр валков вертикальных, мм	1100	Диаметр валков вертикальных, мм	980
Длина бочки валка, мм	1000	Длина бочки валка, мм	1850
Скорость прокатки, м/сек	10	Скорость прокатки, м/сек	8
Максимальное усилие прокатки на горизонтальные валки, кН	6500	Максимальное усилие прокатки на горизонтальные валки, кН	6000
Максимальное усилие прокатки на вертикальные валки, кН	4000	Максимальное усилие прокатки на вертикальные валки, кН	2850

Как видно из таблицы, длина бочки обжимной клетки 1300 составляет 2800 мм, что обуславливается ограничением рабочего пространства валков и размещением 4-х калибров. Максимально возможная длина бочки горизонтальных валков на всех ГУК клетях, даже в режиме ДУО составляет 1000 мм, что ограничивает возможность клетки с расположением одного калибра на длину бочки валка, в связи с этим максимальное число калибров на всей линии прокатки равно 9-ти, а схема прокатки (рис.1) включает 12 проходов. Прокатка по данной схеме сопровождается интенсивными обжатиями, напряжениями и повышенным износом валков. Интенсивные обжатия приводят к значительным нагрузкам на двигатели. Недостаточные мощности приводов клетей (особенно ВК) приводят к невозможности производить шпунтовую сваю с шириной по осям замковой части более 500 мм, так как увеличивается размер очага деформации. Целью является создание схемы, которая позволит снизить нагрузки на калибры и увеличить ресурс прокатных валков, а так же расширить линейку производимых шпунтовых свай, наиболее востребованных на рынке.

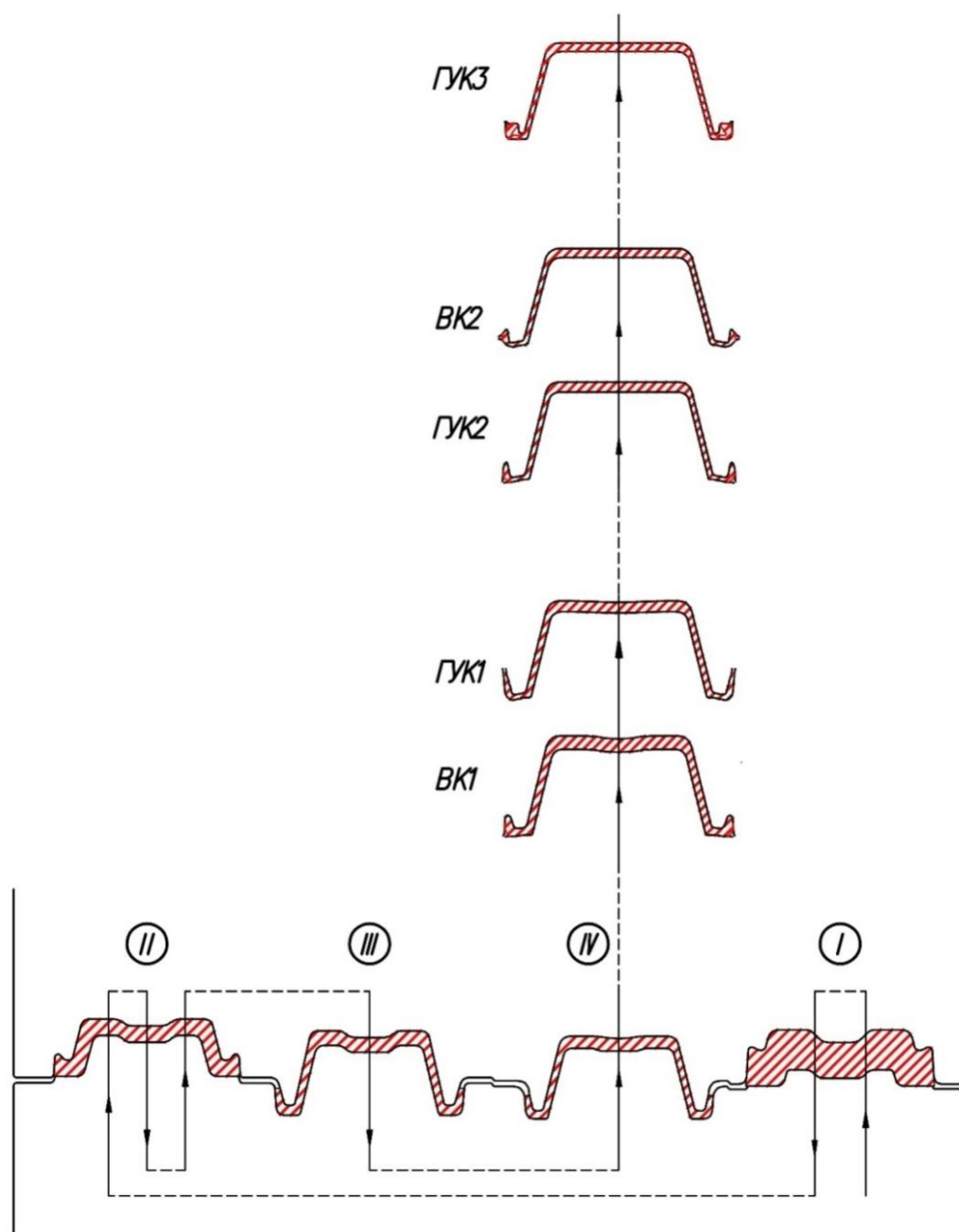


Рис. 1. Схема прокатки шпунтовой сваи в условиях ЦПШБ АО «ЕВРАЗ-НТМК»

На новом рельсобалочном стане будут присутствовать две обжимных клетки BD1 и BD2 с длиной бочек валков 2300 и 2800 соответственно, возможность которых позволяет суммарно разместить 6 калибров. Кроме этого, клетки группы «Tandem» DR1, DR2 (универсальные), E (эджерная-вспомогательная) и UF (чистовая) имеют одинаковую конструкцию и имеют возможность работать как в универсальном, так и в двухвалковом режиме при установке горизонтальных валков с длиной бочки до 1850 мм. При компоновке клеток тандем в двухвалковом режиме появляется возможность размещения по два калибра на каждую клетку. Предлагаемая схема размещения калибров в клетях группы «Tandem» и чистовой клетки представлена на рис. 2.

