

УДК 620.22

МИКРОСТРУКТУРНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ АУСТЕНИТНО-МАРТЕНСИТНОЙ СТАЛИ

Т.Ю.Быкова¹

Иркутский национальный исследовательский технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

В статье представлены результаты исследования высокопрочной стали 13X15H4AM3 (ВНС-5). Анализируются влияние легирования на механические и физические свойства стали, ее повышенную коррозионную стойкость. К стали ВНС-5 применяется сложный режим термической обработки, который влияет на окончательные свойства. Изучалась микроструктура стали после термической обработки. Приводится методика подготовки микрошлифа и результаты металлографического исследования структуры.

Ключевые слова: ВНС-5, аустенитно-мартенситная сталь, коррозионная стойкость, микроструктура, микрошлиф

MICROSTRUCTURAL STUDY OF AUSTENITIC-MARTENSITIC STEEL

© Т. Вуква

National research Irkutsk state technical University,
83 Lermontov Street, Irkutsk, Russian Federation, 664074

The article presents the results of the study of high-strength steel 13H15N4AM3-spa-5. The article analyzes the influence of alloying on mechanical and physical properties of steel, its increased corrosion resistance. The complex mode of thermal treatment which influences the final properties is applied to the steel of the spa-5. The microstructure of the steel was studied after heat treatment. The article presents the technique of preparation of microsections and results of metallographic investigation of the structure.

Keywords: VNS-5; austenitic-martensitic steel; corrosion resistance; microstructure; microsection

Развитие науки и техники занимает особое место в таких областях, как авиация, машиностроение, станкостроение, топливно-энергетический комплекс, данные отрасли промышленности требуют использования высокопрочных материалов. В современных условиях развития производства довольно большие перспективы применения открываются у сталей аустенитно-мартенситного класса.

Особое место в машиностроительной отрасли занимают конструкционные стали специального назначения, среди которых выделяют несколько групп: стали с особыми свойствами, коррозионно-стойкие, жаростойкие и жаропрочные [1]. Сталь 13X15H4AM3 (ВНС-5, ЭП310-Ш) является коррозионно-стойкой и жаропрочной. Кроме того сталь этого класса характеризуется высоким сопротивлением общей коррозии и коррозии под напряжением, хорошей свариваемостью всеми видами сварки [2]. Сталь ВНС-5 находит применение в авиационной технике для изготовления поковок, предназначенных для последующей холодной механической обработки, либо для последующей горячей механической обработки (штамповки,ковки, прокатки и т.п.). Также из ВНС-5 изготавливают детали машин, элементы специального жаропрочного крепежа для энергетического оборудования. Известно использование этой стали для изготовления накаткой высоконагруженных болтов, которые испытывают большие как растягивающие нагрузки, так и на срез [2–4].

Химический состав стали 13X15H4AM3(ВНС-5) представлен в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав стали 13X15H5AM3 (ВНС-5)

Массовая доля элементов, %										
C	Cr	Ni	Mn	Mo	S	S	F	N		
0,13	4...16	...6	1	...4	0,6	0,03	0,035	...0,12		

Как видно из табл. 1, сталь ВНС-5 содержит значительное количество хрома (более 13 %), никеля и молибдена – эти легирующие элементы обеспечивают высокую вязкость и стойкость стали против коррозионного растрескивания [2, 3]. Также в состав входят незначительное количество

¹ Быкова Татьяна Юрьевна, магистрант, e-mail : 79027676502@yandex.ru
Вуква Tatiana, a postgraduate student, e-mail: 79027676502@yandex.ru

вредных примесей – фосфора и серы. Такие элементы, как марганец, углерод и азот, обеспечивают высокую прочность этой стали. Правильная термическая обработка позволяет избежать структурной неоднородности материала и определенной корреляционной зависимости между твердостью и фактической прочностью в интервале 1400–1600 МПа [5]. Выраженные ферромагнитные свойства ВНС-5 позволяют контролировать качество ее обработки (термической, упрочняющей методом пластической деформации) физическими методами, например магнитными, наряду с другими углеродистыми и легированными высокопрочными сталями [3, 7–12]. Основные механические и физические свойства стали ВНС-5 представлены в таблице 2 [2–6, 13].

