

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ноздрин И.В., Галевский Г.В., Ширяева Л.С. // Изв. вуз. Черная металлургия. 2011. № 10. С. 12 – 17.
2. Ноздрин И.В., Галевский Г.В., Руднева В.В. // Заготовительные производства в машиностроении. 2011. № 9. С. 46 – 48.
3. Анализ тугоплавких соединений / под ред. Г.В. Самсонова. – М.: Металлургиздат, 1962. – 256 с.
4. Крапивина С.А., Гусева Е.С. – В кн.: Применение низкотемпературной плазмы в технологии неорганических веществ и порошковой металлургии. – Рига: Зинатне, 1985. С. 28 – 35.

5. Руднева В.В. // Вестник РАЕН: Проблемы развития металлургии в России (тематический номер). 2006. Т. 6. № 3. С. 63 – 68.
6. Руднева В.В. Плазмометаллургическое производство карбида кремния: развитие теории и совершенствование технологии. – М.: Флинта: Наука, 2008. – 387 с.

© 2013 г. И.В. Ноздрин, В.В. Руднева,
Г.В. Галевский

Поступила 1 февраля 2013 г.

УДК 621.771.014.2

О.Б. Калугина, Д.И. Кинзин, А.Б. Моллер

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА СОРТОВОЙ ПРОКАТКИ ПУТЕМ ОПТИМИЗАЦИИ ФОРМЫ КАЛИБРОВ

Аннотация. Приведены результаты уточнения методики расчета формоизменения при прокатке в калибрах. Решена задача оптимизации формы калибра по критерию эффективности калибровки, где уточненная методика была использована в качестве ограничения. Обоснован выбор целевой функции – максимальной эффективности калибровки для минимизации энергозатрат.

Ключевые слова: сортовая прокатка, моделирование, показатель формы очага деформации, расчет уширения, оптимизация, энергопотребление.

INCREASING ENERGY EFFICIENCY OF THE PROCESS OF FLAT-AND-EDGE ROLLING BY MEANS OF OPTIMIZATION OF THE SHAPE OF ROLL-PASS

Abstract. In this article the authors give the results of the improvement of the computing method of forming at rolling in roll-pass. The task of optimization of the shape of roll-pass based on the efficiency of calibration, where the refined methodology was used in the capacity of restriction, was solved. The choice of target function was validated. It is the maximum efficiency of calibration for power inputs minimization.

Keywords: flat-and-edge rolling, modeling, deformation hearth shape characteristics, calculation of widening, optimization, energy consumption.

В связи с постоянно растущими требованиями к повышению эффективности работы сортопрокатных станов выбор оптимальной калибровки валков является важной проблемой для производства. В настоящей работе был выбран один из важнейших критериев оптимизации, относящихся к минимизации издержек, – минимальный расход энергии на деформацию.

Для решения задачи оптимизации калибровки валков необходима универсальная математическая модель формоизменения при прокатке, не зависящая от системы калибров, т.к. форма калибра является искомой.

Всем этим требованиям удовлетворяет метод расчета формоизменения, разработанный на кафедре обработки металлов давлением (ОМД) Магнитогорского государственного технического университета [1]:

$$\ln \mu = - \frac{1 - K_2 - \sqrt{\frac{(1 - K_2)^2 + (K_2 - K_3)^2 + (1 - K_3)^2}{2}}}{1 - K_3 - \sqrt{\frac{(1 - K_2)^2 + (K_2 - K_3)^2 + (1 - K_3)^2}{2}}} \times \ln \frac{S_1}{S_+}; \quad (1)$$

$$K_2 = 2f \sin \left(\arctg \frac{B_{cp}}{L_{cp}} \right); \quad (2)$$

$$K_3 = 2f \cos \left(\arctg \frac{B_{cp}}{L_{cp}} \right), \quad (3)$$

где S_1 и S_+ – площади выходящего сечения и области пересечения входящего и выходящего сечений при их наложении; f – коэффициент трения; B_{cp} – средняя ширина контактной поверхности; L_{cp} – средняя длина контактной поверхности.

Для проверки точности и адекватности методики были проведены эксперименты на лабораторном оборудовании кафедры ОМД на стане 200. Были использованы данные, фактически полученные при прокатке на гладких валках и в калибрах сортовых станов 250, 370 и 450 Магнитогорского металлургического комбината (ММК).

