

УДК 669.01

ОБ ОПТИМАЛЬНОМ РЕЖИМЕ ТЕМПЕРАТУРНО-ВРЕМЕННОЙ ОБРАБОТКИ ЖИДКИХ СТАЛЕЙ 32Г1 И 32Г2

Боровых М.А., аспирант кафедры физики

Чикова О.А., д.-ф.-м.н., профессор кафедры физики (chik63@mail.ru)

*Цепелев В.С., д.т.н., профессор, директор Исследовательского центра физики
металлических жидкостей Института материаловедения и металлургии*

*Вьюхин В.В., ст. научный сотрудник Исследовательского центра физики
металлических жидкостей Института материаловедения и металлургии*

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина
(620002, Россия, Екатеринбург, ул. Мира, д. 19)

Аннотация. Проведено вискозиметрическое исследование жидких сталей марок 32Г1 и 32Г2, отобранных от готовых труб нефтегазового сортамента. Получены температурные и временные зависимости кинематической вязкости жидких сталей 32Г1 и 32Г2. Измерение вязкости выполнено методом затухающих крутильных колебаний тигля с расплавом в режиме нагрева и последующего охлаждения образцов в диапазоне температур от 1450 до 1810 °С. Результаты вискозиметрического эксперимента обсуждены в рамках современных представлений о микронеоднородном строении металлических расплавов. По результатам измерений кинематической вязкости сделаны рекомендации об оптимальном режиме температурно-временной обработки жидких сталей 32Г1 и 32Г2. Показано, что для стали 32Г2 целесообразно повысить температуру нагрева расплава до 1650 – 1670 °С, т. е. применить температурно-временную обработку.

Ключевые слова: трубы нефтегазового сортамента, сталь, микроструктура, расплав, вязкость, микронеоднородности, температурно-временная обработка расплава.

Конструкционная качественная марганцовистая сталь марок 32Г1 и 32Г2 применяется для изготовления труб нефтегазовой промышленности, а именно для изготовления бесшовных насосно-компрессорных и обсадных труб нефтяного сортамента, подвергающихся эксплуатации в диапазоне температур от +50 до –10 °С. Сталь 32Г2 содержит компоненты в следующем соотношении, % (по массе): углерод 0,30 – 0,35; кремний 0,17 – 0,37; марганец 1,20 – 1,50; хром не более 0,30; никель не более 0,20; медь не более 0,30; сера не более 0,035; фосфор не более 0,035. Элементный состав стали 32Г1 отличается содержанием марганца – 0,9 – 1,2 %. Углерод – основной химический элемент в стали, который определяет ее прочностные и эксплуатационные характеристики. Нижний предел 0,42 % ограничен необходимостью получения требуемого комплекса прочностных свойств металла после металлургического передела при изготовлении горячекатаных бесшовных труб. Верхний предел 0,54 % ограничен необходимостью обеспечения высоких вязких свойств. Марганец в пределах 0,90 – 1,40 % обеспечивает требуемое сочетание прочностных и вязких свойств за счет усиления влияния ниобия и молибдена на устойчивость переохлажденного аустенита. Однако эта сталь обладает недостаточно высокими показателями прочностных свойств и хладостойкости [1 – 2]. Авторы предлагают для улучшения качества стали применить температурно-временную обработку в жидком состоянии – гомогенизирующую

термическую обработку металлической жидкости [3 – 5]. Этот способ позволяет получить металл с минимальным количеством дефектов и не требует высоких скоростей охлаждения [6]. Идея метода основана на предположении о том, что при температурах выше температуры ликвидус в металлической жидкости в течение длительного времени могут существовать микронеоднородности, отличные по химическому составу от окружающего расплава. Для их разрушения нужны перегревы жидкого металла до определенной для каждого состава температуры $T_{\text{гом}}$. После такого перегрева расплав необратимо переходит в состояние истинного раствора, что существенно изменяет условия его кристаллизации. Экспериментально установлено, что разрушение микронеоднородной структуры расплавов обычно сопровождается аномалиями температурных зависимостей свойств металлической жидкости, в частности вязкости. Обнаружено расхождение температурных зависимостей вязкости расплава соответствующим режимам нагрева и последующего охлаждения образца. Температуру $T_{\text{гом}}$, отвечающую необратимому переходу расплава в гомогенное состояние, в этом случае определяли по началу высокотемпературного совпадающего участка политерм нагрева и охлаждения. В ряде вискозиметрических опытов с микронеоднородными расплавами был зафиксирован аномально высокий разброс значений кинематической вязкости, зачастую не позволяющий корректно определить данную величину

ну. При нагреве до $T_{\text{гом}}$ указанный разброс необратимо уменьшался до значений, соответствующих случайной погрешности измерений [7 – 8].

