

УДК 620.191.3:629.46-2

Исследование ударной вязкости стали литых несущих деталей грузовых вагонов

Д. В. Даниленко¹, В. П. Ефимов², В. А. Чернов³, С. О. Комиченко⁴,
Т. М. Чернова³

¹ ООО «УК РМ РЕЙЛ», Россия, 430006, Республика Мордовия, Саранск, ул. Лодыгина, 11

² ООО «УИЩ-Вагоны», Россия, 622007, Свердловская область, Нижний Тагил, ул. Орджоникидзе, 22, оф. 28

³ Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Россия, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

⁴ АО «НВЦ «Вагоны», Россия, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

Для цитирования: Исследование ударной вязкости стали литых несущих деталей грузовых вагонов / Даниленко Д. В., Ефимов В. П., Чернов В. А., Комиченко С. О., Чернова Т. М. // Известия Петербургского университета путей сообщения. СПб.: ПГУПС, 2024. Т. 21, вып. 1. С. 274–281. DOI: 10.20295/1815-588X-2024-01-274-281

Аннотация

Цель: проведение комплексных экспериментальных исследований ударной вязкости, литой стали 20ГЛ, которая применяется для изготовления несущих деталей грузовых вагонов. Получение серийной диаграммы зависимости величины ударной вязкости от температуры испытаний. **Методы:** применен метод механических испытаний образцов литой стали в условиях ударного нагружения, который позволяет получить количественные оценки способности материала сопротивляться ударному разрушению при различных температурах (испытания на ударную вязкость). Для исследования поверхности ударного разрушения применен микрографический анализ рельефа. **Результаты:** по результатам проведенных испытаний образцов из литой стали 20ГЛ построенные экспериментальные зависимости $P = f(\tau)$; $E = f(\tau)$ и серийная диаграмма (KCV — T), которые позволяют оценивать работоспособность литой стали при изготовлении несущих деталей вагонов для различных климатических условий эксплуатации. **Практическая значимость:** полученные результаты позволяют проводить работы по улучшению технологических и служебных свойств литых несущих деталей грузовых вагонов.

Ключевые слова: ударная вязкость литой стали, литые несущие детали, тележка грузового вагона.

Ударная вязкость является одной из важнейших механических характеристик, определяющих способность материала (его структуры) сопротивляться разрушению в рабочем диапазоне температур. Наиболее значимыми испытания на ударную вязкость являются для материалов с объемно-центрированной решеткой (в особенности для углеродистых и низколегированных сталей), поскольку позволяют установить температурный диапазон вязко-хрупкого перехода, определить

критическую температуру хрупкости и установить минимально допустимую температуру эксплуатации изделия, изготовленного из данного материала.

В качестве материала для исследования (как указано выше) использовали сталь 20ГЛ, из которой изготавливаются литые детали тележек грузовых вагонов [1, 2].

Ударные испытания проводили на инструментированном маятниковом копре фирмы «Инстрон» с максимальной энергией удара

400 Дж при температурах $T = +50, +20, 0, -20, -40, -60$ и -75 °С. В процессе ударного нагружения производилась непрерывная регистрация изменения ударной нагрузки. На каждом температурном уровне испытывали по 2–3 образца. Скорость движения маятника в момент удара составляла 5,26 м/с. В качестве образцов использовали прямоугольные балочные образцы размером 55 x 10 x 10 мм с V-образным надрезом (тип 11 по ГОСТ 9454-78). Методика проведения испытаний соответствовала требованиям стандарта ГОСТ 9454-78 [3].

По результатам ударных испытаний определены значения ударной вязкости KCV, построены зависимости $P = f(\tau)$, где τ — время ударного нагружения и сериальная диаграмма в координатах KCV – T (рис. 1–3).

На построенных по результатам испытаний зависимостях $P = f(\tau)$ видно (рис. 1–2), что график этой зависимости в определенной степени подобен диаграмме растяжения цилиндрических образцов, то есть отчетливо выделяются две основные стадии деформирования балочного образца: стадия упругого деформирования (линейная область диаграммы) и стадия упругопластического деформирования (нелинейная область диаграммы). На второй стадии те же подобные закономерности: участок, подобный площадке текучести, участок упрочнения и ниспадающий участок, начало которого в первом приближении можно принимать за момент появления магистральной трещины ударного разрушения образца.

