

# ПРОЧНОСТЬ И ВЯЗКОСТЬ ВЫСОКОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ СО СТРУКТУРОЙ СОРБИТА ЗАКАЛКИ И ОТПУСКА

Гетманова М.Е., Комков Н.А., Филиппов Г.А.

ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина», г. Москва, Россия.  
[ios12@vandex.ru](mailto:ios12@vandex.ru)

В связи с возрастающими скоростями и грузоподъемностью железнодорожного транспорта возникает потребность в колесах с более высоким уровнем твердости, более 360 НВ и ударной вязкости  $KCU > 18 \text{ Дж/см}^2$  [1].

Существующая технология производства железнодорожных колес после термообработки обеспечивает получение в ободе колес структуру тонкопластинчатого перлита с твердостью на глубине 30 мм от поверхности катания не менее 255 НВ [2]. Таким образом, существует необходимость в поиске новых типов структур, способных обеспечить повышение твердости и ударной вязкости в железнодорожных колесах.

Сорбит отпуска – является одной из таких структур [3]. Целью настоящей работы является сравнительное исследование механических свойств высокоглеродистой стали со структурой сорбита отпуска и сорбита закалки.

Структуру сорбита отпуска получали на стали с химическим составом, представленным в таблице 1. Колесная сталь марки «Т» (таблица 1), термообработанная на структуру сорбита закалки (тонкопластинчатый перлит) служила для сравнения.

Таблица 1. Химический состав исследуемых сталей

№№ обр.	Массовая доля элементов, %												
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Al	Ti	V	Nb
1 (сорбит отпуска)	0,58	0,33	1,18	0,010	0,008	1,05	0,60	0,013	0,12		0,003	0,26	0,047
2 (сорбит закалки)	0,69	0,42	0,72	0,003	0,010	0,032	0,09			<0,005	<0,002	0,006	-

После проведения термической обработки на образцах 1 и 2 измерялась твердость и исследованы стандартные механические свойства при растяжении и при динамическом ударном изгибе. Результаты испытаний представлены в таблице 2.

Таблица 2. Механические свойства следуемых сталей

№ пл.	Механические свойства						HRC	
	$\sigma_b$	$\sigma_{0.2}$	$\delta$	$\psi$	$KCU^{+20}$ Дж/см <sup>2</sup>			
	Н/мм <sup>2</sup>	%	%					
1	1412	1328	11	32	14		41	
2	1095	766	21	32	30		33	

Из полученных данных установлено, что твердость структуры отпущенного сорбита превосходит твердость сорбита закалки и составляет 41 HRC против 33 HRC.

Однако, ударная вязкость образцов со структурой отпущенного сорбита составила  $KCU^{+20}=14 \text{ Дж/см}^2$ , а у стали со структурой сорбита закалки  $KCU^{+20}=30 \text{ Дж/см}^2$ .

По прочностным характеристикам ( $\sigma_b$ ,  $\sigma_{0.2}$ ) выявлено превосходство структуры сорбита отпуска над структурой сорбита закалки, но показатель относительного удлинения ( $\delta$ ) при структуре сорбита закалки в 2 раза выше, чем у структуры отпущенного сорбита и

составляет  $\delta = 21\%$  и  $\delta = 11\%$  соответственно; величина относительного сужения для обоих типов структур одинакова – 32%.

Исследования структуры проведено методами оптической и просвечивающей электронной микроскопии.

Микроструктура стали №1 представляет (рисунок 1) мелкокристаллический отпущенный мартенсит (сорбит отпуска) пластинчатой и реечной морфологии. Размер основной массы кристаллов не превышает 10 мкм.

Микроструктура сорбита закалки (рис. 2) включает колонии перлита с малой долей (менее 1%) свободного феррита в форме тонких прослоек на границах исходного аустенитного зерна.



