

ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ СТАЛИ 20ГФЛ РЕГУЛИРУЕМОЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКОЙ

А. В. Габец, А. М. Марков, В. А. Чертовских, Д. А. Габец, Г. А. Околович
Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова,
г. Барнаул, Россия

Приведены результаты исследования термической обработки стали 20ГФЛ по различным режимам с регулируемым циклом распада аустенита в области промежуточного превращения стали. Определена твердость стали и ее микротвердость структурных составляющих, в том числе феррит, легированный феррит (добейнитный феррит), перлит. Дополнительно имеются сведения об износостойкости материалов, используемых при конструировании тележки грузового вагона, с применением новой марки чугуна ЧМН-35М.

Ключевые слова: пара трения, износостойкий чугун, ЧМН-35М, 20ГФЛ, регулируемый цикл, перлит, феррит, легированный феррит, бейнит, тележка грузового вагона, боковая рама, балка надрессорная, фрикционный клин

INCREASE IN WEAR RESISTANCE OF STEEL 20GFL ADJUSTABLE HEAT TREATMENT

A. V. Gabets, A. M. Markov, V. A. Chertovskikh, D. A. Gabets, G. A. Okolovich
Altai State Technical University, Barnaul, Russia

Results of a research of a heat treatment of steel 20GFL on various modes with an adjustable cycle of disintegration of austenite in the field of the intermediate transformation became given. Hardness of steel and its microhardness of structural components, including ferrite, the alloyed ferrite (dobeynitny ferrite), perlite is determined. Follow-up there are data on wear resistance of the materials used when constructioning the cart of the freight car with application of new brand of ChMN-35M cast iron.

Ключевые слова: couple of sliding friction, wear-resistant cast iron, ChMN-35M, 20GFL, adjustable cycle, perlite, ferrite, the alloyed ferrite, beynit, the cart of the freight car, a side frame, a beam nadressorny, a frictional wedge

Применяемый способ термической обработки стали 20ГФЛ для деталей тележки грузового вагона остается неизменным на протяжении 50 лет. На сегодняшний день современные ходовые части грузовых вагонов нуждаются в повышении срока службы межремонтного пробега с 160 тыс. до 250 тыс. км. Одной из главных задач машиностроения является повышение надежности и долговечности машин, работающих в сложных эксплуатационных условиях.

Для многих машин и механизмов долговечность и надежность связана с износостойкостью и конструкционной прочностью деталей. Особенно важна долговечность для быстро изнашиваемых деталей тележки грузового вагона, так как они работают в условиях наиболее интенсивного динамического воздействия, где формирующиеся зазоры в

конструкции приводят к колебаниям и растущим динамическим нагрузкам, усугубляя величину роста износа, являющегося причиной выхода ходовых элементов из строя.

В тележке грузового вагона фрикционный клин и колпак скользуна являются быстро изнашиваемым деталям. Зачастую износ клина приводит к забеганию элементов конструкции с дестабилизацией работы тележки, вызывая сход подвижного состава при допустимых скоростях движения. От стабильной работы колпака скользуна тоже зависит устойчивость движения вагона, где интенсивный износ при появлении зазоров в паре колпака скользуна с опорными элементами кузова вагона приводит к повышенному износу с задирками подпятникового узла надрессорной балки.

Одним из наиболее перспективных вариантов модернизации клина и колпака тележки являются

Ползуновский альманах № 4 Т. 5 2017

ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ СТАЛИ 20ГФЛ РЕГУЛИРУЕМОЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКОЙ

лежки является использование износостойких чугунов путем применения легирования молибденом и никелем, в том числе при модифицировании цирконием и барием. Таким чугуном является износостойкий материал ЧМН-35М [1] (рисунок 1 а, б).

Следует предусмотреть, что при использовании новых чугунов для предотвращения износа элементов надрессорной балки (~500 кг), служащей опорой клина и колпака, деталь лучше термически обрабатывать по режимам обеспечивающих получение бейнита для ухода от имеющейся феррито-перлитной структуры (рисунок 1 в). Бейнитные структуры зарекомендовали себя в судостроении при усталостных нагрузках (рисунок 1 г). В том числе работоспособность надрессорной балки кроме прочности и износостойкости оценивается ударной вязкостью. Поэтому при выборе режима термообработки для оценки износостойкости ударная вязкость KCV^{60} должна быть не менее 20 Дж/см² по требованиям ГОСТ 32400-2013 (таблица 1).

Для эффективной работы пары трения с новыми материалами из чугуна ЧМН-35М в узле гашения колебаний предложено сталь 20ГФЛ термически обрабатывать по регулируемому циклу [2] заключающемуся в нагреве

860 – 940 °С с выдержкой 3 часа и охлаждении 1 – 25 °С /с до 450 °С с последующим самоотпуском (изотермический отжиг), вследствие теплового гистерезиса массивной детали. При регулируемом охлаждении, зерна феррита и перлита дополнительно измельчаются с формированием зерен легированного феррита и выделением сферодизованной карбидной фазы по границе перлита.

