

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМОИЗМЕНЕНИЯ МЕТАЛЛА ПРИ ПРОКАТКЕ РЕЛЬСОВ В УНИВЕРСАЛЬНЫХ КАЛИБРАХ

Литвинов Р.А., аспирант, Шварц Д.Л., к.т.н., доцент, Шилов В.А., д.т.н., профессор
Уральский государственный технический университет – УПИ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина,
г. Екатеринбург, Россия

Прокатка в универсальных четырехвалковых калибрах является наиболее прогрессивным способом производства высококачественных железнодорожных рельсов, широко используется в современной зарубежной металлургии и является основным направлением совершенствования технологии производства рельсов на отечественных рельсобалочных станах [1-3 и др.]. Главное достоинство такого способа заключается в возможности получения равномерной деформации металла по всем элементам рельсового профиля, что достигается при определенном режиме обжатий. В наших работах [4, 5] предложен метод расчета режима обжатий в универсальных калибрах, обеспечивающий равенство коэффициентов вытяжки по шейке $\lambda_{ш}$, подошве $\lambda_{п}$ и головке $\lambda_{г}$ рельсового профиля. Для получения требуемых эксплуатационных свойств рельсов необходимо знать распределение деформаций и напряжений по сечению рельсового раската. С этой целью провели компьютерное моделирование в системе [DEFORM 3D](#) [6, 7] формоизменения и напряженно-деформированного состояния металла при прокатке рельса в универсальном калибре по расчетным режимам обжатий.

Анализировали процесс прокатки рельсового профиля в черновом универсальном калибре (рис. 1) с одинаковыми коэффициентами вытяжки по шейке, подошве и головке: $\lambda_{ш} = \lambda_{п} = \lambda_{г} = 1,281$. Для обеспечения указанного равенства вытяжек коэффициенты обжатия фланцев согласно расчету [4, 5] составили: по подошве у основания $1/\eta_{nb} = b'_n/b_n = 1,235$ и у вершины $1/\eta_{na} = a'_n/a_n = 1,471$, а по головке у основания $1/\eta_{rb} = b'_r/b_r = 1,307$ и у вершины $1/\eta_{ra} = a'_r/a_r = 1,363$.

С целью получения устойчивого, установившегося процесса прокатки длину исходного рельсового раската задавали 1800 мм. Для указанной геометрической модели сформировали конечно-элементную сетку с общим количеством узлов 10712 (81413 элементов).

Диаметр приводных горизонтальных валков $D_r = 1300$ мм и вертикальных холостых валков $D_b = 900$ мм. Полагали, что металл обладает свойствами жестко-пластической среды. Температуру раската принимали 1100 °С. Сопротивление деформации рассчитывали по данным В.К. Смирнова – А.Р. Бондина [8]. Условия трения на контакте металла с валками задавали по Кулону. Моделировали процесс прокатки со скоростью 2,8 м/с.

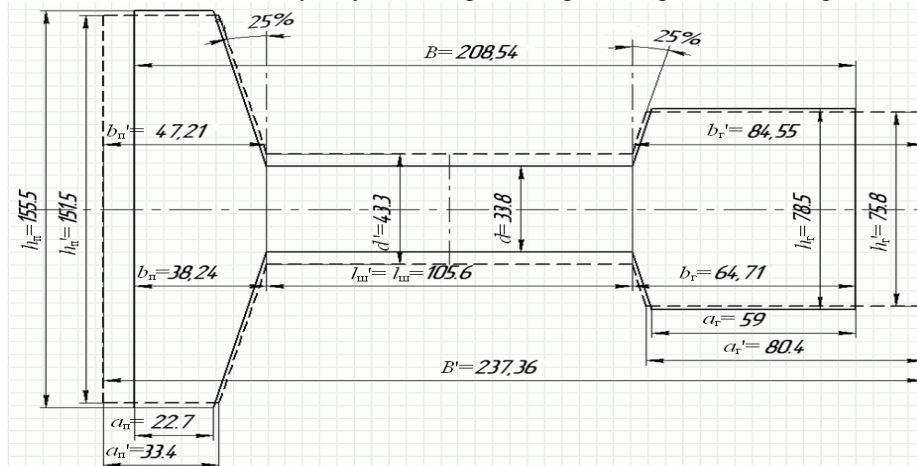


Рис. 1. Размеры универсального калибра и задаваемого в него раската (пунктирные линии)

