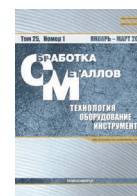




Обработка металлов (технология • оборудование • инструменты)

Сайт журнала: http://journals.nstu.ru/obrabotka_metallov



Анализ причин образования дефектов заготовок из стали 12Х18Н10Т и разработка рекомендаций по их устранению

Сергей Рябошук^{а, *}, Павел Ковалев^б

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, ул. Политехническая, 29, г. Санкт-Петербург, 195251, Россия

^а <https://orcid.org/0000-0002-1183-8445>, ryaboshuk_sv@spbstu.ru, ^б <https://orcid.org/0000-0003-1066-3812>, kovalev_pv@spbstu.ru

ИНФОРМАЦИЯ О СТАТЬЕ

УДК 62-4

История статьи:

Поступила: 01 октября 2022
Рецензирование: 01 ноября 2022
Принята к печати: 19 декабря 2022
Доступно онлайн: 15 марта 2023

Ключевые слова:

12Х18Н10Т
Дефекты
Аустенит
Межкристаллитная коррозия
Мартенситная α -фаза
Ферритная δ -фаза
Нержавеющая сталь

Благодарности:

Исследования частично выполнены на оборудовании ЦКП «Структура, механические и физические свойства материалов» (соглашение с Минобрнаукой № 13.ЦКП.21.0034).

АННОТАЦИЯ

Введение. Аустенитная сталь марки 12Х18Н10Т получила широкое распространение, что обусловливается высокой коррозионной стойкостью и соответствующей возможностью использования в агрессивных средах. Можно выделить следующие наиболее распространенные виды дефектов стали данной марки: межкристаллитная коррозия, мартенситная ориентация α -фазы и ферритная δ -фаза. **Цель работы:** проанализировать причины образования дефектов заготовок из стали 12Х18Н10Т и разработать рекомендации по их устранению. **Методы исследования.** В работе проведены испытания образцов стали 12Х18Н10Т на стойкость к межкристаллитной коррозии, металлографический анализ дефектов. Осуществлены измерения твердости для различных степеней обжата заготовок. Термодинамические расчёты фазового равновесия в многокомпонентной стали для различных температур выполнялись в программе *Thermo-Calc*. **Результаты и обсуждение.** Было определено, что для предотвращения межкристаллитной коррозии необходимо снизить содержание азота и углерода в стали на этапе внепечной обработки до 0,05 %, а также обеспечить концентрацию титана в стали не менее допустимого значения 0,3 %. Эти меры способствуют снижению карбидов хрома $Cr_{23}C_6$, ответственных за межкристаллитную коррозию. Для предотвращения появления ферромагнитной мартенситной α -фазы необходимо снижение степени обжата заготовок до уровня не более 50 %, поскольку именно с высокой степенью обжата при волочении связано образование данного дефекта. Высокотемпературная фаза δ -феррита существует в структуре металла в широком температурном интервале. Снижение этого диапазона до 100 градусов и менее путём оптимизации состава сплава по углероду и хрому в рамках ГОСТ 5632–2014 приводит к значительному снижению количества феррита. Однако полностью устранить его из структуры стали не представляется возможным. Для всех случаев необходимо назначение аустенизации заготовок в диапазоне температур 1050...1100 °С.

Для цитирования: Рябошук С.В., Ковалев П.В. Анализ причин образования дефектов заготовок из стали 12Х18Н10Т и разработка рекомендаций по их устранению // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2023. – Т. 25, № 1. – С. 6–15. – DOI: 10.17212/1994-6309-2023-25.1-6-15.

Введение

В настоящее время нержавеющая сталь марки 12Х18Н10Т получила достаточно широкое распространение в энергетическом машиностроении вследствие её высоких коррозионных свойств, проявляющихся довольно в значительном интервале температур применения [1–5]. Этим объясняется необходимость повышения

качества заготовок, выполняемых из этой стали, в частности, особенно ответственных, используемых в агрессивных средах. В этой связи необходимо отметить, что тематика, связанная с изучением наиболее характерных дефектов изделий из стали 12Х18Н10Т и поиском рекомендаций, направленных на их устранение, является достаточно актуальной.

Известно, что для стали марки 12Х18Н10Т наиболее характерны следующие основные дефекты структуры: межкристаллитная коррозия, наличие мартенситной α -фазы и δ -феррита [6–11].

Установлено, что межкристаллитная коррозия – это тип коррозии, за который ответственны

*Адрес для переписки

Сергей Владимирович Рябошук, старший преподаватель, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, ул. Политехническая, 29, 195251, г. Санкт-Петербург, Россия
e-mail: ryaboshuk_sv@spbstu.ru

Материалы и методики

карбиды хрома Cr_{23}C_6 , выделяющиеся по границам аустенитных зёрен и способствующие снижению растворенного в матрице хрома до значений (менее 13 %), обеспечивающих локальное падение коррозионной стойкости [12–14]. Этот процесс интенсифицируется в течение длительных выдержек при температурах, соответствующих активному формированию карбида хрома, при этом коррозия распространяется в глубину зерна.

Для снижения склонности стали марки 12X18H10T к данному типу коррозии реализуются мероприятия по термической обработке заготовок (закалка, отжиг), а также оптимизации химического состава, закладываемого при выплавке и внепечной обработке жидкого расплава [15–17].

