

УДК 621.771.252:669.15–194.2

А.С.Козачёк, О.В.Луценко, Э.В.Приходько, Л.А.Головко

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО СОСТАВА НИЗКОУГЛЕРОДИСТОЙ КАТАНКИ

Ускорение научно-технического прогресса в металлургии приводит к необходимости более глубокого изучения закономерностей формирования структуры и свойств многокомпонентных сталей. Разработки новых теоретических и нестандартных эмпирических подходов, позволяют решать прикладные и научные задачи, в том числе прогнозировать свойства готового проката. В работе предлагается метод оценки влияния химического состава на механические свойства сталей.

состав стали, свойства стали, интегральные физико – химические параметры.

Состояние вопроса. При анализе влияния состава сталей и сплавов на их свойства все возрастающее значение приобретает выявление роли малых концентраций легирующих, микролегирующих и примесных компонентов. В их число входят как вредные примеси, так и полезные добавки. Соответственно повышается параметричность моделей и снижается точность прогнозов следствий этого процесса при использовании традиционных статистических методов анализа комплексного влияния состава на свойства. Разработка методики, позволяющей оценивать влияние как группы элементов, так и каждого элемента в отдельности стала на повестке дня.

Целью работы является разработка методики описания полного химического состава стали и составляющих ее подсистем (матричной, легирующей и примесной) как химически единой системы на языке сочетания интегральных физико-химических параметров.

Методика исследования. Многопараметрическое решение поставленной задачи обусловлено многокомпонентностью состава стали (C, Si, Mn, Cr, V, Ni, Cu, Al, P, S, Sb, As, Fe). В ИЧМ для решения поставленной задачи используется полуэмпирический подход, который базируется на применении представлений и математического аппарата прикладной теории направленной химической связи [1,2]. На ее основах разработаны модели структуры многокомпонентных металлических [3,4] расплавов, определены физико-химические критерии, характеризующие микронеоднородность их строения [5], заложены основы методологии оценки и учета эффективности комплексного легирования сплавов [6].

Методика физико-химического моделирования структуры металлических расплавов и продуктов их кристаллизации включает:

- расчет химического эквивалента (Z^Y) и всех сопутствующих физико-химических критериев (d , $tg\alpha$) для полного химического состава стали или расплава;

- расчет тех же критериев для заданного состава за исключением железа (Fe) и определение общего числа (в ат. долях) легирующих, микролегирующих и примесных компонентов (n_i);

На основе факторного анализа [7] с учетом выделенных интегральных параметров и соответствующей группировки компонентов состава стали многокомпонентная система структурируется на подсистемы:

а) матричная подсистема ([C] + [Mn] + [Si]) с определением (Z_m^Y) суммы этих компонентов (N_m) в ат. долях;

б) легирующая подсистема (Z_l^Y) с определением N_l в ат. долях;

в) примесная подсистема включает, как вредные примеси (серу, фосфор, азот), так и полезные тугоплавкие металлы, например ванадий, молибден, ниобий и титан (Z_{pr}^Y) с определением N_{pr} .

При таком подходе влияние примесно-легирующей и матричной подсистемы оценивается комплексно через физико-химические критерии (химические эквиваленты).

В дальнейшем вышепредставленные критерии используются как параметры для создания моделей прогнозирования механических свойств низкоуглеродистой катанки SAE 1008 диаметром производства РУП «Белорусский металлургический завод».

$$\sigma_B = -2876 + 3094 \times Z^Y - 281 \times Z_m^Y + 98 \times Z_L^Y$$

Изложение основных результатов исследования.

Многокритериальность решения задачи оптимизации связана с достижением соответствующих механических свойств [8]. Программная реализация задач разработана в ИЧМ НАНУ под руководством проф. Д.Н. Тогобицкой и сводится к следующему.

Выбор элементов химического состава стали. Система обеспечивает широкий охват элементов таблицы Менделеева. Кадр ввода состава стали (C, Si, Mn, Cr, Cu, Ni, Fe) показан на рис. 1.

Формирование системы ограничений. Для отмеченных в окне составов автоматически формируется система ограничений в соответствии с интерфейсом ввода.

Структуризация общего состава на подсистемы – матричная, легирующая, примесная и т.д. и формирование матрицы ограничений на интегральные параметры межатомного взаимодействия Z_i^Y, d_i, N_i .

Сквозная оптимизация конкретного состава стали в соответствии с наложенными ограничениями осуществляется в соответствии с описанными выше алгоритмами многопараметрической оптимизации с выдачей рекомендуемых результатов в виде выходного документа, представленного на рис. 2.

