

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СПОСОБА ШЛИФОВАНИЯ РАБОЧИХ S-ОБРАЗНЫХ ВАЛКОВ С ЦЕЛЬЮ СНИЖЕНИЯ ВЫХОДА НЕСООТВЕТСТВУЮЩЕЙ ПРОДУКЦИИ ПО ПОПЕРЕЧНОМУ ПРОФИЛЮ

IMPROVEMENT THE METHOD OF GRINDING WORKING S-SHAPED ROLLS TO REDUCE THE RELEASE OF NON-CONFORMING PRODUCT ASSOCIATED WITH CROSS-SECTION

А.А. Астахов, И. П. Мазур

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение Высшего профессионального образования Липецкий государственный технический университет, 398600 Россия, г. Липецк, ул. Московская 30, e-mail: emillcroff@mail.ru

Abstract

Increase of requirements to quality of the flat-rolled steel causes the appearance of new methods and improvement of the well-known approaches to improving the geometry of thin-gage rolled steels. On modern rolling mills, control and management of the strips cross-section is carried out by a profile and flatness control system (PFC). The main channel of the influence of such systems on the geometric parameters of the rolled steel is the axial shifting of S-shaped working rolls in CVC (Continuous Variable Crown) mills. The performance of the PFC is determined by the correct choice of the initial (machining) profile of the working rolls. The paper discusses the way to improve the methodology of grinding S-shaped working rolls by taking into account the thermal deformations, arising from the contact with the hot strip. The mathematical model of the thermal condition of S-shaped rolls, which allows to predict the change of the roll's thermal profile, gives the possibility to create the algorithm for the grinding of the working rolls in hot condition and increase the accuracy of performance of their machining profile.

1. Введение

В настоящее время на листопрокатных станах наблюдается отклонение поперечного профиля полос от заданного значения. Это происходит при прокатке в чистовой группе первых 5 полос в начале кампании и при переходе с одного типоразмера на другой (рис. 1).

Поперечный профиль регулируется системой автоматического управления профилем и плоскостностью полос (PFC). Данная система имеет множество средств и методов регулирования профиля и формы полосы, одним из которых является исполь-

зование в составе чистовой группы стана клеток с осевой сдвижкой рабочих валков – CVC клетки. Валки таких клеток, как правило, имеют S-образную профилировку, описываемую полиномом n -степени. При осевом перемещении валков профиль межвалкового зазора меняется от вогнутого до выпуклого, что позволяет заменить большой парк валков с различными выпуклостями. Одной из причин отклонения поперечного профиля, на наш взгляд, может служить несоответствие фактического профиля рабочего валка (полученного при плановой перешлифовке) и заданного в системе PFC [1].

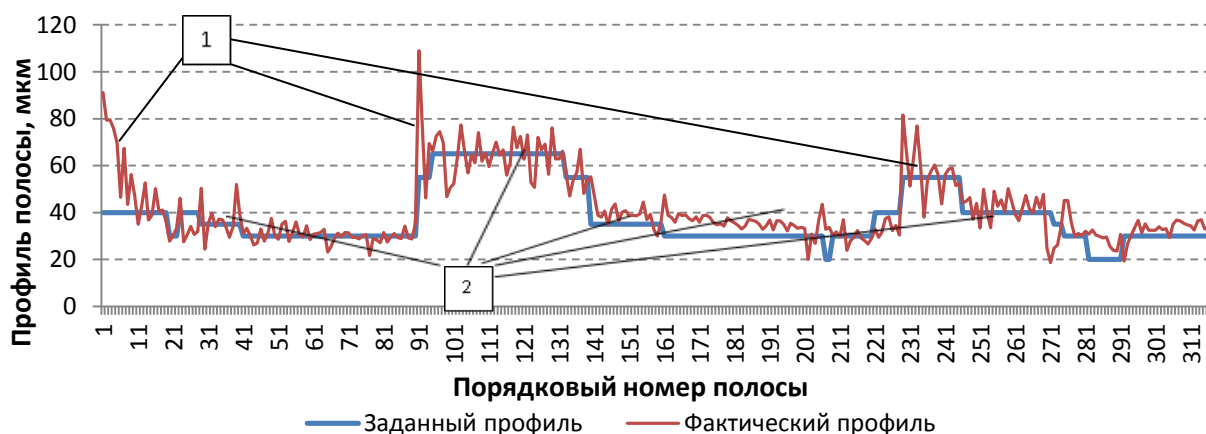


Рис. 1. Типичный поперечный профиль полос на выходе стана горячей прокатки: 1 – первые полосы после переделки; 2 – переходные полосы с одного типоразмера на другой

2. Математическая модель теплового состояния валка

На современных станах горячей прокатки в клетях, оборудованных осевой сдвижкой, валки имеют S-образную профилировку, которая при пе-

реточке на шлифовальном станке задается в виде коэффициентов полинома n -й степени. Коэффициенты являются функциями межвалкового зазора, величины осевой сдвижки, длины бочки валка и т.д. Для учета влияния теплового профиля на исходный профиль валка необходимо определить корректирующие коэффициенты, которые в даль-

нейшем нужно занести в память шлифовального станка. Эти коэффициенты должны выражать зависимость тепловой выпуклости валка из-за контакта с нагретым металлом.