Рис. 1. Сталь №1 Микроструктура сорбита отпуска

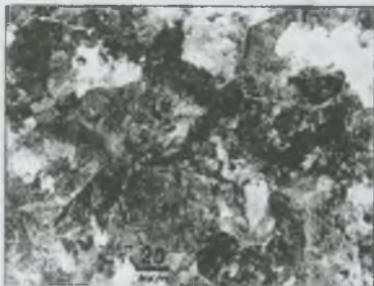


Рис. 2. Микроструктура стали №2. Тонкогластинчатый перлит и свободный феррит

Исследования тонкой структуры образцов со структурой сорбита отпуска выявили исходно двойниковые кристаллы, в которых цементит при отпуске выделился в форме пластинок по границам двойников (рис. 3). Однако основную долю занимают кристаллы реечной морфологии, образующие группы (пакеты), в которых сопрягаются параллельные, одинаково ориентированные кристаллы. На их границах при отпуске выделяется пластинчатый цементит (рис. 4). Следует отметить, что отпуск при  $570^{\circ}\text{C}$  не привел к изменению не только морфологии кристаллов (сохранилась пластинчатая и реечная их форма), но и к существенному уменьшению плотности дислокаций внутри их.



Рис. 3. Сталь №1 Двойники мартенсита.  
Электронный снимок

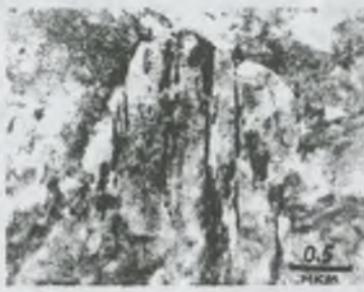


Рис. 4. Сталь №1. Пластины цементита на границах реечных кристаллов мартенсита.  
Электронный снимок

При детальном исследовании структуры сорбита закалки на электронном микроскопе, видно, что тонкая структура стали №2 включает мелкие ( $\sim 3$  мкм) колонии перлита, в

которых межпластиночное расстояние составляет порядка 0,1–0,15 мкм (рис. 5). Такой перлит обычно классифицируется как тонкопластинчатый или сорбит закалки.

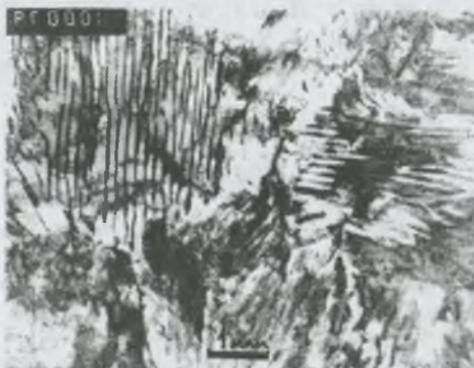


Рис. 5. Тонкая структура стали №2. Мелкие (~3 мкм) колонии тонкопластинчатого перлита. Электронные снимки на просвет

### Заключение

Проведено сравнительное исследование механических свойств высокоуглеродистой стали со структурой сорбита отпуска и сорбита закалки.

Исследованы твердость, вязкость и стандартные механические свойства при растяжении высокоуглеродистой стали со структурой сорбита отпуска и сорбита закалки. Установлено, что твердость структуры отпущенного сорбита превосходит твердость сорбита закалки и составляет 41 HRC против 33 HRC; ударная вязкость образцов со структурой отпущенного сорбита составила  $KCU^{+20}=14 \text{ Дж/см}^2$ , а у стали со структурой сорбита закалки  $KCU^{+20}=30 \text{ Дж/см}^2$ . По прочностным характеристикам ( $\sigma_b, \sigma_{0.2}$ ) выявлено превосходство структуры сорбита отпуска над структурой сорбита закалки, но показатель относительного удлинения ( $\delta$ ) при структуре сорбита закалки в 2 раза выше, чем у структуры отпущенного сорбита и составляет  $\delta=21\%$  и  $\delta=11\%$  соответственно; величина относительно го сужения для обоих типов структур одинакова 32%.

Проведены исследования микро- и тонкой структуры образцов со структурой сорбита отпуска и сорбита закалки.

### Список литературы

1. Маркин В.С., Шишов А.А., Сухов А.В., Филиппов Г.А. Освоение производства новых видов цельнокатанных колес для железнодорожного транспорта. Сталь. 2007 №9, с. 79-83.
2. Изотов В.И., Гетманова М.Е., Буржанов А.А., Киреева Е.Ю., Филиппов Г.А. Влияние структуры перлитной стали на механические свойства и особенности разрушения при изгибе при нагружении// ФММ. 2009. Т.108. №6. С. 638-648.
3. В.М. Счастливцев, Д.А. Мирзаев, И.Л. Яковлева, К.Ю. Окишев, Т.И. Табатчикова, Ю.В. Хлебников. Перлит в углеродистых сталях. Екатеренбург: УрОАН, 2006, 311с.