Анализ этой зависимости также позволяет проследить, как изменяется время полного

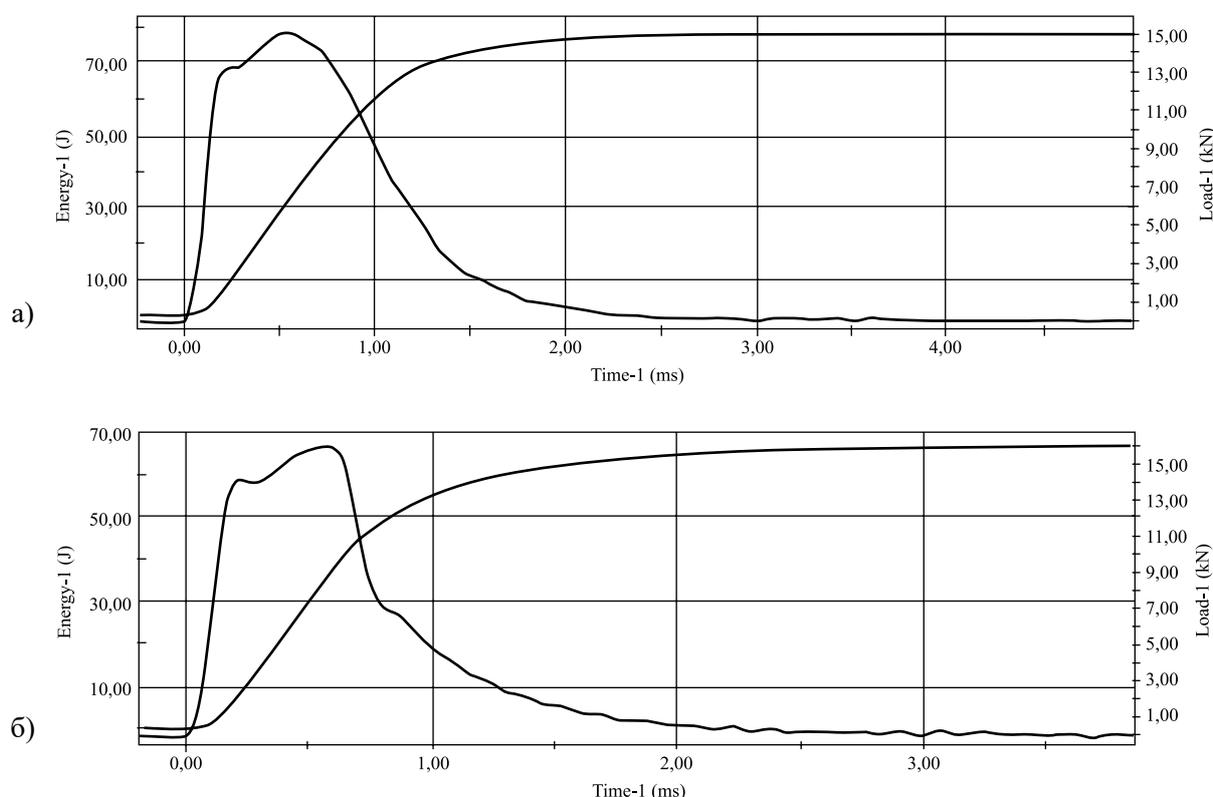


Рис. 1. Зависимости $E = f(\tau)$ и $P = f(\tau)$ для ударных образцов, испытанных при температурах $+20$ °С (а) и 0 °С (б)

