

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ УСЛОВИЙ ПРОКАТКИ ДЛИННОМАЕРНЫХ РЕЛЬСОВ НА УНИВЕРСАЛЬНОМ РЕЛЬСОБАЛОЧНОМ СТАНЕ

SIMULATION OF TEMPERATURE CONDITIONS FOR ROLLING LONG-LENGTH RAIL ON UNIVERSAL RAIL-BEAM MILL.

Е.О. Скосарь, В.А. Шилов, Д.Л. Шварц

ФГАОУ ВПО «Уральский Федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина».

Кафедра «Обработка металлов давлением», г. Екатеринбург.

Россия. E-mail: omd@mtf.ustu.ru; тел.: (343) 375-44-37

Abstract.

The estimation of the roughen distribution of the metal temperature in length and cross section of a peal at rolling rail R65 on universal rail-beam mill. Calculation and modeling of temperature to give consideration to the DEFORM-3D, adapted to the rogue rolling conditions, taking into account the loss of heat radiation and heating of metal from the strain. Temperature exercise negatively influence on mechanical properties and straightforwardness rails. Depending on distribution of the metal temperature in length and cross section of a peal can be arranged heat treatment either in water mixture or water-air mixture.

При производстве длинномерных железнодорожных рельсов на современных рельсобалочных станках с использованием непрерывно-реверсивных чистовых групп универсальных клетей [1,2 и др.] важное значение имеет изменение температуры металла по длине и поперечному сечению раската, так как оно оказывает существенное влияние на прямолинейность рельсов и режим охлаждения при термообработке чистового раската с целью получения требуемой структуры и механических свойств рельсов.

Для определения закономерностей изменения температурных полей в процессе прокатки провели моделирование температурных режимов деформации на типовом универсальном рельсобалочном стане (рис. 1) [3], включающем обжимную и черновую реверсивные клетки дуо,

непрерывно-реверсивную группу тандем в составе двух универсальных и одной двухвалковой вспомогательной клетки, а также чистовую калибрующую универсальную клеть. Схема калибровки валков при прокатке рельса Р65 составлена по методике [3] и представлена на рис. 2. В обжимной клетке вначале в ящичных калибрах (на схеме не показаны) получают прямоугольный профиль, из которого за три прохода формируют тавровую заготовку (проходы 2-4), а в клетке II за 3 прохода получают разрезной рельсовый профиль, который затем прокатывают в универсальных калибрах непрерывно-реверсивной группы с контролем фланцев по высоте в вспомогательных открытых калибрах. Длина готового рельсового раската составляет 102м.

