

УДК 669:620.193.2

ОСОБЕННОСТИ ДЕФОРМАЦИОННОЙ И ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТОК КОРРОЗИОННОСТОЙКИХ СТАЛЕЙ МАРТЕНСИТНО-ФЕРРИТНОГО КЛАССА

Якимов Н.С., Муратов В.С.*ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», Самара,
e-mail: andrej.bakin2013@yandex.ru, muratov1956@mail.ru*

Материал, представленный в статье, является обобщением результатов оценки качества продукции, выполненной на АО «Авиаагрегат» (г. Самара). Представлен анализ типичных дефектов, образующихся при изготовлении деталей из поковок и штамповок сталей мартенситно-ферритного класса. Проанализированы различные типы дефектов в штамповках и поковках, возникающие в процессе их деформации и термической обработки, а также причины их появления. Для выявления дефектов использованы неразрушающие методы контроля качества материала: магнитнопорошковый и радиографический методы. В статье представлен полный цикл термической обработки заготовок из стали 14X17H2 и достигаемый уровень механических свойств на разных этапах обработки. Проанализированы микроструктура мартенситно-ферритных коррозионностойких сталей и влияние количества δ -феррита на их технологические свойства при деформационном и тепловом воздействиях. С целью устранения дефектов деформационного происхождения рекомендовано обеспечивать более равномерную деформацию в объёме заготовки, предотвращающую локализацию напряжений и их недопустимый рост. Целесообразно использовать небольшие единичные обжатия, применять дополнительные подогревы деформируемой заготовки и др. Для предотвращения закалочных трещин предложено проводить закалку стали с охлаждением в масле с повышенной температуры – 1040–1050 °C или применять охлаждение на воздухе (при обеспечении достаточной прокаливаемости).

Ключевые слова: термическая обработка, штамповки, δ -феррит, дефекты, неразрушающий контроль

DEFORMATION AND THERMAL TREATMENTS FEATURES OF CORROSION-RESISTANT MARTENSITIC-FERRITE STEELS

Yakimov N.S., Muratov V.S.*Samara State Technical University, Samara, e-mail: andrej.bakin2013@yandex.ru, muratov1956@mail.ru*

Current article presents an evaluation generalisation of products quality made at JSC Aviaagregat (Samara). An analysis of typical defects formed during forging processes of martensitic-ferritic class steels is presented. Various types of defects in forgings and forgings arising in the process of their deformation and heat treatment were analyzed, as well as the reasons for their occurrence. Nondestructive methods of material quality control were used to detect defects: magnetic particle and radiographic methods. The article presents the full cycle of heat treatment of blanks from steel 14X17H2 and the achieved level of mechanical properties at different stages of processing. The microstructure of martensitic-ferritic stainless steels and the effect of the amount of δ -ferrite on their technological properties under deformation and thermal effects are analyzed. In order to eliminate defects of deformation origin, it is recommended to provide a more uniform deformation in the volume of the workpiece, preventing the localization of stresses and their unacceptable growth. It is advised to use small individual reductions, to apply additional heating of the deformable billet, etc. To prevent quenching cracks, it was proposed to quench the steel with cooling in oil from an elevated temperature – 1040–1050 °C or use air cooling (with sufficient hardenability).

Keywords: heat treatment, stamping, δ -ferrite, defects, non-destructive testing

Сталь 14X17H2 (ранее известная как ЭИ268) по ГОСТ 5632-72 «Стали высоколегированные и сплавы коррозионностойкие, жаростойкие и жаропрочные» мартенситно-ферритного класса, относится к группе коррозионностойких (нержавеющих) сталей и сплавов, обладающих стойкостью против электрохимической и химической коррозии (атмосферной, почвенной, щелочной, кислотной, солевой), межкристаллитной коррозии, коррозии под напряжением и т.д. После термической обработки по рациональным режимам обладает высокими прочностными и пластическими свойствами в сочетании с достаточно высокой ударной вязкостью.

Основным назначением стали 14X17H2 является изготовление рабочих лопаток,

дисков, втулок и других крепёжных деталей, работающих в условиях невысоких температур. Наиболее широкое применение получила в химической, авиационной, судостроительной и других отраслях промышленности. Согласно ГОСТ 5632-72 в сталях данного класса предполагается присутствие в структуре после охлаждения на воздухе из высокотемпературного состояния кроме мартенсита не менее 10 % феррита.

Цель исследования: анализ причин появления и устранение дефектов в штамповках и поковках коррозионностойких сталей мартенситно-ферритного класса.

Материалы и методы исследования

Сталь 14X17H2 имеет химический состав, представленный в таблице.