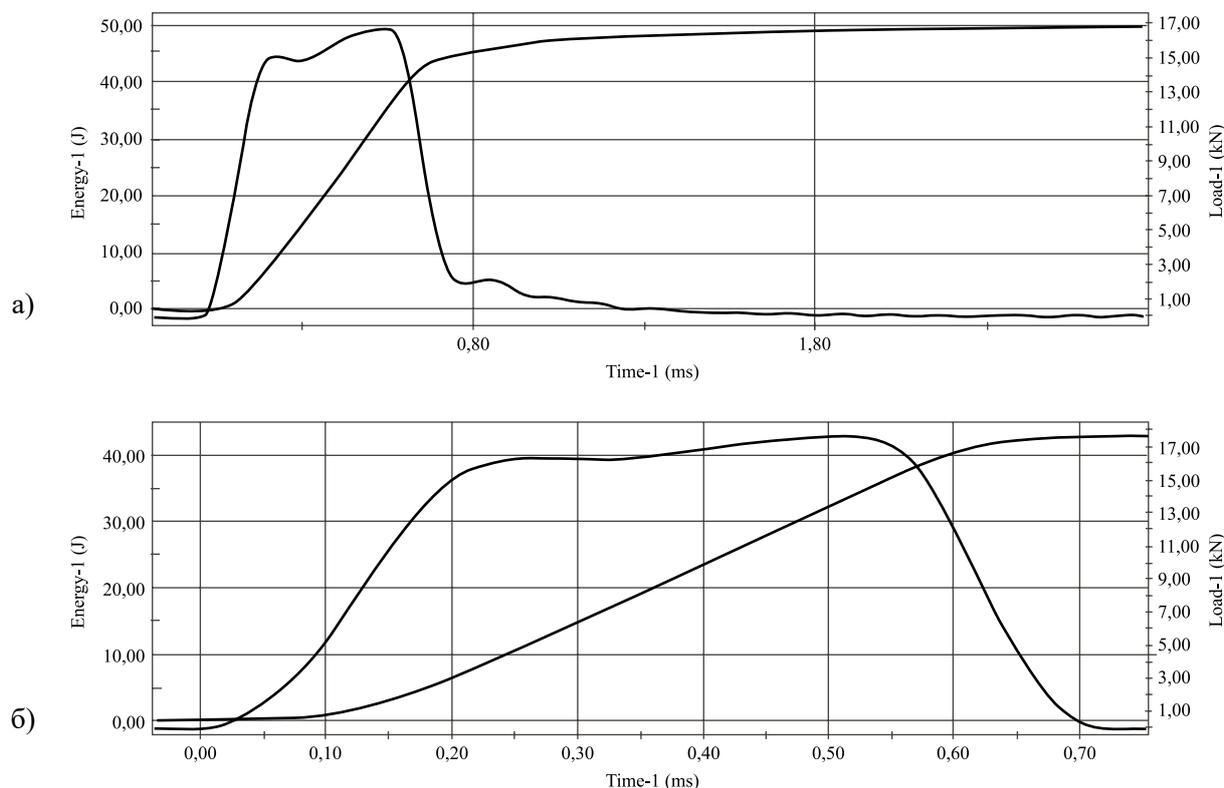


Рис. 2. Зависимости $E = f(\tau)$ и $P = f(\tau)$ для ударных образцов, испытанных при температурах $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (а) и $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ (б)

разрушения образца с изменением температуры испытания. При понижении температуры происходит уменьшение полного времени процесса разрушения образцов: от ~ 3 мс (при $T = +20\text{ }^{\circ}\text{C}$) до $\sim 0,7$ мс (при $T = -40\text{ }^{\circ}\text{C}$), то есть более чем в 4 раза.

Если принять в первом приближении, что зарождение магистральной трещины соответствует максимальному значению нагрузки на зависимости $P = f(\tau)$, можно дать оценку времени, затрачиваемому на зарождение (τ_z) и распространение (τ_p) трещины при ударном разрушении в зависимости от температуры испытания. Можно видеть, что до $T > -20\text{ }^{\circ}\text{C}$ время распространения трещины превышает время, затрачиваемое на зарождение трещины, то есть $\tau_p > \tau_z$. При $T \leq -20\text{ }^{\circ}\text{C}$ время

зарождения трещины превышает время ее распространения ($\tau_p < \tau_z$).

Характер поведения зависимости ударной вязкости KCV от температуры испытания (диаграмма KCV – T, представленная на рис. 3) свидетельствует о том, происходит монотонное возрастание ее значений по мере увеличения температуры испытания в диапазоне $-75...+20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Анализ характера разрушения ударных образцов (рис. 4–6) и их изломов (рис. 7–9) показывает, что в указанном диапазоне температур происходит изменение механизмов разрушения: от вязкого ($T = +20\text{ }^{\circ}\text{C}$) к преимущественно хрупкому ($T \leq -20\text{ }^{\circ}\text{C}$), то есть реализуется вязко-хрупкий переход.