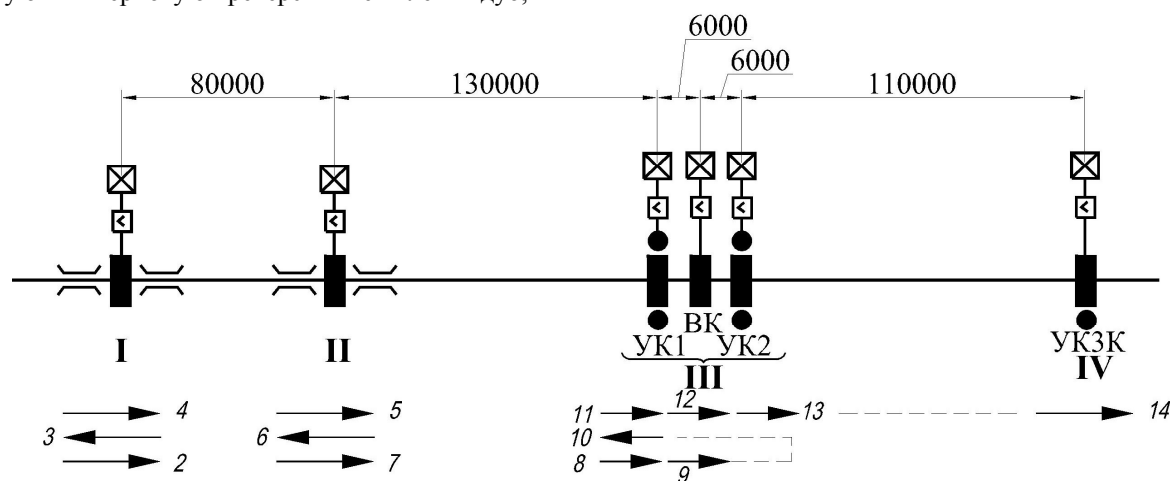


Рис. 1. Схема расположения клетей и распределение проходов на универсальном рельсобалочном стане: I - обжимная реверсивная клеть; II - черновая реверсивная клеть; III - непрерывная реверсивная группа клетей; IV - универсальная калибрующая клеть. Стрелками с цифрами показано направление прокатки в проходах

