

УДК 669.018.14: 669.15 – 194: 621.78: 620.197

ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКИХ КОМПОНЕНТОВ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТАЛИ 110Г13Л

БОЛЬШАКОВ В.И.¹, *д.т.н, проф.*,
ЮШКЕВИЧ О.П.^{2*}, *к.т.н., доц.*,
НОСЕНКО О.П.³, *к.т.н., доц.*

¹ Кафедра материаловедения и обработки материалов, Государственное высшее учебное заведение “Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры”, ул. Чернышевского 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина. bolshakov@mail.pgasa.dp.ua. ORCID ID: 0000-0003-0790-6473

^{2*} Кафедра материаловедения и обработки материалов, Государственное высшее учебное заведение “Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры”, ул. Чернышевского 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина. тел. +38(066) 775-37-58, e-mail: ReilTO@i.ua. ORCID ID: 0000-0002-6995-0333

³ Кафедра материаловедения и обработки материалов, Государственное высшее учебное заведение “Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры”, ул. Чернышевского 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина. ORCID ID: 0000-0003-5795-0235

Аннотация. Цель. Для выявления закономерностей, определяющих и формирующих качество готовых металлоизделий из стали 110Г13Л, необходимо выполнить количественную оценку связи между компонентами химического состава и механическими свойствами, основанную на корреляционных методах выявления зависимостей между признаками. Выполнить расчёт коэффициентов множественной корреляции компонентов химического состава и механических свойств высокомарганцевой аустенитной стали. Получить корреляционную матрицу показателей качества стали 110Г13Л. Проанализировать и сравнить уровни взаимосвязи между ними. **Методика.** В работе использованы представления статей в многомерном пространстве компонентов химического состава и механических свойств в виде точек, информационно наделённых всеми характеристиками металлоизделия, а также представления о корреляции, как величине события наличия связи между рассматриваемыми признаками. Получена матрица коэффициентов множественной корреляции химических компонентов и механических свойств стали 110Г13Л и выполнено их графическое сравнение при постоянных технологических параметрах существующего производства. **Результаты.** Сравнительный анализ коэффициентов корреляции показал, что позитивный вклад в повышение механических свойств оказывают: наибольший – марганец и наименьший – фосфор. Однозначное отрицательное влияние на механические свойства оказывает кремний. Сера оказывает незначительное позитивное влияние только на предел текучести. Углерод повышает пределы прочности и текучести, но отрицательно влияет на относительное сужение и ударную вязкость. Установлено, что на рост предела прочности и относительного удлинения положительно влияет увеличение в составе стали марганца, углерода, фосфора в пределах, допустимых нормативными документами. Снижение этих механических характеристик может быть вызвано увеличением количества кремния и серы в плавочном составе. **Научная новизна.** Установлено, что на снижение предела текучести стали Гатфильда влияет только увеличение содержания кремния в плавочном составе стали. Остальные химические компоненты повышают значения этого показателя. Установлено, что ударная вязкость повышается только при росте количества марганца или фосфора в стали. Увеличение содержания углерода, кремния и серы снижают эти показатели качества. **Практическая значимость.** Корреляционный анализ влияния химических элементов на механические свойства показал, что в составе стали 110Г13Л количество углерода, кремния и серы должно быть минимизировано.

Ключевые слова: сталь Гатфильда; железнодорожные крестовины и сердечники; коэффициенты корреляции; химические компоненты; механические свойства

ВПЛИВ ХІМІЧНИХ КОМПОНЕНТІВ НА МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ СТАЛИ 110М13Л

БОЛЬШАКОВ В. И.¹, *д.т.н, проф.*,
ЮШКЕВИЧ О. П.^{2*}, *к.т.н., доц.*,
НОСЕНКО О. П.³, *к.т.н., доц.*

¹ Кафедра матеріалознавства та обробки матеріалів, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна. bolshakov@mail.pgasa.dp.ua. ORCID ID: 0000-0003-0790-6473

^{2*} Кафедра матеріалознавства та обробки матеріалів, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна. тел. +38 (066) 775-37-58, e-mail: ReilTO@i.ua, ORCID ID: 0000-0002-6995-0333

³ Кафедра матеріалознавства та обробки матеріалів, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна. ORCID ID: 0000-0003-5795-0235

