

Влияние химического состава на механические свойства стали

24.11.2016

Каждый химический элемент, входящий в состав стали, по-своему влияет на ее механические свойства – улучшает или ухудшает.

Углерод (С), являющийся обязательным элементом и находящимся в стали обычно в виде химического соединения Fe_3C (карбид железа), с увеличением его содержания до 1,2% повышает твердость, прочность и упругость стали и уменьшает вязкость и способность к свариваемости. При этом также ухудшаются обрабатываемость и свариваемость.

Кремний (Si) считается полезной примесью, и вводится в качестве активного раскислителя. Как правило, он содержится в стали в небольшом количестве (в пределах до 0,4%) и заметного влияния на ее свойства не оказывает. Но при содержании кремния более 2% сталь становится хрупкой и при ковке разрушается.

Марганец (Mn) содержится в обыкновенной углеродистой стали в небольшом количестве (0,3-0,8%) и серьезного влияния на ее свойства не оказывает. Марганец уменьшает вредное влияние кислорода и серы, повышает твердость и прочность стали, ее режущие свойства, увеличивает прокаливаемость, но снижает стойкость к ударным нагрузкам.

Сера (S) и фосфор (P) являются вредными примесями. Их содержание даже в незначительных количествах оказывает вредное влияние на механические свойства стали. Содержание в стали более 0,045% серы делает сталь красноломкой, т.е. такой, которая при ковке в нагретом состоянии дает трещины. От красноломкости сталь предохраняет марганец, который связывает серу в сульфиды (MnS). Содержание в стали более 0,045% фосфора, делает сталь хладноломкой, т.е. легко ломающейся в холодном состоянии. Обрабатываемость стали фосфор несколько улучшает, так как способствует отделению стружки.

Ниобий (Nb) улучшает кислотостойкость стали и способствует уменьшению коррозии в сварных конструкциях.

Титан (Ti) повышает прочность, плотность и пластичность стали, улучшает обрабатываемость и сопротивление коррозии. Повышает прокаливаемость стали при малых содержаниях и понижает при больших.

Хром (Cr) повышает прочность, закаливаемость и жаростойкость, режущие свойства и стойкость на истирание, но снижает вязкость и теплопроводность стали. Содержание большого количества хрома (в обычных сортах стали доходит до 2%, а в специальных - до 25%) делает сталь нержавеющей и обеспечивает устойчивость магнитных сил.

Молибден (Mo) повышает прочностные характеристики стали, увеличивает твердость, красностойкость, антикоррозионные свойства. Делает ее теплоустойчивой, увеличивает несущую способность конструкций при ударных нагрузках и высоких температурах. Затрудняет сварку, так как активно окисляется и выгорает.

Никель (Ni) увеличивает вязкость, прочность и упругость, но несколько снижает теплопроводность стали. Никелевые стали хорошо куются. Значительное содержание никеля делает сталь немагнитной, коррозионностойкой и жаропрочной.

Вольфрам (W) образуя в стали твердые химические соединения – карбиды, резко увеличивает твердость и красностойкость. Увеличивает работоспособность стали при высоких температурах, ее прокаливаемость, повышает сопротивление стали к коррозии и истиранию, уменьшает свариваемость.

Ванадий (V) обеспечивает мелкозернистость стали, повышает твердость и прочность. Увеличивает плотность стали, так как является хорошим раскислителем. Снижает чувствительность стали к перегреву и улучшает свариваемость.

Кобальт (Co) повышает жаропрочность, магнитные свойства, увеличивает сопротивление удару.

Алюминий (Al) является активным раскислителем. Делает сталь мелкозернистой, однородной по химическому составу, предотвращает старение, улучшает штампуемость, повышает твердость и прочность, увеличивает сопротивление окислению при высоких температурах.

Медь (Cu) влияет на повышение коррозионной стойкости, предела текучести и прокаливаемости. На свариваемость не влияет.

