

где  $\alpha = \|g^{k+1}\|^2 / \|g^k\|^2$ ,

$\bar{g}^{k+1}$  – градиент функции  $Q(x^{k+1})$ ,

$\|g\|$  – норма вектора  $\bar{g}$ .

Если  $I_{k+1} \neq I_k$ , то  $\bar{S} = -\bar{g}^{k+1}$ . Последний случай говорит о том, что мы попали на новые границы допустимой области, поэтому информацию о предыдущих направлениях поиска нет необходимости использовать. После нахождения  $\bar{S}^{k+1}$  проверяются следующие условия окончания поиска:

$$\begin{aligned} \|x^{k+1} - x^k\| &\leq \varepsilon_1, \\ |Q^{k+1} - Q^k| &\leq \varepsilon_2, \\ \|S^{k+1}\| &\leq \varepsilon_3 \end{aligned} \quad (16)$$

где  $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$  – заданные точности по вектору  $\bar{x}$ , по значению функции  $Q$  и по вектору направления  $\bar{S}$ , соответственно.

Если все условия выполнены, то происходит окончание процесса минимизации, иначе данный процесс повторяется, начиная с построения  $\bar{S}^{k+1}$ .

## АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОНТРОЛЬ И УПРАВЛЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ ПРОКАТА НА ТЛС

Грабовский Г.Г., Иевлев Н.Г.

НПК Киевский институт автоматики

Анализ традиционных методов контроля качества листа по механическим свойствам на толстолистовых станах Украины и России показывает, что существующие методы управления и контроля механических свойств стали на толстолистовых прокатных станах не отвечают современным требованиям.

Обобщенная суть существующих методов контроля качества листов такова. Все прокатанные листы одной плавки делятся на партии листов. Это разделение по возможности осуществляют так, чтобы листы одной партии, кроме того, что принадлежат одной

плавке, а также имеют одну марку стали и химсостав, имели бы также одинаковые геометрические размеры, т.е. толщину и ширину. В среднем партия имеет 10 листов, а плавки делятся на 10 партий. Как правило, только одна партия подлежит контролю механических свойств стали. Причем из этой партии для контроля отбирается не больше двух листов. На поверхности этих листов при маркировании наносятся специальные отметки, что дает возможность вырезать из них «пробы» и направлять их в центральную лабораторию комбината (ЦЛК) для исследования. В ЦЛК из «проб» изготавливаются образцы определенных конфигураций (в зависимости от вида испытаний) и испытывают их различными методами разрушающего контроля. Результаты испытаний поступают на пост отдела технического контроля (ОТК) в районе отгрузки листов. В случае неудовлетворительных результатов испытаний мастер ОТК делает определенные выводы при аттестации листов относительно партии, из которой взяты «пробы», так и относительно других партий данной плавки. От приведенных цифр возможны отклонения в ту или иную сторону. Так, для листов рядовых марок сталей, предназначенных рядовым заказчиком, число листов в партии может быть увеличено, а число партий в плавке соответственно уменьшено. Для специальных сталей, предназначенных, например, для производства атомных реакторов или подводных лодок партия может состоять из одного листа, причем из каждого листа каждой партии отбираются «пробы» в ЦЛК. В среднем же контролю подвергается 2-3 процента листов, причем цикл отбор «проб» - направление результатов на пост ОТК – занимает от нескольких до десятков часов.

Механические свойства проката определяются химическим составом металла, условиями температурно-деформационного режима прокатки и охлаждения полосы. В осуществленных разработках предусматривается пассивная либо активная форма управления механическими свойствами.

Пассивная форма управления механическими свойствами проката заключается в соблюдении заданных ограничений температурно-деформационного режима. При обычной прокатке это – температура и обжатие в конце цикла, при более сложной,

контролируемой прокатке – ограничение температурных интервалов на отдельных участках режима обжатий.

Для управления температурным режимом используется модель температуры раската, которая содержит четыре известных составляющих: теплоизлучение, конвекция, отдача тепла валкам и охлаждающей жидкости, подогрев раската за счет энергии прокатки. В основу модели положены теоретические зависимости, адаптированные к прокатке толстого листа на базе имеющегося опыта автоматизации. Управление температурой, как правило, имеет одностороннее воздействие – подстуживание раската на воздухе либо охлаждающей жидкостью.