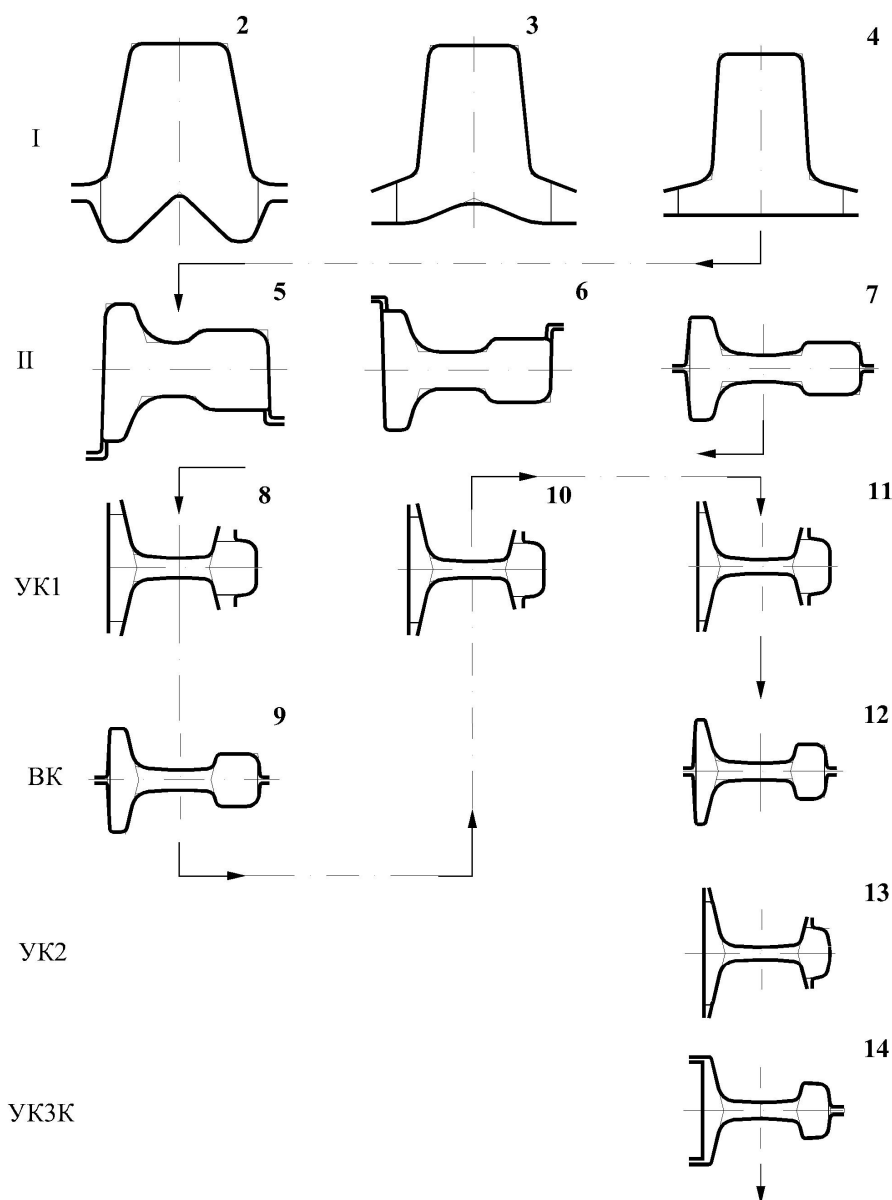


Рис. 2. Схема калибровки валков

Для определения закономерностей изменения температурного поля по длине раската определяли среднемассовую температуру металла на переднем и заднем конце полосы в каждом проходе с учетом затрат времени на деформацию и паузы на передачу раската от одного калибра к другому. Расчет провели по методу А.И. Целикова, адаптированному к условиям прокатки фасонных профилей [3] и учитывающему потери тепла за счет лучеиспускания и разогрев металла за счет перехода энергии пластической деформации в тепловую энергию. По этому методу температуру раската после прохода рассчитывают по формуле:

$$t_1 = \frac{1000}{\sqrt[3]{\frac{0,0255 \cdot \Pi \cdot \tau}{\omega} + \left(\frac{1000}{t_0 + \Delta t_d + 273}\right)^3}} - 273, \quad (1)$$

где Π и ω - периметр и площадь поперечного сечения раската после прохода; τ - время охлаждения раската, включающее машинное время прокатки τ_m и продолжительность паузы τ_n на перемещение раската от одного калибра к

следующему калибру ($\tau = \tau_m + \tau_n$); t_0 - температура раската до рассматриваемого прохода, °C; Δt_d - повышение температуры полосы за счет деформации в рассматриваемом проходе, °C. Величину Δt_d рассчитывали в зависимости от сопротивления металла деформации σ и коэффициента вытяжки λ по формуле:

$$\Delta t_d = 0,183 \cdot \sigma \cdot \ln \lambda \quad (2)$$

причем сопротивление деформации рельсовой стали определяли по формуле В. К. Смирнова - А. Р. Бондина [3]:

$$\sigma = e^{8,9+0,47 \cdot \ln \varepsilon - 0,87 \cdot \varepsilon + 0,13 \ln u - 0,0032 \cdot t} \quad (3)$$

где ε и u - степень и скорость деформации, t - температура раската, °C.

Площадь и периметр поперечного сечения раскатов, затраты времени на прокатку (τ_m , τ_n) принимали по результатам расчета калибровки рельса Р65 и построения графика Адамецкого [3].

Указанный метод был предварительно апробирован при расчете температурного режима при прокатке рельса Р65 на действующем линейном рельсобалочном стане НТМК [4] одновременно с экспериментальным измерением температуры раската по проходам. Полученная при этом достаточно хорошая сходимость расчетных и опытных данных позволяет применять этот метод и на других прокатных станах с получением достоверных результатов.