Таблица 2
Механические и физические характеристики свойства стали ВНС-5

Предел прочности, σ_B , МПа	Предел текучести, $\sigma_{0.2}$, МПа	Относительное удлинение, δ , %	Относительное сужение, ψ , %	Ударная вязкость, КСЧ, МДж/м ²	Модуль упругости, Е, МПа	Плотность, ρ , кг/м ³
1380...1600	≥920	≥15	≥55	≥12,5	190000	7820

Таким образом, из табл. 2 видно, что эта сталь обладает хорошим сочетанием прочности, ударной вязкости и пластичности [2–6]. Комплекс механических свойств позволяет отнести ВНС-5 к группе высокопрочных сталей.

Режим термической обработки сталей переходного класса отличается большой сложностью [2, 14]. Строгое соблюдение установленного режима термической обработки (закалка от 1070°С и обработка холодом при температуре -50°С в течении 4 или 2-х часов при -70°С с последующим отпуском при 200–350°С) обеспечивает во всех случаях получение высоких пластических свойств (см. табл. 2). Структура стали ВНС-5 после закалки из аустенитного состояния состоит из мартенсита и большого количества остаточного аустенита. Применение различных режимов термической обработки позволяет изменить соотношение фаз в структуре стали, а также получать изделия с заданными характеристиками прочности и вязкости [4]. Одним из факторов, способных повлиять на конечное значение прочности, является температура отпуска. В окончательной структуре стали недопустимым структурным элементом является образование карбидной сетки. Количество остаточного аустенита также должно быть строго регламентировано. Для определения его количества можно использовать рентгеноструктурный метод [15].

Для изучения микроструктуры подготавливали микрошлифы. На основании известных способы подготовки сталей и сплавов к металлографическим исследованиям [16–19] выбрали методику подготовки микрошлифов на оборудовании для пробоподготовки фирмы Struers [20]. Вначале проводилось выравнивание поверхности образцов: грубое шлифование выполнялось с помощью шкурки «SiC Foil 320». Затем следовало тонкое шлифование абразивным диском «Largo» и алмазной суспензией с размером частиц 9 мкм. Тонким шлифованием удалось удалить крупные царапины на поверхности образца. Полирование образца проводилось в два этапа: вначале полировали на диске «Mol» с абразивной суспензией 3 мкм и добились получения зеркальной поверхности образцов. Затем – полировали на диске «Chem» специальной суспензией с подтравливающим эффектом, что существенно улучшило качество поверхности. Микроструктуру выявляли травлением полированной поверхности образца в водном растворе смеси кислот HF+HNO₃. После травления микрошлиф промывали водой.

При увеличении от 50 до 1000 раз изучали микроструктуру на световом микроскопе «МЕТ-3», предназначенном для визуального наблюдения микроструктуры металлов, в светлом поле (см. рис.1).

С помощью микроанализа в микроструктуре стали ВНС-5 были выявлены следующие фазы: мартенсит – основа сплава, твердый раствор, который обеспечивает высокую прочность; единичные мелкие карбиды и остаточный аустенит, придающий пластичность и вязкость материалу. Мелкие разрозненные карбиды также сообщают твердость и прочность стали. Микроструктура стали ВНС-5 при увеличении в 500 раз представлена на рис. 2.

Таким образом, благодаря сбалансированной структуре, сталь марки 13X15N4AM3 (ВНС-5) обладает хорошим сочетанием прочности, ударной вязкости и пластичности, стойкая против коррозионного растрескивания. Структура ВНС-5 после закалки от аустенитного состояния состоит из мартенсита и большого количества остаточного аустенита.