Таким образом, дисперсность карбидной фазы повышается, а также одновременно становятся тоньше и короче пластины цемента в перлите. В свою очередь прерывание цикла охлаждения при 400 – 450 °С с дальнейшим охлаждением на спокойном воздухе обеспечивает рекристаллизацию со снятием внутренних напряжений в отливки при достижении высоких показателей ударной вязкости 35 – 40 Дж/см², в то время как существующая технология нормализации имеет 17 – 20 Дж/см². Сводные данные по механическим свойствам рассматриваемых материалов приводятся в таблице 2.

Таким образом, актуальным является исследование износостойких свойств нового материала ЧМН-35М при работе в паре со сталью 20ГФЛ после термической обработки по регулируемому циклу.

Таблица 1 – Перечень исследуемых материалов ходовых частей грузовой тележки

Материал	Балка надрессорная	Фрикционный клин	Колпак скользуна
Применяемый	Нормализация 20ГФЛ	СЧ35	20ГФЛ
Альтернативный	Регулируемый цикл 20ГФЛ	ЧМН-35М	ЧМН-35М

Таблица 2 – Механические свойства материалов сплава Fe-C

Марка материала	σ_b , кг/мм ²	Твердость, НВ	KCV^{60} , Дж/см ²
СЧ35	≥35	242 – 275	-
ЧМН-35М	≥35	≥290	-
20ГФЛ	≥51	≥160	≥20
20ГФЛ*	≥54	≥180	≥30

* - регулируемая термическая обработка

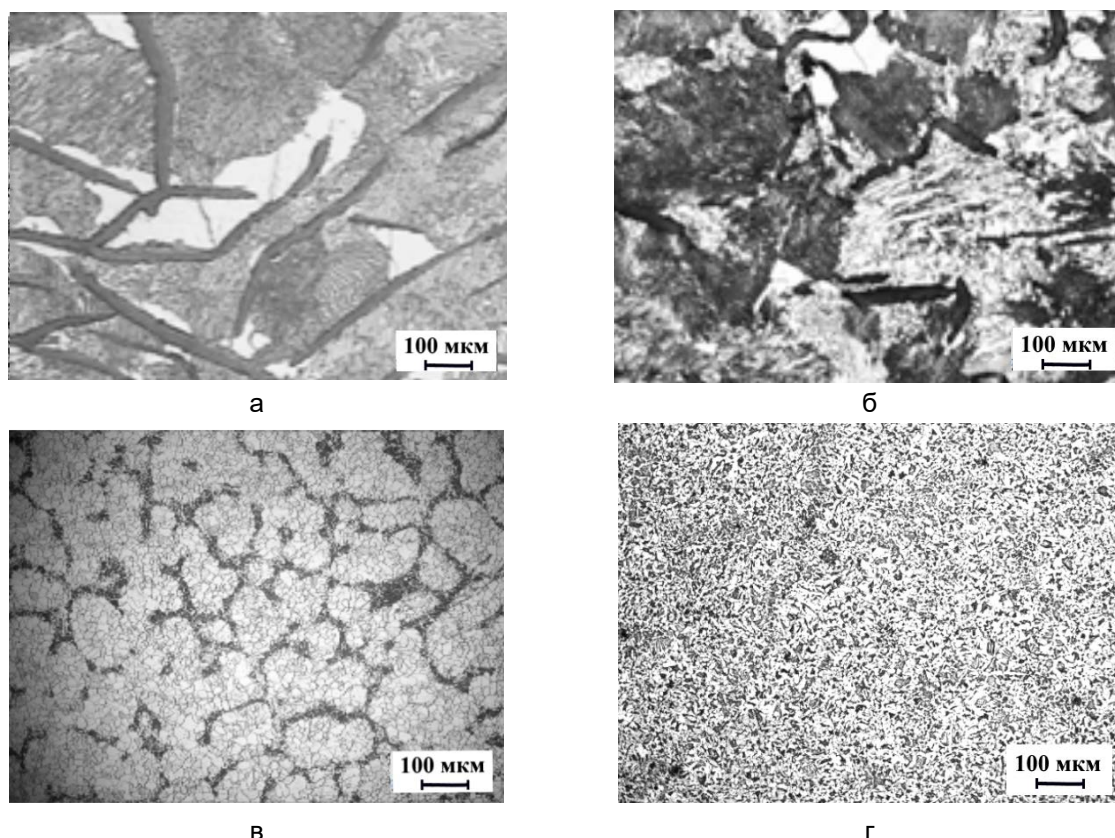


Рисунок 1 – Микроструктуры чугуна и стали: а – перлитный чугун СЧ35 (240НВ); б – перлитный чугун, легированный молибденом и никелем ЧМН-35М (290 НВ); в – нормализованная сталь 20ГФЛ ($KCV^{60}=5,1 - 10 \text{ Дж/см}^2$); г – регулируемый цикл сталь 20ГФЛ ($KCV^{60}=30 \text{ Дж/см}^2$)