При моделировании процесса входа раската в калибр установили, что вследствие несимметричности рельсового профиля происходит изгиб заднего конца полосы в сторону подошвы (рис. 2, а). При этом получается накатывание горизонтального валка на боковую внутреннюю поверхность головки и образование дефекта (заката) в месте соединения головки с шейкой. Такое искривление заднего конца раската наблюдали авторы работы [8] при проведении экспериментальных исследований на лабораторном стане. Для предотвращения его авторами было предложено сдвигать оси вертикальных валков по направлению или против направления прокатки относительно плоскости осей горизонтальных валков [9, 10]. Однако реализовать такой сдвиг вертикальных валков практически оказалось невозможным из-за усложнения конструкции универсальных рабочих клетей. Для устранения указанного изгиба заднего конца полосы достаточно применить вводные направляющие линейки, что и делают на зарубежных рельсoproкатных станах [2].

Моделирование процесса прокатки рельсов с такими линейками показало, что при условии применения их искривления заднего конца раската и образования дефектов не происходит (рис. 2, б), так как со стороны направляющей линейки возникает усилие, выпрямляющее полосу. Установлено также, что при одинаковых коэффициентах вытяжки по подошве и головке искривления переднего конца раската, как правило, не наблюдается.

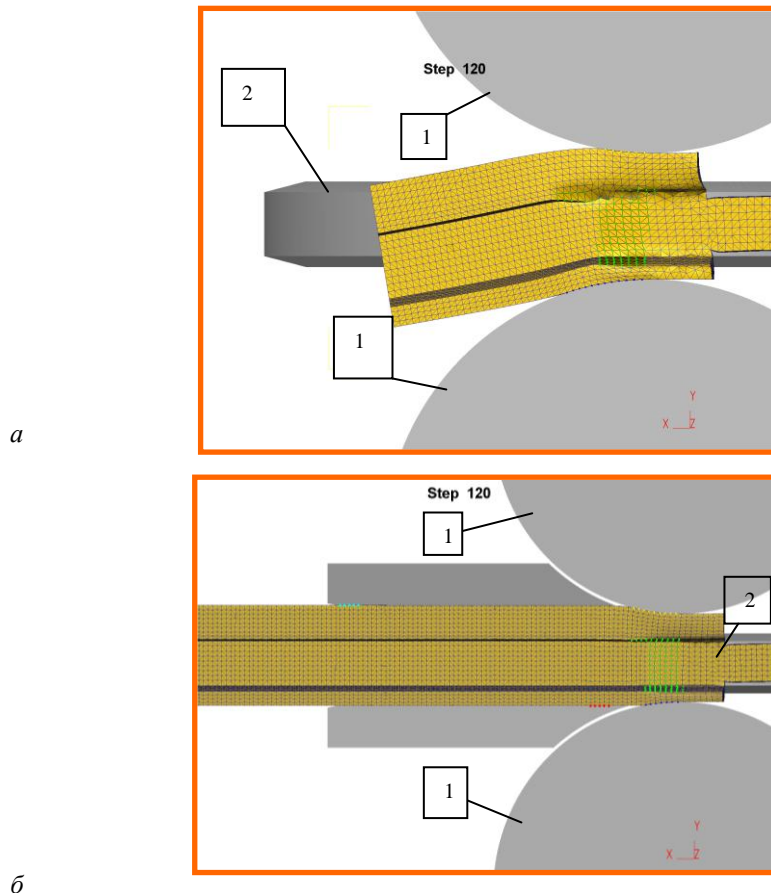


Рис. 2. Моделирование условий входа раската в калибр без применения (а) и с применением (б) вводных направляющих линеек (вид сверху): 1 – вертикальные валки; 2 – горизонтальный валок

Исследование изменения формы прямоугольной координатной сетки, нанесенной на поверхность исходного раската (рис. 3, а), позволило сделать вывод о том, что в очаге деформации по всей контактной поверхности шейки получается зона отставания (поперечные линии сетки имеют выпуклость в сторону входа раската в валки), а зона опережения получается только на внутренней боковой поверхности фланцев (поперечные линии сетки на фланцах сдвинуты в направлении прокатки). При этом на заднем конце полосы получается местное удлинение по шейке – так называемый «язык» (см. рис. 3, б), который должен способствовать улучшению условий захвата раската в следующем, реверсивном проходе.