При проведении исследований дефектов и структуры поковок и штамповок после деформирования и термической обработки использованы металлографический, магнитопорошковый и радиографический методы. Магнитопорошковый метод выполнялся на аппарате МДС-5 по требованиям ГОСТ 56512-2015 «Контроль неразрушающий. Магнитопорошковый метод», радиографический – на аппарате РАП150/300. Определялись характеристики механических свойств заготовок: твердости и прочности.

Результаты исследования и их обсуждение

При оценке технологичности стали 14X17H2 при изготовлении поковок и штамповок, а также последующей термической обработке изделий [1–3] требуется учитывать влияние наличия в структуре δ -феррита [4–6]. На рис. 1 приведен фрагмент диаграммы состояния системы Fe-C при содержании в ней 17% Cr. Хром приводит к расширению ферритной области на диаграмме состояния и при используемых температурах деформирования или нагрева под закалку (нормализацию) кроме аустенита в структуре стали присутствует феррит (принято идентифицировать как δ -феррит).

С одной стороны, имея низкую прочность, феррит, легко деформируясь, способен релаксировать часть напряжений, возникающих на различных этапах и операциях производства заготовок, за счет чего

снижается величина временных и остаточных внутренних напряжений. Отсутствие в структуре стали ферритной составляющей затрудняет изготовление заготовок и изделий, особенно типа валов, из-за склонности их к образованию продольных (чаще всего осевых) трещин, возникающих вследствие значительных фазовых напряжений при превращении аустенита в мартенсит на стадии охлаждения с температуры деформирования или с температуры нагрева под операцию закалки (нормализации). Образование только мартенситной структуры может приводить к усиленному развитию межкристаллитных трещин, пористости и других нарушений сплошности заготовки.

С другой стороны, присутствие в структуре стали δ -феррита может ухудшать деформируемость стали при ковке и штамповке (за счет затруднений деформации двухфазной структуры), а также снижать пластичность и ударную вязкость полученных поковок в тангенциальном или поперечном направлениях, повышать анизотропию характеристик механических свойств. Согласно [7] наибольшая ударная вязкость после термической обработки (закалка и отпуск) имеет место у стали, не содержащей δ -феррита; ниже у сталей, содержащих δ -феррита более 40%, а наименьшая у сталей, содержащих δ -феррит в пределах 10–20%.

Химический состав стали 14X17H2 (ГОСТ 5632-72, массовая доля элементов, %)

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Ti	Cu
0,11–0,17	≤0,8	≤0,8	1,5–2,5	≤0,025	≤0,03	16–18	≤0,2	≤0,3

