

Математическая модель и алгоритм расчета режимов и параметров прокатки полос на одно- и двухклетевом станах Стеккеля

Представлены математическая модель (разработана на основе метода М. Я. Бровмана) и алгоритм расчета силы прокатки, а также уточненный метод расчета температурных условий при прокатке полос на станах Стеккеля с одной и двумя чистовыми клетями. Приведены новые схемы прокатки полос на одноклетевом с тремя печными моталками и на двухклетевом станах Стеккеля с двумя печными моталками в обоих случаях с периодичной полной смоткой полосы в печных моталках. Показано, что на двухклетевом стане Стеккеля применение промежуточного подогрева полностью смотанного рулона в печных моталках позволяет не только устранить неравномерность распределения температуры по длине полосы (захоженность концов), но и производить подогрев рулона до требуемой температуры.

Ключевые слова: стан Стеккеля, печная моталка, полоса, проход, смотка полосы, клеть

Стан Стеккеля в настоящее время определяют не только как специализированный стан для производства продукции из труднодеформируемых, высоколегированных и электротехнических марок стали с небольшим объемом производства, но и как стан с широким сортаментом полосовой и толстолистовой продукции как по размерам, так и марочному составу, компактный, относительно дешевый и достаточно высокопроизводительный [1-4].

Перспективность строительства и использования станов Стеккеля в Украине обусловлена тем, что при еще сохранившемся на некотором уровне развития машиностроения (электротехническое, транспортное, металлургическое и химическое) в Украине полностью отсутствует производство полос из коррозионностойких и электротехнических марок стали. К этому следует добавить, что после 1991 г. на металлургических заводах Украины построили лишь один толстолистовой реверсивный стан, а действующие два широкополосных стана горячей прокатки (ШСГП) требуют коренной реконструкции и перевода на непрерывнолитую заготовку.

В развитии станов Стеккеля в последние годы произошло три важных события: создание новых по конструкции печных моталок, оборудованных выдвижной оправкой, с возможностью смотки всей длины полосы, не оставляя концов в задающих роликах; появившееся в связи с этим предложение по установке третьей (дополнительной) печной моталки, необходимой для подогрева полосы, без остановки работы всего стана [5]; применение для чистовой прокатки двухклетевой непрерывной группы [6].

Разработка новых моталок связана с одним из основных недостатков станов Стеккеля – захолаживанием концов полос, оставшихся в тянуще-задающих роликах, позволяющих вытянуть не полностью смотанную полосу в печной моталке. Захолаживание концов обуславливало их утолщение и неравномерность свойств металла по длине полосы.

Новые печные моталки дают возможность сматывать всю полосу в печной моталке, делать временную выдержку, что способствует полному выравниванию температуры по сечению рулона, а следовательно, и по длине полосы. Такая технология существенно меняет температурно-скоростные и силовые параметры прокатки и требует соответствующего создания расчетной базы.

Цель работы – разработка математической модели и создание алгоритма расчета параметров прокатки полос на станах Стеккеля с различными вариантами компоновки оборудования.

Сотрудниками фирмы VAI в связи с возможностью полной смотки полосы в моталку и наличием трех моталок предложена схема движения полос в этих моталках и рабочей клетки [5]. Однако в соответствии с этой схемой рулоны в печных моталках в большинстве случаев подогревают только один раз перед последним проходом, что по мнению авторов недостаточно, и поэтому они предложили новую схему прокатки (рис. 1), в соответствии с которой подкат (1-я полоса) поступает в рабочие валки, производится первый проход и передний конец полосы через тянуще-задающие ролики попадает на смотку в первую печную моталку (позиция а). При выходе из валков заднего конца полосы 1 прокатка прекращается и, как на традиционных станах, полной смотки полосы на печной моталке не происходит, делается реверс рабочих валков и тянуще-задающих роликов и производится второй проход полосы 1 в обратном направлении. При этом конец полосы подают на вторую печную моталку для полной ее смотки и подогрева (позиция б).

В это время 2-я полоса поступает на прокатку и неполную смотку в первую печную моталку (позиция в); далее следует реверс рабочих валков и тянуще-задающих роликов и обратный проход 2-й полосы с полной смоткой ее на третью печную моталку для подогрева (позиция г). После смотки 2-й

