ISSN 2308-6440

PASSDESIGN.RU

ЭЛЕКТРОННЫЙ ЖУРНАЛ КАЛИБРОВОЧНОЕ БЮРО

ВЫПУСК 10

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

SiKE SOFTWARE

МЫ ПРЕДЛАГАЕМ ГОТОВЫЕ РЕШЕНИЯ

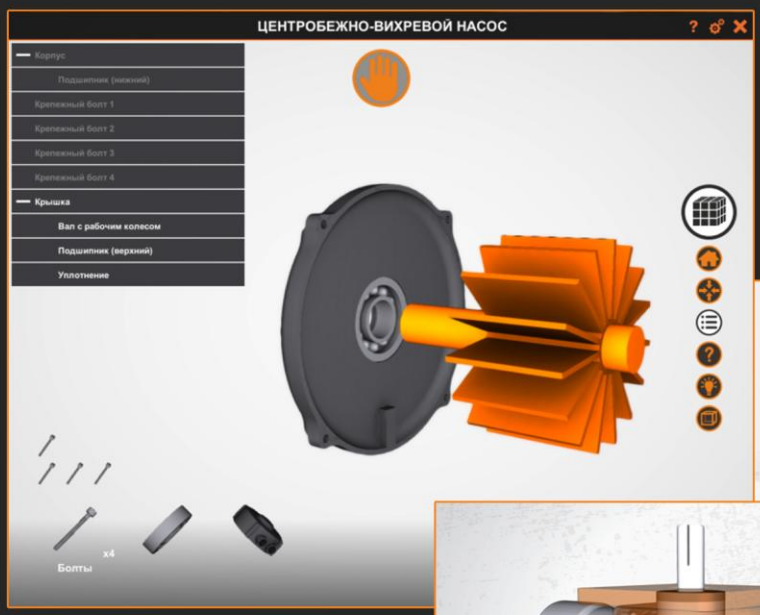
3D АТЛАСЫ ОБОРУДОВАНИЯ
3D СБОРКА/РАЗБОРКА
АНИМАЦИОННЫЕ ФИЛЬМЫ
ТРЕНАЖЕРЫ ИМИТАТОРЫ
ЭЛЕКТРОННЫЕ КУРСЫ
ЭЛЕКТРОННЫЕ ПЛАКАТЫ

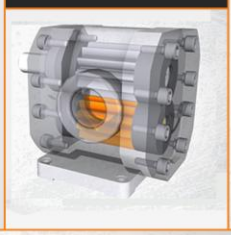
- Проблемы с текучкой кадров?
- Неоправданные затраты на обучение?
- Сотрудники долго и некачественно выполняют ремонт?

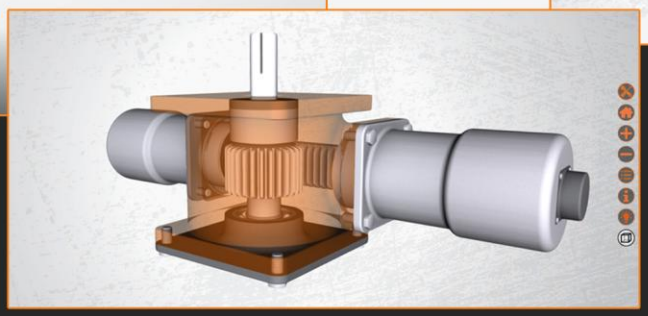
КОМПАНИЯ SIKE ПРЕДЛАГАЕТ УНИКАЛЬНОЕ РЕШЕНИЕ

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 10

Дата опубликования: 30.06.2017.

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

А.С.Нефедьев, С.П.Нефедьев
НОВЫЙ СПОСОБ ТРЁХРУЧЬЕВОГО ПРОДОЛЬНОГО РАЗДЕЛЕНИЯ РАСКАТА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СОРТОВЫХ ПРОФИЛЕЙ И УНИВЕРСАЛЬНАЯ КЛЕТЬ ДЛЯ ЕГО РЕАЛИЗАЦИИ …… 5

Листопрокатное производство …… 9

М.И.Румянцев, И.В.Фадеев, Р.О.Рыжкин
ПЕРВОЕ ПРИБЛИЖЕНИЕ ПРЕДЕЛЬНОЙ ТОЛЩИНЫ ГОРЯЧЕКАТАНОГО ПОДКАТА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ХОЛОДНОКАТАНОЙ ЛИСТОВОЙ СТАЛИ …… 9

Производство специальных видов проката …… 14

В.Ю.Рубцов
МЕТОДИКА РАСЧЕТА УСИЛИЙ ПРИ ПОПЕРЕЧНО-ВИНТОВОЙ ПРОКАТКЕ ПЕРИОДИЧЕСКИХ ПРОФИЛЕЙ ПОЛУЭЛЛИПСОИДНОЙ ФОРМЫ НА ПРИМЕРЕ ЦИЛЬПЕБСОВ …… 14

Производство труб …… 21

Д.Новокшонов, О.Соколова, А.Лепестов
ОБЕСПЕЧЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ КРОМОК ТРУБНОЙ ЗАГОТОВКИ ПРИ НЕПРЕРЫВНОЙ ВАЛКОВОЙ ФОРМОВКЕ …… 21

Сведения об авторах …… 27

А.С.Нефедьев
ДП «Сименс Украина»
С.П.Нефедьев
«Промет Стиил ЕАД»

НОВЫЙ СПОСОБ ТРЁХРУЧЬЕВОГО ПРОДОЛЬНОГО РАЗДЕЛЕНИЯ РАСКАТА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СОРТОВЫХ ПРОФИЛЕЙ И УНИВЕРСАЛЬНАЯ КЛЕТЬ ДЛЯ ЕГО РЕАЛИЗАЦИИ

Аннотация. Разработан способ продольного разделения многониточного раската в потоке стана. Этот способ является перспективным направлением развития многоручьевой прокатки-разделения методом разрыва перемычки. Разработана конструкция четырёхвалковой прокатной клети для реализации этого способа.

Ключевые слова: многоручьевая прокатка-разделение, многониточный раскат, пара валков, заготовка, разрыв перемычки, четырёхвалковая клеть.

В настоящее время на металлургических заводах государств СНГ для производства арматурных профилей используется как традиционная технология прокатки в одну нитку, так и технология слиттинг-процесса и технология двухниточной прокатки-разделения контролируемым разрывом перемычки в валках рабочей клети. Причём, технология двухниточной прокатки-разделения была освоена на комбинате Арселор Миттал Кривой Рог (АМКР, бывший «Криворожсталь») более двадцати лет назад, в 1995 году. Все попытки создать технологию трёхниточной прокатки-разделения оказались, к сожалению, неудачными. Трудность заключается в том, что в разделяющем калибре при деформации перемычек предварительно сформированного трёхниточного раската обязательно обжимается средняя нитка, что ведёт к перетеканию металла из средней нитки в деформируемые перемычки, «подпитывая» их и, тем самым, процесс отделения крайних ниток становится неустойчивым.

Между тем процесс трёхниточной прокатки-разделения реально может быть реализован на мелкосортном прокатном стане, если изменить форму рабочего инструмента, валков, их количество и метод их воздействия на разделяемый раскат.

При использовании Х-образно расположенных четырёх дисковых валках с положением осей вращения левой и правой пар валков в вертикальных плоскостях, угол между которыми 2β < 180°, площадка контакта разделяющих гребней валков с крайними нитками раската удлинится далее очага деформации, благодаря чему гребни будут воздействовать на отделяемые крайние нитки раската в зоне, где обжатие центральной нитки прекратилось, и отделению крайних ниток «подпитка» металлом центральной нитки не будет мешать (рис. 1).

На таком принципе возможно создание неприводного делительного устройства для трёхниточного разделения сортового проката и прокатной клети. Причём, неприводное делительное устройство, созданное по такой схеме, будет иметь преимущество перед существующими ныне двухроликовыми разделяющими устройствами известных фирм («Morgardshammer» и др.). Преимущество будет состоять в том, что позволит разделять трёхниточный раскат с перемычками более 1 мм, а изменением угла поворота β в таком устройстве можно будет компенсировать износ разделяющих гребней.

Была изготовлена действующая модель подобного неприводного разделяющего устройства и опробована на лабораторном стане «100» прокатной лаборатории ДонНТУ на свинцовых темплетах. Трёхниточный раскат с высотой перемычек более 3 мм разделялся, не смотря на деформацию центральной нитки в роликах устройства (рис. 2).

Прокатная клеть с таким расположением валков и механизмом их регулировки позволит формовать трёхниточный раскат и разделять его в этом же четырёхвалковом калибре.

Моделирование процесса формования трёхниточного раската из полосы в четырёхвалковом калибре и его разделения показано по сечениям на рис. 3. В сечении В-В зазор между разделяющими гребнями минимальный и деформация раската – формовка трёх ниток заканчивается. В сечении Г-Г на крайние нитки действуют только боковые поверхности гребней,

отделяя их от центральной. Такие плоские шестиугольные раскаты с минимальным обжатием и с минимальной нагрузкой на валки и на двигатель следующей клети доводятся до нужных размеров в овальных калибрах. Но, форма разделяемых ниток раската может быть и квадратной, и близкой к кругу, т.е. такая клеть делает технологию более простой – подкатом может быть полоса и более гибкой – после разделения получают нитки квадратной, шестиугольной, или близкой к кругу формы.

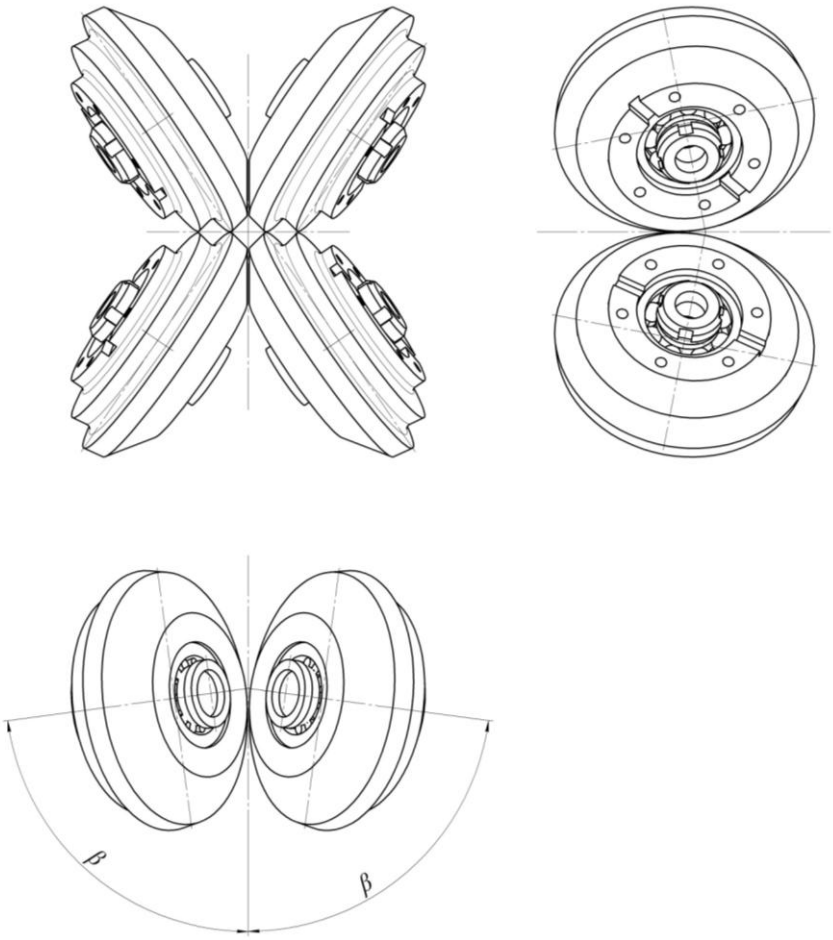


Рис. 1. Общий вид расположения прокатных валков
для трёхручьевой прокатки-разделения по новому способу