При работе в условиях пониженных температур или в процессе холодной пластической деформации в структуре нержавеющей стали может происходить формирование мартенситной α -фазы, сопровождающееся повышением магнитных свойств материала. Данный переход является нежелательным для аустенитной стали, для его предотвращения осуществляется оптимизация химического состава и параметров прокатки [7, 18].

Формирование ферритной фазы в исследуемой стали начинается в начале затвердевания расплава, при дальнейшем охлаждении δ -феррит растворяется в аустените. Ввиду значительных скоростей охлаждения слитков этот процесс, как правило, неполный. Даже после горячей пластической деформации в структуре металла присутствует остаточная ферритная фаза, ухудшающая магнитные свойства. Более того, снижаются пластичность и трещиностойкость стали [19, 20].

На сегодняшний день довольно широко используются методы термодинамического моделирования для оценки влияния химического состава материалов на количество и тип фазовых составляющих. Подобная информация позволяет уточнить рекомендации и мероприятия по повышению качества металлопродукции [21–23].

Цель работы: провести исследования структуры основных дефектов нержавеющей марки стали 12X18H10T; выполнить термодинамическое моделирование сопутствующих фазовых превращений; на основе проведенных исследований и расчетов дать рекомендации по повышению качества металла – снижению его дефектности.

В рамках данной работы испытания стали марки 12X18H10T на стойкость против межкристаллитной коррозии проводились согласно ГОСТ 6032–2017 «Стали и сплавы коррозионностойкие». С поверхности термообработанных образцов химическим травлением удалялась окалина, после этого образцы выдерживались в кипящем водном растворе сернокислотной меди и серной кислоты в присутствии металлической меди. Время выдержки в зависимости от метода составляло 24 ч или 8 ч. После испытаний проводилось сгибание на $90 \pm 5^\circ$ и осмотр на наличие трещин. Наличие трещин на образцах, изогнутых после испытания, и отсутствие трещин на изогнутых таким же образом контрольных образцах свидетельствовало о склонности стали к межкристаллитной коррозии.

Подготовка к металлографическому анализу заключалась в последовательной шлифовке, полировке образцов из нержавеющей стали и электрохимическом травлении в 10 %-м водном растворе щавелевой кислоты. Для подготовки проб использовалось оборудование фирмы Buehler Ltd.

При необходимости могла дополнительно осуществляться операция аустенизации образцов, а именно проводилась длительная выдержка в диапазоне 1000...1200 °С для снятия намагниченности и растворения ферритной фазы. Непосредственно металлографический анализ проводился при помощи микровизора $\mu\text{VIZO-MET-221}$.

Измерение твердости по шкале Бринелля образцов нагартованного металла после холодной деформации осуществлялось при помощи твердомера ТБ 5015-01.

Термодинамическое моделирование выполнялось при помощи программного продукта Thermo-Calc. Данный комплекс позволяет осуществлять расчеты равновесия многокомпонентных многофазных систем при различных температурных условиях для различных химических составов. В частности, строились температурные зависимости массы основных фазовых составляющих нержавеющей стали 12X18H10T, таких как феррита, аустенита, жидкой фазы, а также карбидных и нитридных включений.

Результаты и их обсуждение

Влияние содержания различных компонентов на образование межкристаллитной коррозии в нержавеющей стали

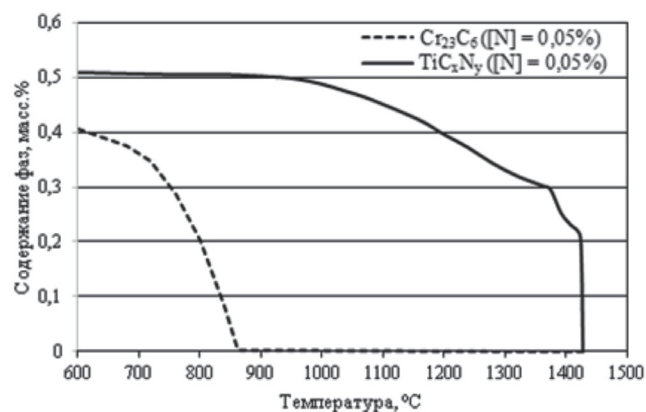
Для выявления особенностей появления межкристаллитной коррозии проводилась оценка образцов нержавеющей стали по методике, описанной выше. Проводилась фиксация наличия дефектов для различных химических составов. Для каждого состава проводилось термодинамическое моделирование – оценивалось количество и термовременная природа формирующихся карбидных и нитридных фаз: карбонитридов титана TiC_xN_y и карбидов типа $Cr_{23}C_6$. Обнаружена и подтверждена взаимосвязь между повышенным количеством карбидов хрома и дефектностью исследуемой стали.

Далее были осуществлены расчеты температурных зависимостей фазовых составляющих в широком диапазоне варьирования различных элементов стали 12Х18Н10Т (за исходный состав взяты: $C = 0,08 \%$, $Cr = 18 \%$, $Ni = 10 \%$, $Mn = 1,5 \%$, $Ti = 0,4 \%$). Наиболее значимыми стали такие элементы, как углерод и азот.

