

Структура и свойства мартенситно-стареющих сталей

Студент гр.50424021 Шаршнева Д.В
 Научный руководитель Рудницкий Ф.И
 Белорусский национальный технический университет
 г. Минск

Мартенситно–стареющие стали – это высокопрочные стали с незначительным содержанием углерода. Упрочнение их достигается использованием элементов, заменяющих углерод: никеля, кобальта и молибдена. Эти элементы обуславливают дисперсионное твердение мартенситной железо–никелевой матрицы при старении, отсюда и название сталей.

Это особый класс высокопрочных материалов, превосходящий по конструкционной прочности и технологичности среднеуглеродистые стали.

Их основа – безуглеродистые ($\sigma_B \leq 0,03\% C$) сплавы железа с 8–25% Ni, легированные Co, Mo, Ti, Al, Cr и другими элементами.

Высокая прочность этих сталей достигается совмещением двух механизмов упрочнения: мартенситного $\gamma \rightarrow \alpha$ превращения и старения мартенсита. Небольшой вклад вносит также легирование твердого раствора.

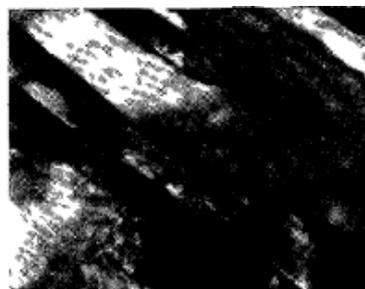
Никель стабилизирует γ – твердый раствор, сильно снижая температуру $\gamma \rightarrow \alpha$ превращения, которое даже при невысоких скоростях охлаждения протекает по мартенситному механизму.

Мартенситно–стареющие стали закалывают от 800– 860 °С на воздухе. При нагреве легирующие элементы Ti, V, Al, Cu, Mo, обладающие ограниченной и переменной растворимостью в Fe, переходят в раствор и при охлаждении не выделяются. Закалка фиксирует перенасыщенный раствор железоникелевый мартенсит. Благодаря высокому содержанию никеля, кобальта и малой концентрации углерода дислокации в нем обладают высокой подвижностью. Поэтому железоникелевый мартенсит при плотности $\sigma_B = 900 \dots 1000$ МПа имеет высокую пластичность ($\delta = 18 \dots 20\%$, $\psi = 75 \dots 85\%$), вязкость ($K_{СГ} = 2..3$ МДж/м) и малую способность к упрочнению при холодной деформации. Последнее позволяет деформировать закаленные стали с большой степенью обжатия.

Структура мартенситно–стареющих сталей после закалки представляет собой так называемый массивный или речный мартенсит, имеющий высокую плотность дефектов кристаллической решетки, имеет неправильную форму. Наиболее крупные кристаллы имеют среднюю полосу – мидриб, представляет собой сгущение двойников. Основная часть кристалла имеет дислокационную структуру.[1]



а- световой микроскоп x240



б-электронный микроскоп
x16000

Рисунок 1. Структура мартенситно-стареющей стали после закалки

Основное упрочнение достигается при старении (480 – 520°С), когда из мартенсита выделяются мелкодисперсные частицы вторичных фаз (Ni_3Ti , $NiAl$, Fe_2Mo и др), когерентно связанные с матрицей. Наибольшее упрочнение при старении вызывают Ti и Al меньше Cu и

Мо. Для мартенситно–старееющих сталей характерен высокий предел текучести и более высокий. Чем у лучших пружинных сплавов, предел упругости ($\sigma_{0,002} = 1300$ МПа), низкий порог хладноломкости.

Многочисленными исследованиями доказана эффективность применения для мартенситно–старееющих сталей комбинированных схем старения. В том случае, когда при старении выделяется одна упрочняющая фаза или несколько, но имеющих близкий Интервал температур образования, целесообразнее использовать ступенчатое старение по схеме (В + Н), когда последовательно выполняют сначала высокотемпературное старение, а затем при более низкой температуре. В результате увеличения объемной доли выделяющейся фазы, более высокой дисперсности части частиц уровень упрочнения сталей может быть повышен при общем сокращении длительности старения. Для гетерофазных коррозионно-стойких мартенситно-старееющих сталей рекомендуется иная схема ступенчатого старения (Н+В), при которой вначале выполняют низкотемпературное, а затем высокотемпературное старение: на первом этапе старения (480°C) формируются области α -фазы, обогащенные хромом; на втором (500–550 °С) происходит выделение R-фазы. В результате – такой обработки достигается более высокий комплекс свойств, в том числе и более высокая теплостойкость.