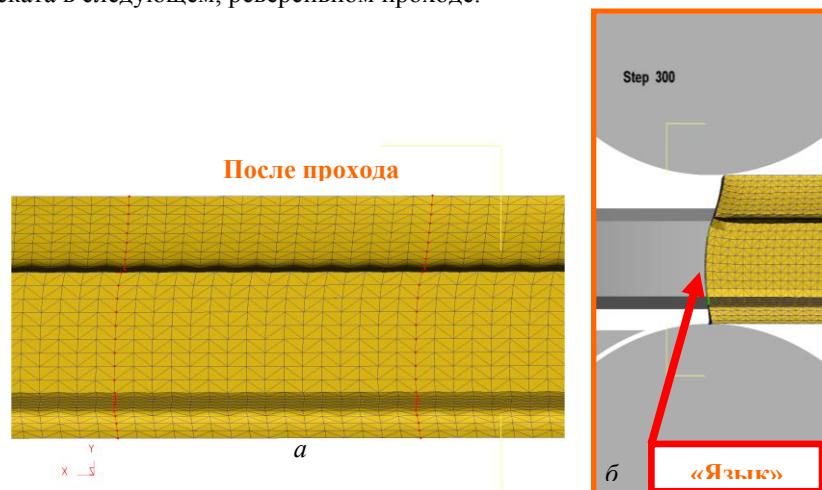


Рис. 3. Изменение координатной сетки на контактной поверхности полосы (а) и образование «языка» на заднем конце раската (б)

В результате исследования формоизменения металла в поперечном сечении раската (рис. 4) установили, что под действием обжатия шейки и фланцев профиля наблюдается неравномерное по ширине изменение высоты подошвы и головки: на контакте с вертикальными валками получается приращение фланцев, а в месте контакта их с боковой поверхностью горизонтального валка наблюдается утяжка. При этом контур свободной поверхности фланцев получается криволинейным и характеризуется переменным по толщине фланцев коэффициентом приращения подошвы $\beta_n = H_n / H'_n = 1,030 \div 0,975$ и головки $\beta_r = H_r / H'_r = 1,053 \div 0,938$. Изменение соотношения коэффициентов вытяжки по элементам рельсового профиля оказывает существенное влияние на вели-

чину приращения фланцев. Например, при увеличении коэффициента вытяжки (обжатия) шейки с 1,281 до 1,500 без изменения коэффициентов обжатия фланцев происходит уменьшение коэффициентов приращения подошвы до $\beta_n = 1,007 \div 0,958$ и головки до $\beta_n = 1,044 \div 0,927$, а уменьшение $\lambda_{ш}$ до 1,1 приводит к увеличению β_n до $1,070 \div 1,005$ и β_r до $1,082 \div 0,948$. Такой характер изменения высоты фланцев рельсового профиля качественно подтверждается экспериментальными данными В.К. Смирнова и А.Р. Бондина [8]. Указанные закономерности приращения (утяжки) фланцев необходимо учитывать при определении высотного обжатия подошвы и головки в горизонтальных вспомогательных калибрах для того, чтобы получить требуемую форму и размеры фланцев готового профиля.

С этой целью по результатам специально проведенного численного эксперимента получена формула для определения текущего значения коэффициента приращения фланцев подошвы или головки

$$\beta = a \left(\eta - 1 \right)^b A^c \tilde{h}^d,$$

где A – приведенный диаметр горизонтальных валков $A = D/d$; \tilde{h} – приведенная высота фланцев подошвы ($\tilde{h} = h_n/d$) или головки ($\tilde{h} = h_r/d$); a, b, c и d – коэффициенты, принимающие численные значения в зависимости от текущей толщины фланцев $\tilde{y} = y/a_n$ (для подошвы) или $\tilde{y} = y/a_r$ (для головки), причем $0 < \tilde{y} < 1$.

