

УДК 621.771.262

НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ РЕЛЬСОВ

Анна Алексеевна Солякова

Студентка 3 курса,
кафедра «Оборудование и технологии прокатки»,
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Г.С. Никитин,
доктор технических наук, профессор кафедры «Оборудование и технологии
прокатки»,
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

Увеличение грузоподъемности и как следствие длины составов железнодорожного транспорта, пуск скоростных поездов - все это требует применения высококачественных рельсов, а также организация их производства, разработки новых марок сталей для них совершенствования существующих технологий и оборудования.

Повышение качества проката как основополагающего фактора развития металлургической промышленности является актуальным направлением работы, так как позволяет обеспечить снижение материальных затрат, рост металло- и энергосбережения при производстве готовой продукции и повысить ее конкурентоспособность на мировом рынке.

Традиционная технология проходит следующим образом:

Нагревают непрерывнолитую заготовку (НЛЗ) в печи с шагающими балками (ПШБ) производительностью 250 т/час, отапливаемой природным газом. Продвижение заготовок в печи осуществляется с помощью системы подвижных и неподвижных балок, продолжительность нагрева заготовок в печи составляет около 3.5 часов, температура нагрева 1180...1240 °С.

НЛЗ, нагретая в ПШБ, по рольгангам подается на стан горячей прокатки. На стане заготовка прокатывается на требуемый профиль последовательно на четырех клетях:

- обжимной клетки 900 (катающий диаметр валков 935..1100 мм, длина бочки - 2300 мм, привод электродвигателем мощностью 5500 кВт)
- черновой линии клеток 800, (с приводом электродвигателя мощностью 8100 кВт, катающий диаметр валков 760..1300 мм, длина бочки 1800 мм)
- чистовой клетки 850 (электродвигатель мощностью 2000 кВт).

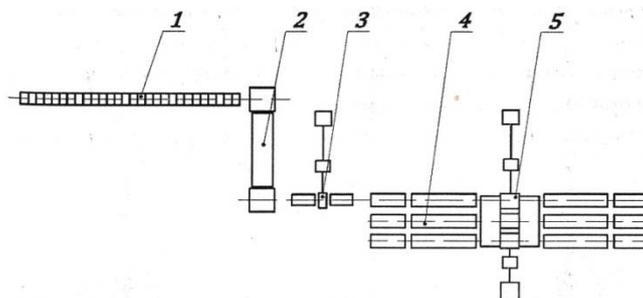


Рис. 1. Схема расположения рельсобалочного стана трио:
1 - подводящий рольганг, 2 - нагревательная печь, 3 - реверсивная клетя дуо,
4 - раскатное поле, 5 - клетки дуо и трио

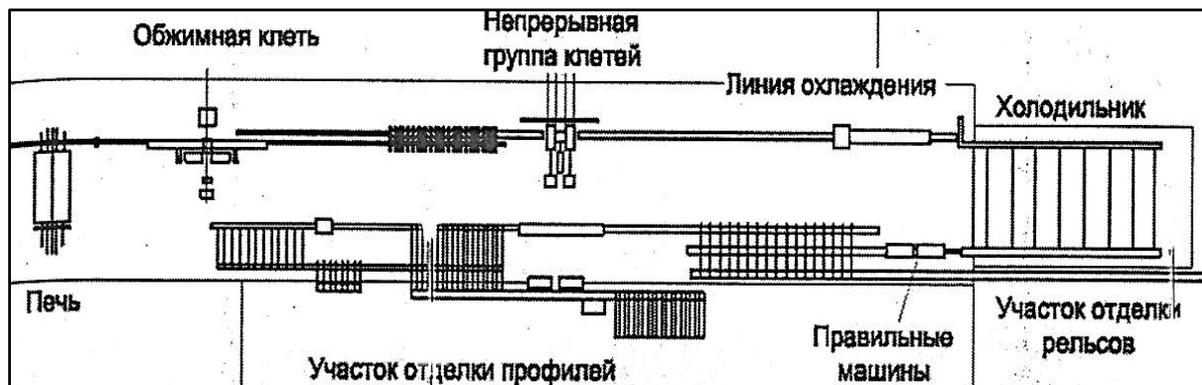


Рис. 2. План расположения оборудования рельсобалочного стана фирмы SteelDynamicsInc

После прокатки в чистовой клетке раскаты по рольгангу передают на резку. Для этого установлено 6 салазковых пил горячей резки. Диаметр пил 1400...1600 мм, скорость вращения 1028 об/мин.