По результатам экспериментального исследования базовой методики расчета формоизменения были разработаны коррективы, которые позволили расширить область применения методики и повысить точность вы-

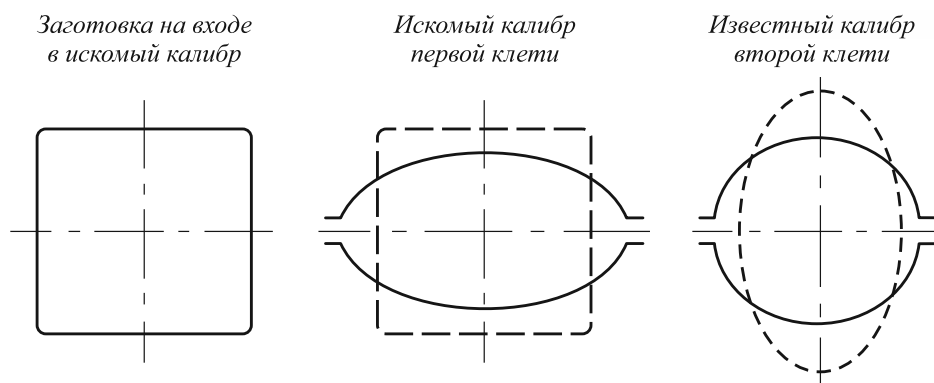


Рис. 1. К постановке задачи оптимизации

числения показателей формоизменения при сортовой прокатке. Было предложено определять значения K_2 и K_3 в формуле (1) по следующим уравнениям:

$$K_2 = 2nf \sin \left(\arctg \frac{B_{cp}}{L_{cp}} \right); \quad (4)$$

$$K_3 = 2nf \cos \left(\arctg \frac{B_{cp}}{L_{cp}} \right), \quad (5)$$

где $n = n \left(\frac{L_{cp}}{B_{cp}}, \frac{L_{cp}}{H_{cp}} \right)$ – функция формы, учитывающая влияние на вытяжку соотношений средних значений длины очага деформации к его ширине и высоте.

Коэффициенты аналитической зависимости были определены при помощи инструментов множественного нелинейного регрессионного анализа:

$$n = 2,4 \left(\frac{L_{cp}}{B_{cp}} \right)^2 - 2,8 \frac{L_{cp}}{B_{cp}} + 0,13 \frac{L_{cp}}{H_{cp}} + 1,72. \quad (6)$$

Зависимость (6), полученная после обработки экспериментальных данных прошла проверку по статистическим критериям Фишера и Стьюдента. Расчетные значения этих критериев оказались меньше критических при уровне значимости 0,05.

После уточнения методики расчета формоизменения при прокатке в калибрах появилась возможность решить задачу оптимизации формы калибра, где уточненная методика была использована в качестве ограничения.

Задача оптимизации всей схемы калибровки стана была разбита на несколько более мелких подзадач. Для этого рассматривали прокатку в двух смежных клетях. Исходными данными задачи являлись равноосные сечения раската на входе в первую клетку и на выходе из второй (рис. 1).

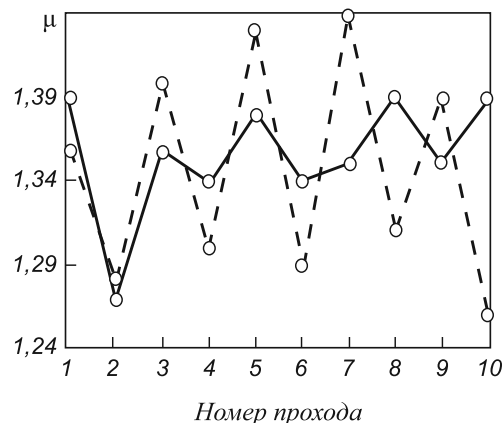
В настоящей работе была доказана обратная связь коэффициента эффективности калибровки и работы деформации. Минимальная работа дефор-

мации соответствует максимальному коэффициенту эффективности калибровки, который исходя из данных соображений рассматривался в качестве функционала¹.

Аналитическое решение этой задачи не представляется возможным по ряду причин, следовательно, был разработан численный метод решения задачи оптимизации.

Для численного решения поставленной задачи разработано прикладное программное обеспечение. По результатам численного моделирования были получены оптимальные калибры по критерию максимума эффективности калибровки для стана 370 ОАО «ММК». Расчетным путем доказано, что для разработанной калибровки распределение вытяжек по проходам более равномерное (рис. 2). Такое распределение вытяжки обеспечивает более равномерную загрузку приводов клетей.

Для пар вытяжных калибров, действующих на стане 370 и для разработанных калибров, полученных в результате численного решения задачи оптимизации, была вычислена работа деформации (рис. 3).

Рис. 2. Распределение вытяжки μ по проходам действующей (---) и разработанной (—) калибровок

¹ Кинзип Д.И., Тулопов О.Н. – В кн.: Труды восьмого конгресса прокатчиков. – Магнитогорск: Магнитогорский дом печати, 2010. С. 230 – 235.