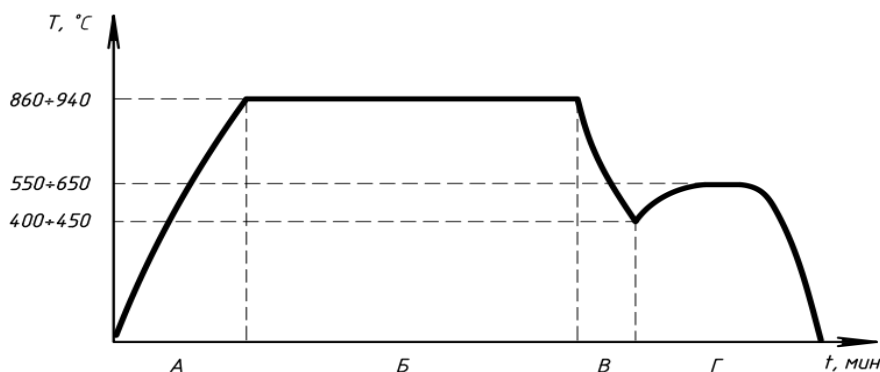


Рисунок 2 – Диаграмма регулируемой термообработки, А, Б, В, Г – временной интервал, устанавливающийся экспериментальным путем в зависимости от конфигурации и массы изделия

ОБОРУДОВАНИЕ И МЕТОДИКИ

С целью достижения повторяемости результатов ударной вязкости при применении термической обработки в лабораторных и производственных условиях на предприятие ООО «АСЛЗ» использована вновь разработанная методика «Управляемая термообработка низкоуглеродистой стали» [7]. Главным достоинством разработанной методики является достижение стабильных эксперимен-

тальных данных при дальнейшем внедрении их в производстве. Согласно методике, в лабораторных условиях устанавливаются режимы термической обработки по матрице ортогонального планирования. Построенные термограммы в дальнейшем используются при назначении режима охлаждения потоком воздуха путем контроля температуры отливки на протяжении всего режима термообработки. В связи с тем, что на интервал превраще-

ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ СТАЛИ 20ГФЛ РЕГУЛИРУЕМОЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКОЙ

ния аустенита влияет температура нагрева, время выдержки и скорость охлаждающего потока воздуха при внедрении режима термообработки на производстве выполняется корректировка времени выдержки и скорости охлаждения массивного изделия с целью достижения заданного интервала промежуточного превращения. После термической обработки лабораторных образцов и отливок выполняется оценка изменений значений ударной вязкости KCV^{60} , твердости материала при лабораторных и цеховых условиях.

Влияние таких факторов, как температура нагрева, время выдержки и скорость охлаждающего потока воздуха на ударную вязкость, твердость и микротвердость оценивали матрицей ортогонального центрального композиционного плана, включающей 15 режимов термической обработки, что приводится в таблице 4. В матрице исследованы интервалы промежуточного превращения выделения бейнита в стали 20ГФЛ при температурах 850 и 950 °С, времени выдержки в печи 25 и 65 мин., скоростях охлаждаемого потока воздуха 2,5 и 8,5 м/с. После закалки воздухом выполняли отпуск 600 °С, 30 мин.

Получение дисперсной структуры бейнита с высокими характеристиками сопротивле-

ния разрушения возможно в случае применения регулируемой термообработки при температуре ниже остановки рекристаллизации. На основе анализа полученных данных разработана технология регулируемой термической обработки стали 20ГФЛ (рисунок 2), обеспечивающая формирование дополнительной структурной составляющей в виде нижнего бейнита с повышением ударной вязкости KCV^{60} не менее 30 Дж/см². Для массивных деталей формирование нижнего бейнита происходит за счет принудительного охлаждения до температуры 400 – 450 °С с дальнейшим самоотпуском на спокойном воздухе для обеспечения рекристаллизации и полигонизации путем использования внутренней энергии отливки весом 500 кг [6 – 7].

Экспериментальную плавку стали 20ГФЛ выполняли на сталеплавильной печи ДСП-6М. Химический состав стали 20ГФЛ приводится в таблице 3. Трефовидные свидетели плавки выполнены по ГОСТ 977-88. Заготовки образцов ударной вязкости из стали 20ГФЛ в количестве 45 шт. изготовлены из нижних частей тремовидных свидетелей плавки, в том числе 12 заготовок пар трения из материалов СЧ35, ЧМН-35М, 20ГФЛ.

Таблица 3 – Химический состав стали 20ГФЛ

Массовая доля содержания элементов, % вес.									
C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	V	Al
ОСТ 32.183-2001 п.3.3.2, 3.3.3, ТТ ЦВ-32-695-2006 п.1.1 стали 20ГФЛ									
0,17-0,25	0,3-0,5	0,9-1,4	≤0,04	≤0,04	≤0,3	≤0,3	≤0,6	0,07-0,13	0,04-0,06
0,19	0,42	1,15	0,01	0,01	0,08	0,05	0,1	0,06	0,03

В соответствии с ГОСТ 9454-78 образцы ударной вязкости изготовлены с размерами 10x10x55 мм, где концентратором разрушения является V-образный надрез с R=0,25 мм. Измерение площади сечения и качество выполненного надреза определяли на микроскопе NikonMM 400 с точностью 0,01 мм. Охлажденные в криогенной камере образцы до -60 °С разрушали на маятниковом копре Metrosom, имеющем максимальное значение удара 300 Дж.

