

ОСОБЕННОСТИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ЛИТОЙ СТАЛИ 38ХСЛ ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ ФРИКЦИОННОГО УЗЛА ПОГЛОЩАЮЩЕГО АППАРАТА

Е.А. Письменный, А.М. Марков, Д.А. Габец, А.В. Габец

В работе представлены результаты анализа возможности применения литой среднеуглеродистой легированной стали 38ХСЛ для деталей фрикционного узла поглощающего аппарата железнодорожного вагона. Рассмотрено влияние режимов термической обработки на эволюцию микроструктуры стали. Проведена оценка влияния термической обработки при различных температурах нагрева и применения охлаждающих сред. Проведены испытания по определению ударной вязкости и твердости стали 38ХСЛ после термообработки по приведенным в работе режимам. В результате термической обработки по режимам, приведенным в работе, формируются неравновесные структуры, представляющие собой троосто-сорбит, твердость образцов во всех случаях от 287 до 345 НВ, что удовлетворяет значениям, заданным в конструкторской документации. Ударная вязкость – от 16 до 52 Дж/см². Проведены копровые испытания поглощающих аппаратов АПФК-110 собранных с применением литых деталей фрикционного узла из стали 38ХСЛ, термообработанных по разработанному режимам. В ходе испытаний определена высокая прочность и надежность литых деталей, определенная в ходе испытаний энергоемкость аппаратов составила по ГОСТ 32913-2014 не менее 95 кДж как в состоянии поставки, так и в приработанном состоянии, что полностью удовлетворяет предъявляемым требованиям. Исследования литых деталей проводились в условиях, приближенных к эксплуатационным в поглощающем аппарате АПФК-110 на копровой установке с массой свободно падающего груза 13,22 т. По условиям испытаний было нанесено более 1500 ударов с высоты сброса груза 0,45 м, что соответствует 50 МДж введенной в поглощающий аппарат энергии, разрушения деталей не зафиксировано, средняя энергоемкость поглощающего аппарата составила от 98 до 102 кДж.

Ключевые слова: износостойкость, твердость, термообработка, ударно-фрикционный износ, сталь, фрикционный узел.

ВВЕДЕНИЕ

Важнейшим элементом поглощающих аппаратов является фрикционный узел, поглощающий до 50 % вводимой энергии. Одним из отличий поглощающего аппарата АПФК-110 [1–3] является возможность применения литых деталей (пластина неподвижная, клин фрикционный, конус нажимной, пластина опорная) в конструкции изделия [3]. Для возможности применения и соблюдения всех требований технической и конструкторской документации необходимо подробное изучение влияния режимов термической обработки на формирование необходимых механических и эксплуатационных свойств деталей поглощающего аппарата: твердости, износостойкости, ударной вязкости, пластичности и т. д. С учетом высокой ресурсоемкости изготовления деталей поглощающего аппарата резанием из проката, изготовление заготовок деталей методами литья с последующей обработкой резанием, способно дать выигрыш по себестоимости порядка 70 %. Одним из широко применяемых материалов для изготовления деталей поглощающего

ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 1 2020

материала является сталь 38ХС, обладающая высокими показателями твердости и износостойкости в условиях работы в поглощающем аппарате. Химический состав стали 38ХС по ГОСТ 4543-2016 представлен в таблице 1.

По аналогии с прокатом стали 38ХС были произведены плавки стали 38ХСЛ, химический состав которых приведен в таблице 2.

Сталь 38ХСЛ является качественной конструкционной низколегированной сталью, содержит небольшое количество легирующих элементов, что обеспечивает сочетание низкой стоимости и хорошего качества. К недостаткам данной стали можно отнести ее склонность к отпускной хрупкости и плохую свариваемость, поэтому для получения качественного сварного соединения необходимо применять, подогрев до 200–300 °С во время сварки и последующий отжиг. Для предотвращения отпускной хрупкости детали после отпуска рекомендуется охлаждать в различных средах (вода, масло, водо-полимерные среды). Температуру отпуска при этом желательно выбирать так, чтобы она не попадала в интервал хрупкости.