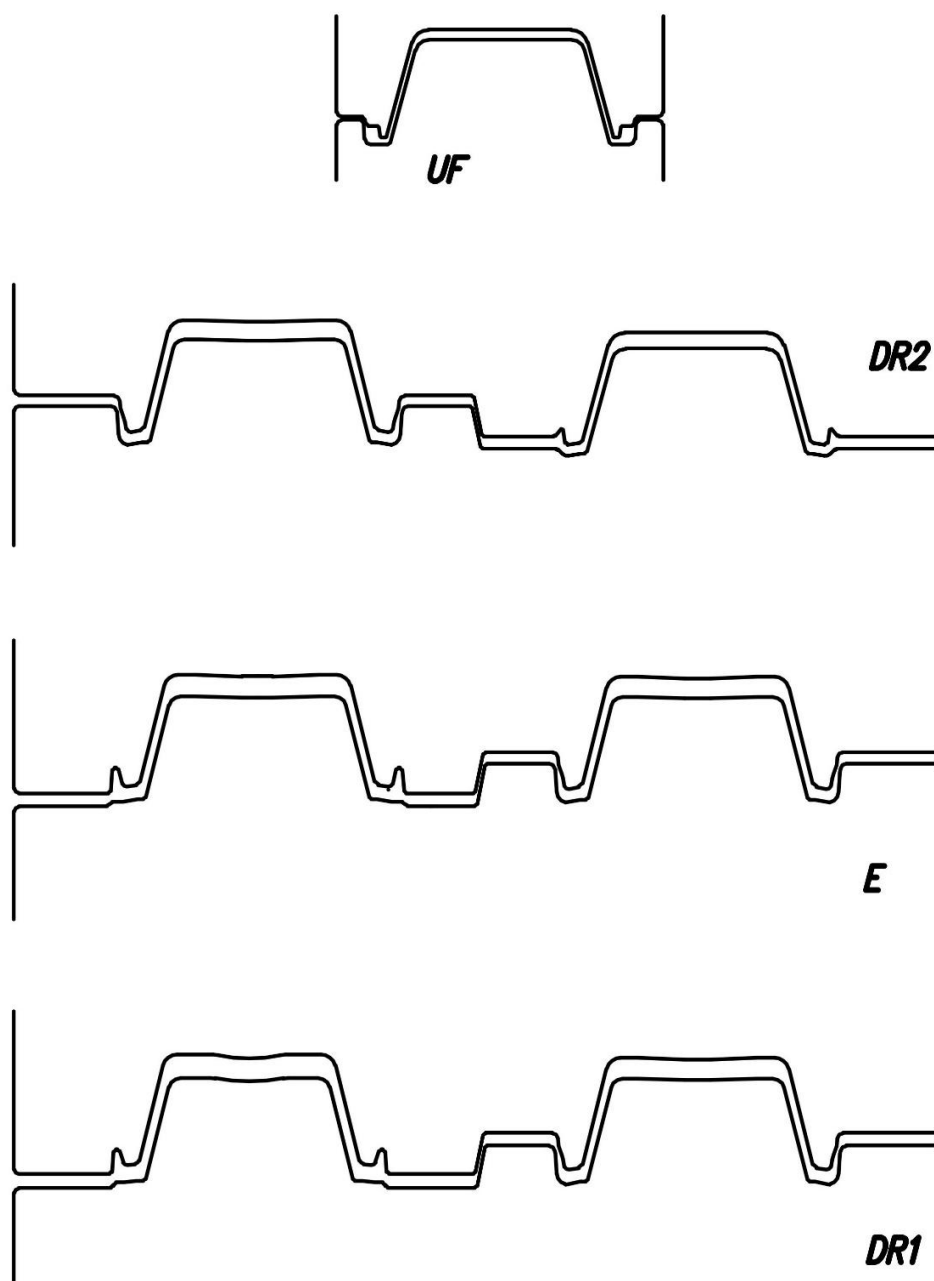


Рис. 2. Предполагаемая схема расположения калибров в группе тандем РБЦ

При данной компоновке суммарное количество калибров увеличивается с 9 до 12. Предлагается использовать схему прокатки, представленную на рис. 3, включающую 17 пропусков, работа по которой возможно значительно снизить нагрузки и увеличить ресурс прокатных валков.

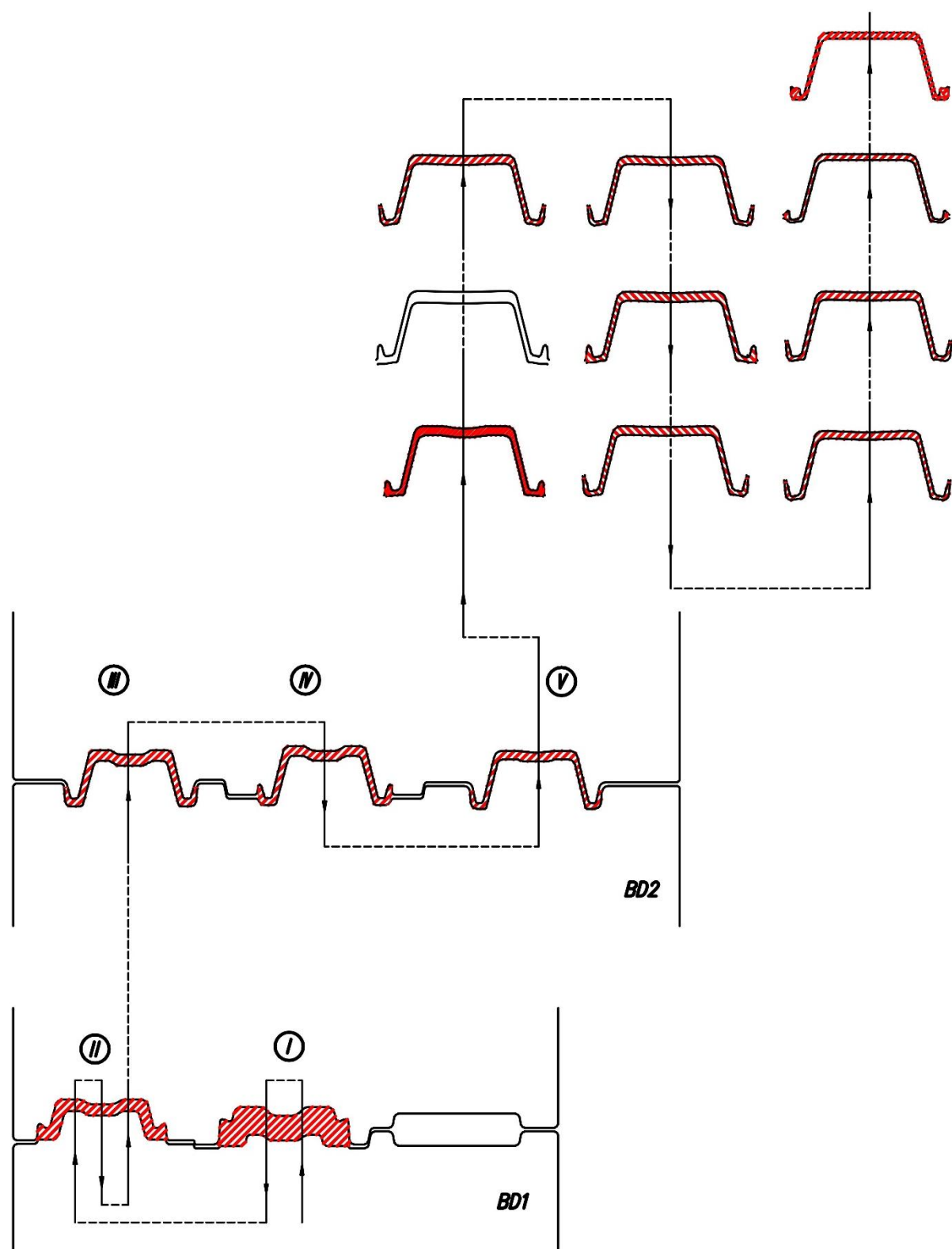


Рис. 3. Предполагаемая схема прокатки шпунтовой сваи в условиях РБЦ

Также к принципиальным различиям данных схем можно отнести количество проходов, используемых на обжимных клетях: в схеме ЦПШБ в обжимной клетке 1300 используется 7 проходов, в схеме РБЦ в обжимных клетях BD1, BD2 – 5 и 3 прохода соответственно. Данное мероприятие создаст более рациональную и компактную схему потока металла в процессе прокатки и нахождение в потоке до 4 прокатываемых заготовок одновременно, вместо 3-х в настоящий момент, прокатываемых в условиях ЦПШБ. Поэтому перенос в

дальнейшем производства шпунта на новый рельсобалочный стан является перспективным решением.

Библиографический список

1. Bustamante M., Gianceselli L. Predicting the bearing capacity of sheet piles under vertical load // In Piling and Deep Foundations. Proceeding of the 4th International Conference, 7-12 April Stresa (Italy), 1991.
2. Патент RU 2064350 C1 Способ изготовления крупногабаритного шпунтового профиля типа Ларсен. Заявка 95120065/02 04.12.1995.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

V.V.Tjuterev, V.Y.Rubtsov
EVRAZ Nizhny Tagil Metallurgical Plant

MANUFACTURING OF TYPE LARSEN SHEET PILING UNDER CONDITIONS OF RAIL AND BEAM ROLLING SHOP EVRAZ-NTMK JSC

Abstract. Type Larsen sheet piling is currently being produced at EVRAZ-NTMK JSC in conditions of wide-shelf beam rolling shop. Rolling of 12 passes in 9 roll calibres is accompanied by intense compression, stress and increased rolls wear. At designed rail and beam rolling mill of EVRAZ-NTMK JSC, it is possible to use 17 passes in order to reduce load and increase rolling rolls life.

Keywords: sheet piling, rail and beam rolling shop, wide-shelf beams rolling shop, roll, groove.

В.В.Курочкин, В.Ю.Рубцов, П.А.Алыпов
АО «ЕВРАЗ Нижнетагильский металлургический комбинат»

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОКАТКИ Z-ОБРАЗНОГО АСИММЕТРИЧНОГО ПРОФИЛЯ

Аннотация. Представлено моделирование процесса прокатки Z-образного асимметричного профиля на примере профиля хребтовой балки железнодорожных вагонов. По результатам моделирования выявлена высокая разнополярность, создаваемая от валков, которая приводит к повышенному скручиванию полосы. Согласно полученным результатам была проведена перекалибровка с перераспределением обжатий. В результате наблюдается уменьшение разнополярности при моделировании процесса по измененной калибровке. Опытная прокатка показала положительный результат с уменьшением скручиваемости полосы и сохранением требуемой геометрии профиля.

Ключевые слова: Z-образный профиль, хребтовая балка, моделирование, вагоностроительный профиль, процесс прокатки, контактное напряжение, деформация, усилие прокатки, рельсобалочный цех.

Для всех асимметричных профилей характерна векторная разнополярность моментов инерции, что приводит к скручиванию прокатываемой полосы. Аналитический анализ и расчетная модель обуславливается высокой сложностью, поэтому в данной статье представлена возможность расчета, с использованием программы Deform 3D, процессов прокатки асимметричного профиля на примере зетового профиля хребтовой балки [1, 2].

Одним из основных применений Z-образных профилей являются элементы конструкции железнодорожных вагонов. Для Z-образного профиля хребтовой балки железнодорожных вагонов, используемой как элемент конструкции шкворневого узла рамы вагона [3], характерна различная высота и толщина полок.

