

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

ВЛИЯНИЕ СТЕПЕНИ ЛЕГИРОВАНИЯ НА ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ

Институт черной металлургии НАН Украины

Показана закономерность изменения механических свойств конструкционных сталей от степени их легирования. В ходе проводимого расчетно-аналитического исследования выявлены закономерности влияния концентраций легирующих элементов на показатели прочностных свойств конструкционных сталей на основе параметров межатомного взаимодействия. В работе предлагается методика оценки влияния легирующих элементов в сталях в терминах указанных параметров.

Ключевые слова: стали, состав, свойства, параметры межатомного взаимодействия.

Состояние вопроса. Эксплуатационные свойства конструкционных сталей определяются сочетанием значений следующих характеристик: прочности, пластичности, усталостной прочности, вязкости разрушения и других. Наименее благоприятное сочетание указанных свойств в углеродистой стали, так как повышение прочности по мере увеличения содержания углерода сопровождается закономерным снижением пластичности, вязкости разрушения при комнатной и отрицательной температурах и ряда других характеристик. Формирование требуемого сочетания эксплуатационных свойств достигается легированием элементами, обеспечивающими уменьшение структурной неоднородности стали, повышение прочностных свойств твердого раствора и степени дисперсионного упрочнения металла [1]. Однако авторы [2] подчеркивают, что процессы упрочнения, разупрочнения, статистической и динамической рекристаллизации, выделения вторичной фазы при осуществлении деформации по различным режимам термомеханической обработки могут привести к образованию разнородной или однородной структуры разной степени устойчивости, и учесть это пока не представляется возможным.

До сих пор в теории и практике легирования остается открытым вопрос о связи степени легирования сталей с обеспечением необходимого комплекса свойств. Это относится, в частности, к оценке роли попутных примесных элементов, таких как сочетание V, Ti, Nb и Mo. Согласно данным работ [3, 4] легирующие элементы по эффективности упрочнения находятся в следующей последовательности: Ni, Si, Mn, Cr, Mo, C, N, V. По эффективности упрочнения твердого раствора и степени снижения пластичности легирующие элементы располагаются в ряд: Cr, Mo, Mn, Ni, Si. По своему индивидуальному вкладу в оптимальное сочетание прочностных и пластических свойств конструкционных сталей легирующие элементы располагаются примерно в последовательности: Si,

Cr, Mn, V, Ni, Mo. Упомянутые последовательности расположения свойств элементов при раздельном (одинарном) легировании не могут использоваться для оценки эффективности многокомпонентных легирующих систем, которая существенно зависит от соотношения концентрации компонентов межкристаллитных зон, в которых, в основном, происходят процессы внутренней адсорбции атомов гидрофильных элементов. Как видно из этого обсуждения, авторы [5, 6] практически пришли к пониманию того обстоятельства, что исследование закономерностей формирования свойств легированных сталей следует начинать с изучения их состояния в расплавленном виде.

Целью проводимого расчетно-аналитического исследования является выявление закономерностей влияния концентраций легирующих элементов на показатели прочностных свойств стали.

Изложение основных результатов исследования. В предложенной нами схеме деления состава стали на матричный, легирующий, микролегирующий и примесный комплексы есть много дискуссионных вопросов. Отказ от деления элементов на группы в зависимости от образования ими с железом растворов внедрения или замещения выглядит нелогичным только в том случае, если речь будет идти об идеальных твердых растворах, в которых роль границ и сегрегаций может каким-либо образом оцениваться по аддитивным схемам.

В работах [3, 4] авторы дали качественную оценку эффективности различных сочетаний легирующих элементов, расположив эти системы в следующем порядке нарастания: 1) Mn-Si; 2) Mn-Si-Cr; 3) Cr-Ni; 4) Cr-Mo и 5) Cr-Ni-Mo. Используя этот прогноз нами проведен вычислительный эксперимент. Состав легирующей системы (в вес. %) был представлен в виде матрицы (табл.1), составленной по принципу равных концентраций легирующих как в упомянутых, так и в иных вероятных комбинациях. Замыкает этот ряд система Cr-Ni-Mo-V [4].

Относительную активность легирующих компонентов определили как параметр Z^Y/N , где Z^Y - химический эквивалент исследуемой стали, параметр N характеризует количество атомов в расплаве [7]. Анализ этих расчетов показал, что относительная химическая активность комплекса полностью совпадает с качественной оценкой авторов работ [3, 4] для упомянутых систем (от системы Mn-Si до системы Cr-Ni-Mo идет монотонное нарастание отношения Z^Y/N от 0,616 до 1,46 е/ат) с перегибом для шестой системы Cr-Ni-Mo-V, для которой Z^Y/N равно 1,42.

Такая конкретизация, не реализуемая при других методических подходах, создает принципиально новые предпосылки для оценки эффективности комплексного микролегирования. Из других данных табл.1 заслуживают внимания результаты расчетов для комплекса Cr-Mo-V (тчк.9 в табл.1): самое высокое значение Z^Y/N объясняет целесообразность использования в качестве общей легирующей основы составов сварочных проволок сочетание Cr-Mo-V [6].