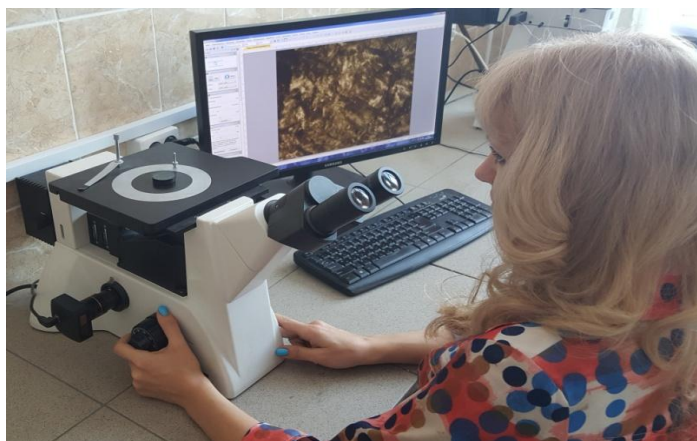


Рис. 1. Микроскоп «МЕТ-3»

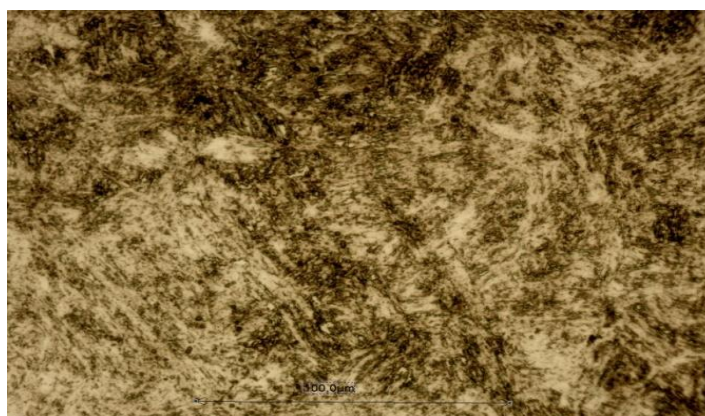


Рис. 2. Микроструктура стали ВНС-5, $\times 500$: мартенсит, мелкие единичные карбиды, остаточный аустенит

Последующая обработка холодом и отпуск позволяют получить оптимальную структуру, благодаря которой сталь успешно применяется в авиационной технике и других отраслях промышленности, в которых требуется материал высокой прочности, коррозионной стойкости, жаропрочности.

Библиографический список

1. Арзамасов Б.Н., Сидорин И.И. *Материаловедение*. М.: Машиностроение, 1986. 384 с.
2. Вознесенская Н.М., Каблов Е.Н., Петраков А.Ф., Шалькевич А.Б. Высокопрочные коррозионно-стойкие стали аустенитно-мартенситного класса // *Металловедение и термическая обработка металлов*. 2002. № 7. С. 34–37.
3. Николаева Е.П. Применение метода шумов Баркгаузена для контроля упрочнения деталей поверхностным пластическим деформированием // *Известия Самарского научного центра РАН*. 2013. Т. 15, № 6 (2). С. 428–431.
4. Потак Я.М. *Высокопрочные стали*. М.: Металлургия, 1972. 208 с.
5. Профпрокат 13X15H5AM3 (ЭП310Ш, ВНС-5) [Электронный ресурс]. URL: <http://www.profprokat.ru/content/view/1304/7/> (2.12.2017)
6. Куракова Н.П., Гаврин В.С., Гаврилов Г.Н., Костромин С.В. Исследование свойств коррозионно-стойкой стали для изделий авиационной техники [Электронный ресурс]. URL: <https://science-education.ru/pdf/2014/2/637.pdf> (дата обращения 2.12.2017)
7. Nikolaeva E. P. Structure Investigation of the Constructional Steel St3ps after Argon-Arc Plasma Treatment // *Materials Science Forum*. 2016. V. 870. P. 500–506.
8. Гридасова Е.В., Николаева Е.П. Исследование улучшаемой стали 30ХГСА, обработанной дробью, методами рентгеноструктурного анализа и измерения шумов Баркгаузена: материалы 5-й Всероссийской науч.-техн. конф. с междунар. участием «Жизненный цикл конструкционных материалов» (г. Иркутск, 27–30 апреля, 2015). Иркутск: Изд-во ИРНТУ, 2015. С. 76–83.
9. Карамышев А.А., Николаев А.Ю. Анализ модификации клапана высокого давления с помощью ROLLSCAN 300 // *Электронный журнал «Молодежный вестник ИрГТУ»*. 2016. № 3. С. 8.
10. Николаева Е.П. Исследование структуры конструкционной стали Ст3пс после обработки аргонодуговой плазмой // *труды II международной научно-технической конференции «Пром-*

Инжиниринг». Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский). 2016. С. 191–195.

