

Харин А. В., Горяинова Т. В.

ОАО «Алчевский металлургический комбинат», Алчевск

РОЛЬ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ В РАЗРАБОТКЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ НЕПРЕРЫВНОЛИТОГО СЛЯБА

Приведены результаты цифровой обработки изображений серных отпечатков рейтинг-таблицы Mannesmann, получены зависимости балла дефекта внутреннего качества непрерывнолитой заготовки от относительной яркости фрагмента серного отпечатка.

Ключевые слова: непрерывнолитая заготовка, сляб, качество, математическая модель

После ввода в эксплуатацию на Алчевском металлургическом комбинате машины непрерывного литья заготовки основной пакет заказов на производимую продукцию составил экспорт. Жесткие условия мирового рынка требуют от производителей конкурировать не только по ценам на продукцию, но и по ее качественным показателям. Современные требования к МНЛЗ обязательно включают систему автоматизированного управления качеством непрерывнолитой заготовки. В работе [1] авторы из системы управления качеством выделили три подсистемы (рис. 1):

- динамическое вторичное охлаждение;
- мягкое обжатие;
- прогнозирование качества слитка.



Рис. 1. Общая структурная схема системы управления качеством непрерывнолитой заготовки

В дополнение к перечисленным системам в условиях Алчевского металлургического комбината можно добавить параметры осцилляции и контроль уровня металла в кристаллизаторе.

Современные системы управления сложных объектов с многофакторными возмущающими воздействиями должны иметь обратную связь [2]. Обратной связью для систем управления качеством является количественное описание состояния конечного продукта. Потребитель в требованиях к производителю отдельными пунктами выделяет внутреннее качество (состояние макроструктуры) и качество поверхности непрерывнолитой заготовки.

Особенностью формирования непрерывнолитого слитка является протяженность жидкой фазы. В процессе кристаллизации жидкая фаза оттесняется в центр, обогащается ликвирующими примесями, которые имеют более низкую температуру плавления и, под воздействием ферростатического давления заполняет собой несплошности и надрывы, образующиеся в слитке. По мере продвижения слитка по ручью изменяется соотношение твердой и жидкой фаз, поэтому по расположению определенных внутренних дефектов можно судить о гармоничности работы узлов и сегментов машины. В настоящее время контроль макроструктуры непрерывнолитой заготовки (сляба) производят сравнением поперечного среза сляба после глубокого травления или серных отпечатков со схематическими эталонами, приведенными в различных стандартах (ОСТ 14-04-72, ГОСТ 10243-75, ДСТУ 4061-2001).

На Алчевском металлургическом комбинате (АМК) для оценки внутреннего качества непрерывнолитой заготовки используют рейтинг - таблицу «Mannesmann». Виды дефектов, оцениваемые на темплетах: трещины на поперечных образцах, угловые трещины, осевая сегрегация и несплошность центра, точечные включения, включения в виде пятен, трещины узкой стороны, трещины на продольных образцах. Для каждого вида дефекта оценка макроструктуры производится путем визуального сравнения эталонной шкалы с изображением темплета. Оценка выставляется от 0 до 5 баллов, допускаются дробные баллы (0,5; 1,0; 1,5 и т. д.). При одновременном присутствии нескольких видов дефектов оценка по каждому из них производится отдельно. Для настройки автоматической системы управления качеством и построения математической модели малоэффективна обратная связь по качеству, выраженная только в баллах, необходимо сканированное изображение всего серного отпечатка, снятого с поперечного среза сляба. В условиях современного развития информационных систем в области

металлографии существует эффективный способ представления обратной связи в системах управления качеством заготовки. Это цифровая обработка изображений – серных отпечатков (рис. 2.)