Для оценки тепловой выпуклости валков после вывалки из клетки была разработана модель рабочего валка. В качестве прототипа для ее создания был принят валок клетки с осевой сдвижкой непрерывного широкополосного стана горячей прокатки 2000 с диаметром 820 мм и длиной бочки 2300 мм. Для исследования теплового состояния в качестве начальных условий было задано исходное температурное поле валка перед завалкой в клеть. Изменяющиеся условия теплообмена были заданы при помощи переменных граничных условий, которые отражают взаимодействие валка с окружающей средой, а именно контакт с нагретой полосой, конвективное охлаждение на воздухе и под водяными струями системы охлаждения валков. Таким образом, один оборот валка представлен в виде участков, где действуют неизменные граничные условия (рис. 2). Каждый из участков характеризуется углом поворота валка φ_i , коэффициентом конвективной теплоотдачи α_i и температурой окружающей среды T_i ($i = 1 \div 7$ – порядковый номер участка). После вывалки и подготовки к шлифованию граничные условия по всей поверхности бочки валка одинаковы и характеризуются конвективным охлаждением на воздухе. По результатам теплового расчета был определен тепловой профиль валка. При расчёте была учтена зависимость коэффициента теплопроводности материала валка λ от температуры T , в виде кусочно-линейной функции [2].

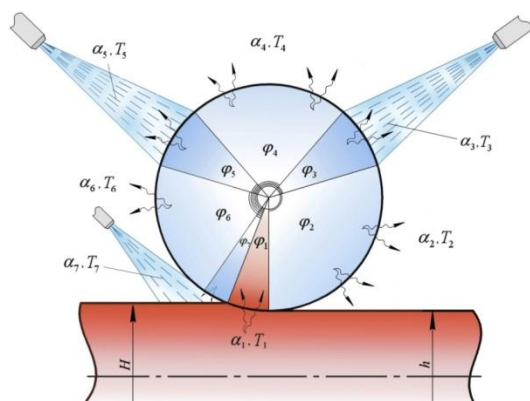


Рис. 2. Схема теплообмена в системе «полоса-валок»

3. Алгоритм определения корректирующих коэффициентов полинома профиля S-образных валков

В реальных производственных условиях прокатку на широкополосных листопрокатных станах ведут от широких полос к узким для предотвращения образования дефектов полос, связанных с износом рабочих валков. Как правило, последние полосы в рабочей кампании для стана 2000 имеют ширину не более 1200 мм, при которой распре-

деление поверхностной температуры вдоль бочки рабочего валка подчиняется биквадратичному закону. Оснащение всех клеток чистой группы стана горячей прокатки устройствами осевой сдвижки позволяет осуществлять «беспрограммную» прокатку. В связи с этим средняя ширина прокатываемых в конце кампании полос может быть отличной от указанной выше величины, следовательно, распределение поверхностной температуры валка после вывалки из клетки будет отличным от биквадратного.

При помощи разработанной математической модели теплового состояния рабочего S-образного валка производили симуляцию рабочих кампаний, в конце которых преобладали полосы со средней шириной 1850, 1625, 1400, 1150 и 900 мм. В результате была получена зависимость распределения температуры по длине бочки валка от средней ширины прокатываемых за кампанию полос:

$$\Delta T(x) = \frac{16\Delta t}{L^4} x^2 (x-L)^2 \left[1 + \frac{4k_B}{L^2} \left(x - \frac{L}{2} \right)^2 \right] \quad (1)$$

где Δt – разность температуры в середине бочки и полусуммы температуры на краях бочки валка; L – длина бочки валка; x – координата вдоль оси бочки валка с началом координат на краю бочки валка; k_B – эмпирический коэффициент, отражающий зависимость распределения температуры от средней ширины прокатываемых полос.

Разность температуры в середине бочки и полусуммы температуры на краях бочки валка

$$\Delta t = T_c - \frac{T_{k1} + T_{k2}}{2}, \quad (2)$$

где T_c – температура в середине бочки валка; T_{k1} , T_{k2} – температура на краю со стороны привода и стороны обслуживания бочки валка соответственно.