Зетовый профиль получают методом горячей прокатки. Чаще всего прокатку профиля производят по двум схемам: в закрытых калибрах с развернутыми полками и в открытых калибрах со свободным уширением [4]. В качестве примера для моделирования процесса прокатки была выбрана схема, используемая на рельсобалочном стане АО «ЕВРАЗ-НТМК».

Методы исследования и исходные данные

Исследования прокатки профиля проводилось в программной среде Deform 3D.

Прокатные валки были смоделированы аналогично реальным валкам станов 950, 850 рельсобалочного цеха АО «ЕВРАЗ-НТМК» в системе твердотельного моделирования SolidWorks. При моделировании не учитывались упругие деформации валков.

Исходное сечение заготовки 200x520 мм.

Материал заготовки AISI 1035 (выбрана из базы данных, наиболее близкая по параметрам к материалу заготовки 09Г2С, которая используется в реальных условиях).

Температура нагрева заготовки 1150°C.

Применимая длина заготовки 1м (в реальных условиях длина исходной заготовки составляет 4,51м).

Величина сетки 60000 элементов.

Скоростной режим соответствовал реальным условиям, включая то, что заготовка задавалась в валки спроектированным толкателем, скорость которого выбиралась исходя из скорости перемещения заготовки по рольгангам.

Результаты исследования

На рис. 1 представлены контактные напряжения, распределенные по поперечному сечению профиля в валках в момент прокатки в 4-м, 5-м и 6-м калибрах второй клетки трио и 7-м калибре чистовой клетки дуо.

Также для каждого из проходов выведены диаграммы крутящих моментов, между взаимодействующими с полосой валками.

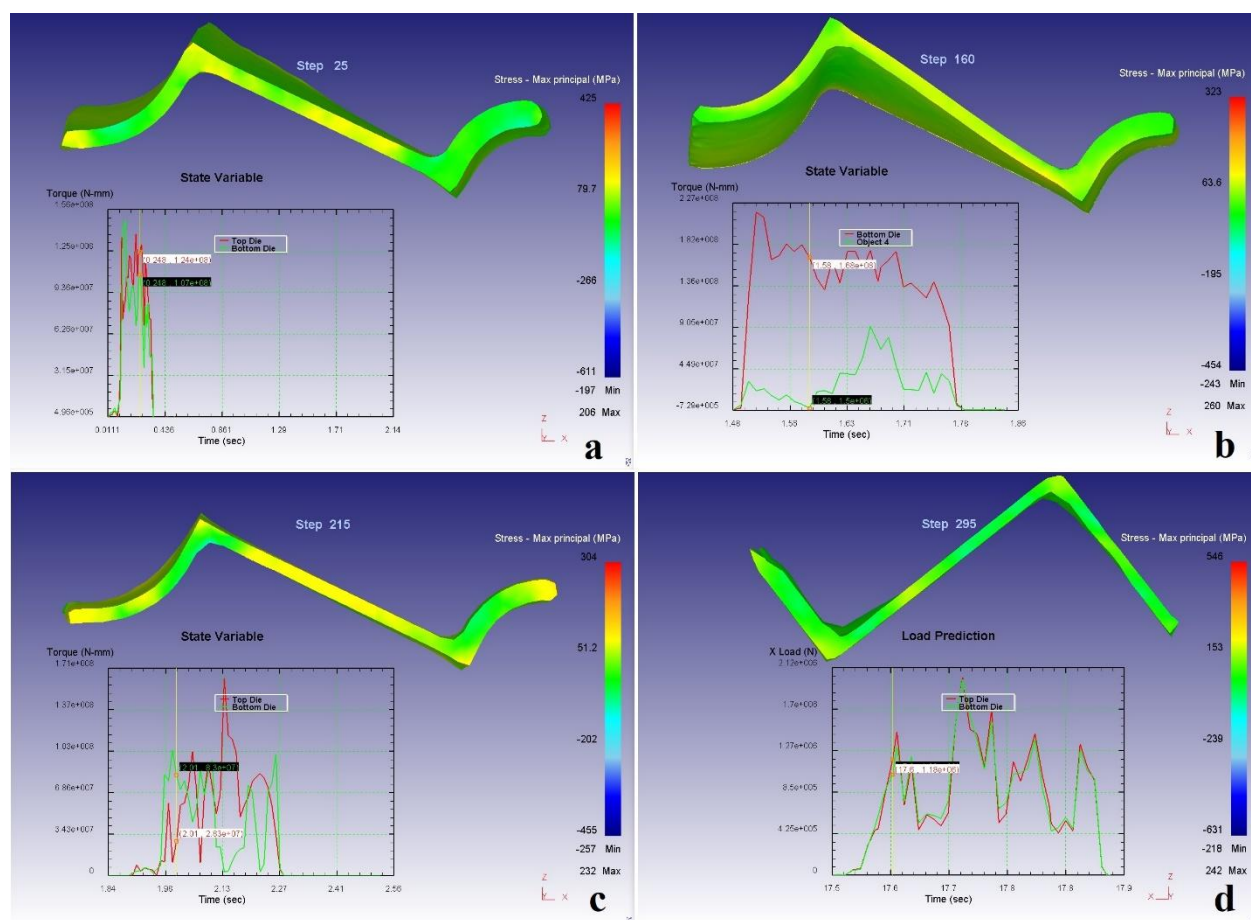


Рис. 1. Результаты моделирования в Deform:
а – в 4-м; б – в 5-м; с – в 6-м; д – в 7-м калибрах

На рис. 1 представлены контактные напряжения, распределенные по поперечному сечению профилей чистовой клетки дуо.

Также для каждого из проходов выведены диаграммы крутящих моментов на взаимодействующих с полосой валках (верхнего, среднего, нижнего).

К примеру, по данным рис. 1b можно установить, что во время прокатки в 5-м калибре создается нижнее контактное напряжение от среднего вала, что производит изгиб полосы вверх. На рис. 1c видна разнополярность моментов, что можно объяснить неустойчивостью процесса прокатки и проскальзыванием полосы то в среднем, то в нижнем валке, с поочередным изменением контактных напряжений – данный эффект возникает при малых обжатиях. В 7-м калибре клетки дуо наблюдается полная идентичность моментов от нижнего и верхнего вала, и как видно по рис. 1d контактное напряжение по всей полосе примерно одного порядка, что доказывает равномерность обжатий – это необходимое условие в чистовой клетки для получения требуемой геометрии конечного профиля. По всем калибрам заметно, что максимальное контактное напряжение возникает по стенке, при этом напряжение распределяется по всей толщине стенки, кроме того в 6-м калибре также присутствует повышенное напряженное состояние в ложных фланцах и в замковой части по краям фланцев, чем возможно также объяснить неустойчивость полосы в калибре.

Для исключения точечного давления и увеличения устойчивости полосы, было принято решение перераспределить обжатия по сварной полке и стенке, начиная с 3-го калибра рис. 2.



Рис. 2. Темплеты раската с исходного и измененного 3-го калибра

После корректировки калибровки было повторно проведено исследование МКЭ в Deform. Результаты исследований представлены на рис. 3.

