

Э.В.Приходько, Л.А.Головко, И.П.Федорова

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДЕЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ УРОВНЯ
КОМПЛЕКСНОГО ЛЕГИРОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ВЕЛИЧИНЫ
АУСТЕНИТНОГО ЗЕРНА СТАЛЕЙ**

Институт черной металлургии НАН Украины

Предложены модели для расчёта величины аустенитного зерна на основе параметров, характеризующих матричную и легирующую подсистемы сталей.

Одним из факторов, определяющих основные механические свойства металлопродукции, является величина зерна стали. Формирование зерен происходит при высоких температурах, когда металл находится в аустенитном состоянии и величина зерен почти полностью определяет размер зерна стали. Поэтому изучению проблемам роста аустенитного зерна посвящено много публикаций.

Наилучший комплекс механических и технологических свойств у конструкционных сталей достигается чаще всего при малых размерах вторичного аустенитного зерна [1]. Чем меньше вырастет в процессе термической обработки зерно аустенита, тем ниже при прочих равных условиях оказывается положение порога хладноломкости стали, тем меньше проявляется склонность к обратимой отпускной хрупкости, тем выше сопротивление стали отрыву, тем более надежно будут противостоять детали, изготовленные из такой стали, хрупким разрушениям.

Анализ первичной информации, полученной и использованной авторами работы [2] в опубликованном ими варианте, свелся к статистической обработке экспериментальных данных об изменении величины зерна аустенита в сталях в зависимости от температуры и состава стали. Из общего массива данных нами было выделено шесть групп составов, анализ результатов исследования которых позволяет судить о влиянии таких легирующих элементов, как Mo, Cr, V, W, Ti и Nb на исследуемый параметр. Ниже приведены результаты анализа рассмотренной выше части опытных данных [2] с классических металловедческих позиций. Визуальный анализ показывает следующее.

Увеличение содержания Cr ведет к увеличению размера зерна (табл.1). Этот эффект снижается при совместном легировании хромом и молибденом (Mo усиливает мелкозернистость).

1. По сравнению с хромом увеличение содержания Mn приводит к измельчению зерна. Этот эффект усиливается в присутствии Mo.

2. Положительное влияние Mo на измельчение аустенитного зерна

сказывается при легировании им выше 0,56% (до 1,64%) и особенно усиливается в присутствии $Mn > 1\%$ и $Cr > 1\%$.

3. При исследовании влияния V из общей закономерности выпадают сплавы с повышенным содержанием Mn (1,02%, Cr (1,04%) и Mo (0,46%). Особенно заметно отрицательное влияние (способствует росту) молибдена при содержаниях $V > 0,20\%$. Для измельчения зерна аустенита в рассмотренных композициях целесообразно легирование ванадием от 0,01 до 0,30%.

4. В рассмотренных сплавах целесообразно легирование титаном в пределах от 0,02% до 0,09% (не выше 0,1). Влияние Mn, Cr и Mo в исследованных пределах практически не оказывает влияния на эффект измельчения аустенитного зерна при добавках Ti в указанных пределах.

5. Влияние Nb на величину зерна (при наличии Cr) неоднозначно. Если исключить состав с Nb=0,08%, то можно утверждать, что увеличение содержания Nb способствует укрупнению зерна аустенита независимо от содержания Cr (0,32% или 1%). Для его измельчения целесообразно легирование ниобием от 0,2 до 0,5% независимо от наличия Cr (до 1%) и Mn (до 0,95%).

6. Легирование вольфрамом способствует измельчению зерна. Совместно с Mo эта тенденция усиливается. Целесообразно легирование вольфрамом выше 0,5% (до 1,65%) при исследованных содержаниях Mn (от 0,3 до 0,95%), Cr (0,32%) и Mo (16%).

