

УДК 621. 771. 22

СЕРЕДА Б.П., докт. техн. наук, проф., ЗГИА, г. Запорожье
ТУМКО А.Н., к.т.н., зам. начальника ЦЗЛ ВАТ «ДСС», г. Запорожье
КОВАЛЕНКО А.К., аспирант, ЗГИА, г. Запорожье

**АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ
ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ КАНТОВОК, КОЭФФИЦИЕНТА
НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПО КАЛИБРАМ И
ВЕЛИЧИНЫ ОБЖАТИЙ В КАЖДОМ ПРОХОДЕ НА БЛЮМИНГЕ**

The process of rolling is considered on blooming. On the basis of the executed theoretical and experimental researches a criterion is formulated and tasks are decided programmatic on the automated planning of the technological modes of wringing out at rolling of high stripes on blooming. General principles of functioning and structure of complex of hardwares of the system of the automated management the mode of rolling of cage of figure are worked out 1050/950.

Key words: Control system, mode of rolling, effort, wringing out.

Рассмотрен процесс прокатки на блюминге. На основе выполненных теоретических и экспериментальных исследований сформулированы критериально и решены программно задачи по автоматизированному проектированию технологических режимов обжатий при прокатке высоких полос на блюминге. Разработаны общие принципы функционирования и структура комплекса технических средств системы автоматизированного управления режимом прокатки обжимной клетки стана 1050/950.

Ключевые слова: Система управления, режим прокатки, усилие, обжатие.

Розглянутий процес прокатування на блюмінгу. На основі виконаних теоретичних і експериментальних досліджень були сформовані критериально й вирішені програмно задачі по автоматизованому проектуванню технологічних режимів обтиснень при прокатці високих штаб на блюмінгу. Були розроблені загальні принципи функціонування і структура комплексу технічних засобів системи автоматизованого керування режимом прокатування обтискувальної кліті стану 1050/950.

Ключові слова: Система керування, режим прокатування, зусилля, обтиснення.

Режим обжатий слитков на блюминге устанавливает последовательность проходов и кантовок по калибрам, величину обжатий в каждом проходе. Являясь основным технологическим документом, режим обжатий во многом определяет технико-экономические показатели стана, безаварийную работу и степень использования оборудования. Известно, что режим обжатий учитывает допустимые условия захвата, устойчивости, прочности оборудования и мощности привода, а также для некоторых специальных сталей и сплавов реальный ресурс пластичности. Разработка режима обжатий, удовлетворяющего перечисленным условиям, на сегодняшний день практически сводится к выбору одного из многочисленных возможных вариантов последовательности серий проходов и кантовок. Насущные задачи создания системы автоматизированного управления режимом прокатки вызвали необходимость разработки алгоритма расчета режима

обжатий слитков. Использование данного алгоритма значительно упрощает и ручной расчет режима обжатий.

Решающим фактором, определяющим порядок кантовок, является устойчивость полосы, определяемая предельно допустимым соотношением сторон ее поперечного сечения $M = h_0/b_0$. Следовательно, при заданных исходных размерах заготовки (h_0, b_0), рассчитав допустимую по условиям захвата и прочности оборудования величину обжатия Δh_p , число проходов до кантовки определяется соотношением, полученным в результате теоретического и экспериментального исследований:

$$n \leq \frac{h_0(M - b_0/h_0)}{\Delta h_p(M + k)} \quad (1)$$

где $k = \Delta b/\Delta h$ – средний показатель уширения в серии проходов до кантовки.

Если принятое число проходов в серии больше рассчитанного по формулам (1), фактическая величина обжатия будет ограничена условием устойчивости полосы:

$$\Delta h_\phi = \frac{h_0(M - b_0/h_0)}{n \cdot (M + k)} \quad (2)$$

где n – вычисленное по (1), и округленное до ближайшего четного числа количество проходов в серии.

Прокатка на гладкой бочке становится неэффективной, если возможное число проходов, вычисленное по (1) меньше 4, или фактическая величина обжатия Δh_ϕ , при которой соблюдается условие устойчивости, составляет менее 75% от возможной Δh_p . В этом случае по (1), определяют число проходов, величину обжатия и размеры раската в последней серии на гладкой бочке, приняв при расчетах $M = 1,7$.

Расчет режима обжатий в калибрах ведется от последнего калибра к первому. Как правило, в последнем i -ом калибре выполняют один (последний) проход. По заданным размерам конечного сечения бьюма h_1 и b_1 определяют ширину калибра

$$b_k = b_1 / \kappa \quad (3)$$

где $\kappa \approx 0,98$ – коэффициент заполнения калибра.