Тепловое приращение профилировки в нагретом состоянии определяется следующим образом:

$$\Delta R(x) = \alpha R \Delta T(x), \quad (3)$$

где α – коэффициент линейного температурного расширения материала валка; R – радиус бочки валка.

Кривая контура, образующего профиль S-образного валка стана горячей прокатки описывается полиномом 3-й степени, имеющим вид:

$$y_e(x) = a_1 x + a_2 x^2 + a_3 x^3, \quad (4)$$

a_i – коэффициент полинома.

Кривая профиля валка задается в ЧПУ вальцешлифовального станка при помощи коэффициентов полинома, которые являются функциями межвалкового зазора, величины осевой сдвижки, длины бочки валка, величины износа и т.д. Для учета влияния теплового профиля, возникающего во время прокатки, на исходный профиль валка необходимо определить корректирующие коэффициенты, которые в дальнейшем нужно занести в память шлифовального станка. Эти коэффициенты

должны выражать зависимость тепловой выпуклости вала из-за контакта с нагретым металлом.

Для того чтобы найти величину корректировки коэффициентов полинома при перешлифовке валков в «горячем» состоянии, необходимо составить и решить систему уравнений относительно новых коэффициентов a_1^* , a_2^* и a_3^* .

Решение системы уравнений, представленное в работе [3], дает следующие результаты:

при шлифовании S-образных валков в неостывшем состоянии коэффициент полинома a_1 необходимо увеличивать на величину

$$\Delta a_1 = \frac{32\alpha R \Delta t}{9L} \left(1 + \frac{k_B}{9} \right), \quad (5)$$

а коэффициент a_2 уменьшать на величину

$$\Delta a_2 = \frac{32\alpha R \Delta t}{9L^2} \left(1 + \frac{k_B}{9} \right). \quad (6)$$

4. Экспериментальная проверка методики шлифования валков в горячем состоянии

Проверка предлагаемого способа шлифования рабочих S-образных валков в горячем состоянии осуществляется в соответствии с рабочим планом «Оптимизация режима подготовки рабочих валков стана 2000 с S-образными профилировками» № 6-B-IV-2014-65 от 18.07.2013 г.

После вывалки из клетки и демонтажа подушек валки помещают на участок вальцешлифовальных мастерских. Шлифовку валков выполняют на станках «HerkulesWS 600/450-20x6000 CNC». После установки очередного рабочего валка на станок производят измерение поверхностной температуры валка в 3-х точках: в середине и на расстоянии 100 мм от краев бочки. Выполняют распечатку протокола контроля профиля «черного» валка, температуру валка регистрируют в протоколе. Измеренную температуру используют для расчета поправочных температурных коэффициентов в соответствии с алгоритмом предлагаемой методики на разработанном программном обеспечении («Программа расчета профиля рабочих валков стана 2000», свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2013617839).

Выполняют шлифовку валка по выбранной программесогласно рассчитанным коэффициентам. По окончании шлифовки выполняют распечатку протокола контроля профиля, и подготовленные валки укладывают в отдельный стеллаж для остывания. По истечении суток после шлифовки контролируют температуру валков, устанавливают на станок «Геркулес» для контроля изменения станочных профилировок, выполняют распечатку протокола контроля профиля (рис. 3а). Выполняют анализ отклонений профилировок остывших валков от заданных значений (рис. 3б).

