

УДК 621.771.26.01

Серета Б. П.
Коваленко А. К.
Тумко А. Н.

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ПРОКАТКИ НА БЛЮМИНГЕ

Необходимость разработки этой системы была обусловлена следующими причинами. В настоящее время марочный сортамент стана 1050/950 включает более 400 марок сталей [1]. Прокатка слитков проводится в широком диапазоне размеров. Однако весь профилямарочный сортамент прокатывают по нескольким типовым режимам обжатий в соответствии с одной из двух основных групп, на которые разбит весь сортамент. В результате по одной схеме прокатывают стали, разница в сопротивлении деформации которых достигает 2–3 кг/мм², т. е. 16–33 %. Это часто приводит к завышению необходимого числа проходов при прокатке сталей с более низким сопротивлением деформации в группе [2].

Помимо этого фактические свойства прокатываемого металла в значительной мере зависят от температуры нагрева и прогрева слитка по сечению [3]. На практике имеют место значительные колебания температуры даже в пределах инструкции. Кроме того, изменение температуры связано с различными задержками в процессе прокатки, с неравномерностью нагрева слитков в зависимости от их расположения в ячейке и последовательности выдачи. Вследствие этого фактически прокатывают слитки одной марки стали, но со значительной разницей в сопротивлении деформации из-за больших колебаний среднemasсовой температуры.

Суммарные колебания сопротивления деформации и, следовательно, усилий, учитывая различие свойств марок стали и колебания температуры при нагреве, на стане 1050/950 составляет 63–90 МПа для марок средней твердости и 85–130 МПа для высокопрочных сталей. Разброс усилий при этом достигает 50 %. При этом в ряде случаев уровень усилий достигает или превышает предельно допустимые значения и реальна угроза поломки оборудования. В то же время во многих случаях фактические усилия значительно меньше допустимых и загрузка основного механического оборудования и главных приводов позволяет сократить число проходов.

Таким образом, практически ни один слиток не прокатывают по оптимальному режиму обжатий. Прокатка слитков по режимам обжатий, которые учитывают фактические свойства прокатываемого металла, является новым эффективным путем оптимизации процесса с целью увеличения производительности за счет сокращения числа проходов и предотвращения аварийных ситуаций путем уменьшения обжатий, т. е. увеличения числа проходов в необходимых случаях.

Следует учитывать и то, что работа в режимах, близких к предельно допустимым, вследствие неизбежного колебания технологических параметров безопасна только при наличии надежной системы, контролирующей фактическое состояние прокатываемого металла и прогнозирующей уровень усилия прокатки в последующих проходах. Кроме того, учитывая универсальность реверсивных обжимных станков, часто возникает задача освоения нового профильного и марочного сортамента. Это связано с достаточно сложными предварительными расчетами и занимает продолжительный отрезок времени.

Оперативное освоение нового сортамента, прокатка всего сортамента по оптимальным режимам возможна при использовании метода, позволяющего непосредственно в процессе прокатки определять фактическое состояние прокатываемого металла. Реализация такого процесса является содержанием данного раздела.

Цель работы – обеспечить математическое обеспечение системы автоматического управления режимом прокатки (САУРП) для реализации нового способа прокатки слитков широкого марочного сортамента.

Непосредственно в процессе прокатки определяем фактическое сопротивление деформации прокатываемого металла. Совокупностью параметров, позволяющих определять сопротивление деформации σ_s в заданном калибре (с глубиной ручья h_p и катающим диаметром D) являются исходные размеры заготовки перед проходом h_0 , b_0 , усилие прокатки P , коэффициент напряженного состояния n_σ и контактная площадь $F_{кон}$. Таким образом, приняв соотношения:

$$n_\sigma = f(D, h_0, \Delta h); \quad (1)$$

$$F_{кон} = f(b_0, D, \Delta h, \Delta b), \quad (2)$$

измерив усилие P , межвалковый зазор S и вычислив по формуле Бахтинова [3] уширение Δb и обжатие в проходе Δh :

$$\Delta h = h_0 - S - 2h_p; \quad (3)$$

$$\Delta b = f(D, h_0, \Delta h), \quad (4)$$

фактическое сопротивление деформации в проходе многими учеными, в частности А. И. Целиковым [4], определяется по формуле:

$$\sigma_s = \frac{P}{n_\sigma \cdot F_{кон}}. \quad (5)$$

При этом за начальные размеры для i -го прохода принимают с учетом кантовки размеры h_1^{i-1} и b_1^{i-1} после $i - 1$ -го прохода, вычисленные по измеренной в $i - 1$ проходе величине межвалкового зазора S^{i-1} :

$$h_1^{i-1} = S^{i-1} + 2h_p; \quad (6)$$

$$b_1^{i-1} = b_0^{i-1} + \Delta b^{i-1}, \quad (7)$$

где Δb^{i-1} – уширение в $i - 1$ проходе, вычисленное по соотношению (4).