В работах [3-4] для описания изображения серного отпечатка была предложена дискретная функция $F(x, y)$, определенная в прямоугольной

По формуле (1) проанализированы эталонные изображения, получены табличные зависимости относительной яркости фрагмента серного отпечатка от бальной оценки дефекта макроструктуры непрерывнолитой заготовки. В качестве S_{max} было использовано эмпирически полученное значение яркости серного отпечатка, зависящее от

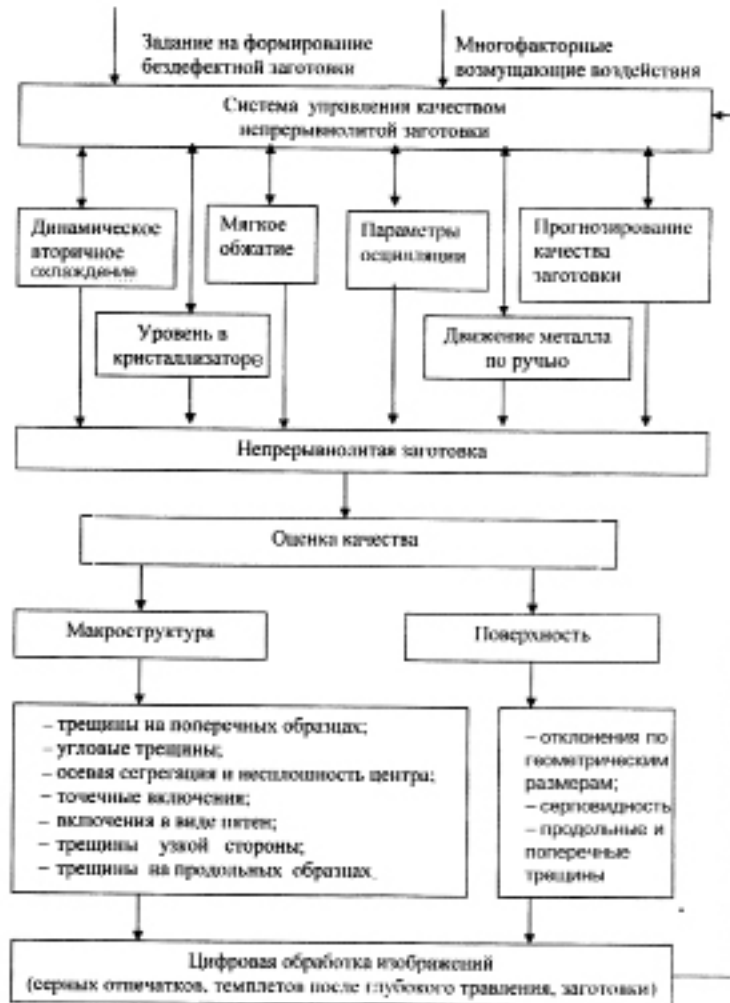


Рис. 2. Структурная схема системы управления качеством, использующая принцип комбинированного управления с применением цифровой обработки изображений

области, для которой $-L_x \leq x \leq L_x$ и $-L_y \leq y \leq L_y$, где L_x и L_y – половина ширины и высоты фрагмента изображения серного отпечатка. В качестве значений функции $F(x, y)$ рассматривалась относительная величина c_{ij}/c_{max} , где c_{ij} – цвет точки; c_{max} – максимальное значение яркости. Для построения функции $F(x, y)$ была рассмотрена математическая одиночная оценка – общая яркость всех точек серного отпечатка находится по формуле (1).

$$Q = \sum_{i=-L_x}^{L_x} \sum_{j=-L_y}^{L_y} F(x_i, y_j). \quad (1)$$

Схема наиболее вероятного расположения областей дефектов в непрерывнолитом слябе по рейтинг-таблице «Mannesmann показана» на рис. 3.

процентного содержания углерода в конкретной марке стали (находится по гистограмме). Указанные табличные зависимости были аппроксимированы интерполяционным полиномом в форме Лагранжа

$$L_n(x) = \sum_{k=1}^{n+1} y_k \prod_{\substack{j=1,2,\dots,n+1 \\ j \neq k}} \frac{x - x_j}{x_k - x_j}. \quad (2)$$

Для расчетов был взят полином третьего порядка

$$f(Q) = a_1 Q^3 + a_2 Q^2 + a_3 Q + a_4. \quad (3)$$

Для учета изменения сечения сляба (размеров

изображения серного отпечатка) необходимо ввести поправочный коэффициент s .

$$s = \frac{S_1}{S_2}, \quad (4)$$

где S_1 - площадь фрагмента серного отпечатка для выведенной аппроксимированной функциональной зависимости (данные из стандарта «Mannesmann»); S_2 - площадь оцениваемого фрагмента серного отпечатка (данные из паспорта плавки).