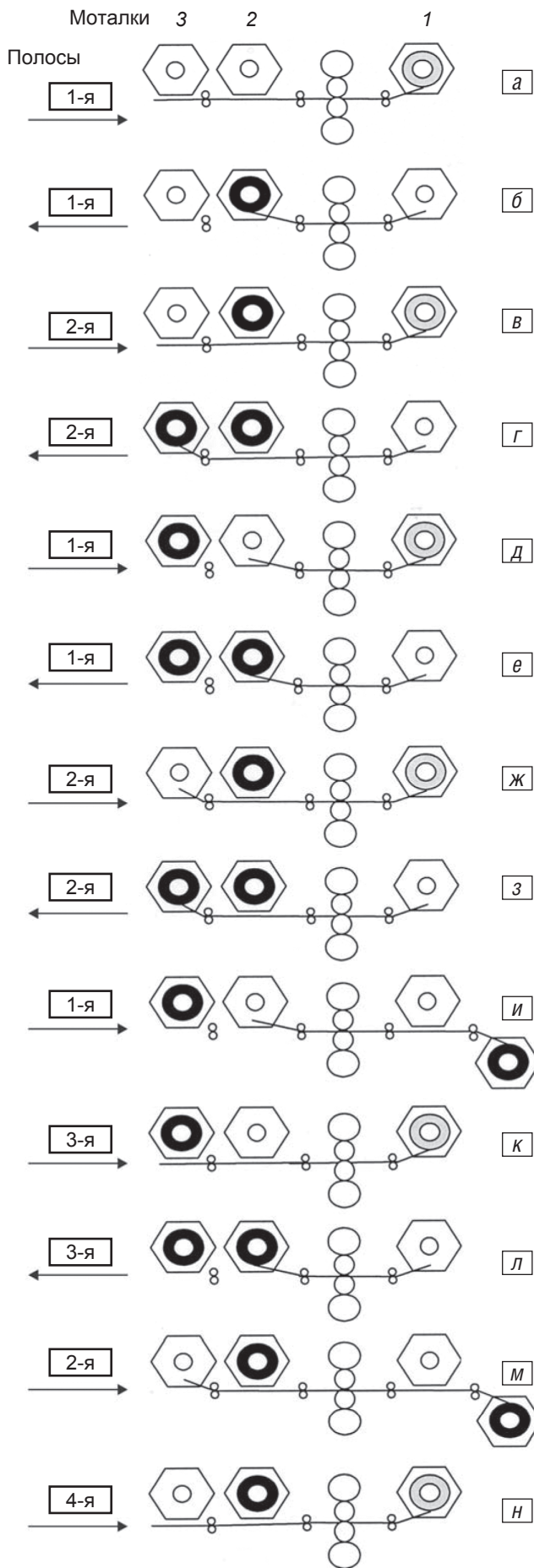


Рис. 1. Схема прокатки полос в стане Стеккеля с тремя печными моталками: положение полос на разных стадиях процесса прокатки (а-н): неполная смотка полосы в печной моталке показана затемнением; полная смотка полосы и выдержка рулона в печной моталке – черным цветом

полосы, 1-ю подогретую полосу со второй печной моталки задают в валки, сматывают не полностью на первой моталке (позиция д) и задают в обратный проход с последующей полной смоткой на второй моталке (позиция е). Затем 2-ю полосу с третьей печной моталки подают на третий и четвертый проходы (аналогично первым двум) и полностью сматывают в третьей печной моталке для подогрева (позиция ж и з). Первую полосу со второй печной моталки направляют в последний, пятый проход и по опущенной проводке она «уходит» из клетки по отводящему рольгангу на смотку в подпольной моталке (позиция и). В клеть поступает 3-я полоса, производится первый проход с неполной смоткой полосы на первой печной моталке (позиция к), реверс рабочих валков и тянуще-задающих роликов и обратный проход 3-й полосы с полной смоткой ее на вторую печную моталку для подогрева (позиция л). После этого 2-ю полосу направляют в последний, пятый проход и передают на отводящий рольганг и подпольную моталку (позиция м). Потом в клеть поступает 4-я полоса (позиция н). Далее операции повторяются.

В соответствии с предложенной схемой каждая полоса дважды за период прокатки остается в печной моталке на подогрев. То есть, предложенная схема позволяет не только сохранить температуру полосы в печной моталке, но и создает возможность подогреть, а главное – полностью устранить захолаживание концов полос.

Для расчета силы прокатки в привязке к стану Стеккеля авторами разработан метод, базирующийся в части силовых условий прокатки на методике расчета силы прокатки М. Я. Бровмана. Алгоритм расчета нового метода показан в виде блок-схемы на рис. 2.

При вычислении изменения температуры металла в данной методике расчет производят по уравнению, которое учитывает все составляющие параметры теплового баланса и достоверность которого подтверждена экспериментом на промышленном прокатном стане [7]

$$\Delta t = 17,5 + \frac{k(t_0 / 1000)^4 \tau v + 500}{h_1 v} - 0,294 \rho_{cp} \lg \left(\frac{h_0}{h_1} \right), \quad (1)$$

где k – коэффициент, учитывающий химический состав стали (его значение для легированных марок стали 19; углеродистых 21); t_0 – начальная температура полосы, °С; τ – время охлаждения полосы, с; v – скорость прокатки, м/с; ρ_{cp} – среднее нормальное контактное напряжение, МПа.

