

УДК 620.18

DOI: 10.30987/2223-4608-2020-9-3-6

Д.М. Мордасов, д.т.н.

(Тамбовский государственный технический университет,
392000, г. Тамбов, ул. Советская, д.106)

E-mail: mit@tstu.ru

Металлографический анализ стали X2CrNiMoCuN25-6-3 после различных режимов ее термической обработки

Осуществлен выбор эффективной методики выявления микроструктуры дуплексной стали X2CrNiMoCuN25-6-3. Проведены металлографические исследования стали после различных режимов ее термической обработки. Выбран режим, при котором формируется структура с равным количеством феррита и аустенита, что позволяет сформировать оптимальный комплекс физико-механических свойств стали.

Ключевые слова: аустенит; феррит; металлографический анализ; дуплексная сталь; термообработка.

D.M. Mordasov, Dr. Sc. Tech.

(Tambov State Technical University, 106, Sovetskaya Str., Tambov, 392000)

Metallographic analysis of X2CrNiMoCuN25-6-3 steel after its different thermal treatments

There is carried out a choice of efficient procedure for the microstructure detection of X2CrNiMoCuN25-6-3 duplex steel. The metallographic investigations of steel after different modes of its thermal treatment are fulfilled. There is chosen a mode, at which a structure with equal amount of ferrite and austenite is formed which allows forming an optimum complex of steel physical-mechanical properties.

Keywords: austenite; ferrite; metallographic analysis; duplex steel; thermal treatment.

Сталь X2CrNiMoCuN25-6-3 является аустенитно-ферритной нержавеющей сталью с повышенной коррозионной и химической стойкостью. Благодаря своей высокой кислотостойкости эта сталь нашла применение в судостроении, а также при производстве оборудования по переработке серной, фосфорной, азотной, уксусной и других кислот. К преимуществам дуплексных сталей относится также их высокая прочность, что позволяет уменьшить вес изделий.

Требуемый комплекс физико-механических свойств стали формируется путем ее термической, либо термомеханической обработки, в результате которой происходит переход фер-

ритной фазы в аустенитную. Наиболее устойчивым является состояние микроструктуры, в которой содержится 50 % аустенита и 50 % феррита, что определяет повышенный комплекс свойств дуплексных нержавеющей сталей.

Наряду с преимуществами при использовании дуплексных сталей возникает ряд трудностей, к которым, прежде всего, следует отнести возникновение существенной микроструктурной неоднородности при тепловой обработке и склонность к ухудшению свойств.

Ухудшение механических свойств стали связано с ее старением, вызванным высоким содержанием азота. Азот в составе дуплекс-

ных сталей необходим для подавления образования σ -фазы, однако, выделяющиеся по кристаллографическим плоскостям дисперсные включения нитридов железа препятствуют перемещению дислокаций и вызывают охрупчивание металла [1].

Формирование микроструктурной неоднородности, как правило, происходит при сварке сталей и особенно заметно в околошовной зоне. Особенностью тепловых процессов обработки большинства высоколегированных сталей является формирование в структуре интерметаллических соединений, негативно влияющих на их прочность и коррозионную стойкость. Температурно-временные режимы формирования фаз Лавеса, σ -фазы и χ -фазы носят нелинейный характер и зависят от действительного содержания легирующих элементов в стали.

Согласно имеющимся данным для высоколегированных сталей характерна 475-градусная хрупкость, которая связана с формированием по границам зерен хрупкой α' -фазы. Время возникновения этой фазы достаточно мало – формирование происходит уже

через 5...6 мин выдержки стали при этой температуре. При температурах 500...650 °С для формирования интерметаллидов требуется время от 1 до 10 ч, а при температурах 700...1000 °С время их возникновения уменьшается до 1...20 мин.

Таким образом, при разработке и реализации технологий неразъемного соединения аустенитно-ферритных сталей с использованием источников нагрева, а также при разработке технологий их термической обработки, необходимо знать и учитывать происходящие структурные изменения для получения требуемого комплекса физико-механических свойств.

В настоящей работе проведены микроструктурные исследования влияния температуры отжига стали X2CrNiMoCuN25-6-3 на ее структуру и физико-механические свойства. Время изотермической выдержки составляло 15 мин, размеры экспериментальных образцов – 15×8×50 мм.

В табл. 1 представлены результаты анализа химического состава изучаемой стали.

1. Химический состав стали X2CrNiMoCuN25-6-3

Элемент	C	Cr	Ni	Mn	Si	Mo	Cu	N	P	S
Содержание, %	0,023	24,656	6,296	0,978	0,321	3,594	1,617	0,238	0,026	0

Исследование микроструктуры образцов после различных режимов термической обработки осуществлялось с применением металлографического анализа в режиме светлопольного освещения на металлографическом микроскопе ММР-2Р.

Подготовка образцов для металлографического анализа осуществлялась путем шлифования, полировки их поверхностей, и последующего выявления микроструктуры. Наиболее широко в металлографии применяют ме-

тодики химического и электролитического травления [2, 3].

