

УДК 620.172.2:620.187

DOI: 10.20310/1810-0198-2016-21-3-1184-1187

АНОМАЛИЯ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАСТИЧНОСТИ И МИКРОМЕХАНИЗМЫ РАЗРУШЕНИЯ АЗОТИСТОЙ ХРОМОМАНГАНЦЕВОЙ СТАЛИ

© Н.А. Наркевич¹⁾, В.Д. Китлер²⁾, Н.С. Сурикова¹⁾, М.С. Сыртанов³⁾

¹⁾ Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, г. Томск, Российская Федерация,
e-mail: natnark@list.ru

²⁾ Томский научный центр СО РАН, г. Томск, Российская Федерация, e-mail: vladimir_kitler1@mail.ru

³⁾ Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Российская Федерация,
e-mail: maxim-syrtanov@mail.ru

Исследованы механические свойства при растяжении и характер разрушения легированной азотом стали при 20 °С и отрицательных климатических температурах. Обнаружен эффект повышения относительного удлинения на 15 % при одновременном повышении предела прочности и предела текучести в температурном интервале –30±0 °С. Характерной особенностью фрактограмм изломов при снижении температуры испытаний от комнатной до –30 °С является увеличение доли разрушения сдвигом при общем вязком характере разрушения.
Ключевые слова: азотистый аустенит; низкотемпературная пластичность.

Развитие техники и технологии газо- и нефтедобычи в северных широтах требует привлечения материалов для конструкций и оборудования, которые способны обеспечивать их длительную и надежную эксплуатацию при отрицательных климатических температурах. Использование сталей, в которых не изменяется кристаллическая решетка при низких температурах и деформировании, более предпочтительно, поскольку сталям с ОЦК решеткой присуща хладноломкость, и их применение для низкотемпературной эксплуатации имеет ограничения.

Использование для этих целей Fe-Cr-Ni сталей нецелесообразно из-за их высокой стоимости, низких прочностных свойств и нестабильности аустенита при деформировании [1–2].

Наибольшую вязкость (2,6÷3 МДж/м²) и пластичность ($\delta = 50\div 75\%$) при –196 °С имеют стали системы Fe-Cr-Mn, при составе аустенита 17–28 % Mn, и 10–16 % Cr [3–4]. Вместе с тем, по данным [2], даже в закаленном состоянии эти стали метастабильны и для обеспечения стабильности необходимо легирование азотом и никелем.

Легирование азотом Cr-Ni-Mn сталей увеличивает стабильность аустенита, снижает энергию дефекта упаковки (ЭДУ) и способствует повышению предела текучести при комнатной температуре и особенно сильно при отрицательных температурах. Расширяя область существования аустенита, азот снижает температуру M_s , но увеличивает вероятность образования M_D [5].

В сталях 03X13AG19, 07X13AG20, с содержанием азота до 0,3 % в процессе деформирования на 10 % при комнатной температуре наблюдается образование ϵ и α фаз в количестве 11 и 10 % соответственно [6]. При увеличении содержания азота и марганца (сталь 15X15A0.38G31), стабилизирующих аустенит, разру-

шение при статическом растяжении идет без образования магнитной α -фазы, но с образованием ϵ -мартенсита, количество которого увеличивается с понижением температуры испытаний (20 % при 20 °С, 28 % при –196 °С) [6].

При исследовании фазовых превращений и свойств аустенитных сталей исследователи основное внимание акцентируют на криогенной температурной области [1–6], в то время как свойства в температурном интервале применения сталей в северных широтах до сих пор не исследованы.