Объектом исследования является металлографический шлиф, подготовленный с применением пресса BuehlerSimpliMet 1000 и шлифовально-полировальных установок StruersLabo Pol-5 и BuehlerAutoMet 300. Шлифование и полирование металлографических шлифов осуществляли поэтапно, повышая дисперсность абразивных материа-

лов. Химическое травление шлифов осуществляли путем смачивания исследуемой поверхности реактивом 4 %-ным раствором пикриновой кислоты и 4 %-ным раствором азотной кислоты в этаноле. Металлографические исследования образцов были проведены на микроскопе CarlZeissAxioObserver A1m с разрешением x1000 крат.

Исследования тонкой структуры стали 20ГФЛ проведены на трансмиссионном электронном микроскопе FEITecnai G2 20 TWIN при ускоряющем напряжении 200 кВ.

Определение твердости было выполнено на приборе ТШ-2 по Бринеллю ГОСТ 9012-59, диаметр шарика D=5 мм, испытательная нагрузка 750 кгс. Оценка микротвердости структурных составляющих стали выполняли по Виккерсу в соответствии с требованиями ГОСТ 9450-76 на мик-

ротвердомере WolpertGroup 402MVD. Индентор выбрана четырёхгранная алмазная пирамида с углом между противоположными гранями 136° . Расстояние между отпечатками составляло не менее $3d$, где d – размер диагонали отпечатка. Каждую структурную составляющую измеряли не менее 3-х раз при разбросах погрешности измерения 3 – 5 % и по десяти раз при разбросе более 5 %.

Для оценки трибосочетаний по весовому износу использована машина трения модели 2168 УМТ [3]. Исследования износостойкости выполнено с использованием специально изготовленных образцов, представляющих со-

бой пару «вал – колодка» (рисунок 3). Для проведения испытаний колодку устанавливали в корпус, а вал крепили на муфту. Перед каждым циклом испытаний выполняли промывку и просушку образца для удаления пыли и продуктов износа. Рабочие условия проведения эксперимента достигаются на машине трения, путем сообщения втулке вращательного движения вокруг собственной оси при нагружении колодки. Для оценки износостойких свойств материалов использовали режим близкий к эксплуатационному, где длина пути выбрана не менее 1000 метров, скорость вращения вала 500 об/мин, нагрузка на колодку 20 кг/см^2 .

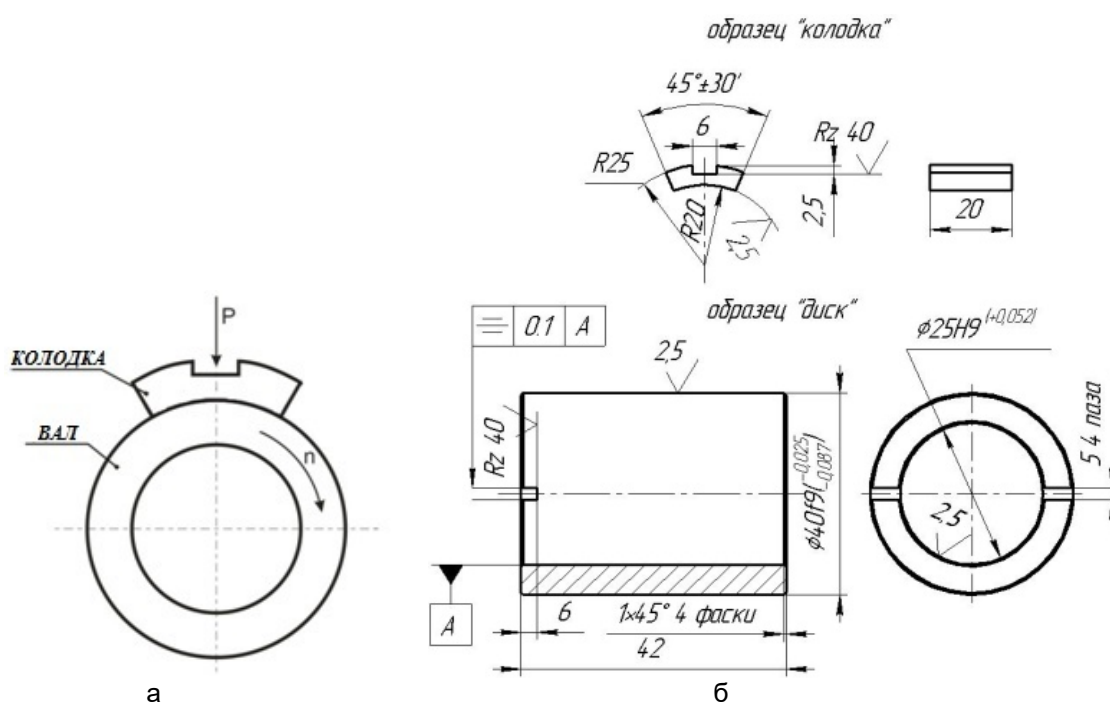


Рисунок 3 – Схема испытания (а); конструктивно-геометрические параметры колодки и вала (б)