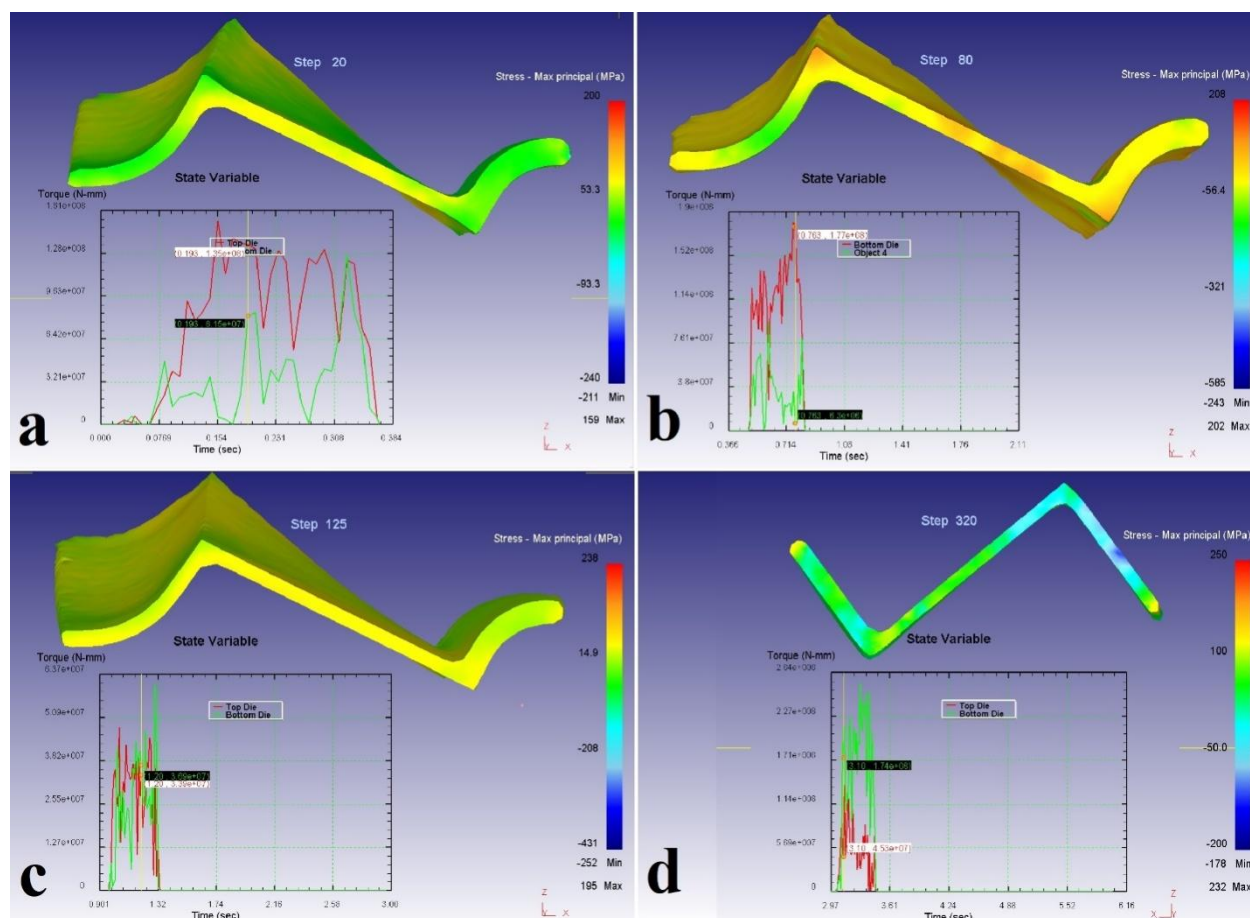


Рис. 3. Результаты моделирования скорректированной калибровки в Deform:
а – в 4-м; б – в 5-м; в – в 6-м; д – в 7-м калибрах

Согласно полученным данным, максимально-достигаемые контактные напряжения, а также средние контактные напряжения снизились, при этом увеличилась равномерность их распределения по поверхности. Момент, создаваемый на валках, по всем калибрам стал приближаться к среднему значению. Особенно ярко это наблюдается на 5-м и 6-м калибрах (рис 3b, 3c), где в отличие от ранее существующей картины (рис 1b, 1c), момент на среднем валке значительно меньше, а на верхнем и нижнем (соответственно для 5-го и 6-го калибров) выше, что уравнивает суммарное значение моментов от нижнего и верхнего валков до среднего. Как следствие, усреднение моментов от пары валков приводит к уменьшению разнополярности и снижению эффекта скручивания прокатываемой полосы, что особенно важно при прокатке ассиметричных профилей.

В ходе проведения опытной прокатки был получен положительный результат: скручивание полосы в ходе прокатки значительно уменьшилось, а размеры полученного профиля находятся в середине поля допуска ГОСТ 5267.3-90 [2] (рис. 4).



Рис. 4. Готовый профиль

Выводы

1. Программный комплекс Deform, с доверительной погрешностью позволяет производить моделирование процессов, соответствующее реальным условиям прокатки ассиметричных профилей.
2. На примере Z-образного профиля хребтовой балки была проведена корректировка калибровки и моделирование процесса прокатки по исходной и измененной калибровкам. Положительные результаты, полученные на модели с уменьшением разнополярности напряжений, были подтверждены опытной прокаткой с уменьшением скручиваемости полосы и сохранением требуемой геометрии получаемого профиля.

Библиографический список

1. ГОСТ 5267.0-90 Профили горячекатаные для вагоностроения.
2. ГОСТ 5267.3-90 Профиль зетовый для хребтовой балки.
3. А.С. 523825 от 5.06.1976. бюллетень №29, заявка №2056949/11 от 23.08.1974.
4. Ілюкович Б.М. Прокатка І калібрування. Том IV (Довідник). / Б.М. Ілюкович, М.Є. Нехаєв. – Дніпропетровськ: РВА «Дніпро-ВАЛ», 2004. 369 с.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

V.V.Kurochkin, V.Y.Rubtsov, P.A.Alypov
EVRAZ Nizhny Tagil Metallurgical Plant

SIMULATION OF ROLLING PROCESS OF Z-SHAPED ASYMMETRIC PROFILE

Abstract. The rolling process of Z-shaped asymmetric profile is presented on example of spine beam profile of railway carriages is simulation. Based on simulation results, a high polarity created from rolls was revealed, which leads to increased strip twisting. According results obtained, roll pass redesign with reductions redistribution was carried out. As result, there is a decrease in different polarity when modeling process using a modified roll pass design. Experimental rolling showed a positive result with decrease in strip twisting and maintaining required profile geometry.

Keywords: Z-shaped profile, spinal beam, simulation, carriage profile, rolling process, contact pressure, deformation, rolling force, rail and beam workshop.

В.Ю.Рубцов

АО «ЕВРАЗ Нижнетагильский металлургический комбинат»

О.И.Шевченко

«Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина»

Нижнетагильский технологический институт (филиал)

В.В.Курочкин

АО «ЕВРАЗ Нижнетагильский металлургический комбинат»

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ КРИВЫХ ВТОРОГО ПОРЯДКА ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ШАРОПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ

Аннотация. Проведен опыт по корректировке модели шаропрокатного вала с дискретно-изменяющимся шагом, с использованием кривой второго порядка, изготовленного на токарном станке, и отсканированного на 3-D сканере в модель вала с непрерывно-изменяющимся шагом. Результаты прокатки с использованием исходного и скорректированного комплекта показали преимущество кривых второго порядка для определения параметров шага с целью общего уменьшения и исключения скачков нагрузки.

Ключевые слова: шаропрокатный валок, дискретный шаг, непрерывно-меняющийся шаг, кривая 2-ого порядка, 3-D сканер.

Шаропрокатные валки изготавливаются как с дискретно-изменяющимся шагом [1-3], так и с непрерывно-изменяющимся [4-6].

В работах авторов [7-8] было описано преимущество использования валков с непрерывно-изменяющимся шагом против валков с дискретно-изменяющимся шагом, а также выведены функции определения шага при условии сохранения постоянства объема по ходу продвижения металла в калибрах. Данные функции в свою очередь аппроксимируются кривыми 2-ого порядка, что доказывает возможность нахождения 5-и произвольных точек кривой, при условии, что никакие 4 из них не лежат на одной прямой [9], для построения истинной кривой, удовлетворяющей требованиям функции.

В условиях АО «ЕВРАЗ НТМК» была проведена опытно-промышленная работа по преимуществу изготовления валков, на 5-координатном обрабатывающем центре.

Для чистоты эксперимента в качестве базовой модели был взят комплект штатных шаропрокатных валков для производства шаров условным диаметром 60 мм, изготовленный классическим способом на токарно-винторезных станках ДИП-500. На валках был использован дискретно-изменяющийся шаг винтовой линии, полученный при замене пар сменных шестерен в станке. Кроме того, выходная реборда вала была удалена огневой резкой, что характерно показано на рис. 1. Данный валок был отсканирован на 3-D сканере. На рис. 2 показана модель вала снятая с 3-D сканера.

На следующем этапе в систему были выгружены все геометрические параметры вала и проведен детальный анализ данных параметров. К таким параметрам были отнесены: координаты вершин реборд (X_i , Y_i , Z_i), вынесенных из матрицы сетки 3-х мерной системы координат. В данном случае величина X_i соответствует шагу винтовой линии. Кроме этого были выведены параметры развалки калибра S_i , высоты реборды H_i и ширины реборды B_i . Численное изменение всех параметров по длине вала, в зависимости от угла положения координаты на винтовой линии φ , представлено на рис. 3.

Как видно по рис. 3, координаты X_i , Y_i имеют достаточно устойчивый синусоидальный характер по причине характерного спирали изменения координаты в зависимости от угла поворота φ . Основной шаг, представленный координатой X_i , имеет плавно-изменяющуюся кривую. Характер изменения ширины реборды B_i представлен отдельно на рис. 4.