Результаты расчета по указанному методу температуры раската по его длине для

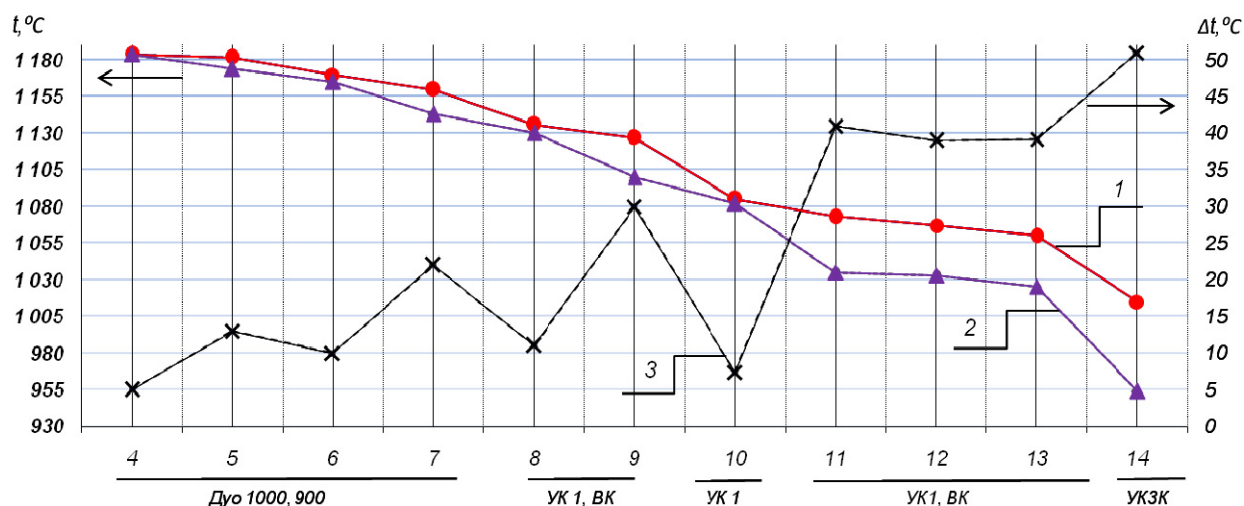


Рис. 3. Изменения температуры рельсового раската по длине в процессе прокатки на универсальном рельсобалочном стане; 1 – передний конец раската; 2 – задний конец раската; 3 – перепад температуры по длине

Снижение температуры металла на переднем и заднем конце полосы в проходах 4-8 и 10 имеет одинаковый характер (см. кривые 1 и 2 на рис.3), а разница температуры между концами раската (см. кривую 3) увеличивается по мере удлинения полосы от 5-8°C до 17-20°C. Такую неравномерность изменения температуры при длине раската 30-80м и при средней температуре металла 1100-1180°C можно считать незначительной и полагать, что при реверсировании раската как в клету дуо, так и в универсальной клету УК1 температуру металла можно принимать примерно одинаковой по всей длине полосы. Это следует объяснить тем, что в процессе прокатки при реверсе раската передний и задний конец раската при входе в валки чередуются (т.е. вышедший из валков более «холодный» конец раската становится передним в следующем проходе и т.д.), а машинное время прокатки в двух смежных проходах достаточно близко. Таким образом получившийся в предыдущем проходе температурный «клин» в значительной степени устраняется в последующем проходе.

После того как чередование концов прекратилось в проходах 11-13 универсальной клету перепад температур между передним и задним концом раската увеличивается до 40°C и становится почти одинаковым. Наибольший перепад температур до 60°C достигается в последнем калибрующем проходе. Это объясняется тем, что расстояние между УК2 и УК3К составляет 110м, а длина раската равна 102м.

рассматриваемого стана (см. рис. 1) представлены на рис. 3. При нагреве исходной заготовки до температуры 1200°C температура раската по длине в обжимной клету 1000 изменяется незначительно (на рис. 3 не показана) и при выходе из нее в проходе 4 составляет 1180°C. Заметная разница температуры по переднему и заднему концу наблюдается в проходах 5-7, когда формируются фланцы рельсового профиля.

Таким образом на готовом раскате наблюдается весьма существенная разница температуры по длине, и это потребует соответствующего режима охлаждения полосы при термообработке рельса с целью получения одинаковых механических свойств по длине рельса.

Для определения температурных полей металла в поперечном сечении раската провели моделирование процесса прокатки рельса Р65 в программном комплексе DEFORM-3D [5]. При этом рассчитывали для каждого прохода изменение температуры в среднем сечении (по середине) раската, а для чистового прохода, кроме того, в поперечных сечениях переднего и заднего концов полосы. На рис. 4 и 5 представлены наиболее характерные эпюры распределения температуры в поперечных сечениях раскатов. Как видно, во всех проходах имеет место значительная неравномерность температуры по сечению раската. Как правило, наиболее низкую температуру имеют участки раската, контактирующие с валками. В центральной части сечения обычно располагается область более высоких температур, которая по ходу прокатки постепенно разделяется на две области, примыкающие к головке и подошве профиля (см. рис. 5), уступая место более низкотемпературному полю шейки. Наиболее низкую температуру во всех проходах имеют тонкие концы подошвы профиля, а наиболее высокую температуру - головка профиля.