Таблица 1 – Химический состав стали 38ХС по ГОСТ 4543-2016

Марка стали	Массовая доля элементов, %							
	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu
38ХСЛ	0,34–0,42	1,00–1,40	0,30–0,60	≤ 0,30	≤ 0,035	≤ 0,035	1,30–1,60	≤ 0,3

Таблица 2 – Химический состав, литой стали 38ХСЛ

№ плавки стали 38ХСЛ	Химический состав, (массовая доля элементов, % вес.)								
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Al
№ 1	0,39	1,07	0,42	0,015	0,021	1,34	0,02	0,09	
№ 2	0,35	1,12	0,43	0,011	0,014	1,35	0,02	0,09	0,13
№ 3	0,41	0,93	0,41	0,010	0,012	1,33	0,06	0,08	0,10

Цель данной работы – разработка режима термической обработки деталей из стали 38ХСЛ, имеющих высокие показатели твердости и ударной вязкости.

В качестве термической обработки можно рассматривать нормализацию, а также закалку в различных средах (вода, масло) с отпуском. Температура критической точки A_{c3} для данной стали находится в районе 810 °С. Для ускорения процессов образования аустенита, температуру нагрева целесообразно повышать. Как правило, для легированных хромом и кремнием сталей температуру нагрева можно повышать на 50–100 °С [4, 5], т. к. оба этих элемента повышают устойчивость ферритной фазы при высоких температурах. Согласно [6–8], закалку данной стали рекомендуется вести с температуры 880–900 °С в масло либо через воду в масло с последующим отпуском при температурах от 300 до 600 °С с охлаждением после отпуска в воде. Твердость стали после такой закалки

составляет соответственно от 320 до 550 НВ. В конструкторской документации на поглощающий аппарат АПФК-110 установлены следующие требования по уровню твердости: 277–440 НВ.

В ходе анализа литературных данных по термической обработке данной стали [4–7], были определены следующие режимы термической обработки, приведенные в таблице 3. Закалка и отпуск стали 38ХСЛ проводилась в электрической камерной печи типа СНОЛ, оборудованной ПИД-контроллером.

Размеры образцов: 14x14x70 мм. Для гомогенизации химического состава по сечению образцов время выдержки образцов при нагреве было выбрано равным 1 ч. Этого времени достаточно для гомогенизации химического состава образцов данного размера. Повышенная длительность высокотемпературной выдержки при нагреве под закалку позволила отказаться от операции предварительного отжига литых деталей перед закалкой.

Таблица 3 – Режимы термической обработки стали 38ХСЛ

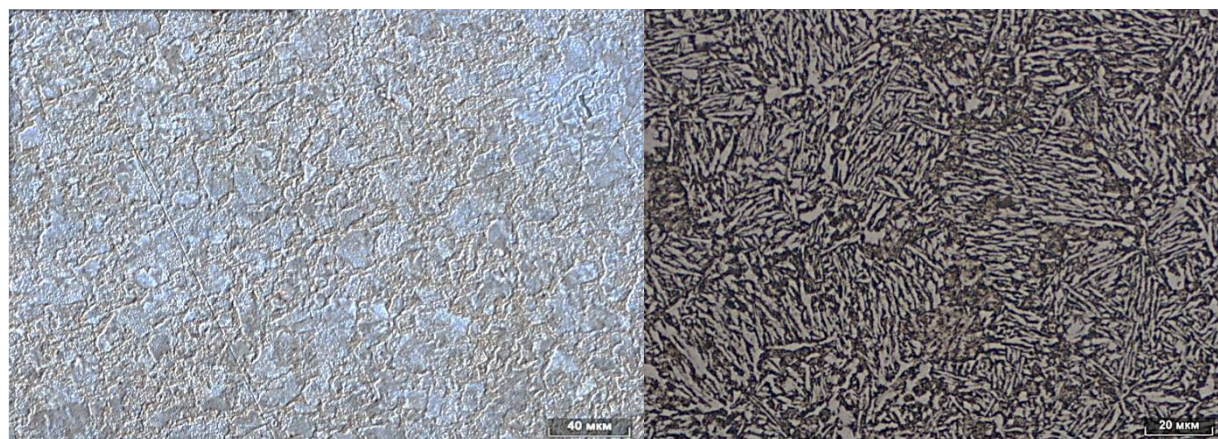
№ режима	Т нагрева, °С	Время выдержки при нагреве, ч	Закалочная среда	Т отпуска, °С	Время отпуска, ч	Охлаждающая среда после отпуска
Режим № 1	880	1	воздух	–	–	–
Режим № 2	820	1	вода	350	1,5	вода
Режим № 3	880	1	масло	350	1,5	вода
Режим № 4	840	1	вода	350	1,5	вода
Режим № 5	840	1	масло	350	1,5	вода
Режим № 6	880	1	Воднополимерный раствор «Термат»	350	1,5	вода