Анотація. Мета. Для виявлення закономірностей, що визначають і формують якість готових металовиробів зі сталі 110М13Л, необхідно виконати кількісну оцінку зв'язку між компонентами хімічного складу і механічними властивостями, засновану на кореляційних методах виявлення залежностей між ознаками. Виконати розрахунок коефіцієнтів множинної кореляції компонентів хімічного складу і механічних властивостей високомарганцевої аустенітної сталі. Отримати кореляційний матрицю показників якості сталі 110М13Л. Проаналізувати і порівняти рівні взаємозв'язку між ними. **Методика.** У роботі використані уявлення сталей в багатовимірному просторі компонентів хімічного складу і механічних властивостей у вигляді точок, інформаційно наділених усіма характеристиками металовироби, а також уявлення про кореляції, як величиною події наявності зв'язку між розглянутими ознаками. Отримана матриця коефіцієнтів множинної кореляції хімічних компонентів і механічних властивостей сталі 110М13Л і виконано їх графічне порівняння при постійних технологічних параметрах існуючого виробництва. **Результати.** Порівняльний аналіз коефіцієнтів кореляції показав, що позитивний внесок у підвищення механічних властивостей надають: найбільший - марганець і найменший - фосфор. Однозначне негативний вплив на механічні властивості надає кремній. Сірка має незначний позитивний вплив тільки на межу текучості. Вуглець підвищує межі міцності і текучості, але негативно впливає на відносне звуження і ударну в'язкість. Встановлено, що на зростання межі міцності і відносного подовження позитивно впливає збільшення у складі сталі марганцю, вуглецю, фосфору в межах, допустимих нормативними документами. Зниження цих механічних характеристик може бути викликане збільшенням кількості кремнію і сірки в плавковим складі. **Наукова новизна.** Встановлено, що на зниження межі текучості сталі Гатфільд впливає тільки збільшення вмісту кремнію в плавковим складі сталі. Решта хімічні компоненти підвищують значення цього показника. Встановлено, що ударна в'язкість підвищується тільки при зростанні кількості марганцю або фосфору в сталі. Збільшення вмісту вуглецю, кремнію і сірки знижують ці показники якості. **Практична значимість.** Кореляційний аналіз впливу хімічних елементів на механічні властивості показав, що у складі сталі 110М13Л кількість вуглецю, кремнію і сірки повинно бути мінімізовано.

Ключові слова: сталь Гатфільд; залізничні хрестовини і сердечники; коефіцієнти кореляції; хімічні компоненти; механічні властивості

INFLUENCE OF CHEMICAL COMPONENTS ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF STEEL 110G13L

BOLSHAKOV V. I.¹, *Dr.Sc.(Tech.), Prof.*,
YUSHKEVICH O. P.^{2*}, *Cand. Sc.(Tech.), Assoc. prof.*,
NOSENKO O. P.³, *Cand. Sc.(Tech.), Assoc. prof.*

¹ Department of Materials Science, State Higher Educational Establishment "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A Chernishevskogo str., 49600, Dnipropetrovsk, Ukraine. bolshakov@mail.pgasa.dp.ua. ORCID ID: 0000-0003-0790-6473

^{2*} Department of Materials Science, State Higher Educational Establishment "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A Chernishevskogo str., 49600, Dnipropetrovsk, Ukraine. tel. +38(066) 775-37-58, e-mail: ReilTO@i.ua, ORCID ID: 0000-0002-6995-0333

³ Department of Materials Science, State Higher Educational Establishment "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A Chernishevskogo str., 49600, Dnipropetrovsk, Ukraine. ORCID ID: 0000-0003-5795-0235

Abstract. Purpose. For detection of the regularities defining and forming quality of ready hardware of steel 110G13L it is necessary to execute the quantitative assessment of communication between components of a chemical composition and mechanical properties based on correlation methods of detection of dependences between signs. To execute calculation of coefficients of multiple correlation of components of a chemical composition and mechanical properties of high-manganese austenitic steel. To receive a correlation matrix of indicators of quality of steel 110G13L. To analyse and compare interrelation levels between them. **Methodology.** In work representations staly in multidimensional space of components of a chemical composition and mechanical properties in the form of points are used, is information the allocated all characteristics of a hardware, and also idea of correlation, as to the size of an event of existence of communication between the considered signs. The matrix of coefficients of multiple correlation of chemical components and mechanical properties of steel 110G13L is received and their graphic comparison at constant technological parameters of the existing production is executed. **Findings.** The comparative analysis of coefficients of correlation showed that a positive contribution to increase of mechanical properties render: the greatest – manganese and the smallest - phosphorus. Silicon has unambiguous negative impact on mechanical properties. Sulfur has insignificant positive impact only on a fluidity limit. Carbon increases strength and fluidity, but negatively influences relative narrowing and impact strength. It is established that growth of strength and relative lengthening is influenced positively by increase as a part of steel of manganese, carbon, phosphorus in limits, admissible normative documents.

