

УДК 681.51.664.1(04)

О.О.Илюнин

ИДЕНТИФИКАЦИЯ НЕСИСТЕМНЫХ ДЕФЕКТОВ В НЕПРЕРЫВНОМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ ТРАВЛЕНИЯ СТАЛЬНОГО ПРОКАТА

Введение. Основными критериями эффективности работы непрерывного травильного агрегата (НТА) являются чистота поверхности листового проката на выходе (качество травления), скорость, удельная энергоемкость и ресурсоемкость технологического процесса (ТП). Эксплуатирующиеся на настоящий момент в Украине и России НТА имеют ряд недостатков, обусловленных слабым уровнем автоматизации и энергоемкостью ТП. Например, наличие только визуального контроля систематических и несистемных дефектов (НД), проявляющиеся в виде пятен, зон и участков окалины и вкатышей различной формы, что влечет товарные потери из-за выбраковки полосы с такими участками.

Скорость травления зависит от двух видов технологических параметров [1,2]. К первому относят характеристики стали, состав, структуру и толщину σ_n окалины, нечетко зависящих от процессов предшествующих травлению. Ко второму виду параметров относят связанные нелинейными временными зависимостями концентрацию кислоты $C_{H_2SO_4}$ и солей железа C_{Fe} в растворе, температуру раствора T_{p-pa} , время контакта дефекта с травильным раствором, определяющее скорость сматывания – $v(t)$, имеющие ограничение во избежание переретрава, давление P_i при котором раствор контактирует с дефектной поверхностью. Задача снижения энергоемкости на $\approx 70\%$ и стабилизации ΔT_{p-pa} с погрешностью ($\Delta T_{p-pa} = \pm 1^\circ C$) решена в прикладном контексте на металлургическом комбинате им.Ильича г.Мариуполь. Вариант решения задачи управления концентрацией травильного раствора $C_{H_2SO_4}$, представлен в [2]. Сложная взаимосвязь элементов НТА, переменных в функциях, описывающих поведение элементов системы, затрудняет формализацию описания ТП, и приводит к практике моделирования на базе теории нечетких систем для анализа ТП и оценивания результатов.

Целью статьи является представление формализованного описания процедуры идентификации НД на поверхности металлической полосы и логических правил управления (ЛПУ) для устранения дефектов при существующих ограничениях параметров ТП.

Основная часть. Технологические системы с нечеткой логикой в большинстве практических приложений функционируют по принципу модели Сугено [3]: числовые значения измерений фазифицируются (переводятся в нечеткий формат), обрабатываются с помощью ЛПУ, формируемых для системы, дефазифицируются и в виде физических сигналов подаются на исполнительные устройства. В связи с невозможностью точных измерений толщины НД σ_n , в [2] была предложен подход нечеткой оценки значений σ_n в виде лингвистической переменной, которая задается набором из 3-х компонент: $\langle Id, X, R(Y, x) \rangle$, где Id - имя признака \langle цвет дефекта \rangle , 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 \langle толщина дефекта \rangle .

Фазификация дефектов, выраженных образованием оксидных областей различных цветов на рулоне металлического проката, решена путем построения нечетких LR-интервалов, вырожденных до стандартных \wedge -функций принадлежности с областью значения на интервале $[0, 1]$. На основании аналогичной зависимости в [2] была формализована задача травления систематических дефектов в виде окалины различных толщин и оттенков серого цвета по краям рулона и оксидных пленок по его центру.

НД нечетко описаны с помощью функции возможности $\pi_n(X_m)$ с областью значений на интервале $[0, 1]$, определяющей степень возможности отнесения дефекта к n -му классу по значению признака $X_m = \langle$ черный \rangle в сформированном классификаторе цветов НД. Функция $\pi_n(X_m)$ определяет степень возможности отнесения m -го дефекта к n -му классу по значению признака, характеризующего закономерности проявления значений толщины дефектов σ_n , лежащей в нечетком LR-интервале $\sigma_n = [D_{n-cn}; D_{n+cn}]$.

В [4] приведено, что скорость реакции (стартовая энергия активации травильного раствора E_a) прямо пропорциональна корню касательного напряжения потока травильного раствора $\tau_{cm}(P_i)$, создаваемого на поверхности дефекта давлением P_i с расстояния от сопла до поверхности l :

$$E_a(\alpha) = l \cdot k \cdot (\tau_{cm}(P_i))^{1/2} \quad (1)$$

Таблица 1.