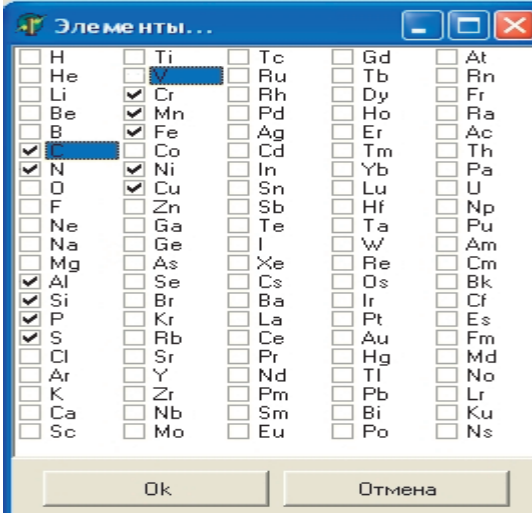


Рис.1. Кадр выбора элементов химического состава стали.

stal

Файл Редактировать Расчет по модельным параметрам Рекомендация по химсоставу Графический анализ

stal

Элемент	Подсистемы	Мин	Макс	Среднее	Рекоменд
C	.stal.Zum	0.0651	0.0980	0.0816	0.0733
N	.stal	0.0083	0.0115	0.0099	0.0083
Al	.stal	0.0002	0.0094	0.0048	0.0002
Si	.stal.Zum	0.1192	0.2774	0.1983	0.1458
P	.stal	0.0052	0.0219	0.0136	0.0052
S	.stal	0.0125	0.0383	0.0254	0.0125
Cr	.stal.Zul	0.0398	0.1550	0.0974	0.0412
Mn	.stal.Zum	0.3922	0.4790	0.4356	0.4330
Ni	.stal.Zul	0.0832	0.2830	0.1831	0.1367
Cu	.stal.Zul	0.1695	0.2990	0.2343	0.1772
Fe	.stal	98.3275	99.1048	98.7162	98.5827

Подсистема	Z _{мин}	Z _{макс}	D _{мин}	D _{макс}	TG _{мин}	TG _{макс}
stal	1.1652	1.1749	2.8035	2.8105	0.0881	0.0882
Zum	1.7640	1.7760	2.0018	2.1078	0.0947	0.0977
Zul	1.5260	1.6120	2.8294	2.8566	0.0981	0.1086

Подсистема	Z _{оптим}	Z _{Грек x/c}	D _{оптим}	D _{Грек x/c}	TG _{оптим}	TG _{Грек x/c}
stal	1.1732	1.1663	2.8063	2.8097	0.0882**	0.0882
Zum	1.7688	1.7640	2.0508	2.0727	0.0961	0.0959
Zul	1.6960**	1.5755	2.8303	2.8473	0.1032	0.1071

Модель: ОЦК

Значения, отмеченные "звездочками", выходят за пределы заданного интервала.

Рис.2. Кадр выходного документа решения

Для исследования влияния химического состава на механические свойства стали SAE 1008 использована методика построения карт поверхностей с высоким порядком.

На представленном рис.3 показано влияние параметров зарядового состояния (Z^Y) для легирующей (Cr, Ni, Cu) и матричной подсистем на временное сопротивление. Ограничения по параметрам, соответствующие заданному уровню свойств, приведены в табл.1. В табл.1 приведены допустимые диапазоны концентраций компонентов и модельных параметров, в пределах которых ведется поиск оптимальных значений механических свойств катанки из стали SAE 1008.

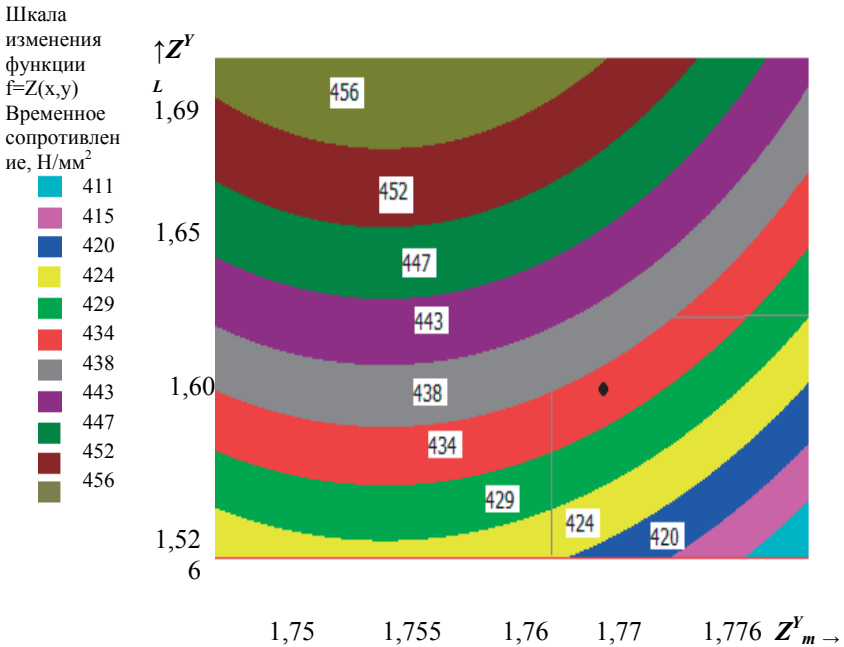


Рис.3. Карта поверхности для временного сопротивления в зависимости от параметров межатомного взаимодействия матричной и легирующей подсистем, для катанки из стали SAE 1008 производства РУП «БМЗ»

