

С.В. Князев¹, Д.В. Скопич², А.А. Усольцев¹, Е.А. Фатьянова²

¹Сибирский государственный индустриальный университет

²ООО «Индас Холдинг», г. Новокузнецк

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ КАЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СТАЛИ МАРКИ 20ГФЛ

Аудит технологического процесса выплавки стали марки 20ГФЛ в дуговых печах ДСП-6 Рубцовского филиала ОАО «Алтайвагон» выявил проблемы, связанные с получением брака стали по механическим свойствам [1]. Несмотря на то, что химический состав стали 20ГФЛ находился в установленных ГОСТ 977 – 88 границах, имеются случаи, когда механические свойства исследуемых образцов не соответствовали нормативным требованиям. Появление таких ситуаций связано с тем, что установленные ГОСТ 977 – 88 границы на химический состав стали 20ГФЛ имеют достаточно широкий интервал, внутри которого встречаются комбинации химических элементов в стали (контролируемые и неконтролируемые ГОСТ), приводящие к отклонениям по механическим свойствам. Для подтверждения этого факта и выявления причин проблемы брака был проведен статистический анализ влияния химического состава на качественные характеристики механических свойств металла [2, 3]. Были отобраны годовые данные по пяти печам. Выборка составила 6000 плавков. Для анализа были взяты пять показателей механических свойств (ударная вязкость $KCV_{-60}^{\circ C}$ и

$KCV_{-60}^{\circ C}$, временное сопротивление σ_b , относительное сужение ψ и относительное удлинение δ) и десять элементов (C, S, Mn, P, S, Cr, Ni, Al, Cu, V) химического состава. Анализ проводился в компьютерной среде RStudio на языке R.

Для проведения регрессионного анализа и построения модели прогнозирования использовались следующие алгоритмы: Linear Regression (LR), Random Forest (RF) и Support Vector Machine (SVM) [4 – 7]. Результаты работы моделей прогноза показаны ниже. На рис. 1 приведены графики реальных данных KCU по каждой выборке, отсортированные по возрастанию, и их прогнозные значения, полученные различными методами. Наименьшую среднеквадратичную ошибку $\sigma = 5,80$ показал метод Random Forest, который и был выбран для дальнейшего анализа данных.

Для повышения точности прогноза модель RF была скорректирована на величину прогнозируемой ошибки. На рис. 2 приведены графики ошибки прогноза методом RF в зависимости от прогнозного значения KCU и ее прогноза методом RF. На рис. 3 представлен прогноз KCU скорректированной модели RF. Видно,

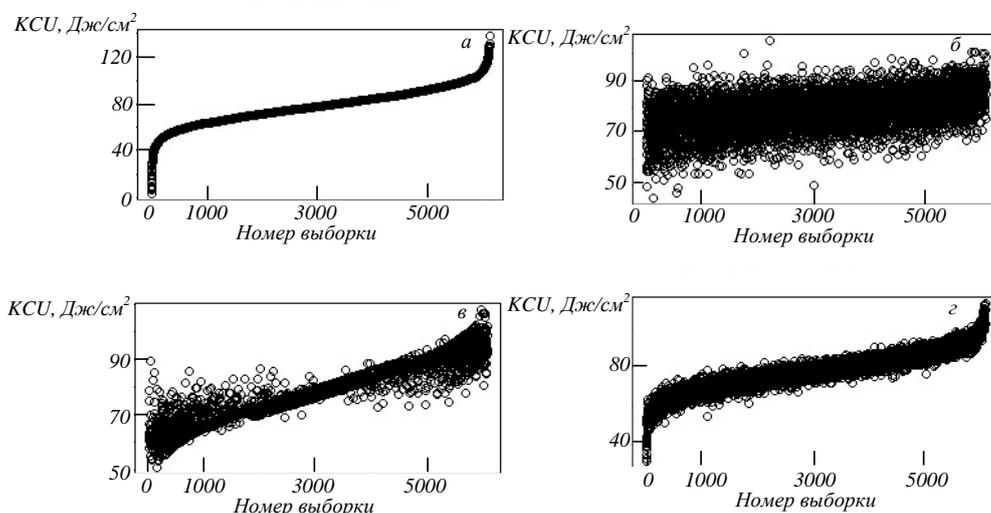


Рис. 1. Реальные данные KCU (а) и результаты прогноза методами LR (б), SVM (в) и RF (з)