Decrease in these mechanical characteristics can be caused by increase in amount of silicon and sulfur in plavochny structure. **Originality.** It is established that influences decrease in a limit of fluidity of steel of Gafild only increase in the content of silicon in plavochny composition of steel. Other chemical components increase values of this indicator. It is established that impact strength increases only with a growth of amount of manganese or phosphorus in steel. The increase in the content of carbon, silicon and sulfur is reduced by these indicators of quality. **Practical value.** The correlation analysis of influence of chemical elements on mechanical properties showed that as a part of steel 110G13L the amount of carbon, silicon and sulfur has to be minimized.

Keywords: Gafild's steel; railway crosspieces and cores; correlation coefficients; chemical components; mechanical properties

Введение

Допустимые изменения компонентов химического состава высокомарганцевой стали для производства железнодорожных крестовин и сердечников регламентируются ГОСТ 7370-86: [%C] = 1,00...1,30; [%Mn] = 11,50...16,50; [%Si] = 0,3...0,9; [%P] < 0,09; [%S] < 0,020.

В процессе производства металлоизделий возникают технологические колебания компонентов химического состава стали в пределах марочных значений, вызванные особенностями шихтовки, выплавки и другими факторами. Взаимодействие в расплаве металла химических элементов в определённых пропорциях, ведёт к формированию в литой структуре неметаллических включений, которые могут образовываться также в процессе дальнейшей термической обработки, в период выдержки стали при высоких температурах. Отклонения, у различных плавок, значений химических элементов от среднего уровня и разброс между заданными предельными величинами, указанными в марочном составе сталей, ведёт к возникновению отличий в макро- и микроструктуре, которая формируется в металле изделий [1, 2].

Возникающее из-за этого рассеяние механических свойств согласно ГОСТ 7370-86 определяет 3 группы качества железнодорожных крестовин и сердечников из аустенитной стали. При этом для 1 группы качества комплекс приёмо-сдаточных механических свойств должен соответствовать следующим условиям: $\sigma_b \geq 883$ МПа; $\sigma_T \geq 353$ МПа; $\delta_5 \geq 30,1\%$; $\psi \geq 27,1\%$; КСУ $\geq 25,1$ кгс·м/м²; для 2 группы качества: $\sigma_b = 883...780$ МПа; $\sigma_T \geq 353$ МПа; $\delta_5 = 30,1...25\%$; $\psi = 27,1...22\%$; КСУ = 25,1...20 кгс·м/м²; для 3 группы качества: $\sigma_b = 780-690$ МПа; $\sigma_T \geq 353$ МПа; $\delta_5 = 25...16\%$; $\psi = 22...16\%$; КСУ = 20...16,5 кгс·м/м². Рассеяние значений механических характеристик металла разных плавок, затрудняет получение металлоизделий с гарантированными эксплуатационными свойствами.

Постановка проблемы. Таким образом, возникает необходимость определения меры воздействия каждого из химических элементов на механические свойства стали 110Г13Л. При этом разработаны методы оценки долевого, весового и обобщенного вкладов химических элементов отдельной стали в комплекс механических свойств [3, 4]. Однако, вклад каждого показателя в уровень качества металлоизделия можно оценить упрощённо [5], из парных корреляций, которые являются мерой связи и

учитывают её направленность между признаками стали, определяют величину их взаимодействия и показывают, как изменение одного из них влияет на повышение или снижение другого. При этом геометрический смысл коэффициентов корреляции заключается в том, что они представляют собой косинусы (с учётом их знака) углов между векторами, представляющими различные показатели информационных объектов - сталей, построенных в тестовом пространстве [6, 7, 8]. Величины этих косинусов - парные корреляции, являются мерой связи между любыми признаками стали.

Следовательно, задача определения парных корреляций между химическими компонентами и механическими свойствами стали 110Г13Л является актуальной.

Анализ последних исследований и публикаций, где заложены основы решения данной проблемы. Уровень взаимосвязи между признаками стали, определяется коэффициентом парной корреляции $r_{(l)(b)}$, где l и b – номера признаков [9].