Значения функции возможности

n	Xm = Цвет дефекта	δn ,мк	Y<толщина дефекта>	πn(Xm)	Pt
1	Матовый алюминий	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 матовый	Нет данных	Большая	0,3	данных
7	Почти черный	34÷40	Очень большая	0,1	max

В отличие от [1], где накапливалась статистика НД на выборке из партии рулонов и отсутствовал выходной контроль Imout, в [5] была предложена схема НТА с компараторной идентификацией дефектов проката, представленная на рис. 1.

Устройство содержит: 1- травильный агрегат с узлами нагрева рекуперации и регенерации травильного раствора; 2 - металлическую полосу; 3- блок для подачи травильного раствора через N сопел, расположенных по обеим сторонам плоскости движущейся металлической полосы с регулируемым Pt; 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).

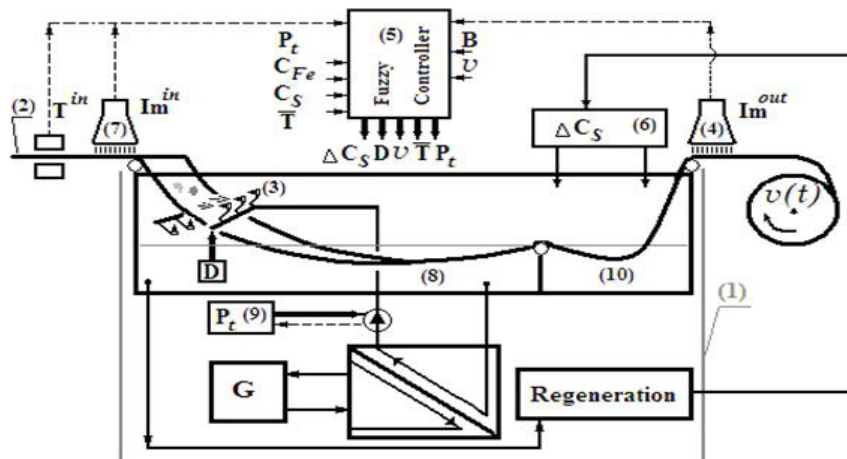


Рис.1. Схема НТА с идентификацией и позиционированием несистемных дефектов полосы проката

Получая данные от (7) контроллер (5) определяет позиционные координаты дефекта Dm в виде прямоугольника (x1^m, y1^m) - (x2^m, y2^m), и формирует сигнал на (3) для включения сопел Nj (j=i,i+1,...,k) на период времени Tj = (y2^m - y1^m) / v(t). Причем область орошения сопел Nj покрывает дефект Dm на участке полосы шириной [x1^m, x2^m]. Также контроллер (5) формирует сигнал для (9) для изменения номинала площади проходного сечения Aj сопла, с целью достижения на выходе сопла Nj давления травильного раствора P1 в соответствии со значением функции возможности πn(Xm = «Цвет»). Интерпретируемое управляющее воздействие - изменение сечения сопла (давления) подачи травильного раствора P1 в i-м сопле орошения, позиционно покрывающим область координат дефекта (с уточнением Δ Pt в процессе обучения синтезируемого нечеткого регулятора).

Можно сформировать ЛПУ селективным травлением полосы:

$$\text{ЕСЛИ (Цвет= } X_m \text{ \& } D^m \text{) ТО ((включить } N_j \text{ сопла, } j= i, i+1, \dots, k \text{) \& (изменить площади сечений } A_j \text{, } j= i, i+1, \dots, k \text{ в соответствии } \pi_n(X_m)) \quad (2)$$

Дефазифицируя ЛПУ, получим:

$$\text{ЕСЛИ (} X_m(t_i) \text{ \& } D^m(t_i) \text{) ТО } [A_j(t_i) = A_j * \pi(X_m(t_i)) \text{ \& } A_j(t_i + T_j) = 0] \quad (3)$$

для j=i,...,k, t_i' = t_i + L_{7,3} / V(t) - τ_{он}, где L_{7,3} = const — расстояние, преодолеваемое полосой проката

от датчика входной идентификации (7) до сопел (3) (рис.1), $V(t)$ — скорость сматывания полосы, τ — время задержки системы управления для изменения площади проходных сечений A_j .