Очевидно, что такой анализ при комплексном легировании является весьма поверхностным и неоднозначным. Ясно, что влияние любого элемента должно рассматриваться как переменная величина, зависящая от концентраций остальных компонентов. Именно эта идея реализована в первом приближении в результатах проведенного исследования.

Таблица 1. Химсостав сталей, легированных хромом.

№ п/п	Вес. %						
	<i>C</i>	<i>Mn</i>	<i>Si</i>	<i>Al</i>	<i>Mo</i>	<i>Cr</i>	<i>Fe</i>
1	0,3	0,38	0,23	0,03	—	2,81	ост.
2	0,3	0,38	0,23	0,03	—	1,50	ост.
3	0,3	0,95	0,23	0,03	—	2,74	ост.
4	0,3	1,02	0,23	—	0,46	2,98	ост.
5	0,3	0,95	0,23	0,03	—	1,00	ост.
6	0,3	0,38	0,23	0,03	—	0,32	ост.
7	0,3	0,95	0,23	0,03	—	1,87	ост.
8	0,3	1,02	0,23	—	0,46	2,07	ост.
9	0,3	0,38	0,23	0,03	—	0,88	ост.
10	0,3	1,02	0,23	—	0,46	1,04	ост.

В отличие от методики традиционного регрессионного анализа, использованной авторами [2] для обобщения опытных данных, использованный нами подход имеет ряд принципиальных особенностей.

1) Химсостав сталей (для Cr–табл.1) кодировался в модельных терминах с выделением численных значений Z_i^Y , d_i и N_i по описанной в работах методике [3–4] для полного химсостава, матричной и легирующей подсистем и общего легирующего комплекса (табл. 2–3).

2) Учитывая, что изменение величины зерна аустенита (d_A) в зависимости от температуры можно достаточно точно описать уравнениями типа $\sqrt{d_A \cdot 1000} = a + bT$, для каждого конкретного состава были определены численные значения коэффициентов “ a ” и “ b ” таких уравнений.

Благодаря сочетанию этих двух оригинальных приемов оценка влияния раздельного и комплексного легирования свелась к исследованию зависимостей коэффициентов “ a ” и “ b ” от различных сочетаний модельных параметров, характеризующих парциальное межатомное взаимодействие для различных групп элементов.

Основные результаты проведенного исследования иллюстрирует табл. 3. Анализ представленной информации методом последовательных приближений показал, что наиболее высокий уровень обобщения опытных данных при минимальном числе используемых переменных обеспечивается при расчете величины зерна сталей, основными легирующими элементами в составе которых являются Mo, Cr, V, W и Ti, уравнениями типа “ a ” и “ b ” = $f(Z_o^Y, d_m, N_{ml})$.

Для сталей, легированных ниобием, привлекательной выглядит модель, в которой коэффициенты “ a ” и “ b ” выражены как функция сочетания параметров Z_o^Y , d_m и N_{ml} (табл.3).

Как и в любом новом научном результате в приведенных зависимостях нужно отметить, в первую очередь, метод их получения. Именно раздельная оценка состояния матричной (параметр d_m) и легирующей (N_{ml}) подсистем в сочетании с общим легирующим комплексом (Z_o^Y) позволяют перейти от табличной формы представления опытных данных к обобщающей аналитической. Высокий диапазон значений коэффициентов корреляции отобранных однотипных моделей свидетельствует о достоверности полученных результатов и возможности использования полученных описательных моделей для прогнозных оценок. Сопоставление результатов расчетов с экспериментальной информацией (рис.1 – 4) подтверждает не только качественное, но и количественное их соответствие.

