

УДК 681.518.2

Илюнин О.О., Перевертайленко А.Ю., Шамраев А.А., Селяков А.М.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ СЕЛЕКТИВНЫМ ТРАВЛЕНИЕМ ПОЛОСОВОГО ПРОКАТА

Постановка задачи. Известно, что для очистки металлических поверхностей, в частности полосы проката, от слоев окалины и оксидных пленок, полоса обрабатывается в непрерывном травильном агрегате (НТА) путем контакта с травильными веществами (в нашем случае путем орошения кислотным раствором). В зависимости от морфологии получаемой поверхности химическое травление может быть выравнивающим (полирующим, шлифующим) и избирательным (селективным). При выравнивающем травлении происходит сглаживание рельефа поверхности, уменьшение ее шероховатости, при селективном травлении – выявление дефектов поверхности структуры, границ двойников и доменов, растравливание трещин, царапин, увеличение неоднородности поверхности и т.п., а количество – плотностью дефектов. Выравнивающее травление наблюдается обычно при протекании процесса в диффузионной области, а избирательное – в кинетической области. Поэтому изменение температуры, концентрации реагентов, гидродинамической обстановки, могут изменить характер процесса, который может стать комбинированным, например – с избирательным действием в начальные периоды и выравнивающим в конце процесса.

Основными критериями эффективности работы НТА являются скорость и качество травления (чистота поверхности листового проката на выходе), и удельная энергоемкость и ресурсоемкость технологического процесса. Эффективность работы НТА зависит от ряда технологических параметров и условий [1,2,7]. Эксплуатирующиеся в Украине на настоящий момент НТА имеют ряд недостатков, обусловленных в том числе и тем, что в ходе технологического процесса (ТП) не учитываются несистемные дефекты на поверхности металлической полосы, проявляющиеся в виде пятен, зон и участков окалины и вкатышей различной формы, что влечет товарные потери из-за выбраковки полосы с такими участками.

Целью работы является разработка формализованного описания процесса определения несистемных дефектов на поверхности металлической полосы и формирования управляющих воздействий по их устранению на основе математического аппарата нечеткой логики.

Формализацию логико-аналитической задачи определения несистемных дефектов на поверхности проката сведем к решению задачи идентификации в ее расширенном понимании. Суть задачи заключается в отнесении распознаваемых событий к некоторому классу эталонных событий соответствующего алфавита, сформированного на этапе формального описания этого алфавита, и последующего определения количественных и качественных характеристик этих событий результатами измерений.

В [1] был предложен классификатор, описывающий наборы несистемных дефектов в виде кортежей <форма, ширина (диаметр), цвет(оттенок серого), контраст, длина>. По частотам выпадения определенных кортежей на контрольном рулоне проката из партии производилась настройка нейронного контроллера НТА, осуществлявшего управляющие воздействия с целью устранения дефектов. В связи с невозможностью точных измерений толщины дефектов, образующихся с нестохастической неопределенностью, в [2] была предложена оценка значений толщины окалины δ_n в виде лингвистической переменной, которая задается набором из 3-х компонент:

$$\langle Id, X, R(Y, x) \rangle,$$

где Id – имя признака <цвет дефекта>, X – множество допустимых значений признака, $R(Y, x)$ – нечеткое множество, определенное на множестве X и представляющее собой нечеткое ограничение на числовую оценку значения признака x , обусловленное лингвистической характеристикой Y <толщина дефекта>.

Все системы с нечеткой логикой функционируют по одному принципу [3]: показания измерительных приборов фазифицируются (переводятся в нечеткий формат), обрабатываются с помощью логических правил управления (ЛПУ), формируемых для системы, дефазифицируются и в виде физических сигналов подаются на исполнительные устройства.

Формализованное описание качественных признаков может быть представлено [4] функцией возможности $\mu_n(X_m)$ с областью определения на интервале $[0, 1]$, определяющей степень возможности отнесения события к n -му классу по значению признака X_m .

К факторам, определяющим процесс травления полосы проката относятся: C – концентрация кислоты в растворе, T – температуры раствора и полосы, время контакта дефекта с травильным раствором, т.е. скорость сматывания – V , имеющее ограничение во избежание преретрава, P_t – давление подачи тра-

вильного раствора, химический состав и геометрические размеры полосы – В, и, в отдельности, для несистемных дефектов полосы: D – набор позиционных координат и толщина δ_n дефекта.