Помимо пассивной формы управления механическими свойствами имеются проектные разработки активного управления механическими свойствами проката. В основе рассматриваемого варианта лежит математическая модель прогноза свойств листа по его химическому составу, режиму прокатки и охлаждения. Кроме этого, модель позволяет рекомендовать изменение режима прокатки или охлаждения с целью достижения заданных механических свойств.

Независимо от выбранной формы управления механическими свойствами (активной или пассивной) имеющиеся математические модели позволяют с достаточной точностью прогнозировать механические свойства каждого прокатываемого раската, сокращая тем самым необходимость механического отбора проб.

В Киевском институте автоматики разработана и испытана на полигоне автоматизированная система управления и контроля механических свойств стали на толстолистовых прокатных станах (АСКК), которая позволяет осуществлять автоматическое управление механическими свойствами листа и обеспечить их полистный контроль неразрушающими методами в потоке прокатки [1].

АСКК построена на принципе прогнозирования показателей механических свойств с помощью математических моделей. Независимыми переменными являются компоненты химического состава плавки стали, размеры сляба и параметры режима прокатки конкретного сортамента, функциями отклика являются показатели механических свойств. Еще до прокатки нового типоразмера на основании химического состава система, используя математические

модели, изменяет заданные технологическими инструкциями значения параметров режима прокатки в таком направлении, чтобы улучшить главные показатели качества уже первого листа. Во время прокатки последующих листов типоразмера система подбирает оптимальный по критериям качества режим прокатки каждого листа. Новые значения показателей режима прокатки передаются как рекомендации оператору на пост управления клетью, а в случае наличия АСУТП прокатки – как уставки соответствующих контуров автоматического управления. Эти же самые модели на основании химического анализа, толщины листа и измеренных параметров режима прокатки дают возможность определять фактические показатели механических свойств каждого листа, по которым осуществляется их автоматическая аттестация. Результаты аттестации вместе с фактическими значениями показателей качества и реквизитами листа в виде протоколов качества на каждый лист отдельно могут передаваться в различные пункты технологической линии, в том числе на пост ОТК в районе отгрузки листов.

Автоматическая аттестация состоит в фиксации факта соответствия качества листа требованиям государственного стандарта или техническим условиям и в принятии решения об отгрузке листа заказчику или (в случае несоответствия показателей) на отжиг в термоотделение. Предусматривается также автоматическая переаттестация листов, т.е. перевод их в другую (более высокую или низкую) категорию или группу прочности и отправку другим заказчикам (вместо термоотделения). Автоматическая аттестация имеет рекомендационный характер, поскольку окончательное решение на основании протокола качества принимает мастер ОТК. Протоколы архивируются и могут быть использованы в течение длительного времени.

Основные отличия АСКК от существующей системы контроля приведены в таблице. Из таблицы видно, что система охватывает до 15 показателей качества, причем в случае необходимости их число и номенклатура могут изменяться на каждом конкретном объекте.

Система учитывает такие факторы влияния на качество листа: химический состав: (C, Si, Mn, P, S, Cr, Mo, Ni, V, N, Ti, Ca) и параметры режима прокатки: (температура  $T_0$  и толщина  $H_0$  раската

перед прокаткой, температура раската в предпоследнем пропуске  $T_{n-1}$ , температура листа в последнем пропуске  $T_{n-1}$ , усилие прокатки в трех последних пропусках соответственно  $P_{n-2}$ ,  $P_{n-1}$ ,  $P_n$ , скорость прокатки в последнем пропуске  $V_n$ , раствор валков в трех последних пропусках соответственно  $S_{n-2}$ ,  $S_{n-1}$ ,  $S_n$ ).