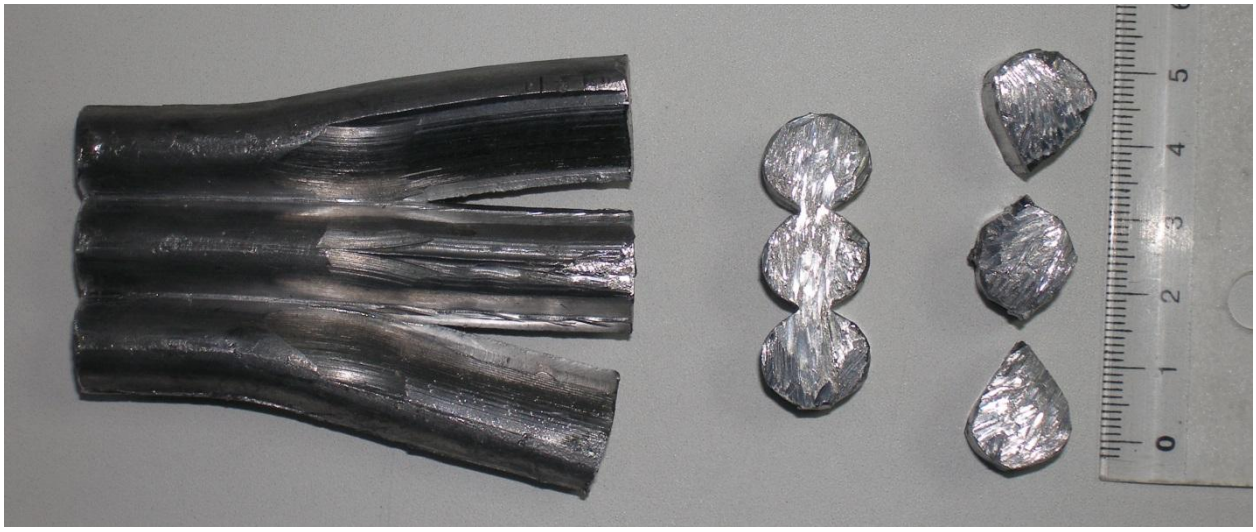


Рис. 2. Фотография свинцового темплета,
прокатанного и разделённого в неприводном делящем устройстве

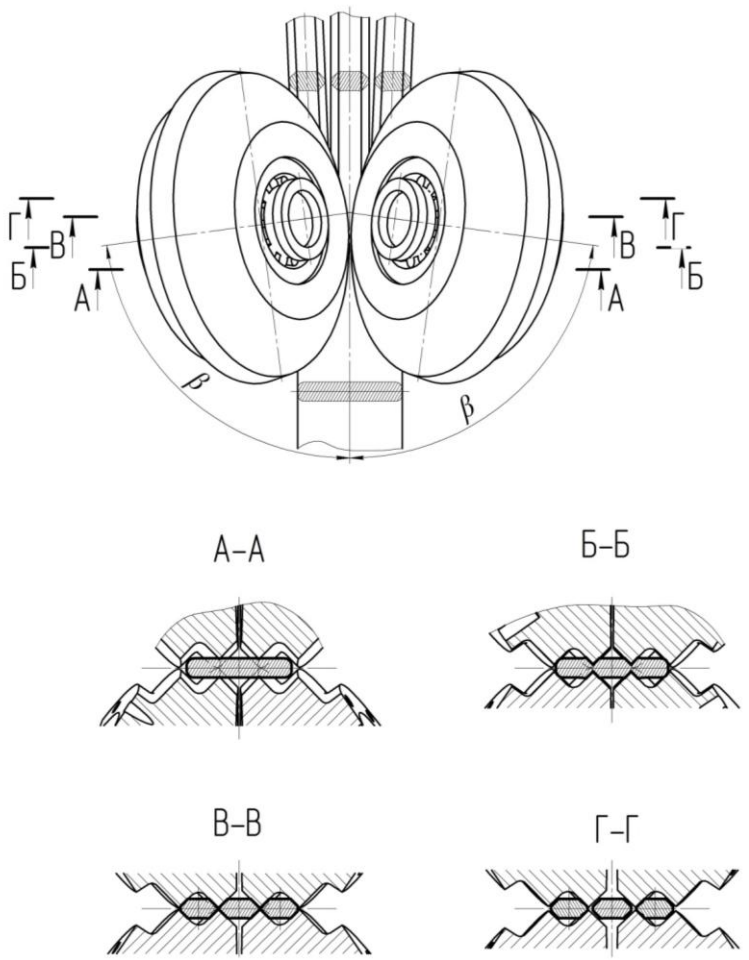


Рис. 3. Схема разделения плоской полосы в калибре четырёхвалковой клети

Таким образом, прокатная клеть с таким расположением валков и механизмом их регулировки позволит формовать трёхниточный раскат и разделять его в одном четырёхвалковом калибре.

Исходя из условий и конструкции действующих непрерывных мелкосортных станов, построенных фирмой SKET в 60-х годах, была разработана конструкция четырёхвалковой клети с механизмом регулировки зазора между разделяющими гребнями и угла разворота пар валков (рис. 4).

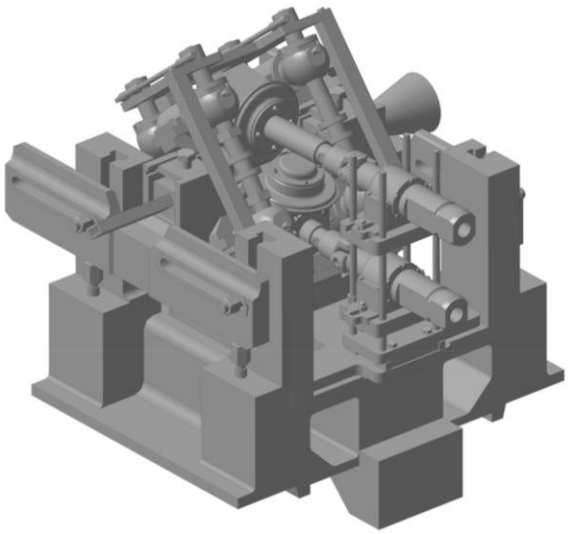


Рис. 4. Четырёхвалковая прокатная клеть для трёхниточной прокатки-разделения

Клеть разработана для условий мелкосортных станов МС250-1, 2, 3, 4 и 5 комбината АМКР. Подобные непрерывные прокатные станы работают на комбинатах «Северсталь» и ЗСМК. Но данную конструкцию можно адаптировать и для мелкосортных станов с типоразмером валков 300-320, построенных позднее.

Такая клеть может быть использована и в качестве универсальной при обычной прокатке, скажем, для калибрования круглого профиля, или для производства квадратного арматурного профиля. В этом случае механизмом регулировки добиваются чтобы угол $\beta = 90°$, или $2\beta = 180°$.

Выводы

1. Разработан и лабораторно опробован новый способ многоручьевой прокатки-разделения путем разрыва перемычки.
2. Данный способ обладает всеми преимуществами широко используемых способов прокатки-разделения методом разрыва перемычки и лишен их основных недостатков.
3. Способ является перспективным направлением развития многоручьевой прокатки-разделения методом разрыва перемычки.
4. Способ многоручьевой прокатки-разделения может быть использован также для двух- и четырехручьевой прокатки-разделения, что придает этому способу большую гибкость.
5. Разработана конструкция прокатной клети для реализации этого способа.

Библиографический список

1. Теория и практика процесса многоручьевой прокатки-разделения / Г.М.Шульгин, О.В.Дубина, В.Ф.Губайдулин и др. Севастополь: «Вебер», 2003. 622 с.
2. Многоручьевая прокатка-разделение. Научные и технологические основы / В.М.Клименко, СП.Ефименко, В.Ф.Губайдуллин, Г.М.Шульгин. М.: Металлургия, 1987. 168 с.
3. Я.Е.Бейгельзимер, А.С.Нефедьев, С.П.Нефедьев. Развитие способа многоручьевого продольного разделения раската при производстве сортовых профилей // Металлургическая и горнорудная промышленность. №6. 2009. С.50-52.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

A.S.Nefediev
DP «Siemens Ukraine»
S.P.Nefediev
«Promet Steel EAD»

NEW METHOD OF THREE-SLIT ROLLING IN THE PRODUCTION OF SECTIONS AND A UNIVERSAL STAND FOR ITS IMPLEMENTATION

Abstract. The method of three-slit on-stream rolling is developed. The method is the perspective direction of the multi-slit rolling with bridge breakage development. The four-rolling stand is developed for the three-slit rolling process realization.

Keywords: multi-slit rolling, multistrand strip, roll pairs, billet, bridge breakage, four-rolls stand.

М.И.Румянцев, И.В.Фадеев, Р.О.Рыжкин
ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова»

ПЕРВОЕ ПРИБЛИЖЕНИЕ ПРЕДЕЛЬНОЙ ТОЛЩИНЫ ГОРЯЧЕКАТАНОГО ПОДКАТА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ХОЛОДНОКАТАНОЙ ЛИСТОВОЙ СТАЛИ

Аннотация. В развитие ранее выполненных исследований получены зависимости, которые позволяют выбрать первое приближение предельного по техническим возможностям стана суммарного обжатия и соответствующую толщину подката для холодной прокатки за N проходов полосы заданных размеров при известной характеристике прочностных свойств горячекатаного металла.

Ключевые слова: холоднокатаная листовая сталь, горячекатаный подкат, предельное суммарное обжатие, толщина подката.

Введение

При заданной толщине готовой полосы $h_к$ толщина подката H_0 определяется выбранным суммарным обжатием ε_Σ: $H_0 = h_к/(1-\varepsilon_\Sigma)$. Суммарное обжатие является одним из важнейших режимных параметров. С одной стороны, его величина обусловлена силовыми и энергетическими возможностями станов, а с другой, – зависимостью собственно свойств готовой продукции, а также их стабильности от степени холодной деформации перед термической обработкой (отжигом). Поэтому величина суммарного обжатия и, следовательно, толщина подката определяются назначением холоднокатаной листовой стали и возможностями стана, используемого в технологической схеме ее производства.