Изменение температуры рулона в печи рассчитывали по предложенному авторами методу, который получен на основании закона Ньютона-Рихмана. В соответствии с этим методом уравнение изменения температуры рулона за счет нагрева от печи (здесь и далее имеется в виду печь, в которой расположена моталка) посредством конвекционного теплообмена T_k имеет следующий вид:

$$T_k = T_{печ} + e^{-k_1 \tau} (T_b - T_{печ}), \quad (2)$$

где $T_{печ}$ – температура в печи стана Стеккеля, °С;

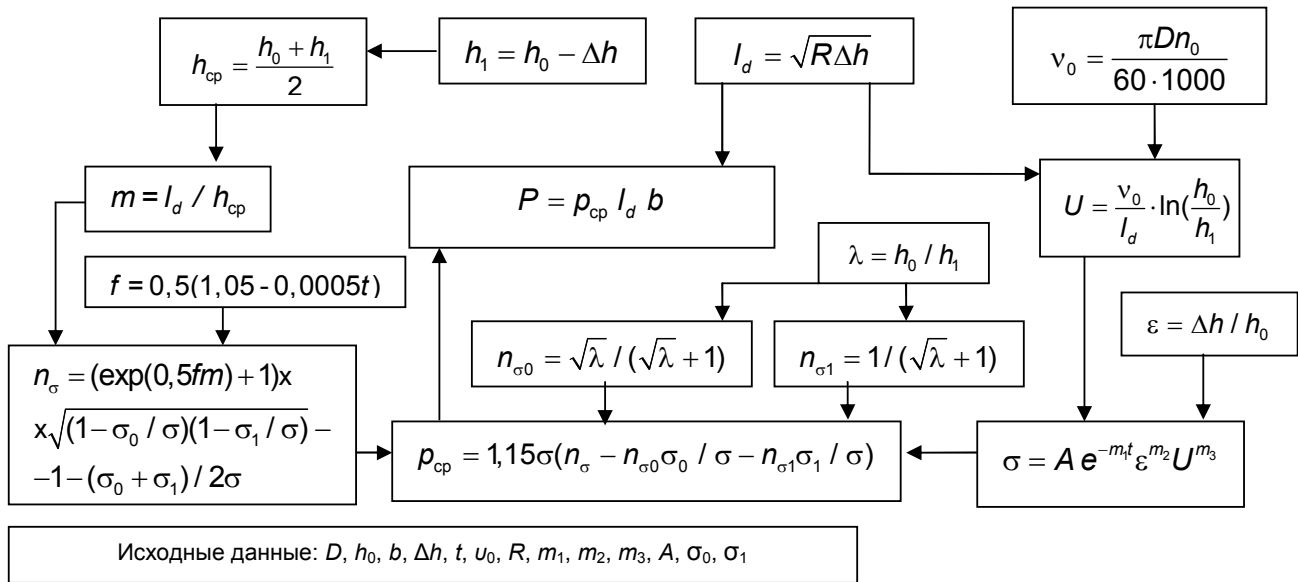


Рис. 2. Блок-схема расчета силы прокатки для условий стана Стекеля: D – диаметр рабочего вала; h_0 – начальная толщина полосы; h_1 – конечная толщина полосы; b – ширина полосы; Δh – абсолютное обжатие; t – температура полосы; v_0 – скорость прокатки; U – скорость деформации; n_0 – окружная скорость валков; h_{cp} – средняя толщина полосы; l_d – длина очага деформации; R – радиус рабочего вала; m_1, m_2, m_3, A – термомеханические коэффициенты; ε – относительное обжатие; σ – сопротивление деформации; σ – среднее нормальное контактное напряжение; P – сила прокатки; n_σ – коэффициент напряженного состояния; σ_0 – заднее удельное натяжение полосы; σ_1 – переднее удельное натяжение полосы

k_1 – коэффициент, учитывающий теплоотдачу рулону от атмосферы печи; T_b – температура витка наматываемой полосы, °С; e – основание натурального логарифма; τ – время нагрева, с.

Коэффициент k_1 предложено рассчитывать по следующей зависимости:

$$k_1 = -\frac{\alpha F_n \tau}{C_m m}, \quad (3)$$

где α – количество теплоты, отдаваемое с 1 м² поверхности за единицу времени; для данных условий – 125 Вт/(м²·°С); F_n – площадь нагреваемой части полосы, м²; C_m – теплоемкость тела; для данных условий $C_m = 710$ кг·м²/(с²·°С); m – масса намотанного витка полосы, кг.

Масса намотанного витка рассчитывается как

$$m = \pi \rho b h (2r - h), \quad (4)$$

где ρ – плотность металла, кг/м³; h – толщина наматываемой полосы, м; b – ширина наматываемой полосы, м; r – радиус намотанного витка полосы, м.