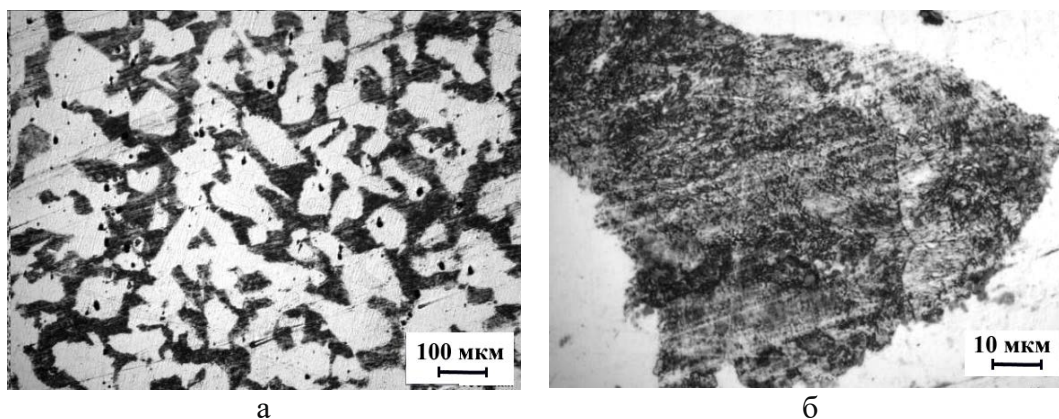


Рисунок 4 – Литая видманштеттовая структура стали 20ГФЛ до термообработки, 3 балл, 160 НВ

ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ СТАЛИ 20ГФЛ РЕГУЛИРУЕМОЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКОЙ

ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА

В ходе предварительного исследования литых заготовок стали 20ГФЛ получено, что протекающий бездиффузионный механизм превращения приводит к образованию литого видманштеттова феррита (рисунок 4) в отношении элементов замещения с диффузией углерода в остаточный аустенит с твердостью не более 160 НВ.

Результаты исследований по регулируемой термической обработки приведены в таблице 4. Так выявлено, что применение регулируемого охлаждения позволяет перенести область перлитных превращений в интервалы более низких температур для достижения максимальной степени измельчения зерна и получения структурной составляющей в виде бейнита.

Кодированные регрессионные уравнения расчета твердости феррита Фнв, легированного феррита ЛФнв, перлита Пнв с применением центрального композиционного плана ортогональной матрицы планирования:

$$НВ=149,6 + 2,9 T - 4,1 t - 0,3 V + 10,1 T_2 + 5,7 t_2 + 10,1 V_2 - T t + 3,7 T V + 0,7 t V \quad (1)$$

$$Фнв=148 + 4,4 T - 2,7 t + 0,7 V - 4,4 T_2 - 0,6 t_2 + 1,7 V_2 + 13 T t + 0,5 T V - 17 t V \quad (2)$$

$$ЛФнв=195,1 + 5,8 T - 2,1 t - 1,1 V - 11,1 T_2 - 22 t_2 - 6,1 V_2 + 8,9 t - 1,6 T V - 22,9 t V \quad (3)$$

$$Пнв=255,3 - 4 T - 23,8 t + 8,1 V - 37,4 T_2 + 14,4 t_2 - 17 V_2 + 14,1 T t + 8,9 T V - 28,1 t V \quad (4)$$

где T – кодированное значение температуры, t – кодированное значение времени выдержки при температуре T, V – кодированное значение скорости потока воздуха.

Таблица 4 – Режимы термообработки ортогональной матрицы планирования

№ режима	1-й цикл				2-й цикл	Микротвердости структурообразующих по ГОСТ 9450, НВ			Твердость по Бринеллю, НВ	KCV ⁶⁰ , Дж/см ²
	T, °C	t, мин	Vвезд, м/с	Voхл до 400 °C, °C/сек		Феррит	Легир. феррит	Перлит		
1	940	60	8	6	600 °C, 30 мин	115	120	194	184	11,1
2	940	60	3	3,5		167	194	197	168	16,7
3	940	30	8	6		161	190	259	175	12,5
4	940	30	3	4,5		112	126	159	176	30,8
5	860	60	8	7		105	118	153	173	23,6
6	860	60	3	3,5		126	139	201	176	38,5
7	860	30	8	5,5		170	177	284	179	35,8
8	860	30	3	4		156	153	210	176	28,2
9	850	45	5,5	4		136	180	223	163	51,4
10	950	45	5,5	5,1		177	197	219	163	26,4
11	900	25	5,5	5,8		139	151	336	170	36,4
12	900	65	5,5	3,6		185	194	259	143	26,9
13	900	45	2,5	3,9		158	198	265	170	27,9
14	900	45	8,5	5		173	194	237	156	27,3
15	900	45	5,5	4		104	167	194	156	18,3

На рост твердости из уравнения (1) наибольшее влияние оказывает температура термообработки и скорость охлаждающего потока воздуха.