Для исследования особенностей деформации и разрушения при отрицательных климатических температурах была выбрана сталь 07X17AG18 следующего состава: Cr 16,5, Mn 18,8, C 0,07, N 0,53, Si 0,52 мас.%, ост. Fe. Сталь закаляли от 1100 °С в воде, после чего на электроэрозионном станке вырезали образцы с размерами рабочей части 16×2,5×1 мм, которые затем механически шлифовали и полировали. Механические испытания проводили при статическом растяжении со скоростью 0,18 мм/мин при комнатной температуре, в жидком азоте (–196 °С), в ледяной воде (0 °С) и в этиловом спирте, охлажденном жидким азотом, до температур (–80±0 °С). Температуру среды во время испытаний непрерывно контролировали измерителем температуры ИТ-4-9-1 и фиксировали в начале испытаний и в момент разрушения образца.

Несмотря на неизотермические условия испытаний (температура испытываемого образца непрерывно повышалась из-за охлаждения деформирующего устройства испытательной машины), данное исследование позволило выявить некоторые закономерности. В частности, механические испытания показали, что в температурном интервале от –30 до 0 °С сталь обладает повышенной пластичностью 73–75 % (рис. 1). В сравнении со свойствами стали, испытанной при комнатной

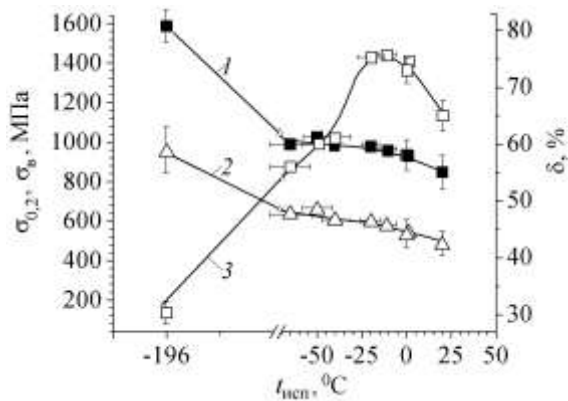


Рис. 1 Температурная зависимость предела прочности σ_n – 1, предела текучести $\sigma_{0,2}$ – 2 и относительного удлинения δ – 3 при статическом растяжении стали 07X17AG18 в состоянии после закалки от 1100 °С

температуре, с понижением температуры до -30 °С происходит одновременное повышение и относительное удлинение и прочностных свойств. Это свидетельствует о повышении энергоемкости процесса деформации и возможном включении дополнительного механизма релаксации напряжений, который начинает действовать при снижении температуры в отрицательную область.

В зависимости от температуры изменяются и микромеханизмы разрушения (рис. 2). При комнатной температуре разрушение произошло с образованием крупных ямок и пор, образованных вследствие зарождения микротрещин на межфазной границе аустенит-частица (рис. 2а). Наряду с ямочной структурой излома наблюдаются участки площадок, размером 30–50 мкм с выровненным, почти плоским рельефом. С понижением температуры испытаний до -30 °С площадь излома, занятая выровненными участками, возрастает (рис. 2а, 2б, 2в). Это свидетельствует о том, что в процессе разрушения начинает преобладать сдвиговый микромеханизм вязкого разрушения.

При температуре -196 °С разрушение идет по смешанному хрупко-вязкому механизму. При относительном удлинении 30 % в структуре излома присутствуют участки хрупкого слоистого строения, являющиеся, вероятно, результатом скола вдоль определенного кристаллографического направления, в то время как разрушение по другой плоскости этого же фрагмента структуры осуществляется вязко с образованием ямочного рельефа (рис. 2г). Подобная фрактографическая анизотропия, по-видимому, проявляется вследствие образования деформационных двойников, а также мартенситных фаз с ГПУ или ОЦК решеткой. Полученные экспериментальные результаты согласуются с данными [6–7], из которых следует, что разрушение азотистых сталей 03X13A0,3Г19 [6] и 03X13A0,17Г19 [7] при температуре -196 °С сопровождается протеканием $\gamma \rightarrow \epsilon$ превращения в первом случае и $\gamma \rightarrow \alpha$ во втором.

Таким образом, можно выделить следующие закономерности деформации и разрушения при отрицательных температурах.