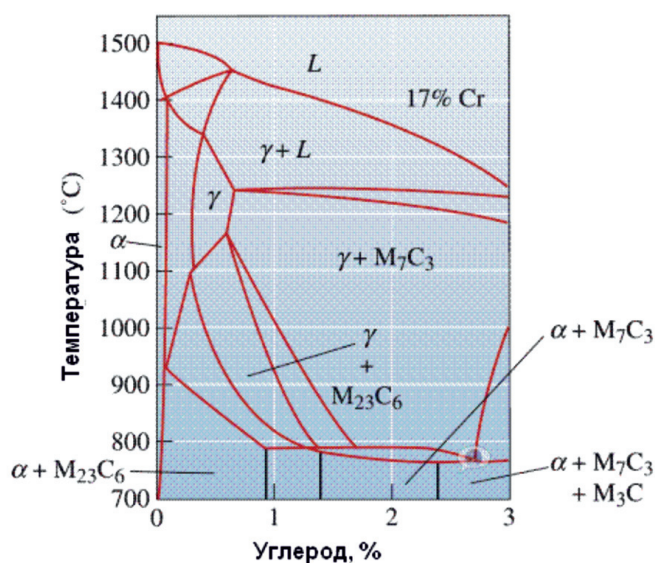


Рис. 1. Фрагмент диаграммы состояния системы Fe-C с 17% хрома

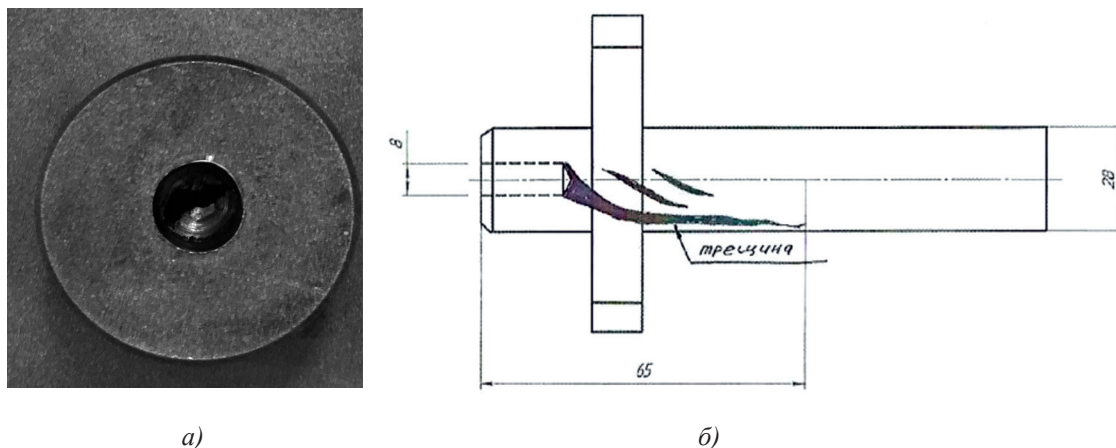


Рис. 2. Внешний вид (а) и схема расположения закалочных трещин (б)

Получение штамповок из стали 14X17H2 должно проводиться в соответствии с ГОСТ 1 90176-75 «Штамповки из коррозионностойких, жаростойких и жаропрочных сталей и сплавов. Общие технические условия». Реализуемый температурный интервал деформирования: температура начала штамповки – 1260°C , температура окончания – 900°C ; рекомендуется сечения до 350 мм охлаждать на воздухе.

Возможные дефекты получаемых заготовок аналогичны известным [8] – ковочный крест, раскованное загрязнение, центральная пористость, заков. Их возникновение (при условии должного качества исходного материала) связано с превышением допустимых значений деформации сплава. Такое превышение может наступить в результате неравномерного нагрева под деформацию, нарушения температурных режимов и приемов деформирования. Для исключения появления деформационных дефектов в поковках и штамповках стали 14X17H2 следует обеспечивать более равномерную деформацию в объеме заготовки, предотвращающую локализацию напряжений и их недопустимый рост. Целесообразно использовать небольшие единичные обжатия, применять дополнительные подогревы деформируемой заготовки и др.

Штамповки надлежащего качества в дальнейшем подвергаются токарной и фрезерной обработкам. Для обеспечения достаточной обрабатываемости резанием перед механической обработкой делается их отпуск по режиму: температура $690 \pm 10^{\circ}\text{C}$, время выдержки 150–180 мин, охлаждение на воздухе.

Окончательная упрочняющая термическая обработка изделий из стали 14X17H2

предполагает следующие операции и режимы их проведения. Нагрев под закалку $1030 \pm 10^{\circ}\text{C}$, время выдержки 60 мин, последующее охлаждение в масло. Отпуск при $640 \pm 10^{\circ}\text{C}$ в течение 135 мин, охлаждение на воздухе. Термическое упрочнение должно обеспечить твердость HRC 23–32 и предел прочности 830–1030 МПа.

После проведения операции закалки по указанным режимам в заготовках весьма часто обнаруживаются дефекты – трещины. Внешний вид дефекта в изделии «фиксатор» приведен на рис. 2, а, а на рис. 2, б, показана схема расположения закалочных трещин. Для обнаружения трещин использовались также магнитопорошковый и радиографический методы. Радиографический метод позволил установить размеры закалочных трещин (рис. 3): длина – до 45 мм, ширина – до 8 мм.



Рис. 3. Рентгенограмма изделия «фиксатор»

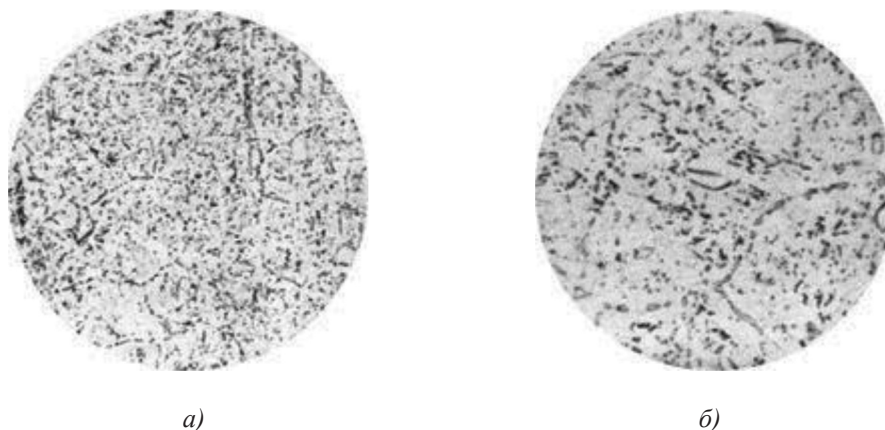


Рис. 4. Микроструктура стали 14X17H2 после окончательной термической обработки

На рис. 4 (а – $\times 500$, б – $\times 1500$) показана микроструктура стали 14X17H2 после полного цикла упрочняющей термической обработки.

