

С. С. Кочковская, старший преподаватель, lana1905@mail.ru,
Орский гуманитарно-технологический институт (филиал) федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения высшего образования
"Оренбургский государственный университет", г. Орск

Разработка алгоритма моделирования характеристик сталей в подсистеме управления производственными ресурсами сталеплавильного производства

Статья посвящена разработке алгоритма моделирования характеристик сталей в соответствии с требованиями заказчика. Представлена математическая модель, учитывающая оптимальные уровни основных факторов и их взаимодействия, обеспечивающие требуемые значения характеристик. Следующим этапом изучения математической модели послужило моделирование средствами методологии функционального моделирования IDEF0. Определены входные и выходные данные, а также нормативные документы управления моделью и механизмы этого управления для построения функциональной модели. Механизмом управления послужил программный продукт OptimalSostav, разработанный с использованием объектно-ориентированного языка программирования Delphi. Программный продукт предназначен для моделирования характеристик сталей с помощью заданных ограничений допустимых минимальных и максимальных значений механических свойств. Описан алгоритм реализации механизма управления, в основу которого положен дробный факторный анализ. Представленный алгоритм позволяет выявить влияние химического состава на механические свойства сталей в виде полученных математических и графических зависимостей и определить заданные механические свойства, удовлетворяющие требованиям заказчика. Рассмотрены основные возможности и область применения программного продукта, позволяющего решить задачу прогнозирования оптимального химического состава, обеспечивающего требуемые механические характеристики, а также скорректировать процесс выплавки сталей в рамках заданного химического состава для достижения требуемого комплекса свойств. Показано применение программного продукта на примере анализа влияния химических элементов на механические свойства валковой стали 75ХМФ. Приведены результаты моделирования в виде полученных математических и графических зависимостей и дана оценка эффективности применения программного продукта. Представлены результаты решения задачи аппроксимации полученных графических зависимостей влияния химических элементов на механические свойства исследуемой марки стали средствами Microsoft Excel. Установлено, что разработанное математическое и алгоритмическое обеспечение программного продукта позволяет изучить процентное содержание химических элементов по отношению к общему составу сплава на основе полученных круговых диаграмм и графиков зависимостей. Адекватность модели подтверждена результатами экспериментов.

Ключевые слова: алгоритм моделирования, сталь, требуемые характеристики, математическое моделирование, программный продукт

Введение

В данной работе представлены подходы к применению статистических методов для решения задачи управления производственными ресурсами предприятия в металлургической отрасли [1, 2]. Наиболее известными методами управления являются планирование экспериментов, регрессионный анализ и моделирование. Одной из областей применения таких методов является организация подсистемы управления производственными ресурсами сталеплавильного производства. Подробное описание использования вышеупомянутых методов для решения задач этой области пред-

ставлено в трудах М. Г. Журавлевой, Л. А. Кузнецова, Д. Ю. Вишнякова, Л. Я. Козак [3–6].

В ходе исследований было выявлено, что одним из способов повышения эффективности управления производственными ресурсами в АСУ сталеплавильного производства является использование компьютерных систем поддержки принятия решений. Разработка таких подходов опирается на методы математической статистики, планирования и обработки результатов эксперимента, математического моделирования [7–9].

Целью исследования, результаты которого представлены далее, является разработка алгоритма моделирования требуемых характе-

ристик сталей. Модель на входе обрабатывает производственные данные о механических свойствах и химическом составе. Результатом моделирования являются полученные зависимости влияния химических элементов на механические свойства сталей. Обработка результатов моделирования позволяет определить заданные характеристики сталей, обеспечивающие требуемый комплекс свойств.

Постановка задачи

Постановка задачи заключается в следующем: имеется m партий плавок металла, в каждой из которых отобраны и испытаны по n образцов. Обозначим i — порядковый номер партии плавки, j — номер образца в партии. Результаты механических испытаний обозначим Y_{ij} , где $i = \overline{1, m}$; $j = \overline{1, n}$.

На рассматриваемые механические свойства стандартом задаются следующие ограничения: $Y^{\min} \leq Y_{ij} \leq Y^{\max}$. В качестве влияющих факторов выбраны химические элементы: z_1 — углерод, %; z_2 — марганец, %; z_3 — кремний, %; z_4 — хром, %; z_5 — никель, %; z_6 — молибден, %.

Приведение факторов к одному масштабу осуществляется по формуле

$$x_i = \frac{z_i - z_i^0}{\lambda_i},$$

где z_i — фактор, z_i^0 — центр плана и λ_i — интервал варьирования.