Охлаждение с температуры отпуска во избежание проявления отпускной хрупкости производили в воде до полного остывания образцов.

Микроструктуры образцов после термической обработки по режимам, приведенным в таблице 3, представлены на рисунке 1. Травление шлифов осуществляли в 4 % спиртовом растворе пикриновой ки-

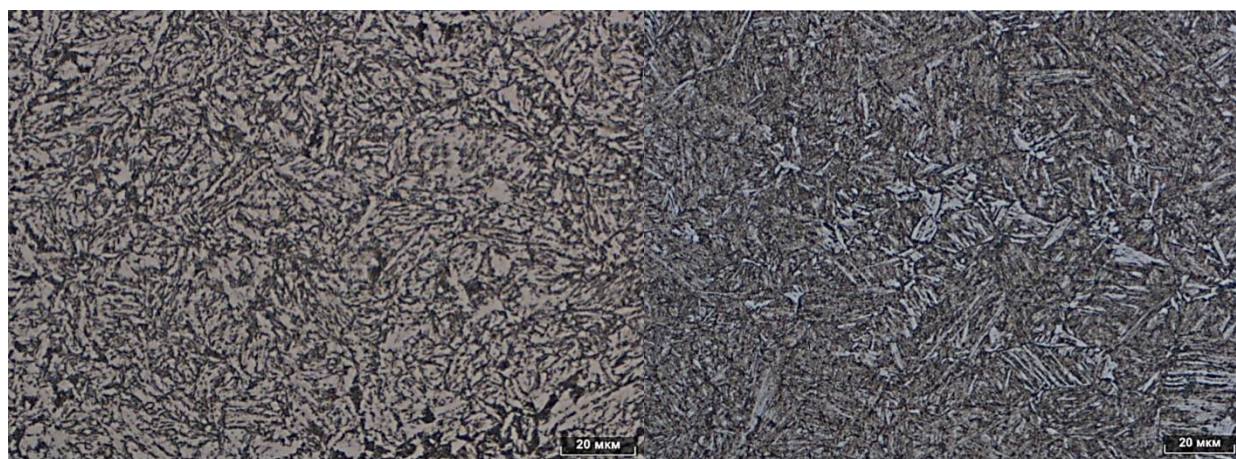
слоты с последующим травлением реактивом Клемма I. Последовательное травление по этой методике позволяет увеличить резкость и контрастность микроструктуры за счет формирования на поверхности шлифа тонкой пленки, работающей аналогично покрытиям на линзах «просветленной» оптики [10].

ОСОБЕННОСТИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ЛИТОЙ СТАЛИ 38ХСЛ ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ
ФРИКЦИОННОГО УЗЛА ПОГЛОЩАЮЩЕГО АППАРАТА



