



There are given the results of investigation of influence of modification by ferrocerium, FS30RZM30B, FSMG, modifier MN, developed in BNTU, ferromolybdenum on the structure and characteristics of the steel 12X18H10TL.

И. В. ЗЕМСКОВ, И. К. ФИЛАНОВИЧ, К. В. КОРОЛЕВ,
Белорусский национальный технический университет

УДК 621.74

ВЛИЯНИЕ МОДИФИЦИРОВАНИЯ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ 12X18H10TL

При получении непрерывнолитых заготовок из нержавеющей стали в качестве шихтовых материалов используются неделовые отходы, при переплаве которых для получения требуемых физико-механических свойств большое значение приобретают процессы рафинирования, подавления образования карбидов хрома (устранение склонности к МКК), измельчение структурных составляющих. Поэтому эти особенности должны быть учтены при выборе эффективных модифицирующих элементов для стали 12X18H10TL.

Так, из многочисленных литературных источников известно, что для повышения ряда свойств сталей, аналогичных по составу 12X18H10TL, используют молибден, ниобий, церий, лантан, кальций, магний, иттрий, комплексный модификатор РЗМ [1–5]. В связи с этим, а также на основании предварительных собственных результатов для улучшения структуры и свойств исследуемой стали нами выбраны молибден, церий, комплексные модификаторы ФС30РЗМ30Б, ФСМГ2 (ТУ 14-5-134-86) и модификатор МН, разработанный в БНТУ.

Фазовый состав стали исследовали методами рентгенографического анализа с использованием

аппарата ДРОН-3. Съемку дифрактограмм осуществляли в кобальтовом монохроматизированном излучении, напряжение на трубке – 30–35 кВ, анодный ток – 20–30 мА, скорость движения счетчика – 2,0–0,5 °/мин. Для определения структуры тонкодисперсных карбидных фаз использовали метод электрохимического анодного избирательного изолирования с последующей рентгенографической идентификацией состава и структуры этих фаз на поверхности шлифа. Разделение фаз осуществляли в водном электролите следующего состава: 30 % KCl, 5 % HCl, 3% лимонной кислоты; анодный ток – 0,1 мА/см².

Влияние модифицирования на изменение фазового состава литой нержавеющей стали исследовано на образцах, содержащих церий (образец №1) и без модификатора (образец №0). Определение фазового состава модифицированной стали проводили в различных макрообъемах, в частности, в центральной части отливки и в поверхностных слоях, чтобы установить, в какой мере модификатор влияет на структурную неоднородность стали. Фазовый состав немодифицированной стали изучали как в литом, так и закаленном состоянии (табл. 1).

Таблица 1. Результаты фазового анализа стали 12X18H10TL в различных структурных состояниях

Маркировка	Структурное состояние	Параметры кристаллической решетки, а (Å) и содержание аустенитной фазы, % (Θ А)			Состав карбидной фазы
		а(Å)1/ΘА1	а(Å)2/ΘА2	а(Å)3/ΘА3	
1	Литой	<u>3,595</u>	<u>3,655</u>	<u>3,745</u>	MC*
Середина		87,1	6,8	6,1	
1	Литой	<u>3,591</u>	<u>3,666</u>	<u>3,756</u>	MC*
Боковая поверхность		86,69	5,7	7,4	
0	Литой	<u>3,593</u>	<u>3,669</u>	<u>3,762</u>	M ₂₃ C ₆ >>MC*>M ₇ C ₃
Середина		93,5	2,3	4,2	
0	Закаленный	<u>3,537</u>	<u>3,658</u>	<u>3,747</u>	M ₂₃ C ₆ >MC*
Середина		17,5	43,0	39,5	

Примечание: 1 – * фазы в дисперсном состоянии.

2 – (M₇C₃) – фаза присутствует в виде следов.

Анализ дифрактограмм показывает, что исследуемая сталь в литом и закаленном состоянии независимо от наличия модификатора имеет аустенитную структуру, состоящую из разнолегированных фаз. Об этом свидетельствует то, что на дифрактограммах в тех диапазонах углов отражения, которые соответствуют определенной линии аустенита, выявляются три дифракционных максимума. По их интенсивности можно судить о количественном соотношении этих фаз. Методом сравнительного анализа определена доля (%) каждой из аустенитных фаз исходя из интегральных интенсивностей линий, отвечающих этим фазам для определенной плоскости отражения (табл. 1).

Расчеты параметров кристаллических решеток аустенитных фаз и сравнительный количественный анализ показывают, что структура модифицированной стали достаточно однородна в макрорежимах отливки. Более 85% в структуре этой стали присутствует «низколегированный аустенит» с параметром решетки 3,585–3,591 Å. Содержание двух других аустенитных фаз не превышает 10–13%, а параметры решеток значительно больше. Состав карбидной фазы модифицированной стали соответствует карбиду MC на основе титана (табл. 1).