Высокая коррозионная и химическая стойкость стали X2CrNiMoCuN25-6-3 делает неэффективным применение большинства реактивов, которые традиционно применялись для нержавеющей сталей. В результате проведенных экспериментальных исследований по оценке эффективности различных способов и составов для металлографического травления изучаемой стали, выбраны реактивы, рецептура которых приведена в табл. 2.

2. Способы и составы травления стали X2CrNiMoCuN25-6-3

№ реактива	Способ травления	Время травления, мин	Плотность тока, А/дм ²	Состав реактива (электролита)
1	Химическое	10	—	CuCl ₂ – 1 г; HCl – 10 мл; C ₂ H ₅ OH – 10 мл; H ₂ O – 10 мл
2	Электролитическое	1	0,6	13,5%-ный водный раствор HCl
3		5	0,2	Ba(OH) ₂ – 10 г; H ₂ O – 200 мл

На рис. 1 представлены микроструктуры стали X2CrNiMoCuN25-6-3, выявленные путем травления составами, приведенными в табл. 2.

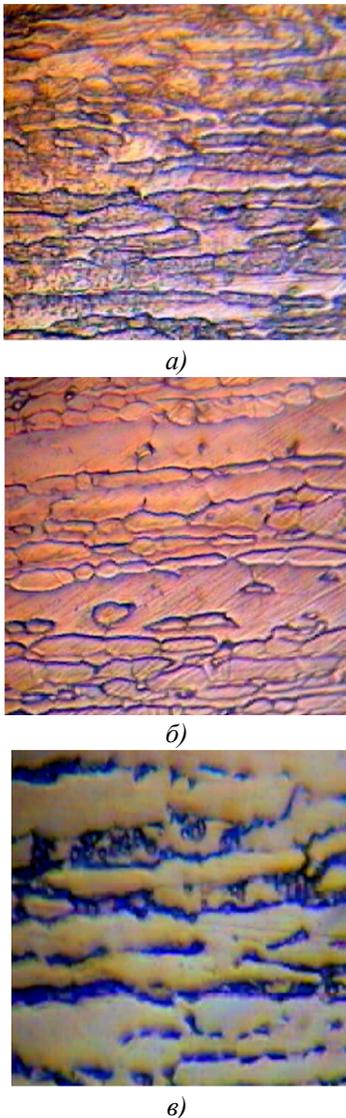


Рис. 1. Микроструктура стали X2CrNiMoCuN25-6-3 ($\times 1025$):

a – химическое травление реактивом 1;
б, в – электролитическое травление реактивами 2 и 3

Характерной особенностью аустенитно-ферритных сталей является то, что формирование аустенитной фазы происходит при резком охлаждении, а присутствие в составе стали азота способствует стабилизации γ -фазы. Первоначально структура стали преимущественно ферритная. Согласно диаграмме Шеффлера [4] после термической обработки структура исследуемой стали будет аустенитно-ферритная, причем феррита в ней $\sim 70\%$.

Травление реактивами 1 и 2, как видно из рис. 1, позволяет выявить границы фаз, однако, не является избирательным по отношению

к какой-либо из них. На рис. 1, *в* показана микроструктура, полученная путем травления в электролите, представляющем собой водный раствор гидроксида бария. Как видно, данный раствор пригоден для избирательного травления фаз. При его использовании происходит вытравливание аустенитной фазы (темные участки), а ферритная контрастно проявляется на ее фоне в виде белых участков.

Таким образом, на основе изучения действия различных реактивов на аустенитно-ферритную сталь X2CrNiMoCuN25-6-3, выбран наиболее эффективный способ выявления ее структуры, который используется в дальнейших исследованиях образцов, подвергнутых различным тепловым воздействиям.

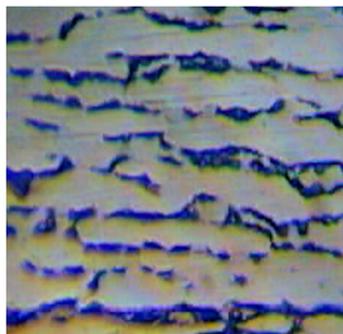
Согласно СТО 22452139-001-2014 «Сварка сосудов, аппаратов и трубопроводов из дуплексных сталей» для обеспечения стойкости к коррозионному растрескиванию, сварные соединения из дуплексных сталей подвергаются термической обработке в виде отжига для снятия напряжений с последующим охлаждением в воде или на воздухе. При этом для уточнения рекомендуемых режимов термообработки рекомендуется обращаться к производителю конкретной марки стали или его официальному представителю.

С целью выяснения механизма влияния режима термической обработки стали X2CrNiMoCuN25-6-3 на изменение ее микроструктуры авторами проведен комплекс исследований, при котором специально подготовленные образцы подвергались нагреву до температур 600, 800, 1050 °С в лабораторной муфельной печи СНОЛ 6/11, выдержке 15 мин и охлаждению в воде.