Центр плана и интервал варьирования определяются следующим образом:

$$z_i^0 = \frac{z_i^+ + z_i^-}{2};$$

$$\lambda_i = \frac{z_i^+ - z_i^-}{2},$$

где z_i^+ , z_i^- — верхний и нижний уровни фактора.

Оценкой уровня свойств конкретной плавки является внутриплавочное среднее характеристики, которое определяется по формуле

$$\bar{Y}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n Y_{ij}.$$

При изучении влияния парных взаимодействий выбранных факторов (химических элементов) на исследуемый параметр (механическое свойство) необходимо составить линейные уравнения регрессии.

Определяющие коэффициенты уравнений регрессии рассчитываются как

$$b_i = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^n x_{ji} \bar{Y}_i, i = \overline{1, k},$$

где x_{ji} — кодированная переменная, которая соответствует j -му опыту для i -го фактора.

Для полученных коэффициентов выполняется проверка на значимость с помощью критерия Стьюдента: если $|b| > t_{кр} S_k$, то b значим; если $|b| < t_{кр} S_k$, то b незначим. Критическая точка $t_{кр}$ определяется из таблиц распределения Стьюдента по числу степеней свободы $n(m-1)$ и с заданным уровнем значимости α .

Из теории малых выборок [10] следует, что оценкой среднеквадратического отклонения внутриплавочной характеристики Y в контрольной партии является величина

$$S_{пл i} = \left\{ \frac{1}{m-1} \sum_{j=1}^n (Y_{ij} - \bar{Y}_i)^2 \right\}^{1/2}.$$

Оценкой внутриплавочной дисперсии является средняя выборочная внутриплавочная дисперсия

$$S_{пл}^2 = \frac{1}{n(m-1)} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (Y_{ij} - \bar{Y}_i)^2.$$

Проверка на адекватность полученного уравнения регрессии со значимыми коэффициентами выполняется с помощью критерия Фишера: $F_p < F_{табл}$. Расчетное значение определяется как

$$F_p = \frac{S_o^2}{S_{пл}^2},$$

где S_o^2 — остаточная дисперсия.

Табличное значение критерия Фишера находится из таблиц критических точек распределения Фишера по заданному уровню значимости α и по степеням свободы $k_1 = n - r$ и $k_2 = n(m-1)$.

Остаточная внутриплавочная дисперсия определяется по формуле

$$S_o^2 = \frac{m}{n-r} \sum_{j=1}^n (\tilde{y}_j - \bar{Y}_j)^2,$$

где r — число значимых коэффициентов в уравнении, а \tilde{y}_j — значение изучаемого результата испытания, вычисленное по уравнению регрессии со значимыми коэффициентами для j -го образца в партии.

Задача заключается в разработке алгоритма, позволяющего моделировать характеристики сталей с помощью заданных ограничений допустимых минимальных и максимальных значений механических свойств и скорректировать процесс выплавки сталей в рамках заданного химического состава для достижения требуемого комплекса свойств.

Алгоритм моделирования требуемых характеристик стали

Алгоритм моделирования был разработан с использованием объектно-ориентированного языка программирования Delphi программного продукта Embarcadero RAD Studio компании Embarcadero Technologies. Для моделирования требуемых характеристик сталей был разработан программный комплекс OptimalSostav (рис. 1).

Моделирование характеристик стали выполняется с учетом норм, ГОСТ, ОСТ и ТУ. На вход модели поступают сведения о требуемых характеристиках, а именно химический состав, предел прочности, предел текучести, ударная вязкость и твердость по каждой плавке и марке стали, хранящиеся в базах данных, созданных с помощью Microsoft Access.

Модель обеспечивает выходные данные согласно требованиям заказчика: на выходе модели формируются функциональные зависимости (уравнения регрессии) влияния химического состава на механические свойства, а также круговые диаграммы, графики зависимостей. Алгоритм моделирования представлен на рис. 2.

Алгоритм моделирует требуемые характеристики сталей с помощью заданных ограничений допустимых минимальных и максимальных значений механических свойств.

На первом шаге выполняется подготовка данных: вводятся необходимые параметры, а именно уровень значимости и критическая точка. Затем рассчитываются коэффициенты уравнений регрессии и определяется число значимых. Проводится проверка на адекватность уравнений регрессии с помощью табличного интерфейса "Критические значе-



Рис. 1. Функциональная схема моделирования значений основных характеристик сталей

Fig. 1. Functional scheme of modeling the values of the main characteristics of steels

ния критерия Фишера". Табличный редактор, представленный отдельным окном проекта, позволяет работать с исходными данными и анализировать результаты расчета.