Для признаков сталей, измеренных в количественных шкалах, оценка коэффициента парной корреляции определяется следующим образом [5]:

$$r_{(l)(b)} = \frac{\sum_{x=1}^x (\sigma_{(l)} - \bar{\sigma}_{(l)}) (\sigma_{(b)} - \bar{\sigma}_{(b)})}{\sqrt{D(\sigma_{(l)}) D(\sigma_{(b)})}}, \quad (3)$$

где $\sigma_{(l)}$ и $\sigma_{(b)}$ - произвольно выбранные признаки стали из выборки объёмом $N \times (\rho + J)$, заданные индексами l и b . Например, $\sigma_{(l)} = \sigma_T$, $\sigma_{(b)} = [\text{Mn}]$; N – число информационных объектов;

ρ – количество рассматриваемых механических свойств стали;

J – количество химических компонентов в составе стали;

x – номер плавочного химического состава стали в выборке объёмом X ;

X – количество вариантов плавок. В рассматриваемом случае $N = X$;

$\bar{\sigma}_{(l)}$ и $\bar{\sigma}_{(b)}$ – математические ожидания [9] признаков стали. При нормальном законе распределения признаков величины $\bar{\sigma}_{(l)}$ и $\bar{\sigma}_{(b)}$ равны среднеарифметическим значениям

$$\bar{\sigma}_{(i)} = \frac{\sum_{x=1}^X (\sigma_{(i)x})}{X} \quad (4)$$

При этом оценка дисперсии i -го признака при объёме выборки X

$$D(\sigma_{(i)}) = \frac{\sum_{x=1}^X (\sigma_{(i)x} - \bar{\sigma}_{(i)})^2}{X} \quad (5)$$

В представленных формулах (3), (4) и (5) суммирование выполняется для заданной стали, представленной различными плавочными химическими составами, каждый из которых обозначен номером – x .

Если признаки стали $\sigma_{(i)}$ и $\sigma_{(b)}$ статистически линейно независимы, то их коэффициенты корреляции равны 0 и, наоборот, при линейной статистической зависимости характеристик с индексами i и b коэффициенты парной корреляции по абсолютным значениям близки к 1. Положительным значениям коэффициентов соответствует рост сравниваемых признаков. Отрицательным – снижение величины одного из них при возрастании другого. Таким образом, по знаку корреляционной связи можно судить о направленности воздействия признака на показатели качества стали.

После вычисления коэффициентов парной корреляции $r_{(i)(b)}$ между механическими свойствами - $\sigma_{(i)}$ и химическими компонентами - $x_{(j)}$, получаем обобщённую корреляционную таблицу [9] признаков стали, которая содержит обозначения признаков и состоит из 4-х матриц: $R(\sigma_{(i)}, \sigma_{(i)})$, $R(\sigma_{(i)}, x_{(j)})$, $R(x_{(j)}, \sigma_{(i)})$, $R(x_{(j)}, x_{(j)})$. Первая из них $R(\sigma_{(i)}, \sigma_{(i)})$ представляет собой корреляционную матрицу механических свойств. Её анализ выполнен в работе [5]. Вторая определяет связи между механическими свойствами $\sigma_{(i)}$ и химическими компонентами стали $x_{(j)}$. Эта матрица $R(\sigma_{(i)}, x_{(j)})$ идентична третьей $R(x_{(j)}, \sigma_{(i)})$, так как получается из неё путём транспонирования (замены местами строк и столбцов)

$$R(\sigma_{(i)}, x_{(j)}) = R(x_{(j)}, \sigma_{(i)})^T \quad (6)$$

Четвёртая $R(x_{(j)}, x_{(j)})$ определяет наличие взаимного влияния химических компонентов $x_{(j)}$, возникающего, видимо, ещё в процессе выплавки стали [9].

В обобщённой корреляционной таблице наиболее информативными являются две эквивалентные матрицы $R(\sigma_{(i)}, x_{(j)})$ (6), содержащие величины связи между механическими свойствами $\sigma_{(i)}$ и

химическими компонентами $x_{(j)}$. Их структура представлена в виде табл. 1 [9].

Таблица 1.

Корреляционная матрица химических компонентов и механических свойств / The correlation matrix the chemical components and the mechanical properties

$\sigma \backslash x$	$x_{(1)}$	...	$x_{(j)}$	...	$x_{(J)}$
$\sigma_{(i)}$	$r_{(i)(1)}$	...	$r_{(i)(j)}$	...	$r_{(i)(J)}$
...
$\sigma_{(i)}$	$r_{(i)(1)}$	...	$r_{(i)(j)}$	...	$r_{(i)(J)}$
...
$\sigma_{(p)}$	$r_{(p)(1)}$	...	$r_{(p)(j)}$	...	$r_{(p)(J)}$

Цель

Выполнить расчёт коэффициентов множественной корреляции компонентов химического состава и механических свойств высокомарганцевой аустенитной стали. Получить корреляционную матрицу показателей качества стали 110Г13Л. Проанализировать и сравнить уровни взаимосвязи между ними.