Уравнение расчета изменения температуры рулона за счет передачи тепла от барабана моталки посредством теплопроводности T_T к первому витку имеет вид

$$T_T = T_6 + e^{-k_2 \tau} (T_b - T_6), \quad (5)$$

где T_6 – температура барабана моталки, °С; k_2 – коэффициент, учитывающий теплопроводность, определяется как

$$k_2 = -\frac{2 \pi b \lambda \tau}{\ln\left(\frac{r}{r_6}\right) C_m m}, \quad (6)$$

где λ – коэффициент теплопроводности; для данных условий $\lambda = 27$ Вт/(м·°С); r_6 – радиус барабана моталки, м.

Уравнение передачи тепла от витка к витку посредством теплопроводности имеет вид

$$T_\tau = T_i + e^{-k_2 \tau} (T_{i+1} - T_i), \quad (7)$$

где T_i, T_{i+1} – температура предыдущего и последующего наматываемых витков полосы на барабан, °С.

В процессе намотки полосы наружная поверхность каждого намотанного витка сначала контактирует с атмосферой печи (конвекция), а затем – с внутренней поверхностью следующего намотанного витка. Поскольку температура кладки печи близка к температуре атмосферы печи, то этот нагрев (излучение) можно не учитывать. Внутренняя поверхность первого намотанного витка будет контактировать с поверхностью барабана, а внутренняя поверхность последующих намотанных витков – с наружной поверхностью предыдущих намотанных витков.

Для проверки разработанного метода расчета авторами использованы экспериментальные данные, полученные на стане Стекеля 1200 Ново-Липецкого металлургического комбината и представленные в работе [8]. Стан 1200 имеет универсальную обжимную клеть дуо и чистовую реверсивную клеть кварто. В табл. 1 представлены параметры прокатки для одного из исследованных размеров полос чистовой клетки.

Таблица 1

Режим обжатий и силовые параметры прокатки в чистовой клетке стана 1200: полоса сечением 2,5×1000 мм, Ст3 [8]

| Проход | h_0 , мм | h_1 , мм | ε , % | P , МН |
|--------|------------|------------|-------------------|-------------|
| 1 | 11,0 | 7,5 | 31,8 | 10,5 – 12,6 |
| 2 | 7,5 | 5,0 | 33,3 | 11,7 – 13,0 |
| 3 | 5,0 | 3,6 | 28,0 | 10,3 – 11,8 |
| 4 | 3,6 | 3,2 | 11,1 | 6,0 – 9,0 |
| 5 | 3,2 | 2,63 | 17,8 | 5,5 – 9,0 |

Примечание: h_0, h_1 – толщина полосы до и после прохода; ε – относительное обжатие; P – сила прокатки

Таблица 2

Результаты расчета параметров прокатки в чистовой клетке стана 1200 для полосы 2,5×1000 мм, Ст3

| Проход | h_0 , мм | h_1 , мм | ε , % | P , МН | u , м/с | t , °С | t_n , °С |
|--------|------------|------------|-------------------|----------|-----------|----------|------------|
| 1 | 11,0 | 7,5 | 31,8 | 11,9 | 5 | 950 | 1040 |
| 2 | 7,5 | 5,0 | 33,3 | 13,0 | | 919 | 1040 |
| 3 | 5,0 | 3,6 | 28,0 | 10,4 | | 904 | 1040 |
| 4 | 3,6 | 3,2 | 11,1 | 3,6 | | 880 | 1040 |
| 5 | 3,2 | 2,63 | 17,8 | 6,7 | | 840 | 1040 |

Примечание: обозначения те же, что и в табл. 1; t – расчетная температура средней части полосы в соответствующем проходе; t_n – температура в печи; u – скорость прокатки средней части полосы

В процессе промышленных исследований, результаты которых представлены в работе [8], измеряли: давление металла на валки при прокатке; число оборотов главных двигателей клетей; размеры и температуру прокатываемой полосы; температуру в печи. Для измерения давления металла на валки в чистовой клетке применяли проволочные датчики. Угловую скорость фиксировали по данным цеховых приборов и рассчитывали на их основании скорость прокатки. Температуру металла измеряли оптическим пирометром. Однако данных по температуре металла, скорости прокатки и температуре в печи в работе [8] нет.

По данным табл. 1 видно, что сила прокатки в каждом из проходов колеблется в достаточно широком диапазоне, что обусловлено колебаниями температуры по длине раската и величины обжатия (установку зазора между валками после каждого прохода производил оператор поста управления вручную), а также разной скоростью по длине раската.

