

## Лекция № 121

**Тема: Влияние легирующих элементов на физико-химические и служебные свойства стали.**

### План лекции:

1. Влияние легирующих элементов на физико-химические и служебные свойства стали.

**Легированной** называется сталь, в которой, кроме обычных примесей, содержатся специально вводимые в определенных сочетаниях легирующие элементы (*Cr, Ni, Mo, W, V, Al, B, Ti* и др.), а также *Mn* и *Si* в количествах, превышающих их обычное содержание как технологических примесей (1% и выше). Как правило, лучшие свойства обеспечивает комплексное легирование.

**Легирование** сталей и сплавов используют для улучшения их технологических свойств. Легированием можно повысить предел текучести, ударную вязкость, относительное сужение и прокаливаемость, а также существенно снизить скорость закалки, порог хладноломкости, деформируемость изделий и возможность образования трещин. В изделиях крупных сечений (диаметром свыше 15...20 мм) механические свойства легированных сталей значительно выше, чем механические свойства углеродистых сталей.

### Влияние примесей

Постоянные (технологические) примеси являются обязательными компонентами сталей и сплавов, что объясняется трудностью их удаления как при выплавке (P, S). Так и в процессе раскисления (Si, Mn) или из шихты - легированного металлического лома (Ni, Cr и др.).

К постоянным примесям относят углерод, марганец, кремний, серу, фосфор, а также кислород, водород и азот.

### Углерод

При увеличении содержания углерода до 1,2% возрастают прочность, твердость, порог хладноломкости (0,1%С повышает температуру порога хладноломкости на  $20^{\circ}\text{C}$ ), предел текучести, величина электрического сопротивления и коэрцитивная сила. При этом снижаются плотность,

теплопроводность, вязкость, пластичность, величины относительных удлинения и сужения, а также величина остаточной индукции.

Существенную роль играет то, что изменение физических свойств приводит к ухудшению целого ряда технологических характеристик - таких, как деформируемость при штамповке, свариваемость и др. Так, хорошей свариваемостью отличаются низкоуглеродистые стали. Сварка средне и особенно высокоуглеродистых сталей требует применения подогрева, замедляющего охлаждения, и других технологических операций, предупреждающих образование трещин.

### **Марганец**

Марганец вводят в стали как технологическую добавку для повышения степени их раскисления и устранения вредного влияния серы. Марганец считается технологической примесью, если его содержание, не превышает 0,8%. Марганец как технологическая примесь существенного влияния на свойства стали не оказывает.

### **Кремний**

Кремний также вводят в сталь для раскисления. Содержание кремния как технологической примеси обычно не превышает 0,37%. Кремний как технологическая примесь влияния на свойства стали не оказывает. В сталях, предназначенных для сварных конструкций, содержание кремния не должно превышать 0,12-0,25%.

### **Сера**

Пределы содержания серы как технологической примеси составляют 0,035-0,06%. Повышение содержания серы существенно снижает механические и физико-химические свойства сталей, в частности, пластичность, ударную вязкость, сопротивление истиранию и коррозионную стойкость. При горячем деформировании сталей и сплавов большое содержание серы ведет к красноломкости. Кроме того, повышенное содержание серы снижает свариваемость готовых изделий.

### **Фосфор**

Пределы содержания фосфора как технологической примеси составляют 0,025-0,045%. Фосфор, как и сера, относится наиболее вредным примесям в сталях и сплавах. Увеличение его содержания, даже на доли процента, повышая прочность, одновременно повышает текучесть, хрупкость и порог хладноломкости и снижает пластичность и вязкость. Вредное влияние фосфора особенно сильно сказывается при повышенном содержании

углерода.

## **Кислород и азот**

Кислород и азот растворяются в ничтожно малом количестве и загрязняют сталь неметаллическими включениями (оксидами, нитридами, газовой фазой). Они оказывают отрицательное воздействие на свойства, вызывая повышение хрупкости и порога хладноломкости, а также снижают вязкость и выносливость. При содержании кислорода более 0,03% происходит старение стали, а более 0,1% - красноломкости. Азот увеличивает прочность и твердость стали, но снижает пластичность. Повышенное количество азота вызывает деформационное старение. Старение медленно развивается при комнатной температуре и ускоряется при нагреве до 250оС.