В соответствии с нормативными документами именно в этой области определяется

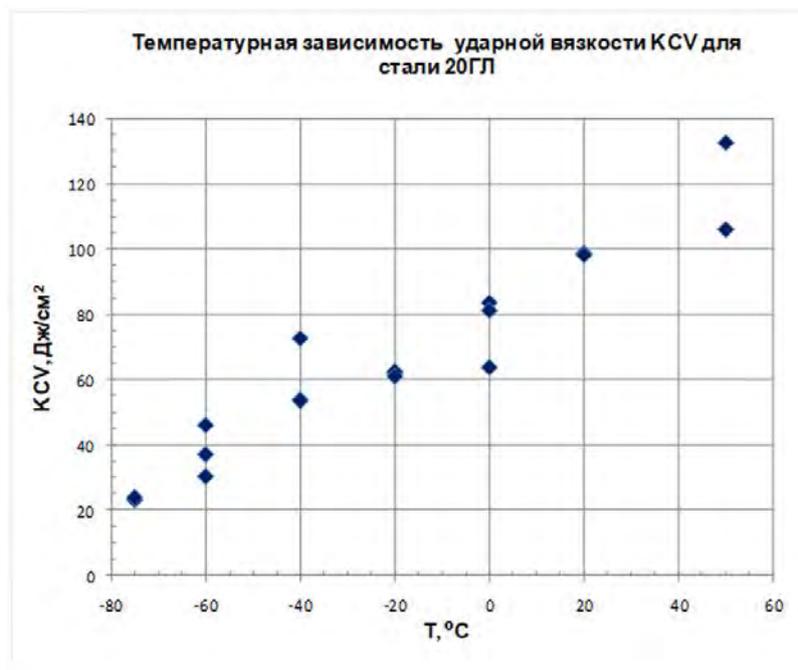


Рис. 3. Зависимость величины ударной вязкости KCV от температуры испытания для стали 20ГЛ

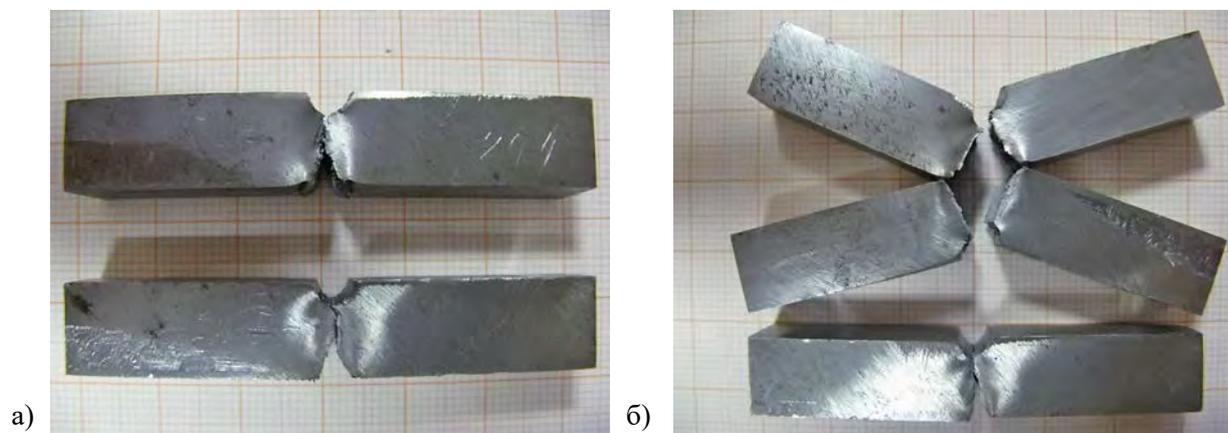


Рис. 4. Характер разрушения ударных образцов стали 20ГЛ при температурах испытания +20 °C (а) и 0 °C (б)