В табл. 2 для полос того же размера представлены результаты расчетов параметров прокатки, которые выполнены по разработанным математическим моделям и алгоритмам силы и температуры прокатки для режимов обжатия (см. табл. 1) и традиционной для стана Стеккеля схемы прокатки, то есть при неполной смотке полосы.

При сравнении результатов, представленных в табл. 1 и 2, можно сделать вывод о том, что расчетные значения силы прокатки находятся в диапазоне, приведенном в табл. 1. Выпадает из общей тенденции только четвертый проход.

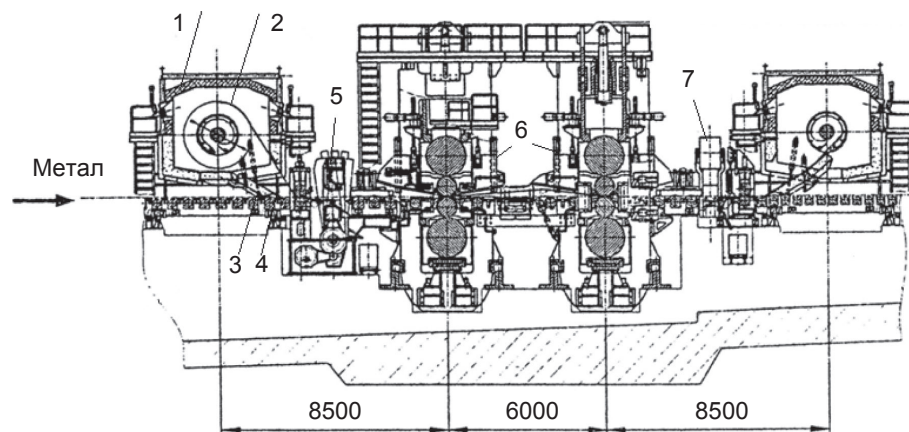


Рис. 3. Схема двухклетевого стана Стеккеля, разработанного ПАО НКМЗ [6]: 1 – печь; 2 – моталка; 3 – направляющая проводка; 4 – тянущие-задающие ролики; 5 – ножницы; 6 – рабочие клетки; 7 – ножницы № 2

На основе полученных результатов можно сделать вывод, что разработанный метод расчета дает результаты, близкие к экспериментальным.

На рис. 3 показана схема двухклетевой чистовой группы стана Стеккеля, разработанная ПАО «Новокраматорский машиностроительный завод» (НКМЗ). Пока реализации такого проекта нет, поэтому разработка режимов прокатки с учетом возможности полной смотки полос в печной моталке становится актуальной.

Наличие двух клетей имеет следующие преимущества: увеличивается обжимная способность стана; уменьшается угар, а следовательно, и потери металла; снижается число возможных аварийных ситуаций благодаря меньшему числу захватов концов полос в моталках.

В привязке к двухклетевому стану Стеккеля и наличию новых моталок авторами разработана схема прокатки (рис. 4), которая осуществляется следующим образом: первая полоса поступает в клеть Стеккеля, входит в тянущие-задающие ролики с передней стороны стана, прокатывается в двухклетевой группе, поступает в тянущие-задающие ролики с задней стороны клетки и по поднятой проводке направляется в заднюю печную моталку (позиция а). Задний конец полосы остается в роликах, производится реверс валков и следует прокатка первой полосы в обратном направлении с полной смоткой в печную моталку с передней стороны стана и выдерживается в ней (позиция б). Пока 1-я полоса подогрывается в печи, в клеть поступает 2-я полоса, выполняется первый проход в обеих клетях и полоса полностью сматывается в печной моталке с задней стороны стана и остается в ней на подогрев (позиция в), а первую полосу выдают из передней печной моталки, производят последний (третий) проход и по опущенной проводке передают на отводящий рольганг и сматывают на подпольной моталке (позиция г). Затем вторую подогретую полосу выдают на второй проход, сматывают полностью в передней печной моталке и подготавливают (позиция д). В клеть поступает 3-я полоса (позиция е). Далее очередность действий повторяется.

Первая полоса подогрывается в печной моталке только один раз перед последним проходом, все остальные полосы после каждого прохода (то есть два раза за период прокатки) подготавливаются в печных моталках (рис. 4). Это создает благоприятные температурные условия прокатки и дает возможность поддерживать температуру полосы на любом заданном уровне. При этом сводятся к минимуму колебания силы прокатки, облег-

чаются условия работы систем автоматики, обеспечивается постоянная структура металла. Установка дополнительной печной моталки в этом случае не требуется.

С использованием разработанного метода и алгоритма расчета выполнен расчет параметров прокатки в двухклетевой группе.

В качестве примера в табл. 3 представлены результаты расчета параметров прокатки исходного подката сечением 50×1000 мм из стали 45 в полосу толщиной 1,2 мм при начальной температуре $t_0 = 980$ °С. Допустимая сила прокатки рассчитана исходя из прочности рабочих валков и равна 33,5 МН.