Таблица 1. Состав и металлохимические параметры легирующих комплексов

№ п/п	Химический состав, вес. %						Модельные параметры		
	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	V	Z^Y, e	$N, ат. \%$	Z^Y/N
1	50	50	-	-	-	-	1,658	2,69	0,616
2	33	33	34	-	-	-	2,038	2,431	0,838
3	-	-	50	50	-	-	1,842	1,813	1,016
4	-	-	50	-	50	-	2,380	1,943	1,225
5	-	-	33	33	34	-	2,265	1,551	1,460
6	-	-	25	25	25	25	2,360	1,658	1,423
7	33	33	-	34	-	-	1,765	2,355	0,749
8	-	33	33	-	34	-	2,172	2,164	1,004
9	-	-	33	-	33	34	2,484	1,646	1,509
10	33	-	-	-	33	34	2,306	1,612	1,430

Таблица 2. Состав и металлохимические параметры микролегирующих комплексов

№ п/п	Химический состав, вес. %						Модельные параметры		
	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	V	$d, 10^{-1} мм$	Z^Y, e	Z^Y/N
1	25	75					2,3439	1,5633	0,498
2	50	50					2,4967	1,7382	0,616
3	75	25					2,6542	1,6233	0,719
4	30	35	35				2,6146	2,1298	0,86
5	20	20	60				2,7028	2,1047	0,94
6	60	20	20				2,7162	1,9641	0,89
7	20	60	20				2,4612	1,9067	0,66
8			25	75			2,8161	1,5274	0,87
9			50	50			2,8125	1,8263	1,016
10			75	25			2,8279	1,8217	0,98
11			25		75		3,0492	2,3661	1,88
12			50		50		3,0020	2,4986	1,69
13			75		25		2,9555	2,2150	1,32
14			30	30	40		2,9286	2,4005	1,59
15			40	30	30		2,9101	2,3621	1,51
16			60	40	30		2,9006	2,2849	1,06
17			25	25	25	25	2,9412	2,4408	1,47
18			20	20	20	40	2,9551	2,3819	1,38
19			40	20	20	20	2,9289	2,4325	1,42
20			20	40	20	20	2,9148	2,2663	1,36
21			20	20	40	20	2,9682	2,5158	1,64

Очевидно, что соотношение концентраций разных легирующих элементов в рассматриваемых композициях может существенно

изменяться, что отразится и на значениях Z^Y (а оно максимально у эквиатомной системы Cr-Mo-V). Учитывая это обстоятельство, выборка исходных данных для каждой композиции изменялась в широких пределах (табл.2). Как следует из приведенных в табл.2 данных, сочетание модельных параметров в пределах каждой системы микролегирования варьируется в широких пределах. В то же время при любых соотношениях концентраций первые три комплекса существенно уступают средним и двум последним. При такой оценке следует судить не только по величине Z^Y , но и по его сочетаниям со структурным эквивалентом состава, характеризующим среднее межъядерное расстояние между атомами исследуемого расплава - d (у наиболее перспективных, по данным [9], композиций значения d_o больше, чем у рядовых) (рис.1).

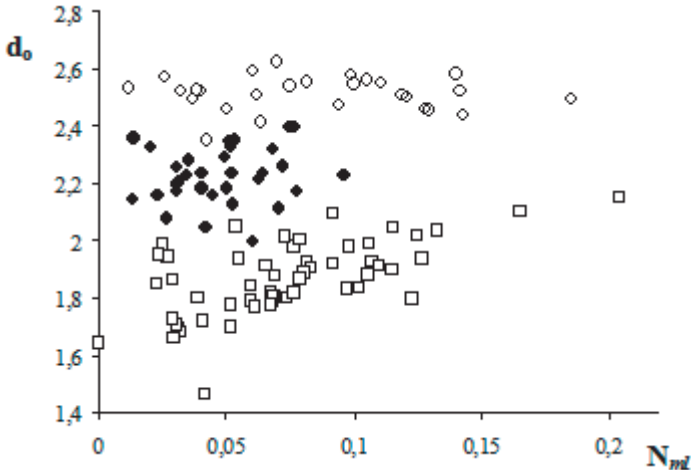


Рис.1. Соотношение между параметром d_o общего легирующего комплекса и содержанием легирующих компонентов (O - Ni-Cr-Mo-V содержащие; ● - среднелегированные; □ - бейнитно-мартенситные)

Растворение легирующих добавок происходит на атомном уровне. Оно изменяет параметры атомно- кристаллической решетки основы. Растворение легирующих элементов всегда повышает характеристики прочности сплава – твердость, временное сопротивление и предел текучести. Чем больше атомов легирующей добавки растворено в основе, тем выше показатели прочности. Предлагаемый метод оценки эффективности комплексного легирования по параметру Z^Y/N представляется перспективным для прикладного материаловедения. Иллюстрация этого служит представленная на рисунке 2 зависимость предела прочности для низкоуглеродистых, углеродистых и легированных конструкционных сталей производства ОАО «АрселорМитталСтилл» Кривой Рог и РУП «БМЗ».