Далее, порезанные раскаты поступают на четыре группы горячих стеллажей, оборудованных шлепперами. Длина каждой группы 49900 мм, ширина 12000мм.

Но есть **и другая технология**, которая является более современной - процесс прокатки с применением универсальных клетей, разработанных фирмой «SMSMeer».

Схема такого стана приводится на рисунке (рис. 2):

В состав стана входит печь с шагающими балками для подогрева непрерывнолитых квадратных и балочных заготовок. В след за печью расположен первичный окалиноломатель. Далее располагается двухвалковая обжимная клетка, в которой происходит обжатие непрерывнолитой заготовки до предчистового профиля. Вторичный окалиноломатель расположен перед входом в клетку непрерывной группы (тандем) и гарантирует полное отсутствие окалина на поверхности раската перед чистовыми проходами, которые проводят в компактной группе клетей, включающей универсальную черновую клетку, выдвижную эджерную клетку и универсальную чистовую клетку.

Также этот стан оборудован участком водяного охлаждения (технология RailCool™), расположенным между последней клетью прокатного стана и холодильником. На этом участке производят локальное охлаждение балок для повышения их механических свойств и снижения остаточных напряжений. Благодаря этой технологии выравнивается температура по сечению профиля и исключается предварительный изгиб рельсов на холодильнике, а также упрочняется головка рельса.

Холодильник оборудован комбинированными транспортировочными системами: по нему можно перемещать прокат до 73 м. За холодильником следуют горизонтальная и вертикальная роликовые правильные машины, пакетировочное, упаковочное и отгрузочное оборудование. На участке контроля качества рельсы подвергают ультразвуковой дефектоскопии для выявления внутренних дефектов и контролю с помощью вихревых токов для обнаружения поверхностных дефектов, далее идет контроль прямизны и геометрии профиля рельсов. Затем рельсы режут на готовые длины (до 73 м).

Преимуществом технологии является одновременная и равномерная деформация всего поперечного сечение профиля. На протяжении всего процесса прокатки форма головки рельса остается практически неизменной, т.е. сводится к минимуму риск образования дефектов в виде гребней или складок.

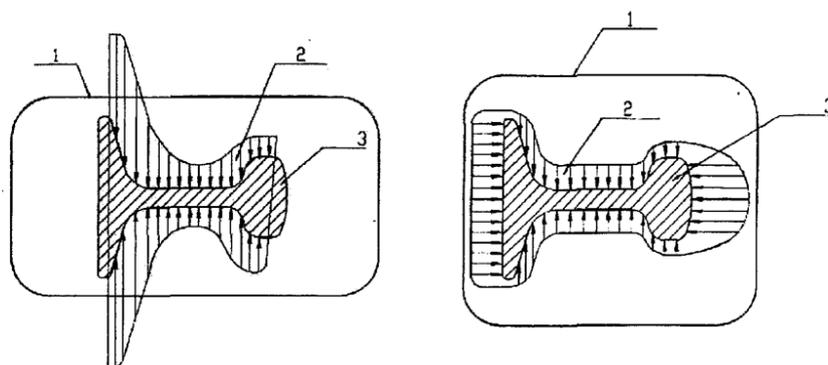


Рис. 3. Сравнение калибровок традиционных двухвалковых клетей (слева) и универсальных клетей (справа) и универсальных клетей (справа):
1-исходный профиль,2-профиль после черновых проходов,3-готовый профиль

Рельс принадлежит к числу так называемых несимметричных профилей и характеризуется неодинаковым распределением металла между отдельными его частями. Поэтому невозможно достигнуть одинакового обжатия всех частей профиля при любой системе калибровки. Наибольшее обжатие получает шейка, а головка и подошва обжимаются слабее. Вследствие материальной связанности всех частей профиля при неодинаковом обжатии их происходит вынужденное удлинение менее обжимаемых участков, что неизбежно сопровождается образованием внутренних напряжений. Последнему способствует еще такие факторы, как прокатка с большей скоростью более обжимаемых участков и с меньшей менее обжимаемых (в соответствии с разницей в диаметрах валков); более интенсивное охлаждение фланцев подошвы из-за того, что размеры их меньше, и они образуются раньше при вынужденном уширении в первых пропусках.