### Основные отличия АСКК от существующей системы контроля

Технические характеристики	Существующая система	АСКК
1. Вид контроля качества	Разрушающий	Неразрушающий
2. Периодичность контроля	Выборочный, как правило 3% листов	Полистный, 100% листов
3. Временная связь работы системы с технологическим процессом	Отсутствует	В темпе с прокаткой
4. Контролируемые показатели качества	$\sigma_T$ , $\sigma_M$ , $\delta$ , $\gamma_T$ (все виды), $HV$ , $x/3$ , всего до 15 показателей	$\sigma_T$ , $\sigma_M$ , $\gamma_T$ (все виды), $HV$ , $x/3$ , всего до 15 показателей
5. Оперативность аттестации листов	Результаты аттестации выдаются неоперативно по партиям и по плавкам с задержкой до нескольких десятков часов	Выдаются оперативно без задержки на каждый лист
6. Рекомендации по перевод листов в зависимости от качества в другие категории и группы прочности	Отсутствуют	Выдаются оперативно на каждый лист
7. Рекомендации относительно режима прокатки для получения требуемого качества	Отсутствуют	Выдаются оперативно на основные параметры режима прокатки оператору поста управления клетью или вводятся в АСУТП.
8. Объем ручного труда	Полностью ручной труд	Автоматизирован

Для построения математических моделей прогноза механических свойств проката был выбран метод группового учета аргументов (МГУА), обеспечивающий по сравнению с

регрессионным анализом объективный характер моделирования и структурной идентификации объектов [2]. Объективность достигается тем, что при построении моделей руководствуются не заранее заданным числовым значение отдельных ограничений (например, порогового коэффициента парной корреляции, критерия существенности Стьюдента), а критериями весьма общего вида: критерия регулярности, минимума, смещения и др. Именно поэтому в качестве математического аппарата для построения моделей прогноза механических свойств был выбран МГУА. В качестве критерия селекции (выбора структуры модели оптимальной сложности) использован критерий минимума смещения, позволяющий решать задачу восстановления закона, скрытого в зашумленных экспериментальных данных и применяемого вследствие этого для решения задачи идентификации [3]:

$$\eta_{ni}^2 = \sum_{i=1}^n (q_{Ai} - q_{Bi}) / \sum_{i=1}^n q_{Ti}^2 \rightarrow \min, \quad (1)$$

где  $N$  – все точки таблицы исходных данных;  $q$  – выходная величина,  $q_A$  – значения  $q$ , рассчитанные по модели, оценки параметров которой получены по точкам с большим значением дисперсии выходной величины;  $q_B$  – то же, по точкам с меньшим значением дисперсии выходной величины,  $q_T$  – табличное значение переменной.

Непосредственно для построения математических моделей использован модифицированный многорядный алгоритм МГУА, предложенный в [2] и обеспечивающий свободу выбора структуры «частных описаний». Данный алгоритм определяет на каждом ряду селекции структуру «частного описания» с использованием для его построения комбинаторного алгоритма. При этом используются таблицы постепенного усложнения полинома для двух переменных.

Задача автоматизации контроля механических свойств металла может быть сформулирована таким образом: осуществить полнотный контроль путем прогнозирования механических свойств металла, используя адаптивные математические модели.

$$x_{jr} = F_j(\bar{Y}, \bar{Y}_0), \quad (2)$$

которые обеспечивают

$$\min \sum_n (x_{jr} - x_{jf})^2 / N, \quad (3)$$

где  $x_{jr}, x_{jf}$  – расчетные (прогнозируемые) и фактические значения  $j$ -го механического свойства;  $\bar{Y}_0, \bar{Y}$  – вектор исходных данных сляба и вектор параметров прокатки;  $n, N$  – номер опыта и количество опытов в выборке.

По предложенному алгоритму можно построить математические модели механических свойств проката в соответствии с постановкой задачи (3) при наличии статистических данных о прокатанном металле, полученных в результате механических испытаний образцов, изготовленных из прокатанных листов.

Для адаптации моделей механических свойств листов был использован модифицированный алгоритм последовательного обучения АПО (алгоритм Качмажа) [2].

