

## ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА ХАРАКТЕР РАЗРУШЕНИЯ ВЫСОКОПРОЧНОЙ СТАЛИ КЛАССА ПРОЧНОСТИ 690

Батасов А.В., Коджаспиров Г.Е.

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,  
г. Санкт-Петербург, Россия, gkodzhaspirov@gmail.com

**Введение.** Большегрузные строительные автомобили-самосвалы работают, в основном, на крупных стройках в различных географических регионах страны, что и определяет их условия эксплуатации [1]. Карьерные самосвалы предназначены для работы в различных климатических условиях эксплуатации (при температуре окружающего воздуха от -50 до +50 градусов) [2].

Важнейшей характеристикой при оценке способности конструкционных сталей для эксплуатации в условиях низких температур является определение ударной вязкости при низких климатических температурах [3,4].

Разработка новых экономно-легированных высокопрочных хладостойких сталей для производства листового проката, предназначенного для изготовления кузовов, платформ и других ответственных сварных несущих узлов большегрузных автомобилей с пониженным углеродным эквивалентом и хорошей свариваемостью, является актуальной и своевременной задачей.

**Цель работы:** изучение процессов структурообразования, протекающих при термической обработке высокопрочной экономно-легированной хладостойкой стали, предназначенной для изготовления кузовов и платформ большегрузных автомобилей.

**Задачи:** 1. Исследование влияния режимов закалки и отпуска на механические свойства стали; 2. Исследование структуры и излома стали после термической обработки методами оптической металлографии и растровой микроскопии; 3. Разработка рекомендаций по оптимальным режимам термической обработки для получения высокого уровня механических свойств стали типа 09ХГН2МД.

**Материалы и методики.** В качестве материала для исследования была выбрана низкоуглеродистая высокопрочная экономно-легированная хладостойкая свариваемая сталь типа 09ХГН2МД, с гарантированным пределом текучести не ниже 690 МПа. Углеродный эквивалент стали, отвечающий за свариваемость, составлял: Сэкв=0,51.

Для проведения исследования вырезали образцы из горячекатаных листов толщиной 12 мм.

Исследования структуры металла проводили на образцах после закалки от температуры 950°C в воду и последующий отпуск в течение 180 минут при температурах 570, 630 и 690 °С.

Механические испытания стали на растяжение проводили в соответствии с требованиями, предъявляемыми к данной продукции: ГОСТ 1497–84, а на ударный изгиб - по ГОСТ 9454–78 при температуре –70°C.

**Результаты исследования.** Механические свойства стали 09ХГН2МД после закалки и после закалки и отпуска приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Механические свойства стали 690 после закалки от 950°C и после отпуска

Состояние	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\sigma_b$ , МПа	$\delta_5$ , %	KCV <sup>-70</sup> , Дж/см <sup>2</sup>
После закалки от 950°C	826,8	1023,4	13,8	54,1
Т отпуска, °С				
570	729,2	793,1	18,5	142,3
630	741,8	790,6	19,2	171,6
690	523,1	622,3	25,3	271,1

В таблице 2 приведены требования, предъявляемые к стали класса прочности 690.

Таблица 2 - Требования, предъявляемые к стали 09ХГН2МД

Условный предел текучести, МПа	Временное сопротивление, МПа	Относительное удлинение, %	Ударная вязкость KCV <sup>-70</sup> , Дж/см <sup>2</sup>
не менее 690	770-940	не менее 13	не менее 35

Результаты механических испытаний свидетельствуют, что наилучшее сочетание механических свойств и ударной вязкости при -70<sup>0</sup>С соответствует закалке с отпуском при 570<sup>0</sup>С. Микроструктура стали после закалки и отпуска приведена на рис. 1. После закалки от температуры 950<sup>0</sup>С в стали 09ХГН2МД формируется равномерная бейнитно-мартенситная структура (рис.1, а) в соотношении 50:50, со средним размером аустенитного зерна 12 мкм.