Обжатие в выпускающем проходе Δh_i принимают по данным предварительного расчета по ходу прокатки. Определив уширение $\Delta b^i = \Delta h^i \cdot k$ рассчитывают ширину дна калибра $b_o^i = b_1 - \Delta b^i$ и глубину ручья

$$h_p^i = \frac{b_k^i - b_o^i}{2tg\psi^i} \quad (4)$$

где ψ^i – величина выпуска i -го калибра, для последнего калибра обычно принимают 15-20%, для предыдущих калибров – до 30%.

При расчете против хода прокатки для предыдущего $i-1$ калибра исходными данными являются

$$b_1^{i-1} = h_0^i = h_1 + \Delta h^i \quad (5)$$

$$h_1^{i-1} = b_0^i = b_1 - \Delta b^i \quad (6)$$

$$h_p^{i-1} = h_p^i$$

Дальнейший расчет предполагает определение числа проходов и величины обжатия по проходам в $i-1$ калибре с одновременным расчетом конструктивных параметров калибра. Суммарное обжатие в калибре ограничено принятым выпуском

$$\Delta h_{\Sigma} = \frac{b_k - b_o}{k} = \frac{2h_p \cdot \operatorname{tg} \psi}{k} \quad (7)$$

или условием устойчивости раската

$$\Delta h_{\Sigma} = \frac{b_1^{i-1}(1,7 - h_1^{i-1})}{1 + 1,7 \cdot k} \quad (4.16)$$

По минимальной величине допустимого суммарного обжатия Δh_{Σ} по условию (8) определяют число проходов в калибре n^{i-1} и фактическую величину обжатия Δh_{ϕ}^{i-1} в каждом проходе.

$$\Delta h_{\phi}^{i-1} = \frac{\Delta h_{\Sigma}^{i-1}}{n^{i-1}} \leq \Delta h_p \quad (8)$$

После вычисления по (5), (6) размеров сечения раската в конце прокатки в $i-1$ калибре проверяют возможность получения размеров h_1^{i-1} и b_1^{i-1} непосредственно из подката, полученного в последнем проходе на гладкой бочке с размерами $h_1^{\text{Б}}$ и $b_1^{\text{Б}}$.

$$h_1^{\text{Б}} < b_1^{i-1}; \quad (9)$$

$$(b_1^{\text{Б}} - h_1^{i-1}) \cdot k \leq b_1^{i-1} - h_1^{\text{Б}} \quad (10)$$

Если условия (9), (10) не выполняются, необходимо получать исходную полосу под $i-1$ калибр с размерами h_0^{i-1} и b_0^{i-1} из $i-2$ калибра. В противном случае данный $i-1$ калибр будет первым, в котором можно осуществлять прокатку после гладкой бочки, а i -й калибр, соответственно, вторым. Для этого необходимо добиться выполнения неравенства:

$$(b_1^{\text{Б}} - h_1^{i-1}) \cdot k \leq b_1^{i-1} - h_1^{\text{Б}} \quad (11)$$

Этого можно достичь уменьшением суммарного обжатия во втором калибре

$$\Delta h_{\Sigma}'' = \frac{h_1' - h_1^{\text{Б}} - k(b_1^{\text{Б}} - b_1'')}{k^2 - 1} \quad (12)$$

где h_1'' , b_1'' - размеры раската в конце серии прокатки во 2-ом калибре.

Выполнение равенства (11) можно также достичь уменьшением суммарного обжатия в последней серии прокатки на гладкой бочке

$$\Delta h_{\Sigma}^{\text{Б}} = \frac{b_1' - h_0^{\text{Б}} - k(b_0^{\text{Б}} - h_1')}{k^2 - 1} \quad (13)$$

где $h_1' = h_1^{i-1}$, $b_1' = b_1^{i-1}$ - размеры раската в конце серии прокатки в 1-ом ящичном калибре.

Тогда суммарное обжатие в первом калибре составит

$$\Delta h_{\Sigma} = b_1^{\text{Б}} - h_1' \quad (14)$$

фактическая величина обжатия в первом калибре $\Delta h_{\phi}'$ и число проходов n^1 определяется по условию (8).

При расчете режима обжатий для заданной калибровки валков и вышеперечисленным требованиям, предъявляемым к режиму обжатий, добавляются следующие:

- при передаче раската после кантовки в первый или очередной калибр его ширина должна соответствовать ширине дна данного калибра;

- суммарное уширение в калибре не должно превышать простор на уширение, заложенный в конструкции калибра.