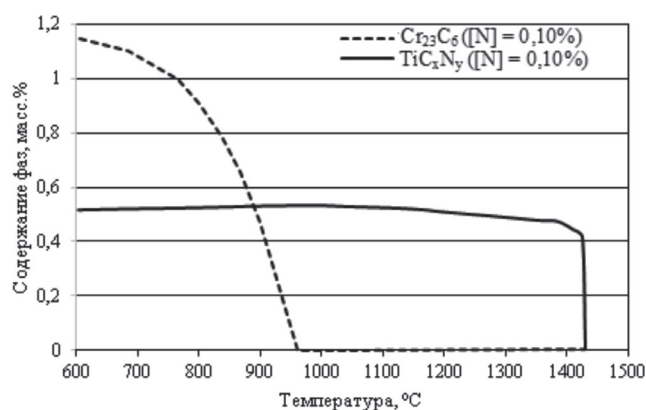
На рис. 1 представлена характерная термовременная природа карбидных и нитридных фаз в исследуемой стали для диапазона изменения азота $N = 0,05...0,10 \%$.

При температурах около $1425^\circ C$ начинается процесс образования карбонитридов титана TiC_xN_y . Чем больше исходное содержание азота в стали, тем больше титана расходуется на формирование нитридной составляющей данной фазы и тем в меньшей степени титан связывает углерод в карбид. Таким образом, создаются условия для выделения данного углерода в виде карбидов $Cr_{23}C_6$. При значительном содержании азота ($N = 0,1 \%$) карбиды хрома выделяются при $960^\circ C$ и достигают до $1,15 \text{ масс.}\%$, при снижении азота до $0,05\%$ температура образования падает на $100^\circ C$ и конечная масса составляет $0,4 \text{ масс.}\%$.

Металлографические исследования подтверждают, что при увеличении содержания азота наблюдается повышение массы карбидов хрома $Cr_{23}C_6$, провоцирующих межкристаллитную коррозию. Не вступая в прямое взаимодействие с хромом, азот косвенно увеличивает количество карбидных фаз, связывая титан.



а



б

Рис. 1. Зависимость содержания карбидов хрома $Cr_{23}C_6$ и карбонитридов титана TiC_xN_y от содержания азота в стали:

а – $[N] = 0,05 \%$; б – $[N] = 0,10 \%$

Fig. 1. Dependence of the content of chromium carbides $Cr_{23}C_6$ and titanium carbonitrides TiC_xN_y on the nitrogen content in steel:

а – $[N] = 0.05 \%$; б – $[N] = 0.10 \%$

Содержание углерода закономерно существенно влияет на количество соединений $Cr_{23}C_6$. Так, с повышением содержания углерода увеличивается их масса и температура начала образования. Результаты расчетов показывают, что критическим значением является $C = 0,05 \%$, при котором выделения карбидов не наблюдается, значительная часть углерода связывается с титаном.

Таким образом, для минимизации появления дефектов, связанных с межкристаллитной коррозией, рекомендуется снижение азота и углерода до значений $0,05 \%$ на этапе выпечной обработки жидкой стали. Рекомендуется также не снижать содержание титана в исследуемой стали менее $0,3 \%$ в рамках допустимого марочного состава по ГОСТ 5632–2014.

В случае выявления данного дефекта в структуре металла на этапе входного контроля необходимо осуществление операции аустенизации стали при температурах, уточняемых термодинамическим расчетом для конкретного состава и составляющих около 1050...1100 °С.

Исследование причин возникновения мартенситной α -фазы

Металлографический анализ мартенситной α -фазы осуществлялся на образцах из прутков стали 12X18H10T, полученных после стадии волочения. Исследовались образцы с различной степенью проявления данного дефекта, параллельно фиксировались технологические параметры холодной деформации.

Вычисления показывают, что в нержавеющей марках стали данного типа мартенсит формируется при отрицательных (по Цельсию) температурах, поэтому наиболее вероятно его деформационное происхождение. На рис. 2 представлен пример возникновения в металлургическом полуфабрикате такого мартенсита деформации.

Измерения твердости металла показывают, что наличие мартенсита в структуре сопровождается значительным наклёпом – образцы имеют твердость около 370 НВ. Подобные значения соответствуют повышенным степеням обжата стали при изготовлении прутков. Анализ технологических параметров показал, что при степенях обжата более 50 % в процессе изготовления полупродукта наблюдается избыточное количество мартенситной α -фазы.



Рис. 2. Возникновение мартенситной α -фазы в стали 12X18H10T, пруток Ø4 мм

Fig. 2. Occurrence of martensitic α -phase in steel 12-Cr18-Ni10-Ti, rod Ø4 mm

Таким образом, появление данного дефекта в прутках из стали 12X18H10T связано со стадией холодной деформации и возможно при превышении критической степени обжата заготовки. При его формировании требуется назначение дополнительной стадии аустенизации металла.

Исследование ферритной δ -фазы в стали марки 12X18H10T

Для изучения причин образования δ -фазы в стали 12X18H10T исследовались образцы разной толщины. На рис. 3 показан пример микроструктуры прутка диаметром 3 мм в направлении волочения.