Существует много различных систем калибровки валков для прокатки рельсов, но все они имеют следующие общие характерные особенности.

1. Все калибры по форме разделяются на две основные категории: ребровые и пластовые, или рельсовые. Вначале обычно располагают ребровые калибры, а потом рельсовые.

2. Для всех калибров следует считать характерными два коэффициента: средний коэффициент вытяжки за все пропуски, который в большинстве случаев находится в пределах 1,20...1,22, и коэффициент вытяжки в последнем, чистовом калибре, нормально равный 1,07...1,09. Первый коэффициент оценивает калибровку в целом. Чрезвычайное его увеличение отрицательно сказывается на качестве рельсов, так как приводит к возрастанию внутренних напряжений. Второй коэффициент характеризует не только величину внутренних напряжений, но и степень износа чистовых калибров. Чем меньше этот коэффициент, тем более благоприятны условия работы валков; минимальная практическая величина его равна 1,07.

Большую часть калибровок рассчитывают с 9-10 фасонными калибрами (в зависимости от расположения стана) На рис. 4 показана калибровка валков для прокатки рельсов, которая получила наибольшее распространение. В ней предусмотрено 4 ребровых и 6 рельсовых калибров. В первом ребровом калибре заготовка разрезается глубоким клином, а затем фланцы подошвы развертываются в других ребровых калибрах.

Этот метод калибровки рельсов предусматривает устранение недостатков, связанных с первичной кристаллизацией стали, которая характеризуется значительным развитием столбчатых кристаллов, перпендикулярных поверхности слита, и образованием подкорковых пузырей.

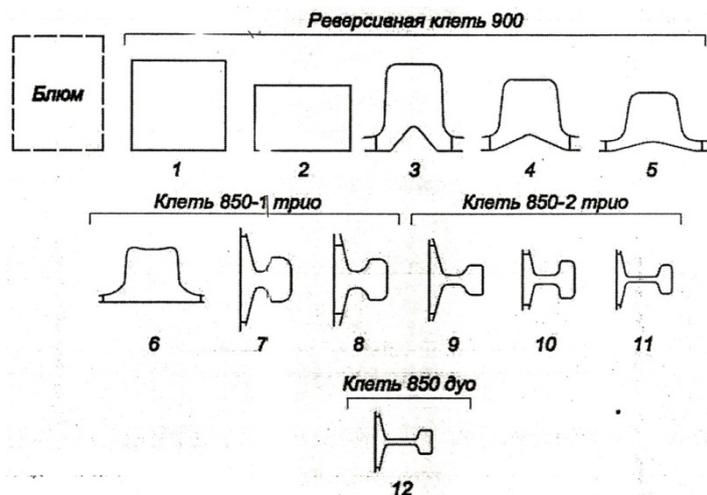


Рис. 4. Калибровка валков для прокатки рельсов (1..12 –номера пропусков)

При энергичной деформации столбчатые кристаллы и газовые пузыри меняют перпендикулярное подоснове направление на параллельное ей, в результате чего тенденция к образованию трещин в рельсах значительно уменьшается.

Схема калибровки рельсобалочного стана с универсальными клетями приведена на рис. 5. Поперечное сечение профиля, поступающего в предчистовой проход, формируется из непрерывнолитой заготовки в обжимной клетии. Все чистовые проходы выполняют в клетях непрерывной группы: три прохода в универсальной черновой клетии и один проход в универсальной чистовой клетии.