Методика

В работе использованы представления сталей в многомерном пространстве компонентов химического состава и механических свойств в виде точек, информационно наделённых всеми характеристиками и признаками металлоизделия [5, 7, 8, 9], а также представления о корреляции, как величине события наличия связи между рассматриваемыми признаками, определение которой базируется на методах, изложенных в работе [5, 9].

Материал исследования. Для выявления влияния отдельных химических элементов стали Гатфильда на отдельные механические свойства, в среде Excel выполнен корреляционный анализ данных 543 промышленных плавков.

Результаты

Рассчитана матрица коэффициентов множественной корреляции, на основе данных по 543 промышленным плавкам, представленная в табл. 2.

Изложение основного материала исследований. Исследование корреляционной матрицы проводили графическим методом, используя сравнение столбчатых диаграмм. При этом для каждого компонента стали (столбца матрицы) построена отдельная диаграмма, на которой произведено сравнение уровней коэффициентов множественной корреляции механических свойств с рассматриваемым элементом химического состава.

Располагая последовательно диаграммы, построенные для отдельных химических компонентов, то есть для каждого столбца матрицы, одну за другой, получили обобщенную диаграмму множественной корреляции признаков рассматриваемой стали (рис. 1).

Таблица 2.

Результаты множественного корреляционного анализа зависимости механических свойств от химического состава стали 110Г13Л / The results of the multiple correlation analysis of the mechanical properties depending on the chemical composition of the steel 110G13L

Признаки	C	Mn	Si	P	S
σ_B	0,1602	0,3715	-0,1608	0,1143	-0,0223
σ_T	0,1249	0,2262	-0,0969	0,3440	0,0621
δ_5	0,0291	0,3151	-0,2075	0,0867	-0,0561
ψ	-0,0705	0,1858	-0,1515	-0,0385	-0,0961
KCU	-0,0398	0,1659	-0,3065	0,0331	-0,1304

На рис. 1 представлено изменение коэффициентов корреляции механических свойств и компонентов стали 110Г13Л в зависимости от типа элемента химического состава.

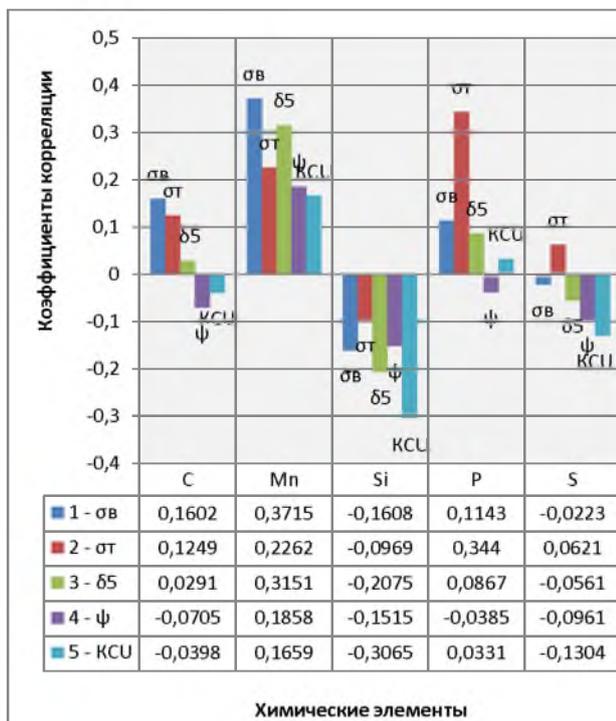


Рис. 1. Диаграмма множественной корреляционной связи химических компонентов с механическими свойствами стали 110Г13Л / Diagram of multiple correlation of chemical components with mechanical properties of steel 110G13L

Представление о связи заданных механических свойств с элементами химического состава даёт диаграмма, представленная на рис. 2. Она является

обратной диаграмме изображённой на рис. 1 и даёт дополнительные возможности анализа результатов.

Научная новизна и практическая значимость

Анализ диаграмм показывает, что повышение содержания углерода способствует значительному росту пределов прочности σ_B ($r_{(C)(\sigma_B)} = 0,16$) и текучести σ_T ($r_{(C)(\sigma_T)} = 0,12$), незначительному увеличению относительного удлинения δ_5 ($r_{(C)(\delta_5)} = 0,03$). Однако, при этом наблюдается снижение относительного сужения ψ ($r_{(C)(\psi)} = -0,07$) и ударной вязкости KCU ($r_{(C)(KCU)} = -0,04$). Изучение микроструктуры стали 110Г13Л показало, что эти закономерности связаны с увеличением объёмов выделения карбидов по границам зёрен [10].

