

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОМПЛЕКСНОГО МИКРОЛЕГИРОВАНИЯ И МОДИФИЦИРОВАНИЯ НА СВОЙСТВА НИЗКОЛЕГИРОВАННОЙ СТАЛИ

МАНЯК Н.А. (ДонГТУ)

Установлено, что совместное модифицирование и микролегирование низколегированной стали титаном, ванадием и бором в количествах 0,015, 0,06 и 0,003% соответственно при практически неизменных характеристиках прочности обеспечивает повышение энергии разрушения более, чем в три раза.

Как известно, при комплексном сложном легировании вводимые в сталь элементы влияют вовсе не аддитивно: они могут или резко усиливать влияние друг друга на свойства металла, или его ослаблять [1]. Однако в равной ли мере это распространяется на микродобавки, в технической литературе ответа на этот вопрос практически нет. С этой целью в лабораторных условиях были проведены исследования по комплексному микролегированию и модифицированию низколегированной стали 10ХСНД алюминием, бором, ванадием, кальцием и титаном. Количество вводимых микродобавок приведено в таблице 1.

Таблица 1 — Количество вводимых микродобавок в сталь 10ХСНД, %

Номер плавки	Содержание, %				
	Al	B	V	Ca	Ti
1	0,024	—	—	0,004	—
2	0,012	—	—	0,004	0,04
3	0,024	—	0,10	0,003	—
4	0,032	0,006	—	0,004	—
5	0,024	0,004	—	0,004	0,04
6	0,026	0,006	0,11	0,003	—
7	0,016	—	0,10	0,004	0,03
8	0,013	0,003	0,09	0,004	0,05
9	0,024	0,003	0,06	0,004	0,015
10	0,016	0,003	0,07	0,004	0,016

Во всех плавках содержание основных элементов было в следующих пределах, %: С — 0,09–0,12; Mn — 0,60–0,80; Si — 0,84–1,10; Ni — 0,64–0,78%; Cr — 0,65–0,76; Cu — 0,48–0,58; S ≤ 0,030

Для исследования механических свойств опытных сталей изготавливали поперечные разрывные и ударные образцы, которые перед испытанием подвергали нормализации при 910°C. Значения механических свойств (средние результаты испытаний пяти образцов) приведены в таблице 2.

По результатам механических испытаний решали компромиссную задачу с использованием функции желательности Харрингтона [2]. Для определения оптимального содержания микродобавок в стали обобщали все отклики в единый количественный признак.

Чтобы объединить эти отклики необходимо ввести для каждого из них безразмерную, единичную шкалу, что сделает их сравнительными. Натуральные значения откликов преобразуются в частные отклики и по уравнению (1) преобразуются в частные функции желательности, имеющие интервал от нуля до единицы. Значение частной функции желательности равно нулю ( $d_u=0$ ) соответствует неприемлемому уровню свойства, а значение равно единице ( $d_u=1$ ) — самому лучшему значению свойства.

$$d_u = e^{-y'}, \quad (1)$$

где  $y'$  — значение отклика, записанное в условном масштабе.

Таблица 2 — Механические свойства опытных сталей

Номер плавки	$\sigma_b$ , Н/мм <sup>2</sup>	$\sigma_T$ , Н/мм <sup>2</sup>	$\delta_5$ , %	$\psi$ , %	KCU <sup>-40</sup> , Дж/см <sup>2</sup>	KV <sup>-20</sup> , Дж
1	500	305	32,5	63,0	51	18
2	555	400	31,0	60,5	56	30
3	530	375	27,0	55,5	62	28
4	450	335	28,0	59,5	43	9
5	510	320	30,0	62,5	41	10
6	480	305	29,0	57,5	48	15
7	505	320	25,5	52,0	71	47
8	565	340	20,5	42,0	46	16
9	520	360	33,0	66,0	97	62
10	510	355	34,0	70,5	105	73

Для перехода к обобщенной функции желательности используют выражение:

$$D = \sqrt[n]{\prod_{u=1}^n d_u}, \quad (2)$$

Частные отклики, преобразованные в частные функции желательности и обобщенные функции желательности, приведены в таблице 3.