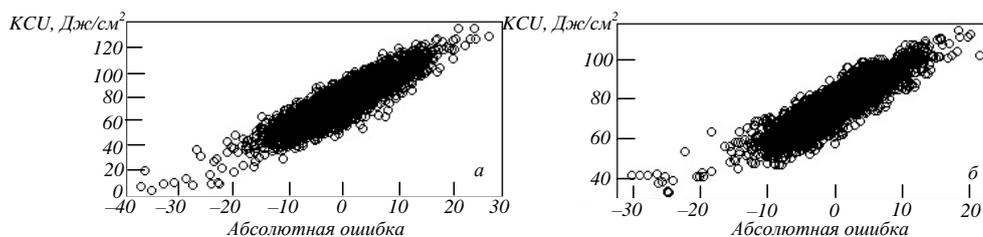


Рис. 2. Графики ошибки прогноза методом RF (а) и ее прогнозирования (б)

что среднеквадратичную ошибку удалось уменьшить более чем в два раза: $\sigma = 2,21$.

Таким же способом были построены прогнозные модели зависимости механических свойств от химического состава стали для остальных показателей. Средняя абсолютная ошибка прогноза по каждому показателю в процентном отношении не превысила 3 %.

С помощью алгоритма Genetic Algorithm (GA) и полученных прогнозных моделей был произведен поиск минимума значения по каждому параметру механических свойств при заданных ГОСТ границах на процентное содержание элементов в химическом составе стали марки 20ГФЛ. Согласно проведенным расчетам, минимальные значения относительного сужения, относительного удлинения и KCV не вышли за границы зоны качества, установленные ГОСТ. Расчет минимальных значений KCV и временного сопротивления показал возможность получения брака при хорошем, с точки зрения ГОСТ, химическом анализе. Графики поисков минимумов с помощью алгоритма GA для KCV и временного сопротивления показаны на рис. 4.

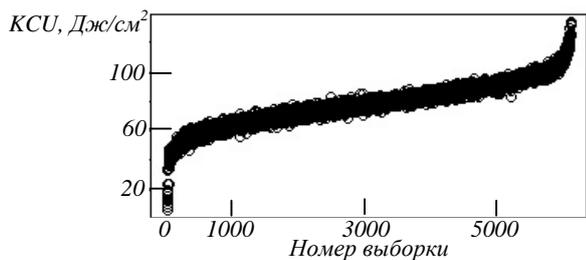
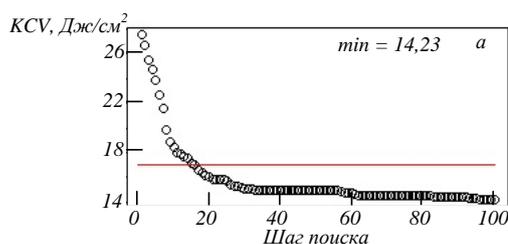


Рис. 3. Прогноз KCV с использованием скорректированной модели RF



Проведенный анализ подтвердил возможность получения брака стали по механическим свойствам при соблюдении границ на содержание элементов в химическом составе плавки согласно ГОСТ, а также показал возможность прогнозирования и управления механическими свойствами стали по ходу выплавки, например, после получения результатов экспресс-лаборатории перед сливом стали в ковш или во время внепечной обработки металла.

Выводы. При получении прогноза брака по одному из параметров, используя алгоритм GA и прогнозную модель RF, задав текущие значения элементов химического состава и конечные условия, можно рассчитать химический состав стали, которого еще возможно добиться на заданной плавке и который будет гарантировать отсутствие брака. После расчета рекомендуемого химического состава можно рассчитать количество необходимых добавок в ковш при сливе плавки или во время внепечной обработки стали. Это позволит частично или полностью уйти от брака по механическим свойствам.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Князев С.В., Усольцев А.А., Скопич Д.В., Фатянова Е.А. Опыт разработки и внедрения автоматизированной системы пооперационного контроля производства отливок (АС ПКПКО) // Современные технологии в машиностроении: Сборник статей XVII Международной научно-технической конференции, 2013. – Пенза: изд. ПДЗ. С. 111 – 117.