Микротвердость структурообразующих составляющих изменяется в пределах: фер-

рит – 104 – 185 НВ, для легированного феррита – 120 – 198 НВ, для перлита 153 – 336 НВ.

На микротвердость феррита в наибольшей степени оказывает влияние сочетания факторов: температуры термообработки и времени выдержки в сторону повышения

твердости, а также сочетание факторов времени выдержки и скорости потока воздуха ведет к снижению твердости, что отражено в формуле (2).

На микротвердость легированного феррита в наибольшей степени оказывает влияние фактора времени выдержки, а также сочетания факторов времени выдержки и скорости потока воздуха, что снижает твердость по формуле (3).

На микротвердость перлита в наибольшей степени оказывает влияние температуры термообработки, а также сочетания факторов времени выдержки и скорости потока воздуха, что снижает твердость по формуле (4).

В результате наибольший интерес представляет оценка сочетания факторов времени выдержки и скорости потока воздуха, где в

формулах (2 – 4) наблюдается общая закономерность их влияния на снижение твердости. При этом по отдельности они не снижают твердость в значительной степени.

При более низких температурах превращения схема роста феррита становится явно анизотропной, а конечная его форма — иррегулярной (рисунок 5 а). Легированный феррит иррегулярной формы называют полигональным, и его формирование продолжается до температуры B_s .

На основании статистических данных и серий экспериментальных термообработок определен оптимальный интервал твердости 165 – 180 НВ, обеспечивающий требуемые характеристики ударной вязкости (рисунок 5), что не приведено в существующих требованиях ГОСТ 32400.

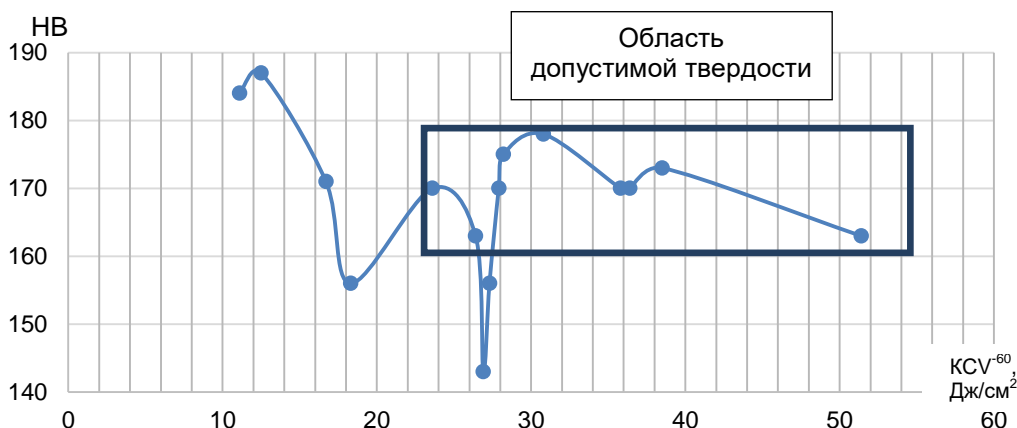


Рисунок 5 – График зависимости твердости НВ от ударной вязкости KCV^{60}

Бейнитная структура характеризуется формой в виде пластин или реек с высокой плотностью дислокации [4 – 5].

По режимам № 1 и № 3 феррит имеет форму хлопьев или колоньевидных включений. Микротвердость феррита изменяется таким образом, что при увеличении времени выдержки с 30 до 60 мин наблюдается снижение микротвердости бейнитного феррита от 190 до 120 НВ. По режиму № 9 (рисунок 6 а) ферритные и перлитные зерна претерпевают различные превращения, где добейнитный феррит проявляется в виде светлых участков на фоне феррита. Снижение температуры по режиму № 9 до 850 °С, 45 мин, $V_b=5,5$ м/с обеспечивает появление легированного полигонального феррита и нижнего бейнита повышающего ударную вязкость до 51,4 Дж/см² (рисунок 6 б). Таким образом, наибольший интерес оценки износостойкости

трибосочетаний чугуна и стали следует производить на образцах стали 20ГФЛ с термической обработкой по режиму № 9.

В результате в образце образуется структура близкая к закалочной с несколько повышенной твердостью. Повышение микротвердости феррита и перлита объясняется появлением большого количества двойников и реализацией механизма множественного скольжения между ними, причем бейнитный феррит упрочняется больше, чем перлит. Таким образом, механизм разрушения меняется от хрупкого к вязкому, что обусловлено повышением упругой энергии и росту когерентности между фазами. В этом случае можно отметить, что на фрактографических снимках излома не выявлено движение трещины вдоль оксидов алюминия, которые наблюдались в образцах с нормализацией.