1. Температурная зависимость относительного удлинения имеет немонотонный характер. Максимальную пластичность ≈ 75 % имеет сталь при деформировании

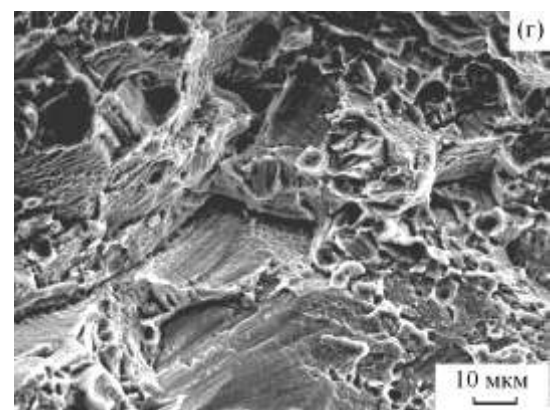
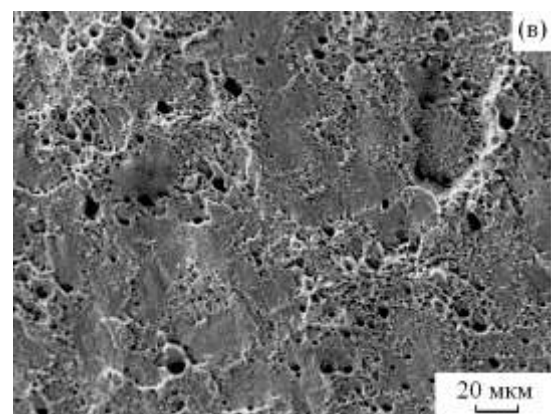
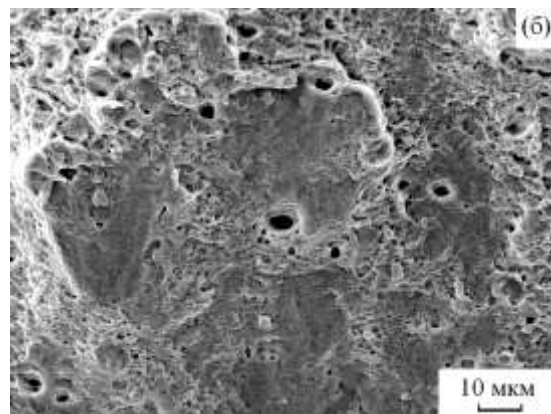
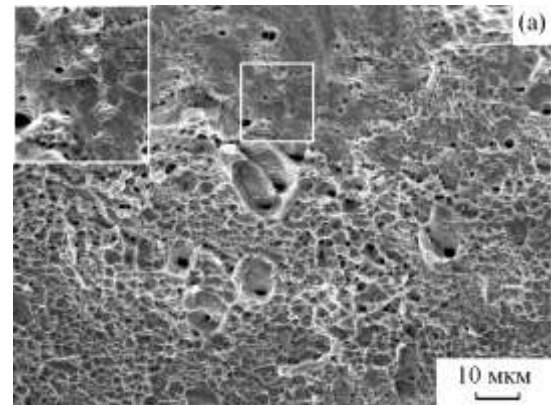


Рис. 2. Фрактограммы изломов закаленной от 1100 °С стали 07X17AG18 после деформирования растяжением и разрушения при 20 °С – (а), 0 °С – (б), -20 °С – (в) и -196 °С – (г)

в интервале -30 ± 0 °С. Энергоемкость пластической деформации в этом интервале отрицательных климатических температур превосходит соответствующую величину для комнатной температуры испытаний.

