

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ МНЛЗ С ЦЕЛЬЮ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ПРОРЫВА КОРОЧКИ НЕПРЕРЫВНО-ЛИТОГО СЛИТКА

*С.И. Лукьянов, С.С. Красильников, Е.С. Суспицын,
Д.В. Швидченко, Р.С. Пишнограев
г. Магнитогорск, МГТУ*

ELABORATION OF THE CONTINUOUS CASTER ELECTRIC DRIVES CONTROL SYSTEM FOR THE RUNOUT OF THE SINTERSKIN OF THE UNINTERRUPTEDLY-CASTED INGOT PREVENTION

*S.I. Lukianov, S.S. Krasilnikov, E.S. Suspitsyn,
D.V. Shvidchenko, R.S. Pishnograev
Magnitogorsk, Magnitogorsk State Technical University*

Разработана методика выявления зависания корочки слитка в кристаллизаторе и предложена функциональная схема системы управления электроприводами МНЛЗ, позволяющая предотвращать прорывы непрерывно-литых слитков.

Ключевые слова: система управления электроприводом МНЛЗ, прорыв непрерывно-литых слитков.

A method of revelation of a sinterskin ingot hang-up in a crystallizer is elaborated. A functional diagram of an operating system of continuous caster which allows preventing runout of the uninterruptedly-casted ingots is offered.

Keywords: continuous caster electric drive control system, runout of the uninterruptedly-casted ingots.

Одним из основных факторов, определяющих производительность машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ), является коэффициент её использования. Повышение значения коэффициента использования МНЛЗ прямо связано с сокращением времени простоя машины на выполнение ремонтных работ и ликвидацию последствий аварий. С целью сокращения времени простоя машины на современных МНЛЗ применяют системы технического диагностирования и контроля состояния отдельных агрегатов МНЛЗ, позволяющие сократить время выполнения ремонтных работ за счет оперативного обнаружения неисправностей оборудования и своевременной подготовки к выполнению ремонтов, и системы прогнозирования аварийных ситуаций, позволяющие на ранней стадии выявлять возникновение аварий и оперативно устранять причины их возникновения [1].

Прорыв корочки слитка является одним из самых распространенных и тяжелых видов аварии на МНЛЗ. До 80 % прорывов корочки слитка происходит из-за «приваривания» участка корочки слитка к стенке кристаллизатора (зависания корочки слитка). Прорыв корочки слитка приводит к разливу жидкого металла, температура которого составляет более 1500 °С, вынужденной остановке

машины и потере плавки. Экономические потери от одного прорыва металла с учетом затрат на восстановление оборудования и потерь производства могут достигать 1 млн рублей [2].

С целью предотвращения прорыва корочки слитка на большинстве отечественных и зарубежных МНЛЗ применяют системы раннего выявления зависания корочки слитка в кристаллизаторе. На большинстве МНЛЗ, установленных на территории Российской Федерации, используется система «Термовизор» производства НПП «Техноап» (г. Москва). Диагностическая информация от системы «Термовизор» поступает на пульт главного поста управления МНЛЗ в виде визуальных и звуковых предупреждающих сигналов, на основании которых оператор разливки, согласно технологической инструкции, в случае диагноза о зависании корочки слитка в кристаллизаторе сообщает об опасности прорыва на разливочную площадку и снижает скорость разливки до 0,4 м/мин. После этого персонал на разливочной площадке визуально проверяет достоверность диагноза о зависании корочки слитка и, в случае подтверждения диагноза, даёт команду на главный пост управления на остановку машины. Далее оператор поста управления в ручном режиме останавливает МНЛЗ. В

случае ложного диагноза оператор главного поста выполняет разгон МНЛЗ до рабочей скорости вытягивания слитка [3, 4].

В процессе эксплуатации системы «Термовизор» на МНЛЗ №1-5 ОАО «ММК» выявлены следующие её недостатки [3]:

1. Низкая достоверность диагностирования зависания корочки слитка в кристаллизаторе. Так, в период с 01.01.2009 г. по 31.12.2009 г., в кислородно-конвертерном цехе (ККЦ) ОАО «ММК» зафиксировано 10 не выявленных системой случаев зависания корочки слитка в кристаллизаторе.

2. Высокое количество (до 70 %) ложных диагнозов о зависании корочки слитка в кристаллизаторе, что приводит к неоправданным снижениям скорости вытягивания слитка и, как следствие, к снижению производительности МНЛЗ, ухудшению качества слабов из-за нарушения технологии непрерывной разливки и нарушению ритмичности работы смежных технологических агрегатов.