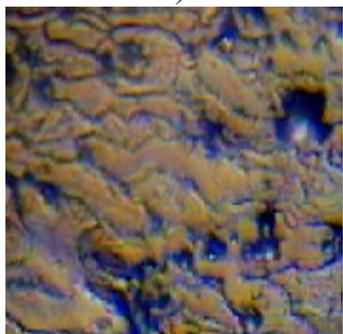
На рис. 2 представлены микроструктуры образцов при увеличении 500 крат. Светлые области на микроструктурах – феррит, темные – аустенит.

Анализ микроструктур (см. рис. 2) показывает, что изотермическая выдержка при температуре 600 °С (рис. 2, *б*) с последующим охлаждением в воде не изменяет структуру стали, которая изначально (рис. 2, *а*) является ферритной [4]. При нагреве до температуры 800 °С, выдержке и охлаждении в воде в структуре (рис. 2, *в*) начинает выделяться вторичный аустенит. Наряду с выделением из ферритной фазы аустенита, в ней происходит интенсивное формирование интерметаллидов (σ -фазы, χ -фазы и фаз Лавеса), которые на рис. 2, *в* имеют серый оттенок. Наличие данных фаз в микроструктуре ведет к охрупчива-

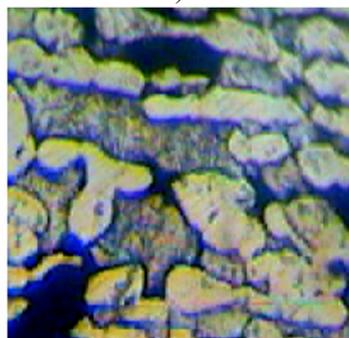
нию стали. Предотвратить образование интерметаллидов позволяет повышение температуры нагрева до 1050 °С (рис. 2, з). При этом происходит наиболее полное превращение ферритной фазы в аустенитную. После резкого охлаждения в структуре устанавливается практически равное количество ферритной и аустенитной фаз.



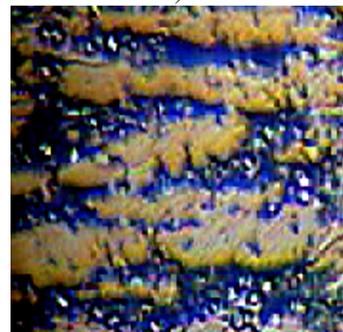
а)



б)



в)



г)

Рис. 2. Микроструктура стали X2CrNiMoCuN25-6-3 без термообработки (а), после отжига при температурах 600 °С (б), 800 °С (в), 1050 °С (г)

Выводы

1. В результате проведенных исследований определена эффективность различных способов и составов для выявления микроструктуры дуплексной стали X2CrNiMoCuN25-6-3 и выбрано электролитическое травление в 5 %-ном растворе гидроксида бария.

2. Выбранная методика выявления структуры применена при проведении металлографических исследований образцов стали после различных режимов ее термической обработки. Доказано, что при нагреве стали до температуры 1050 °С, выдержке и охлаждении в воде формируется структура с равным количеством феррита и аустенита, что позволяет сформировать оптимальный комплекс физико-механических свойств стали (ударная вязкость, прочность), недостижимый при использовании аустенитных, мартенситных или ферритных нержавеющей сталей, а также получить коррозионную стойкость наивысшую, по сравнению с однофазными сталями.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Уманский, А.А. Исследование процессов формирования качества металлопродукции ответственного назначения на переделе сталь-прокат // *Фундаментальные исследования*. – 2014. – № 8-2. – С. 335-339.
2. Баранова, Л.В., Демина, Э.Л. Металлографическое травление металлов и сплавов: справочник - М.: *Металлургия*, 1986. – 256 с.
3. Мордасов, Д.М., Зотов, С.В. Термоциклическая обработка штампов для работы в условиях горячего деформирования из стали X12МФ // *Вестник ТГТУ*. – 2016. – № 3(22). – С. 481-490.
4. Schaeffler, A.L. Constitution diagram for stainless steel weld metal // *Metal Progress*. – 1949. – V. 56. No. 5. – Pp. 680-686.

REFERENCES

1. Umansky, A.A. Quality formation investigations of critical metal products through steel-rolled metal conversion // *Fundamental Investigations*. – 2014. – No.8-2. – pp. 335-339.
2. Baranova, L.V., Demina, E.L. Metal and alloy metallograph etching: reference book – M.: *Metallurgy*, 1986. – pp. 256.
3. Mordasov, D.M., Zotov, S.V. Ch12MF steel die thermocyclic processing for working under conditions of hot deformation // *Bulletin of TSTU*. – 2016. – No.3 (22). – pp. 481-490.
4. Schaeffler, A.L. Constitution diagram for stainless steel weld metal // *Metal Progress*. – 1949. – V. 56. No. 5. – Pp. 680-686.

Рецензент д.т.н. М.В. Соколов