Повышение содержания марганца оказывает существенное позитивное влияние на рост всех нормативных характеристик стали 110Г13Л ($r_{(Mn)(\sigma_B)} = 0,37$; $r_{(Mn)(\sigma_T)} = 0,23$; $r_{(Mn)(\delta_5)} = 0,32$; $r_{(Mn)(\psi)} = 0,19$; $r_{(Mn)(KCU)} = 0,17$). Такая закономерность связана с насыщением аустенитной матрицы, растворёнными в ней атомами марганца [11].

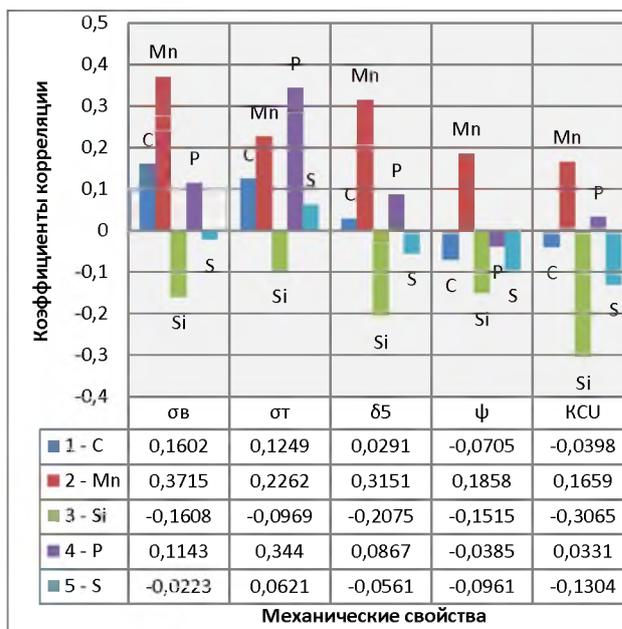


Рис. 2. Диаграмма множественной корреляционной связи механических свойств с химическими компонентами стали 110Г13Л / Diagram of multiple correlation of mechanical properties with the chemical components of steel 110G13L

Рост количества кремния в составе стали негативно влияет на весь комплекс приёмо-сдаточных механических свойств. При этом, особенно интенсивно, снижаются KCU, δ_5 , σ_B и ψ ($r_{(Si)(KCU)} = -0,31$; $r_{(Si)(\delta_5)} = -0,21$; $r_{(Si)(\sigma_B)} = -0,16$; $r_{(Si)(\psi)} = -0,15$). Менее выражена отрицательная связь Si с σ_T ($r_{(Si)(\sigma_T)} = -0,1$). Растворяясь в аустените, кремний вытесняет углерод на границы зёрен и способствует образованию карбидов. При этом также возрастает количество силикатов внутри аустенитных зёрен. Внедряясь в

кристаллическую решётку γ -Fe атомы кремния способствуют образованию однонаправленных ковалентных связей и создаёт некоторое количество ориентированных межатомных взаимодействий [12], что в целом снижает среднюю по всем кристаллографическим направлениям удельную энергию.

Увеличение количества фосфора в химическом составе стали Гатфильда повышает σ_b , σ_t , δ_5 и КСУ ($r_{(P)(\sigma_b)} = 0,1$; $r_{(P)(\sigma_t)} = 0,344$; $r_{(P)(\delta_5)} = 0,09$; $r_{(P)(КСУ)} = 0,03$). При этом незначительно снижается относительное сужение ψ ($r_{(P)(\psi)} = -0,04$). Заметное позитивное влияние фосфор оказывает на предел прочности и предел текучести ($r_{(P)(\sigma_b)} = 0,1$; $r_{(P)(\sigma_t)} = 0,344$). Растворяясь в матрице γ -Fe атомы фосфора способствуют повышению энергии дефектов упаковки, что снижает подвижность расщеплённых дислокаций [12, 13, 14].

Сера оказывает позитивное влияние только на предел текучести ($r_{(S)(\sigma_t)} = 0,07$). Повышение содержания S приводит к снижению всех иных механических свойств ($r_{(P)(\sigma_b)} = -0,02$; $r_{(P)(\delta_5)} = -0,05$; $r_{(P)(\psi)} = -0,1$; $r_{(P)(КСУ)} = -0,13$). Это вызвано образованием сульфидных включений внутри и на поверхности аустенитных зёрен [10].