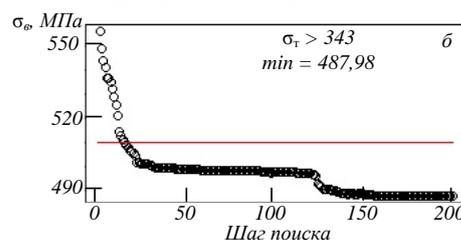


Рис. 4. Графики работы алгаритма GA для KCV (а) и σ_b (б)

2. Князев С.В., Антипенко В.А., Марчук В.А., Усольцев А.А. Алгоритм диагностики дефектности отливок и структура АСУ их качеством // Литейное производство. 1992. № 4. С. 26, 27.
3. Князев С.В., Усольцев А.А., Чиков В.И. Шихов Е.А. Контроль и управление производства отливок по критерию их качества // Теория и практика литейных процессов: Труды Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 80-летию кафедры литейного производства СибГИУ / Под ред. И.Ф. Селянина, В.Б. Деева. – Новокузнецк: изд. СибГИУ, 2012. С. 153 – 158.
4. Hastie, T., Tibshirani R., Friedman J. Chapter 15. Random Forests // The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction. – 2nd ed. – Springer-Verlag, 2009.
5. Википедия: https://ru.wikipedia.org/wiki/Random_forest (Дата обращения: 13.03.2015 г.).
6. Юрий Лифшиц. Метод опорных векторов (Слайды) – лекция № 7 из курса «Алгоритмы для Интернета»: <http://yury.name/internet.html> (Дата обращения: 13.03.2015 г.).
7. В апник В.Н. Восстановление зависимостей по эмпирическим данным. – М.: Наука, 1979. – 448 с.

© 2015 г. С.В. Князев, Д.В. Скопич,
А.А. Усольцев, Е.А. Фатьянова
Поступила 13 марта 2015 г.

УДК 621.011:539.52

М.В. Филиппова, М.В. Темлянецв, В.Н. Перетьяко

Сибирский государственный индустриальный университет

ТЕРМИЧЕСКИ АКТИВИРОВАННЫЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ ГОРЯЧЕЙ ДЕФОРМАЦИИ СТАЛИ 08X18H10T*

Точность расчетов энергосиловых параметров различных процессов обработки металлов давлением в значительной степени зависит от точности определения величины сопротивления деформации (напряжения течения). Значение напряжения течения зависит в общем случае от типа кристаллической решетки, химического состава, структуры, степени деформации, температуры и скорости деформации [1]. Влияние исходной структуры и ее изменение в процессе деформации может быть учтено через структурно-чувствительный фактор. Тогда для конкретной марки стали напряжение течения σ_T можно записать в виде

$$\sigma_T = \sigma_T(\varepsilon, u, T, C), \quad (1)$$

где ε – степень деформации; u – скорость деформации; T – температура; C – структурно-чувствительный фактор.

При больших деформациях (установившаяся стадия пластического течения) напряжение

течения и структура не зависят от степени деформации и однозначно определяются скоростью деформации и температурой:

$$\sigma_T = \sigma_T(u, T). \quad (2)$$

Проведено исследование кривых течения аустенитной стали марки 08X18H10T с содержанием 28 % δ -феррита. Исследование образцов проводили методом растяжения при температурах от 800 до 1200 °С при скорости деформации от $3,2 \cdot 10^{-2}$ до $1,7 \cdot 10^{-1} \text{ с}^{-1}$. Скорость деформации $1,7 \cdot 10^{-1} \text{ с}^{-1}$ получена при испытании образцов на горячее скручивание [2].

Для изучения изменения микроструктуры при высоких температурах растяжение образцов из стали марки 08X18H10T проводили на установке высокотемпературной металлографии ИМАШ-20-75 «Ала-Тоо» [3]. Для испытания образец крепился в вакуумной камере. После откачки воздуха до остаточного давления $6,7 \cdot 10^{-3} \text{ Па}$ проводили нагрев и растяжение образцов. Нагрев образца до температуры от 800 до 1200 °С осуществлялся за счет пропускания через него тока промышленной частоты.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ на 2014 – 2015 гг. (гос. контракт № 14-08-00686).