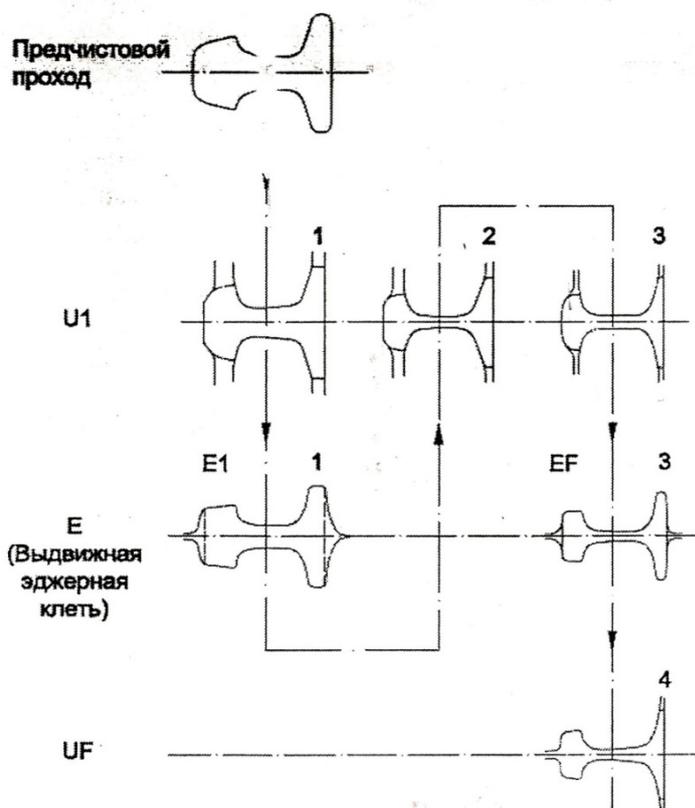


Рис. 5. Схема универсальной прокатки в компактной группе клетей

В связи с тем, что идет значительный рост цен на энергоносители в себестоимости проката, то становятся актуальными работы по созданию энергосберегающих технологий. По традиционной технологии прокатки на рельсобалочных станах нагрев заготовок в методических печах проводился до температуры 1200...1280С°, а прокатка в клетях «трио» начиналась при температура 1140...1190С°. Разработаны математические модели для определения энергосиловых параметров и температуры в реверсивной клети и в непрерывной группе клетей.

При прокатке в непрерывной группе клетей (система SMSMeer) расчеты следует вести **по программе**, разработанной совместно с МГТУ и. Н.Э. Баумана.