Так, при производстве стали холоднокатаной углеродистой и низколегированной конструкционной применяют преимущественно четырех- и пятиклетевые непрерывные станы, на которых достижимы суммарные обжатия от 40 до 85%. Обжатия более 75% могут быть получены только на пятиклетевых станах. С увеличением толщины и ширины готовой полосы ε_Σ уменьшается [1-3].

Ранее [4] для отображения влияние комплекса указанных факторов на величину суммарного обжатия была получена аппроксимация

$$\varepsilon_\Sigma = \exp\left(4{,}0136 - 0{,}2197 h_к + 0{,}1065 N - 0{,}1171 \beta_L\right), \% \quad (1)$$

где N – число клетей в непрерывном стане или число проходов при прокатке на реверсивном стане; $\beta_L = b_0/L_{po}$ – коэффициент использования бочки валка; b_0 – ширина подката при поступлении на стан; L_{po} – длина контакта рабочего и опорного валков. Недостатком зависимости (1) является то, что в ней не учтено влияние прочностных характеристик подката.

Исследование возможностей станов холодной прокатки по суммарному обжатию

Задача выбора толщины проката должна решаться с учетом комплекса ограничений, часть из которых отображает технические возможности клетей и приводов, а часть – особенности собственно процесса прокатки [5]. Чтобы получить зависимость, которая позволит выбирать суммарное обжатие при холодной прокатке с учетом прочностных характеристик подката, рассмотрели результаты компьютерного исследования[1] с применением программы автоматизированного проектирования [6] для определения предельных обжатий на непрерывных станах 630, 2500 и 2000 и двухклетевом реверсивном стане 1700 прокатки полос различных размеров из стали четырех групп прочности. Толщины холоднокатаных полос при-

[1] Компьютерное моделирование выполнено аспирантом В.С. Митасовым

нимали в соответствии с сортаментом каждого стана, а ширины – как наименьшую, наибольшую и среднюю по технической характеристике. В качестве марок-представителей по группам прочности I, II, III и IV приняли стали с пределом текучести 300, 350, 450 и 510 МПа. Результаты моделирования подтвердили известную и отмеченную ранее [4] тенденцию: более толстые и более широкие полосы должны прокатываться с меньшим суммарным обжатием (рис. 1). При прокатке стали групп прочности III и IV минимальная достижимая толщина больше, чем при прокатке металла групп прочности I и II. С увеличением ширины полосы максимальное достижимое суммарное обжатие уменьшается.

Модель для выбора толщины горячекатаного подката и ее действенность

По результатам компьютерного моделирования получили массив из 272 значений среднего коэффициента обжатия, при которых выполняются ограничения по энергосиловым параметрам ($[\bar{\eta}]_{PMW} = \sqrt[N]{H_0/h_к}$), и множественную аппроксимацию

$$[\bar{\eta}]_{PMW} = 4{,}052 \cdot \sigma_H^{-0{,}095} \cdot h_к^{-0{,}177} \cdot \beta_L^{-0{,}017} \cdot \beta_{bh}^{-0{,}085} - 0{,}06\,, \tag{2}$$

$$(R^2 = 0{,}874;\ F_p = 53{,}758;\ F_{95} = 2{,}405)$$

где σ_H – предел текучести подката; $\beta_{bh} = b_0/h_к$ – коэффициент формы поперечного сечения полосы; R^2 – показатель достоверности аппроксимации; F_p – рассчитанное число Фишера; F_{95} – табличное значение числа Фишера при доверительной вероятности 95%. Так как $F_p > F_{95}$, аппроксимация (2) является статистически надежным отображением исследуемой зависимости.

Известному $[\bar{\eta}]_{PMW}$ при заданном числе проходов N соответствует наибольшая толщина подката

$$[H_0]_{PMW} = h_к \cdot [\bar{\eta}]_{PMW}^N\,. \tag{3}$$

Тогда предельное допустимое из ограничений на энергосиловые параметры суммарное обжатие (%)

$$[\varepsilon_\Sigma]_{PMW} = 100 \cdot \left(1 - 1/[\bar{\eta}]_{PMW}^N\right). \tag{4}$$

Соотношение (4), а также зависимости (3) и (2) позволяют выбрать первое приближение максимального суммарного обжатия и соответствующей толщины подката для холодной прокатки за N проходов полосы заданных размеров при известной характеристике σ_H прочностных свойств горячекатаного металла.

Применительно к задаче выбора предельного суммарного обжатия модель дает абсолютную погрешность от -6,5 до 9,3% при среднем значении 1,4%. Относительная погрешность находится в пределах от -14,3 до 18,5% при среднем значении 2,5%. Стандартная ошибка оценивания 3,9%, степень соответствия прогнозируемых и наблюдаемых значений 0,882 (рис. 2).

Рассмотрели также действенность модели. Под действенностью понимаем оценку [7] $E = \frac{1}{m}\sum_{m}^{j=1} P_j$, где $P_j = 100\,A_{Cj}/N_j$ – процент совпадения прогнозируемых значений j-го показателя качества $(j = 1, m)$ анализируемого процесса с результатами прямых испытаний, A_{Cj} – количество прогнозируемых значений j-го показателя при выполнении N_j испытаний, таких, что модуль их отклонение от действительных не превышает заданную относительную ошибку оценивания. При ошибке оценивания не более 10% действенность модели E =85,9 %, а при допустимой ошибке 15% E =96,9 %.

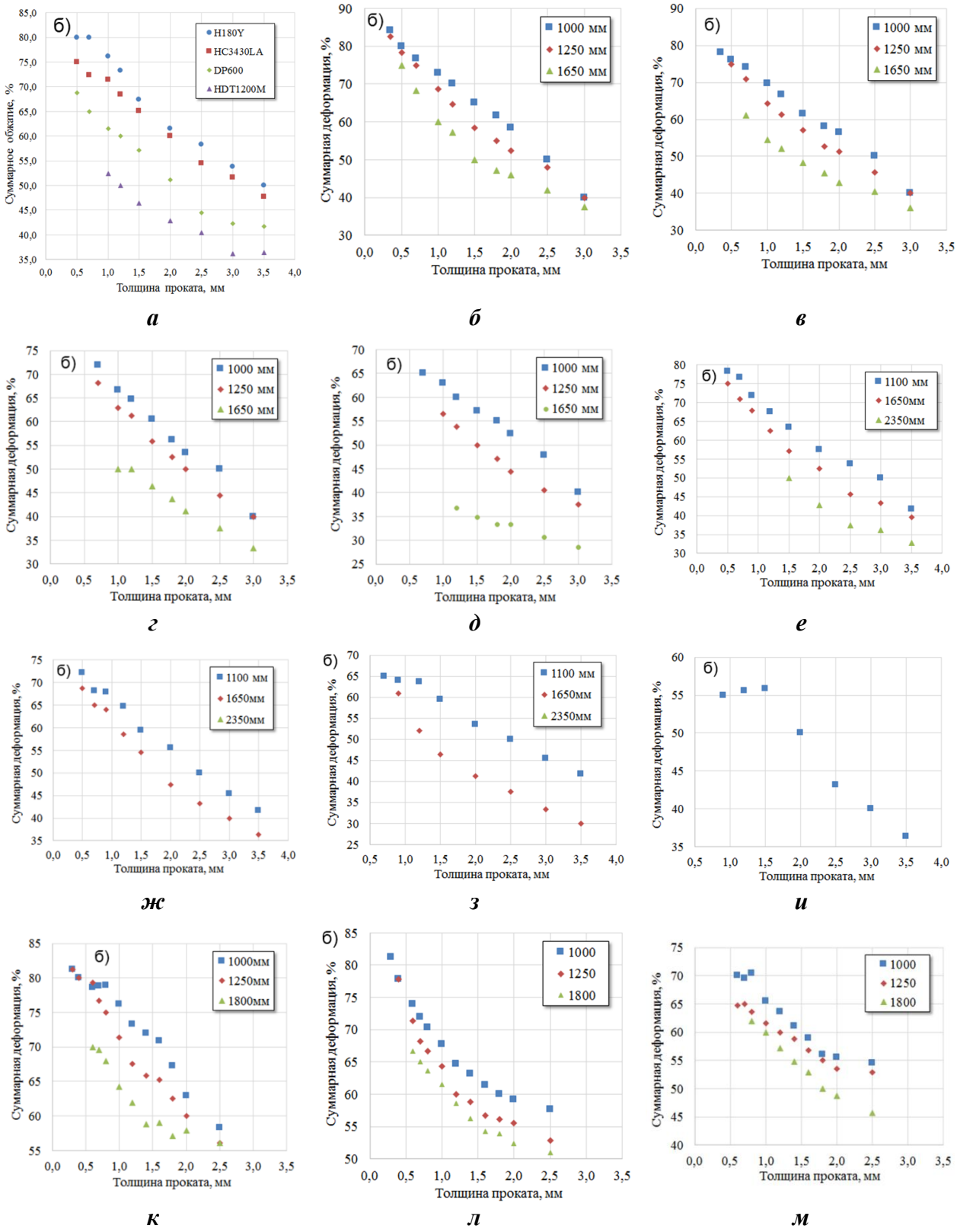


Рис. 1. Максимальные обжатия, достижимые при прокатке холодной прокатке полос из стали различных групп прочности (по данным компьютерного моделирования): а – непрерывный пятиклетевой 630; б, в, г, д – реверсивный 1700 (прокатка за 4 прохода); е, ж, з, и – непрерывный четырехклетевой 2500; к, л, м – непрерывный пятиклетевой 2000; б, е, к – группа прочности I; в, ж, л – группа прочности II; г, з, м – группа прочности III; д, и, н – группа прочности IV

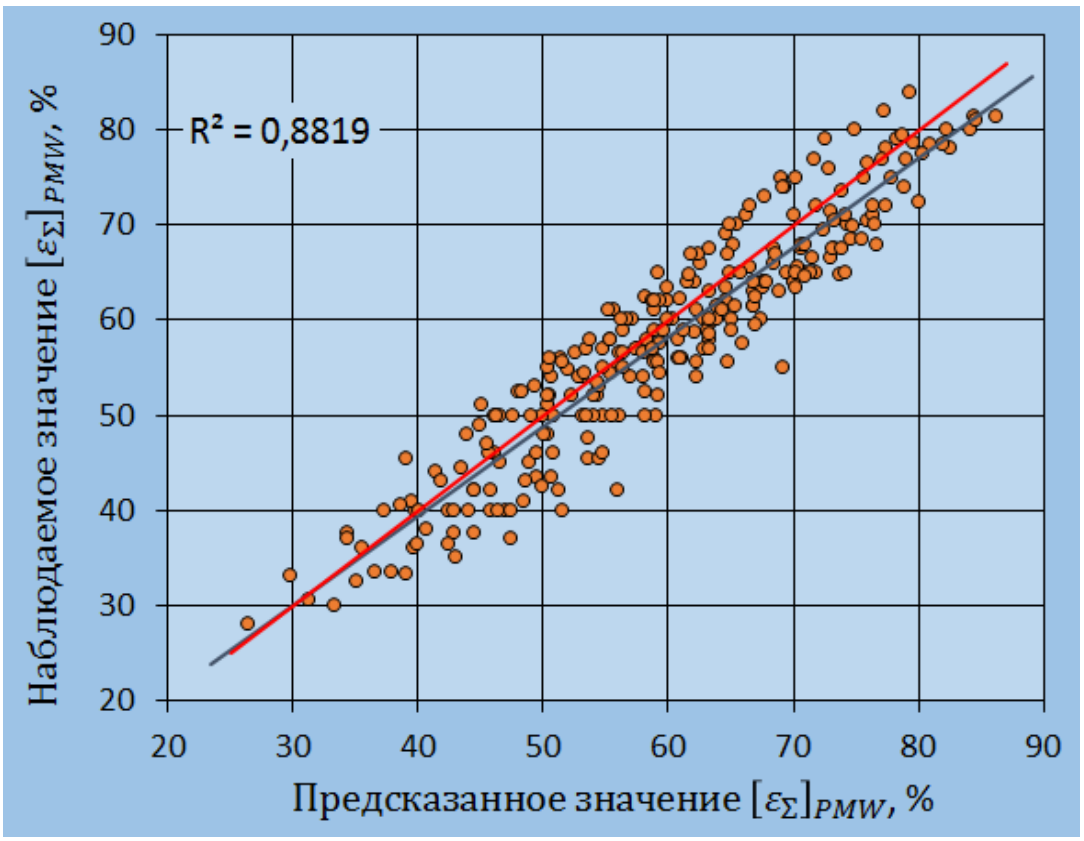


Рис. 2. Диаграмма соответствия прогнозируемых и наблюдаемых значений $[\varepsilon_\Sigma]_{PMW}$