Выводы

1. Получена матрица коэффициентов множественной корреляции химических компонентов и механических свойств стали 110Г13Л и выполнено их графическое сравнение при постоянных технологических параметрах существующего производства.
2. Сравнительный анализ коэффициентов корреляции показал, что позитивный вклад в повышение механических свойств оказывают: наибольший – марганец и наименьший – фосфор. Однозначное отрицательное влияние на механические свойства оказывает кремний. Сера оказывает незначительное позитивное влияние

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ / REFERENCES

1. Шрамко М. С., Малий А. В., Мироненко Н. Е. Оптимизация химического состава высокомарганцевой стали для деталей горнодобывающей промышленности // Процессы литья: Научно-технич. и производств. журнал.- Киев, 2005. - № 1 - С. 92-100.
- Shramko M. S., Malij A. V., Mironenko N. E. Optimization of the chemical composition of high-manganese steel parts for the mining industry // Casting Processes: Sci-tech. and productions magazine.- Kiev, 2005. - № 1 - P. 92-100.
http://ptima.kiev.ua/index.php?option=com_content&task=category§ionid=8&id=31&Itemid=56&lang=ru
2. Исследование влияния хрома на морфологию и состав карбидной фазы стали 110Г13Л/Металлургическая и горнорудная промышленность: Научно-технич. и производств. журнал.- Дн-вск, 2005. - № 6 - С. 28-30.
- Investigation of the effect of chromium on the morphology and composition of the carbide phase steel 110G13L //

только на предел текучести. Углерод повышает пределы прочности и текучести, но отрицательно влияет на относительное сужение и ударную вязкость.

3. Установлено, что на рост предела прочности и относительного удлинения положительно влияет увеличение в составе стали марганца, углерода, фосфора в пределах, допустимых нормативными документами. Снижение этих механических характеристик может быть вызвано увеличением количества кремния и серы в плавочном составе.
 4. Установлено, что на снижение предела текучести влияет только увеличение содержания кремния в плавочном составе стали. Остальные химические компоненты повышают значения этого показателя.
 5. Установлено, что ударная вязкость повышается только при росте количества марганца или фосфора в стали. Увеличение содержания углерода, кремния и серы снижают эти показатели качества.
 6. Корреляционный анализ влияния химических элементов на механические свойства показал, что в составе стали 110Г13Л количество углерода, кремния и серы должно быть минимизировано.
 7. Повышение содержания углерода снижает ударную вязкость и относительное сужение, поэтому может быть выполнено только при значительном снижении предела прочности.
 8. Содержание в стали марганца и фосфора может быть увеличено в пределах, допустимых нормативными документами и в соответствии с экономической целесообразностью их применения.
- Перспективы дальнейших исследований.*
Дальнейшие исследования будут направлены на применение разработанных методов для анализа влияния компонентов химических составов на механические свойства различных марок сталей, а также использования их при изучении различных процессов обработки металлоизделий.

Metallurgical and Mining Industry: Sci-tech. and productions. zhurnal.- Day-Su, 2005. - № 6 - P. 28-30.
<http://www.metaljournal.com.ua>

3. Большаков В. И., Юшкевич О. П. Определение и сравнение уровней вклада химических компонентов в комплекс механических свойств стали 110Г13Л//Металлургическая и горнорудная промышленность: Научно-технич. и производств. журнал.- Дн-вск, 2013. - № 6 - С. 34-38.

Bolshakov V. I., Yushkevich O. P. Identification and comparison of levels of contribution of chemical components in complex mechanical properties of steel 110G13L // Metallurgical and Mining Industry: Sci-tech. and productions. zhurnal.- Day-Su, 2013. - № 6 - P. 34-38.
<http://www.metaljournal.com.ua>

4. Большаков В. И., Юшкевич О. П. Оценка параметров вклада химического состава в механические свойства стали 110Г13Л//Металлургическая и горнорудная промышленность: Научно-технич. и производств. журнал.- Дн-вск, 2014. - № 5 - С. 34-38.

Bolshakov V. I., Yushkevich O. P. Parameter estimation contribution to the chemical composition, mechanical

properties of steel 110G13L // Metallurgical and Mining Industry: Sci-tech. and productions. zhurnal.- Day-Su, 2014. - № 5 - P. 34-38.
<http://www.metaljournal.com.ua>

5. Юшкевич О. П. Анализ независимости признаков вектора описания марочного сортамента металлопроката. Металознавство та термічна обробка металів/Наук. та інформ. журнал, ПГАСА. - Днепропетровск, 2006. - № 3.

Yushkevich O. P. Analysis independence signs vector description Grades rolled metal. Metaloznavstvo that termichna obrobka metaliv / Sciences. that inform. magazine PGASA. - Dnepropetrovsk, 2006. - № 3.
http://pgasa.dp.ua/a/international%14conferences/inovacacii/archive/vipusk_59_2006.pdf

6. Иберла К. Факторный анализ / Пер.с нем. В.М. Ивановой; Предисл. А.М. Дуброва.- М.: Статистика, 1980.- 398с.,- ил. - (Математико-статистические методы за рубежом).