Расширив с помощью экспертов мощность множества X_m = Цвет дефекта, сформируем оценки возможности по высказыванию « X_m =цвет почти черный» – табл. 1, причем оценки эти будут применяться как на входе проката в НТА, так и на выходе для осуществления идентификации качества готовой продукции и управления скоростью сматывания на основании информации от датчиков входной идентификации (рис. 1). На базе этого с помощью создаваемой системы ЛПУ НТА можно будет достаточно полно описать возможные состояния системы и дефазифицировать управляющие воздействия.

Таблица 1 – Значения функции возможности

n	X_m = Цвет дефекта	δ_n , мк	Y<толщина дефекта>	$\pi_n(X_m)$ $\pi_n(X_m)$	Pт
1	Матовый алюминий «норма»	0,1÷0,4	= норма	0	0
2	Бледно-голубой	5÷10	Очень мала	0,9	min
3	Светло-серый	13÷15	Маленькая	0,75	Нет
4	Серый	Нет данных	Средняя	0,6	данных
5	Темно-серый	24÷36	Больше средней	0,45	Нет
6	Темно-серый полуматовый	Нет данных	Большая	0,3	данных
7	Почти черный	34÷40	Очень большая	0,1	max

Согласно подходу, изложенному в [5] было показано, что в каналах сложной геометрической формы с изменяющимся вдоль канала вектором осредненной скорости при использовании модели трехслойного течения коэффициент теплоотдачи α от вязкого и буферного подслоев турбулентного потока жидкости к стенке прямо пропорционален корню касательного напряжения потока τ_{ct} на стенке:

$$\alpha \approx k \cdot \sqrt{\tau_{ct}} \quad (1)$$

и основная часть энергии, получаемой потоком от внешних источников, переходит в энергию пульсационного движения, которое определяет перенос тепла в ядре потока. Это означает, что создавая в контактном слое с поверхностью дефекта турбулентный поток травильного раствора с большим τ_{ct} , мы повышаем коэффициент теплопередачи от раствора к металлу, тем самым увеличивая стартовую энергию активации раствора, а следовательно, и скорость реакции. В общем случае удельный импульс сопла, через которое происходит орошение поверхности дефекта полосы или его части можно представить в виде:

$$I = v_c + \frac{A_c}{\dot{m}} \cdot (p_c - p_o) \quad (2)$$

Здесь v_c – скорость истечения жидкости из сопла, A_c – площадь среза сопла; p_c – давление жидкости на срезе сопла; p_o – давление окружающей среды; \dot{m} – секундный массовый расход газа через сопло. Таким образом, чем больше массовый расход, меньше площадь среза сопла, тем больше v_c , которую обеспечивает удельный импульс сжатия жидкости в рабочей камере насоса. Однако при работе с агрессивными жидкостями более широко применяется метод управления сечением сопла, как правило, и в нашем случае в том числе, представляющего собой регулируемый клапан [6] диафрагменного либо игольчатого типа.

В отличие от представленной в [1], была предложена схема НТА с идентификацией и позиционированием несистемных дефектов полосы проката [7] (см. рис. 1).

Устройство содержит: 1 – травильный агрегат с узлами нагрева и регенерации травильного раствора и узлом теплогенерации; 2 – металлическую полосу; 3 – блок для подачи травильного раствора через N сопел, расположенных по обеим сторонам плоскости движущейся металлической полосы с регулируемым P_1 ; 4 – оптический датчик выходного контроля качества травления металлической полосы с обеих сторон; 5 – блок обработки оптической информации и управления технологическим процессом; 6 –дозатор; 7 – оптический датчик входной идентификации и позиционирования несистемных дефектов

металлической полосы с обеих сторон; 8 – ванна орошения травильного агрегата; 9 – второй дозатор; 10 – комплекс погружных травильных ванн (или одну травильную ванну).