На следующем этапе расчета получаются уравнения регрессии для каждого механического свойства, по которым можно определить влияние того или иного химического элемента на механические свойства. Также есть возможность рассчитать значения каждого механического свойства: предела прочности, предела текучести, ударной вязкости, твердости. Выполняя обработку данных непосредственно из окон ввода, пользователь может варьировать производственные данные из базы данных.

После успешного выполнения расчета пользователю доступен режим обработки результатов расчета, который позволяет строить круговые диаграммы и графики зависимостей влияния химического элемента на механические свойства. Режим результатов расчета доступен

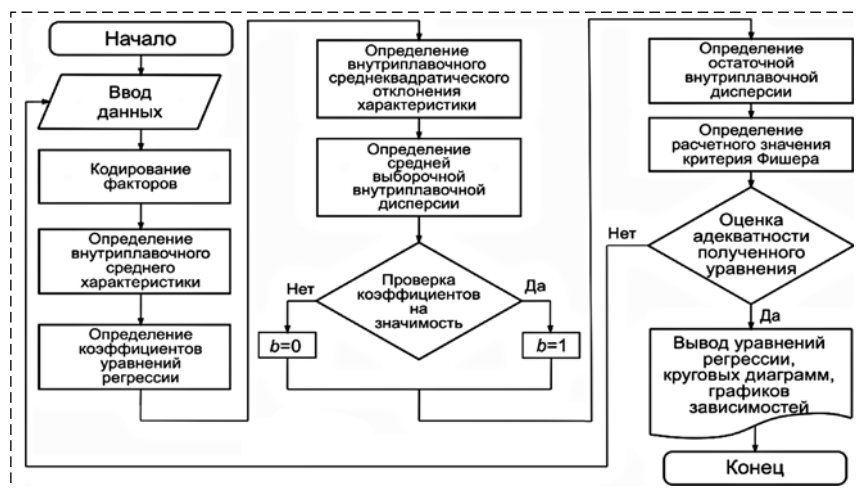


Рис. 2. Алгоритм моделирования значений основных характеристик сталей

Fig. 2. Algorithm for modeling the values of the main characteristics of steels

для редактирования. При необходимости внесения изменений следует вернуться в режим расчета и выполнить соответствующие построения. Предоставляется возможность сохранения и распечатки графической информации, конвертирования данных в формат .xls.

Компьютерная апробация алгоритма моделирования

Для исследования эффективности разработанного алгоритма, реализованного в программном комплексе OptimalSostav, проведем анализ влияния химических элементов на механические свойства исследуемой марки стали. Производственные данные взяты из БД ЦЗЛ АО "МК ОРМЕТО-ЮУМЗ". Этапы анализа следующие [12]:

Этап 1. Выбор марки стали, уровня значимости и критической точки. Выгрузка производственных данных из БД исследуемой марки стали.

Этап 2. Определение коэффициентов уравнений регрессии и числа значимых из них.

Этап 3. Проверка на адекватность полученных уравнений с помощью критерия Фишера.

Этап 4. Вывод полученных зависимостей (уравнений регрессии).

Этап 5. Определение значений предела прочности, предела текучести, ударной вязкости и твердости.

Этап 6. Вывод круговых диаграмм и графиков зависимостей влияния химического элемента на механические свойства.

Далее представлены результаты моделирования. Были выбраны следующие входные данные: исследуемая марка стали — инструментальная валковая сталь 75ХМФ; уровень значимости — 0,05; критическая точка — 2,037 (рис. 3, см. вторую сторону обложки).

После загрузки производственных данных из БД и проверки полученных уравнений регрессии со значимыми коэффициентами на адекватность доступны для анализа уравнения регрессии.

Рассмотрим полученную зависимость предела прочности, предварительно выполнив округление до десятых долей:

$$y_1 = 960,1 + 37,6x_1 - 12x_2 + 16,4x_3 - 38,4x_5 + 21,8x_6 + 38,7x_1x_2 - 22,5x_1x_4 + 33,6x_2x_4 - 28,5x_2x_4.$$

Из уравнения следует, что наибольшее влияние оказывает парное взаимодействие x_1x_2 — содержание углерода и марганца (%), так как ему соответствует наибольший по абсолютной величине коэффициент. Далее по степени влияния следуют факторы: x_5 — содержание никеля, %; x_1 — содержание углерода, %; парное взаимодействие x_2x_3 — содержание марганца и кремния, %; парное взаимодействие x_2x_4 — содержание марганца и хрома, %; парное взаимодействие x_1x_4 — содержание углерода и хрома, %; x_6 — содержание молибдена, %; x_3 — содержание кремния, %; x_2 — содержание марганца, %.