Термодинамические расчеты показывают существование ферритной фазы в довольно широком интервале от 1250 до 1450 °С, зависящем от конкретного состава стали, в частности, содержания углерода, хрома, титана и других элементов. Этот диапазон может быть уменьшен путем снижения в стали ферритостабилизирующего элемента хрома и незначительного повышения углерода в рамках марочного состава (но не выше значения, рекомендуемого для устранения межкристаллитной коррозии 0,05 %) (рис. 4).

С целью минимизации количества δ -феррита в структуре и снятия намагниченности проводится аустенизация – выдержка при температуре 1050 °С. Эта температура находится вне расчетного диапазона, однако даже при выдержке в этом интервале ферритная фаза не растворяется

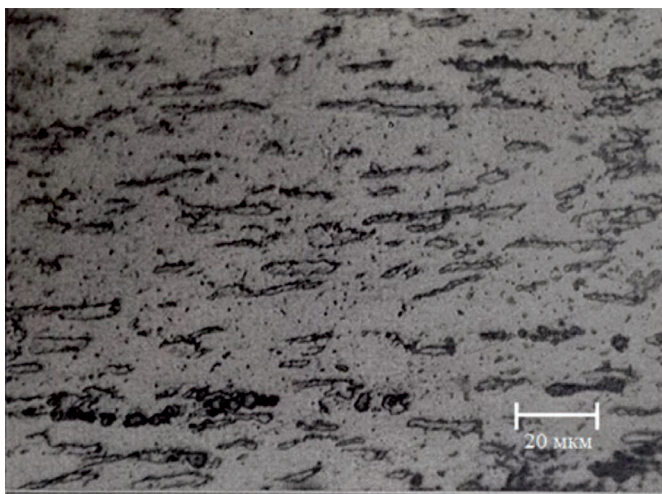


Рис. 3. Микроструктура прутка Ø 3 мм из стали марки 12X18H10T после проведения аустенизации

Fig. 3. Microstructure of a rod Ø 3 mm made of steel grade 12-Cr18-Ni10-Ti after austenization

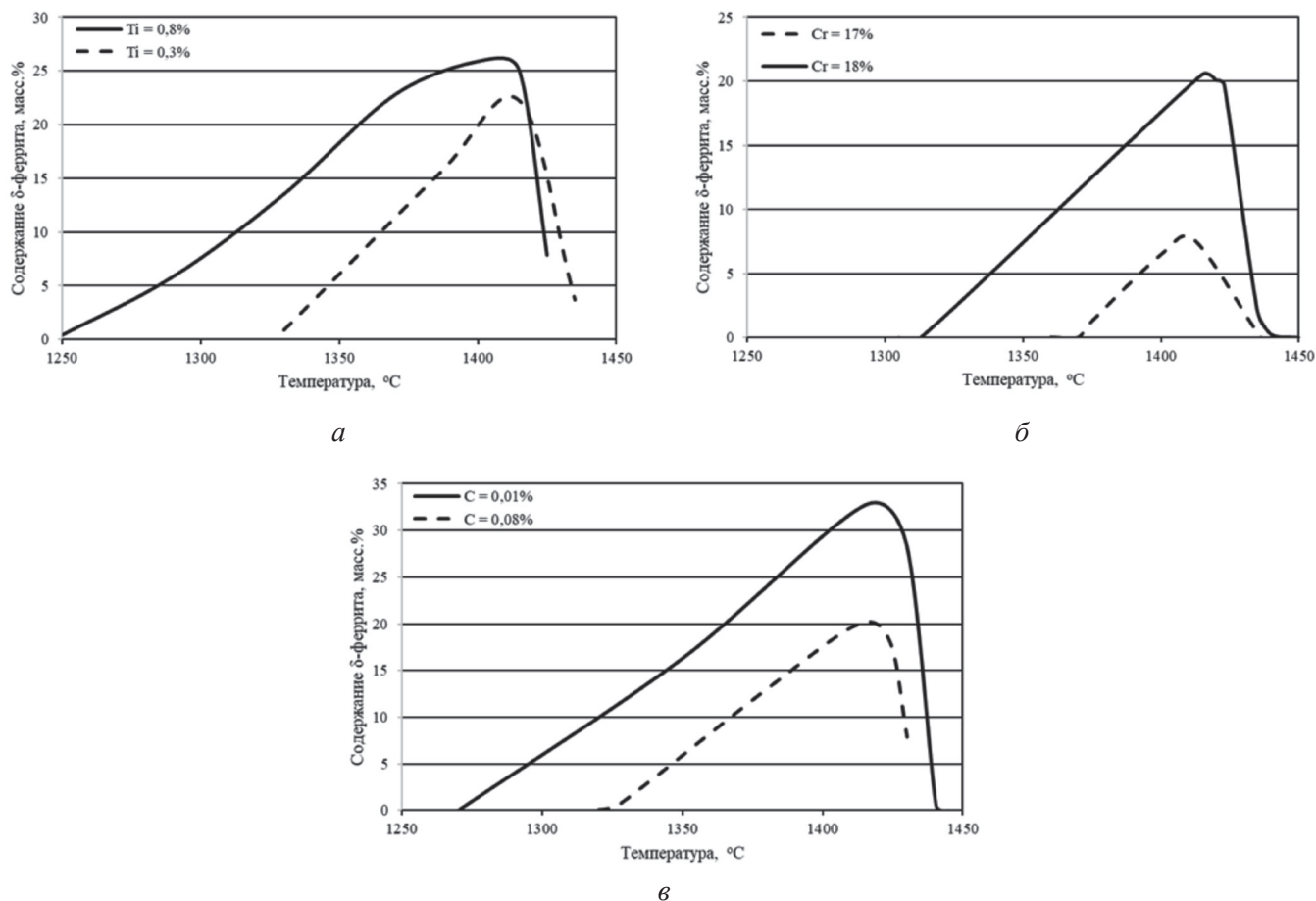


Рис. 4. Зависимость содержания δ -феррита в стали марки 12X18H10Ti при различных содержаниях, легирующих элементов:

a – влияние титана; *б* – влияние хрома; *в* – влияние углерода

Fig. 4. Dependence of the content of δ -ferrite in steel 12-Cr18-Ni10-Ti at different alloying contents:

a – the effect of titanium; *б* – the effect of chromium; *в* – the effect of carbon

полностью по кинетическим причинам. Остаточные выделения δ -фазы сфероидизируются и уменьшаются в размерах.

Сравнение результатов спектрального анализа, металлографических исследований и термодинамического моделирования показывает, что повышенное количество ферритной фазы в стали 12X18H10Ti соответствует широкому расчетному температурному диапазону его существования (около 200 градусов). В случае сокращенного интервала (100 градусов и менее) наличие феррита минимально и намагниченность незначительная. Однако даже в случае высокотемпературной аустенизации полностью δ -феррит не устраняется. Таким образом, для минимизации появления данного дефекта требуется оптимизация состава по углероду и хром, а также операция аустенизации.

Закключение

В рамках выполненной работы проведены подробные исследования причин образования дефектов микроструктуры нержавеющей стали марки 12X18H10Ti: межкристаллитной коррозии, мартенситной фазы и δ -феррита. На основе полученных результатов и термодинамических расчетов сформулированы рекомендации по их устранению.

Для минимизации количества карбидов хрома Cr_{23}C_6 и, следовательно, повышения стойкости стали к межкристаллитной коррозии рекомендуется снижение содержания азота и углерода до 0,05 % методами внепечной обработки жидкого расплава. Необходимо наличие титана в стали не менее 0,3 % в рамках ГОСТ 5632–2014.

С целью предотвращения формирования мартенсита в нержавеющей стали при холодной

деформации (волочении) требуется снижение степени обжата не более 50 %.

Чтобы избежать наличия в структуре избыточной высокотемпературной ферритной фазы, рекомендуется оптимизировать химический состав по хрому и углероду для снижения температурного интервала выделения феррита.

Во всех трёх случаях назначается операция аустенизации заготовок в диапазоне температур 1050...1100 °С.