## **Водород**

Увеличение его содержания в сталях и сплавах приводит к увеличению хрупкости. Кроме того, в изделиях проката могут возникнуть флокены, которые развивает водород, выделяющийся в поры. Флокены инициируют процесс разрушения. Металл, имеющий флокены, нельзя использовать в промышленности.

## **Влияние легирующих элементов**

Легирующие стали и сплавов используют для улучшения их технологических свойств. Легированием можно повысить предел текучести, ударную вязкость, относительное сужение и прокаливаемость, а также существенно снизить скорость закалки, порог хладноломкости, деформируемость изделий и возможность образования трещин. В изделиях крупных сечений (диаметром свыше 15-20 мм) механические свойства легированных сталей значительно выше, чем механические свойства углеродистых.

Все легирующие элементы, за исключением никеля, при содержании их в растворе выше определенного предела снижают ударную вязкость, трещиностойкость и повышают порог хладноломкости.

## **Классификация**

По применимости для легирования можно выделить три группы элементов. Применимость для легирования различных элементов определяется не столько физическими, сколько, в основном, экономическими соображениями.

- Mn,Si,Cr,B;
- Ni,Mo;

- V, Ti, Nb, W, Zr и др.

Легирующие элементы по механизму их воздействия на свойства сталей и сплавов можно разделить на три группы:

- влияние на полиморфные (альфа-Fe → гамма-Fe) превращения;
- образование с углеродом карбидов  $(C_2, Fe)_7C_3$ ;  $(C_2, Fe)_{23}C_6$ ;  $Mo_2C$  и др.;
- образование интерметаллидов (интерметаллических соединений) с железом -  $Fe_7Mo_6$ ;  $Fe_3Nb$  и др.

По характеру влияния на полиморфные превращения легирующие элементы можно разделить на две группы:

- элементы (*Cr, W, Mo, V, Si, Al* и др.), достаточное содержание которых обеспечивает существование в сталях при всех температурах легированного феррита (ферритные стабы);
- элементы (*Ni, Mn* и др.), стабилизирующие при достаточной концентрации легированный аустенит при всех температурах (аустенитные сплавы). Сплавы, только частично претерпевающие превращение *гамма* → *альфа*, называются, соответственно, полуаустенитными или полуферритными.

Легирование феррита сопровождается его упрочнением. Наиболее значительно влияют на его прочность *марганец* и *хром*. Причем чем мельче зерно феррита, тем выше его прочность. Многие легирующие элементы способствуют измельчению зерен феррита и перлита в стали, что значительно увеличивает вязкость стали. Однако все легирующие элементы, за исключением *никеля*, при содержании их в растворе выше определенного предела снижают ударную вязкость, трещиностойкость и повышают порог хладноломкости. *Никель* понижает порог хладноломкости. Легированный аустенит парамагнитен, обладает большим коэффициентом теплового расширения. Легирующие элементы, в том числе *азот* и *углерод*, растворимость которого в аустените при нормальной температуре достигает 1%, повышают его прочность при нормальной и высокой температурах, уменьшают предел текучести. Легированный аустенит является основной составляющей многих коррозионностойких, жаропрочных и немагнитных сплавов. Он легко наклепывается, то есть быстро и сильно упрочняется под действием холодной деформации. Легирующие элементы (исключение *кобальт*), повышая устойчивость аустенита, снижают критическую скорость закалки и увеличивают прокаливаемость. Для многих аустенитных сплавов критическая скорость закалки снижается до 20°C/с и ниже, что имеет большое практическое значение. Карбидообразующие элементы: *Fe - Mn - Cr - Mo - W - Nb - V - Zr - Ti* (за исключением марганца) препятствуют росту зерна аустенита при нагреве. Сталь, легированная этими элементами, при одинаковой температуре

сохраняет более высокую дисперсность карбидных частиц, и соответственно большую прочность. Интерметаллиды образуются при высоком содержании легирующих элементов между этими элементами или с железом. Примером таких соединений могут служить  $Fe_7Mo_6$ ,  $Fe_3Nb_2$  и др. Интерметаллиды, как правило, отличают повышенные твердость и хрупкость.