Так как коэффициенты при x_1 , x_3 , x_6 , x_1x_2 , x_2x_3 положительны, то с их увеличением повышается предел прочности. Коэффициенты при x_2 , x_5 , x_1x_4 , x_2x_4 отрицательны, это означает, что с их уменьшением предел прочности будет увеличиваться.

Рассмотрим полученную зависимость предела текучести, предварительно выполнив округление до десятых долей:

$$y_2 = 501,4 + 26,4x_1 + 15,4x_2 - 6,2x_3 - 25x_5 + 13,6x_6 + 33,7x_1x_2 - 13x_1x_4 - 21,6x_2x_4.$$

Из уравнения следует, что наибольшее влияние оказывает парное взаимодействие x_1x_2 — содержание углерода и марганца (%), далее по степени влияния факторы распределены следующим образом: x_1 — содержание углерода, %, x_5 — содержание никеля, %; парное взаимодействие x_2x_4 — содержание марганца и хрома, %; x_2 — содержание марганца, %; x_6 — содержание молибдена, %; парное взаимодействие x_1x_4 — содержание углерода и хрома, %; x_3 — содержание кремния, %.

Так как коэффициенты при x_1 , x_2 , x_6 , x_1x_2 положительны, то с их увеличением повышается предел текучести. Коэффициенты при x_3 , x_5 , x_1x_4 , x_2x_4 отрицательны, это означает, что с их уменьшением предел текучести будет увеличиваться.

Рассмотрим полученную зависимость ударной вязкости, предварительно выполнив округление до десятых долей:

$$y_3 = 227,5 - 29,6x_1 + 15,4x_2 + 39,2x_5 + 9,2x_6 - 30x_1x_2 + 23,3x_1x_4 - 27,9x_2x_3.$$

Из уравнения следует, что наибольшее влияние оказывает x_5 — содержание молибдена (%), далее следуют: парное взаимодействие x_1x_2 —

содержание углерода и марганца, %; x_1 — содержание углерода, %; парное взаимодействие факторов x_2x_3 — содержание марганца и кремния, %; парное взаимодействие x_1x_4 — содержание углерода и хрома, %; x_2 — содержание марганца, %; x_6 — содержание молибдена, %.

Так как коэффициенты при x_2 , x_5 , x_6 , x_1x_4 положительны, то с их увеличением повышается ударная вязкость. Коэффициенты при x_1 , x_1x_2 , x_2x_3 отрицательны, это означает, что с уменьшением x_1 и перечисленных взаимодействий ударная вязкость будет увеличиваться.

Рассмотрим полученную зависимость твердости, предварительно выполнив округление до десятых долей:

$$y_4 = 286,6 + 13,9x_1 + 3x_3 - 14,9x_5 + 8,3x_6 + 17,4x_1x_2 - 14,6x_1x_4 + 14,1x_2x_3 - 7,2x_2x_4.$$

Из уравнения следует, что наибольшее влияние оказывает парное взаимодействие x_1x_2 — содержание углерода и марганца (%), далее следуют факторы: x_5 — содержание никеля, %; парное взаимодействие x_1x_4 — содержание углерода и хрома, %; парное взаимодействие x_2x_3 — содержание марганца и кремния, %; x_1 — содержание углерода, %; x_6 — содержание молибдена, %; парное взаимодействие x_2x_4 — содержание марганца и хрома, %; x_3 — содержание кремния, %.

Так как коэффициенты при x_1 , x_3 , x_6 , x_1x_2 , x_2x_3 положительны, то с их увеличением повышается твердость. Коэффициенты при x_5 , x_1x_4 , x_2x_4 отрицательны, это означает, что с их уменьшением твердость будет увеличиваться.

Для детальной оценки влияния химических элементов на механические свойства зададим производственные данные плавки исследуемой марки стали (см. таблицу).

Из круговых диаграмм видно, что на предел прочности более сильное влияние оказывает x_1 — содержание углерода, 2,78 % (рис. 4, а, см. вторую сторону обложки), т. е. с увеличением количества углерода предел прочности увеличивается.

На предел текучести более сильное влияние также оказывает x_1 — содержание углерода,

3,61 %, т. е. с увеличением количества углерода предел текучести увеличивается (рис. 4, б, см. вторую сторону обложки).