Для всестороннего понимания и анализа процессов, происходящих при легировании и деформировании сталей, важную роль играет знание зависимостей между химическим составом и механическими свойствами.

Целью настоящих исследований является изучение комплексного влияния химического состава на предел текучести σ_T арматурной стали класса А500С.

В течение сентября и октября текущего года в Лаборатории испытаний строительных материалов и конструкций ГБУ «ЦЭИИС» проводились испытания образцов арматурных стержней диаметром от $\varnothing 16$ до $\varnothing 36$. Были выполнены более 30 параллельных испытаний. При этом для одной и той же пробы данного типоразмера арматурных стержней определяли фактическую массовую долю химических элементов с помощью оптико-эмиссионного спектрометра РМ1-MASTER SORT (рис.1) и механические свойства стали при помощи испытательной машины ИР-1000М-авто (рис.2).



Рис.1 - Испытание арматурного стержня для определения химического состава стали.



Рис.2 - Испытания арматурной стали на растяжение.

Для обеспечения достоверности статистических выводов и содержательной интерпретации результатов исследований сначала определили необходимый объем выборки, т.е. минимальное количество параллельных испытаний. Так как в данном случае испытания проводятся для оценки математического ожидания, то при нормальном распределении исследуемой величины минимально необходимый объем испытаний можно найти из соотношения:

$$n = \frac{v^2 * t_{\alpha,k}^2}{\Delta_M^2}$$

где v - выборочный коэффициент вариации,

$t_{\alpha,k}$ - коэффициент Стьюдента,

$\alpha=1-P$ - уровень значимости (P - доверительная вероятность),

$k = n-1$ - число степеней свободы,

Δ_M - максимальная относительная ошибка (допуск) при оценке математического ожидания в долях математического ожидания ($\Delta_M = \gamma * \delta_M$, где γ - генеральный коэффициент вариации, δ_M - максимальная ошибка при оценке математического ожидания в долях среднеквадратического отклонения).

Как правило, генеральный коэффициент вариации γ неизвестен, и его заменяют выборочным коэффициентом вариации u , для определения которого нами была проведена серия из десяти предварительных испытаний.

По результатам проведенных испытаний и выполненных расчетов при доверительной вероятности $P=0,95$ получен необходимый объем выборки, равной $n=26$. Фактическое количество испытаний, как было сказано выше, составило 36.

Массив данных, полученных по результатам проведенных параллельных испытаний, был обработан с помощью многофакторного корреляционного анализа.

Уравнение множественной регрессии может быть представлено в виде:

$$Y = f(\beta, X) + \varepsilon,$$

где $X=(X_1, X_2, \dots, X_m)$ – вектор независимых (исходных) переменных; β – вектор параметров (подлежащих определению); ε – случайная ошибка (отклонение); Y – зависимая (расчетная) переменная.

Разработка множественной корреляционной модели всегда сопряжена с отбором существенных факторов, оказывающих наибольшее влияние на признак-результат. В нашем случае из дальнейшего рассмотрения были исключены три элемента (Al, Ti, W) по причине их низкой массовой доли (<0,05%) и отсутствия четких показаний спектрометра.

Таким образом, нами получено следующее уравнение регрессии комплексного влияния химических элементов стали на ее предел текучести σ_T :

$$\sigma_T = 845,9 * C + 6,28 * Si + 35,01 * Mn + 455,3 * Cr + 12,36 * Mo + 74,09 * Ni + 88,66 * Co + 23,68 * Cu + 10,15 * Nb + 6,59 * V + 343,1$$

В дальнейшем, для определения тесноты корреляционной связи между изучаемыми показателями были проведены дополнительные оценочные испытания – 9 параллельных испытаний арматурных стержней диаметрами $\varnothing 16$, $\varnothing 18$ и $\varnothing 20$ (таблица 1).