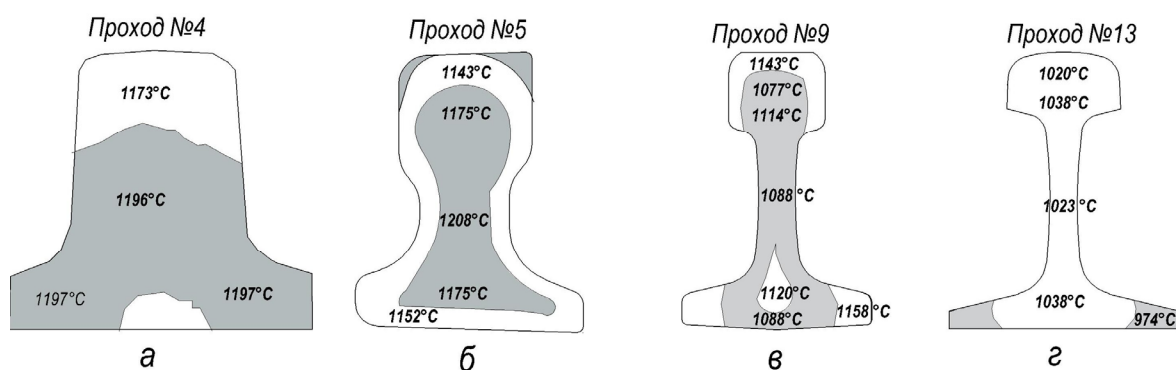


Рис. 4. Эпюры температурных полей раската в тавровом (а), разрезном (б); вспомогательном (в) и универсальной (г) клетях