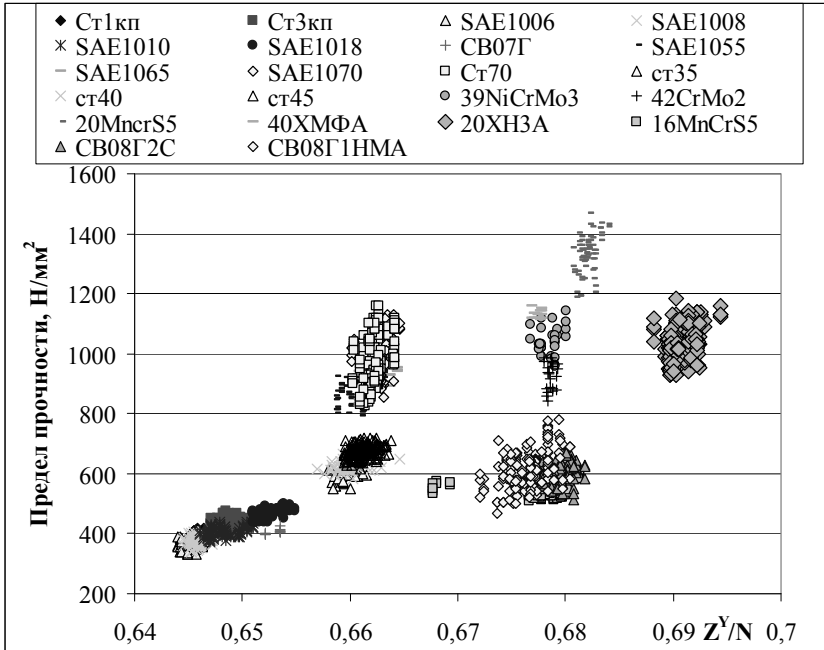


Рис.2. Зависимость предела прочности от параметра Z^Y/N для конструкционных сталей различного назначения.

Параметр Z^Y/N позволяет комплексно описывать вклад легирующих в прочностные свойства сталей. Опираясь на показатели параметра становится возможен выбор оптимального соотношения легирующих добавок для получения заданного уровня свойств.

Заключение. В ходе проведенного исследования получены следующие результаты:

Предложен метод оценки степени легирования сталей различного назначения, что наглядно демонстрируется рис.2. Подтверждено, что зависимость прочности от концентрации растворяемой добавки имеет нелинейный характер.

С помощью параметра Z^Y/N обосновано целесообразность использования сочетания Ст-Мо-V в качестве общей основы для сварочных проволок.

1. Устиновичков Ю.И. Вторичное твердение конструкционных легированных сталей. – М. Металлургия, 1982. – 127 с.
2. Келли А.П., Наттинг Д. Механизмы упрочнения стали// Высокопрочная сталь. М. : Металлургия, 1965. – С. 24–37.
3. Бабаскин Ю.З., Шипицын С.Я., Афандиянц Е.Г. Экономное легирование стали. –К.: Наукова думка. –1987. –185 с.

4. *Бабаскин Ю.З., Шипицын С.Я., Кирчю И.Ф.* Конструкционные и специальные стали с нетридной фазой. –К.: Наукова думка. –2005. –372 с.
5. *Еришов Г.С., Бычев О.Б.* Физико-химические основы рационального легирования сталей и сплавов. –М.: Металлургия. –1982. –360 с.
6. *Гуляев Б.Б., Камышанченко Н.В., Неклюдов И.М.* Структура и свойства сплавов. –М.: Металлургия. –1993. –317 с.
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). – Днепропетровск, 2010. – С.33–39
8. *Касаткин Б.С., Мусияченко В.Ф.* Низколегированные стали высокой прочности для сварных конструкций. –К.: Техника. –1970. –200 с.
9. *Фридман З.Г., Марьяновская Т.С.* Высокопрочная сталь. Пер. с англ. – М.: Металлургия. –1965. – 255 с.

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

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

Вплив ступені легування на міцні властивості конструкційних сталей.

Показано закономірність зміни механічних властивостей конструкційних сталей від ступеня їх легування. У ході проведеного розрахунково -аналітичного дослідження виявлено закономірності впливу концентрацій легуючих елементів на показники механічних властивостей конструкційних сталей на основі параметрів міжатомної взаємодії . У роботі пропонується методика оцінки впливу легуючих елементів в сталях в термінах зазначених параметрів.

Ключові слова: сталь, склад, властивості, параметри міжатомної взаємодії .

A.S.Kozachek, E.V.Prihodko, V.A.Lutsenko, L.A.Golovko

Influence of doping level on the strength properties of structural steels

The paper shows the pattern of change of the mechanical properties of structural steels of the degree of doping. The ongoing computational and analytical studies revealed patterns of influence of the concentration of alloying elements on the performance of strength properties of structural steels based on the parameters of the interatomic interaction. This work offers a method of estimating the influence of alloying elements in steels in terms of these parameters.

Keywords: steel, composition, steel properties, the parameters of the interatomic interaction .