АСКК решает следующие основные задачи:

а) прогноз показателей механических свойств по фактическому химсоставу металла и заданных параметров режима прокатки;

б) регулирование процесса формирования качества листа путем изменения заданных параметров режима прокатки и передачи их на пост оператора или ввода их в АСУТП стана;

в) расчет фактических показателей механических свойств листов на основании химсостава и измеренных значений параметров режимов прокатки;

г) аттестация каждого листа с использованием приемочных чисел, перевод листов при необходимости в другие группы прочности или категории, формирование рекомендаций относительно назначения листа;

д) формирование и передача протоколов качества листа по механическими свойствам в разные пункты технологической линии и на пост ОТК, архивирование протоколов.

Источниками экономической эффективности АСКК являются:

1) исключение поставки заказчикам листов с неизвестными механическими свойствами и снижения благодаря этому риска поставки листов с несоответствующими требованиям мехсвойствами, что вызывает снижение затрат на рассмотрение рекламаций, оплаты штрафов и к повышению имиджа поставщика на рынке;

2) увеличение доли листов «сырой» отгрузки и соответственно уменьшению доли листов, направленных в термоотделение для отжига, что приводит к уменьшению затрат топлива, затрат труда и времени в термоотделении;

3) уменьшение количества беззаказной продукции благодаря возможности перевода листов в другие категории и группы прочности;

4) оперативное поступление протокола механических свойств каждого листа на пост контролера ОТК, что уменьшает задержку отгрузки листов заказчикам и этим благоприятствует повышению скорости обращения оборотных свойств;

5) уменьшение трудозатрат цеха и ЦЛК на контроль качества листов, сведение функций ЦЛК к высокоинтеллектуальной работе над созданием математических моделей и участия в их адаптации;

6) создание возможностей сопровождать каждый лист документацией типа сертификата качества, что поднимает культуру производства листовой стали до мирового уровня.

В Киевском институте автоматики разработано математическое обеспечение, реализующее все функции АСКК.

Технические средства, необходимые для реализации АСКК, зависят от того, является ли она составной частью АСУТП стана, или она является независимой системой.

В первом случае ввод данных, измерение параметров режима прокатки, слежение за положение листа, реализация программ возлагается на вычислительные средства АСУТП. Поэтому дополнительно нужны лишь видеотерминалы и принтеры для установки их на посту управления клетью, посту маркировщика и посту ОТК в районе отгрузки и возможно в других пунктах по желанию заказчика.

Во втором случае для реализации автономной АСКК, кроме вышеупомянутых терминалов, необходимы ПЭВМ, измерители



температуры листа, усилия прокатки, скорости прокатки и положения нажимных винтов клетки, фотореле, а также устройств связи с объектом для ввода измеряемых величин в ПЭВМ.

Для проверки разработанной системы и ее алгоритмов функционирования была создана лабораторная установка, которая позволила на базе ПЭВМ выполнить имитационное моделирование системы АСКК. При моделировании использованы экспериментальные данные, полученные на реальном технологическом объекте, подтверждена работоспособность полученных научно-технических решений.

#### Список источников

1. Иевлев Н.Г., Грабовский Г.Г. Математические модели и алгоритмы управления в АСУ ТП толстолистовых прокатных станов. – К.: Техніка, 2001.-248 с.
2. Грабовский Г.Г., Полещук В.В., Твардовский В.П., Рюмшин Н.А. Построение математических моделей оптимальной сложности и их адаптация в АСУ ТП ТЛС // Автоматизация виробничих процесів. – 1997. - № 2. – с.65-71.
3. Ивахненко А.Г., Высоцкий В.Н., Ивахненко Н.А. Основные разновидности критерия минимума смещения модели и исследование их помехоустойчивости // Автоматика. – 1978. - № 1. с.32-33.

## СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЯ ИНТЕГРИРОВАННЫХ АСУ ТОЛСТОЛИСТОВЫХ ПРОКАТНЫХ СТАНОВ

Грабовский Г.Г.

НПК Киевский институт автоматике

Интеграция функций управления организационными и технологическими процессами прокатного производства должна обеспечивать достижение наиболее эффективного использования материальных, энергетических, природных, трудовых и финансовых ресурсов в процессе организации работ и производства прокатной продукции. ИАСУ прокатного производства должна обеспечивать выполнение широкого спектра задач принятия решений, контроля и управления: планирования, организационного управления, слежения за ходом технологических и производственных процессов, оптимизации этих процессов [1,2,3].