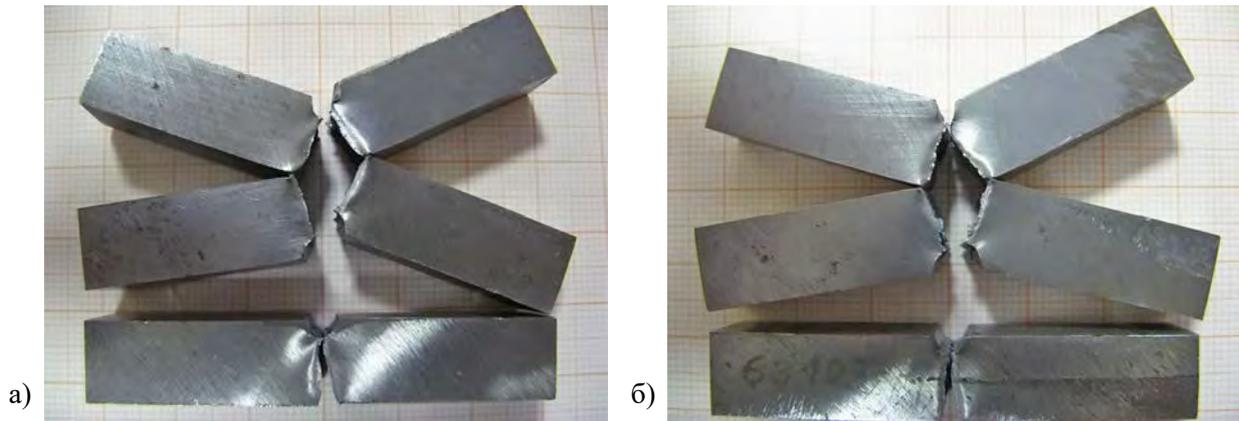


Рис. 5. Характер разрушения ударных образцов стали 20ГЛ при температурах испытания $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (а) и $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ (б)



Рис. 6. Характер разрушения ударных образцов стали 20ГЛ при температурах испытания $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ (а) и $-75\text{ }^{\circ}\text{C}$ (б)

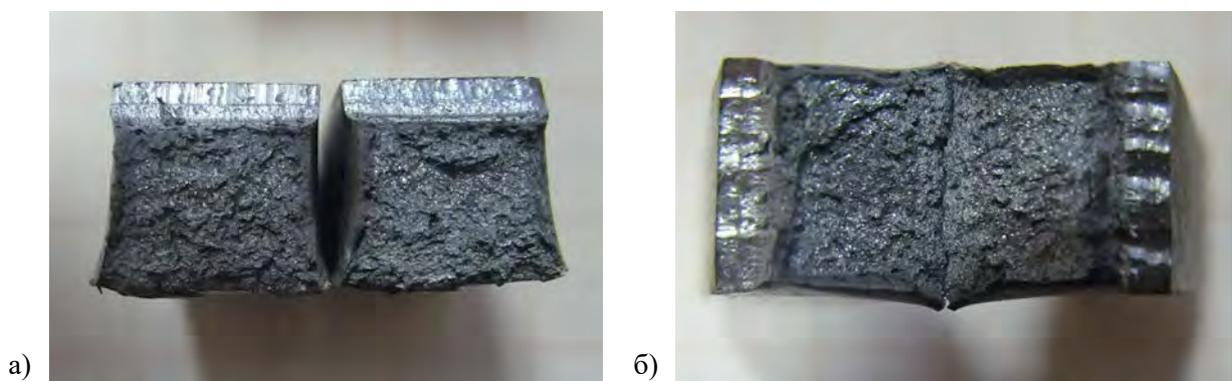


Рис. 7. Макрорельеф поверхности ударного разрушения при температурах $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (а) и $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ (б)

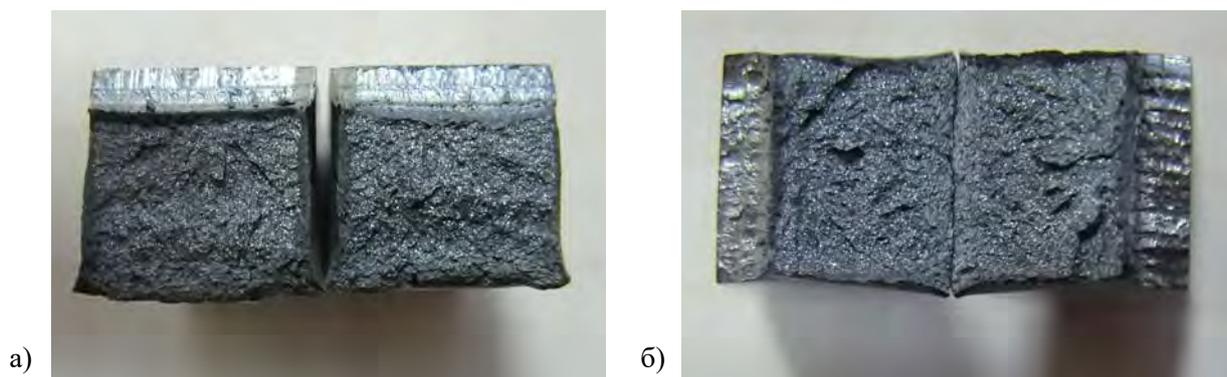


Рис. 8. Макрорельеф поверхности ударного разрушения при температурах $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (а) и $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ (б)