Вычисляем допустимую по условию захвата, прочности оборудования и мощности привода величину обжатия Δh_i для следующего прохода с учетом фактического сопротивления деформации металла, определяемого по вышеизложенной методике перед каждым проходом. Величина обжатия для первого (пробного) прохода должна быть задана.

Выбираем величину обжатия в проходе с учетом заданных размеров калибров и условия устойчивости. Эти дополнительные условия и ограничения на время счета потребовали разработки специального безитерационного алгоритма, позволяющего непосредственно в процессе прокатки формировать режим обжатий блюминга. Заложенные в алгоритм формулы позволяют по известным исходным размерам, допустимому обжатию Δh_{max} и заданной калибровке валка определить дальнейшую схему прокатки (фактические обжатия, номера калибров и кантовки по проходам). Алгоритм может быть использован как в математическом обеспечении АСУ блюминга, так и в программе предварительного расчета режима обжатий.

Указанный способ прокатки реализован созданием САУРП обжимной клетки стана 1050/950 на заводе «Днепрспецсталь». В комплекс технических средств вошли универсальный вычислительный комплекс (УВК) на базе микропроцессора Intel PXA270 XScale, измерители

раствора валков, усилий прокатки и частоты вращения валков, информационное табло на посту оператора клетки, пульт УВК для ввода информации. Связь датчиков информации с УВК осуществляется кабельными трассами через устройство связи с объектом. САУРП функционально можно подразделить на следующие подсистемы:

- информационную подсистему, осуществляющую сбор, обработку, хранение и выдачу технологической и статистической информации о процессе прокатки на стане на табло оператора клетки и принтер для печати при необходимости протокола прокатки;

- подсистему слежения, использующую технологическую информацию, поступающую от датчиков усилия на левом и правом нажимном винте, межвалкового зазора и частоты вращения валков для программного слежения за раскатом, его прохождением по калибрам, выполнением кантовок и началом прокатки нового слитка, включая учет «нестационарных» ситуаций на стане;

- подсистему управления обжимной клетью, обеспечивающую прогнозирование фактического состояния прокатываемого металла, составление схемы прокатки или ее выбор из числа заложенных в банк данных, выдачу рекомендуемого режима прокатки в данном проходе на табло оператора клетки.

На рис. 1, 2 представлены схемы функционирования САУРП, построенные на изложенных принципах. В режиме выбора схемы прокатки из числа заложенных в память УВК схем перед началом прокатки с пульта оператора стана в УВК поступает информация о норме группы прокатываемой стали.