Расчеты для двухклетевого стана Стеккеля произведены начиная со второй полосы, когда стан уже работает в полную силу. Если рассматривать первую полосу, то она будет с несколько заоложенным передним концом, так как после первого прохода смотки полосы не происходит.

Каждая пара проходов соответствует одному общему проходу через две клетки (табл. 3). Минимальная скорость прокатки на переднем конце (1,4 м/с) при входе его в первую клетку обусловлена тем, что при выходе его из этой клетки она увеличивается до 2,7 м/с; на этой скорости передний конец будет входить во вторую клетку, при этом скорость полосы после ее выхода увеличивается до 5 м/с и полоса входит в печную моталку на этой скорости. После этого производится ускорение обеих клеток. Длина раската при первом общем проходе невелика – 15 м, поэтому ускорение производится до 10 м/с.

Принято, что барабан моталки также подогревается посредством индукционного нагрева до 900 °С. Для того, чтобы выровнять температуру полосы по всей длине требуется, чтобы температура печи была больше, чем температура барабана моталки, так как передний конец перемещается до первой клетки медленнее остальной части полосы и остывает быстрее, поэтому он должен быть более нагретым, чем остальная часть полосы. Для этого авторами принята температура среды в печи 1040 °С (такая же, как была при эксперименте в печных моталках стана 1200 Новолипецкого металлургического комбината – НЛМК).

Перед вторым проходом полоса охлаждается примерно на 10 °С, а перед моталкой – еще на 4 °С, дальше она вся сматывается на печной моталке, вместе с задним концом и ее температура повышается. Подогревается она по времени, равному пятому и шестому проходам первой полосы, которая прокатывается во время нагрева данной полосы (рис. 4). Как показали расчеты это время составляет 138 с. За то время, которое полоса

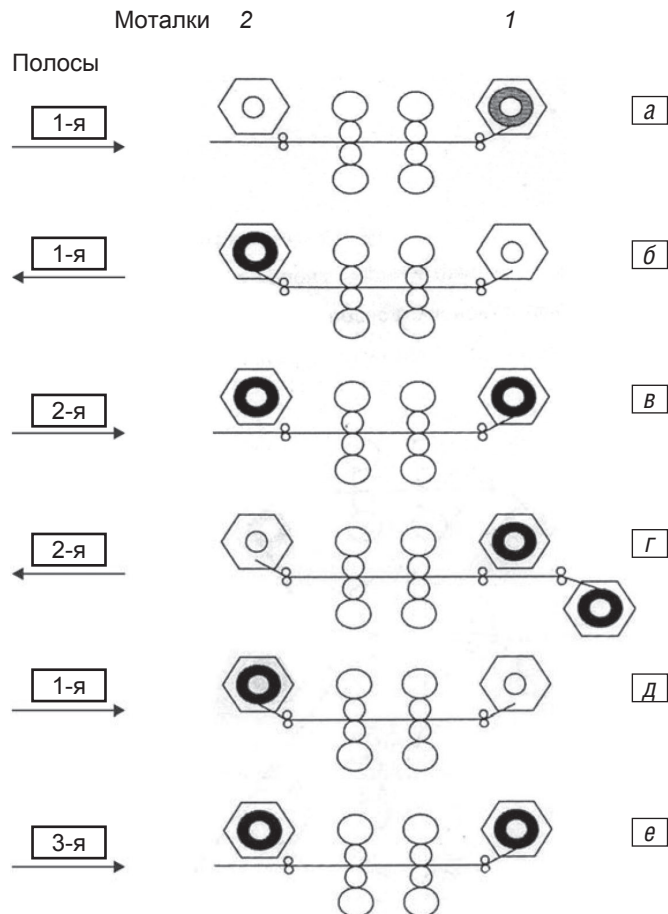


Рис. 4. Схема прокатки полос в стане Стеккеля при наличии двухклетевой непрерывной группы и периодического подогрева полос (рулонов) в печных моталках (а-е): неполная смотка рулона показана затемнением; полностью смотанные в печной моталке и подогреваемые в ней рулоны – черным цветом