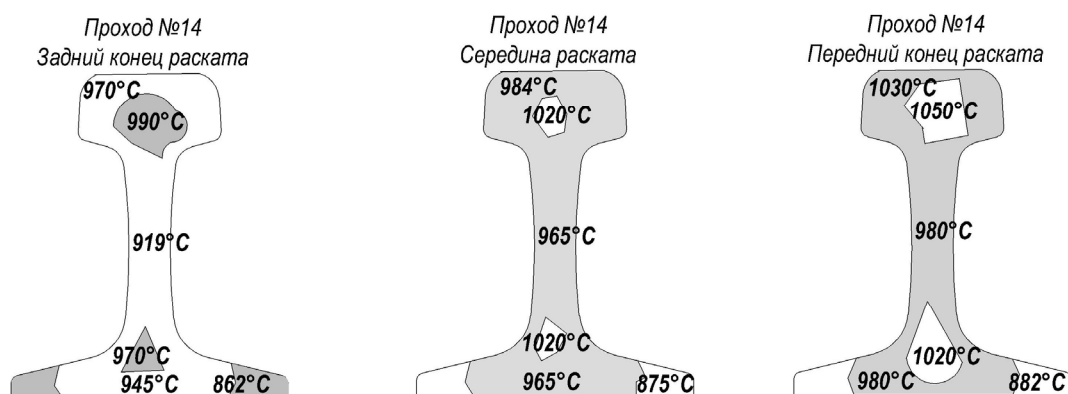


Рис. 5. Изменение температурных полей в поперечных сечениях по длине раската

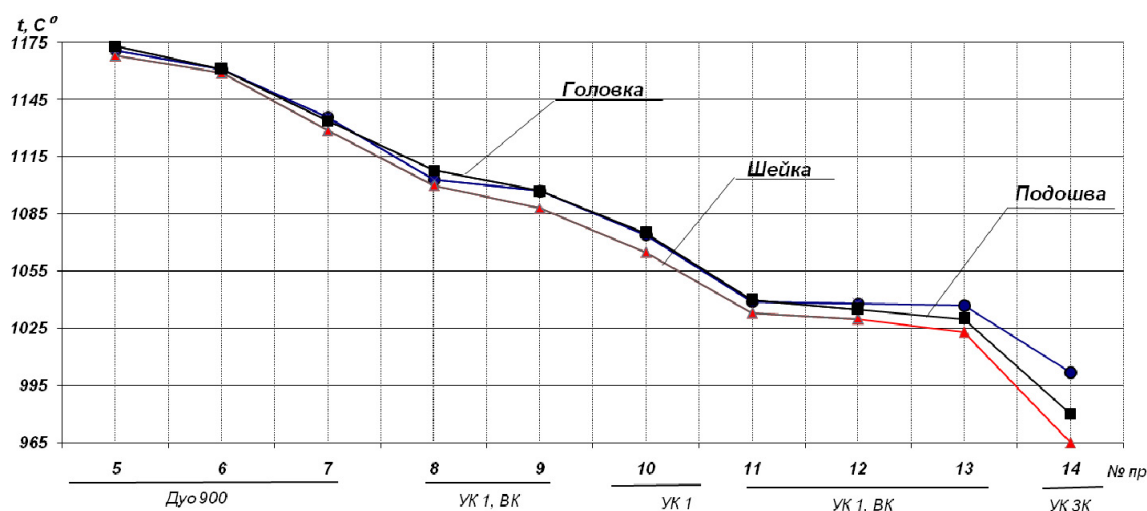


Рис. 6. Изменение средней температуры головки, шейки и подошвы рельсового профиля в процессе прокатки.

Для общей характеристики неравномерности температурного поля по элементам профиля рассчитали для каждого прохода среднюю температуру головки, шейки и подошвы рельсового раската (рис. 6). Установлено, что наиболее низкую температуру во всех проходах имеет шейка профиля, причем наиболее интенсивное ее охлаждение наблюдается при прокатке в непрерывно-

реверсивной группе клеток (проходы 11-13) и особенно при прокатке в калибрующей клетке (проход 14). В результате на шейке профиля температура ее в среднем ниже на 40°C по сравнению с головкой.

Наиболее высокая неравномерность температурных полей профиля по сечению и по длине раската наблюдается в чистовом проходе (см.

рис.5), где разница между отдельными участками профиля достигает в поперечном сечении 50-100°C, а по длине - 50-70°C. При такой неравномерности температур для термообработки длинномерных рельсов необходимо применять дифференцированное охлаждение чистового профиля предпочтительно водовоздушным или воздушно-капельным способом, что позволит получить равномерные механические свойства и минимальные отклонения от прямолинейности рельса.

Выводы

1. Реверсивная прокатка способствует относительно выравниванию температуры по длине раската за счет чередования концов полосы по задаче в валки.

2. При непрерывной прокатке в группе тандем происходит увеличение температурного перепада между передним и задним концом раската в среднем до 40-50°C.

3. Температурное поле в поперечных сечениях раската характеризуется большой неравномерностью температуры по элементам профиля. В чистовом проходе при длине раската более 100м разница температуры в отдельных участках поперечного сечения рельса может достигать 70-100°C.

4. Установленные закономерности изменения температуры необходимо учитывать при выборе способа охлаждения при термообработке длинномерных рельсов. Целесообразно применять дифференцированное охлаждение водовоздушным или воздушно-капельным способом.

Библиографический список

1. Матвеев В.Н. Современные рельсопрокатные станы. Бюлл. «Черная металлургия» М.: ОАО «Черметинформация». 2006, №2. С. 40 – 43.
2. Свейковски У., Нерзак Т. Производство рельсов высокого качества с использованием компактных универсальных клетей и технологий Rail Cool. Металлург. пр-во и технология. Рус. издание. 2006. №2. С. 50 – 56.
3. Смирнов В.К., Шилов В.А., Инатович Ю.В. Калибровка прокатных валков. – М.: Теплотехник, 2010. – 490 с.
4. Зяблицева Е.О., Шилов В.А., Литвинов Р.А. Расчет температурных полей при прокатке рельсов // Изв. вузов. Черная металлургия. 2011. № 5. С. 51-53.
5. Паршин В.С., А.П. Карамышев и др. Практическое руководство к программному комплексу DEFORM-3D. – Е.: УрФУ, 2010. – 265 с.