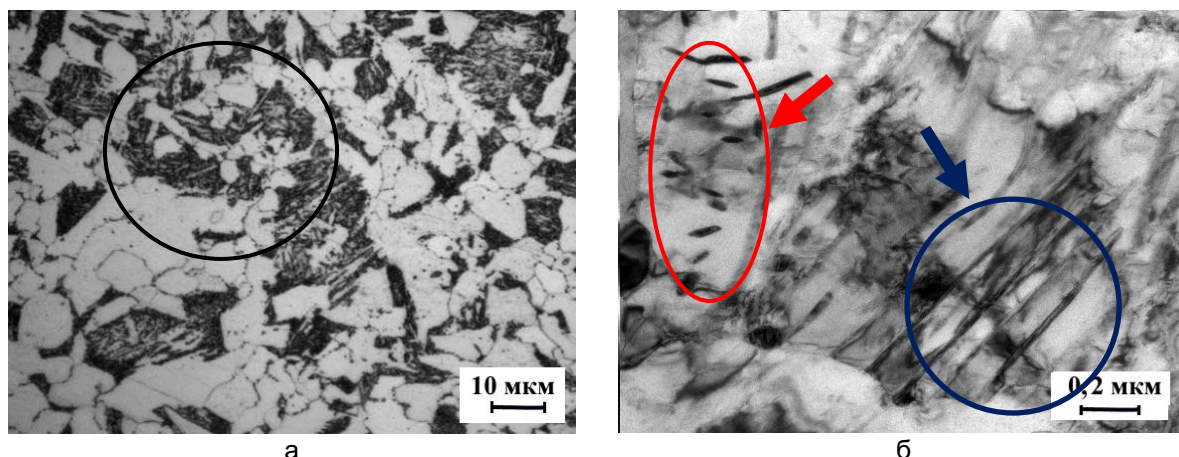


Рисунок 6 – Микроструктура стали 20ГФЛ после регулируемой термообработки по режиму № 9, $T=850\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t=45\text{ мин}$, $V_{в}=5,5\text{ м/с}$ (или $3,5\text{ }^{\circ}\text{C/сек}$) до $400\text{ }^{\circ}\text{C}$, отпуск $600\text{ }^{\circ}\text{C}$, 30 мин , $KCV^{60}=51,1\text{ Дж/см}^2$, 11 балл: а – феррито-перлитная структура с включениями бейнита в перлите; б – бейнитные рейки и колонии перлита

Образование легированного феррита начинается от аустенитных зерен при снижении температуры. Феррит формируется путем анизотропного (бокового) роста от феррита на границах зерен аустенита. Известно, что прочность повышается со снижением температуры превращения. Вязкость связана с размером эффективного зерна, который, в свою очередь, определяется характером границ продуктов превращения и структурным состоянием исходного аустенита. Упрочнение твердого раствора углеродом и увеличение плотности дислокаций в результате сочетания изменения объема и превращения по сдвиговому типу будут приводить к более высокой прочности стали при снижении температуры превращения.

Результаты испытаний материалов на машине трения 2168 УМТ приведены в таблице 5 и представлены на рисунке 7.

Анализ величин износа валов и колодок показывает, что сравнение износостойкости валов из чугуна марки ЧМН-35М в паре трения

с нормализованной сталью 20ГФЛ и этой же сталью только термически обработанной по регулируемому циклу предпочтение имеет последняя сталь обеспечивающая снижение износа на 20 % пары трения. На основании сравнения результатов испытаний можно утверждать, что сталь 20ГФЛ термообработанная по 9-му режиму полностью соответствует эксплуатационным требованиям, это подтверждается испытаниями на износостойкость.

Разработанный режим термообработки обеспечивает высокие прочностные, износостойкие и фрикционные свойства с возможностью работы в паре с фрикционным клином, изготовленным из чугуна ЧМН-35М [7 – 10].

Выводы:

Разработанная технология регулируемой термической обработки обеспечивает формирование равновесной феррито-перлитной структуры с включениями нижнего бейнита за счет принудительного охлаждения до температуры $400 - 450\text{ }^{\circ}\text{C}$, что ведет к повышению износостойкости в стали 20ГФЛ.

Таблица 5 – Весовой износ пар трения

п.п.	Образец	Материал	Масса весового износа, гр.	Суммарный износ пары трения, гр.
Балка наддрессорная – Фрикционный клин				
1	Колодка	20ГФЛ ⁽¹⁾	0,04	1,02
	Вал	СЧ35	0,98	
2	Колодка	20ГФЛ ⁽¹⁾	0,12	0,78
	Вал	ЧМН-35М	0,66	
3	Колодка	20ГФЛ ⁽²⁾	0,03	0,72
	Вал	СЧ35	0,69	
4	Колодка	20ГФЛ ⁽²⁾	0,21	0,83
	Вал	ЧМН-35М	0,62	

1 – нормализация $940\text{ }^{\circ}\text{C}$, 60 мин;

2 – регулируемый режим термической обработки $850\text{ }^{\circ}\text{C}$, 45 мин, $3,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $400\text{ }^{\circ}\text{C}$, отпуск $600\text{ }^{\circ}\text{C}$, 30 мин.

