

При высокотемпературном отпуске они могут вырастать до значительных размеров, огрублять структуру отпуска и таким образом снижать свойства стали.

Из изложенного следует, что ступенчатая закалка, так же как и замедленное охлаждение при обычной закалке, усиливает неоднородность структуры. В меньшей степени неоднородность повышается после изотермической ступеньки при температурах промежуточного максимума устойчивости аустенита. Увеличение неоднородности структуры в результате изотермических ступенек или замедленного охлаждения оказывает неблагоприятное влияние на свойства стали. Это убедительно показано исследованием влияния скоростей охлаждения при закалке крупных поковок и проката из конструкционной стали на их свойства в условиях полной прокаливаемости [2, 3].

ЛИТЕРАТУРА

1. Лысак Л.И., Николин Б. И. Физические основы термической обработки стали. - Киев: Техника, 1975. - 303 с.
2. Большаков В.И., Стародубов К.Ф., Тылкин М. А Термическая обработка строительной стали повышенной прочности. - М.: Металлургия, 1977. - 194 с.
3. Гладштейн Л.Н., Литвиненко Д.А. Высокопрочная строительная сталь. М.: Металлургия, 1972, 239 с.

ВЛИЯНИЕ ИСХОДНОЙ СТРУКТУРЫ ЗАКАЛКИ НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ ТЕРМИЧЕСКИ УЛУЧШАЕМЫХ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ

Е.З.Степанов
М.А.Жукова
В.Б.Звягин

При термическом упрочнении (закалке) крупных поковок из конструкционных сталей нередко наряду с мартенситом образуются и другие продукты превращения аустенита: как правило, разновидности бейнита, значительно реже - продукты превращения аустенита в перлитной области. В отношении неблагоприятного влияния последних на свойства сталей сомнений нет. Однако, существует неоднозначность в оценке влияния на свойства бейнита, особенно нижнего бейнита. Это и послужило предпосылкой для сравнительного изучения работоспособности высокоотпущенных сталей с исходной мартенситной и мартенситно-бейнитной структурами. Исследование проводилось применительно к продукции и условиям производства атомного машиностроения АО "Ижорские заводы".

Исследовались стали различного состава. Далее приводятся результаты испытаний трех марок стали: 34ХНМА, 36ХСА, 12ХНЗА. Схема

испытаний следующая. Листовые заготовки с одинаковой исходной структурой, полученной после нормализации и высокого отпуска, подвергались закалке по двум вариантам: I вариант - аустенитизация и закалка в масле на мартенсит; II вариант - аустенитизация и ступенчатая закалка с изотермической выдержкой в области образования нижнего бейнита. Изотермическая выдержка обеспечивала превращение аустенита в бейнит в объеме приблизительно 50%, а далее проводилось окончательное охлаждение в воде - закалка сохранившегося аустенита на мартенсит. Структура закалки: мартенсит - бейнит. После закалки по двум вариантам все стали подвергались отпуску при 650°C с выдержкой, которая обеспечивала получение одинаковой твердости как сталей с мартенситной, так и мартенситно-бейнитной структурами.

Результаты определения механических свойств, работы распространения трещины, температуры перехода в хрупкое состояние представлены в таблице 1. Из данных таблицы 1 видно, что при практически равной твердости и прочности характеристики пластичности хотя и различаются, но несущественно. При этом тенденция такова, что присутствие в отпущенной структуре нижнего бейнита способствует некоторому повышению δ [%], ψ [%], но при этом весьма существенно понижается $\sigma_{0,2}$. Поскольку несколько возрастает пластичность, можно было ожидать повышения вязкости. Однако, этого не наблюдалось: вязкость образцов со структурой отпущенного мартенсита выше, хотя в сталях 34ХНМА и 12ХНЗА и не очень значительно в сравнении со сталью 36ХСА. Более существенно присутствие бейнита, которое ухудшает работу распространения трещины и повышает температуру охрупчивания, например, в сталях 12ХНЗА с "-" 80°C до "-" 40°C, а в стали 36ХСА с "-" 40°C до "-" 5°C, т.е. весьма заметно ухудшается работоспособность.

Поскольку исследованные стали нередко используются для изготовления резьбовых соединений, представлялось необходимым исследовать влияние структуры на поведение сталей при испытаниях образцов с надрезом и надрезом и перекосом.

Результаты испытаний чувствительности сталей к надрезу представлены в таблице 2. Угол надреза 90° и 45°, глубина надреза 1 мм. У всех сталей наличие высокоотпущенного бейнита незначительно, но повышает чувствительность к надрезу. Изменение угла надреза заметного влияния не оказывает.

Результаты испытаний на чувствительность к надрезу и перекосу представлены в таблице 3. Перекос в 8° несколько повысил чувствительность к надрезу. Тенденция сохраняется - сопротивление разрушению сталей с мартенситно-бейнитной структурой несколько ниже в сравнении с мартенситной как по чувствительности к надрезу, так и к надрезу с перекосом.