2. Понижение температуры испытаний при статическом растяжении от комнатной до -30 °С количественно увеличивает долю материала, разрушенного сдвигом структурных фрагментов. При температуре растяжения -196 °С излом имеет смешанное хрупко-вязкое строение. Такой характер разрушения с образованием слоистых хрупких и вязких ямочных фрагментов свидетельствует о возможном изменении кристаллического строения стали – протекании мартенситного $\gamma \rightarrow \epsilon$ превращения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Солтцев Ю.П. Хладостойкие стали и сплавы. СПб.: Химиздат, 2005. 480 с.
2. Паль-Валь Л.Н., Семеренко Ю.А., Паль-Валь П.П., Скибина Л.В., Грикуров Г.Н. Исследование акустических и резистивных свойств перспективных хромомарганцевых аустенитных сталей в области температур $5 \div 300$ К // Конденсированные среды и межфазные границы. 2008. Т. 10. № 3. С. 226-235.

3. Грикуров Г.Н., Гagniдзе И.П., Тавадзе Ф.Н. Температурная зависимость прочности, пластичности и вязкости закаленных сплавов системы Fe-Cr-Mn при температурах 20, -196 , -253 °С // Структура и физико-механические свойства немагнитных сталей / под ред. О.А. Банных. М.: Наука, 1986. 204 с.
4. Грикуров Г.Н., Тавадзе Ф.Н. Структура и свойства немагнитных сталей. М.: Наука, 1982.
5. Kaputkina L.M., Kaputkin D.E., Glebov A.G., Speidel M.O., Svyazhin A.G., Smarygina I.V. High-nitrogen High-strength cryogenic steels // Conference Proceedings 2014. HNS 2014, 12th international conference. Hamburg: Energietechnik Essen, 2014. 240 p.
6. Кривоцов Ю.С., Федорова О.А., Штернин С.Л. Влияние скорости нагружения и низких температур на склонность к хрупкому разрушению высокомарганцевой немагнитной стали // Структура и физико-механические свойства немагнитных сталей / под ред. О.А. Банных. М.: Наука, 1986. 204 с.
7. Клевцов Г.В., Ботвина Л.Р., Клевицова Н.А., Лимарь Л.В. Фрактодиагностика разрушения металлических материалов и конструкций. М.: МИСиС, 2007. 261 с.

БЛАГОДАРНОСТИ: Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и администрации Томской области в рамках научного проекта № 13-08-98060р_сибирь_a.

Поступила в редакцию 10 апреля 2016 г.

UDC 620.172.2:620.187

DOI: 10.20310/1810-0198-2016-21-3-1184-1187

ANOMALY OF LOW-TEMPERATURE PLASTICITY AND MICROMECHANISMS OF DESTRUCTION OF THE NITROGENOUS CHROMIUM-MANGANESE STEEL

© N.A. Narkevich¹⁾, V.D. Kitler²⁾, N.S. Surikova¹⁾, M.S. Syrtanov³⁾

¹⁾ Institute of Strength Physics and Materials Science of the SB RAS, Tomsk, Russian Federation, e-mail: natnark@list.ru, surikova@ispms.tsc.ru

²⁾ Tomsk Scientific Center of the SB RAS, Tomsk, Russian Federation, e-mail: vladimir_kitler1@mail.ru

³⁾ National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russian Federation, e-mail: maxim-syratanov@mail.ru

Mechanical properties at stretching and type of destruction of alloyed by nitrogen steel are investigated at 20 °С and negative climatic temperatures. The effect of increase of relative elongation for 15 % is found at simultaneous increase of tensile strength and a yield stress in a temperature interval -30 ± 0 °С. Characteristic feature of fractures at decrease in experiment temperature from room to -30 °С is increase in a share of destruction by shear at the general viscous nature of destruction.

Key words: nitrogenous austenite; plasticity.