Список литературы

1. Урбан Д. Новые хромистые стали для использования в условиях высоких температур // Черные металлы. – 2018. – № 7. – С. 67–68.
2. Features of high-amperage electrolyzer hearth breakdown / V.M. Sizyakov, V.Yu. Bazhin, R.K. Patrin, R.Yu. Feshchenko, A.V. Saitov // Refractories and Industrial Ceramics. – 2013. – Vol. 54. – P. 151–154.
3. High-temperature corrosion performance of austenitic stainless steels type AISI 316L and AISI 321H, in molten solar salt / A. Gomes, M. Navas, N. Uranga, T. Paiva, I. Figueira, T.C. Diamantino // Solar Energy. – 2019. – Vol. 177. – P. 408–419.
4. A computational approach to evaluate the sensitization propensities of UNS S32100 and UNS S34700 stainless steels / R. Ayer, Y. Ro, I. Park, J. Shim, J. Nam, J. Kim // Corrosion 2018. – Phoenix, Arizona, USA, 2018. – P. NACE-2018-10574. – URL: <https://onepetro.org/NACECORR/proceedings-abstract/CORR18/All-CORR18/NACE-2018-10574/125882> (accessed 26.01.2023).
5. Software for modeling brazing process of spacecraft elements from widely used alloys / V. Tynchenko, V. Bukhtoyarov, D. Rogova, A. Myrugin, Y. Seregin, A. Bocharov // 2022 21st International Symposium INFOTEH-Jahorina (INFOTEH), East Sarajevo, Bosnia and Herzegovina. – IEEE, 2022. – P. 1–5. – DOI: 10.1109/INFOTEH53737.2022.9751246.
6. An electrochemical study on the effect of stabilization and sensitization heat treatments on the intergranular corrosion behaviour of AISI 321H austenitic stainless steel / K. Morshed-Behbahani, P. Najafisayar, M. Pakshir, M. Shahsavari // Corrosion Science. – 2018. – Vol. 138. – P. 28–41.
7. Feng Z., Zecevic M., Knezevic M. Stress-assisted ($\gamma \rightarrow \alpha'$) and strain-induced ($\gamma \rightarrow \epsilon \rightarrow \alpha'$) phase transformation kinetics laws implemented in a crystal plasticity model for predicting strain path sensitive deformation of austenitic steels // International Journal of Plasticity. – 2021. – Vol. 136. – P. 102807.
8. Effect of δ -ferrite on the stress corrosion cracking behavior of 321 stainless steel / J. Wang, H. Su, K. Chen, D. Du, L. Zhang, Z. Shen // Corrosion Science. – 2019. – Vol. 158. – P. 108079.
9. Hu D., Li S.L., Lu S. Effects of TIG process on corrosion resistance of 321 stainless steel welding joint // Materials Science Forum. – 2013. – Vol. 749. – P. 173–179.
10. Analysis of the causes of cracks in the production of ingots and forgings from austenitic stainless steel 08X18H10T (AISI 321) / A.D. Davydov, O.O. Erokhina, S.V. Ryaboshuk, P.V. Kovalev // Key Engineering Materials. – 2020. – Vol. 854. – P. 16–22.
11. Analytical review of the foreign publications about the methods of rise of operating parameters of cathode blocks during 1995–2014 / R.Yu. Feshchenko, O.O. Erokhina, A.L. Kvanin, D.S. Lutskiy, V.V. Vasilyev // CIS Iron and Steel Review. – 2017. – Vol. 13. – P. 48–52.
12. Beneficial effect of reversed austenite on the intergranular corrosion resistance of martensitic stainless steel / C. Man, C. Dong, D. Kong, L. Wang, X. Li // Corrosion Science. – 2019. – Vol. 151. – P. 108–121.
13. Choudhary S. Field experience with chloride stress corrosion cracking of stainless steels below 60° C in condensate stabilization unit // OnePetro. – 2022. – P. SPE-210992-MS. – DOI: 10.2118/210992-MS.
14. Corrosion characteristics of iron-nickel-chromium alloys in molten nitrate salts under isothermal and thermal cycling conditions / Q. Liu, C. Wang, A. Neville, R. Barker, J. Qian, F. Pessu // OnePetro. – 2022. – P. AMPP-2022-17529. – URL: <https://onepetro.org/amppcorr/proceedings-pdf/AMPP22/5-AMPP22/D051S049R002/2724564/ampp-2022-17529.pdf> (accessed: 26.01.2023).
15. Ковалюк Е.Н., Горевая М.А., Тумурова В.П. Изучение питтинговой и межкристаллитной коррозии сталей 12X15Г9НД и 12X18Н10Т // Коррозия: материалы, защита. – 2014. – № 7. – С. 27–32.
16. Чубуков А.И., Новиков А.В. Исследование стойкости сварных соединений сталей AISI 316Ti и 10X17H13M2T и 12X18Н10Т к межкристаллитной коррозии // Наука в движении: от отражения к созданию реальности: материалы II Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Альметьевск, 15 июня 2017 г. – М., 2017. – С. 173–178.
17. Grain orientation dependence of nanoindentation and deformation-induced martensitic phase transformation in neutron irradiated AISI 304L stainless steel / K.S. Mao, C. Sun, Y. Huang, C.-H. Shiau, F.A. Garner, P.D. Freyer, J.P. Wharry // Materialia. – 2019. – Vol. 5. – P. 100208. – DOI: 10.1016/j.mtla.2019.100208.
18. Saied M. Experimental and numerical modeling of the dissolution of δ -ferrite in the Fe-Cr-Ni system:

Application to austenitic stainless steels: PhD thesis. – University Grenoble Alpes, 2016. – 220 p.

19. Leone G.L., Kerr H.W. The ferrite to austenite transformation in stainless steels // Welding Research Supplement. – 1982. – Vol. 61 (1). – P. 13s–22s.

20. Kalmykova T.D., Kuznetsov V.V. Kinetic and thermodynamic aspects of flotation beneficiation of polymetallic raw materials // E3S Web of Conferences. – 2021. – Vol. 266. – P. 02015. – DOI: 10.1051/e3sconf/202126602015.

21. Development of a methodology for studying the influence of technological factors of production on the quality of large ingots from stamped steel grades 5XHM and 56NiCrMoV7 / P.V. Kovalev, E.S. Kazantsev, S.V. Ryaboshuk, O.O. Erokhina, I.A. Matveev // Journal

of Physics: Conference Series. – 2020. – Vol. 1582. – P. 012028. – DOI: 10.1088/1742-6596/1582/1/012028.

22. Analysis of the gasket damage and sealing performance for the thread ring block heat exchanger / F. Zhuang, W. Sui, G. Xie, S. Shao, Z. Han, W. Liu // Pressure Vessels and Piping Conference. – ASME, 2019. – Vol. 1. – P. V001T01A068. – DOI: 10.1115/PVP2019-93055.

23. Roles of different components of complex inclusion in pitting of 321 stainless steel: Induction effect of CaS and inhibition effect of TiN / X. Tan, Y. Jiang, Y. Chen, A. Tong, J. Li, Y. Sun // Corrosion Science. – 2022. – Vol. 209. – P. 110692. – DOI: 10.1016/j.corsci.2022.110692.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

© 2023 Авторы. Издательство Новосибирского государственного технического университета. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)



Obrabotka metallov -

Metal Working and Material Science

Journal homepage: http://journals.nstu.ru/obrabotka_metallov



Analysis of the reasons for the formation of defects in the 12-Cr18-Ni10-Ti steel billets and development of recommendations for its elimination

Sergey Ryaboshuk ^{a, *}, Pavel Kovalev ^b

Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, 29 Polytechnicheskaya st., St. Petersburg, 195251, Russian Federation

^a <https://orcid.org/0000-0002-1183-8445>, ryaboshuk_sv@spbstu.ru, ^b <https://orcid.org/0000-0003-1066-3812>, kovalev_pv@spbstu.ru

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 01 October 2022

Revised: 01 November 2022

Accepted: 19 December 2022

Available online: 15 March 2023

Keywords:

Austenitic steel

12-Cr18-Ni10-Ti

Integrant corrosion

δ -ferrite

Martensitic orientation of the α -phase

Acknowledgements

Research were partially conducted at core facility "Structure, mechanical and physical properties of materials".