Применительно к мартенситно–старееющим сталям опробованы различные варианты динамического старения. В частности, достаривание под напряжением (температура 300°C, напряжение, равное 0,7 $\sigma_{0,2}$) после основного старения при пониженной температуре (при 400°C) приводит к релаксации микронапряжений и тем самым устраняет опасность задержанного разрушения, проявляющегося в снижении пластичности сталей при малых скоростях нагружения. Важным следствием динамического достаривания является значительное (в 1,5–2 раза) увеличение предела упругости ($\sigma_{0,002}$) мартенситно-старееющей стали (сталь 04X14K13H4M3TB) и релаксационной стойкости при практически неизменных значениях временного сопротивления и относительного удлинения. Эффективность динамического достаривания существенно возрастает в том случае, если сталь перед основным старением подвергается НТМО. Динамическое достаривание может быть реализовано различными способами, например путем заневоливания винтовых пружин, и использоваться для улучшения эксплуатационных характеристик различных видов упругих элементов.

Для отдельных видов изделий разрабатываются специальные варианты старения. Применяющуюся при изготовлении волокнистых композиционных материалов армирующую проволоку, которая подвергается холодной пластической деформации с предельными обжатиями (96–99%), нагревают при высокотемпературном старении 800 °С в течение 1–1,5 с. Такое скоростное старение позволяет реализовать очень высокий предел прочности (4200 МПа при диаметре проволоки 40 мкм) и избежать охрупчивания ($\delta = 4\%$), которое имеет место при обычном старении такой проволоки. Совмещение старения мартенситно–старееющих сталей с процессом азотирования наряду с объемным упрочнением обеспечивает формирование износостойкого поверхностного слоя. [2]

При прочности $\sigma_b = 2000$ МПа и более стали разрушаются вязко, хотя сопротивлению распространению трещин у них невелико ($K_{СТ} = 0,2$ МДж/м²). Малая чувствительность к надрезаниям, высокое сопротивление хрупкому разрушению обеспечивают высокую конструкционную прочность изделий в широком диапазоне температур от криогенных до 450–500 °С. При содержании Cr около 12% стали являются коррозионностойкими.

Другое важное достоинство этого класса сталей является высокая технологичность.[3]

Они обладают неограниченной прокаливаемостью, хорошо свариваются, до старения легко деформируются и обрабатываются резанием. При термической обработке практически не происходит коробления и исключено обезуглероживание.

Исследованиями установлено, что оптимальное сочетание прочности, пластичности, вязкости имеют сложнелегированные стали, содержащие: 9–18 % Ni, 7-9 % Co, 4–6 % Mo, 0,5–1,0 % Ti. После закалки с 800–850 °С в сталях формируется следующий комплекс механических свойств: $\sigma_b = 1100-1200$ Н/мм², $\sigma_{0,2} = 950-1100$ Н/мм², $\delta_5 = 18-20$ %, $\psi = 70-80$ %. Старение при 480-500 °С повышает прочность до $\sigma_{0,2} = 1800-2000$ Н/мм², $\sigma_{0,2} = 1900-2100$ Н/мм²

при сохранении пластичности ($\delta_5 = 8-12\%$, $\psi = 40-60\%$). Кроме того, мартенситно-старяющие стали с повышенным содержанием никеля (21–23%) обладают эливарными свойствами (ТКЧ = $\pm 10 \times 10^{-6} \text{ К}^{-1}$). [4]

Относительно высокая стоимость мартенситно–старяющих сталей ограничивает применение конструкциями, где на первый план выдвигается необходимость обеспечения повышенной удельной прочности, в том числе и при сварке закаленных элементов, при низкой чувствительности к наличию надрезов и трещиноподобных дефектов. Типичные области применения: оболочки летательных аппаратов, корпуса двигателей, сосуды высокого давления, изделия криогенного назначения и др.[5]

Таблица 1. Химический состав и механические свойства мартенситно-старяющих сталей

Марка стали	Содержание элементов, %								Механические свойства		
	Ni	Co	Mo	Cr	Ti	Al	C	прочие	σ_b , МПа	Ψ , %	KCU, МДж/м ^{3/2}
H18K9M5T	18	9	5	-	0,7	0,15	0,02	-	2100	50	0,3
03X11H9M2T	9,7	-	2	10,8	0,7	-	0,03	-	1600	60	0,7
H12X5M3	11,7	-	2,5	4	0,15	0,10	0,03	-	1200	68	0,9
08X15H5Д2Т	5	-	-	14,5	0,10	-	0,08	2Cu	1300	58	1,4
30H8KXMF	8	5	1	1	-	-	0,32	0,IV	1600	55	0,8

Список использованных источников

1. [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <http://surl.li/akmal>.
2. [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <http://surl.li/akmap>.
3. [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <http://surl.li/akmba>.
4. [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <http://surl.li/akmat>.
5. [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <http://surl.li/akmeq>.