Внесение этих дополнительных ограничений, влияющих на допустимую величину суммарного обжатия в серии проходов, несколько изменяет порядок расчета. Перед началом расчета по формулам (1)-(2) каждой новой серии проходов необходимо проверить возможность прокатки под первый ящичный калибр

$$h = \frac{b_0 + k \cdot h_0}{1,7 + k} \leq b'_0 \quad (15)$$

где h – минимальная по условию устойчивости высота раската, которую можно получить из заготовки с размерами h_0, b_0 ;

b'_0 – ширина дна первого ящичного калибра.

Если условие (15) выполняется – суммарная величина обжатия в последней серии на гладкой бочке составит

$$\Delta h_{\Sigma} = h_0 - b'_0 \quad (16)$$

Число проходов в серии и величина обжатия по проходам определяются из соотношения (8).

Расчет режима обжатий в калибрах в данном случае целесообразно вести по ходу прокатки. По размерам подката, полученного с гладкой бочки или предыдущего калибра по (15) определяют минимально возможную по условию устойчивости высоту раската.

Сравнивая ее с шириной дна калибра по (17) определяют номер калибра i , в котором возможна дальнейшая прокатка

$$h \leq b'_i \quad (17)$$

Вычислив суммарное обжатие в серии $\Delta h_{\Sigma} = h_0 - b'_i$, суммарное уширение $\Delta b_{\Sigma} = k \cdot \Delta h_{\Sigma}$, определяют ширину раската в конце серии и сравнивают ее с шириной j -го калибра:

$$b = b_0 + \Delta b_{\Sigma} \leq b_k^j \quad (18)$$

где j – номер калибра, в котором выполняется данная серия.

Если условие (18) не выполняется, минимальная высота в серии ограничена не условием устойчивости, а простором на уширение данного калибра и вычисляется по (19)

$$h = h_0 + \frac{b_0 + b_k^j}{k} \quad (19)$$

В случае, когда неравенству (17) удовлетворяют несколько калибров (в том числе возможен случай, когда $i = j$, т.е. дальнейшая прокатка после кантовки может производиться в том же калибре) предпочтение отдается варианту, позволяющему достичь большей величины суммарного обжатия в серии.

После определения суммарного обжатия в серии количество проходов и величины обжатий по проходам принимаются согласно соотношению (8).

Для получения требуемых размеров блюмов h_1 , b_1 минимально допустимую высоту h , вычисленную по (15) или (19) перед началом каждой серии сравнивают с высотой раската в конце предпоследней серии h_1^{i-1} , вычисленной по (5), (6), приняв в последнем проходе расчетную величину обжатия $\Delta h^i = \Delta h_p$. Если выполняется условие $h \leq h_1^{i-1}$ - вычисляют суммарное обжатие в предпоследней серии Δh_{Σ}^{i-1} :

$$\Delta h_{\Sigma}^{i-1} = h_0 - h_1^{i-1} \quad (20)$$

и из соотношения (8) определяют количество проходов и величины обжатий в данной серии.

Алгоритм расчета схем прокатки представлена на рис. 1.

После вывода исходных данных (блок 2) по изложенной методике вычисляется режим обжатий (блок 3). Исходными данными для расчета являются размеры слитка, требуемые размеры заготовки, марка стали, заданные параметры стана, калибровка валков.

Для расчета усилий (блок 5) прокатки используем известную формулу [1]:

$$P = n_{\sigma} \cdot \sigma_s \cdot F_{\text{кон}} \quad (21)$$

где $b_{\text{ср}}$, $h_{\text{ср}}$ – средние размеры раската в проходе, f - коэффициент трения, n_{σ} – коэффициент напряженного состояния, σ_s - сопротивление деформации, $F_{\text{кон}}$ - контактная площадь.

Коэффициент напряженного состояния можно определить по одной из известных формул.