Таблица 3
Результаты расчета режимов и параметров прокатки на двухклетевом стане Стеккеля для полосы сечением 1,2×1000 мм из стали 45 °

| Проход | $h_0, \text{мм}$ | $h_1, \text{мм}$ | $\Delta h, \text{мм}$ | ε | $t_k, \text{°C}$ | $t_m, \text{°C}$ | $t_{mb}, \text{°C}$ | $P, \text{МН}$ | $u, \text{м/с}$ |
|--------|------------------|------------------|-----------------------|---------------|------------------|------------------|---------------------|----------------|-----------------|
| 1 | | | | | 980 | | | 21,17 | 2,7 |
| | 50 | 26 | 24 | 0,48 | 980 | | | 23,38 | 5,4 |
| | | | | | 980 | | | 23,38 | 5,4 |
| 2 | | | | | 971 | 967 | 1040 | 20,23 | 5,0 |
| | 26 | 14 | 12 | 0,46 | 978 | 981 | 1040 | 21,97 | 10,0 |
| | | | | | 978 | 981 | 1040 | 21,97 | 10,0 |
| 3 | | | | | 1020 | | | 15,22 | 2,7 |
| | 14 | 7,5 | 6,5 | 0,46 | 961 | | | 19,46 | 5,3 |
| | | | | | 957 | | | 19,66 | 5,3 |
| 4 | | | | | 993 | 975 | 1040 | 16,86 | 5,0 |
| | 7,5 | 4,0,0 | 3,5 | 0,47 | 958 | 966 | 1040 | 20,33 | 10,0 |
| | | | | | 954 | 962 | 1040 | 20,52 | 10,0 |
| 5 | | | | | 947 | | | 15,77 | 2,7 |
| | 4 | 2,2 | 1,8 | 0,45 | 924 | | | 18,48 | 5,5 |
| | | | | | 924 | | | 18,48 | 5,5 |
| 6 | | | | | 866 | 810 | | 20,86 | 5,0 |
| | 2,2 | 1,2 | 1,0 | 0,45 | 905 | 908 | | 20,92 | 10,0 |
| | | | | | 905 | 908 | | 20,92 | 10,0 |

Примечание: t_k – температура полосы на входе в клетки; t_m – температура полосы на входе в печную моталку; t_{mb} – температура полосы на выходе из печной моталки после подогрева; t_k, t_m, t_{mb} и P приведены для переднего, середины и заднего концов

подогревается в печной моталке, происходит выравнивание температуры по всей длине полосы (табл. 3).

В табл. 4 представлены результаты расчета нагрева полосы после каждого прохода (показаны до этого в табл. 3, по данным которой видно, что после подогрева полосы в моталке перед третьим и четвертым проходами температура переднего конца полосы выше (равна 1020 °С), чем середины и заднего конца). Это обусловлено тем, что температура печи больше, чем температура барабана моталки. После четвертого прохода следует повторный подогрев рулона в печной моталке. Время, за которое подогревается рулон, равно времени первого и второго проходов третьей полосы (см. рис. 4, табл. 4), то есть 24 с. После подогрева рулона следует пятый и шестой проходы. Температура для переднего конца прокатки равна 810 °С, а для середины и заднего конца – 908 °С (см. табл. 3). Эта температура находится в оптимальном температурном диапазоне (860-920 °С), обеспечивающем требуемую структуру и механические свойства металла (кроме переднего конца).

Сила прокатки в третьем и пятом проходах снижается за счет длительного времени нагрева полосы в печи и, следовательно, высокой температуры раската перед проходом.

Выводы

1. Разработана математическая модель и алгоритм расчета силы прокатки для условий прокатки полос на станах Стеккеля, базирующиеся на методе

Результаты расчетов нагрева полосы в печной моталке между проходами

| Номер подогрева | Часть полосы | $T_{печ}, ^\circ\text{C}$ | $T_6, ^\circ\text{C}$ | $T, ^\circ\text{C}$ | $\tau_c, \text{с}$ | $\tau_p, \text{с}$ | $\tau_n, \text{с}$ | $\tau_\Sigma, \text{с}$ |
|-----------------|--------------|---------------------------|-----------------------|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------------|
| 1 | передняя | 1040 | 900 | 1029 | 10,6 | 13,3 | 138,07 | 162 |
| | середина | | | 966 | | | | 152 |
| | задняя | | | 962 | | | | 140 |
| 2 | передняя | 1040 | 900 | 980 | 37,5 | 46,9 | 23,65 | 108 |
| | середина | | | 939 | | | | 68 |
| | задняя | | | 939 | | | | 25 |

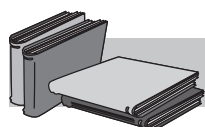
Примечание: $T_{печ}$, T_6 – температура атмосферы печи и барабана моталки; T – температура полосы после подогрева; τ_c – время смотки полосы на моталку; τ_p – время размотки полосы с барабана после подогрева; τ_n – время подогрева полностью смотанной полосы; τ_Σ – суммарное время подогрева части полосы с учетом смотки и размотки

расчета силы прокатки М. Я. Бровмана, и уточненном авторами методе расчета температурных условий прокатки. Адекватность разработок подтверждена сравнением их с экспериментальными данными, полученными в промышленных условиях.

2. Представлены схемы прокатки полос на одноклетевом стане Стеккеля с тремя печными моталками и двухклетевом – с двумя, в обоих случаях – с периодичной полной смоткой полос в печных моталках.