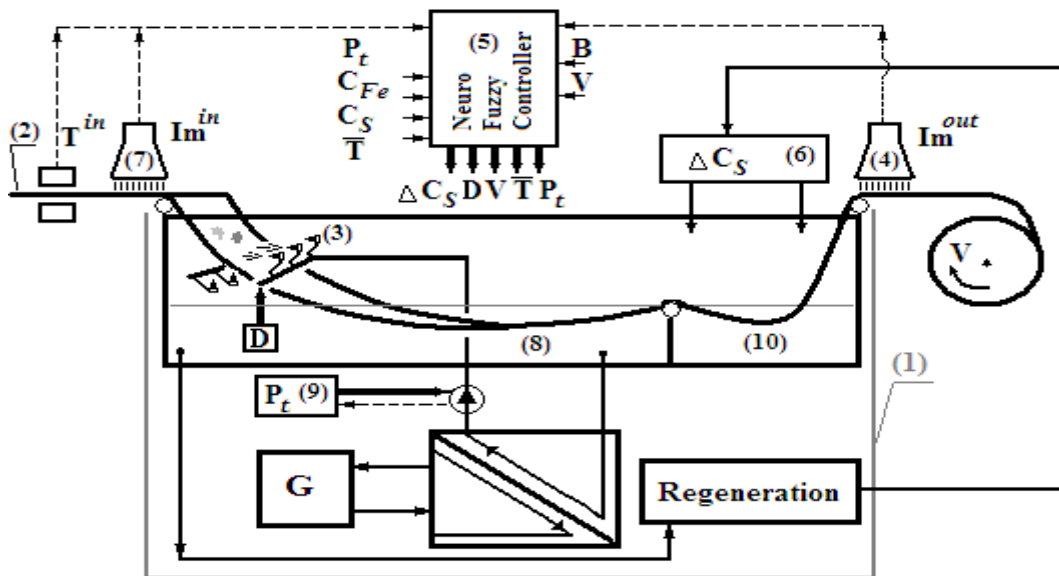


Рисунок 1 – Схема НТА с идентификацией и позиционированием несистемных дефектов полосы проката

Получая данные от (7) контроллер (5) определяет позиционные координаты дефекта D^m в виде прямоугольника $(x_1^m, y_1^m) - (x_2^m, y_2^m)$, и формирует сигнал на (3) для включения сопел N_j ($j=i, i+1, \dots, k$) на период времени $T_j = (y_2^m - y_1^m) / V(t)$. Причем область орошения сопел N_j покрывает дефект D^m на участке полосы шириной $[x_1^m, x_2^m]$. Также контроллер (5) формирует сигнал для (9) для изменения номинала площади проходного сечения A_j сопла, с целью достижения на выходе сопла N_j давления травильного раствора P_t в соответствии со значением функции возможности $\pi_n(X_m = \text{Цвет дефекта})$.

Выводы. Можно сформировать ЛПУ селективным травлением полосы:

$$\begin{aligned} &\text{ЕСЛИ (Цвет} = X_m \& D^m) \text{ ТО ((включить } N_j \text{ сопла, } j= i, i+1, \dots, k) \& \\ &\text{(изменить площади сечений } A_j, j= i, i+1, \dots, k \text{ в соответствии } \pi_n(X_m)). \end{aligned} \quad (3)$$

Дефаззифицируя ЛПУ, получим:

$$\text{ЕСЛИ } (X_m(t) \& D^m(t)) \text{ ТО } [A_j(t) = A_j * \pi(X_m(t)) \text{ для } j=i, \dots, k, t' = t + L_{7-3} / V(t) - \tau_{on}, A_j(t' + T_j) = 0] \quad (4)$$

где $L_{7-3} = \text{const}$ – расстояние, преодолеваемое полосой проката от датчика входной идентификации (7) до сопел (3) (рис. 1), $V(t)$ – скорость сматывания полосы, τ_{on} – время задержки системы управления для изменения площади проходных сечений A_j .

Регулирование площади проходных сечений сопел выполняется, как правило, автоматически специальной системой управления. Этот же механизм позволяет по команде контроллера изменять в некоторых пределах и направление струи орошения, что существенно повышает гибкость и оперативность системы, однако требует дополнительных экспериментов и расчетов.

Литература

1. Wiefried Schlechter. PROCESS AND EQUIPMENT FOR A METAL STRIP PICKLING. US Patent № 6,419,756 B08B 1/2:B08B 7/04, Jul. 4,2002.