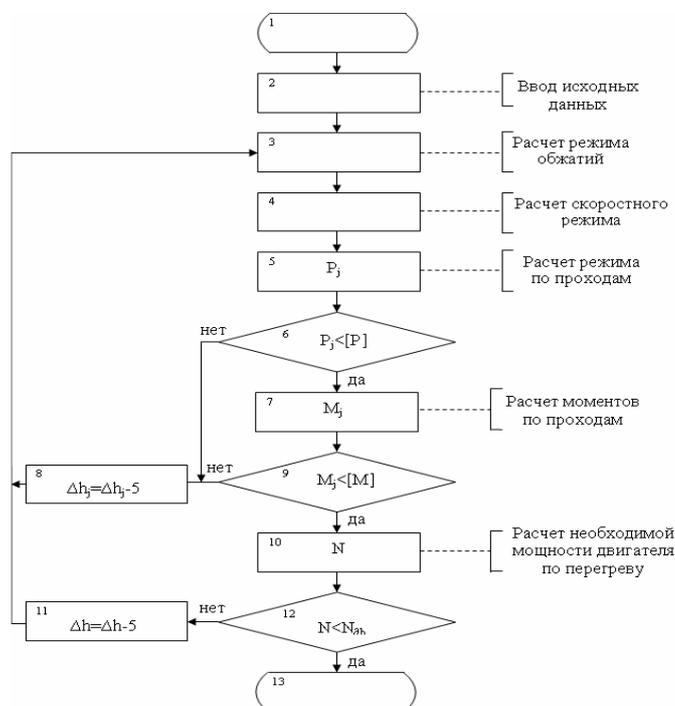


Рис. 1. Алгоритм расчета схем прокатки

В работе [2] было проведено сопоставление результатов расчетов по известным; полученным ранее формулам с данными промышленных экспериментов, проведенных на обжимной клети стана 1050/950. Анализ результатов показал, что минимальная погрешность расчетов достигает 11%.

Однако, хотя анализ результатов сопоставления показал возможность использования полученных ранее зависимостей необходимость увеличения быстродействия системы потребовала получить простые зависимости для расчета. На основании собранного в результате промышленных экспериментов большого числа экспериментальных данных в результате их статистической обработки были получены аппроксимационные зависимости для расчета n_σ для условий обжимной клетки стана 1050/950. С целью упрощения зависимостей и увеличения точности расчетов формулы получены отдельно для каждого калибра

$$n_\sigma = 0,68 \frac{h_0}{D} + 0,29 \frac{b_0}{h_0} + 1,17 \frac{\Delta h}{h_0} + 0,612 \quad (22)$$

$$n_\sigma = 1,95 \frac{h_0}{D} + 0,36 \frac{b_0}{h_0} + 1,01 \frac{\Delta h}{h_0} - 0,14 \frac{b_0}{b_k} - 0,095 \quad (23)$$

$$n_\sigma = 1,62 \frac{h_0}{D} - 0,11 \frac{b_0}{h_0} + 4,12 \frac{\Delta h}{h_0} + 0,83 \frac{b_0}{b_k} - 1,09 \quad (24)$$

Для расчета сопротивления деформации из банка данных в зависимости от марки стали, поступают значения коэффициентов А, В, С, D, σ_0 формулы [3]:

$$\sigma_s = A \cdot \sigma_0 \cdot V^B \cdot (10\varepsilon)^C \cdot (t/1000)^D \quad (25)$$

где V – скорость деформации, c^{-1} , ε – степень деформации в проходе, t – температура прокатки.

Контактную площадь вычисляем по формуле

$$F_{кон} = b_{cp} \cdot \sqrt{D_k \cdot \Delta h / 2} \quad (26)$$

где b_{cp} – средняя ширина раската, D_k – катающий диаметр калибра, в котором проводится проход, Δh – обжатие в проходе.

При превышении в каком-либо проходе допустимого для данного калибра уровня усилий величина обжатия уменьшается и проводится повторная проверка (блоки 6, 8).

Эпюра моментов для каждого прохода и среднеквадратичные значения моментов за весь цикл прокатки рассчитываем по методике, изложенной в [4]. При превышении в каком-либо проходе максимального значения момента над допустимым в данном проходе обжатия, уменьшаем до допустимой величины (блоки 7, 8, 9).

В конце расчета проверяем двигатель на перегрев (блоки 10, 11, 12) и при необходимости проводят коррекцию режима обжатий [5].

Список литературы: 1. Колмогоров, В.Л. Пластичность и разрушение / В.Л. Колмогоров, А.А. Богатов, Б.А. Мигачев. – М.: Металлургия, 1977. – 366 с. 2. Колмогоров, В.Л. Напряжения. Деформация. Разрушение / В.Л. Колмогоров. – М.: Металлургия, 1970. – 230 с. 3. Воронцов, В.К. Об экспериментальном исследовании степени деформации сдвига по высоте раската / В.К. Воронцов, Р.Э. Гафаров, В.В. Лашин. – М.: Изв. вуз. Черная металлургия, 1983, №6, с. 59–62. 4. Новик, Ф.С. Оптимизация процессов технологии металлов методами планирования экспериментов / Ф.С. Новик, Я.Б. Арсов. – М.: Машиностроение, 1980. – 304 с. 5. Серета, Б.П. Розробка оптимальних режимів прокатки та після деформаційної обробки прутків зі спеціальної сталі діаметром більше 270 мм / Б.П. Серета, О.М. Тумко, І.В. Кругляк, А.К. Коваленко / зб. наук. праць «Металургія» №19. – Запоріжжя, 2009. – с. 109–11