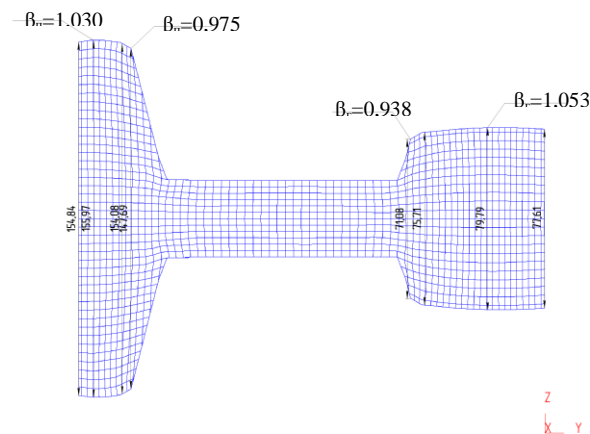


Рис. 4. Изменение координатной сетки в поперечном сечении раската при прокатке с одинаковым коэффициентом вытяжки по шейке и фланцам

Из рис. 4 видно, что вертикальные линии координатной сетки по всему сечению деформированного профиля практически не искривляются (незначительное отклонение их от вертикали наблюдается только в месте соединения шейки и фланцев). Это свидетельствует о том, что при одинаковых вытяжках $\lambda_{ш} = \lambda_n = \lambda_r$ перетекание металла по элементам не происходит. При моделировании процесса прокатки с нарушением указанного равенства в случае, когда $\lambda_{ш} > \lambda_n = \lambda_r$, наблюдается перетекание металла из шейки в подошву и головку (вертикальные линии изгибаются выпуклостью в сторону фланцев), а при $\lambda_{ш} < \lambda_n = \lambda_r$ – наоборот металл перетекает из фланцев в шейку (вертикальные линии на фланцах изгибаются выпуклостью в сторону шейки).

Список литературы

1. Матвеев Б.Н. Современные рельсoproкатные станы. Бюлл. «Черная металлургия» М.: ОАО «Черметинформация». 2006. С. 40 – 43.
2. Свейковски У., Нерзак Т.. Производство рельсов высокого качества с использованием компактных универсальных клетей и технологий Rail Cool. Металлургическое производство и технология (МРТ). Русское издание. 2006. №2. С. 50 – 56.
3. Современные технологии производства транспортного металла (материалы 3-й международной конференции «Трансмет –2007»). Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2008. С. 19-21. 33-37. 276-286.
4. Шилов В.А., Шварц Д.Л., Литвинов Р.А. Развитие методов расчета калибровок валков для прокатки рельсов. // Производство проката. 2008. №1. С.29-33.
5. Шилов В.А., Шварц Д.Л., Литвинов Р.А. Расчет формоизменения металла при прокатке рельсов в универсальных калибрах // Известия вузов. Черная металлургия. 2008. №3. С. 51-54.
6. Desing Environment for FORMing. Сайт компании Scientific Forming Technologies Corporation. www.deform.com
7. Применение системы DEFORM для моделирования технологических процессов обработки металлов давлением / Д.В. Бузлаев, В.А. Кропотов, А.А. Сахарчук, А.А. Харламов // М.: 2001. С. 1-13.
8. Смирнов В.К., Бондин А.Р., Михайленко А.М. Исследование прокатки рельсов в универсальных клетях / Производство проката, 2002, №12. С. 24 – 30.
9. А.с. СССР 1225622. Способ изготовления рельсов / В.К. Смирнов, В.А. Паршин, А.Р. Бондин и др. // Б.И. №15, 1986.
10. А.с. СССР 1423197. Способ изготовления рельсов / В.К. Смирнов, В.А. Паршин, А.Р. Бондин и др. // Б.И. №34, 1988.