Работа посвящена определению научно обоснованного режима температурно-временной обработки расплавов сталей 32Г1 и 32Г2, направленного на улучшение качества непрерывнолитой заготовки и, как следствие, бесшовных труб нефтегазового сортамента. Исследованы температурные $\nu(t)$ и временные $\nu(\tau)$ зависимости вязкости расплавов этих сталей с целью определения температур их гомогенизации $T_{\text{гом}}$.

Объектом исследования служили образцы стали 32Г1 и 32Г2, отобранные от бесшовных труб нефтегазового сортамента в условиях ОАО «Синарский трубный завод».

Вязкость ν измеряли методом затухающих крутильных колебаний тигля с расплавом в режиме нагрева и последующего охлаждения образцов в диапазоне температур от 1450 до 1810 °С. Измерения температурных зависимостей проводили в режиме изотермических выдержек (не менее 30 мин) со сравнительно малыми (10 – 15 °С) ступенчатыми изменениями температуры. Измерение временных зависимостей вязкости осуществляли в отдельных экспериментах. При каждой температуре проводили 15 – 40 последовательных отсчетов. Температуру поддерживали на заданном уровне с точностью 1 °С с помощью высокоточного регулятора. При проведении измерений регистрацию параметров колебаний осуществляли оптическим способом с помощью системы фоторегистрации колебаний. Экспериментальная установка, методика измерений временных и температурных зависимостей кинематической вязкости расплавов и обработки экспериментальных данных подробно описаны в работах [9 – 11]. Во всех опытах использовали тигли из ВеО. Опыты проводили в атмосфере высокочистого гелия под давлением 10^5 Па. Систематическая погрешность измерения $\nu(t)$

составляла 3 %, а случайная, определяющая разброс точек в ходе одного опыта, при доверительной вероятности $p = 0,95$ не превышала 1,5 %.

Результаты вискозиметрического исследования расплавов сталей 32Г1 и 32Г2, отобранных от бесшовных труб нефтегазового сортамента, представлены на рис. 1, 2. Для всех исследованных расплавов обнаружено переохлаждение металлической жидкости на 100 – 110 °С. Для образцов стали 32Г2 (с большим содержанием марганца) зафиксировано расхождение политерм нагрева и охлаждения (гистерезис) – $T_{\text{гом}} = 1650$ °С. Для всех образцов, как в режиме нагрева, так и в режиме охлаждения, зафиксирован скачок (в пределах 10 %) значений кинематической вязкости (рис. 3). Обращает внимание следующая особенность: релаксация вязкости к определенному среднему значению как в режиме нагрева, так и в режиме охлаждения образца. Все вышеперечисленные факты свидетельствуют о влиянии перегрева расплава на микронеоднородности наследственного характера, имевшие место в

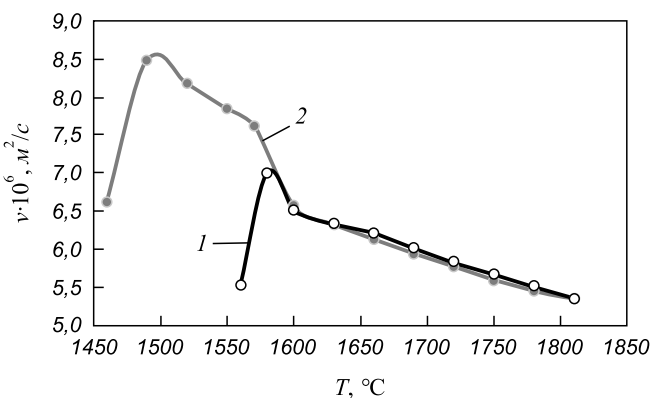


Рис. 1. Температурная зависимость вязкости жидкой стали 32Г1:
1 – нагрев до 1810 °С; 2 – охлаждение

Fig. 1. Experimental temperature dependences of the kinematic viscosity of the liquid steel 32Г1:
1 – heating to 1810 °С, 2 – cooling

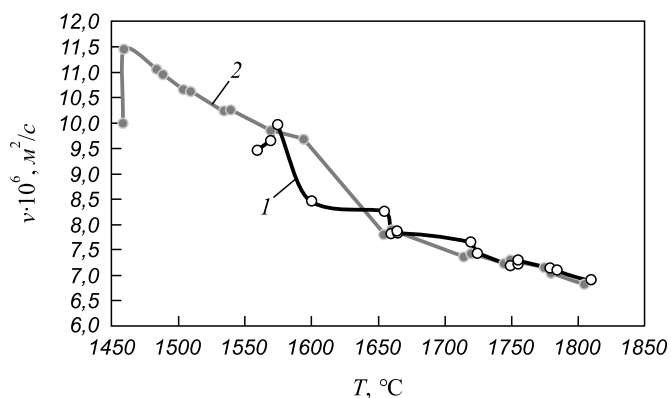


Рис. 2. Температурная зависимость вязкости жидкой стали 32Г2:
1 – нагрев до 1810 °С; 2 – охлаждение