В табл.2 приведены результаты расчета по разработанной программе «Оптимизация» оптимальных концентраций компонентов и соответствующие результатам этого расчета сочетания модельных параметров, обеспечивающих требуемый уровень временного сопротивления $\sigma_b = 435 \text{ Н/мм}^2$

Таблица 1. Диапазоны допустимых концентраций компонентов и модельных параметров для SAE 1008

Подсистема	Эл-т	Уд. вес. %		Ограничения на модельные параметры
		<i>min</i>	<i>max</i>	
M	C	0,07	0,098	$Z_m^Y=1,764-1,776$ $d_m=2,0-2,11$ $N_m=0,018-0,024$
	Si	0,11	0,28	
	Mn	0,39	0,47	
L	Cr	0,03	0,16	$Z_L^Y=1,526-1,612$ $d_L=2,82-2,86$ $N_L=0,005-0,01$
	Ni	0,08	0,28	
	Cu	0,17	0,3	

Таблица 2. Оптимальный состав и модельные параметры взаимодействия для SAE 1008

Эл-т	Уд. вес. %		Оптимальные модельные параметры
	базовое	оптим.	
C	0,08	0,073	$Z_m^Y=1,768$
Si	0,19	0,146	
Mn	0,44	0,433	
Cr	0,07	0,041	$Z_L^Y=1,611$
Ni	0,13	0,137	
Cu	0,24	0,177	

Выводы. Предложена методика, суть которой заключается в описании полного химического состава и составляющих его подсистем (матричной, легирующей и примесной) как химически единой системы на языке сочетания интегральных физико-химических параметров. В качестве критериев оптимизации используются не значения механических свойств, а модельные параметры. Накладывая соответствующим образом ограничения на диапазон колеблемости этих параметров, можно добиться определенной внутренней структуры информации о составе сплава, которая, в свою очередь, обеспечит те или иные свойства металлопродукции.

Получены ограничения по модельным параметрам для матричной Z_m^Y 1.764-1.776 и легирующей подсистем Z_L^Y 1,526-1,612, что соответствует значениям временного сопротивления не более 435 Н/мм², а также оптимальное содержание химических элементов для стали SAE 1008, не выходящие за пределы допустимых значений нормативной документации, %: C=0,073, Si=0,146, Mn=0,433, Cr=0,041, Cu=0,177, Ni=0,137, P=0,0052, S=0,0125, Al=0,0002.

1. *Приходько Э.В.* Металлохимия многокомпонентных систем. – М.: Металлургия, 1995. – 320 с.
2. *Приходько Э.В.* Методика определения параметров направленного межатомного взаимодействия а молекулярных и кристаллических соединениях. // *Металлофизика и новейшие технологии*, 1995. – Т.17. – № 11. – С.54-62
3. *Приходько Э.В., Петров А.Ф.* Влияние параметров направленного межатомного взаимодействия на термодинамические свойства металлических расплавов. // *Процессы литья*. – 1995. – №1. – С.26–38.
4. *Приходько Э.В., Гармаш Л.И.* Влияние параметров направленной химической связи в расплавах на структуру и свойства кристаллизующихся соединений // *Расплавы*. – 1996. – №2. – С.62–68.
5. *Приходько Э.В., Петров А.Ф.* Физико-химические критерии для оценки степени микронеоднородности металлических расплавов // *Металлофизика и новейшие техноогии*, 1998.- т.20. - №7. – С.64-74
6. *Приходько Э.В.* Эффективность комплексного легирования сталей и сплавов. – К.: Научная мысль, 1995. –292.
7. *Информационно – математическое обеспечение оценки Влияния химического состава на свойства готового проката.* / Э.В.Приходько, Д.Н.Тогобицкая, А.С.Козачёк, В.Г.Раздобреев, Л.А.Головко. // *Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ.* – Выпуск 3 (68). – Днепрпетровск, 2010. – С.33-39.
8. *Приходько Е.В., Тогобицька Д.М., Козачок О.С.* Інформаційно-аналітична система стабілізації властивостей прокату // *Металознавство та обробка металів*. – Киев. – 2011. -№1. – С.39–43.

*Статья рекомендована к печати
проф., докт.техн.наук Тогобицкой Д.Н.*

О.С.Козачек, О.В.Луценко, Е.В.Приходько, Л.А.Головко

Вибір оптимального складу низьковуглицевої катанки

Прискорення науково-технічного прогресу в металургії приводить до необхідності глибшого вивчення закономірностей формування структури і властивостей багатокомпонентних сталей. Розробки нових теоретичних і нестандартних емпіричних підходів, дозволяють вирішувати прикладні і наукові задачі, зокрема прогнозувати властивості готового прокату. У роботі пропонується метод оцінки впливу хімічного складу на механічні властивості сталей.