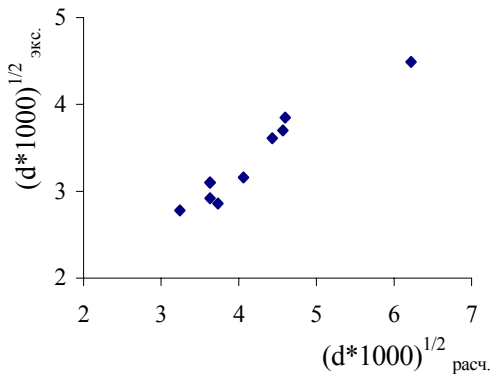


Рис.1. Соотношение экспериментальных и расчётных $\sqrt{d \cdot 1000} = a + b \cdot T$, (табл.2) значений величины зерна сталей, легированных хромом ($T=1000$ °C).

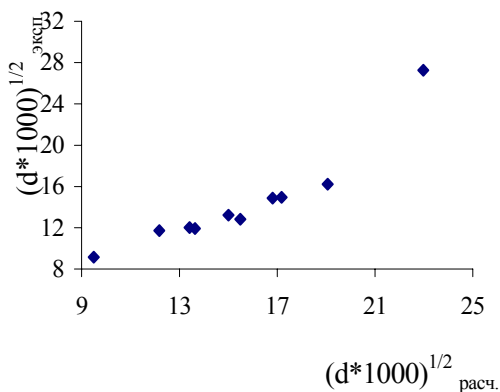


Рис.2. Соотношение экспериментальных и расчётных $\sqrt{d \cdot 1000} = a + b \cdot T$, (табл.2) значений величины зерна сталей, легированных хромом ($T=1400$ °C).

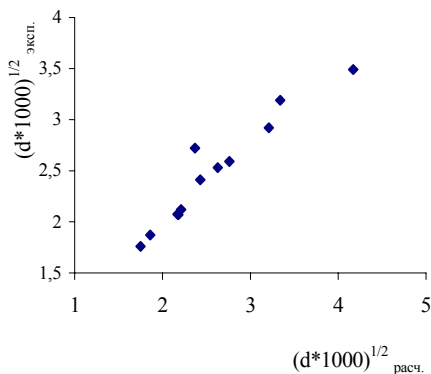


Рис.3. Соотношение экспериментальных и расчётных $\sqrt{d \cdot 1000} = a + b \cdot T$, (табл.3) значений величины зерна сталей, легированных ванадием ($T=1000$ °C).

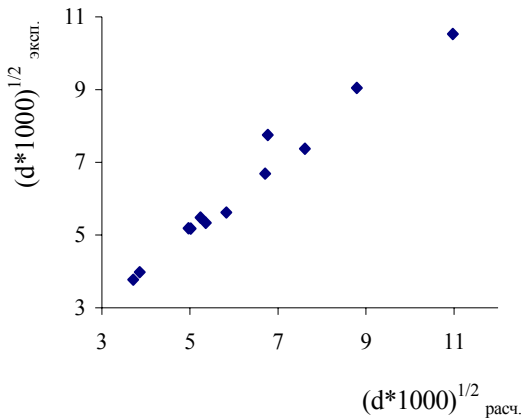


Рис.4. Соотношение экспериментальных и расчётных $\sqrt{d \cdot 1000} = a + b \cdot T$, (табл.3) значений величины зерна сталей, легированных ванадием ($T=1400$ °C).

Авторы выражают благодарность член. корр. НАНУ В.Л.Пилушенко за возможность использовать для анализа его экспериментальные данные о размерах зерна аустенита при разных температурах.

1. Гольдштейн Я.Е., Мизин В.Г. Модифицирование и микролегирование чугуна и стали. -М.: Металлургия -1986. -272 с.
2. Винокур Б.Б., Пилушенко В.Л., Касаткин О.Г. Структура конструкционной легированной стали. -М.: Металлургия. -1983. -216 с.
3. Приходько Э.В., Головкин Л.А. Влияние процессов межатома взаимодействия в многокомпонентных сплавах на формирование их свойств. Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии.-2002.-с.214-223.
4. Приходько Э.В. Физико-химические критерии для исследования влияния состава на свойства многокомпонентных сталей.- Статья в настоящем сб.