Fig. 2. Experimental temperature dependences of the kinematic viscosity of the liquid steel 32Г2:
1 – heating to 1810 °С, 2 – cooling

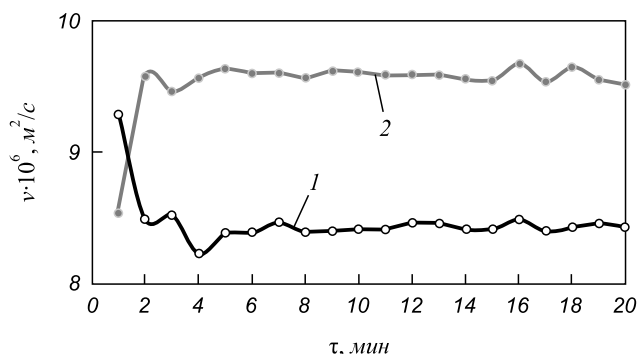


Рис. 3. Временные зависимости вязкости жидкой стали 32Г2:
1 – нагрев, $T = 1600$ °С; 2 – охлаждение, $T = 1600$ °С

Fig. 3. Experimental time dependences of the kinematic viscosity of the liquid steel 32Г2:
1 – heating, $T = 1600$ °С; 2 – cooling, $T = 1600$ °С

исходном слитке. Авторы считают, что для стали 32Г2 целесообразно повысить температуру нагрева расплава до 1650–1670 °С, т. е. применить гомогенизирующую термическую обработку металлической жидкости.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Стали и сплавы. Марочник: Справочник / Под ред. В.Г. Сорокина, М.А. Гервасьева. – М.: Интермет инжиниринг, 2001. – 608 с.
2. Гольдштейн М.И., Грачев С.В., Векслер Ю.Г. Специальные стали. – М.: МИСИС, 1999. – 408 с.
3. Баум Б.А. Металлические жидкости. – М.: Наука, 1979. – 135 с.
4. Жидкая сталь / Б.А. Баум, Г.А. Хасин, Г.А. Г.В. Тягунов и др. – М.: Металлургия, 1984. – 208 с.
5. Гельд П.В., Баум Б.А., Петрушевский М.С. Расплавы ферросплавного производства. – М.: Металлургия, 1973. – 288 с.
6. Свойства металлических расплавов: Сборник /В.С. Цепелев, В.В. Конашков, Б.А. Баум и др. В 2-х частях. Ч. 1. – Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2008. – 358с.
7. Свойства металлических расплавов: Сборник /В.С. Цепелев, В.В. Конашков, Б.А. Баум, Г.В. и др. В 2-х частях. Ч. 2. – Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2008. – 383с.
8. Чикова О.А., Цепелев В.С., Вьюхин В.В., Белоносов А.В. Влияние дефектов на вязкость жидких сталей 9Х2МФ и 75Х3МФ // Изв. вуз. Черная металлургия. 2013. № 9. С. 53–56.
9. Тягунов Г.В., Цепелев В.С., Кушнир М.Н., Яковлев Г.Н. Установка для измерения кинематической вязкости металлических расплавов // Заводская лаборатория. 1980. № 10. С. 919–920.
10. Пат. 2386948 РФ. Способ бесконтактного измерения вязкости высокотемпературных металлических расплавов /А.М. Поводатор, В.В. Конашков, В.В. Вьюхин, В.С. Цепелев; опуб. 20.04.2010, бюл. № 11.
11. Пат. 104721 РФ. Устройство для исследования высокотемпературных металлических расплавов / А.М. Поводатор, В.В. Конашков, В.В. Вьюхин, В.С. Цепелев; опуб. 25.05.2011, бюл. № 14А.

Поступила 24 октября 2014 г.

IZVESTIYA VUZOV. CHERNAYA METALLURGIYA = IZVESTIYA – FERROUS METALLURGY. 2015. Vol. 58. No. 3, pp. 177–179.