На ударную вязкость более сильное влияние оказывает x_5 — содержание никеля, 3,25 %, т. е. с увеличением количества никеля ударная вязкость увеличивается. С увеличением x_1 — содержание углерода — 7,54 %, напротив, ударная вязкость понижается (рис. 4, в, см. вторую сторону обложки).

На твердость более сильное влияние оказывает x_1 — содержание углерода, 3,33 %, т. е. с увеличением количества углерода твердость увеличивается (рис. 4, г, см. вторую сторону обложки).

Рассмотрим графики зависимостей химических элементов, которые оказывают существенное влияние на требуемый уровень механических свойств исследуемой марки стали.

Из приведенного графика зависимости влияния углерода на предел прочности (σ_B) видно, что увеличение содержания углерода в пределах от 0,68 до 0,74 % резко повышает предел прочности от 841 до 968 Н/мм². При дальнейшем росте содержания углерода от 0,74 до 0,8 % прочность снижается от 968 до 935 Н/мм² (рис. 5, а).

Исследуя график зависимости влияния углерода на предел текучести ($\sigma_{0,2}$) (рис. 5, б), можно отметить, что с увеличением содержания углерода в пределах от 0,68 до 0,74 % резко увеличивается предел текучести от 434 до 515 Н/мм². При дальнейшем росте углерода от 0,74 до 0,8 % предел текучести практически остается неизменным (от 515 до 534 Н/мм²).

Анализируя график зависимости влияния никеля на ударную вязкость (KCU) (рис. 5, в), можно отметить, что с увеличением содержания никеля в пределах от 0,24 до 0,3 % резко увеличивается ударная вязкость от 156 до 264 кДж/м². При дальнейшем росте от 0,3 до 0,41 % ударная вязкость остается практически неизменной (от 264 до 252 кДж/м²). На основании этого можно сделать вывод, что никель сохраняет значение ударной вязкости практически на одном уровне.

Исследуя график зависимости влияния углерода на твердость (рис. 5, г), можно отметить, что с увеличением содержания углерода в пределах от 0,68 до 0,74 % резко повышается твердость (от 242 до 290 НВ). При дальнейшем росте углерода от 0,74 до 0,8 % твердость практически остается неизменной (от 290 до 296 НВ).

Производственные данные плавки валковой марки стали 75ХМФ

Production data of melting of the roll grade of steel 75HMF

C, %	Mn, %	Si, %	Cr, %	Ni, %	Mo, %
0,8	0,48	0,3	1,48	0,26	0,11

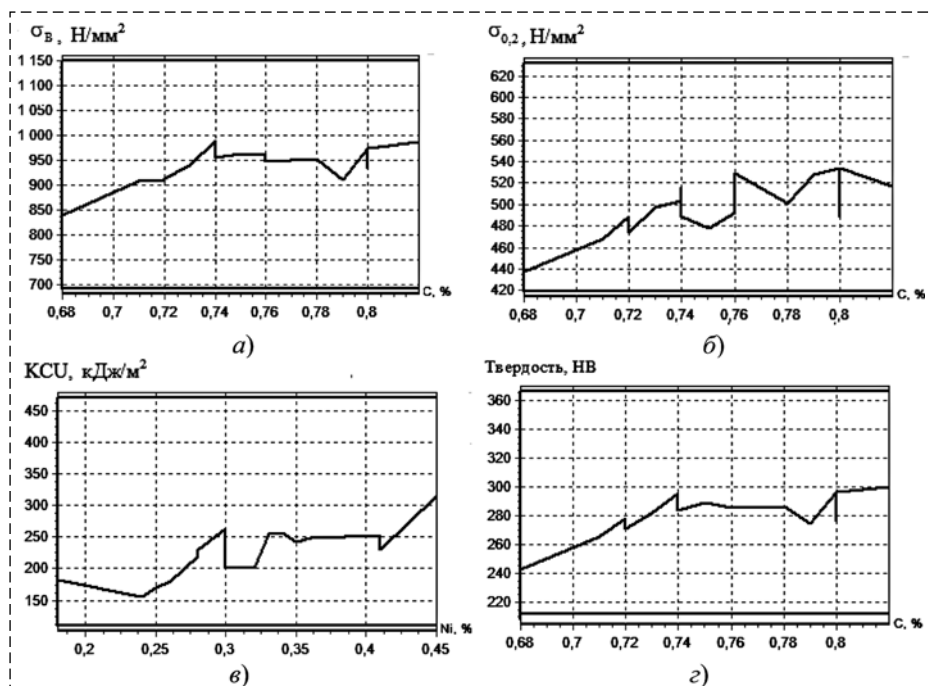


Рис. 5. Графики зависимостей влияния химических элементов на механические свойства сплава:

a — график зависимости влияния углерода на предел прочности; *б* — график зависимости влияния углерода на предел текучести; *в* — график зависимости влияния никеля на ударную вязкость; *г* — график зависимости влияния углерода на твердость