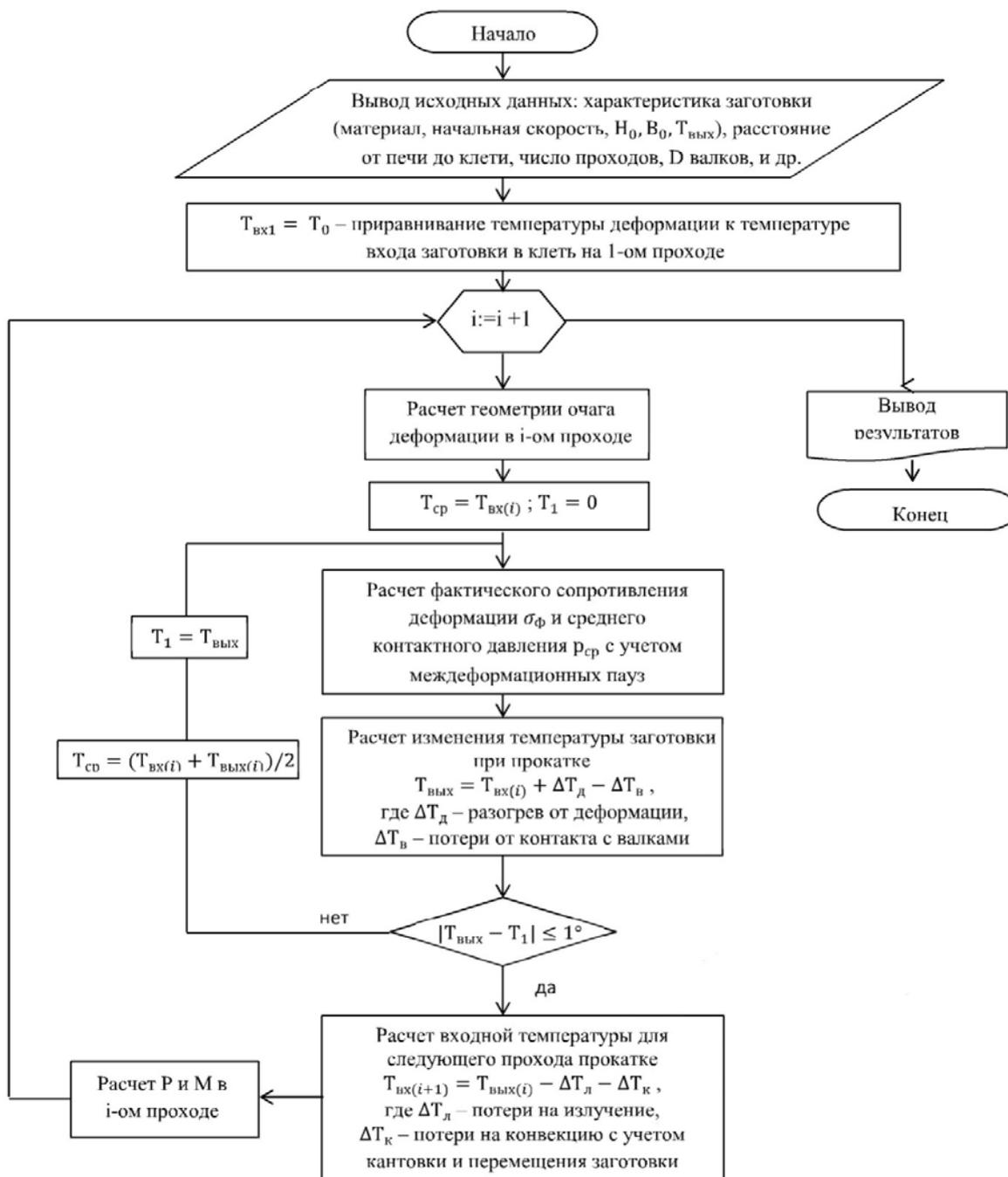


Рис. 6. Блок-схема алгоритма расчета энергосиловых параметров

Табл. 1 . Результаты расчета энергосиловых параметров в обжимной клетке

№	σ_{ϕ} , МПа	p_{cp} , МПа	P, кН	M, кН*м	Tвход	Tвых
1	110,05	166,71	7182,65	1295,93	1099,6	1105,8
2	118,90	170,51	8083,55	1379,65	1104,5	1112,4
3	122,15	157,59	5543,83	1385,07	1110,7	1121,8
4	129,15	173,23	7642,24	1330,15	1119,3	1131,6
5	108,29	146,11	2548,69	510,25	1128,4	1134,8

Математическая модель позволила провести анализ процесса прокатки при различных температурах с учетом разности температур переднего и заднего концов раската.