В следующей таблице показано влияние наиболее применяемых легирующих элементов на свойства стали.

Легирующий элемент	Ni	Cr	Mn (более 1%)	Si (более 0,8%)	W	Cu (0,3 -0,5%)
Входит в твердый раствор с Fe и упрочняет его	+	+	+	+	-	+
Увеличивает ударную вязкость	+	-	+	+	-	-
Расширяет область аустенита	+	-	+	-	-	-
Сужает область аустенита	-	+	-	+	-	-
Увеличивает прокаливаемость	+	-	+	-	-	-
Способствует раскислению	-	-	+	+	-	-
Образует устойчивые карбиды	-	+	+	-	+	-
Повышает сопротивление коррозии	+	+	+	-	-	+

**Влияние отдельных компонентов на свойства стали (для малоуглеродистой и низколегированной стали)**

Элемент	Обозначение в марке стали	Механические свойства						Технологические свойства			
		$\sigma_0$	$\sigma_T$	$\delta_5$	НВ	KCU	$\sigma_{-1}$	СВ	KopC	ХЛ	КС
Углерод	У	++	+	=	++	-	-	-	0	0	0
Марганец	Г	+	+	-	+	-	+	0	+	0	0
Кремний	С	+	+	-	+	=	0	-	-	0	0
Никель	Н	+	+	0	+	+	0	+	++	0	0
Хром	Х	+	+	-	++	0	0	-	++	0	0
Медь	Д	0	0	0	0	0	0	0	++	0	0
Ниобий	Б	++	++	-	+	0	+	+	0	0	0
Ванадий	Ф	+	+	-	+	0	++	+	+	0	0
Нитрид	АФ	++	++	-	+	0	+	0	0	0	0

<b>ванадия</b>												
<b>Молибден</b>	М	+	+	-	+	0	++	+	+	0	0	0
<b>Бор</b>	Р	++	++	-	+	-	+	+	0	0	0	0
<b>Титан</b>	Т	+	+	0	+	-	0	+	0	0	0	0
<b>Алюминий</b>	Ю	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0
<b>Сера</b>	Нет	-	-	0	-	-	-	=	0	0	0	++
<b>Фосфор</b>	П	+	+	=	+	=	0	=	-	=	0	0
<b>Мышьяк</b>	Нет	-	-	-	0	-	-	-	0	0	0	0
<b>Азот</b>	А	++	++	=	++	=	-	-	0	0	0	0
<b>Кислород</b>	Нет	=	=	=	+	=	=	=	-	-	-	+

Примечания:

$\sigma_0$ -предел прочности

$\sigma_T$ - предел текучести

$\delta_5$ - относительное удлинение

НВ - твёрдость

КСУ - ударная вязкость

$\sigma_{-1}$  - усталостная прочность

СВ - свариваемость

КоррС - коррозионная стойкость

ХЛ - хладноломкость

КС - красностойкость

Последняя таблица показывает примерное влияние отдельных компонентов стали в количествах, содержащихся в малоуглеродистой и низколегированной стали без учета совместного действия нескольких компонентов.

Знаки обозначают: (+) - повышает; (++) - значительно повышает; (-) - снижает; (=) - значительно снижает; (0) - не оказывает заметного влияния.

### Вопросы для самоконтроля:

1. Какую сталь называют легированной ?
2. Можно ли элементы (*Cr, Ni, Mo, W, V, Al, B, Ti* и др.) назвать легирующими?
3. Назовите правильную форму и размеры кусочков раскислителей?
4. Легированием можно ли снизить скорость закалки, порог хладноломкости, деформируемость изделий ?
5. Легированием можно повысить предел текучести, ударную вязкость, относительное сужение и прокаливаемость?
6. Легирование сталей и сплавов используют ли для улучшения технологических свойств?
7. Правда ли, что лучшие свойства обеспечивает комплексное легирование?
8. Перечислите к постоянным примесям какие относятся элементы?

**Источник:** [metallurgiya.net/metallurgiyastali/155-raskislenie-i-legirovanie-stali-v-kovshe.html](http://metallurgiya.net/metallurgiyastali/155-raskislenie-i-legirovanie-stali-v-kovshe.html)  
<http://www.profprokat.ru/content/view/1221/>