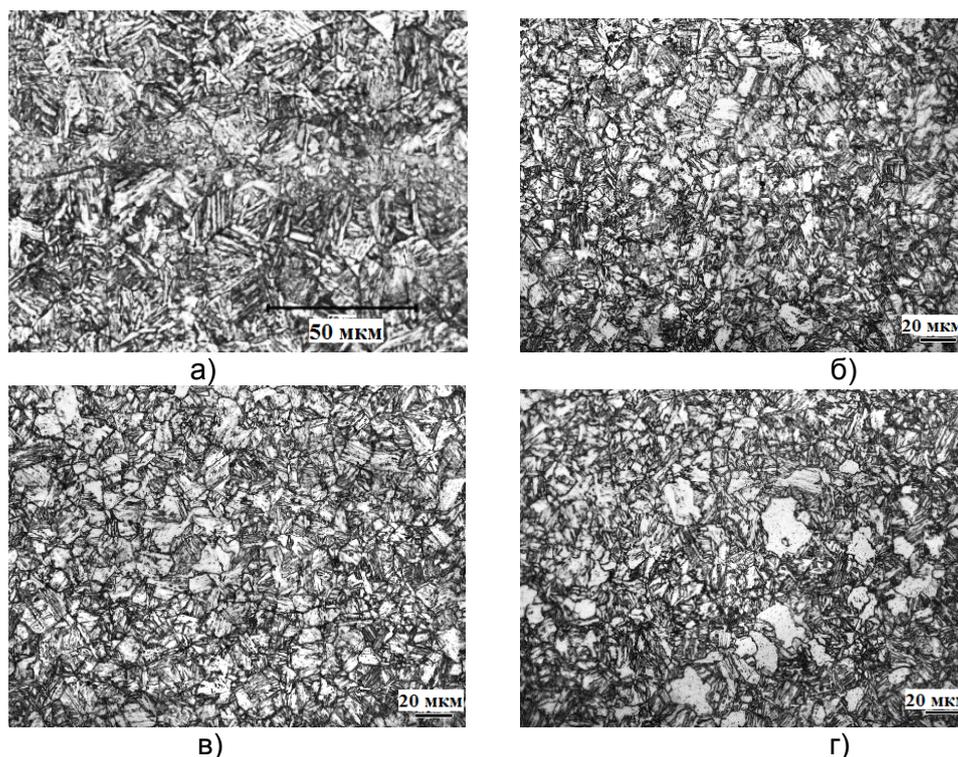


Рисунок 1 - Микроструктура исследуемой стали после закалки от 950<sup>0</sup>С (а), закалки и отпуска при 570<sup>0</sup>С (б), 630<sup>0</sup>С (в) и 690<sup>0</sup>С (г), х500

С увеличением температуры отпуска в структуре стали наблюдается увеличение светлых областей - α-фазы (рис. 1, б-г), что сопровождается снижением предела текучести и ростом ударной вязкости.

Структурные изменения при отпуске существенно влияют и на характер разрушения образцов после испытаний на ударный изгиб. Рассмотрим влияние отпуска на характер разрушения ударных образцов испытанных при температуре -70<sup>0</sup>С. На рис. 2 приведены фрактограммы образцов испытанных на ударный изгиб после закалки 950<sup>0</sup>С и закалки и отпуска, полученных с помощью растрового электронного микроскопа.

При закалке с 950<sup>0</sup>С большую часть поверхности изломов образцов Шарпи, испытанных при температуре -70<sup>0</sup>С, представляет хрупкое транскристаллитное разрушение по типу микроскола.

После закалки от 950<sup>0</sup>С и отпуска при 570<sup>0</sup>С в изломах образцов не обнаружены области скола, хрупкое разрушение по телу зёрен проходит по типу квазискола и в меньшей степени микроскола. После отпуска 630<sup>0</sup>С образцы разрушаются вязко.