11. Николаева Е.П., Гридасова Е.В., Герасимов В.В. Применение рентгеноструктурного анализа и шумов Баркгаузена для исследования конструкционной стали 30ХГСА после дробеударной обработки // Известия Самарского научного центра РАН. 2015. Т. 17. № 2-1. С. 125–132.

12. Николаева Е.П., Николаев А.Ю. Применение магнитных методов для контроля качества изделий из инструментальных сталей: материалы докладов II Всероссийской с международным участием научно-технической конференции «Жизненный цикл конструкционных материалов (от получения до утилизации)». 2012. С. 338–344.

13. Рябков В.И. и др. Особенности использования титановых сплавов, нержавеющей сталей, металлокомпозиционных и антифрикционных материалов в шасси современных самолетов // Авиационно-космическая техника и технология. 2003. № 1 (36). С. 6–15. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.khai.edu/csp/nauchportal/Arhiv/AKTT/2003/AKTT103/Ryabkov.pdf> (дата обращения 2.12.2017)

14. Новиков А.А., Ерохин А.А., Андреева С.А. Сравнительные исследования характеристик мартенситных и аустенитно-мартенситных сталей. [Электронный ресурс]. URL: <http://sci-conf.ru/archive/VI/articles/erohin-anton-alekseevich-sravnitelnye-issledovaniya-harakteristik-martensitnyh-i-austenitno-martensitnyh-staley.pdf> (дата обращения 9.12.2017)

15. Лучкина Я.В., Николаева Е.П. Определение остаточного аустенита методом рентгеноструктурного анализа в быстрорежущей стали Р6М5К5МП // В сборнике: Жизненный цикл конструкционных материалов (от получения до утилизации) материалы докладов V Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. Иркутск: Изд-во ИРНИТУ, 2015. С. 9–105.

16. Чаузова Е.В., Николаева Е.П. Применение кобальта 29НК для изготовления герметичных радиочастотных соединителей СВЧ-техники // В сборнике: Жизненный цикл конструкционных материалов (от получения до утилизации): материалы докладов VII Всероссийской науч.-техн. конф. с международным участием. Иркутск: Изд-во ИРНИТУ, 2017. С. 225–229.

17. Николаева Е.П., Маслов М.В., Бурдуковский Е.А., Козлов В.А. Металлографическое исследование сварных соединений из стали 12Х18Н10Т, выполненных различными видами сварки // В сборнике: Жизненный цикл конструкционных материалов (от получения до утилизации): материалы III Всероссийской науч.-техн. конф. с междунар. участием. Иркутск: Изд-во ИРНИТУ, 2013. С. 133–140.

18. Дергачев Н.Г., Николаев Д.Ю., Николаева Е.П., Бузевич Г.И. Особенности формирования структуры в сварных соединениях, выполненных из термически неупрочняемого алюминиевого сплава АМГ6 // В сборнике: Жизненный цикл конструкционных материалов (от получения до утилизации): материалы докладов II Всероссийской с междунар. участием науч.-техн. конф. Иркутск: Изд-во ИРНИТУ, 2012. С. 345–354.

19. Николаева Е.П. Техническое обследование и оценка качества материала футеровки мельницы полусамоизмельчения золотоизвлекательной фабрики // В сборнике: Технологическая механика материалов межвузовский сборник научных трудов. Иркутск: Изд-во ИРНИТУ, 2008. С. 167-171.

20. НИЛ Исследования технологических остаточных напряжений и деформаций. [Электронный ресурс] URL: <http://www.istu.edu/structure/54/3218/> (дата обращения 01.12.2017)