Рис. 1. Шаропрокатный валок для производства шаров 60 мм, с дискретно-изменяющимся шагом

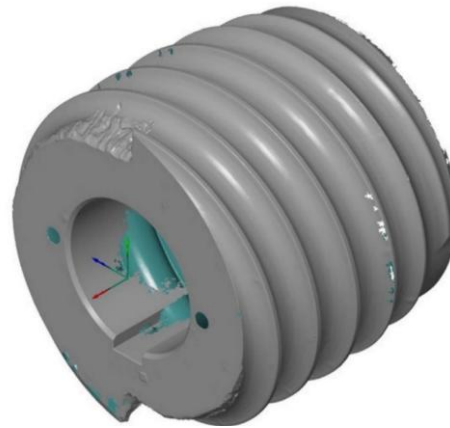


Рис. 2. Модель шаропрокатного валка с 3-D сканера

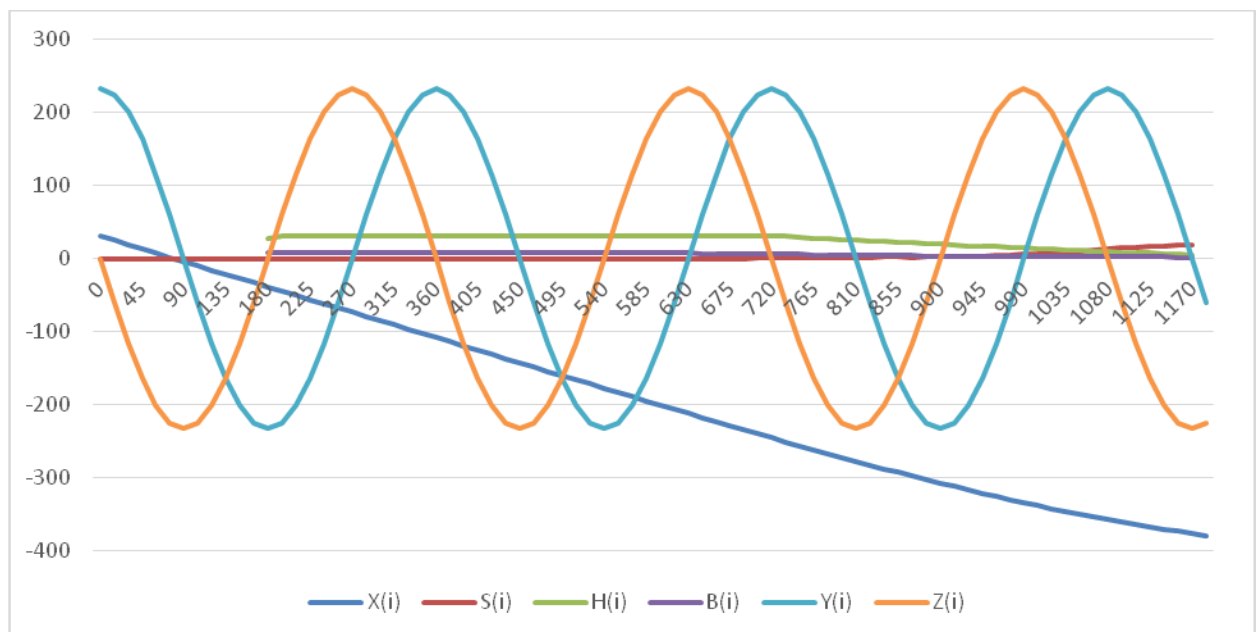


Рис. 3. Параметры отсканированного шаропрокатного валка

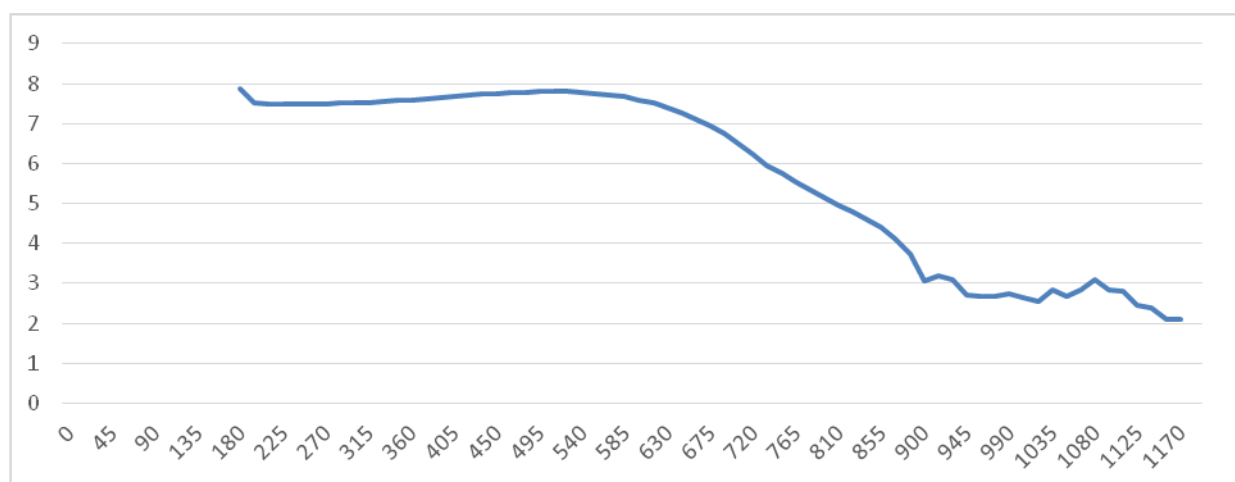


Рис. 4. Параметры ширины реборды B_i , мм

Согласно рис. 4, ширина реборды на калибрующем участке, при угле $\varphi = 180-630^\circ$ имеет среднее значение 7,5 мм, затем начинает уменьшаться и при заходе достигает минимальных значений 2 мм. При такой калибровке максимальный износ валок будет испытывать в зоне захвата заготовки, для чего характерно использование динамического режима прокатки, описанного в работе [10]. Дробления по ширине реборды, которые начинаются с угла $\varphi = 900^\circ$, характеризуются результатом нестабильной работы резца и его частичном отгибании при подрезке реборды H_i и при развалке калибра S_i . При изготовлении валка ширина реборды не считается основополагающим параметром, а является результатом наложения остальных параметров, таких как основной шаг, подрезка реборды и развалка калибра, кроме того, дробление в диапазоне одного миллиметра (2-3 мм, при углах $\varphi = 900-1170^\circ$) не является существенным. Поэтому наиболее интересными характеристиками, выходящими из общей картины, являются подрезка реборды H_i (представлена на рис. 5) и развалка калибра S_i (представлена на рис. 6).

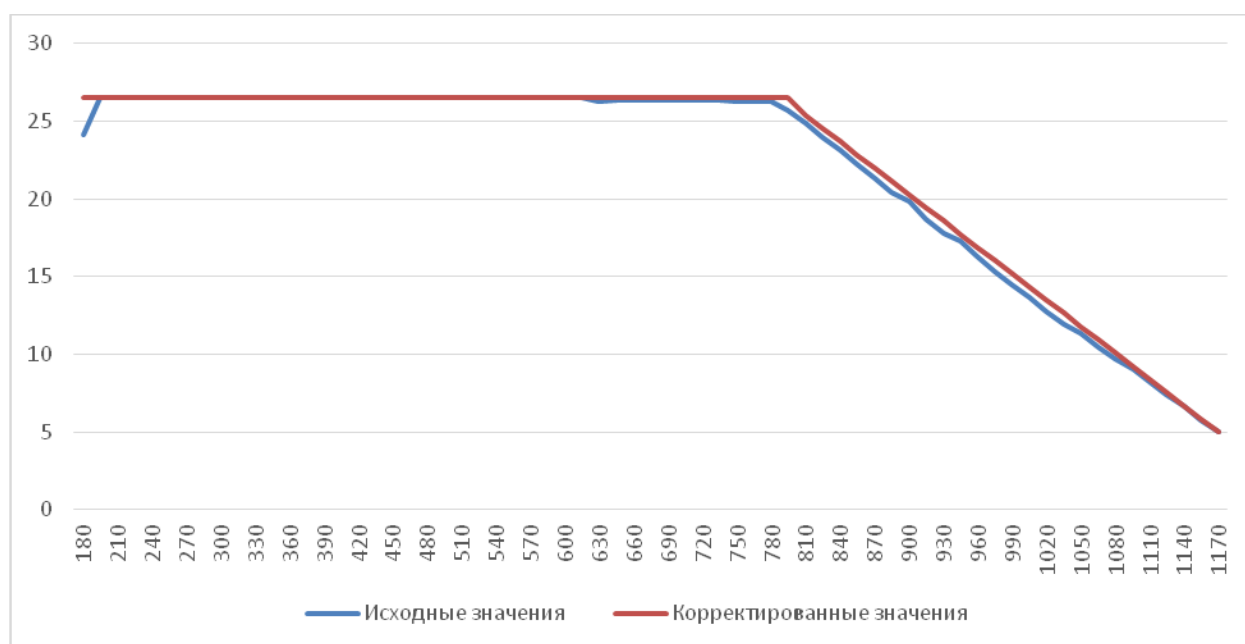
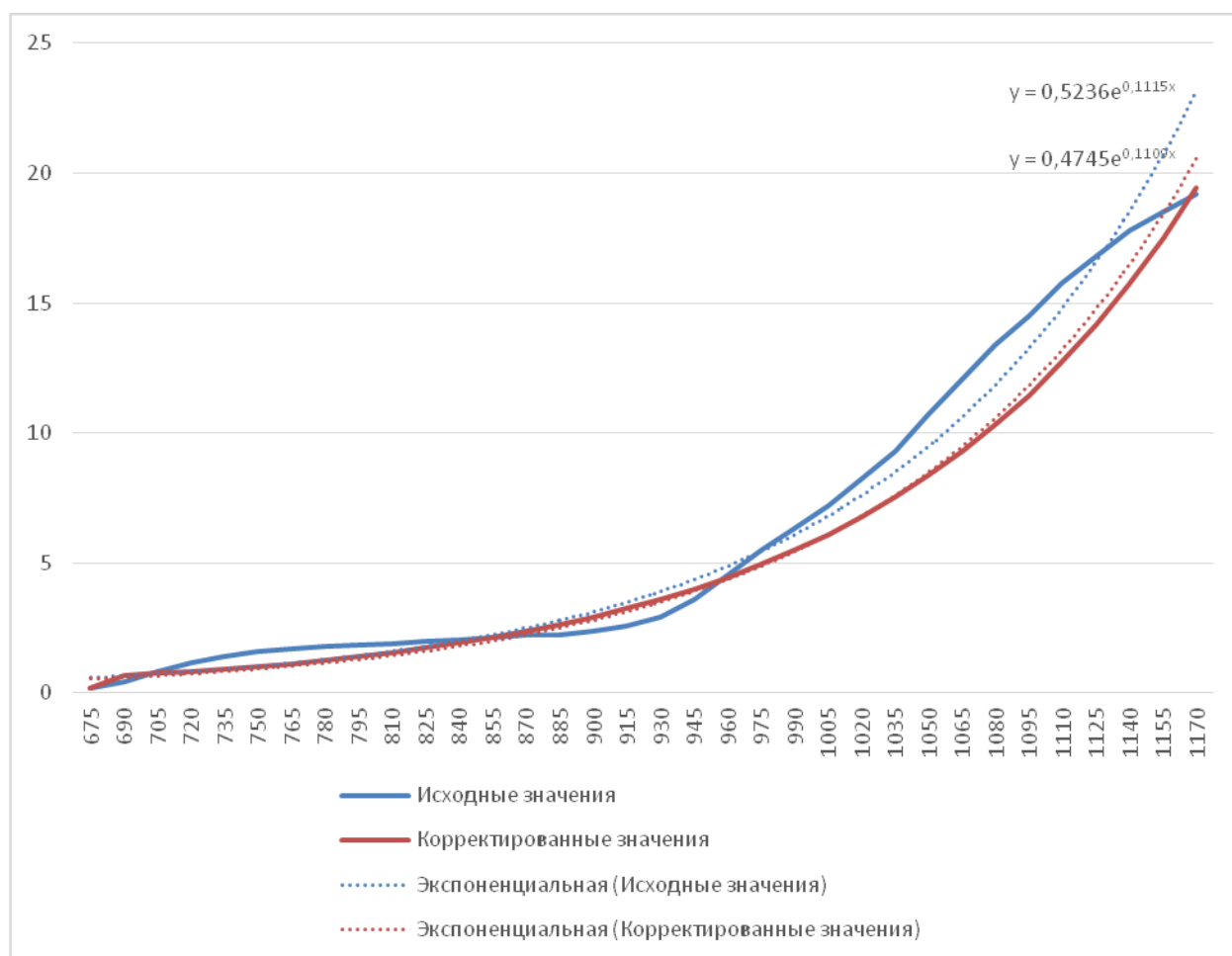