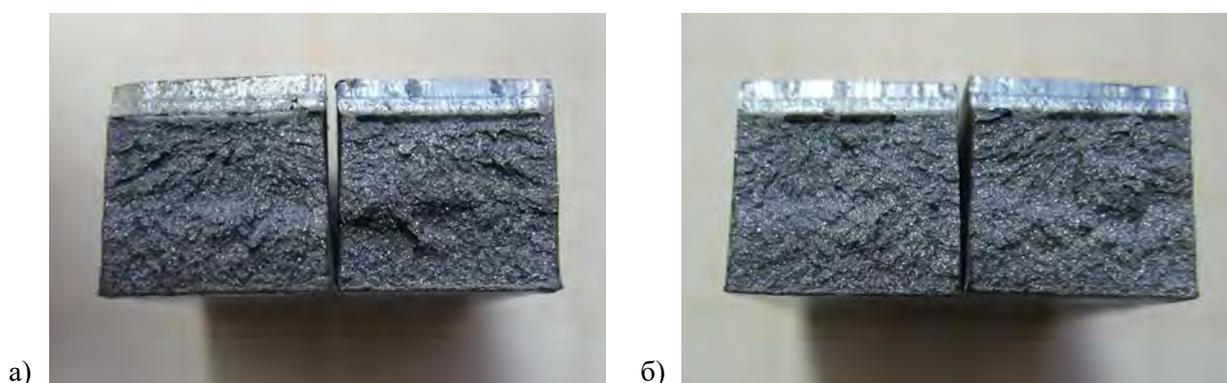


Рис. 9. Макрорельеф поверхности ударного разрушения при температурах $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ (а) и $-75\text{ }^{\circ}\text{C}$ (б)

критическая температура хрупкости ТК, определяющая температурную границу, ниже которой не рекомендуется эксплуатировать изделия и элементы конструкции, изготовленные из данного материала.

Одним из основных показателей, используемых при определении величины критической температуры, является соотношение площадей областей, в которых реализуется вязкое и хрупкое разрушение.

В большинстве случаев в качестве критерияльной величины рекомендуется считать наличие 50% вязкой составляющей в изломе образца. На представленных фотографиях (рис. 7–9) этому условию отвечает диапазон температур в области $T = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Таким образом, в качестве приближенной оценки за

критическую температуру хрупкости можно принять $TК = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Заключение

На основании проведенных ударных испытаний балочных прямоугольных образцов с V-образным надрезом (тип 11 по ГОСТ 9454-78) из литой стали 20ГЛ в диапазоне температур $+20\text{...}-75\text{ }^{\circ}\text{C}$ можно сделать следующие выводы:

1. При понижении температуры испытания от $+20$ до $-75\text{ }^{\circ}\text{C}$ происходит изменение механизма разрушения: переход от вязкого к вязко-хрупкому и хрупкому механизмам разрушения.

2. На основании построенных зависимостей $P = f(\tau)$ проведена приближенная вре-

менная оценка стадий зарождения и развития магистральной трещины. Показано, что при $T > -20$ °С время распространения трещины превышает время, затрачиваемое на зарождение трещины. При $T \leq -20$ °С время зарождения трещины превышает время ее распространения.

3. Проведен анализ изломов и характера разрушения ударных образцов. Установлено, что за величину критической температуры хрупкости в первом приближении может быть принята температура $T_K = 0$ °С.

Библиографический список

1. ГОСТ 32400-2013. Рама боковая и балка наддресорная литые тележек железнодорожных грузовых вагонов. Технические условия. М.: Изд-во стандартов, 2013.

3. ГОСТ 32.183-2001. Тележки двухосные грузовых вагонов колеи 1520 мм. Детали литые. Рама боковая и балка наддресорная. Технические условия. МПС России. М., 2001.

3. ГОСТ 9454-78. Металлы. Методы испытаний на ударный изгиб при пониженных, комнат-

ных и повышенных температурах. М.: Изд-во стандартов, 1978.