ABSTRACT

Introduction. Austenitic steel (e.g., *AISI 304*, *AISI 321*, *AISI 316*, *AISI 403*, 12-Cr18-Ni10-Ti, etc.) is widespread, which is caused by high corrosion resistance and the corresponding possibility of use in aggressive media. The following most common types of 12-Cr18-Ni10-Ti steel defects can be distinguished: intergranular corrosion, martensitic orientation of the α -phase and ferrite δ -phase. **The purpose of work:** to analyze the defects formation reasons of the 12-Cr18-Ni10-Ti steel grade billets and to develop recommendations for their elimination. **The methods of investigation.** Tests of 12-Cr18-Ni10-Ti steel samples for resistance to intergranular corrosion, metallographic analysis of defects were carried out in this work. Hardness measurements were carried out for various degrees of billets reduction. Thermodynamic calculations of phase equilibrium in multicomponent steel for different temperatures were performed by the *Thermo-Calc* software. **Results and Discussion.** It is determined that in order to prevent intergranular corrosion, it is necessary to reduce the nitrogen and carbon content in steel at the stage of ladle refining to 0.05%, and also to ensure the concentration of titanium in steel is not less than the permissible value — 0.3%. These measures contribute to the reduction of Cr_{23}C_6 chromium carbides responsible for intergranular corrosion. It is necessary to reduce the degree of compression of the billets to a level of no more than 50% to prevent the appearance of a ferromagnetic martensitic α -phase, since the formation of this defect is associated with a high degree of compression during drawing. The high-temperature phase of δ -ferrite exists in the metal structure in a wide temperature range. Reducing this range to 100 degrees or less by optimizing the composition of the carbon and chromium alloy in accordance with GOST 5632-2014 leads to a significant reduction of the amount of ferrite. However, it is not possible to completely eliminate it from the structure of steel. For all cases, it is necessary to assign austenization of billets in the temperature range of 1,050...1,100 °C.

For citation: Ryaboshuk S.V., Kovalev P.V. Analysis of the reasons for the formation of defects in the 12-Cr18-Ni10-Ti steel billets and development of recommendations for its elimination. *Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovanie, instrumenty) = Metal Working and Material Science*, 2023, vol. 25, no. 1, pp. 6–15. DOI: 10.17212/1994-6309-2023-25.1-6-15. (In Russian).

References

1. Urban D. Novye khromistye stali dlya ispol'zovaniya v usloviyakh vysokikh temperatur [New chromium steels for high temperature applications]. *Chernye metally*, 2018, no. 7, pp. 67–68. (In Russian).
2. Sizyakov V.M., Bazhin V.Yu., Patrino R.K., Feshchenko R.Yu., Saitov A.V. Features of high-amperage electrolyzer hearth breakdown. *Refractories and Industrial Ceramics*, 2013, vol. 54, pp. 151–154.
3. Gomes A., Navas M., Uranga N., Paiva T., Figueira I., Diamantino T.C. High-temperature corrosion performance of austenitic stainless steels type AISI 316L and AISI 321H, in molten Solar salt. *Solar Energy*, 2019, vol. 177, pp. 408–419.

