

Таким образом мартенситное превращение и распространяется на интервал температур от M_n до M_k .

Установленная экспериментально микронеоднородность исходного аустенита существенно сказывается и на кинетике бейнитного превращения. В малоуглеродистых сталях по этой причине в бейнитной области ниже промежуточного максимума устойчивости инкубационный период может отсутствовать. Отсутствие инкубационного периода, как известно, является одним из определяющих признаков мартенситного превращения в сталях. Однако в данном случае превращение аустенита отличается от «чисто» мартенситного превращения в сталях тем, что протекает при относительно

высоких температурах и сопровождается диффузионным перемещением углерода. Как следствие, возникают зоны, обедненные и обогащенные углеродом; появляется возможность и для обособления карбидов из аустенита. Следовательно, образовавшиеся кристаллы α -фазы, имеющие когерентные границы, в процессе изотермической выдержки в отличие от кристаллов мартенсита имеют возможность расти. При этом количество непревратившегося аустенита уменьшается. Таким образом превращение аустенита при рассматриваемых температурах по своей сущности является бейнитным, об этом свидетельствует и морфология образующейся в данном случае структуры.

УДК 669.11

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПРОДУКТОВ ПРЕВРАЩЕНИЯ ПЕРЕОХЛАЖДЕННОГО АУСТЕНИТА В УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЯХ

Г. Н. Теплухин

*Санкт-Петербургский государственный технологический университет
растительных полимеров*

В производственных условиях при термической обработке конструкционные стали обычно закаляют на мартенсит, что позволяет после высокого отпуска получить структуру сорбита, состоящую из пересыщенной углеродом α -фазы с равномерно распределенными карбидами глобулярной формы. Такая структура гарантирует оптимальное сочетание прочности и пластичности.

Для получения высокой прочности конструкционных сталей и высокой твердости инструментальных сталей перлитного класса после закалки проводят низкий отпуск, в результате которого получают структуру отпущенного мартенсита.

Следует отметить, что в обоих случаях стремятся к получению однородной структуры по всему сечению изделий. В некоторых случаях заготовки перед механической обработкой подвергают нормализации. Иногда такая обработка является оконча-

тельной. В этом случае характер образующейся микроструктуры в основном зависит от химического состава стали и сечения изделий. При этом возможно образование ферритно-перлитной или бейнитной структуры, а также их смеси.

При закалке конструкционной стали, наряду с мартенситом, допускается некоторое количество (до 50 %) нижнего бейнита. Прокаливаемость стали определяют по толщине зоны с полумартенситной (мартенситно-бейнитной) структурой. В случае закалки со скоростью ниже критической возможно частичное превращение аустенита по перлитному механизму. Даже незначительное количество продуктов перлитного превращения вызывает повышение температурного порога хрупкости стали.

К сожалению, в литературе отсутствуют сведения о систематическом исследовании механических свойств продуктов пре-

вращения переохлажденного аустенита. Подобные данные могли бы способствовать лучшему прогнозированию свойств реальных изделий после их термической обработки, а также послужить основой для разработки новых способов термического и механического упрочнения.

Цель данной работы – сопоставление механических свойств сталей после термической обработки, включающей превращение аустенита в перлитном и промежуточном интервалах температур.

Исследования проводили на трех сталях с различным содержанием углерода: 0,23 % (сталь 20); 0,40 % (сталь 40); 1,04 % (У10А).

Для того, чтобы исключить превращение аустенита в широком интервале температур и получить более равномерную структуру по сечению, исследования проводили на микрообразцах. Для испытания на растяжение использовали образцы длиной рабочей части 5,5 мм и диаметром 1,0 мм. Ударные образцы имели сечение 2,0x8,0 мм и длину 55 мм. Термическая обработка микрообразцов состояла из аустенитизации в расплаве 78 % BaCl₂ + 22 % NaCl, который для предотвращения обезуглероживания периодически раскисляли бурой, и изотермической выдержки в расплавах солей, обеспечивающих полное превращение аустенита (табл. 1).