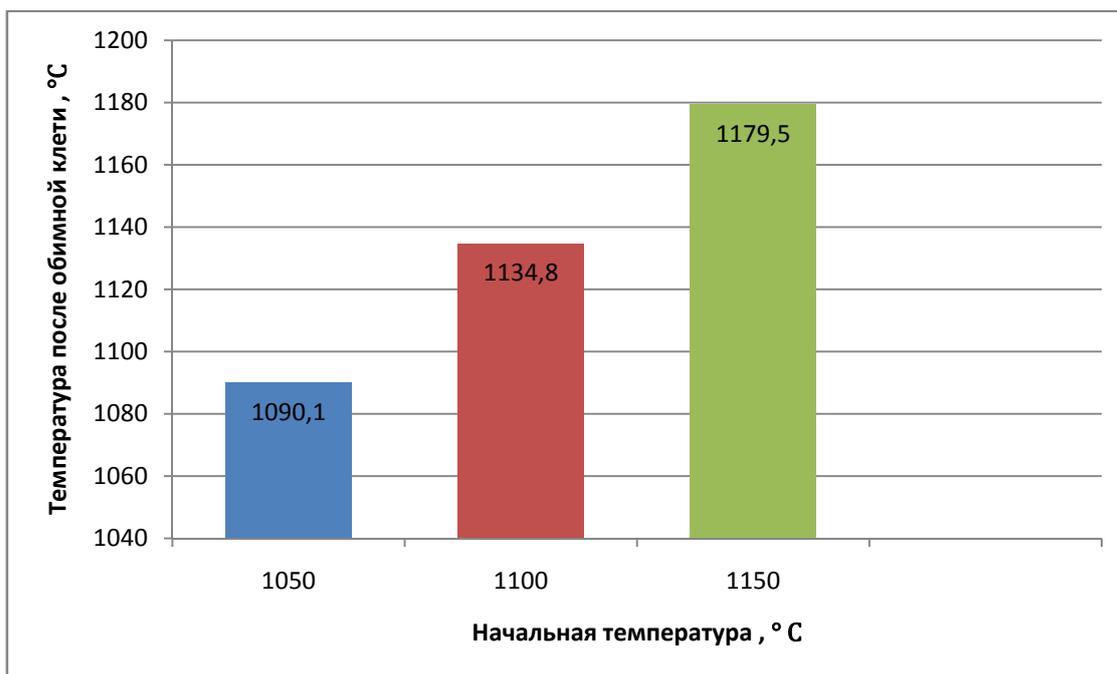


Рис. 7. Температура раската после обжимной клетки при различных начальных температурах заготовки

По результатам анализа можно сделать вывод о возможности снижения начальной температуры прокатки в клетке 900 до 1050...1100 °C и увеличении скорости прокатки (увеличение числа оборотов двигателя с $n=70$ об/мин до $n=100$ об/мин). При этом разность температуры переднего и заднего концов снизится вдвое. Это и позволит уменьшить расход энергии на нагрев на 15...20% и увеличить темп нагрева в методической печи.

Эта же модель использована и для прокатки в клетях трио и чистовой клетки дуо. Также, разработана новая форма чистового калибра, позволяющая обеспечить стабильность размеров профиля, повышение долговечности рельсов, снижение веса погонного метра продукта, повышение производительности. Разработаны меры по увеличению ресурса валков. Разработана и запатентована технология производства рельсов с повышением износостойкости из стали с содержанием углерода до 0,90% и микролегирующими добавками ванадия (0,07...0,08%) и азота (0,02...0,017%).

Проектирование технологических процессов прокатки на рельсобалочных станах и решение задач оптимизации технологий связаны с определением энергосиловых параметров – силы и момента прокатки в каждой клетке. Следует

отметить, что существенное влияние на расход энергии и качество проката оказывают температурный режим прокатки, зависящий от исходной температуры, распределение обжатий по клетям и скорости прокатки. Поэтому расчет технологических и энергосиловых параметров требует учета совместного влияния всех вышеперечисленных факторов и представляет собой сложную задачу.

Сила прокатки определяется произведением среднего нормального контактного напряжения p_{cp} и горизонтальной проекции площади соприкосновения металла с валком F :

$$P = p_{cp} \cdot F$$

Среднее нормальное контактное напряжение определяется физико-механическими свойствами металла и граничными условиями:

$$p_{cp} = \gamma \cdot n_{\sigma} \cdot \sigma_{\phi}$$

где γ – коэффициент, позволяющий учесть влияние среднего главного напряжения на среднее контактное напряжение,

n_{σ} – коэффициент напряженного состояния, учитывающий влияние контактного трения, геометрии и формы очага деформации, внешних зон, натяжения полосы;

σ_{ϕ} – фактическое сопротивление пластической деформации, определяющееся на основе данных о температурно-скоростных и деформационных условиях процесса. Расчет ведется по кривым, построенным на основе экспериментальных данных.

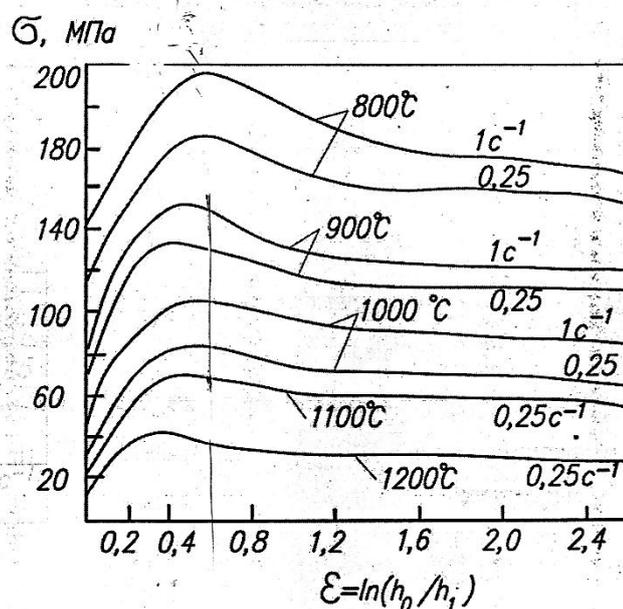


Рис. 8 Кривые деформационного упрочнения рельсовой стали при непрерывном деформировании

Крутящий момент на валках представляю в виде соотношения:

$$M = 2P \cdot l \cdot \vartheta,$$

где l – плечо силы P относительно оси вращения валка;
 ϑ – коэффициент плеча силы P .