Заключение

В развитие ранее выполненных исследований получены зависимости, которые позволяют выбрать первое приближение предельного по техническим возможностям стана суммарного обжатия $[\varepsilon_\Sigma]_{PMW}$ и соответствующую толщину подката H_0 для холодной прокатки за N проходов полосы заданных размеров $h_к \times b_0$ при известной характеристике прочностных свойств горячекатаного металла σ_H.

Библиографический список

1. Современный цех холодной прокатки углеродистых сталей / Ф.В.Франценюк, Ю.Д.Железнов, Л.А.Кузнецов, В.Г.Камышев. М.: Металлургия, 1984. 154 с.
2. Холодная прокатка и отделка жести / А.Ф.Пименов, О.Н.Сосковец, А.И.Трайно и др. М.: Металлургия, 1990. 208 с.
3. Гарбер Э.А. Производство проката. Справочное издание. Том 1. Книга 1. Производство холоднокатаных полос и листов (сортамент, теория, технология, оборудование). М.: Теплотехник. 2007. 368 с.
4. Методы выбора режимов и расчета параметров при автоматизированном проектировании тонколистовой прокатки / В.М.Салганик, Г.А.Медведев, М.И.Румянцев и др. // Труды третьего конгресса прокатчиков. М.: АО "Черметинформация". 2000. С. 180-188.
5. Химич Г.Л., Цалюк Б.М. Оптимизация режимов холодной прокатки на ЭЦВМ. М.: Металлургия, 1973. 256 с.
6. М.И.Румянцев, А.В.Горбунов, В.С.Митасов. Программа CR CAD для автоматизированного проектирования безаварийных режимов холодной прокатки стали разнообразного назначения на станах различных типов // Свид. о гос. рег. прогр. для ЭВМ. №2013611300 от 09.01.2013. ОБПБТ. 2013. №5. Ч.3. С. 982.

7. Повышение действенности системы управления качеством трубного листового проката на базе статистического прогнозирования свойств / Румянцев М.И., Черкасов К.Е., Якушев Е.В., Корнилов В.Л., Федосеев С.А., Логинов А.В. Магнитогорск, 2013.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

M.I.Rumyantsev, I.V.Fadeyev, R.O.Ryzhkin
Nosov Magnitogorsk State Technical University

FIRST APPROXIMATION OF ULTIMATE THICKNESS OF SEMI-FINISHED HOT-ROLLED PRODUCTS FOR COLD-SHEET STEEL PRODUCTION

Abstract. While developing the previous research the dependences have been obtained which allow choosing the first approximation of ultimate by its technical capacity summarized reduction mill. In addition, the corresponding thickness of the semi-finished roll products for cold rolling for the N passes of the sheet of the reference dimensions at the known characteristics of the strengthening properties of the hot-rolled metal has been chosen.

Keywords: cold-rolled sheet steel, semi-finished hot-rolled products, ultimate summarized reduction, thickness of the semi-finished rolled products.

В.Ю.Рубцов
АО «ЕВРАЗ Нижнетагильский металлургический комбинат»

МЕТОДИКА РАСЧЕТА УСИЛИЙ ПРИ ПОПЕРЕЧНО-ВИНТОВОЙ ПРОКАТКЕ ПЕРИОДИЧЕСКИХ ПРОФИЛЕЙ ПОЛУЭЛЛИПСОИДНОЙ ФОРМЫ НА ПРИМЕРЕ ЦИЛЬПЕБСОВ

Аннотация. Для расширения возможностей аналитического метода расчета при поперечно-винтовой прокатке периодических профилей, разработана методика расчета усилий для фигур полуэллипсоидной формы. На примере цильпебсов с различной эллипсоидностью произведен расчет усилий и сделаны выводы по рациональности выбора параметров.

Ключевые слова: поперечно-винтовая прокатка, полуэллипсоидная форма, цильпебс, площадь контактной поверхности, контактное напряжение, полное усилие прокатки, профиль.

Введение

В настоящее время в качестве мелющих тел в горнорудной, угольной, химической и других областях промышленности используются шары, стержни и цильпебсы. Цильпебсы используются на последних стадиях измельчения в горнодобывающей и цементной промышленности. Их преимуществом относительно мелющих шаров является большая площадь поверхности при одинаковой массе, что сокращает время истирания. Цильпебсы изготавливают как литьем в кокиль [1], так и методом поперечно-винтовой прокатки по ТУ 1172-004-49547075-2013. Калибровка валков для производства цильпебсов производится по известным методикам [2-4], аналогично калибровке валков для производства шаров. Усилие прокатки в данных условиях проверяется только экспериментальным путем.

Цильпебсы в отличие от шаров могут иметь не только сферическую, но также полуэллипсоидную форму, поэтому актуальной задачей является разработка методики расчета усилий при поперечно-винтовой прокатке профилей полуэллипсоидной формы.

Методика расчета

По формуле А.И.Целикова общее усилие, действующее на валок:

$$P_{общ} = P_{ф} + P_{к}, \tag{1}$$

где $P_{ф}$ – усилие формирующего участка; $P_{к}$ – усилие калибрующего участка.

Давление металла на валок на каждом участке калибра определяется выражением:

$$P = p_{ср} F, \tag{2}$$

где $p_{ср}$ – среднее контактное давление металла на валок; F – горизонтальная проекция площади соприкосновения металла с валком.

Поверхность соприкосновения металла с валком на участке обжатия перемычки:

$$F_{н} = b_{и} l, \tag{3}$$

где $b_{и}$ – горизонтальная проекция ширины контактной поверхности; l – длина перемычки, определяемая калибровкой валков.

Площадь контакта металла с валком на участке перемычки определяется аналогично, как для поверхности шара:

$$b_{и} = \sqrt{\frac{2Rr}{R+r} z_{и}}, \tag{4}$$

где R – радиус валка по вершине реборды; r – радиус заготовки; z_u – величина обжатия на половину оборота валка.

Для определения линий контакта необходима схема обжатия. Составляем схему обжатия для цильпебса произвольной формы (рис. 1).

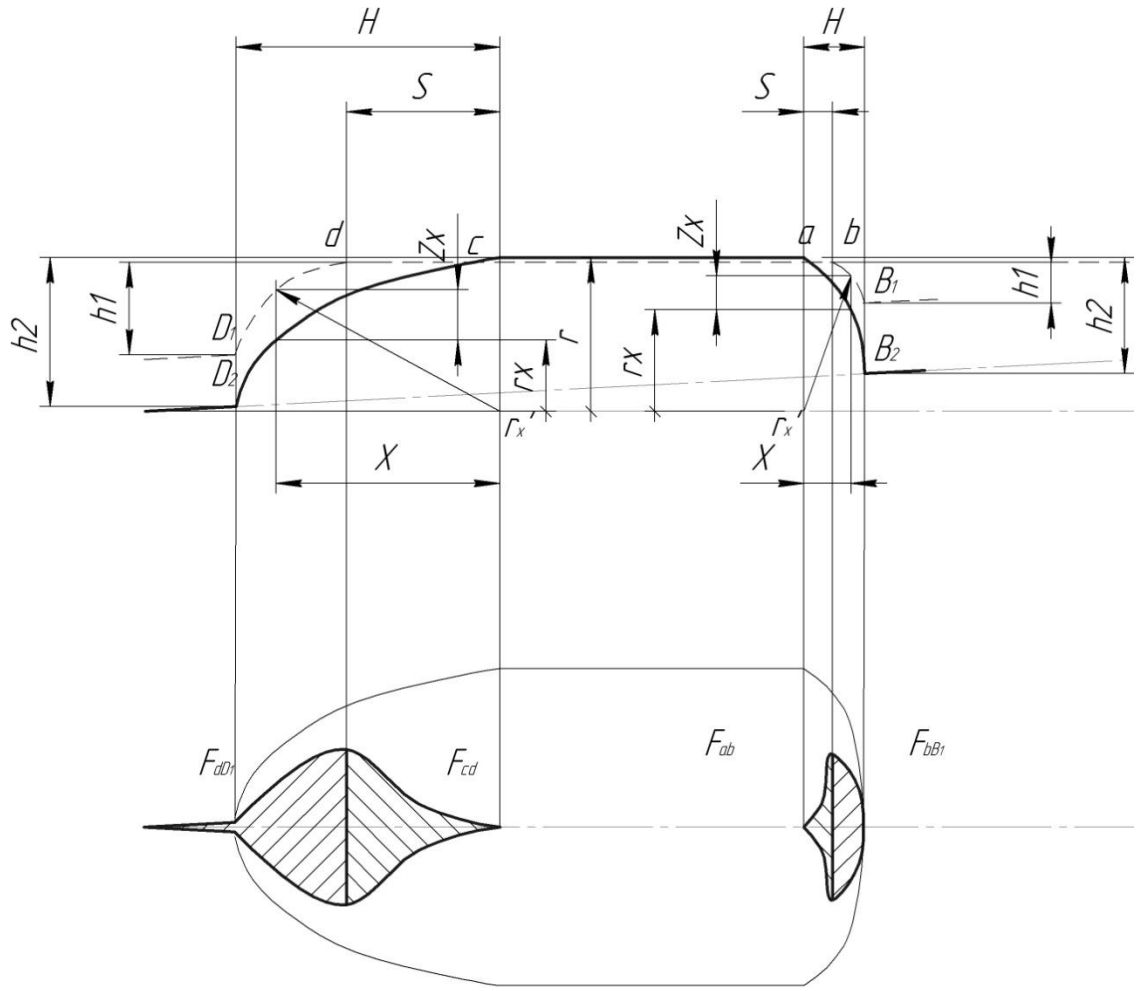


Рис. 1. Схема обжатия цильпебса

Линия D_1dcabB_1 – изображает профиль заготовки в предыдущем обороте валка, линия D_2dcabB_2 – профиль в последующем обороте валка. Т.к. обжатие на валки определяется на пол-оборота, то в дальнейшем, при расчете калибровки, будем составлять зависимости изменения параметров на каждые пол-оборота.