Iberl K. Factor analysis / per.s it. VM Ivanova; Pre. AM Dubrova.- M.: Statistics, 1980.-398s., - Ill. - (Mathematical and statistical methods abroad).
<http://padaread.com/?book=39746>

7. Юшкевич О. П. Модель представления комплексного показателя качества сталей до и после термической обработки. Теория и практика металлургии/Общегосударственный научно-технический журнал. АИНУ. Днепропетровск, - 2011. - № 3-4.

Yushkevich O. P. model representation of the complex index of quality steels before and after heat treatment. Theory and practice of metallurgy / national scientific and technical journal. AINU. Dnepropetrovsk, - 2011. - № 3-4.

http://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe

8. Большаков В. И., Юшкевич О. П. Модель интегрального показателя качества в системе аналитического описания сталей. Новини науки Придніпров'я /Наук.-практ. журнал, ДВНЗ ПДАБА. - Днепропетровск, 2012. - № 2.

Bolshakov V. I., Yushkevich O. P. Model integrated indicator of quality in the analytical description of steels. Science News Pridniprova /Nauk.-prakt. magazine DVNZ PDABA. - Dnepropetrovsk, 2012. - № 2.

http://www.library.univ.kiev.ua/ukr/elcat/new/detail.php3?doc_id=939238

9. Большаков В. И., Юшкевич О. П. Разработка методов расчёта весовых коэффициентов влияния элементов химического состава на качество стали / Металознавство та термічна обробка металів: Науков. та інформ. журн./ ПДАБтаА. – Дн-вськ.- 2013.-№ 1.

Bolshakov V. I., Yushkevich O. P. Development of methods for calculating the weighting coefficients and generalized performance steel / Metaloznavstvo that termichna obrobka metaliv: Science. that inform. Zh. / PDABtaA. - Day-vsk.- 2013.-№ 1.

http://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe

http://pgasa.dp.ua/a/international%11conferences/inovacacii/archive/vipusk_22_2003.pdf

10. Металлургия высокомарганцевой стали /М. И. Гасик, Ю. В. Петров, И. А. Семёнов, А. Р. Садовник, О. И. Поляков, И. Я. Якубцов, Ю. С. Пройдак – К.: Техника, 1990.- 136 с.

Metallurgy manganese steels /M. I. Gasik, Yu. V. Petrov, I. A. Semënov, A. R. Sadovnik, O. I. Polyakov, I. Ya. Yakubtsov, Yu. S. Proydak - K.: TECHNIK, 1990.- 136 p.
http://books.zntu.edu.ua/book_info.pl?id=161697

11. Моделирование характеристик эксплуатационной стойкости крестовин стрелочных переводов из высокомарганцевистой стали/Гасик М. И., Семенов И. А., Юшкевич О. П., Овчарук А. Н., Пройдак Ю. С. // Проблемы специальной электрометаллургии. - 2002. - №1. - С. 40-43.

Modeling the characteristics of operational stability frogs switches from high-manganese steel / Gasik M. I., Semenov I. A., Yushkevich O. P., Ovcharuk A. N. Proydak J. S. // Problems of special metallurgy. - 2002. - №1. - С. 40-43.

<http://patonpublishinghouse.com/rus/journals/sem/2002/01>

12. Chumlyakov Ju.I. Strain hardening in sinle crystals of Hadfield steel / Ju. I. Chumlyakov, I. V. Kireeva, E. I. Litvinova // Physics of Metals and Metallography. 2000. - V.90. - Suppl.1. - P.S1-S17.

<http://www.springer.com/materials/special+types/journal/11508>

13. Christian J. W. Deformation on twinning / J. W. Christian, S. Mahajan // Progress in Material Sciencs. 1995. - V.39. - P. 1-157.

<http://www.journals.elsevier.com/progress-in-materials-science/>

14. Narita N. Deformation twinning in f.c. and b.c.c. metals / N. Narita, J. Takamura//Dislokation in Solids. 1992.-V.9.- P.135-189.

<http://www.ebooks-share.net/dislocations-in-solids-volume-9-attribute-to-f-r-n-nabarro>

15. Owen W. S. Strain aging of austenitic Hadfield manganese steel / W. S. Owen, M. Grujicic // Acta Mater. 1999. - B.47. - №1. - P. 111-126.

<http://www.journals.elsevier.com/acta-materialia>

Статья рекомендована к публикации д-ром. техн. наук. В.С. Вахрушевой (Украина), д-ром. техн. наук. Н. Е. Калининой

Поступила в редколлегию 24.01.2015

Принята к печати 24.03.2015