С помощью пакета **MatLab 7.0.1** были рассчитаны коэффициенты для следующих дефектов:

- внутренние «трещины на поперечных образцах»

$$f_{TIC}(Q) = 9,3548 \cdot 10^{-13} (Q_s)^3 - 2,0379 \cdot 10^{-7} (Q_s)^2 + 0,013407 (Q_s) - 272,79; \quad (5)$$

«угловые трещины»

$$f_{CC}(Q) = 9,6108 \cdot 10^{-12} (Q_s)^3 - 9,6308 \cdot 10^{-7} (Q_s)^2 + 0,029145 (Q_s) - 272,79; \quad (6)$$

- «осевая сегрегация и несплошность центра»

$$f_{CSACU}(Q) = 1,2417 \cdot 10^{-11} (Q_s)^3 - 1,232 \cdot 10^{-6} (Q_s)^2 + 0,038805 (Q_s) - 389,33; \quad (7)$$

«точечные включения»

$$f_{SSI}(Q) = 4,7902 \cdot 10^{-12} (Q_s)^3 - 6,2979 \cdot 10^{-7} (Q_s)^2 + 0,02557 \cdot 10^{-20} (Q_s) - 325,3; \quad (8)$$

- «включения в виде пятен»

$$f_{CSI}(Q) = -3,717 \cdot 10^{-11} (Q_s)^3 + 2,9553 \cdot 10^{-6} (Q_s)^2 - 0,078854 (Q_s) + 710,7; \quad (9)$$

- «трещины узкой стороны»

$$f_{NSC}(Q) = 2,5677 \cdot 10^{-12} (Q_s)^3 - 3,9196 \cdot 10^{-7} (Q_s)^2 + 0,016123 (Q_s) - 195,55; \quad (10)$$

- «трещины на продольных образцах»

$$f_{LIC}(Q) = 6,8777 \cdot 10^{-11} (Q_s)^3 - 3,772 \cdot 10^{-6} (Q_s)^2 + 0,064573 (Q_s) - 348,52. \quad (11)$$

В качестве принципиально нового численного описания качества непрерывнолитой заготовки можно использовать формулы (5)-(11). Для более точной обратной связи можно анализировать в рамках наиболее вероятного расположения областей дефектов подобласти, например, угловые трещины можно характеризовать по четырем подзонам (в каждом углу сляба) и рассчитывать величину относительной яркости серного отпечатка.

Формула, описывающая геометрическое расположение дефекта «угловые трещины» (рис. 3)

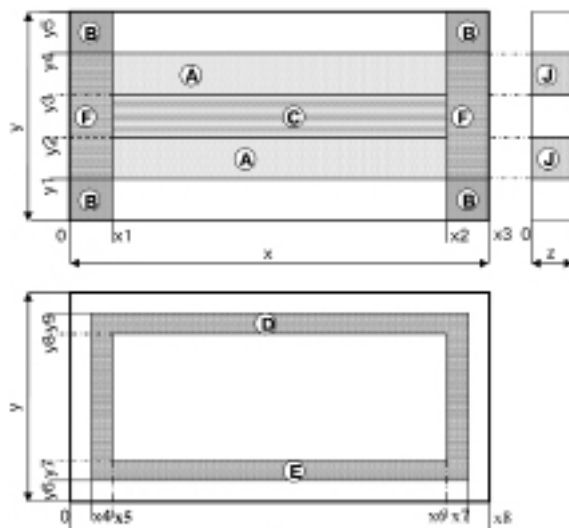


Рис. 3. Схема наиболее вероятного расположения областей дефектов в непрерывнолитом слябе по рейтинг-таблице «Mannesmann»: А - трещины на поперечных образцах; В - угловые трещины; С - осевая сегрегация и несплошность центра; D - точечные включения; E - включения в виде пятен; F - трещины узкой стороны; J - трещины на продольных образцах; x - ширина сляба; y - толщина сляба; z - глубина продольного образца сляба

$$B(x; y) = x \in [0; 0,085a] \cup (0,9153a; a]; \quad y \in [0; 0,1b] \cup (0,9b; b], \quad (12)$$