Рис. 5. Параметры подрезки реборды H_i , мм

Рис. 6. Параметры развалки калибра S_i , мм

Исходя из рис.5 (исходные значения), подрезка реборды производилась с угла $\varphi = 795^\circ$, с величины высоты реборды, равной 26,5 мм до угла $\varphi = 1170^\circ$, где высота реборды минимальна и составляет 5 мм. Характер подрезки реборды имеет линейную зависимость, поэтому те скачки, которые появляются на данном графике, а также зарез, который начинается с угла $\varphi = 600^\circ$, можно характеризовать как дефект изготовления и дробление резца во время обточки.

Для корректировки достаточно выровнять дробление и задаться линейной функцией подрезки реборды, что представлено на рис. 5 (скорректированные значения).

Согласно рис. 6 (исходные значения), видно, что за счет применения ступенчатого шага, на линии присутствуют значительные переломы при угле $\varphi = 765^\circ$ и далее через каждые 90° , но при этом также присутствует существенное дробление от резца. Для сглаживания данной кривой были применены параметры, обусловленные кривой 2-ого порядка и представлены в виде скорректированных значений (рис. 6). В качестве исходных данных были заложены: величина максимальной развалки, составляющая 19 мм, соответствующая исходной, точка начала подрезки 0,2 мм на угле $\varphi = 675^\circ$, а также три теоретических точки изменяющегося шага. Построенная кривая со скорректированными значениями пересекается с исходной кривой в пяти точках, что показывает достаточность значений для данной кривой.

В результате анализа для исходной кривой и скорректированной кривой развалки калибра были показаны экспоненциальные кривые, на которых получена высокая степень сходимости данных теоретических кривых с максимальным абсолютным отклонением, не превышающим 2 мм на любом угле φ .

Используя скорректированные значения, была отредактирована исходная модель шаропрокатного вала и получена рабочая 3-D модель, предназначенная для 5-координатного обрабатывающего центра (рис.7).

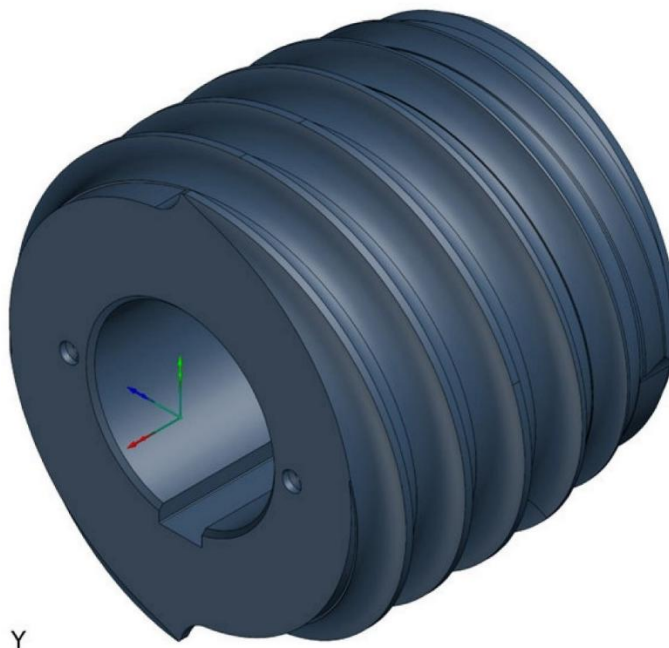


Рис. 7. Рабочая 3-D модель шаропрокатного вала

По результатам данной работы был изготовлен комплект валков и, в условиях шаропрокатного стана 40-80 крупносортового цеха АО «ЕВРАЗ-НТМК», прокатаны две опытных партии шаров диаметром 60 мм: одна с исходного комплекта валков (с которого проводилось 3-D сканирование), вторая с комплекта валков, изготовленного на 5-координатном обрабатывающем центре. При работе на валках, изготовленных на 5-координатном обрабатывающем центре, нагрузки, снятые с прокатного двигателя, были на 10-15% ниже, чем на исходных валках, уменьшилось количество скачков по нагрузкам. Также значительно уменьшился износ реборд, особенно в точках изменения шага.

Выводы

1. Был проведен опыт корректировки вала с дискретным шагом, изготовленного классическим способом на токарных станках, в модель вала с непрерывно-меняющимся шагом, для его изготовления на 5-координатном обрабатывающем центре при помощи 3-D сканера и математического анализа полученных данных.
2. Результаты опыта, включая уменьшение нагрузки на валки, показали преимущество применения кривых второго порядка для определения параметров шага (в частности для развалки калибра), при прочих равных условиях.

Библиографический список

1. Целиков А.И. Специальные прокатные станы / А.И.Целиков, М.В.Барбарич, М.В.Васильчиков и др. М.: Металлургия, 1971. 336 с.
2. Шор Э.Р. Новые процессы прокатки. М.: Металлургиздат, 1960. 387 с.
3. Pater Z. Thermomechanical Analysis of a Helical-Wedge Rolling Process for Producing Balls / Z.Pater, J.Tomczak, J.Bartnicki, Tomasz // Metals, October 2018. PP. 1-14.
4. Грановский С.П. Новые процессы и станы для прокатки изделий в винтовых калибрах. М.: Металлургия. 1980. 116 с.