Для расчета температурных режимов прокатки и определения энергосиловых параметров необходимо знать значение температуры металла в любой клетки стана. Т.к. температура заготовки при прокатке меняется от клетки к клетке вследствие теплоотдачи, отдачи теплоты валкам при контакте с ними, а также вследствие разогрева, вызванного деформацией, то зная температуру металла в клетке, мы можем определить энергосиловые параметры и температурный интервал с учетом прочностных возможностей стана и качества готовой продукции.

Определим температуру некоторого сечения заготовки на выходе i -ой клетки T_i :

$$T_i = T_{i-1} - \Delta T_{\text{л}} - \Delta T_{\text{г}} - \Delta T_{\text{к}} + \Delta T_{\text{д}},$$

где

T_{i-1} – температура проката на выходе из предыдущей клетки

$\Delta T_{\text{л}}$ – снижение температуры за счет излучения между клетями,

$\Delta T_{\text{г}}$ – снижение температуры за счет теплоотдачи валками в i -ой клетке,

$\Delta T_{\text{к}}$ – снижение температуры за счет конвекции между клетями,

$\Delta T_{\text{д}}$ – повышение температуры за счет тепловыделения от работы деформации.

Определим составляющие по формулам:

$$\Delta T_{\text{л}} = \frac{2(B + H) \cdot L_n \cdot \alpha_s \cdot (T_i - T_s)}{\dot{m} \cdot c},$$

где

B и H – ширина и высота полосы,

L_n – длина проката или расстояние между клетями,

T_s – температура среды,

\dot{m} – секундная масса металла,

c – удельная теплоемкость.

Снижение температуры заготовки вследствие контакта с валками, проводками и охлаждения водой можно рассчитать по эмпирической зависимости:

$$T_{\text{г}} = \frac{k_T \cdot l(T_i - T_{\text{ц.в.}})}{H_1 \cdot v_{\text{пр}} \cdot \rho \cdot c},$$

где

k_T – коэффициент, зависящий от времени контакта металла с валками и толщины окалины,

l – длина дуги захвата,

$T_{\text{ц.в.}}$ – температура центра валка,

H_1 – высота проката после пропуска,

$v_{\text{пр}}$ – скорость прокатки,

ρ – плотность металла.

Для определения разогрева металла за счет работы пластической деформации используется следующая зависимость:

$$\Delta T_{\text{д}} = \frac{\rho_{\text{сп}} \cdot L_n \frac{H_0}{H_1}}{\rho \cdot c} \eta,$$

где

H_0 – высота проката до пропуска,

η – коэффициент, учитывающий потери теплоты в окружающую среду.

В среднем считают, что потери теплоты через конвекцию составляют 1...5% от потерь теплоты излучением. В расчетах принимают: $\Delta T_{\text{к}} = 0,03\Delta T_{\text{л}}$

Расчет температурного режима включает в себя предварительное определение сопротивления пластической деформации и среднего контактного давления по ходу

прокатки в каждой клетки, значения которых зависят от температуры металла в очаге деформации.

Выводы:

1. Сделан анализ современной технологии прокатки рельсов.
2. Разработаны программы, отличающиеся тем, что расчет ведется для реверсивной прокатки.
3. Полученные результаты позволяют предложить уменьшение температуры нагрева, увеличение темпа нагрева, и как следствие, повышение производительности.

Литература

1. *Зароцинский М.Л.* Технологические основы проектирования прокатных станов. 1962 – С 152-157
2. *Никитин Г.С.* - Теория непрерывной продольной прокатки. 2009.-370с.
3. *Металлургическое производство и технологии, №2/2006*, Производство рельсов высокого качества с использованием компактных универсальных клеток и технологии RailCool.