Обжатие в любом сечении заготовки z_x на расстоянии x от начала координат, равно разности радиусов заготовки до обжатия и после него. По характеру деформации разбиваем рассматриваемые участки на: ab, cd – участки, где из цилиндрического участка длиной s формируется профиль, участки bB_1, dD_1, где из сферического профиля большего диаметра формируется профиль меньшего диаметра.

Определим изменение участка формирования профиля через минимальную осевую подачу заготовки S:

$$S_{ab} = A_2B_2 - A_1B_1; \tag{5}$$

$$S_{cd} = C_2D_2 - C_1D_1; \tag{6}$$

$$A_2B_2 = \sqrt{r_{0abx}{}^2 - \left(r'_{0abx} - h_2\right)^2}\ ; \tag{7}$$

$$A_1B_1 = \sqrt{r_{0abx}{}^2 - \left(r'_{0abx} - h_1\right)^2}\ ; \tag{8}$$

$$C_2D_2 = \sqrt{r_{0cdx}{}^2 - \left(r'_{0cdx} - h_2\right)^2}\ ; \tag{9}$$

$$C_1D_1 = \sqrt{r_{0cdx}{}^2 - \left(r'_{0cdx} - h_1\right)^2}\ , \tag{10}$$

где h_2 – высота реборды в рассматриваемый момент прокатки, h_1 – высота реборды до смещения заготовки на расчетный интервал.

Подставляем уравнения 7-9, в уравнения 5-6 и получаем:

$$S_{ab} = \sqrt{r_{0abx}{}^2 - \left(r'_{0abx} - h_{2ab}\right)^2} - \sqrt{r_{0abx}{}^2 - \left(r'_{0abx} - h_{1ab}\right)^2}\ ; \tag{11}$$

$$S_{cd} = \sqrt{r_{0cdx}{}^2 - \left(r'_{0cdx} - h_{2cd}\right)^2} - \sqrt{r_{0cdx}{}^2 - \left(r'_{0cdx} - h_{1cd}\right)^2}\ . \tag{12}$$

На участках ab, cd – радиус и обжатие в любом сечении равны:

$$r_x = \sqrt{r_{0x}{}^2 - x^2}\ ; \tag{13}$$

$$z_x = r_0 - \sqrt{r_{0x}{}^2 - x^2}\ . \tag{14}$$

Ширину соприкосновения металла с валком определяем как:

$$b_x = \xi\sqrt{2r_x z_x + z_x{}^2}\ . \tag{15}$$

Радиус не влияет на изменение обжатия по длине профиля, поэтому подставив выражения 13 и 14 в выражение 15 получим:

$$b_x = \xi\sqrt{2\left(r_0 - \sqrt{r_{0x}{}^2 - x^2}\right)\sqrt{r_{0x}{}^2 - x^2} + \left(r_0 - \sqrt{r_{0x}{}^2 - x^2}\right)^2}\ . \tag{16}$$

Площадь контактной поверхности равна:

$$F = \int_0^S b_x dx\,. \tag{17}$$

На участках ab и cd площадь контактной поверхности будет равна:

$$\begin{aligned} F_{ab,cd} = &\int_0^{S_{cd}} \xi\sqrt{2\left(r_0 - \sqrt{r_{0xcd}{}^2 - x_{cd}{}^2}\right)\sqrt{r_{0xcd}{}^2 - x_{cd}{}^2} + \left(r_0 - \sqrt{r_{0xcd}{}^2 - x_{cd}{}^2}\right)^2} dx_{cd} + \\ &+ \int_0^{S_{ab}} \xi\sqrt{2\left(r_0 - \sqrt{r_{0xab}{}^2 - x_{ab}{}^2}\right)\sqrt{r_{0xab}{}^2 - x_{ab}{}^2} + \left(r_0 - \sqrt{r_{0xab}{}^2 - x_{ab}{}^2}\right)^2} dx_{ab}\ . \end{aligned} \tag{18}$$

На данных участках, при изменении профиля в координате x, радиусы будут изменяться пропорционально.

Данная площадь поверхности соответствует участкам ab и cd при минимально-допустимой подаче S. На последующих участках S допускается заменять x.

На участках калибра bB_1, dD_1, радиус заготовки определяется также по формуле 13, а обжатие в любом сечении заготовки равно:

$$z_x = \sqrt{r_0^{\,2} - (x-s)^2} - \sqrt{r_{0x}^{\,2} - x^2}\,. \tag{19}$$

Подставив выражения 13, 19 в выражение 15 получим:

$$b_x = \xi\sqrt{2\sqrt{r_{0x}^{\,2} - x^2}\left(\sqrt{r_0^{\,2} - (x-s)^2} - \sqrt{r_{0x}^{\,2} - x^2}\right) + \left(\sqrt{r_0^{\,2} - (x-s)^2} - \sqrt{r_{0x}^{\,2} - x^2}\right)^2}\,. \tag{20}$$

Площадь соприкосновения металла с валком равна:

$$F = \int_S^H b_x dx\,; \tag{21}$$

$$F_{bB_1,dD_1} = \int_{S_{cd}}^{H_{cD_1}} \xi\sqrt{2\sqrt{r_{0xcD}^{\,2} - x_{cD}^{\,2}}\left(\sqrt{r_0^{\,2} - (x_{cD} - s_{cd})^2} - \sqrt{r_{0xcD}^{\,2} - x_{cD}^{\,2}}\right) + \left(\sqrt{r_0^{\,2} - (x_{cD} - s_{cd})^2} - \sqrt{r_{0xcD}^{\,2} - x_{cD}^{\,2}}\right)^2} dx_{cD} + \int_{S_{ab}}^{H_{aB_1}} \xi\sqrt{2\sqrt{r_{0xaB}^{\,2} - x_{aB}^{\,2}}\left(\sqrt{r_0^{\,2} - (x_{aB} - s_{ab})^2} - \sqrt{r_{0xaB}^{\,2} - x_{aB}^{\,2}}\right) + \left(\sqrt{r_0^{\,2} - (x_{aB} - s_{ab})^2} - \sqrt{r_{0xaB}^{\,2} - x_{aB}^{\,2}}\right)^2} dx_{aB}\,. \tag{22}$$

Общая контактная поверхность на участке обжатия в одном калибре будет равна:

$$F_c = F_{ab} + F_{cd} + F_{bB_1} + F_{dD_1} = F_{ab,cd} + F_{bB_1,dD_1}\,. \tag{23}$$

Рассматривая процесс поперечной прокатки как результат элементарных процессов сжатия цилиндрического тела между двумя параллельными плитами при повороте его на малый угол, определяем среднее контактное напряжение по формуле:

$$p = 2k\left(1{,}25\ln\frac{2r}{b} + 1{,}25\frac{b}{2r} - 0{,}25\right), \tag{24}$$

где k – сопротивление пластической деформации при чистом сдвиге.

Далее расчет производится по известной методике [2, 5]. После расчета всех необходимых параметров подставляем их в общее уравнение:

$$P_{общ} = P_ф + P_к = \sum_1^n P_{nобщ}\,, \tag{25}$$

где n – число реборд, одновременно участвующих в формировке заготовки, $P_{nобщ}$ – общее давление на один калибр валка:

$$P_{общ} = pF_н + pF_x. \tag{26}$$

Подставляем все известные параметры в уравнение 25 и получаем:

$$\begin{aligned} P_{общ} = {} & 3pF_н + p_{ab(0)}F_{ab(0)} + p_{bB_1(0)}F_{bB_1(0)} + p_{cd(0)}F_{cd(0)} + p_{dD_1(0)}F_{dD_1(0)} + \\ & + p_{ab(1)}F_{ab(1)} + p_{bB_1(1)}F_{bB_1(1)} + p_{cd(1)}F_{cd(1)} + p_{dD_1(1)}F_{dD_1(1)} + \cdots + \\ & + p_{ab(n)}F_{ab(n)} + p_{bB_1(n)}F_{bB_1(n)} + p_{cd(n)}F_{cd(n)} + p_{dD_1(n)}F_{dD_1(n)}. \end{aligned} \tag{27}$$

Чаще всего винтовые калибры для прокатки цильпебсов имеют 2-2,5 оборота, n будет составлять для них 1 или 2, поэтому для расчета полного усилия прокатки необходимо будет выделять 8-12 участков и находить на каждом из них контактную площадь и среднее контактное напряжение, включая все входящие в них параметры.

Расчет значений на примере профилей цильпебсов

По ТУ 1172-004-49547075-2013 параметры изготавливаемых цильпебсов представлены в табл. 1.

Таблица 1

Основные типоразмеры и группы твердости СКЦ

Основные типоразмеры, мм	Предельные отклонения по диаметру, мм	Группы твердости
20x30	±1	1, 2, 3, 4
22x35		
25x38		
30x50	±2	
50x120	±3	

Согласно данным параметрам, величина эллипсоидности не регламентируется, поэтому задавшись произвольными параметрами (рис. 2), производим расчет для цильпебсов типоразмера 50x120 с учетом калибровки в однозаходных валках постоянного шага, углом сведения валков 3° и углом подъема реборды 15° на 1,5 оборота калибра. Результаты расчетов представлены в табл. 2.

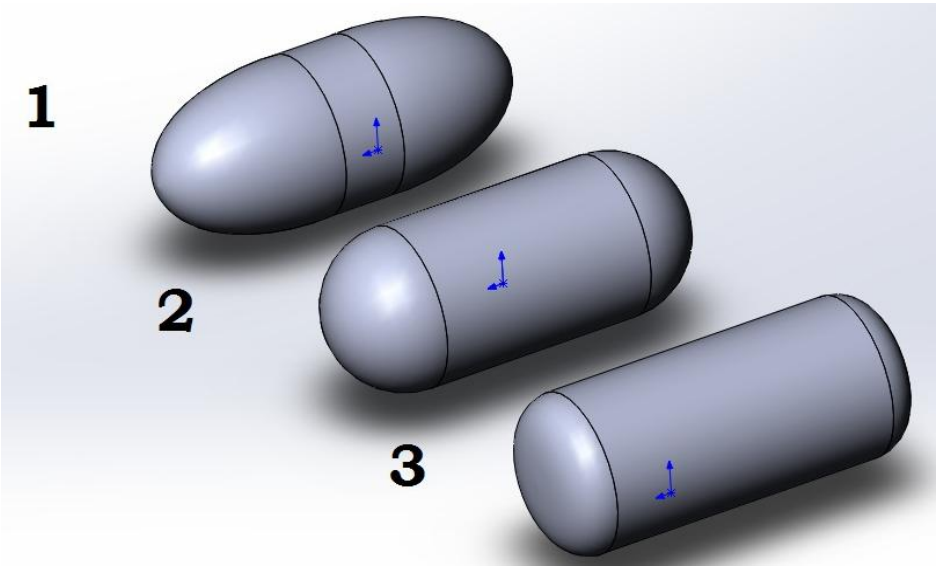


Рис. 2. Цильпебсы с разной эллипсоидностью: 1 – 2/1; 2 – 1/1; 3 – 1/2

Таблица 2

Расчетные значения для СКЦ 50х120

Параметр	эллипсоидность	
	1/2	2/1
$F_{ab,cd(0)}$, 10^{-6}м	96	262
$F_{bB_1,dD_1(0)}$, 10^{-6}м	168	404
$p_{ab,cd(0)}$, МПа	149	120
$p_{bB_1,dD_1(0)}$, МПа	161	136
$F_{ab,cd(1)}$, 10^{-6}м	138	398
$F_{bB_1,dD_1(1)}$, 10^{-6}м	298	922
$p_{ab,cd(1)}$, МПа	132	117
$p_{bB_1,dD_1(1)}$, МПа	155	135
$F_{ab,cd(2)}$, 10^{-6}м	184	324
$F_{bB_1,dD_1(2)}$, 10^{-6}м	0	0
$p_{ab,cd(2)}$, МПа	139	124
$p_{bB_1,dD_1(2)}$, МПа	0	0
$F_н$	26	26
$p_н$	111	108
P, кН	140	306

Для Цильпебса с нормальным параметром эллипсоидности 1/1 расчет усилий допускается производить по известной методике как для шара.