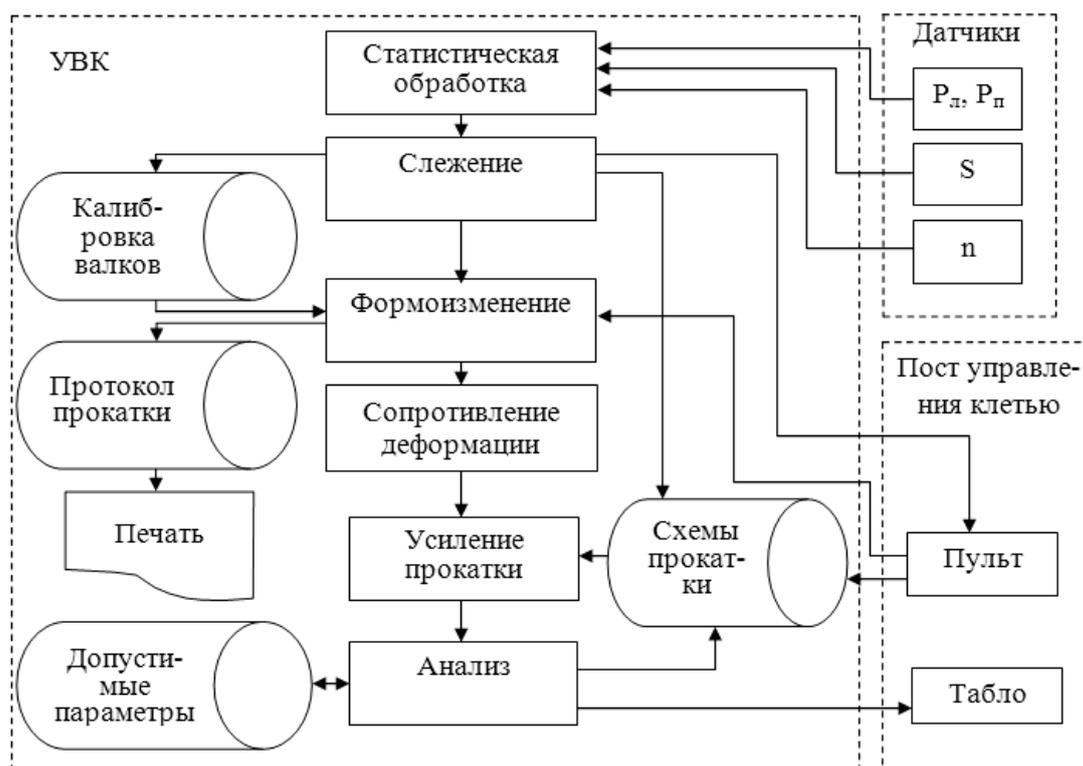


Рис. 1. Схема функционирования САУРП в режиме выбора схем прокатки

В дальнейшем программное обеспечение системы предусматривает следующий порядок действий:

- ввод схемы прокатки, предусмотренной технологической инструкцией для данной группы марок стали с выдачей на табло оператора клетки информации о режиме прокатки в первом проходе (межвалковый зазор, калибр, кантовка);

- статистическая обработка технологической информации, поступающей во время прохода с датчиков усилия прокатки, межвалкового зазора и частоты вращения валков;

- программное отслеживание окончания прохода, наличие кантовки перед проходом;

- вычисление формоизменения в проходе;
- вычисление фактического сопротивления деформации прокатываемого металла σ_s ;
- вычисление прогнозируемого уровня усилий в последующих проходах выбранной схемы;
- сопоставление прогнозируемых усилий с допустимыми значениями и выработка рекомендаций с выдачей их на табло оператора клетки.

Рекомендации могут предусматривать:

- продолжение прокатки по выбранной схеме, предусматривающей n проходов;
- прокатку по схеме с меньшим числом проходов;
- прокатку по схеме с большим числом проходов.