Таблица 1

Режимы изотермической обработки микрообразцов

Интервал структурообразования	Температура, °C	Продолжительность, с	Состав расплава
Перлитный	650	20	28 % NaCl + 78 % BaCl ₂
	600	10	
	550	10	
Верхний бейнит	525	10	45 % NaNO ₃ + 55 % KNO ₃
	500	10	
	475	10	
Нижний бейнит	450	20	45 % NaNO ₃ + 55 % KNO ₃
	400	20	
	350	20	

Таблица 2

Результаты механических испытаний

Марка стали	Механические свойства продуктов превращения аустенита в зависимости от температуры изотермической выдержки, °C								
	650	600	550	525	500	475	450	400	350
Временное сопротивление разрыву σ_B , МПа									
20	580	520	620	680	660	640	800	920	1170
40	770	820	870	950	800	1075	1100	1235	1270
У10А	1040	1110	1170	1200	1210	1260	1300	1325	1350
Относительное удлинение δ , %									
20	13,3	12,8	12,4	–	12,0	11,3	9,0	6,8	6,5
40	12,0	11,0	10,0	9,8	9,5	8,0	6,5	6,1	6,0
У10А	10,4	8,4	6,5	6,5	6,5	7,0	4,0	4,1	4,2
Относительное сужение ψ , %									
20	72	70	70	70	71	71	72	57	52
40	55	38	55	56	51	52	18	25	38
У10А	49	27	35	49	49	25	35	35	35
Твердость HRC ₃									
20	4,0	4,0	4,0	5,0	5,0	5,0	6,0	8,0	10,0
40	10,5	13,5	15,0	16,0	17,0	20,0	27,0	28,0	30,0
У10А	13,0	20,0	23,0	21,0	20,0	22,5	37,5	38,0	40,0
Ударная вязкость KCU, МДж/м ²									
20	1,08	1,04	1,04	1,13	1,10	1,10	1,15	1,18	1,21
40	0,80	0,85	0,77	0,85	0,95	0,85	0,93	1,10	1,15
У10А	0,50	0,43	0,37	0,43	0,40	0,40	0,35	0,40	0,40

Свойства пружинной ленты

Технология	σ_B , МПа	Число гибов до разрушения	Угол пружинности, град
ГОСТ 21996-76	1862	9	–
Новый способ (патент РФ №1424350)	2970	30	148

Аустенитизацию стали 20 производили при 910 °С, стали 40 – при 830 °С, У10А – при 780 °С. После изотермической выдержки микрообразцы охлаждали в воде.

Результаты механических испытаний представлены в табл. 2.

Видно, что с понижением температуры изотермического превращения и увеличением содержания углерода в стали наблюдается повышение прочностных характеристик. При этом в среднеуглеродистой стали и, в меньшей степени, в низкоуглеродистой происходит снижение временного сопротивления разрыву в интервале температур 525–475 °С, т.е. в интервале образования верхнего бейнита. Твердость сталей резко повышается при переходе от верхнего бейнита к нижнему. Твердость стали У10А незначительно снижается в интервале образования верхнего бейнита по сравнению с твердостью нижнего бейнита. У всех трех сталей в интервале образования верхнего бейнита наблюдается резкое снижение относительного удлинения (δ). Относительное сужение (ψ) у стали 20 не изменяется практически до 450 °С. При уменьшении этой температуры ψ интенсивно снижается.

У сталей 40 и У10А характер изменения ψ достаточно сложен. От псевдоэвтектоида к нижнему бейниту наблюдаются две зоны его снижения: в перлитном интервале температур при 600 °С и в промежуточном – при 500–450 °С, т.е. при образовании верхнего бейнита. У обеих сталей наблюдается зона повышенного ψ , совпадающая с нижней областью перлитного интервала и началом образования верхнего бейнита. Возрастание ψ соответствует снижению твердости.

Таким образом, свойства углеродистых сталей ухудшаются при образовании в их структуре верхнего бейнита.

Попутно с изучением механических свойств мы подвергли систематическому исследованию морфологию продуктов превращения переохлажденного аустенита, что позволило обратить внимание на повышение относительного сужения в среднеуглеродистой и высокоуглеродистой стали в интервале образования верхнего бейнита. Было сделано предположение, что путем холодной пластической деформации можно создать композиционный материал с определенной направленностью карбидов, залегающих в наклепанной матрице.

Осуществив термическую обработку полосы из стали У10А на верхний бейнит (изотерма 475 °С), после холодной прокатки с обжатием 90 % и старения при 200 °С получили показатели прочности и пружинности существенно превышающие современные требования, предъявляемые к пружинной ленте (табл. 3).

Кроме приведенных, мы располагаем данными о том, что низкоуглеродистая сталь со структурой верхнего бейнита меньше охрупчивается при механическом наклепе.

Автор полагает, что приведенные в настоящей статье сведения о механических свойствах продуктов превращения переохлажденного аустенита совместно с ранее опубликованными им работами по структурообразованию будут полезны технологам при разработке процессов контролируемой прокатки и других операций упрочняющей обработки стали.