5. Котенок В.И., Подобедов С.И. Создание эффективных калибровок шаропрокатных валков и расширение сортамента шаров на действующих и новых станах // Труды 3 Конгресса прокатчиков, Липецк. 19-22 октября 1999 М.: ОАО «Черметинформация». 2000. С. 438-441.
6. А.С. 837643 (СССР). МПК В23G 3/10. Устройство к токарно-винторезному станку для нарезания винтовых поверхностей с переменным шагом / Н.А.Целиков, Б.Ф.Выгоднер, В.И.Котенок и др. // Оpubл. 15.06.81. Б.И. 1981. №22. С. 2.
7. Рубцов В.Ю., Шевченко О.И. Изготовление шаропрокатных валков с переменной глубиной впадины // Калибровочное бюро. 2019. №14. С. 16-24.
8. Рубцов В.Ю., Шевченко О.И. Калибровка шаропрокатных валков с непрерывно меняющимся шагом // Черная металлургия: Бюл. ин-та «Черметинформация». 2018. №8 (1424). С. 58-63.
9. Корн Г., Корн Т. Характеристическая квадратичная форма и характеристическое уравнение / Справочник по математике. 4-е изд. М: Наука, 1978. 64 с.
10. Rubtsov V.Yu, Shevchenko O.I., Mironova M.V. Improvement of Rolling Dynamics to Increase Roller Life in Ball Rolling // Steel in Translation. 2018. T. 48. №12. PP. 757-761.

• INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH •

V.Y.Rubtsov

EVRAZ Nizhny Tagil Metallurgical Plant

O.I.Shevchenko

Federal University named after first President of Russia B.N.Yeltsin

Nizhny Tagil technological Institute (branch)

V.V.Kurochkin

EVRAZ Nizhny Tagil Metallurgical Plant

INCREASING RIGIDITY OF ROLLING MILLS BY USING WEDGE FIXATION DEVICE

Abstract. Ball-rolling roll with continuously variable pitch model was corrected, with helped 3-d scanner from ball-rolling roll with stepped pitch model, which was made on lathe is provides. The results of rolling process with used original and correctional dual rolls, with used second order curves in pitch are provides improve for reduction loads and load disturbs.

Keywords: ball-rolling roll, stepped pitch, continuously variable pitch, second order curves, 3-D scanner.

О.С.Железков, С.Б.Лизов, Б.С.Адамчук
ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И.Носова»

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВОЛОЧЕНИЯ ПРОВОЛОКИ ТРАПЕЦИЕВИДНОГО ПРОФИЛЯ В МОНОЛИТНОЙ ВОЛОКЕ

Аннотация. Выполнены теоретические и экспериментальные исследования процесса волочения в монолитной проволоке проволоки трапецевидного профиля из заготовки круглого сечения. Рассматривался процесс формирования трапецевидного профиля №10 по ГОСТ 11850-72 из стали марки 40С2А из исходной заготовки диаметром 11÷13 мм. При компьютерном моделировании процесса волочения использовался метод конечных элементов на базе программного комплекса «Deform-3D». Определены параметры напряженно-деформированного состояния и энергосиловые параметры. Построены графики зависимости усилия волочения от перемещения тянущего зажима. Проведена серия экспериментов, в которых использовались монолитная твердосплавная проволока и универсальная испытательная машина модели ЭДЦ-20. Определялись максимальные усилия на установившемся этапе процесса волочения. Расхождение между теоретическими результатами и экспериментальными данными менее 10 %. Установлено, что при использовании исходной заготовки диаметром 11 мм и менее радиус скругления углов трапецевидного профиля превышает значения, регламентированное стандартом.

Ключевые слова: пружинные шайбы, проволока трапецевидного профиля, волочение, монолитная проволока, метод конечных элементов, усилие волочения, радиус скругления углов профиля.

Проволока трапецевидного сечения используется в качестве исходной заготовки для последующего изготовления пружинных шайб методом навивки. Пружинные шайбы применяются для предотвращения самоотвинчивания резьбовых соединений в процессе эксплуатации. В частности, в конструкции верхнего строения железнодорожного пути для крепления рельсов к железобетонным шпалам используются двухвитковые пружинные шайбы.

Основные требования к проволоке трапецевидного профиля регламентированы ГОСТ 11850-72 «Проволока стальная для пружинных шайб». Форма и размеры поперечного сечения представлены на рис.1.

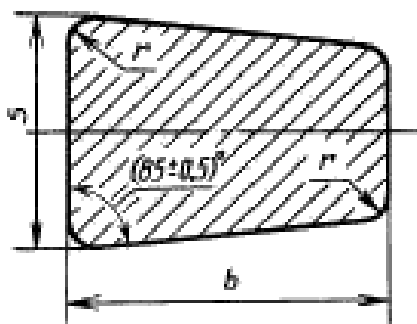


Рис. 1. Поперечное сечение трапецевидной проволоки по ГОСТ 11850-72

Для изготовления проволоки трапецевидного профиля, в основном, применяются две технологии [1]:

- волочением в монолитной проволоке (рис.2а);
- волочение в четырехроликовой проволоке (рис. 2б).

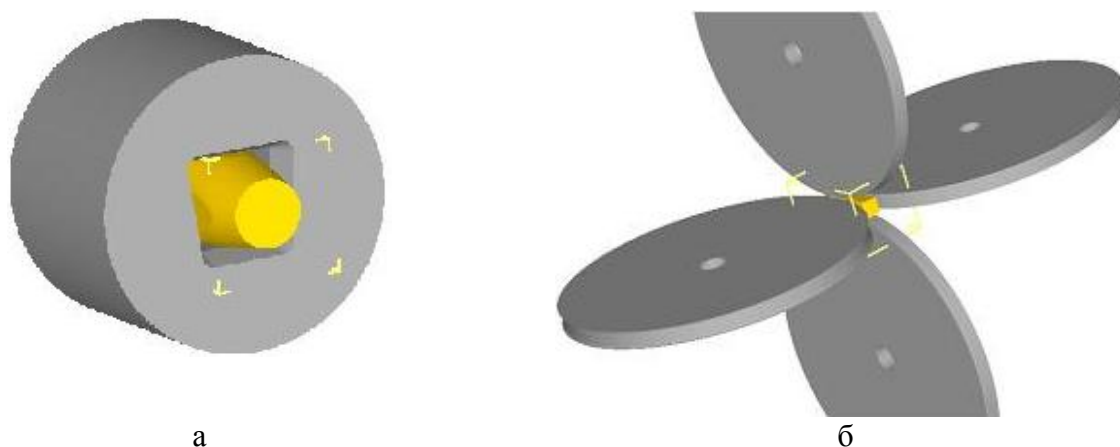


Рис. 2. Схемы процессов волочения проволоки трапециевидного профиля:
а – в монолитной волоке; б – в четырехроlikовой волоке

Проволока трапециевидного сечения в условиях ОАО «ММК-МЕТИЗ» изготавливается на однократных волочильных станах барабанного типа с использованием четырехроlikовых волок. Недостаток технологии: сложность конструкции и настройки волок, а также сравнительно низкое качество получаемой проволоки по точности геометрических параметров сечения и качеству поверхности. Устранить вышеотмеченные недостатки позволяет применение операции волочения в монолитной волоке. Однако при волочении в монолитной волоке возрастают усилия волочения, которые существенно зависят от механических свойств и диаметра исходной заготовки, условий трения и т.п.

Цель работы – теоретические и экспериментальные исследования процесса волочения в монолитной волоке трапециевидного профиля из заготовки круглого сечения.

Рассматривался процесс волочения проволоки трапециевидного профиля №10 по ГОСТ 11850-72 из стали 40С2А в монолитной волоке. Размеры профиля: $b = 10^{+0,06}_{-0,12}$ мм, $S = 10,75^{+0,06}_{-0,12}$ мм, $h = 9^{+0,06}_{-0,12}$ мм, радиус скругления углов профиля r не более 1,50 мм (см. рис.1). При этом варьировался диаметр исходной круглой заготовки в диапазоне 11÷13 мм и оценивалось качество проволоки по радиусу r скругления углов.

При компьютерном моделировании процесса волочения проволоки трапециевидного профиля использовали метод конечных элементов [2] на базе программного комплекса «DEFORM-3D». Приняты следующие допущения: материал заготовки изотропный, пластический; процесс является изотермическим; заготовка не имеет внутренних и внешних дефектов; условие пластичности по Губеру-Мизесу; силы внешнего трения учитываются применением закона трения Амонтона-Кулона; эволюция микроструктуры не учитывается; все объекты, кроме заготовки, абсолютно жесткие. Реологические свойства стали марки 40С2А задавались по данным, изложенным в работе [3].

На основании смоделированных процессов волочения получена информация об энерго-силовых параметрах и напряженно-деформированном состоянии в очаге деформации. В частности, на рис. 3 показаны поля интенсивности напряжений в очаге деформации при волочении в монолитной волоке.

По результатам выполненных расчетов получены графики зависимости усилия P волочения от перемещения h тянущего зажима при формировании профиля №10 по ГОСТ 11850-72 из заготовок круглого сечения диаметром 12 мм и 13 мм (рис. 4). Процесс волочения включает два этапа. Первый этап характеризуется ростом усилия волочения при заполнении рабочего канала волоки металлом заготовки. На втором этапе – усилия волочения практически не изменяются (установившийся процесс). Особо следует отметить, что при

использовании исходной заготовки диаметром 11 мм радиус r скругления углов превышает значения 1,50 мм, регламентированное стандартом (ГОСТ 11850-72).