REFERENCES

1. Solntsev Yu.P. *Khladostoykie stali i splavy*. St. Petersburg, Himizdat Publ., 2005. 480 p.
2. Pal'-Val' L.N., Semerenko Yu.A., Pal'-Val' P.P., Skibina L.V., Griukurov G.N. Issledovanie akusticheskikh i rezistivnykh svoystv perspektivnykh khromomargantsevykh austenitnykh staley v oblasti temperatur $5 \div 300$ K. *Kondensirovannye sredy i mezhfaznye granitsy – Condensed Matter and Interphases*, 2008, vol. 10, no. 3, pp. 226-235.
3. Griukurov G.N., Gagnidze I.P., Tavazde F.N. Temperaturnaya zavisimost' prochnosti, plastichnosti i vyazkosti zakalennykh splyavov sistemy Fe-Cr-Mn pri temperaturakh 20, -196 , -253 °С. *Struktura i fiziko-mekhanicheskie svoystva nemagnitnykh staley*. Moscow, Nauka Publ., 1986. 204 p.
4. Griukurov G.N., Tavazde F.N. *Struktura i svoystva nemagnitnykh staley*. Moscow, Nauka Publ., 1982.
5. Kaputkina L.M., Kaputkin D.E., Glebov A.G., Speidel M.O., Svyazhin A.G., Smarygina I.V. High-nitrogen High-strength cryogenic steels. *Conference Proceedings 2014. HNS 2014, 12th international conference*. Hamburg, Energietechnik Essen Publ., 2014. 240 p.
6. Krivosov Yu.S., Fedorova O.A., Shternin S.L. Vliyaniye skorosti nagruzheniya i nizkikh temperatur na sklonnost' k khrupkomu razrushe-niyu vysokomargantsevoy nemagnitnoy stali. *Struktura i fiziko-mekhanicheskie svoystva nemagnitnykh staley*. Moscow, Nauka Publ., 1986. 204 p.

7. Klevtsov G.V., Botvina L.R., Klevtsova N.A., Limar' L.V. *Fraktodiagnostika razrusheniya metallicheskih materialov i konstruktivnykh materialov*. Moscow, Publishing House of National University of Science and Technology "MISIS", 2007. 261 p.

GRATITUDE: The work is fulfilled under financial support of Russian Fund of Fundamental Research and Tomsk region Administration within a framework of scientific project no. 13-08-98060p_сибирь_a.

Received 10 April 2016

Наркевич Наталья Аркадьевна, Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, г. Томск, Российская Федерация, кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник лаборатории физической мезомеханики и неразрушающих методов контроля, e-mail: natnark@list.ru

Narkevich Natalya Arkadevna, Institute of Strength Physics and Materials Science of the SB RAS, Tomsk, Russian Federation, Candidate of Technics, Associate Professor, Senior Research Worker of Physical Mesomechanics of Materials and Non-Destructive Testing Laboratory, e-mail: natnark@list.ru

Китлер Владимир Давыдович, Томский научный центр СО РАН, г. Томск, Российская Федерация, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник лаборатории гетерогенных систем, e-mail: vladimir_kitler1@mail.ru

Kitler Vladimir Davydovich, Tomsk Scientific Center of the SB RAS, Tomsk, Russian Federation, Candidate of Physics and Mathematics, Senior Research Worker of Heterogeneous Metal Systems Laboratory, e-mail: vladimir_kitler1@mail.ru

Сурикова Наталья Сергеевна, Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, г. Томск, Российская Федерация, доктор физико-математических наук, доцент, старший научный сотрудник лаборатории физической мезомеханики и неразрушающих методов контроля, e-mail: surikova@ispms.tsc.ru

Surikova Natalya Sergeevna, Institute of Strength Physics and Materials Science of the SB RAS, Tomsk, Russian Federation, Doctor of Physics and Mathematics, Associate Professor, Senior Research Worker of Physical Mesomechanics of Materials and Non-Destructive Testing Laboratory, e-mail: surikova@ispms.tsc.ru

Сыртанов Максим Сергеевич, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Российская Федерация, ассистент кафедры общей физики, e-mail: maxim-syrtanov@mail.ru

Syrtanov Maksim Sergeevich, National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russian Federation, Assistant of General Physics Department, e-mail: maxim-syrtanov@mail.ru