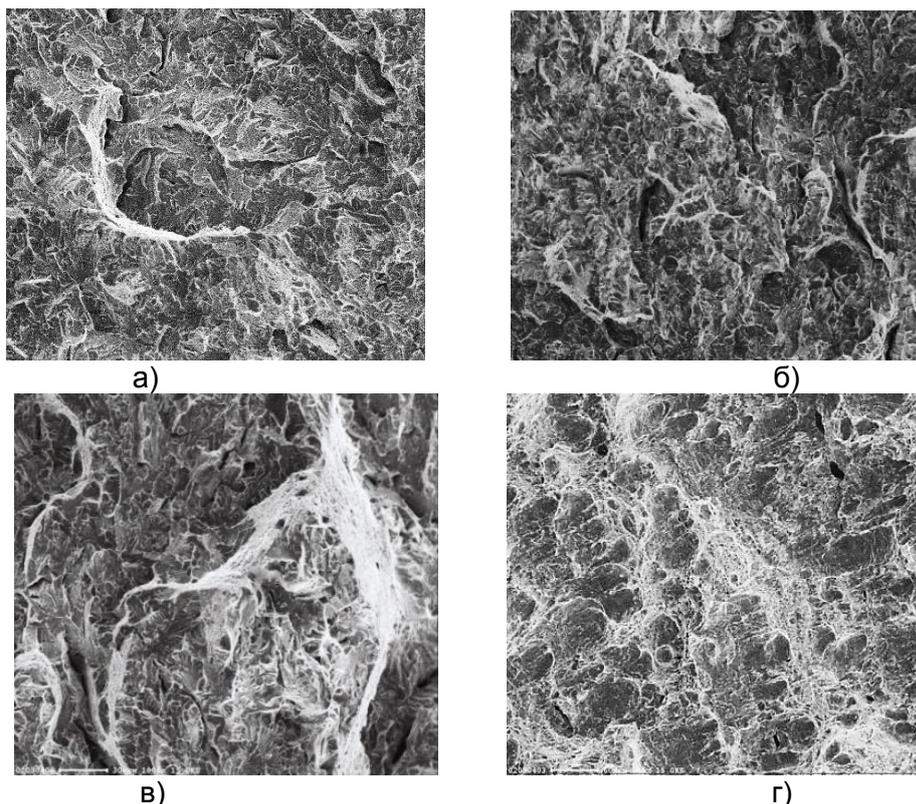


Рисунок 2 - Характер разрушения ударных образцов после закалки с а) 950°С, закалки и отпуска при температурах: б) 570°С, в) 630°С, г) 690°С

**Выводы.** В стали 09ХГН2МД, формирование преимущественно бейнитно-мартенситной структуры с минимальным содержанием структурно свободного феррита и равномерно распределенными по объему упрочняющими выделениями мелкодисперсной карбидной фазы позволяет получить после закалки с последующим высокотемпературным отпуском значения предела текучести – не менее 690 МПа, временного сопротивления - не менее 770 МПа, ударной вязкости при температуре испытаний -70°С – не менее 35 Дж/см<sup>2</sup>.

С учетом требований, предъявляемых к стали 09ХГН2МД, рекомендуемым режимом термической обработки является - закалка от температуры 950°С с последующим отпуском при температуре 570°С, при этом значения ударной вязкости при температуре испытаний -70°С значительно превышают требования предъявляемые к данной стали.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Павленко П.Д. Методология разработки рациональных конструкций несущей системы и ходовой части большегрузных строительных автомобилей-самосвалов [Электронный ресурс] : дис. ... д-р техн. н. / П. Д. Павленко. – Набережные Челны, 2005. – Режим доступа: <http://www.dissercat.com/content/metodologiya-razrabotki-ratsionalnykh-konstruktsii-nesushchei-sistemy-i-khodovoi-chasti-bols> (16.10.2018).
2. EuroTech Machinery [Электронный ресурс] : [сайт]. – Жодино, 2018. – Режим доступа: <http://www.belaz.by/catalog/products/dumptrucks/7530/> (16.10.2018).
3. Коджаспиров Г.Е., Лебедева Г.В., Коновалова И.А. Об оценке хладостойкости некоторых конструкционных сталей, используемых в тракторе «Кировец» В кн. «Повышение качества, надежности и долговечности изделий из конструкционных, жаропрочных, порошковых и инструментальных сталей и сплавов», Л., ЛДНТП, 1982, с.5-9.
4. Коджаспиров Г.Е., Алферов В.П., Воробьев Ю.П. Опыт объединения «Кировский завод» в повышении хладостойкости сталей для трактора «Кировец», Л., ЛДНТП, 1986, 28 с.