3. Отсутствие технической возможности автоматического управления электроприводами. Процесс ликвидации зависания корочки слитка в ручном режиме на основе визуальной и звуковой информации приводит к возникновению прорывов, связанных с субъективными факторами.

На ряде зарубежных МНЛЗ применяются системы автоматического управления механизмами машин с целью предотвращения прорыва корочки слитка в кристаллизаторе. Однако конкретная информация о принципах работы указанных систем, а также систем диагностирования зависания корочки слитка в кристаллизаторе, отсутствует и является «секретом производства» фирм-конструкторов и производителей МНЛЗ.

Поэтому задача разработки системы диагностирования зависания корочки слитка в кристаллизаторе, обладающей высокой достоверностью диагнозов, и на её основе системы автоматического управления электроприводами механизмов МНЛЗ, позволяющей существенно снизить вероятность прорыва корочки слитка, является актуальной.

В мировой практике для анализа и контроля теплообменных процессов при формировании корочки слитка в кристаллизаторе наиболее часто применяется метод, основанный на измерении при помощи термопар температуры медных стенок кристаллизатора. Термопары располагают в несколько рядов по периметру кристаллизатора таким образом, чтобы в рабочем режиме разливки стали все термопары находились ниже уровня металла.

На МНЛЗ №1-5 ОАО «ММК», производства ОАО «Уралмаш», в стенки кристаллизаторов установлены 3 ряда термопар по 36 датчиков в каждом ряду (рис. 1, а). Информация с термопар поступает в автоматизированную систему управления технологическим процессом (АСУ ТП) МНЛЗ с дискретой съема сигналов от каждого датчика $\Delta t = 0,85$ с [3].

На рис. 1, б приведены типичные временные диаграммы изменения сигналов температур T_j , поступающих в АСУ ТП МНЛЗ от термопар, при зависании корочки слитка в районе 40-й термопары (рис. 1, а). Согласно рис. 1, б зависание корочки слитка (момент времени t_1) в районе 40-й термопары приводит к росту значений температуры T_{40} . После достижения температуры определённой экстремальной величины, наблюдается её снижение ниже значения, соответствующего нормальному режиму охлаждения металла в кристаллизаторе. Кроме этого, наблюдается аналогичное T_{40} со сдвигом во времени изменение значений температур на смежных датчиках № 41 и № 77.

В результате аналитического и статистического анализа временных диаграмм изменения значений температур T_j для нормальных режимов разливки стали и для случаев зависания корочки слитка в кристаллизаторе определены характерные признаки зависания корочки слитка в кристаллизаторе: рост температуры на участке рабочей стенки кристаллизатора в зоне зависания корочки слитка; последующее снижение темпера-

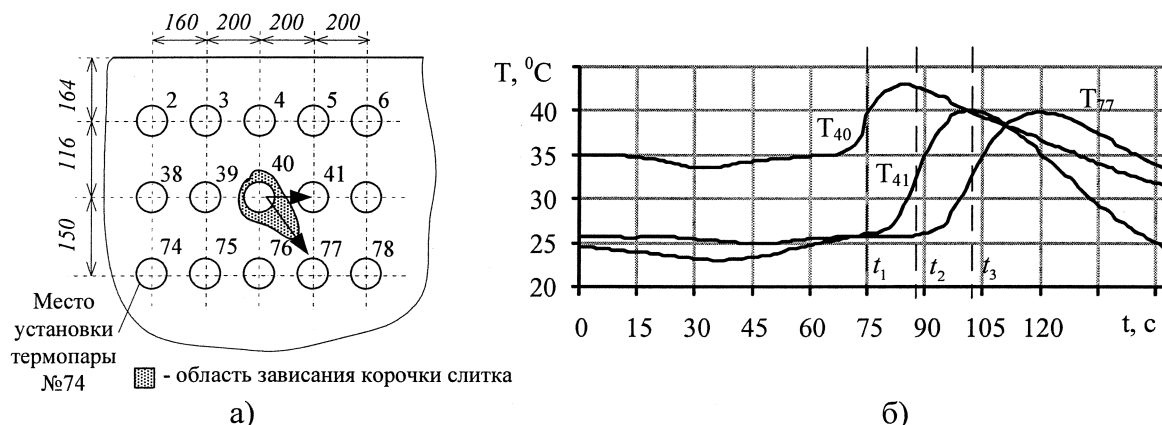


Рис. 1. Зависание корочки слитка в кристаллизаторе:
а – фрагмент медной стенки кристаллизатора; б – временные диаграммы изменения
температуры T_j на термопарах № 40, 41, 77

туры на данном участке ниже значения температуры, соответствующего нормальному режиму охлаждения металла в кристаллизаторе; аналогичное проявление изменения температуры на смежных датчиках с запаздыванием по времени.