примет вид

$$\begin{aligned} B_1(x; y) &= x \in [0; 0,085a); y \in [0; 0,1b); \\ B_2(x; y) &= x \in [0; 0,085a); y \in (0,9b; b]; \\ B_3(x; y) &= (0,9153a; a]; y \in [0; 0,1b); \\ B_4(x; y) &= (0,9153a; a]; y \in (0,9b; b]. \end{aligned} \quad (13)$$

Формула, описывающая геометрическое расположение дефекта «трещины узкой стороны»

$$F(x; y) = x \in (0; 0,085a) \cup (0,9153a; a); \quad y \in (0,1b; 0,9b), \quad (14)$$

примет вид

$$\begin{aligned} F_1(x; y) &= x \in (0; 0,085a), \\ &y \in (0,1b; 0,9b); \\ F_2(x; y) &= x \in (0,9153a, \\ &y \in (0,1b; 0,9b). \end{aligned} \quad (15)$$

Формула, описывающая геометрическое расположение дефекта внутренние «трещины на поперечных образцах»,

$$A(x; y) = x \in [0, 085a; 0, 9153a]; y \in [0, 1b; 0, 42b] \cup [0, 58b; 0, 9b], \quad (16)$$

имеет вид

$$\begin{aligned} A_1(x; y) &= x \in [0, 085a; 0, 9153a]; y \in [0, 1b; 0, 42b]; \\ A_2(x; y) &= x \in [0, 085a; 0, 9153a]; y \in [0, 58b; 0, 9b]. \end{aligned} \quad (17)$$

Для получения более точного численного описания внутреннего качества необходимо обеспечить более мелкое дробление зоны дефекта на подзоны и анализировать каждую подзону в отдельности

Выводы

- С целью повышения качества заготовки путем точной настройки математических моделей и коэффициентов работы отдельных узлов МНЛЗ на этапе формирования заготовки предложена принципиально новая модель обратной связи внутреннего качества непрерывнолитой заготовки с оценкой по относительной яркости фрагмента серного отпечатка.

- Определены области наиболее вероятного расположения дефектов в непрерывнолитом слябе по рейтинг-таблице «Mannesmann».

- Сделан цифровой анализ изображений рейтинг-таблицы «Mannesmann», выведены аппроксимирующие функции.



Литература

1. Паршин В. М., Чертов А. Д. Интеллектуальные системы управления качеством непрерывнолитой заготовки // Сталь. – 2005. – № 2. – С. 37-43.

2. Филипс Ч., Харбор Р. Системы управления с обратной связью. – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2001. – 616 с.

3. Логунова О. С., Парсункин Б. Н., Суспицын В. Г. Автоматизированная оценка качества непрерывнолитой заготовки // Сталь. – 2004. –

№12. – С. 101-104.

4. Гонтовой С. В., Харин А. В. Автоматизированная система оценки качества непрерывнолитой заготовки по серным отпечаткам: Тез. докл. // Современные информационные и электронные технологии, 2006. - С. 162.

ХАРИН О. В., ГОРЯЙНОВА Т. В. Роль зворотнього зв'язку в розробці та експлуатації систем управління якістю безперервнолитого сляба

Наведені результати цифрової обробки зображень сірчаних відбитків рейтинг-таблиці «Mannesmann», отримано залежності балу дефекту внутрішньої якості безперервнолитого заготівки від відносної яскравості фрагмента сірчаного відбитку.

HARIN A., GORYAINOVA T. The role of feedback in the development and operation of quality management system of continuous slab

The results of digital image processing sulfur print «Mannesmann» are presented, the dependencies defect class interior quality cast slab on relative glow fragment sulfur print are obtained.