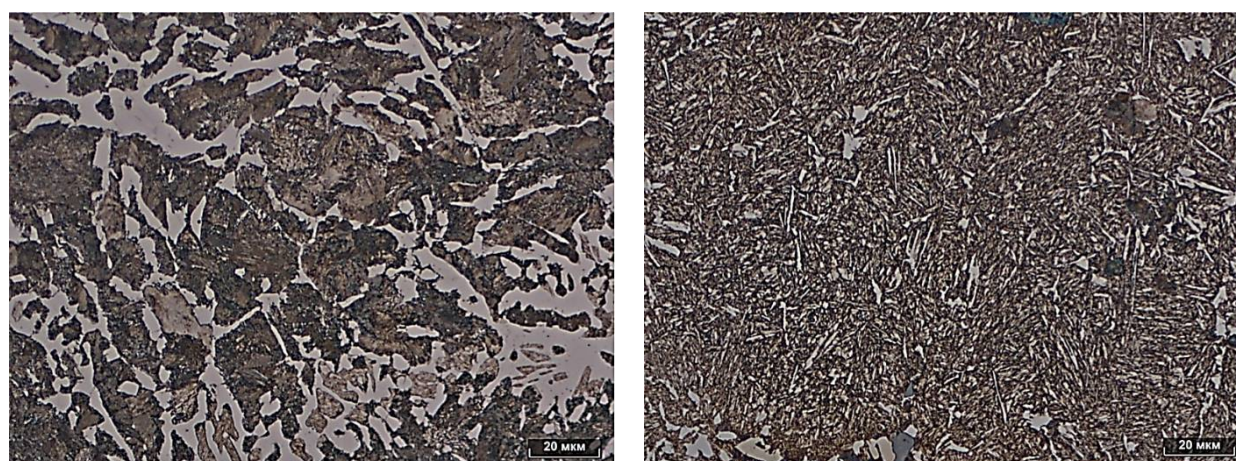
а)

б)



в)

г)



д)

е)

а) режим № 1; б) режим № 2; в) режим № 3; г) режим № 4;
д) режим № 5; е) режим № 6

Рисунок 3 – Микроструктура образцов литейной стали после термообработки по режимам, указанным в таблице 3

В результате термической обработки по режимам, приведенным в таблице 1, во всех случаях формируются неравновесные структуры, представляющие собой тросто-сорбит. Измерение твердости производили 5 раз на каждом образце. Твердость после закалки определяли на твердомере Роквелла, твердость отпущенных образцов измеряли на твердомере Бриннеля. Количество образцов по каждому режиму – три. Определение ударной вязкости производили на термообработанных образцах типа 1 по ГОСТ 9454-78 с U-образным надрезом. Исследования проводили по трем образцам на каждый режим термообработки [11, 12]. Результаты определения твердости и ударной вязкости усреднялись методами математической статистики и приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты определения твердости и ударной вязкости термообработанных по разным режимам образцов стали 38ХСЛ

№ режима	Твердость после закалки, HRC	Твердость после отпуска, HBW ₁₀	Ударная вязкость, КСУ, Дж/см ²
Режим № 1	–	287	34
Режим № 2	58	327	39
Режим № 3	57	320	52
Режим № 4	62	345	38
Режим № 5	55	317	16
Режим № 6	57	331	28

Согласно анализу микроструктур, наибольшей дисперсностью, а следовательно, имеющие наибольшую ударную вязкость имеют структуры, полученные в результате термической обработки по режимам № 2, № 3, № 4. Проведенные исследования ударной вязкости термообработанных по разным режимам образцов показали правильность предположений, сделанных по результатам металлографического анализа: максимальную ударную вязкость продемонстрировали образцы, обработанные по режиму № 3 – 52 Дж/см², образцы обработанные по режиму № 5 имели наименьшее значение ударной вязкости – 16 Дж/см². В качестве итогового режима термической обработки для деталей, отправляемым на эксплуатационные испытания, выбран режим № 3 – сталь 38ХСЛ после закалки в масле с температуры 880–890 °С и отпуска при 350 °С с охлаждением в воде

Исследования литых деталей проводились в условиях, приближенных к эксплуатационным в поглощающем аппарате АПФК-110 на копровой установке с массой свободно падающего груза 13,22 т. По условиям испыта-

ний было нанесено более 1500 ударов с высоты сброса груза 0,45 м, что соответствует 50 МДж введенной в поглощающий аппарат энергии, разрушения деталей не зафиксировано, средняя энергоемкость поглощающего аппарата составила от 98 до 102 кДж. По результатам испытаний литые детали поглощающего аппарата согласно ГОСТ 32913-2014 признаны прошедшими испытания.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проведения испытаний поглощающих аппаратов АПФК-110 собранных с применением литых деталей фрикционного узла установлена высокая энергоемкость аппаратов не менее 95 кДж, как в состоянии поставки, так и в приработанном состоянии, что полностью удовлетворяет предъявляемым требованиям согласно ГОСТ 32913-2014.