Выводы

1. Как показали расчеты, величина $F_{ab,cd}$ значительно меньше величины F_{bB_1,dD_1}, поскольку осевая подача значительно меньше диаметра заготовки, это доказывает, что на каждом участке формирование поверхности начинается уже с незначительного вреза валка.
2. Полное усилие прокатки уменьшается при производстве цильпебсов с меньшей эллипсоидностью, но при этом контактное напряжение на участки валков растет, что приводит к уменьшению их стойкости и более быстрому износу реборд.
3. Разработанная методика расчета, в отличие от существующей предложенной А.И.Целиковым для расчета цилиндрических, конических и сферических поверхностей, расширяет возможности и позволяет определить усилие прокатки при производстве периодических профилей полуэллипсоидной формы при поперечно-винтовой прокатке.
4. Данная методика предложена для расчета усилий прокатки при производстве цильпебсов, но также может быть использована при расчете усилий прокатки для других периодических профилей, имеющих в своей геометрии полуэллипсоидную форму, что расширяет возможность аналитического метода расчета при использовании поперечно-винтовой прокатки.

Библиографический список:

1. Исследование литья в кокиль цильпебсов. Марукович Е.И., Брановицкий А.М., Лебединский Ю.А., Саченко Ю.В., Харьков В.А., Прохоцкий О.Г. // Литье и металлургия. 2016. №1 (82). С. 27-33.
2. Целиков А.И., Барбарич М.В. Специальные прокатные станы. М: Металлургия. 1971. 336 с.
3. Перетятько В.Н., Климов А.С., Филиппова М.В. Калибровка валков шаропрокатного стана. Сообщение 1 // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2013. №4. С. 27-30.
4. Перетятько В.Н., Климов А.С., Филиппова М.В. Калибровка валков шаропрокатного стана. Сообщение 2 // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2013. №6. С. 16-20.
5. Целиков А.И. Теория расчета усилий в прокатных станах. М: Металлургия. 1962. 496 с.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

V.Y.Rubtsov
EVRAZ Nizhny Tagil Metallurgical Plant

METHOD FOR CALCULATING THE FORCES FOR THE TRANSVERSE SCREW ROLLING OF PERIODIC PROFILES OF THE SEMI-ELLIPSOID SHAPE USING THE EXAMPLE OF CYLPEBS

Abstract. To expand the possibilities of the analytical calculation method for transverse screw rolling of periodic profiles, a method for calculating the forces for figures of the semi-ellipsoid form was developed. On the example of cylpebs with different ellipsoids, the effort was calculated and conclusions were drawn on the rationality of the choice of parameters.

Keywords: cross-helical rolling, semi-ellipsoid form, cylpebs, contact surface area, specific pressure, total rolling force, profile.

Д.Новокшонов
АО «Выксунский металлургический завод»
О.Соколова
ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э.Баумана (национальный исследовательский университет)»
А.Лепестов
ЗАО «СиСофт»

ОБЕСПЕЧЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ КРОМОК ТРУБНОЙ ЗАГОТОВКИ ПРИ НЕПРЕРЫВНОЙ ВАЛКОВОЙ ФОРМОВКЕ

Аннотация. Рассмотрены исследования, посвященные современным проблемам выбора схемы формообразования на существующих трубоэлектросварочных агрегатах при помощи моделирования процесса, приведен анализ проблем, связанный с выбором правильного положения валкового инструмента в формовочном стане для получения стабильного процесса формообразования при переходе на новые типоразмеры и на новый марочный сортамент продукции.

Ключевые слова: сварные трубы, непрерывная валковая формовка, калибровки, схема формоизменения, моделирование процесса, метод конечны элементов.

Известно, что основным недостатком непрерывной валковой формовки труб является появление в процессе формоизменения искривленных участков кромок трубной заготовки – так называемых гофров, представляющих собой следствие появления в кромках продольных сжимающих напряжений, определяющих их устойчивость [1]. Причиной возникновения таких напряжений являются пластические деформации растяжения и сжатия, которые происходят при непрерывном знакопеременном гибе полосы в валках формовочного стана. Гофрообразование затрудняет или делает невозможной последующую сварку заготовки. Этот недостаток наиболее явно проявляется при производстве тонкостенных труб или же труб из сталей высоких классов прочности.

Чтобы определить картину распределения продольных деформаций в зависимости от траектории центрального волокна трубной заготовки был проведен анализ процесса формовки труб на ТЭСА 203-530 АО «ВМЗ». Исследование проведено в специализированном программном комплексе конечно-элементного моделирования COPRA FEA RF [2], основанном на базе решателя MSC Marc. В качестве объекта исследования выбрана труба диаметром 325 мм и толщиной стенки 5 мм. Труба изготавливается сталей двух марок (20 и К56), причем гофрообразование наблюдается только в случае использования стали класса прочности К56.

Исходными данными для моделирования послужила компоновка формовочно-сварочного стана непрерывной валковой формовки (рис. 1), реализованная в COPRA RF.

Результаты моделирования формовки показали, что, не меняя текущую настройку стана, стабильность процесса сварки возможно обеспечить только при производстве труб ∅325x5 мм из стали 20, так как при формовке трубной заготовки, изготовленной из стали класса прочности К56, кромка теряет продольную устойчивость в межклетевом промежутке FP1-FP2. Внешний вид излома показан на рис. 2.

В ходе анализа очага формоизменения были определены причины возникновения гофров. Одной из причин оказалось увеличение расстояния между кромками полосы и ее высоты перед клетью FP1 вследствие большего распружинивания профиля трубной заготовки при формовке в предыдущих клетях стана (рис. 3). Поскольку увеличивается траектория перемещения кромок, становится больше и величина продольных деформаций, что способствует потере продольной устойчивости кромок в межклетевом промежутке FP1-FP2.

Также установлено, что немаловажной причиной гофрообразования в группе клетей с закрытым профилем калибра FP1-3 является несовершенство схемы формоизменения в клетях стана предварительной формовки FFX (PR1-CL3), а именно неравномерность деформа-

ции кромок полосы по длине очага сворачивания. Как видно из рис. 4, единовременная большая величина опускания дна трубной заготовки в плоскости клети RVS ведет к перегибам кромки в межклетевом промежутке BD4-RVS (рис. 5) с периодом возникновения около 1200 мм, равным половине межклетевого расстояния.