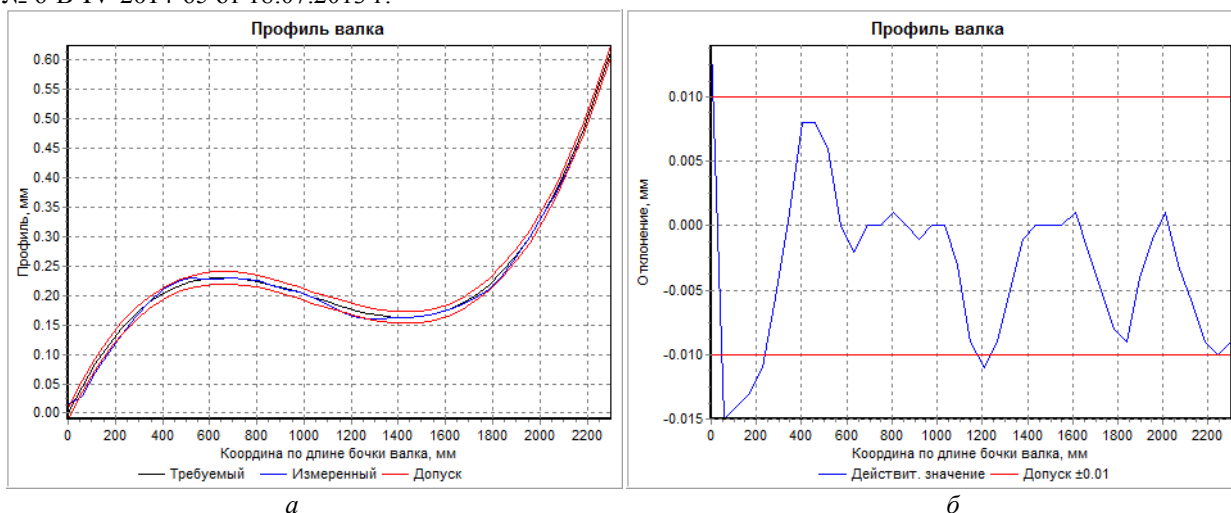


Рис. 3. Контроль отклонения профиля рабочего валка после остывания

В качестве критериев оценки эффективности предлагаемой методики используют параметры

среднеквадратического и среднеарифметического отклонения профиля от заданного значения (рис 4).

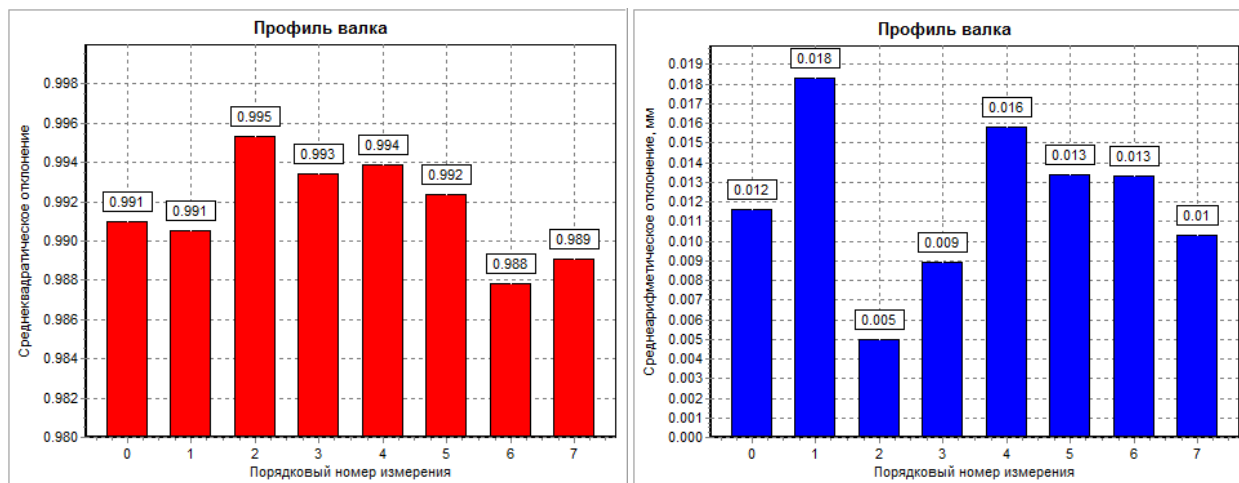


Рис. 4. Среднеквадратическое и среднеарифметическое отклонение профиля опытных рабочих валков.

Выводы

Предлагаемая методика определения коэффициентов полинома профиля S-образных валков с учетом поправки на тепловую выпуклость позволяет свести к минимуму отклонение профиля от требуемого, получаемого в случае шлифования валков в горячем состоянии. Применение данной технологии в качестве резервной позволит сократить трудозатраты на сборку/разборку валковых опор, даст возможность производить шлифовку рабочих валков с подушками, разгрузить складские помещения для хранения валков, сократить время выхода на стационарный тепловой режим работы рабочих валков, ожидается повышение точности начальной настройки системы PFC на заданный профиль и снижение отклонения поперечного профиля полос на выходе стана при переходе с одного типоразмера на другой.

Список литературы

1. Aleksandr A. Astakhov, Anna Kawalek, Igor P. Mazur. Grinding Working Rolls of Hot Rolling Mills // 21th Anniversary International Conference on Metallurgy and Materials. May 23-25, 2012. Brno, Czech Republic, EU. Conference proceedings. The Report B-17.P. 35.
2. Астахов А.А., Мазур И.П. Разработка модели для исследования теплового состояния рабочих валков станов горячей прокатки / Вестник ВГТУ. – Воронеж: ВГТУ, 2011. Том 7, №11.2. С.83-86.
3. Мазур И.П., Жовнодий Н.Н., Астахов А.А., Кавалек А.А., Чабоненко А.А. Станочное профилирование рабочих валков как способ регулирования поперечного профиля прокатываемых полос // Производство проката. 2013. №5. С. 13-17.