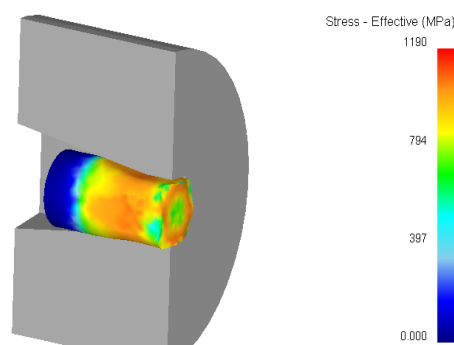


Рис. 3. Поля интенсивности напряжений в очаге деформации

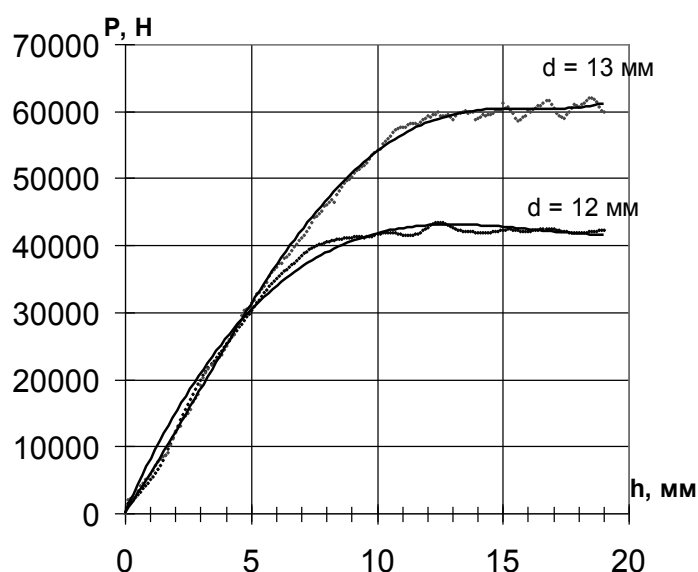


Рис. 4. Зависимость усилия волочения P трапецевидного профиля №10 по ГОСТ 11850-72 из круглой заготовки диаметром d от перемещения тянущего зажима h

Для проверки адекватности результатов моделирования проведена серия экспериментов, в которых использовались монокристаллическая волока конструкции фирмы ООО «ТехноВАК» (г. Череповец) и универсальная испытательная машина модели ЭДЦ-20 («Завод испытательных машин», г. Лейпциг, Германия). Исходные заготовки (сталь 40С2А) круглого поперечного сечения (диаметр 11, 12 и 13 мм) с заостренным концом пропускались через волоку, установленную на верхнюю подвижную траверсу испытательной машины, и жестко закреплялись в зажимах нижней неподвижной траверсы. Подвижной траверсе сообщалось движение вверх, и осуществлялся процесс волочения. В ходе экспериментов осуществлялось калибрование 5-ти образцов каждого исходного диаметра. При этом фиксировались максимальные значения усилий на установившемся этапе процесса волочения. Результаты теоретических и экспериментальных исследований по определению максимальных усилий формирования трапецевидного профиля волочением в монокристаллической волке при использовании исходной заготовки диаметром 11, 12 и 13 мм представлены в таблице.

Анализ результатов компьютерного моделирования и данных, полученных при проведении эксперимента, показал, что расхождение между усилием волочения, полученным при испытаниях и при моделировании составило менее 10%, что позволяет сделать вывод о достоверности теоретических результатов.

Таблица

Усилия волочения трапецевидного профиля №10 по ГОСТ 11850-72

Диаметр заготовки, мм	Усилие волочения, кН		Погрешность, %
	Расчетное	Экспериментальное	
11	38,8	41,2	6,18
12	43,5	47,1	8,27
13	61,5	65,4	6,34

Выводы

1. Используя метод конечных элементов на базе программного комплекса «DEFORM-3D», выполнены расчеты процесса волочения трапецевидного профиля в монолитной волоке. Определены основные параметры напряженно-деформированного состояния и энергосиловые параметры. По результатам расчетов построены графики изменения усилий волочения в процессе деформирования круглых заготовок из стали 40С2А.
2. Используя монолитную твердосплавную волоку и универсальную испытательную машину модели ЭДЦ-20, проведены эксперименты по волочению трапецевидного профиля. Сопоставление экспериментальных данных с результатами теоретических исследований показало хорошее совпадение (погрешность менее 10%).
3. Установлено, что при использовании исходной заготовки диаметром 11,0 мм и менее радиус скругления углов сформированного трапецевидного профиля превышает значения, регламентированные стандартом.

Библиографический список

1. Перлин И.Л., Ерманок М.З. Теория волочения. М.: Металлургия, 1971. 447 с.
2. Г.Стренг, Дж.Фикс. Теория метода конечных элементов / Пер. с англ. под общ. ред. Г.И.Марчука. М.: Мир, 1977. 342 с.
3. Третьяков А.В., Зюзин В.И. Механические свойства металлов и сплавов при обработке давлением. Справочник. М.: Металлургия, 1973. 122 с.

•———— INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH —————•

O.S.Zhelezkov, S.B.Lizov, B.S.Adamchuk
Nosov Magnitogorsk State Technical University

**RESEARCH OF THE DRAWING PROCESS IN A MONOLITHIC WIRE
OF A TRAPEZOIDAL PROFILE**

Abstract. Theoretical and experimental research of the drawing process in a monolithic wire of a trapezoidal profile from a round-section billet were performed. The process of forming a trapezoidal profile №10 according to GOST 11850-72 from steel of the 40C2A brand from the initial billet with a diameter of 11-13 mm was considered. The computer simulation of the drawing process used the finite element method based on the software package «Deform-3D». The parameters of the stress-strain state and energy-power parameters are determined. Graphs of the dependence of the drawing force on the movement of the pulling clamp are constructed. A series of experiments were carried out using a monolithic solid-alloy lug and a universal testing machine of the EDC-20 model. The maximum effort was determined at the established stage of the drawing process. The discrepancy between theoretical results and experimental data is less than 10%. It was found that when using the initial blank with a diameter of 11 mm or less, the radius of rounding the corners of the trapezoid profile exceeds the values regulated by the standard.

Keywords: spring washers, trapezoidal wire, drawing, monolithic drawing, finite element method, drawing force, radius of rounding of profile corners.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Адамчук Богдан Сергеевич – студент ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова».

E-mail: Aventador510@yandex.ru.

Алыпов Павел Алексеевич – старший калибровщик рельсобалочного цеха АО «ЕВРАЗ Нижнетагильский металлургический комбинат».

Железков Олег Сергеевич – докт. техн. наук, профессор кафедры механики ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова».

E-mail: ferumoff@mail.ru.

Курочкин Вячеслав Владимирович – калибровщик крупносортового цеха АО «ЕВРАЗ Нижнетагильский металлургический комбинат».

Лизов Салимжан Бурамбаевич – студент ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова».

E-mail: salimzhan.1996@mail.ru.

Рубцов Виталий Юрьевич – калибровщик рельсобалочного цеха АО «ЕВРАЗ Нижнетагильский металлургический комбинат», аспирант Уральского федерального университета. Область исследований: поперечно-винтовая прокатка, металлургические печи. Тел.: +79533836810. E-mail: uriylot@mail.ru.

Тютюрев Валентин Владимирович – калибровщик цеха прокатки широкополочных балок АО «ЕВРАЗ Нижнетагильский металлургический комбинат».

Шевченко Олег Игоревич – докт. техн. наук, заведующий кафедрой металлургических технологий ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина» Нижнетагильский технологический институт (филиал).

ABOUT THE AUTHORS

Adamchuk Bogdan Sergeevich – student of Nosov Magnitogorsk State Technical University. E-mail: Aventador510@yandex.ru.

Alypov Pavel Alekseevich – senior roll pass designer of rail and structural steel mill department of EVRAZ Nizhny Tagil Metallurgical Plant.

Zhelezkov Oleg Sergeevich – doctor of technical sciences, professor of the mechanics department of Nosov Magnitogorsk State Technical University. E-mail: ferumoff@mail.ru.

Kurochkin Vjacheslav Vladimirovich – roll pass designer of heavy section mill department of EVRAZ Nizhny Tagil Metallurgical Plant.

Lizov Salimgan Burambaevich – student of Nosov Magnitogorsk State Technical University. E-mail: salimzhan.1996@mail.ru.

Rubtsov Vitaly Yurievich – roll pass designer of rail and structural steel mill department of EVRAZ Nizhny Tagil Metallurgical Plant, post graduate student of Ural Federal University. Research themes: Cross-helical-rolling, Multi-stage furnace. Phone: +79533836810. E-mail: uriylot@mail.ru.

Tjuterev Valentin Vladimirovich – roll pass designer of beam rolling mill department of EVRAZ Nizhny Tagil Metallurgical Plant.

Shevchenko Oleg Igorevich – doctor of technical sciences, head of the department of metallurgical technologies «Federal University named after first President of Russia B.N.Yeltsin» Nizhny Tagil technological Institute (branch).