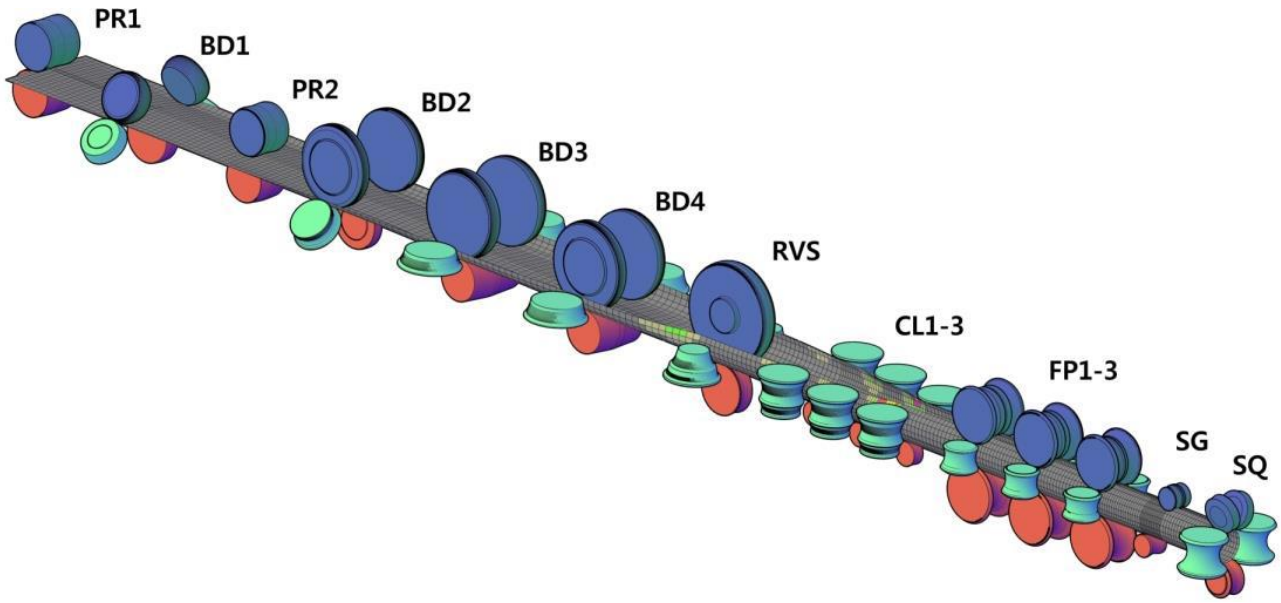


Рис. 1. Компоновка формовочно-сварочного стана 203-530

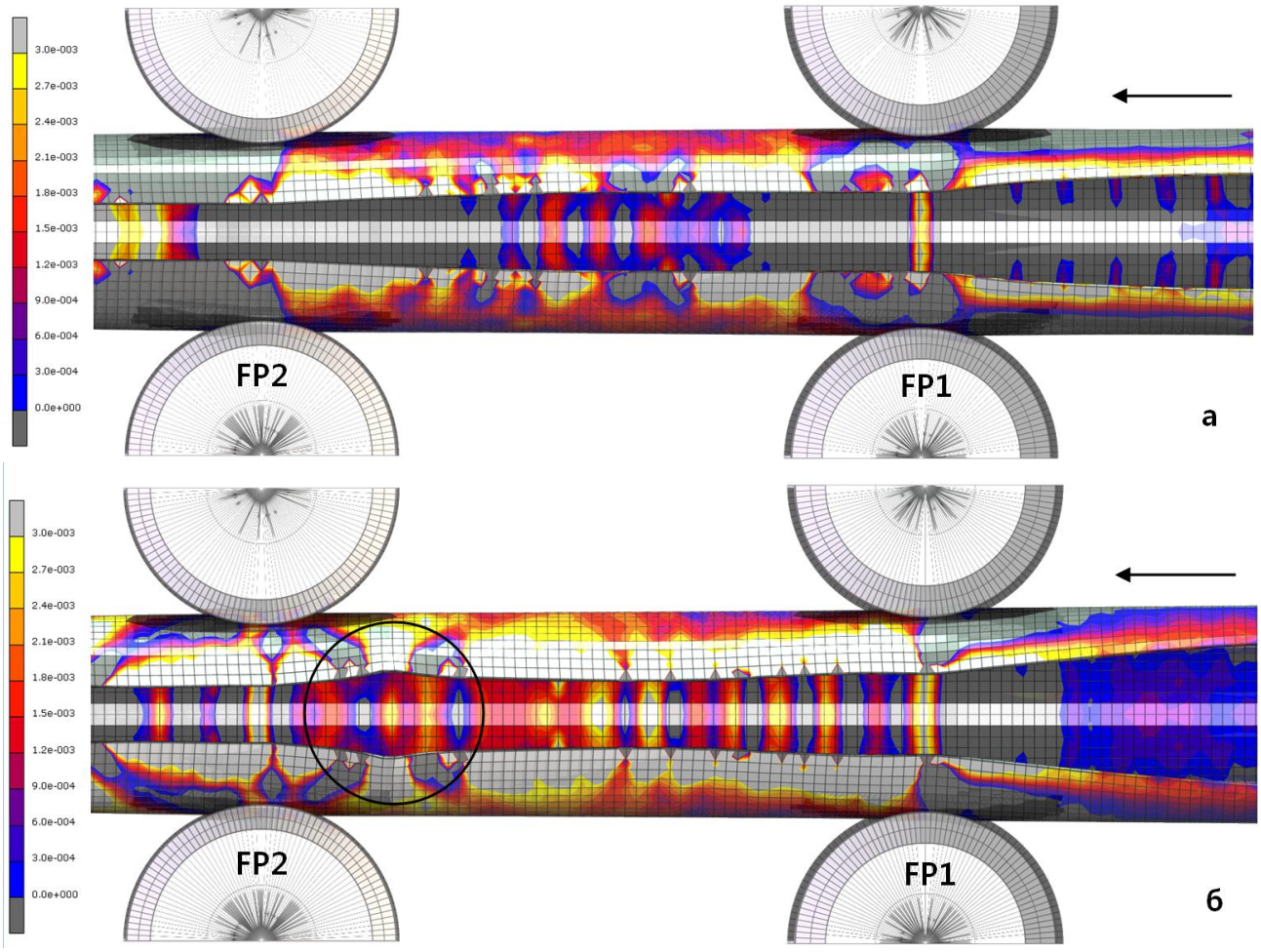


Рис. 2. Продольная пластическая деформация трубной заготовки в межклетевом промежутке FP1-FP2 при производстве трубы ∅325х5 мм (вид сверху): а – сталь 20; б – сталь К56

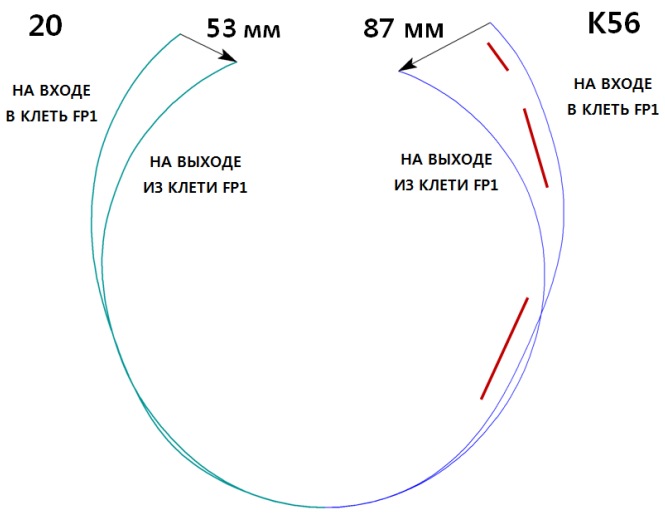


Рис. 3. Форма профиля трубной заготовки на входе и выходе из клети FP1 при производстве труб из стали марок 20 и К56

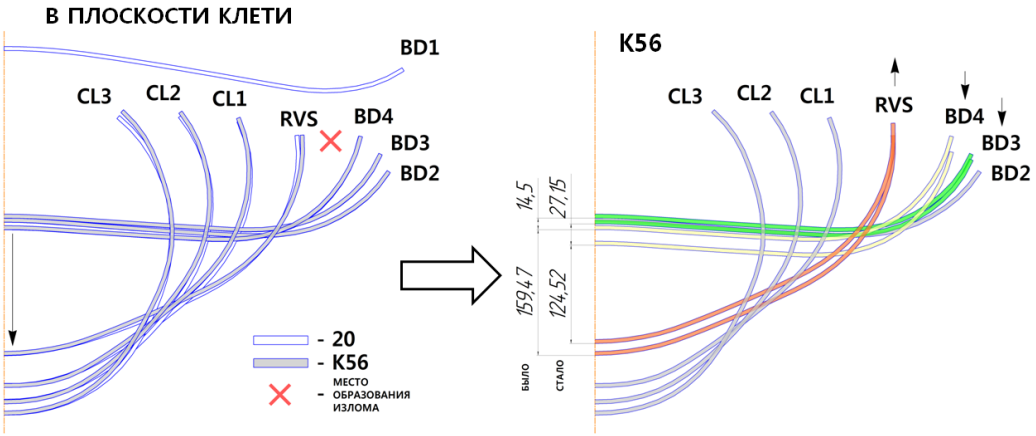


Рис. 4. Схема перераспределения величины опускания дна заготовки по клетям FFX

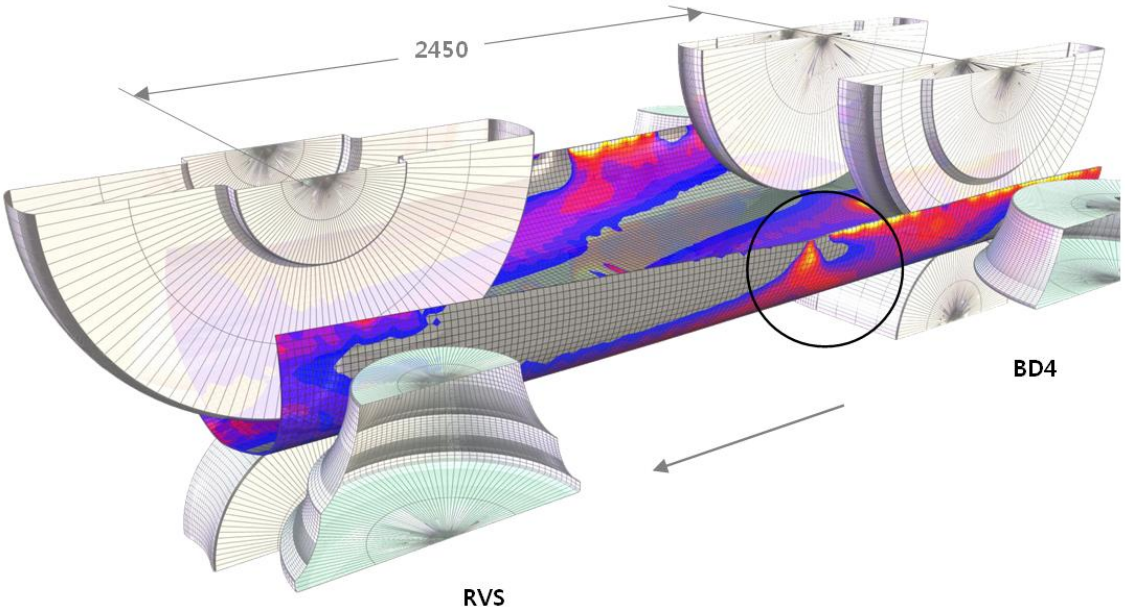


Рис. 5. Внешний вид перегибов кромки в межклетевом промежутке BD4-RVS

Кроме того, при формовке труб из стали К56 происходит увеличение траектории перемещения кромки за счет ее большего распружинивания (рис. 6) на выходе из клети BD4, что приводит к увеличению продольных деформаций и, как следствие, способствует формированию излома кромки в межклетевом промежутке BD4-RVS по принципу, описанному выше.

Чтобы предотвратить потерю кривизны кромки заготовки, необходимо увеличить ширину подгибаемого участка профиля, скорректировав положение валков клети BD4 согласно принципиальной схеме «доформовки», представленной на рис. 6.

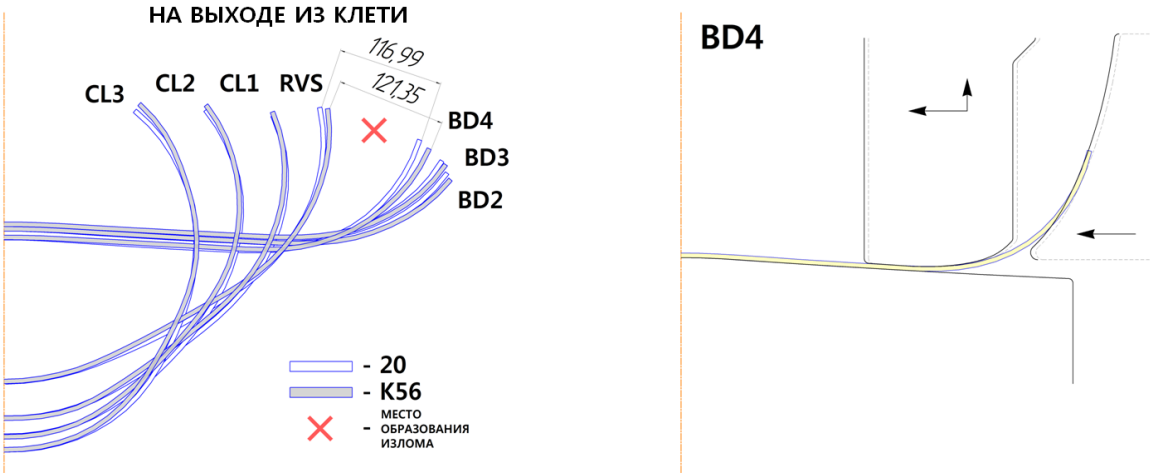


Рис. 6. Схема, демонстрирующая различия геометрии профиля трубной заготовки на выходе из клетей стана FFX при формовке труб ∅325x5 мм из различных марок сталей

Таким образом, устранить исходные перегибы кромки, способствующие формированию гофров в группе клетей с закрытым профилем калибра, позволит оптимизация схемы формоизменения заготовки в клетях стана предварительной формовки FFX за счет изменения координат положения рабочего инструмента. Схема «цветка формовки», оптимального для производства труб ∅325x5 мм из стали К56 (отражает геометрию профиля трубной заготовки на различных этапах ее формоизменения), представлена на рис. 7.