Детали, изготовленные из литой среднеуглеродистой легированной стали 38ХСЛ после закалки в масле с температуры 880–890 °С и проведенного отпуска при 350 °С с охлаждением в воде обладают хорошими ударно-фрикционными свойствами, способными обеспечивать надежную работу поглощающего аппарата в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 4543–1971. Прокат из легированной конструкционной стали. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 1996.
2. Габец, А.В. Проектирование эффективной конструкции поглощающего аппарата / А.В. Габец, А.М. Марков, Д.А. Габец, А.В. Иванов // Инженерный вестник Дона. – 2017. – № 2. – URL : ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2017/4113.
3. Пластина подвижная поглощающего аппарата автосцепного устройства железнодорожных транспортных систем : пат. 187656 Рос. Федерация. – № 2018141340 ; заявл. 23.10.2018.
4. Зубченко, А.С. Марочник сталей и сплавов : справочник ; 2-е изд., доп. и испр. / Под ред. А.С. Зубченко. – М.: Машиностроение, 2003. – 784 с.
5. Воскобойников, В.Г. Общая металлургия: учебник для вузов ; 6 изд., перераб. и доп. / В.Г. Воскобойников, В.А. Кудрин, А.М. Якушев. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2005 – 768 с.
6. Бернштейн, М.Л. Металловедение и термическая обработка стали и чугуна : Справ. изд. в 3-х т. / Г.В. Курдюмов, В.С. Меськин и др. ; под общ. ред. А.Г. Рахштадта, Л.М. Капуткиной, С.Д. Прокошкина, А.В. Супова ; Т2. Строение стали и чугуна. – М.: Интермет Инжиниринг, 2005. – С. 528.
7. Лахтина, О.М. Термическая обработка в машиностроении : Справочник / Под ред.

ОСОБЕННОСТИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ЛИТОЙ СТАЛИ 38ХСЛ ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ
ФРИКЦИОННОГО УЗЛА ПОГЛОЩАЮЩЕГО АППАРАТА

Ю.М. Лахтина, А.Г. Рахштадта. – М. : Машиностроение, 1980. – 783 с.

8. Гурьев, А.М. Новые материалы и технологии для литых штампов. – Барнаул, 2000. – 216 с.

9. Гурьев, А.М. Теория и практика получения литого инструмента / А.М. Гурьев, Ю.П. Хараев. – Барнаул, 2005. – 220 с.

10. Kazakov, A.A. Industrial Application of Thixomet Image Analyzer for Quantitative Description of Steel and Alloy's Microstructure / A.A. Kazakov, D. Kiselev // Metallography, Microstructure and Analysis. – 2016. – № 5. – P. 294–301.

11. ГОСТ 9454-78 Металлы. Метод испытания на ударный изгиб при пониженных, комнатной и повышенных температурах (с Изменениями № 1, 2). – М. : ИПК Изд-во стандартов, 1994.

12. Investigation of chemical composition and material structure influence on mechanical properties of special cast iron / A.V. Gabets [et al.] // METAL 2017 – 26 th International Conference on Metallurgy and Materials, Conference Proceedings. – Metal 2017/ – Brno, Czech Republic, EU. Scopus: 2-s2.0-85043315222.

Письменный Евгений Александрович, директор АО «ИЦ ТСЖТ», 658087, г. Новоалтайск, ул. 22 Партсъезда, д. 16, e-mail: pyshmenniy.eug@gmail.com.

Марков Андрей Михайлович, доктор техн. наук, профессор кафедры ТМФ ГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», 656038, Российская Федерация, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, e-mail: andmarkov@inbox.ru.

Габец Денис Александрович, инженер НИС ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», e-mail: gabets22@mail.ru.

Габец Александр Валерьевич, кандидат техн. наук, директор по развитию ООО «СибТрансМаш», 656049, Российская Федерация, г. Барнаул, ул. Папанинцев, д. 97, e-mail: gabeca@mail.ru