THE OPTIMAL METHOD OF TEMPERATURE-TIME PROCESSING OF LIQUID STEELS 32G1 AND 32G2

Borovykh M.A., Postgraduate of the Chair of Physics
Chikova O.A., Dr. Sci. (Phys.–Math.), Professor of the
Chair of Physics (chik63@mail.ru)

Tsepelev V.S., Dr. Sci. (Eng.), Professor, Director of the Research Center of Physics of metallic liquids of the Institute of Materials and Metallurgy

V'yukhin V.V., Senior Researcher of the Research Center of Physics of metallic liquids of the Institute of Materials and Metallurgy

Ural Federal University named after the first President of Russia
B.N. Yeltsin (19, Mira str., Ekaterinburg, 620002, Russia)

Abstract. Measured the viscosity of liquid steels 32Г1 and 32Г2. Samples taken from the pipe Naftogaz assortment. Measured temperature and time dependences of the kinematic viscosity of the liquid steel 32Г1 and 32Г2. The viscosity of the liquid steel is measured by means of damping torsional oscillations of a crucible with melt in heating and subsequent cooling in the range 1450–1810°C. Results viscometric experiment discussed in the framework of modern concepts of micro heterogeneous structure of metallic melts. Recommendations optimal regime of temperature-time processing of liquid steel 32G1 and 32G2 authors eventually made. It is shown that for steel 32G2 appropriate to raise the temperature of heating the melt to 1650–1670 °C, i.e. apply a temperature-time processing.

Keywords: pipe Naftogaz assortimet, steel, microstructure, mechanical properties, melts, viscosity, microinhomogeneity, temperature-time processing of the melt.

REFERENCES

1. Sorokin V.G. etc. *Stali i splavy. Marochnik: Sprav. Izd.* [Steels and alloys: Directory]. Sorokin V.G., Gervas'ev M.A. eds. Moscow: Intermet inzhiniring. 2001, 608 p. (In Russ.).
2. Gol'dshtein M.I., Grachev S.V., Veksler Yu.R. *Spetsial'nye stali* [Special Steels]. Moscow: MISIS, 1999. 408 p. (In Russ.).
3. Baum B.A. *Metallicheskie zhidkosti* [Metallic fluids]. Moscow: Nauka, 1979. 135 p. (In Russ.).
4. Baum B.A., Khasin G.A., Tyagunov G.V. etc. *Zhidkaya stal'* [Liquid steel]. Moscow: Metallurgiya, 1984. 208 p. (In Russ.).
5. Gel'd P.V., Baum B.A., Petrushevskii M.S. *Rasplavy ferrosplavnogo proizvodstva* [Melts of ferroalloy production]. Moscow: Metallurgiya, 1973. 288 p. (In Russ.).
6. Tsepelev V.S., Konashkov V.V., Baum B.A., Tyagunov G.V., Baryshev E.E. *Svoistva metallicheskikh rasplavov: Sbornik. V 2-kh ch.* [The properties of metallic melts: Manual, in 2 books]. Part. 1. Ekaterinburg: UGTU-UPI. 2008, 358 p. (In Russ.).
7. Tsepelev V.S., Konashkov V.V., Baum B.A., Tyagunov G.V., Baryshev E.E. *Svoistva metallicheskikh rasplavov: Sbornik. V 2-kh ch.* [The properties of metallic melts: Manual, in 2 books]. Part. 2. Ekaterinburg: UGTU-UPI. 2008, 383 p. (In Russ.).
8. Chikova O.A., Tsepelev V.S., V'yukhin V.V., Belonosov A.V. The influence of defects on the viscosity of the liquid steels 9Cr2MoV and 75Cr3MoV. *Izvestiya VUZov. Chernaya metallurgiya = Izvestiya – Ferrous Metallurgy*. 2013, no. 9, pp. 53–56. (In Russ.).
9. Tyagunov G.V., Tsepelev V.S., Kushnir M.N., Yakovlev G.N. *Ustanovka dlya izmereniya kinematischekoi vyazkosti metallicheskikh rasplavov. Zavodskaya laboratoriya*. 1980, no. 10, pp. 919–920. (In Russ.).
10. Povodator A.M., Konashkov V.V., V'yukhin, V.V., Tsepelev V.S. *Sposob beskontaktnogo izmereniya vyazkosti vysokotemperaturnykh metallicheskikh rasplavov* [Non-contact measurement method of high viscosity of molten metal]. Patent RF no. 2386948, Byulleten' izobretenii. 2010, no. 11. (In Russ.).
11. Povodator A.M., Konashkov V.V., V'yukhin, V.V., Tsepelev V.S. *Ustroistvo dlya issledovaniya vysokotemperaturnykh metallicheskikh rasplavov* [Device for studies of high-temperature metal melts]. Patent RF no. 104721, Byulleten' izobretenii. 2011, no. 14A. (In Russ.).

Received October 24, 2014