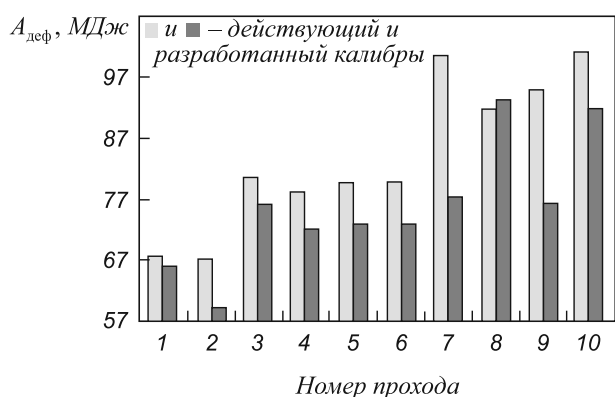


Рис. 3. Работа $A_{\text{деф}}$ деформации оптимальной калибровки в сравнении с действующей на стане 370

Расчеты проводили для среднеуглеродистой стали марки 45 при температуре 1050 °С и скорости прокатки 15,4 м/с.

Суммарная работа деформации единичного объема металла в черновых калибрах 1 – 10 клетей по результатам расчетов снизилась с 725 до 676 МДж, таким образом, снижение работы деформации составляет 7 %.

Экономический эффект от внедрения новой схемы калибровки валков стана 370 заключается в снижении энергопотребления за счет снижения работы деформации.

Выводы. Приведены результаты уточнения методики расчета формоизменения при прокатке в калибрах. Решена задача оптимизации формы калибра по критерию эффективности калибровки, где уточненная методика была использована в качестве ограничения. Обоснован выбор целевой функции – максимальной эффективности калибровки для минимизации энергозатрат.

© 2013 г. О.Б. Калугина, О.Б. Кинзин, А.Б. Моллер
Поступила 14 марта 2013 г.

УДК 621.74(07): 539.186:537

Э.Х. Ри, Ри Хосен, М.А. Ермаков, Г.А. Князев, В.Э. Ри

Тихоокеанский государственный университет (г. Хабаровск)

ИЗМЕНЕНИЕ ЭВТЕКТИЧНОСТИ СЕРОГО ЧУГУНА ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ОБЛУЧЕНИЯ РАСПЛАВА НАНОСЕКУНДНЫМИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМИ ИМПУЛЬСАМИ

Аннотация. Установлено влияние продолжительности облучения расплава наносекундными электромагнитными импульсами (НЭМИ) и последующего модифицирования кремнием на процессы кристаллизации и структурообразования, физико-механические и эксплуатационные свойства серого чугуна. Установлена причина смещения эвтектичности чугуна в зависимости от содержания кремния при воздействии на расплавы НЭМИ. Доказано методом микрорентгеноспектрального анализа на установке «ДЖОЛ 8600» (Япония), что под воздействием облучения расплава НЭМИ резко повышается растворимость марганца и уменьшается содержание кремния и углерода в избыточном аустените. Следовательно, расплав обогащается углеродом и кремнием, что способствует достижению эвтектического состава расплава.

Ключевые слова: наносекундные электромагнитные импульсы, чугун, эвтектичность, кремний, расплав, кристаллизация, структурообразование.

CHANGING OF THE EUTECTIC OF GRAY CAST IRON WHEN IRRADIATING OF THE MELT BY NANOSECOND ELECTROMAGNETIC IMPULSES

Abstract. It was set the influence of the duration of irradiation of the melt by nanosecond electromagnetic impulses (NEMI) and subsequent silicon modification on the crystallization and structure formation processes, physical-mechanical and operation properties of gray cast iron. The cause of eutectic displacement of gray cast iron depending on the silicon composition when exposed to the melt NEMI was determined. It was proved by the method of X-ray spectrum analysis on the installation "Jolie 8600" (Japan) that under irradiation of the melt by NEMI the solubility of manganese is increased but silicon and carbon content in excess austenite is reduced sharply. Therefore, the melt is enriched with carbon and silicon, thus facilitating the obtaining of eutectic melt composition.

Keywords: nanosecond electromagnetic impulses, cast iron, eutectic, silicon, melt, crystallization, structure formation.

Чугун состава 3,3 % С; 1,5 % Si; 0,7 % Mn; < 0,1 % Р и S перегревали до 1550 °С и выдерживали при этой температуре в течение 5 мин. После охлаждения расплава со скоростью 20 °С/мин до температуры 1350 °С производили облучение жидкой фазы НЭМИ в течение 5, 10, 15, 20 и 25 мин, затем расплав модифицирова-

ли ферросилицием марки ФС 45 в количестве 1,0, 2,0 и 3,0 % (по массе), после чего его охлаждали с постоянной скоростью 20 °С/мин до температуры 500 °С.

В процессе охлаждения измеряли интенсивность гамма-проникающих излучений на установке «Параболоид-3м». Характер изменения интенсивности позво-