Fig. 5. Graphs of the influence of chemical elements on the mechanical properties of the alloy:

a — the graph of the effect of carbon on the tensile strength; *б* — the graph of the effect of carbon on the yield strength; *в* — the graph of the effect of nickel on the toughness; *г* — the graph of the effect of carbon on the hardness

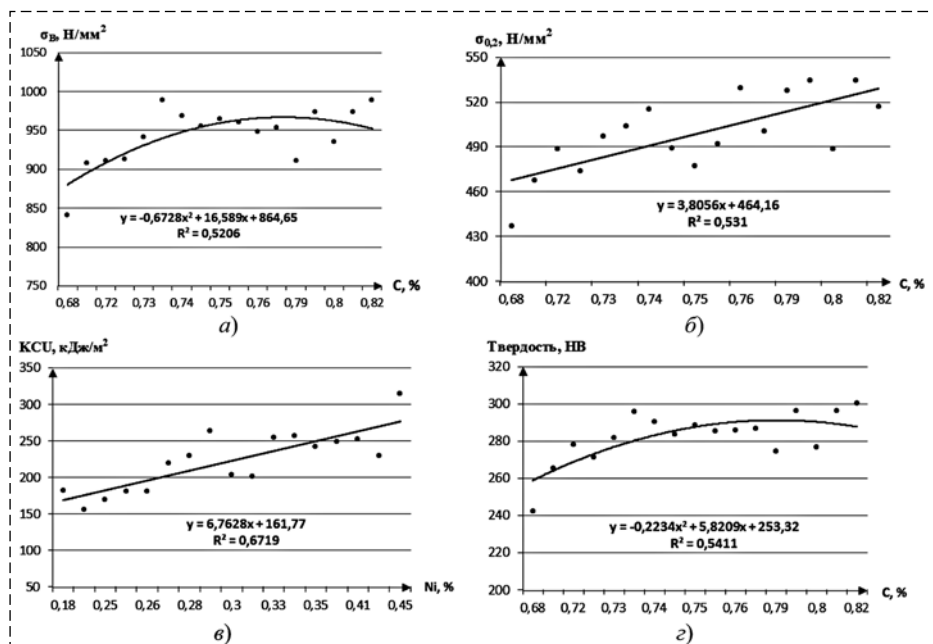


Рис. 6. Графики аппроксимирующих функций механических свойств сплава:

a — график зависимости влияния углерода на предел прочности; *б* — график зависимости влияния углерода на предел текучести; *в* — график зависимости влияния никеля на ударную вязкость; *г* — график зависимости влияния углерода на твердость

Fig. 6. Graphs of approximating functions of the mechanical properties of the alloy:

a — the graph of the effect of carbon on the tensile strength; *б* — the graph of the effect of carbon on the yield strength; *в* — the graph of the effect of nickel on the toughness; *г* — the graph of the effect of carbon on the hardness

На основе вышеприведенных графиков зависимостей влияния химических элементов на механические свойства исследуемой марки стали можно сделать вывод, что полученные механические характеристики находятся в допустимых пределах, которые регламентируются отраслевыми стандартами и техническими условиями ОСТ 24.023.22 и ТУ 3137-512-23846254—2014.

Для определения достоверности аппроксимации полученных графиков зависимостей, а также для прогнозирования изменения производственных данных воспользуемся возможностью конвертирования данных в формат .xls.

На рис. 6 представлены результаты аппроксимации полученных графиков зависимостей для исследуемой марки стали.

Исследуя полученные графики аппроксимирующих функций механических свойств исследуемой марки стали, можно отметить, что полученные значения коэффициентов детерминации $R^2 = 0,5206$; $R^2 = 0,531$; $R^2 = 0,6719$; $R^2 = 0,5411$ находятся в допустимых пределах ($R^2 = 0,47...0,79$) [13]. Такие значения коэффициентов детерминации могут быть объяснены высокой надежностью производственных данных, используемых при статистической обработке.

Из вышеизложенного можно сделать вывод, что выявленные зависимости влияния химических элементов на механические свойства позволяют опре-

делить требуемые механические свойства исследуемой марки стали [14].