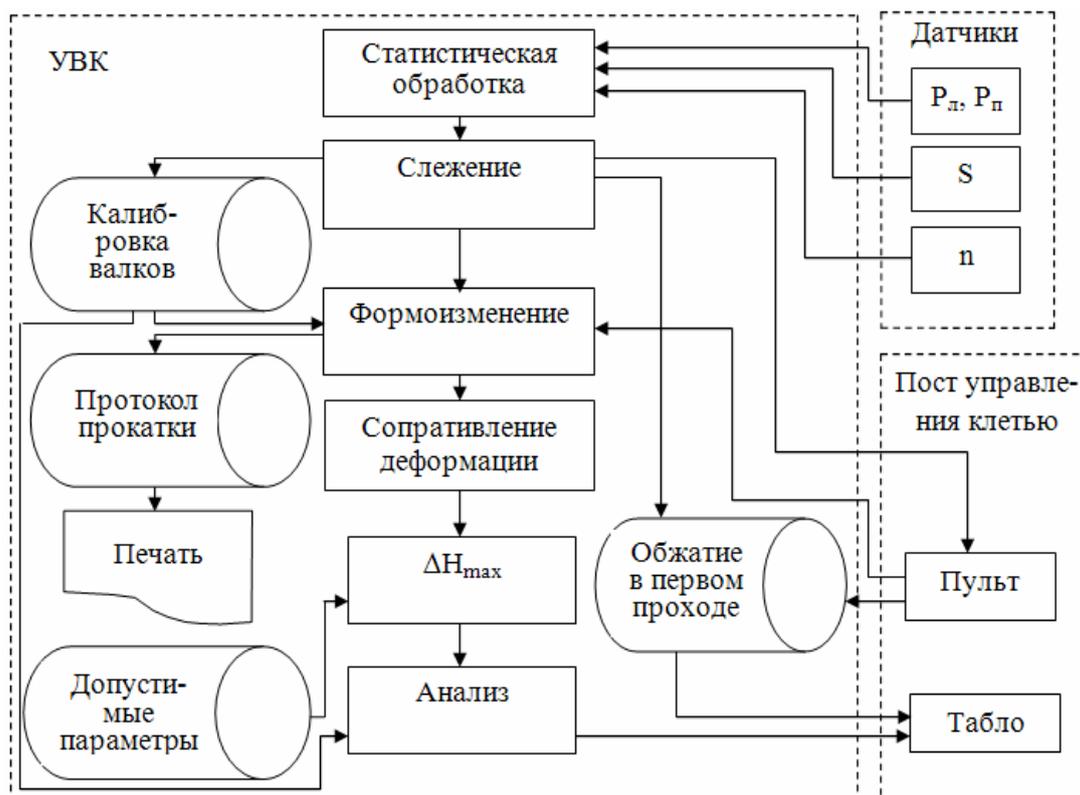


Рис. 2. Схема функционирования САУРП в режиме составления схем прокатки

Для выбора нужной схемы последовательно рассчитывается ожидаемый уровень усилий по схемам с $n \pm 1, n \pm 2$ и т. д. проходам до достижения допустимых значений усилия прокатки. При этом в расчетах используется определенное в предыдущем проходе значение фактического сопротивления деформации прокатываемого слитка. Коррекция величины сопротивления деформации производится после каждого прохода. Для этого подсистемой слежения по соотношению усилий на левом и правом нажимном винте P_l/P_p и значениям межвалкового зазора в данном i -ом и предыдущем $i-1$ проходе (S^i, S^{i-1}) определяется номер калибра j , в котором проводится проход и наличие кантовки перед проходом. Введя из памяти УВК глубину ручья j -го калибра и катающий диаметр валков по соотношениям (1–6), используя измерение S^i и P^i определяется фактическое формоизменение в проходе и сопротивление деформации металла σ_s . Данные о формоизменении и усилиях прокатки по проходам поступают в запоминающее устройство и могут быть при необходимости распечатаны в виде протокола прокатки.

Работа системы в режиме составления схемы прокатки предусматривается при освоении нового профильного и марочного сортамента и отличается от вышеизложенной тем, что величина определяемого после каждого прохода сопротивления деформации используется не для расчета прогнозируемого уровня усилий в выбранной схеме, а для определения величины

максимально допустимого обжатия Δh_{max} . В дальнейшем значение Δh_{max} используется в алгоритме формирования схемы прокатки для выработки рекомендаций по величине обжатия, номера калибра и необходимости кантовки для следующего прохода с отображением их на табло оператора клетки. Формирование схемы прокатки по данному алгоритму позволяет предотвратить сваливание заготовки из-за превышения допустимого значения отношения h/b и переполнение калибров.

Работа системы в режиме составления схемы прокатки предусматривается при освоении нового профильного и марочного сортамента и отличается от вышеизложенной тем, что величина определяемого после каждого прохода сопротивления деформации используется не для расчета прогнозируемого уровня усилий в выбранной схеме, а для определения величины максимально допустимого обжатия Δh_{max} . В дальнейшем значение Δh_{max} используется в алгоритме формирования схемы прокатки для выработки рекомендаций по величине обжатия, номера калибра и необходимости кантовки для следующего прохода с отображением их на табло оператора клетки. Формирование схемы прокатки по данному алгоритму позволяет предотвратить сваливание заготовки из-за превышения допустимого значения отношения h/b и переполнение калибров [1, 2].

ВЫВОДЫ

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. На основании выполненных промышленных исследований разработан комплекс алгоритмов и программ, являющихся математическим обеспечением системы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Серeda Б. П. *Технология производства прутков из стали 40 ХГМ диаметром 200...275 мм* / Б. П. Серeda, А. К. Коваленко, Ю. А. Белоконь // *Металургия : зб. наук. праць. – Запоріжжя, 2010. – № 21. – С. 166–170.*
2. *Розробка оптимальних режимів прокатки та після деформаційної обробки прутків зі спеціальної сталі діаметром більше 270 мм* / Б. П. Серeda, О. М. Тумко, І. В. Кругляк, А. К. Коваленко // *Металургия : зб. наук. праць. – Запоріжжя, 2009. – № 19. – С. 109–114.*
3. *Исследование распределения температуры по сечению блюмов и слябов после прокатки* / В. Т. Жадан, М. И. Лобарев, П. М. Геращенко и др. // *Известия вузов. Черная металлургия. – 1982. – № 1. – С. 83–86.*
4. *Бахтинов Б. П. Калибровка прокатных валков* / Б. П. Бахитов, М. М. Штернов. – М. : *Металлургияиздат, 1953. – 530 с.*
5. *Целиков А. И. Оптимизация процессов технологии металлов методами планирования экспериментов* / А. И. Целиков, А. И. Гришков. – М. : *Металлургия, 1970. – 358 с.*

Серeda Б. П. – д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой ЗГИА;

Коваленко А. К. – аспирант ЗГИА;

Тумко А. Н. – канд. техн. наук, зам. нач. ЦЗЛ ОАО «Электрометаллургический завод «Днепрспецсталь» им. А. Н. Кузьмина».

ЗГИА – Запорожская государственная инженерная академия, г. Запорожье.

E-mail: vesnoplyas@mail.ru