При анализе временных диаграмм были статистически обоснованы и рассчитаны числовые характеристики и математические выражения для построения авторской методики диагностирования зависания корочки слитка в кристаллизаторе [5].

Предложена следующая методика выявления зависания корочки слитка в кристаллизаторе.

1. Формируется массив $A[n, m]$ значений температур $T_{i,j}$ для каждой термопары, где $i = 0...n$, $n = 121$ – длина диагностического массива; $j = 0...m$, m – количество термопар, находящихся в рабочем периметре кристаллизатора при отливке слывов конкретного сечения.

2. По данным массива $A[n, m]$ рассчитывается и формируется массив $B[k, m]$ (объемом $k = n - 1 = 120$) интенсивностей изменения температур $(\Delta T / \Delta t)_{i,j}$ рабочей поверхности кристаллизатора:

$$\left(\frac{\Delta T}{\Delta t} \right)_{i,j} = \frac{T_{i,j} - T_{i-1,j}}{\Delta t}. \quad (1)$$

3. Выполняется проверка первого диагностического признака зависания корочки слитка: наличие роста интенсивности изменения температуры на каждом участке рабочей стенки кристаллизатора.

По данным массива $B[k, m]$ рассчитываются значения математических ожиданий $\overline{(\Delta T / \Delta t)_j}$, дисперсий $S^2_{(\Delta T / \Delta t)_j}$, доверительные интервалы генеральной дисперсии $\sigma^2_{(\Delta T / \Delta t)_j}$ на уровне значимости $q = 1 - p = 0,05$ и определяются верхние границы максимальных интенсивностей изменения температуры $(\Delta T / \Delta t)_{\max j}$ для каждой термопары [4].

Для всех значений интенсивностей массива $B[k, m]$ проверяется условие:

$$(\Delta T / \Delta t)_{i,j} > (\Delta T / \Delta t)_{\max j}. \quad (2)$$

4. Выполняется проверка второго диагностического признака зависания корочки слитка в кристаллизаторе. По данным $A[n, m]$ рассчитываются коэффициенты наклона K_j аппроксимирующей зависимости $T_j(t) = K_j \cdot t + B_j$:

$$K_j = \frac{N \cdot \left(\sum_{i=1}^N t_i \cdot T_{i,j} \right) - \left(\sum_{i=1}^N T_{i,j} \right) \cdot \left(\sum_{i=1}^N t_i \right)}{N \cdot \left(\sum_{i=1}^N t_i^2 \right) - \left(\sum_{i=1}^N t_i \right)^2}. \quad (3)$$

Если $K_j < 0$, то можно сделать вывод о зависании корочки слитка в кристаллизаторе.

5. Выполняется проверка третьего признака зависания корочки слитка:

$$R_{\min} < \frac{\Theta_{\text{реал}j}}{\Theta_{\text{расч}j}} < R_{\max}, \quad (4)$$

где $\Theta_{\text{реал}j} = t_3 - t_1$ – реальное время задержки между моментами увеличения температур T_j на смежных термопарах, с; $\Theta_{\text{расч}j} = (y_j - y_{j-1}) / V_p$ – расчетное время задержки между моментами увеличения температур T_j на смежных термопарах, с; y_j и y_{j+1} – вертикальные координаты термопар, расположенных друг под другом, м; V_p – скорость вытягивания слитка, м/мин; $R = (0,75...2)$ – эмпирический коэффициент.

Если проверки по пп. 3–5 выполняются, то делается вывод о возникновении зависания корочки слитка в кристаллизаторе.

На основании предложенной методики была разработана и внедрена в АСУ ТП МНЛЗ №1, 5 ОАО «ММК» программа раннего выявления зависания корочки слитка в кристаллизаторе. За время эксплуатации с 24.04.2009 г. программа показала высокую достоверность диагнозов о зависании корочки слитка (100 %) при низком количестве (до 4 в месяц) ложных сигналов.

На основании проведенных исследований с учетом технологических особенностей разливки стали на МНЛЗ криволинейного типа определены технологические требования к электроприводам основных механизмов МНЛЗ с позиции предотвращения прорыва жидкого металла при зависании корочки слитка в кристаллизаторе:

1. Электроприводы тянущих роликов и механизма качания кристаллизатора должны иметь возможность синхронно, за минимально возможное время, осуществлять кратковременный останов механизмов при возникновении зависания корочки слитка в кристаллизаторе. Одновременно и синхронно с этим электропривод стопорного механизма промежуточного ковша должен обеспечить закрытие стопора и гарантированно обеспечить прекращение подачи металла в кристаллизатор.