Заключение

Результаты сравнительного анализа на примере выявленных зависимостей влияния химических элементов на механические свойства исследуемой марки стали 75ХМФ свидетельствуют о вычислительной эффективности программного продукта OptimalSostav. Используемый алгоритм обеспечивает повышенную точность расчета и позволяет скорректировать процесс выплавки сталей в рамках заданного химического состава для достижения требуемого комплекса свойств.

Список литературы

1. Кабулова Е. Г. Применение математического моделирования для прогнозирования свойств сплавов // Естественные и технические науки. 2015. № 4 (82). С. 198–200.
2. Шестакова Е. Н., Потапов А. И., Орлов Г. А. Пути повышения качества кованных прокатных валков // Инновационные технологии в металлургии и машиностроении: материалы международной конференции, посвященной памяти члена-корреспондента РАН, почетного доктора УрФУ В. Л. Колмогорова. Екатеринбург: Изд-во Уральского федерального университета имени Президента России Б. Н. Ельцина. 2014. С. 483–486.
3. Кузнецов Л. А., Корнеев А. М., Журавлева М. Г. Идентификация статистических моделей технологических процессов с заполнением пропусков в данных // Проблемы управления. 2007. № 1. С. 46–50.
4. Кузнецов Л. А., Журавлева М. Г., Вишняков Д. Ю. Техника построения многомерных непараметрических карт

контроля качества // Электротехнические комплексы и системы управления. 2008. № 3. С. 50–53.

5. Кузнецов Л. А., Черных М. В. Статистическая модель металлургической технологии // Известия вузов. Черная металлургия. 2007. № 11. С. 61–65.

6. Kozak L. Y. Conversion of the initial indices of the technological process of the smelting of steel for the subsequent simulation // Computer Research and Modeling, 2017, vol. 9, no. 2, pp. 187–199.

7. Фрейдензон М. Е., Соколкин Б. П. и др. К вопросу комплексной оценки качества продукции // Сталь. 1977. № 1. С. 82–84.

8. Kochkovskaya S. S., Kletsova O. A., Kochkovskaya S. S. Study of the structure and properties of hot-rolling rolls from steel 70KH3G2VTB after heat treatment // Metal Science and Heat Treatment. 2015. Vol. 57, N. 1. P. 87–90.

9. Кочковская С. С., Сердюк А. И. Автоматизация процесса обработки экспериментальных данных по оптимизации химического состава опытных марок валковых сталей на основе дробно-факторного анализа // Автоматизация в промышленности. 2017. № 8. С. 54–56.

10. Агекян Т. А. Основы теории ошибок для астрономов и физиков. М.: Наука, 1972. 170 с.

11. Кочковская С. С., Сердюк А. И. Моделирование химического состава валковых марок сталей с помощью программного обеспечения OptimalSostav // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: тезисы докладов 76-й международной научно-технической конференции. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г. И. Носова. 2018. Т. 1. С. 260–261.

12. Кочковская С. С. Применение программного комплекса для расчета и контроля показателей качества валковых сталей и сплавов // Мехатроника, автоматика и робототехника: материалы III Международной научно-практической конференции. Новокузнецк: НИЦ МС, 2019. № 3. С. 82–84.

13. Рожков И. М., Власов С. А., Мулько Г. Н. Математические модели для выбора рациональной технологии и управления качеством стали. М.: Металлургия, 1990. 184 с.

14. Кочковская С. С., Сердюк А. И. Расчет оптимальных механических свойств по отношению к процентному содержанию легирующих элементов валковых марок сталей "OptimalSostav" // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2018613600, Роспатент, 2018.

Development of Modeling Algorithm of the Characteristics of the Steels in the Subsystem of Management of the Production Resources of Steel Production

S. S. Kochkovskaya, lana1905@mail.ru,

Orsk Humanitarian-Technology Institute (Branch) of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Orenburg State University", Orsk, 462403, Russian Federation

Corresponding author: Kochkovskaya Svetlana S., Senior Lecturer, Orsk Humanitarian-Technology Institute (Branch) of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Orenburg State University", Orsk, 462403, Russian Federation, e-mail: lana1905@mail.ru