Таблица 1 (результаты испытаний)

Химический элемент	Фактическая массовая доля химического элемента арматурной стали класса А500С, %								
	Ø 16			Ø 18			Ø 20		
	образец №1	образец №2	образец №3	образец №1	образец №2	образец №3	образец №1	образец №2	образец №3
C	0,151	0,138	0,146	0,144	0,141	0,139	0,173	0,170	0,174
Si	0,104	0,132	0,118	0,124	0,0895	0,0967	0,112	0,113	0,130
Mn	0,467	0,567	0,486	0,565	0,654	0,682	0,699	0,717	0,759
Cr	0,0548	0,104	0,0531	0,105	0,0639	0,0639	0,112	0,111	0,111
Mo	0,0231	0,0208	0,0225	0,0206	0,0210	0,0184	0,0320	0,0345	0,0287
Ni	0,109	0,181	0,109	0,179	0,111	0,114	0,162	0,168	0,176
Al	<0,0100	<0,0100	<0,0100	<0,0100	<0,0100	<0,0100	<0,0100	<0,0100	<0,0100
Co	0,0182	0,0169	0,0171	0,0163	0,0155	0,0151	0,0155	0,0153	0,0167
Cu	0,150	0,354	0,149	0,351	0,176	0,177	0,218	0,220	0,226
Nb	0,0186	0,0193	0,0184	0,0192	0,0177	0,0181	0,0172	0,0182	0,0183
Ti	<0,0100	<0,0100	<0,0100	<0,0100	<0,0100	<0,0100	<0,0100	<0,0100	<0,0100
V	0,0105	0,0133	0,0114	0,0130	0,0110	0,0122	0,0115	0,0125	0,0131
W	<0,0500	<0,0500	<0,0500	<0,0500	<0,0500	<0,0500	<0,0500	<0,0500	<0,0500
Предел текучести σ_T , Н/мм ²	534,2	549,7	539,1	545,2	529,9	525,6	586,2	591,6	586,9

Расчетные значения предела текучести σ_T (рис.3) тех же арматурных стержней были определены по разработанной многофакторной корреляционной модели.

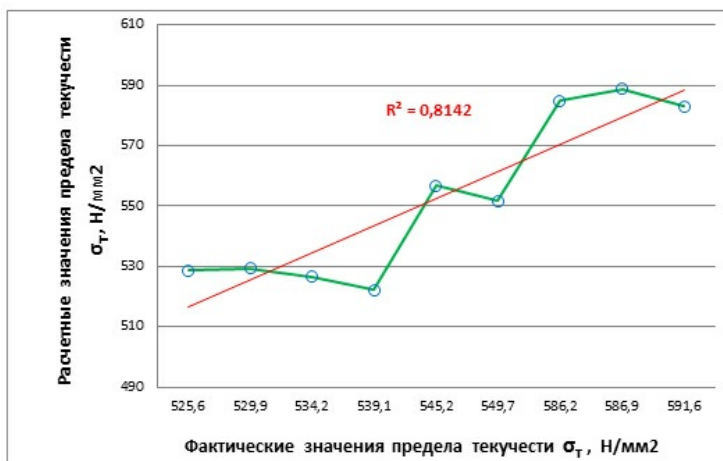


Рис.3. Графическое представление результатов сопоставительных испытаний и расчетов.

ВЫВОДЫ

1) Величина коэффициента корреляции R подтверждает возможность надёжного прогнозирования предела текучести σ_T исходя из химического состава арматурной стали класса А500С.

2) Применение множественного регрессионного анализа позволит выявить также комплексное влияние химических элементов на другие механические свойства стали (временное сопротивление σ_B , относительное удлинение δ_5), что является задачей наших дальнейших исследований.

Начальник лаборатории Юсифов Р.Ю.

Ведущий инженер Михальцова Л.М.

Адрес страницы: <http://ceiis.mos.ru/presscenter/news/detail/4276643.html>

[ГБУ ЦЭИИС](#)