2. В системе управления электроприводами механизма качания кристаллизатора, тянущих роликов и стопорного механизма промежуточного ковша должна быть предусмотрена возможность по истечении 20–30 секунд с момента останова электроприводов автономного асинхронного разгона указанных механизмов до скорости вытягивания слитка 0,2 м/мин.

Далее управление электроприводами МНЛЗ передаётся АСУ ТП машины.

С учетом указанных технологических требований разработана структурная схема системы

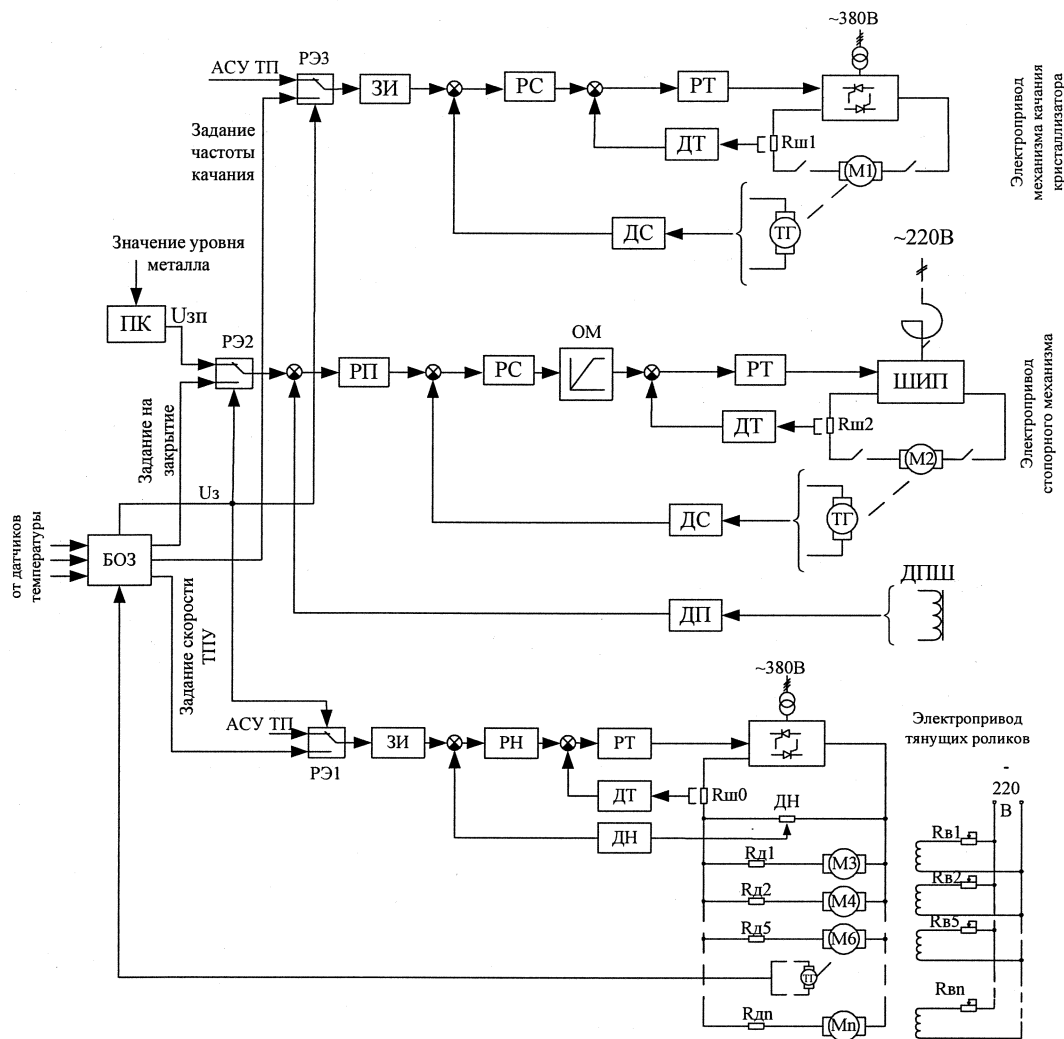


Рис. 2. Функциональная схема управления электроприводами МНЛЗ

управления электроприводами МНЛЗ (рис. 2) и алгоритм управления электроприводами при зависании корочки слитка в кристаллизаторе.