Accepted on June 14, 2019

Abstract

The article is devoted to the development of an algorithm for modeling the characteristics of steels in accordance with customer requirements. A mathematical model is presented that takes into account the optimal levels of the main factors and their interaction, providing the required values of the characteristics. The next step in the study of the mathematical model was modeling by means of functional modeling methodology IDEF0. Input and output data, as well as normative documents of model management and mechanisms of this management for building a functional model are defined. The

control mechanism was the software product *OptimalSostav*, developed using the object-oriented programming language Delphi. The software product is designed to simulate the characteristics of steels using the specified limits of permissible minimum and maximum values of mechanical properties. The algorithm of realization of the control mechanism, which is based on the fractional factor analysis, is described. The presented algorithm allows to identify the influence of chemical composition on the mechanical properties of steels in the form of mathematical and graphical dependencies and to determine the specified mechanical properties that meet the requirements of the customer. The main possibilities and the scope of the software product, which allows to solve the problem of predicting the optimal chemical composition, providing the required mechanical characteristics, as well as to adjust the process of steel melting within a given chemical composition to achieve the desired set of properties. The application of the software product on the example of the analysis of the influence of chemical elements on the mechanical properties of 75HMF roll steel is shown. The results of modeling in the form of mathematical and graphic dependences are given and the estimation of efficiency of application of the software product is given. The results of solving the problem of approximation of the obtained graphic dependences of the influence of chemical elements on the mechanical properties of the studied steel grade by means of Microsoft Excel are presented. It is established that the developed mathematical and algorithmic software of the software product allows to study the percentage of chemical elements in relation to the total composition of the alloy, based on the obtained pie charts and dependency graphs. The adequacy of the model is confirmed by experimental results.

Keywords: modeling algorithm, steel, required characteristics, mathematical modeling, software product

For citation:

Kochkovskaya S. S. Development of Modeling Algorithm of the Characteristics of the Steels in the Subsystem of Management of the Production Resources of Steel Production, *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 2019, vol. 20, no. 10, pp. 615–622.

DOI: 10.17587/mau.20.615-622

References

1. **Kabulova E. G.** *Estestvennye i Tekhnicheskie Nauki*, 2015, no. 4 (82), pp. 198–200 (in Russian).
2. **Shestakova E. N., Potapov A. I., Orlov G. A.** *Materials of the international conference dedicated to the memory of corresponding member of RAS, honorary doctor of UrFU V. L. Kolmogorov "Innovative technologies in metallurgy and mechanical engineering"*, Ekaterinburg, Publishing house of Uralskii federalnyi universitet imeni Prezidenta Rossii B N Eltsina, 2014, pp. 483–486 (in Russian).
3. **Kuznetsov L. A., Korneev A. M., Zhuravleva M. G.** *Problems of management*, 2007, no. 1, pp. 46–50 (in Russian).
4. **Kuznetsov L. A., Zhuravleva M. G., Vishnyakov D. U.** *Electrotechnical complexes and control systems*, 2008, no. 3, pp. 50–53 (in Russian).
5. **Kuznetsov L. A., Chernykh M. V.** *News of higher education institutions. Ferrous metallurgy*, 2007, no. 11, pp. 61–65 (in Russian).
6. **Kozak L. Y.** *Computer Research and Modeling*, 2017, vol. 9, no. 2, pp. 187–199.
7. **Friedenson M. E., Sokolkin B. P.** et al. *Stal*, 1977, no. 1, pp. 82–84 (in Russian).
8. **Kochkovskaya S. S.** *Metal Science and Heat Treatment*, 2015, vol. 57, no. 1, pp. 87–90.
9. **Kochkovskaya S. S., Serdyuk A. I.** *Avtomatizatsiya v Promyshlennosti*, 2017, no. 8, pp. 54–56 (in Russian).
10. **Agekyan T. A.** *Fundamentals of error theory for astronomers and physicists*, Moscow, Nauka, 1972, 170 p. (in Russian).
11. **Kochkovskaya S. S., Serdyuk A. I.** Modeling of chemical composition of roll steel grades by means of the software of *OptimalSostav*, *Theses of reports of the 76th international scientific and technical conference "Current problems of modern science, the equipment and education"*, Magnitogorsk, Publishing house of Magnitogorsk gos tekhn un-ta im G I Nosova, 2018, vol. 1, pp. 260–261 (in Russian).
12. **Kochkovskaya S. S.** *Proceedings of the III International scientific and practical conference "Mechatronics, automation and robotics"*, Novokuznetsk, SIC MS, 2019, no. 3, pp. 82–84 (in Russian).
13. **Rozhkov I. M., Vlasov S. A., Mulk G. N.** Mathematical model for choice of rational technologies and quality control of steel, Moscow, Metallurgiya, 1990, pp. 184 (in Russian).
14. **Kochkovskaya S. S., Serdyuk A. I.** Calculation of optimum mechanical properties in relation to the percentage of the alloying elements of roll steel grades "OptimalSostav", *Svidetelstvo ob ofitsialnoi registratsii programmy dlia EVM*, no. 2018613600, Rospatent, 2018 (in Russian).