В литой немодифицированной стали параметры кристаллической решетки аустенитных фаз несколько больше, чем у соответствующих фаз модифицированной церием стали, а содержание «низколегированного» аустенита более 90%. Состав карбидной фазы $M_{23}C_6$ (на основе хрома), MC (титана) и M_7C_3 (также на основе хрома) приведен в табл. 1. Таким образом, модифицирование способствует образованию карбида титана и предотвращает образование карбидов, содержащих хром, что имеет немаловажное значение для устранения склонности исследуемой стали к межкристаллической коррозии. Изменение структуры стали I2X18H10TЛ может быть объяснено перераспределением легирующих элементов между твердым раствором и карбидной фазой в процессе кристаллизации. Под воздействием церия подав-

ляется образование карбидов на основе хрома, который сохраняется в твердом растворе. В модифицированной стали часть титана, входящего в состав твердого раствора, переходит в карбидную фазу с образованием тонкодисперсных частиц MC в матрице. Это явление и вызывает уменьшение параметров кристаллических решеток аустенитных фаз, поскольку размеры атомов хрома, замещающих атомы титана, значительно меньше, чем у титана (1,27 и 1,46 Å соответственно). Об этом свидетельствуют также результаты микрорентгеноспектрального анализа исследуемых образцов. Так, в местах расположения карбидов титана существенно уменьшается содержание хрома. Кроме того, в немодифицированной стали хром и никель распределены весьма неравномерно в отличие от модифицированной стали, в которой хром и никель в твердом растворе распределяются относительно равномерно. Подтверждается также тот факт, что содержание хрома в твердом растворе модифицированной стали значительно выше, чем в немодифицированной.

Микрорентгеноспектральный анализ позволяет объяснить явление «перемодифицирования» исследуемой стали церием, которое приводит к резкому увеличению загрязнения ее неметаллическими включениями и снижению механических свойств (табл. 2).

Микрорентгеноспектральный анализ подтверждает преимущественное распределение церия в этих включениях. Явление «перемодифицирования» стали, приводящее к увеличению количества примесей по сравнению с немодифицированной сталью, не наблюдается в стали, модифицированной комплексным модификатором ФСМГ2 в количестве 0,1%. Здесь характерным является равномерное распределение в структуре магния, кальция, а также дисперсных карбидов титана. Относительно равномерно распределяются церий и молибден в комплексно модифицированной стали (ферромолибден – 0,1%, ферроцерий – 0,02%), количества которых являются оптимальными с точки зрения повышения ряда механических свойств исследуемой стали.

Таблица 2. Механические свойства образцов

Номер образца	Добавка и ее количество, %	σ_b , МПа	σ_t , МПа	Ψ , %	δ , %	KCU, МДж/м ²
1	Ферроцерий (0,05)	440	310	44,3	48,9	0,25
2	Ферроцерий (0,1)	415	300	34,8	38,3	0,13
3	ФС30РЗМ30Б (0,05)	420	300	28,6	39,5	0,23
4	ФС30РЗМ30Б (0,1)	410	290	35,5	44,5	0,20
5	ФСМГ2 (0,05)	420	290	47,5	50,6	0,21
6	ФСМГ2 (0,1)	460	330	33,3	41,2	0,24
7	МН (0,5)	420	300	44,3	39,2	0,16
8	МН (0,1)	420	285	43,8	40,1	0,23
9	Ферромолибден (0,05) Ферроцерий (0,02)	460	330	39,8	44,2	0,22
10	Ферромолибден (0,1) Ферроцерий (0,02)	450	310	41,3	53,9	0,20

Существенное улучшение структуры литой немодифицированной нержавеющей стали типа 12X18H10ТЛ может быть достигнуто посредством термической обработки (закалки). В этом случае значительно уменьшается доля «низколегированного» аустенита (до 17,5%) и увеличивается доля высоколегированных фаз (см. табл. 1). В карбидной фазе уменьшается содержание карбидов хрома. Линии на дифрактограммах закаленной стали, отвечающие $M_{23}C_6$, значительно меньшей интенсивности, чем в литом, и размыты, что свидетельствует не только об уменьшении содержания этой фазы, но и о ее дисперсности. Следовательно, в процессе нагрева под закалку большая часть хрома растворяется в аустените.

Итак, модифицирование стали 12X18H10ТЛ существенно влияет на структуру, фазовый состав твердого раствора и карбидов. В модифицированной стали хром сохраняется в твердом растворе, обеспечивая комплекс физико-механических и коррозионных свойств, а тонкодисперсные карбиды титана распределяются равномерно по всей структуре. Наиболее эффективным с точки зрения повышения механических свойств исследуемой стали является ее совместное модифицирование молибденом и церием. Структура немодифицированной стали может быть улучшена закалкой. При этом достигается эффект, аналогичный влиянию модификатора, когда вследствие разрушения карбидов хрома этот элемент сохраняется в твердом растворе, а карбидная фаза

представлена преимущественно дисперсными частицами MC (на основе титана).

Таким образом, в результате проведенной работы установлено, что применение в качестве модифицирующих редкоземельных и щелочноземельных металлов, находящихся в комплексных лигатурах ФСМГ2 и ФС30РЗМ30Б, приводит к существенным изменениям в микроструктуре и субструктуре коррозионностойкой стали 12X18H10ТЛ, способствует равномерному распределению хрома в матрице, измельчению аустенитного зерна. В результате модифицирующего действия устраняется склонность стали к межкристаллитной коррозии без применения стабилизирующего отжига, снижается уровень микронапряжения, измельчаются блоки когерентного рассеяния и устраняется вероятность появления разнолегированных фаз аустенита, что способствует повышению механических свойств стали.

Литература

1. Структура и коррозия металлов и сплавов: Атлас. Справ. изд. / И.Я. Сокол, Е.А. Ульянин, Э.Г. Фельдгандлер и др. М.: Металлургия. 1989.
2. Гуляев Б. Б. Синтез сплавов. М.: Металлургия, 1984.
3. Браун М.П. Микролегирование стали. Киев: Наукова думка, 1982.
4. Браун М.П., Матювенко Н. И. Аналитический расчет поверхностной активности ниобия, циркония и лантана // Редкоземельные металлы и сплавы. М.: Наука, 1971. С. 73–75.
5. Браун М.П., Александрова В. П., Тихоновская Л. Д. Микролегирование литых жаропрочных сталей. Киев: Наукова думка, 1974.