2. Илюнин О.О., Капустенко П.А., Перевертайленко А.Ю., Тимофеев В.А. Управление концентрацией травильного раствора непрерывного травильного агрегата с использованием нечетких LR-интервалов. – Интегровані технології та енергозбереження // Щоквартальний науково-практичний журнал. – Харків:НТУ «ХП», 2012. – №2, с. 52–56.

3. Алтунин А.Е., Семухин М.В. Модели и алгоритмы принятия решений в нечетких условиях: Монография. Тюмень: Издательство Тюменского государственного университета, 2000. 352 с.

4. Ярушек В.Е. Метод представления знаний в системах искусственного интеллекта / Искусственный интеллект в системах управления. Научно – методические материалы. Часть 1. – Х.: ВИРТА ПВО, 1988. – С. 5–82.

5. Товажнянский Л.Л., Капустенко П.А. К вопросу о загрязнениях поверхности теплопередачи пластинчатых теплообменников.– Энергетика. Известия ВУЗов МВССО СССР.– Минск: БПИ, 1984.–№6, с. 101–102.

6. Dan Tanaka, Chemical turbulence equivalent to Nikolavskii turbulence, PHYSICAL REVIEW E 70, 015202(R), 2004

7. Заявка на патент № U2012-09-428 от 2.08.2012 «Пристрій для безперервного травлення прокату листової вуглецевої сталі».

Bibliography (transliterated)

1. Wiefried Schlechter.PROCESS AND EQUIPMENT FOR A METAL STRIP PICLING. US Patent # 6,419,756 V08V 1/2:V08V 7/04, Jul. 4,2002.

2. Илюнин О.О., Капустенко П.А., Перевертайленко А.Ю., Тимофеев В.А. Управление концентратией травильного раствора непрерывного травильного агрегата с использованием нечетких LR-интервалов. – Интегровані технології та енергозбереження Schokvartalnyi naukovo-praktichnyi zhurnal. – Harkiv:NTU «HPI», 2012. – #2, p. 52–56.

3. Altunin A.E., Semuhin M.V. Modeli i algoritmyi prinyatiya resheniy v nechetkikh usloviyah: Monografiya. Tyumen: Izdatelstvo Tyumenskogo gosudarstvennogo universiteta, 2000. 352 p.

4. Yarushek V.E. Metod predstavleniya znaniy v sistemah iskusstvennogo intellekta Iskusstvenniy intellekt v sistemah upravleniya. Nauchno – metodicheskie materialyi. Chast 1. – H.: VIRTA PVO, 1988. – p. 5–82.

5. Tovazhnyanskiy L.L., Kapustenko P.A. K voprosu o zagryazneniyah poverhnosti teploperedachi platinchatyih teploobmennikov.– Energetika. Izvestiya VUZov MVSSO SSSR.– Minsk: BPI, 1984.–#6, p. 101–102.

6. Dan Tanaka, Chemical turbulence equivalent to Nikolavskii turbulence, PHYSICAL REVIEW E 70, 015202(R), 2004

7. Zayavka na patent # U2012-09-428 ot 2.08.2012 «Pristriy dlya bezperernogo travleniya prokatu listovoyi vugletsevoyi stali».

УДК 681.518.2

Илюнин О.О., Перевертайленко О.Ю., Шамраев А.А., Селяков О.М.

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНЕ КЕРУВАННЯ СЕЛЕКТИВНИМ ТРАВЛІННЯМ ПОЛОСОВОГО ПРОКАТУ

Розглянуто формалізацію логіко-аналітичної задачі визначення несистемних дефектів на поверхні листового полосового прокату. Запропоновано спосіб нечіткого оцінювання товщини несистемних дефектів на поверхні прокату. Сформульовано логічне правило керування (ЛПК) селективним травлінням полоси.

Ilunin O.O., Perevertaylenko O.Yu., Shamraev A.A., Selyakov O.M.

THE INTELLECTUAL CONTROL OF SELECTIVE PICKLING PROCESS OF METAL STRIP

The logical and analytical problem of irregular surface defects detection for pickled metal strip is considered. The method of uncertain estimation for irregular surface defects thickness on metal strip is proposed. The logical control rule (LCR) for selective pickling of metal strip is formulated.