Таблица 3 — Частные и обобщенные функции желательности

Номер плавки	$d_1$ , ( $\sigma_b$ )	$d_2$ , ( $\sigma_T$ )	$d_3$ , ( $\sigma_5$ )	$d_4$ , ( $\psi$ )	$d_5$ , (KCU <sup>-40</sup> )	$d_6$ , (KV <sup>-20</sup> )	D
1	0,78	0,37	0,93	0,97	0,51	0,48	0,63
2	0,94	0,95	0,91	0,87	0,60	0,66	0,81
3	0,89	0,88	0,79	0,79	0,69	0,64	0,78
4	0,37	0,66	0,82	0,86	0,40	0,37	0,54
5	0,82	0,52	0,88	0,89	0,37	0,39	0,60
6	0,63	0,37	0,85	0,83	0,47	0,45	0,57
7	0,79	0,52	0,72	0,72	0,79	0,83	0,72
8	0,95	0,70	0,37	0,37	0,44	0,47	0,52
9	0,86	0,83	0,94	0,93	0,93	0,92	0,90
10	0,82	0,81	0,95	0,95	0,95	0,95	0,90

Как видно из приведенных данных, наиболее благоприятным является совместное модифицирование и микролегирование стали 10ХСНД титаном, ванадием и бором в количествах 0,015; 0,06 и 0,003% соответственно.

Количественное исследование микроструктуры стали показало, что титан при остаточном его содержании в стали 0,04% приводит к уменьшению размера зерна феррита на 25%. Воздействие ванадия менее эффективно — зерно уменьшается не более, чем на 15%. Совместное же введение этих элементов в сталь даже в меньшем количестве (0,015% Ti и 0,05% V) приводит к измельчению ферритного зерна на 30–35%. Размер перлитных колоний уменьшается почти в два раза.

Таким образом, комплексное введение микродобавок обеспечивает существенное повышение качества металла. В результате проведенных исследований на базе стали 10ХСНД была разработана низколегированная сталь для судостроения, которая

обеспечила повышение категоричности проката до Д40 в соответствии с правилами Регистра.

### Список литературы

1. Браун М.П. Комплекснолегированные конструкционные стали. — Киев: Наукова думка, 1965. — 292 с.
2. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. — М.: Наука, 1976. — 179 с.

© Маняк Н.А., 1999.

## ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ПРЕДШЕСТВУЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В АУСТЕНИТЕ СРЕДНЕУГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ

ГОРБАТЕНКО В.П., БЫКОВСКИХ С.В., БЕЛЕНЬКАЯ Т.В. (ДонГТУ)

*При нагреве сталей с исходной феррито-перлитной структурой в определенный температурный интервал происходит аномальное «наследственное» укрупнение зерна аустенита. Степень его проявления определяется составом стали и условиями предшествующей обработки.*

Известно, что в зависимости от типа исходной структуры стали, степени ее дисперсности, плотности дефектов атомно-кристаллического строения могут существенно изменяться условия процесса аустенитизации при последующем нагреве и кинетика структурных изменений в аустените [1–4]. Достаточно давно обнаружено явление структурной наследственности [2] для кристаллографически ориентированных структур. Ряд экспериментальных данных, полученных нами на сталях с исходной феррито-перлитной структурой [5] позволяет выдвинуть гипотезу об общности характера процессов структурообразования в аустените, сформированном при превращении структур различного типа. Важность учета и направленного использования эффекта предшествующей обработки усиливается в связи с развитием различных видов деформационно-термического воздействия.

Ниже представлены результаты исследований, выполненных на конструкционных сталях 35 (0,40% С, 0,49% Мн, 0,17% Si, 0,021% S, 0,013% P), 35Ю (0,36% С, 0,49% Мн, 0,20% Si, 0,023% S, 0,012% P, 0,18% Al) и 30ЮТ (0,26% С, 0,49% Мн, 0,28% Si, 0,025% S, 0,025% P, 0,23% Al, 0,05% Ti), имеющих перед нагревом феррито-перлитную структуру. Стали предварительно подвергали различной деформационно-термической и термической обработке. Исходное аустенитное зерно выявляли травлением закаленных от заданной температуры нагрева образцов в насыщенном водном растворе пикриновой кислоты с добавлением ПАВ. Количественный металлографический анализ выполняли на анализаторе структуры «Эпиквант» в полуавтоматическом режиме. Образцы для исследований отбирали из одного бунта на различных стадиях передела. Нагрев образцов проводили в печи с заданной температурой с выдержкой 10 минут для сталей 35 и 35Ю.