Предложено реализовать функции диагностирования зависания корочки слитка в кристаллизаторе и управления электроприводами МНЛЗ с целью предотвращения прорыва корочки слитка в одном микропроцессорном устройстве – блоке определения зависаний (БОЗ). При выявлении зависания корочки слитка в кристаллизаторе по сигналу управления U_z с помощью релейных элементов РЭ1-РЭ3 (рис. 2) осуществляется отключение систем управления электроприводами МНЛЗ от АСУ ТП машины и их подключение к управляющим выходам блока БОЗ. После разгона электроприводов МНЛЗ до скорости вытягивания слитка 0,2 м/мин блок БОЗ передает управление электроприводами МНЛЗ системе АСУ ТП.

На рис. 2 приняты следующие обозначения: БОЗ – блок определения зависания корочки слитка в кристаллизаторе; РЭ – релейный элемент; ПК – программируемый контроллер; ЗИ – задатчик интенсивности; РП – регулятор положения; РС – ре-

гулятор скорости; РТ – регулятор тока; ДТ – датчик тока; ДС – датчик скорости; ДН – датчик напряжения; ДП – датчик положения; ОМ – ограничитель момента; ДПШ – датчик положения штока привода стопора.

Ожидаемый экономический эффект от внедрения предложенной системы управления, рассчитанный по данным за 2009 год, составил 2,8 млн руб. в год.

Литература

1. Лукьянов, С.И. Электропривод тянущего устройства МНЛЗ: монография / С.И. Лукьянов. – Магнитогорск: МГТУ, 2002. – 100 с.
2. Машины непрерывного литья заготовок. Теория и расчет / Л.В. Буланов, Л.Г. Корзунин, Е.П. Парфенов и др. // ГУП-ПИК «Идеал-Пресс», 2003. – 299 с.
3. Анализ существующей системы предотвращения прорыва корочки слитка и ее взаимосвязь с электроприводом ТПУ МНЛЗ / С.И. Лукья-

нов, Е.С. Суспицын, Д.В. Швидченко др. – Магнитогорск: МГТУ, 2008. – 14 с. – Деп. в ВИНТИ 24.06.08, № 527-B2008.

4. Обобщенный алгоритм управления электроприводами МНЛЗ при зависании корочки слитка в кристаллизаторе / Е.С. Суспицын, Д.В. Швидченко, С.С. Красильников др. // Материалы докладов IV международной молодежной научной конференции «Тинчринские чтения». –

Казань: Казанский гос. техн. ун-т. – 2009. – Т. 3. – С. 167–169.

5. Определение требований к системе управления электроприводом ТПУ с позиций предотвращения прорыва корочки слитка / С.С. Красильников, С.И. Лукьянов, Е.С. Суспицын и др. // Оптимизация режимов работы электротехнических систем: межвуз. сб. науч. тр. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т. – 2008. – С. 160–163.

Поступила в редакцию 04.02.2010 г.

Лукьянов Сергей Иванович – доктор технических наук, профессор, проректор по инновационным технологиям и инвестициям ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный университет им. Г.И. Носова». Область научных интересов – общепромышленный электропривод.

Lukyanov Sergey Ivanovich is Dr.Sc. (Engineering), Professor, Vice-Rector for innovation technologies and investments of Magnitogorsk State Technical University. Research interests: general industrial electric drive.

Красильников Сергей Сергеевич – аспирант кафедры электроники и микроэлектроники ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный университет им. Г.И. Носова». Область научных интересов – общепромышленный электропривод.

Krasilnikov Sergey Sergeevich is a post-graduate student of the Electronics and Microelectronics Department of Magnitogorsk State Technical University. Research interests: general industrial electric drive.

Суспицын Евгений Сергеевич – кандидат технических наук, доцент кафедры электроники и микроэлектроники ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный университет им. Г.И. Носова». Область научных интересов – общепромышленный электропривод.

Suspitsin Evgeny Sergeevich is Cand. Sc. (Engineering), Associate Professor of the Electronics and Microelectronics Department of Magnitogorsk State Technical University. Research interests: general industrial electric drive.

Швидченко Дмитрий Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры электроники и микроэлектроники ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный университет им. Г.И. Носова». Область научных интересов – общепромышленный электропривод.

Shvidchenko Dmitry Vladimirovich is Cand. Sc. (Engineering), Associate Professor of the Electronics and Microelectronics Department of Magnitogorsk State Technical University. Research interests: general industrial electric drive.

Пишнограев Роман Сергеевич – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры электроники и микроэлектроники ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный университет им. Г.И. Носова». Область научных интересов – общепромышленный электропривод.

Pishnograev Roman Sergeevich is Cand. Sc. (Engineering), senior lecturer of Electronics and Microelectronics Department of Magnitogorsk State Technical University. Research interests: general industrial electric drive.