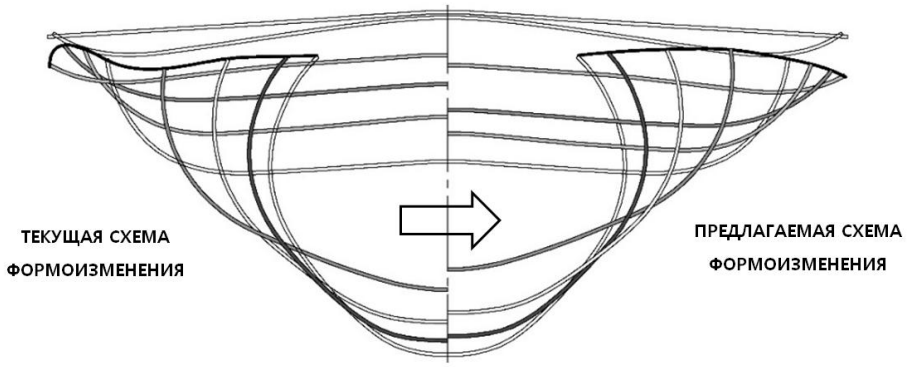


Рис. 7. Схема оптимальной траектории перемещения кромки и величины опускания дна трубной заготовки

Устранение описанных причин гофрообразования в группе клетей FP необходимо, но недостаточно для обеспечения продольной устойчивости кромки. В ходе исследования было установлено, что главной причиной появления изломов является продольное течение металла прикромочной области при обжатии трубной заготовки из стали К56 в клетях с закрытым профилем калибра. Как видно на рис. 8, при обжатии заготовки из стали К56 не происходит утолщения прикромочной области, в отличие от формовки труб из стали 20.

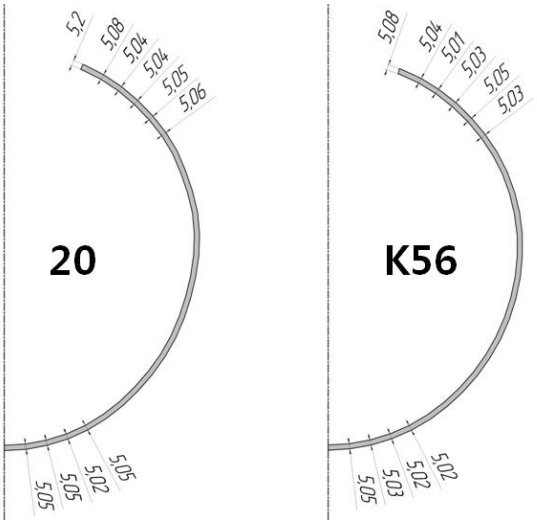


Рис. 8. Сечение трубной заготовки на выходе из клети FP1

Обнаружено, что вследствие применения ниспадающей схемы опускания дна трубной заготовки на стане FFX кромка «отстает» от тела формуемой трубы, как показано на рис. 9. Этот факт и отмеченное ранее течение металла прикромочной области в направлении формовки создают его избыток в межклетевом промежутке FP1-FP2, формируя излом. Период образования непроваров сварного соединения, как и период формирования изломов кромки в межклетевых промежутках группы клетей FP1-3, одинаков и равен около 600 мм – половине расстояния между ними.

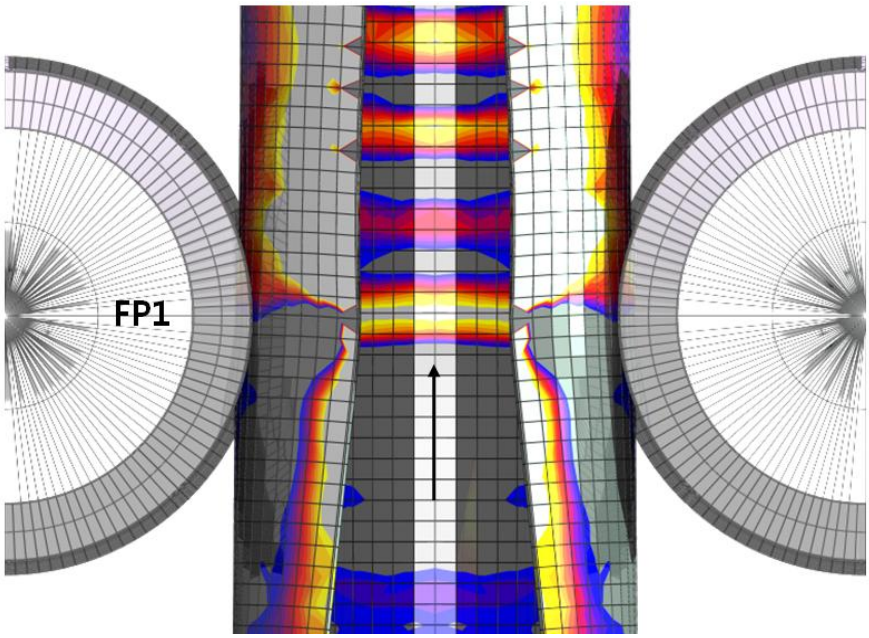


Рис. 9. Геометрия сетки после прохождения трубной заготовкой
стана предварительной формовки FFX

Для обеспечения продольной устойчивости кромки предложено исключить обжатие трубной заготовки по периметру в первых двух клетях группы FP, предотвратив продольное течение металла прикромочной области, за счет уменьшения ширины исходной заготовки B_0 на величину Δ, определяемую по формуле:

$$\Delta = B_0 - \left(\Pi_{калибр\ FP2} - kt\right),$$

где $П_{калибр\,FP2}$ – периметр калибра клети FP2, мм; t – толщина стенки трубной заготовки, мм; k – коэффициент увеличения наружного периметра заготовки в клетях FFX.

Выводы

1. Создана модель формоизменения трубной заготовки на ТЭСА 203-530 АО «ВМЗ» в программном комплексе COPRA FEA RF (на базе MSC Marc).
2. Проведен конечно-элементный анализ процесса формовки труб ∅325х5 мм из стали марок 20 и К56, который позволил установить следующие закономерности:

– путем подбора в вертикальной плоскости кривой положения центрального волокна трубной заготовки имеется возможность сформировать такой очаг формовки, которому была бы характерна меньшая неравномерность продольных деформаций и меньшая величина их максимальных значений;
– формирование излома кромки (при производстве труб из сталей высоких классов прочности) происходит вследствие продольного течения металла прикромочной области в направлении формовки при обжатии заготовки в клетях FP и «отставания» кромки от тела формуемой трубы по причине применения ниспадающей схемы опускания дна трубной заготовки на стане FFX;
– при формовке тонкостенных заготовок целесообразно сочетать мероприятия, предотвращающие появление гофров на кромках между клетями стана предварительной формовки FFX, с выбором оптимальной ширины штрипса, позволяющей исключить чрезмерное обжатие заготовки в стане окончательной формовки FP1-3.

3. Помимо обеспечения продольной устойчивости кромок, уменьшение ширины исходной заготовки позволило уменьшить расходный коэффициент металла более чем на 5 кг на тонну готовой продукции.

Полученные закономерности имеют универсальный характер и на данный момент успешно подтверждены при производстве труб из стали К56 (∅530х6 мм).

Библиографический список

1. Иванов Е.И., Жуковский Б.Д., Калинушкин П.Н. О механизме деформации кромок при непрерывной валковой формовке трубных заготовок // Производство сварных труб: тематический отраслевой сборник. – М.: Металлургия, 1974, №3, с. 13-20.
2. Официальный сайт компании data M: www.datam.de.
3. Совершенствование производства сварных труб / Рымов В.А., Полухин П.И., Потапов И.Н. – М.: Металлургия, 1983. 312 с.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

D.Novokshonov
Vyksa Steel Works
O.Sokolova
Bauman Moscow State Technical University
A.Lepestov
CSoft company

ENSURING THE STABILITY OF THE EDGES OF THE PIPE BILLET UNDER CONTINUOUS ROLL FORMING

Abstract. The research is devoted to the modern problems of the choice of the rollforming process by FEA modeling, the analysis of the problems connected with a choice of a correct position of the roll tool in the mill for reception of a stable process of shaping at transition to new standard sizes and on a new material.

Keywords: weld tube, Rollforming, forming steps, process modeling, finite element method.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Лепестов Антон – ЗАО «СиСофт» (г. Москва). E-mail: antonlepestov@gmail.com.

Нефедьев А.С. – ДП «Сименс Украина».

Нефедьев Сергей Павлович – главный калибровщик ООО «Метинвест-Холдинг», «Промет Стиил ЕАД», г. София (Болгария). E-mail: sergenef@ukr.net.

Новокшонов Дмитрий – АО «Выксунский металлургический завод» (г. Выкса).

Рубцов Виталий Юрьевич – слесарь-ремонтник крупносортного цеха АО «ЕВРАЗ Нижнетагильский металлургический комбинат». E-mail: uriylot@mail.ru.

Румянцев Михаил Игоревич – канд. техн. наук, профессор кафедры технологий обработки материалов ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова». Область исследований: совершенствование технологии производства листового проката на основе развития методологии анализа листопрокатных технологических систем.
Тел.: +79320139323.
E-mail: mikhail.rumyantsev54@bk.ru.

Рыжкин Роман Олегович – студент кафедры технологий обработки материалов ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова».

Соколова Ольга – ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э.Баумана (национальный исследовательский университет)».

Фадеев Иван Викторович – студент кафедры технологий обработки материалов ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова».

ABOUT THE AUTHORS

Anton Lepestov – CSoft company (Moscow). E-mail: antonlepestov@gmail.com.

Nefediev A.S. – DP «Siemens Ukraine».

Nefediev Sergey Pavlovich – Chief RP Designer Metinvest Holding «Promet Steel EAD» (Sofia, Bulgaria). E-mail: sergenef@ukr.net.

Novokshonov Dmitry – Vyksa Steel Works.

Rubtsov Vitaly Yurievich – Fitter of EVRAZ Nizhny Tagil Metallurgical Plant.
E-mail: uriylot@mail.ru.

Rumyantsev Mikhail Igorevich – Candidate of Technical Sciences, Professor of «Technologies of Material Processing» Department at the State Educational Institution of Higher Professional Education «Magnitogorsk State Technical University named after G.I.Nosov».
Research themes: sheet and plate production.
Phone: +79320139323.
E-mail: mikhail.rumyantsev54@bk.ru.

Ryzhkin Roman Olegovich – student of «Technologies of Material Processing» Department at the State Educational Institution of Higher Professional Education «Magnitogorsk State Technical University named after G.I.Nosov».

Sokolova Olga – Bauman Moscow State Technical University.

Fadeyev Ivan Viktorovich – student of «Technologies of Material Processing» Department at the State Educational Institution of Higher Professional Education «Magnitogorsk State Technical University named after G.I.Nosov».