3. Подтверждено, что для одноклетевых станов Стеккеля целесообразно применение трех печных моталок, а при прокатке на двухклетевом стане Стеккеля они нецелесообразны.

4. Разработаны режимы прокатки полос на двухклетевом стане Стеккеля с промежуточными подогревами полностью смотанных рулонов в печных моталках, которые дают возможность не только устранить неравномерность температуры по длине полосы, но и производить подогрев рулонов до требуемой температуры.



ЛИТЕРАТУРА

1. Компактные технологии на базе станов с печными моталками / А. Л. Остапенко, Э. Е. Бейгельзимер, Д. А. Деркач, Ю. Н. Белобров // *Металл и литье Украины*. – 1999. – № 9-10. – С. 41-45.
2. Розенталь Д. Прокатные станы Стеккеля – экономичная альтернатива для производства горячекатаных полос из высококачественных сталей // *Steel Times International*. – 1992. – № 2. – С. 24-25.
3. Чемпион Н. Дж. Современная технология производства толстых листов на стане Стеккеля // *Чер. металлы*. – 2004. – № 2. – С. 79-84.
4. Современные подходы к производству низкоуглеродистой микрелегированной трубной стали на станах Стеккеля / Ю. Д. Морозов, Е. А. Голи-Оглу, С. Ю. Настич, А. В. Кнышев // *Там же*. – 2012. – № 9. – С. 8-14.
5. Технология прокатки на стане Стеккеля фирмы VAI / Г. Таллер, Г. Джумлия, В. Грубер и др. // *Там же*. – 2005. – № 4. – С. 96-100.
6. Широкополосные станы горячей прокатки. Новые проектные решения. Т. 2. / Ю. Н. Белобров, В. С. Стеч, А. В. Барабаш и др. // *Тр. VI конгресса прокатчиков*. – М.: ОАО «Черметинформация», 2005. – С. 59-66.
7. Коновалов Ю. В., Хохлов А. С. Пути решения температурной задачи прокатки // *Обработка материалов давлением*. – 2012. – № 2 (31). – С. 185-188.
8. Байраков В. И., Федин В. П. Исследование тонколистового стана 1200 с моталками в печах // *Сталь*. – 1960. – № 2. – С. 130-133.

Анотація

Коновалов Ю. В., Хохлов О. С.

Математична модель та алгоритм розрахунку режимів і параметрів прокатки смуг на одно- та двоклітьовому станах Стеккеля

Представлено математичну модель (розроблену на основі методу М. Я. Бровмана) та алгоритм розрахунку сили прокатки, а також уточнений метод розрахунку температурних умов при прокатці смуг на станах Стеккеля з однією та двома чистовими клітьями. Наведено нові схеми прокатки смуг на одноклітьовому з трьома пічними моталками та на двоклітьовому станах Стеккеля з двома пічними моталками – в обох випадках з періодичним повним змотуванням смуги в пічних моталках. Показано, що на двоклітьовому стані Стеккеля застосування проміжного підігріву повністю змотаного рулону в пічних моталках дає змогу не тільки усунути нерівномірність розподілу температури по довжині смуги (захолодження кінців), але й проводити підігрів рулону до необхідної температури.

Ключові слова

стан Стеккеля, пічна моталка, смуга, прохід, змотування смуги, кліть

Summary

Konovalov Yu. V., Khokhlov A. S.

Mathematical model and algorithm of the operating conditions and parameters of rolling strips on the one-and two-stand Steckel mills

A mathematical model (based on the method developed by Brovman) and the algorithm for calculating the rolling force, as well as the refined method of calculating the temperature conditions during strip rolling mills at the Steckel one and two finishing stands. We present new phase rolling strips on one-stand with three furnace coilers and two-stand Steckel mill with two furnace coilers, in both cases with periodic full coiling strip in the furnace coilers. It is shown that in the two-stand Steckel mill use of intermediate heating fully coiled at furnace coiler in the oven allows you to not only eliminate the uneven distribution of temperature along the length of the strip, but also to produce heating coil to the desired temperature.

Keywords

steckel mill, furnace coiler, the strip, passage, coiling strip, stand

Поступила 04.06.13

**Продолжается подписка
на журнал «Металл и литье Украины»
на 2013 год**

Для того, чтобы подписаться на журнал через редакцию необходимо направить письмо-запрос по адресу:
03680, г. Киев-142, ГСП, бул. Вернадского, 34/1, ФТИМС
или по факсу: (044) 424-35-15.

Счет-фактуру согласно запросу редакция высылает письмом или по факсу.

Стоимость одного журнала – 30 грн.
Годовая подписка – 360 грн. (для Украины).
Годовая подписка для зарубежных стран – 90 \$.