* Corresponding author

Ryaboshuk Sergey V., Senior Lecturer

Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University

29 Polytechnicheskaya st.,

195251, St. Petersburg, Russian Federation

e-mail: ryaboshuk_sv@spbstu.ru

4. Ayer R., Ro Y., Park I., Shim J., Nam J., Kim J. A computational approach to evaluate the sensitization propensities of UNS S32100 and UNS S34700 stainless steels. *Corrosion 2018*, Phoenix, Arizona, USA, 2018, p. NACE-2018-10574. Available at: <https://onepetro.org/NACECORR/proceedings-abstract/CORR18/All-CORR18/NACE-2018-10574/125882> (accessed 26.01.2023).
5. Tynchenko V., Bukhtoyarov V., Rogova D., Myrugin A., Seregin Y., Bocharov A. Software for modeling brazing process of spacecraft elements from widely used alloys. *2022 21st International Symposium INFOTEH-Jahorina (INFOTEH)*, East Sarajevo, Bosnia and Herzegovina, 2022, pp. 1–5, DOI: 10.1109/INFOTEH53737.2022.9751246.
6. Morshed-Behbahani K., Najafisayar P., Pakshir M., Shahsavari M. An electrochemical study on the effect of stabilization and sensitization heat treatments on the intergranular corrosion behaviour of AISI 321H austenitic stainless steel. *Corrosion Science*, 2018, vol. 138, pp. 28–41.
7. Feng Z., Zecevic M., Knezevic M. Stress-assisted ($\gamma \rightarrow \alpha'$) and strain-induced ($\gamma \rightarrow \varepsilon \rightarrow \alpha'$) phase transformation kinetics laws implemented in a crystal plasticity model for predicting strain path sensitive deformation of austenitic steels. *International Journal of Plasticity*, 2021, vol. 136, p. 102807.
8. Wang J., Su H., Chen K., Du D., Zhang L., Shen Z. Effect of δ -ferrite on the stress corrosion cracking behavior of 321 stainless steel. *Corrosion Science*, 2019, vol. 158, p. 108079.
9. Hu D., Li S.L., Lu S. Effects of TIG process on corrosion resistance of 321 stainless steel welding joint. *Materials Science Forum*, 2013, vol. 749, pp. 173–179.
10. Davydov A.D., Erokhina O.O., Ryaboshuk S.V., Kovalev P.V. Analysis of the causes of cracks in the production of ingots and forgings from austenitic stainless steel 08X18H10T (AISI 321). *Key Engineering Materials*, 2020, vol. 854, pp. 16–22.
11. Feshchenko R.Yu., Erokhina O.O., Kvanin A.L., Lutskiy D.S., Vasilyev V.V. Analytical review of the foreign publications about the methods of rise of operating parameters of cathode blocks during 1995–2014. *CIS Iron and Steel Review*, 2017, vol. 13, pp. 48–52.
12. Man C., Dong C., Kong D., Wang L., Li X. Beneficial effect of reversed austenite on the intergranular corrosion resistance of martensitic stainless steel. *Corrosion Science*, 2019, vol. 151, pp. 108–121.
13. Choudhary S. Field experience with chloride stress corrosion cracking of stainless steels below 60° C in condensate stabilization unit. *OnePetro*, 2022, p. SPE-210992-MS. DOI: 10.2118/210992-MS.
14. Liu Q., Wang C., Neville A., Barker R., Qian J., Pessu F. Corrosion characteristics of iron-nickel-chromium alloys in molten nitrate salts under isothermal and thermal cycling conditions. *OnePetro*, 2022, p. AMPP-2022-17529. Available at: <https://onepetro.org/amppcorr/proceedings-pdf/AMPP22/5-AMPP22/D051S049R002/2724564/ampp-2022-17529.pdf> (accessed: 26.01.2023).
15. Kovalyuk E.N., Gorevaya M.A., Tumurova V.P. Izuchenie pittingovoi i mezhkristallitnoi korrozii stali 12Kh15G9ND i 12Kh18N10T [Study of pitting and intergranular corrosion of steels 12Kh15G9ND and 12Kh18N10T]. *Korroziya: materialy, zashchita = Corrosion: Materials, Protection*, 2014, no. 7, pp. 27–32. (In Russian).
16. Chubukov A.I., Novikov A.V. [Study of resistance of welded joints of AISI 316Ti and 10X17H13M2T and 12X18H10T steels to intergranular corrosion]. *Nauka v dvizhenii: ot otrazheniya k sozdaniyu real'nosti: materialy II Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem* [Proceedings of the II All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation “Science in motion: from reflection to the creation of reality”], Almet'yevsk, 2017, pp. 173–178. (In Russian).
17. Mao K.S., Sun C., Huang Y., Shiao C.-H., Garner F.A., Freyer P.D., Wharry J.P. Grain orientation dependence of nanoindentation and deformation-induced martensitic phase transformation in neutron irradiated AISI 304L stainless steel. *Materialia*, 2019, vol. 5, p. 100208. DOI: 10.1016/j.mtla.2019.100208.
18. Saied M. *Experimental and numerical modeling of the dissolution of δ -ferrite in the Fe-Cr-Ni system: Application to austenitic stainless steels*. PhD thesis. University Grenoble Alpes, 2016. 220 p.
19. Leone G.L., Kerr H.W. The ferrite to austenite transformation in stainless steels. *Welding Research Supplement*, 1982, vol. 61 (1), pp. 13s–22s.
20. Kalmykova T.D., Kuznetsov V.V. Kinetic and thermodynamic aspects of flotation beneficiation of polymetallic raw materials. *E3S Web of Conferences*, 2021, vol. 266, p. 02015. DOI: 10.1051/e3s-conf/202126602015.



21. Kovalev P.V., Kazantsev E.S., Ryaboshuk S.V., Erokhina O.O., Matveev I.A. Development of a methodology for studying the influence of technological factors of production on the quality of large ingots from stamped steel grades 5XHM and 56NiCrMoV7. *Journal of Physics: Conference Series*, 2020, vol. 1582, p. 012028. DOI: 10.1088/1742-6596/1582/1/012028.

22. Zhuang F., Sui W., Xie G., Shao S., Han Z., Liu W. Analysis of the gasket damage and sealing performance for the thread ring block heat exchanger. *Pressure Vessels and Piping Conference*. ASME, 2019, vol. 1, p. V001T01A068. DOI: 10.1115/PVP2019-93055.

23. Tan X., Jiang Y., Chen Y., Tong A., Li J., Sun Y. Roles of different components of complex inclusion in pitting of 321 stainless steel: Induction effect of CaS and inhibition effect of TiN. *Corrosion Science*, 2022, vol. 209, p. 110692. DOI: 10.1016/j.corsci.2022.110692.

Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.

© 2023 The Authors. Published by Novosibirsk State Technical University. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).