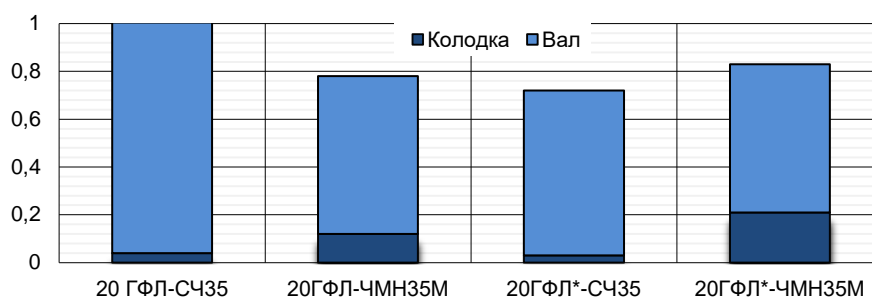


Рисунок 7 – Гистограмма износа образцов пары трения балка надрессорная – фрикционный клин

Применение регулируемой термической обработки низкоуглеродистой стали приводит к увеличению срока эксплуатации деталей, за счет морфологии стали с мелким аустенитным зерном, формированием в стали фазы нижнего зернистого бейнита, при наличии феррито-перлитной структуры, что служит увеличению циклической прочности, ударной вязкости при отрицательных температурах и незначительное повышение твердости до 170НВ.

Термическая обработка обеспечивает условия для протекания произвольного охлаждения 550 – 600 °С по регулируемому циклу, ведущему к снижению внутренних напряжений, рекристаллизации и повышению механических свойств материала за счет самоотпуска массивной детали, что позволяет производить ее с наименьшими затратами.

На основании сравнения результатов испытаний на износостойкость можно утверждать, что применение стали 20ГФЛ термически обработанной по регулируемому циклу полностью соответствует эксплуатационным требованиям, предъявляемым для данных деталей. Разработанный режим термической обработки материала обеспечивает высокие прочностные, износостойкие и фрикционные свойства с возможностью его работы в паре с фрикционным клином, изготовленным из стали 20ГЛ и чугунов СЧ35 и ЧМН-35М.

Список литературы

1. Габец А. В. Специальный чугун для отливки фрикционного клина тележки железнодорожного вагона // Ползуновский вестник. 2013. № 4/2. С. 51 – 52.

2. Чертовских Е.О., Околович Г.А., Габец А.В., Борщ Б.В. Изотермические превращения переохлажденного аустенита стали 20ГФЛ., с.259/ Железнодорожный транспорт на современном этапе развития: сб. трудов молодых ученых ОАО «ВНИИЖТ» - М.: Интекст, 2013. – 288 с.

3. Марков. А. М., Габец Д. А., Габец А. В., Некрасов В. Н., Каргин В. В. Методика испытания материалов на износостойкость //Иновации в машиностроение – основа технологического развития России: Материалы 4 международной научно-технической конференции: Часть 1 /под. Ред. А. Г. Сулова, А. М. Маркова. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2014. – С. 253 - 258.

4. Чертовских, Е. О. Триботехнические свойства специального чугуна ЧМН-35М / Е. О. Чертовских, Габец Д.А., В. В. Каргин, А. М. Марков, А. В. Габец // Иновации в машиностроении: 7-я международная научно-практическая конференция. – Кемерово: Изд-во КузГТУ, 2015. – С. 268-273.

5. Чертовских, Е. О. Методика регулируемой термообработки литых деталей - / Е. О. Чертовских, Д. А. Габец, А. М. Марков, А. В. Габец // [http://indust-engineering.ru/issues/2015/2015-4-8.pdf]. - Машиностроение: сетевой электронный журнал, том 3, №4. – С. 48-52.

6. Чертовских, Е.О. Регулируемая термообработка для литых деталей тележки грузового вагона / Е. О. Чертовских, Д. А. Габец, А. М. Марков, А. В. Габец // Актуальные вопросы современной науки: сборник научных трудов. Выпуск 44 №1. – Новосибирск: Изд-во ЦРНС, 2015. – С.153-161.

7. Чертовских Е.О. Методика АСЛЗ.00.003-ОМ «Управляемая термообработка низкоуглеродистой стали», держатель документа ООО "АСЛЗ", 2015 г., 14 с.

8. Габец А. В. Исследование свойств и разработка эффективной конструкции опоры кузова вагона: монография / А. В. Габец, А. М. Марков, Д. А. Габец. – Барнаул : Изд-во АлтГТУ, 2016.

9. Габец А. В. Управление износостойкостью ответственных узлов и деталей подвижного состава: монография /А.В. Габец, А.М. Марков, Д.А. Габец, Е.О. Чертовских. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ.

10.Чертовских, Е.О. Получение структуры бейнита регулируемой термической обработкой стали 20ГФЛ / Е.О. Чертовских, А.В. Габец, Д.А. Габец, А.М. Марков, Г.А. Околович, П.Н. Комаров // Обработка металлов. – 2016. №2(71). –С.70-79. doi:- 10.17212/1994-6309-2016-2-70-79

Габец Александр Валерьевич – к. т. н.
Марков Андрей Михайлович – д. т. н, профессор
Чертовских В. А.

Габец Денис Александрович² – аспирант
Околович Геннадий Андреевич – д.т.н., профессор

ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова» (АлтГТУ), г. Барнаул, Россия