Таблица 1

Сталь	Структура	НВ, МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	$\sigma_{в}$, МПа	δ , %	ψ , %	KCU, $\frac{МДж}{с м^2}$	KCU, $\frac{МДж}{с м^2}$	$T_{xp}, ^\circ C$	$\theta_c \{211\}$	$B \{200\} 10^2$, рад
34ХНМА	М $\overrightarrow{\text{отп}}$ 650°C	223	715	853	19,4	64,3	1,32	1,08	-60	55°54'	1,38
	(М+Б) $\overrightarrow{\text{отп}}$ 650°C	217 223	654	834	23,3	61,3	1,24	0,31	-50	55°53'	1,39
36ХСА	М $\overrightarrow{\text{отп}}$ 650°C	277	706	900	20,9	68,7	1,64	1,26	-40		
	(М+Б) $\overrightarrow{\text{отп}}$ 650°C	269	664	881	21,5	72,1	1,17	0,71	-5		
12ХНЗА	М $\overrightarrow{\text{отп}}$ 650°C	179	540	641	25,4	82,3	2,98	2,48	-80		
	(М+Б) $\overrightarrow{\text{отп}}$ 650°C	183	516	630	27,3	86,4	2,75	2,2	-40		

Причины неблагоприятного влияния нижнего бейнита на работоспособность сталей заключаются, вероятно, в том, что превращение аустенита при температуре выше M_n сопровождается перераспределением углерода в нем как до начала, так и в процессе превращения. В результате образуются крайне неоднородные по составу и свойствам фазы и структурные составляющие. Высокотемпературный отпуск не устраняет неоднородности в том смысле, что после закалки на мартенсит и высокого отпуска микроструктура представляет собой сорбит с равномерно распределенными и близкими по размерам карбидами, а после закалки с превращением в бейнитной области и последующего высокого отпуска образуется сорбит, в котором карбиды существенно различаются по размерам и располагаются скоплениями.

Неоднородность структуры способствует локализации напряжений и деформации, чем, видимо, и объясняется снижение $\sigma_{0,2}$ в сталях с бейнитно-мартенситной структурой по сравнению с однородной мартенситной. Локализация деформации в свою очередь приводит к преждевременному зарождению трещин и микропор.

Таким образом, неполная прокаливаемость (полумартенситная) даже при наличии в структуре закалки кроме мартенсита только нижнего бейнита, не оказывая заметного влияния на прочностные и пластические характеристики, повышает склонность термически улучшаемых сталей к хрупким разрушениям, снижая их работоспособность.

Таблица 2

Марка	Структура	Гладкие образцы σ_b , МПа	Образцы с надрезом, σ_b , МПа			
			надрез 90°	чувств. к надр.	надрез 45°	чувств. к надр.
34ХНМА	$M \xrightarrow{\text{отп}} 650^\circ\text{C}$	853	1250	1,46	1310	1,54
	$(M+B) \xrightarrow{\text{отп}} 650^\circ\text{C}$	834	1244	1,49	1175	1,41
36ХСА	$M \xrightarrow{\text{отп}} 650^\circ\text{C}$	900	1319	1,47	1357	1,51
	$(M+B) \xrightarrow{\text{отп}} 650^\circ\text{C}$	881	1200	1,36	1219	1,38
12ХНЗА	$M \xrightarrow{\text{отп}} 650^\circ\text{C}$	641	971	1,51	993	1,55
	$(M+B) \xrightarrow{\text{отп}} 650^\circ\text{C}$	630	852	1,37	887	1,35

Таблица 3

Марка	Структура	Гладкие образцы $\sigma_{в}$, МПа	Образцы с надрезом, $\sigma_{в}$, МПа			
			надрез 90°	чувств. к надр.	надрез 45°	чувств. к надр.
34ХНМА	М $\xrightarrow{\text{отп}}$ 650°С	975	1010	1,15	960	1,10
	(М+Б) $\xrightarrow{\text{отп}}$ 650°С	850	1045	1,23	975	0,93
36ХСА	М $\xrightarrow{\text{отп}}$ 650°С	899	1242	1,38	1171	1,30
	(М+Б) $\xrightarrow{\text{отп}}$ 650°С	882	1104	1,25	1188	1,27
12ХНЗА	М $\xrightarrow{\text{отп}}$ 650°С	658	984	1,49	987	1,50
	(М+Б) $\xrightarrow{\text{отп}}$ 650°С	611	903	1,48	877	1,44

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫСОКОХРОМИСТЫХ
ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СТАЛЕЙ ТИПА Х12
С НОРМИРОВАННО ПОНИЖЕННЫМ
СОДЕРЖАНИЕМ УГЛЕРОДА**

**Н.Б.Кириллов
СПбГТУ**

Структурные фазовые превращения, протекающие в твердых растворах при их распадах, определяющим образом влияют на свойства различных по назначению сталей. Отрицательное влияние на вязкость стали, трещиностойкость оказывает ее химическая и структурная неоднородность [1]. Пластической деформации металлов свойственна неравномерность и неоднородность протекания процессов. Неравномерность распределения пластической деформации может быть макроскопическая и микроскопическая. Микроскопическая неравномерность распределения деформации проявляется в том, что одни зерна металла или их группы деформированы сильнее, чем соседние с ними. Более того, отдельные зерна в разных местах своего объема имеют разную степень деформации. Следовательно, неоднородность поля пластической деформации проявляется в разнообразной неравномерности распределения деформации.

Неоднородность поля деформации приводит к сильной локализации пластической деформации в отдельных микрообъемах, которая может