Микроструктура представляет собой сорбит отпуска. Просматриваются участки структуры, где карбиды выявляют границы первичных аустенитных зерен. Имеются светлые области, представляющие собой образования δ -феррита.

Выполнен комплекс исследований, направленных на предотвращение появления закалочных трещин. При этом учитывались два момента:

- некоторое повышение температуры закалки позволит увеличить количество δ -феррита, что будет способствовать уменьшению закалочных напряжений за счет пластичности ферритной фазы;

- с целью уменьшения закалочных напряжений в исследуемой стали возможно замена охлаждения в масле при закалке на охлаждение на воздухе при условии выполнения требований по достигаемым свойствам.

Реализация первого подхода для заготовок «фиксатора» показала, что после закалки в масле с повышенных температур 1040–1050 °С структура стали представляет собой сочетание светлых и сильно травящихся, темных участков. Темные участки представляют собой мартенсит; светлые – δ -феррит. В структуре видно также небольшое количество карбидов как в теле зерна, так и на границах бывших зерен аустенита. Количество δ -феррита превышает на 15–20% его количество после закалки с температуры 1030 °С. При этом закалочные трещины в заготовках отсутствовали. После полного цикла окончательной термической обработки сталь удовлетворяла требованиям по уровню твердости и предела прочно-

сти. Следует отметить, что повышение температуры закалки с коррекцией режимов отпуска рекомендовано и в работе [7] для повышения ударной вязкости стали.

При использовании охлаждения заготовки «фиксатора» с температуры 1030 °С на воздухе также удалось исключить появление трещин и обеспечить требуемый уровень свойств изделий. В работах [9, 10], в ряде случаев, рекомендовано использование нормализации при термической обработке стали 14X17H2.

Выводы

1. В коррозионностойких сталях мартенситно-ферритного класса присутствие в микроструктуре δ -феррита может улучшать технологичность при деформировании и закалочном охлаждении, снижая уровень временных и остаточных напряжений, за счет их релаксации при деформации участков пластичной фазы (δ -феррита).

2. Установлена опасность образования продольных (чаще всего осевых) трещин, возникающих при закалочном охлаждении в штамповках из стали 14X17H2.

3. Для предотвращения образования закалочных трещин, при сохранении требуемого уровня свойств, целесообразно проводить закалку стали с охлаждением в масле с повышенной температуры – 1040–1050 °С или применять охлаждение на воздухе (при достаточной прокаливаемости).

Список литературы

1. Бородулин Г.М., Мошкевич Е.И. Нержавеющая сталь. М.: Металлургия, 1973. 320 с.
2. Ульянов Е.А. Коррозионные стали и сплавы: справочник. М.: Металлургия, 1980. 208 с.
3. Паршин А.М. Структура, прочность и пластичность нержавеющих сталей и сплавов, применяемых в судостроении. Л.: Судостроение, 1972. 288 с.

4. Лопухов Ю.И., Лахина М.А. Ультразвуковое поверхностное пластическое упрочнение стали 14X17H2 // Технические науки – от теории к практике: сб. ст. по матер. XLV междунар. научн.-практ. конф. Новосибирск: СибАК, 2015. № 4 (41). С. 51–59.
5. Малов В.С., Васильев В.А. Влияние химического состава, технологических параметровковки на структуру и механические свойства стали 14X17H2 // Металловедение и термическая обработка металлов. 2012. № 9. С. 2–5.
6. Власов В.А., Пачурин Г.В. Влияние предварительной деформации на структурные изменения при усталости нержавеющей сталей 20X13 и 14X17H2 // Современные наукоемкие технологии. 2010. № 1. С. 88–89.
7. Пат. 2508410 Российская Федерация, МПК C21D6/02, C21D9/30. Способ термической обработки деформируемой коррозионно-стойкой стали 17X17H2 / Васильев В.А., Малов В.С.; заявитель и патентообладатель Нижегородский гос. техн. университет. № 2012150226/02; заявл. 23.11.12; опубл. 27.02.14. Бюл. № 6. 5 с.
8. Маслов В.С., Васильев В.А. Исследование дефектов кованных заготовок из стали 14X17H2 // Металлургия и материаловедение. Труды Нижегородского госуд. техн. университета им. Р.Е. Алексеева. Изд-во НГТУ. 2013. № 1 (98). С. 229–235.
9. Буренок З.О. Исследование режима термической обработки жаропрочной, коррозионностойкой стали 14X17H2 // Труды Международной научно-технической конференции «Современные направления фундаментальных и прикладных исследований». 18–30 марта 2014 г. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.sworld.com.ua> (дата обращения: 23.11.2018).
10. ГОСТ 7350-77. Сталь толстолистовая коррозионно-стойкая, жаростойкая и жаропрочная. Технические условия. М.: ИПК Издательство стандартов, 2013.