Дата поступления: 28.01.2024

Решение о публикации: 01.03.2024

Контактная информация:

ДАНИЛЕНКО Денис Викторович — руководитель департамента ООО «УК РМ РЕЙЛ» (Саранск, Россия); ddv051976@mail.ru

ЕФИМОВ Виктор Петрович — канд. техн. наук, доцент, генеральный директор ООО «УИЦ-Вагоны» (Нижний Тагил, Россия); uiz123456@mail.ru

ЧЕРНОВ Владимир Александрович — доцент кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» ФГБОУ «ЛГУПС Императора Александра I» (Санкт-Петербург, Россия); chernov-nt@mail.ru

КОМИЧЕНКО Станислав Олегович — заместитель руководителя ИЦ АО «НВЦ «Вагоны» (Санкт-Петербург, Россия); stanislav.komichenko@nvc-vagon.ru

ЧЕРНОВА Татьяна Михайловна — инженер кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» ФГБОУ «ЛГУПС Императора Александра I» (Санкт-Петербург, Россия); chernova@pgups.ru

Investigation of Impact Toughness of Cast Steel for Load-Bearing Parts of Freight Cars

D. V. Danilenko¹, V. P. Efimov², V. A. Chernov³, S. O. Komichenko⁴, T. M. Chernova³

¹ LLC “RM RAIL Management Company”, 11, Lodygina St., Saransk, Republic of Mordovia, 430006, Russia

² LLC “UIC – Wagons”, 22, Ordzhonikidze St., Office 28, Nizhny Tagil, Sverdlovsk Oblast, 622007, Russia

³ Emperor Alexander I Petersburg State Transport University, 9, Moskovsky pr., Saint Petersburg, 190031, Russia

⁴ JSC “Research and Development Center “Wagons”, 9, Moskovsky Ave., Saint Petersburg, 190031, Russia

For citation: Investigation of impact toughness of cast steel load-bearing parts of freight cars / Danilenko D. V., Efimov V. P., Chernov V. A., Komichenko S. O., Chernova T. M. // Proceedings of Petersburg Transport University. 2024. Vol. 21, iss. 1. P. 274–281. (In Russian) DOI: 10.20295/1815-588X-2024-01-274-281

Abstract

Objective: to conduct comprehensive experimental studies of the impact toughness of 20GL cast steel, which is used for the manufacture of load-bearing parts of freight cars. To obtain a serial diagram of the dependence of the impact toughness value on the test temperature. **Methods:** the method of mechanical testing of cast steel specimens under impact loading was used, which allows obtaining quantitative estimates of the material's ability to resist impact fracture at different temperatures (impact toughness tests). Micrographic analysis of the fracture surface was used to study the surface of impact fracture. **Results:** based on the results of tests of specimens made of 20GL cast steel, experimental dependences $P = f(\tau)$; $E = f(\tau)$ and a serial diagram (KCV — T) were constructed, which allow evaluating the performance of cast steel in the manufacture of load-bearing parts of cars for various climatic conditions of operation. **Practical significance:** the results obtained allow us to carry out work to improve the technological and service properties of cast load-bearing parts of freight cars.

Keywords: impact toughness of cast steel, cast load-bearing parts, freight car bogie.

References

1. GOST 32400-2013. Side frame and bolster of cast bogies for railway freight cars. Technical conditions. M.: Standards Publishing House, 2013. (In Russian)
2. GOST 32.183-2001. Two-axle bogies for 1520 mm gauge freight cars. Cast parts. Side frame and bolster. Technical conditions. Ministry of Railways of Russia. M., 2001. (In Russian)
3. GOST 9454-78. Metals. Test methods for impact bending at low, room and elevated temperatures. M.: Standards Publishing House, 1978. (In Russian)

Received: 28.01.2024

Accepted: 01.03.2024

Author's information:

Denis V. DANILENKO — Head of the Department of RM RAIL LLC (Saransk, Russia); ddv051976@mail.ru

Viktor P. EFIMOV — PhD in Engineering, Associate Professor, General Director of UIC-Wagons LLC, (Nizhny Tagil, Russia); uiz123456@mail.ru

Vladimir A. CHERNOV — Associate Professor of the Department of “Wagons and Wagon Economy” FGBOU “Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University” (Saint Petersburg, Russia); chernov-nt@mail.ru

Stanislav O. KOMICHENKO — Deputy Head of the Research Center of JSC “NVTS “Wagons” (Saint Petersburg, Russia); stanislav.komichenko@nvc-vagon.ru

Tatyana M. CHERNOVA — Engineer of the Department of “Wagons and Wagon Economy” GBOU “Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University” (Saint Petersburg, Russia); chernova@pgups.ru