Отсутствие априорной информации об НД (количестве, форме, размерах) приводит к методике применения нечеткой кластеризации входных данных Im^n . Для минимизации ошибки неразличимости НД, находящихся в геометрической близости друг от друга при влиянии фоновых ошибок телеметрической аппаратуры, предложен метод входной сегментации НД.

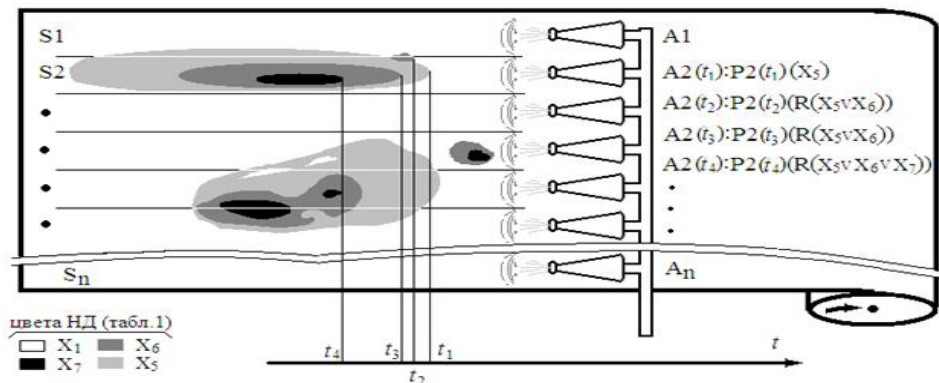


Рис.2. Входная сегментация несистемных дефектов полосы проката

По наборам позиционных координат части НД относят к разным сегментам S_i полосы проката. Ширина сегмента S_j соответствует по размеру орошаемой части полосы поверхности проката соплом A_j в момент отработки управляющего воздействия. В общем виде ЛПУ давлением P_i для сопла A_j с учетом (2) можно представить в виде:

$$A_j(t_i): P_j(t_i) (R \{ X_m(t_i) | D^m(t_i) \subset S_j \}), \tag{4}$$

где R - определяющее правило преобладающей альтернативы.

Технические обусловленные ограничения на количество сопел N приводят к неоднозначностям управляющих воздействий на НД, находящихся рядом на поверхности проката и различных по значениям X_m . Отношение R , определяющее предпочтительный алгоритм управления, задается при синтезе или обучении регулятора и устраняет нечеткость управления. Регулирование площади проходных сечений сопел выполняется контроллером. Этот же механизм позволяет по команде контроллера изменять в некоторых пределах и направление струи орошения (l - расстояние до поверхности), что существенно повышает гибкость и оперативность системы.

Выводы. Процедура идентификации несистемных дефектов в представленной концептуальной модели комбинированного травления, с селективным действием в начальные периоды и сглаживающим в конце процесса, формализована с применением элементов нечеткой логики. Исследование модели, анализ данных моделирования, и корректировка и расширение сформированного набора ЛПУ позволит синтезировать эффективный нечеткий контроллер НТА стального проката.

ЛИТЕРАТУРА

1. Wiefried Schlechter. PROCESS AND EQUIPMENT FOR A METAL STRIP PICKLING. US Patent № 6,419,756 B08B 1/02; B08B 7/04, Jul. 4,2002, 6p., <www.freepatentsonline.com>
2. О.О. Илюнин. Система нечеткого управления травлением стали с компараторной идентификацией дефектов проката / О.О. Илюнин, С.Г. Удовенко, А.А. Шамраев, А.И. Лазарев//Дніпропетровськ: Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – 2013. – № 3 (86), с. 151-159.
3. Т.Тэрано. Прикладные нечеткие системы / Т.Тэрано, К.Асаи, М.Сугэно –М.:Мир, – 1993 – 368с.
4. Товажнянский Л.Л. К вопросу о загрязнениях поверхности теплопередачи пластинчатых теплообменников / Товажнянский Л.Л., Капустенко П.А.// Энергетика. - Минск: БПИ, Известия ВУЗов МВССО СССР. – 1984.-№6,с.101-102.
5. Арсеньева О.П., Ілюнін О.О., Перевертайленко О.Ю., Подпруджников П.М., Селяков О.М., Тімофєєв В.О. / Заявка на патент № U2012-09-428 від 2.08.2012 «Пристрій для безперервного травлення прокату листової вуглецевої сталі», – 5с.