



УДК 669.15:621.78

DOI 10.17073/0368-0797-2023-4-442-444



Краткое сообщение

Short report

ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНАЯ ПРОЧНОСТЬ ШТАМПОВОЙ СТАЛИ С РЕГУЛИРУЕМЫМ АУСТЕНИТНЫМ ПРЕВРАЩЕНИЕМ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПОСЛЕ ЗАКАЛКИ И ОТПУСКА

А. А. Кругляков¹, С. О. Рогачев^{2,3}, А. В. Моляров²¹ Научно-коммерческая фирма WBH (Германия, D-10117, Берлин, Фридрихштрассе, 106 Б)² Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (Россия, 119049, Москва, Ленинский пр., 4)³ Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова, РАН (Россия, 119991, Москва, Ленинский пр., 49)

✉ csaap@mail.ru

Аннотация. Стали с регулируемым аустенитным превращением при эксплуатации (РАПЭ) – новый класс безвольфрамовых инструментальных сталей на ферритной основе для горячей обработки давлением. В работе получены количественные данные по высокотемпературной прочности стали с РАПЭ нового состава после закалки и отпуска. Построены кривые деформации и проведена оценка склонности стали к деформационному упрочнению при температурах 450 и 750 °С. Установлено, что при температуре 750 °С, соответствующей эксплуатационной, сталь с РАПЭ обладает более сильной склонностью к деформационному упрочнению, чем при температуре 450 °С.

Ключевые слова: сталь с РАПЭ, закалка, отпуск, горячая деформация

Для цитирования: Кругляков А.А., Рогачев С.О., Моляров А.В. Высокотемпературная прочность штамповой стали с регулируемым аустенитным превращением при эксплуатации после закалки и отпуска. *Известия вузов. Черная металлургия*. 2023;66(4):442–444.
<https://doi.org/10.17073/0368-0797-2023-4-442-444>

HIGH-TEMPERATURE STRENGTH OF DIE STEEL WITH REGULATED AUSTENITIC TRANSFORMATION DURING EXPLOITATION AFTER QUENCHING AND TEMPERING

A. A. Kruglyakov¹, S. O. Rogachev^{2,3}, A. V. Molyarov²¹ Scientific Production Association WBH (106 b Friedrichstrasse, Berlin D-10117, Germany)² National University of Science and Technology “MISIS” (4 Leninskii Ave., Moscow 119049, Russian Federation)³ Baikov Institute of Metallurgy and Materials Science, Russian Academy of Sciences (49 Leninskii Ave., Moscow 119991, Russian Federation)

✉ csaap@mail.ru

Abstract. Steels with regulated austenitic transformation during exploitation (RATE) are a new class of ferritic-based tungsten-free tool steels for hot forming. The study obtained quantitative data on the high-temperature strength of RATE steel of new composition after quenching and tempering. The stress-strain curves are plotted and the tendency of steel to strain hardening at temperatures of 450 and 750 °C is estimated. It was established that at a temperature of 750 °C, corresponding to the operating temperature, RATE steel has a stronger tendency to work hardening than at a temperature of 450 °C.

Keywords: RATE steels, quenching, tempering, hot deformation

For citation: Kruglyakov A.A., Rogachev S.O., Molyarov A.V. High-temperature strength of die steel with regulated austenitic transformation during exploitation after quenching and tempering *Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. 2023;66(4):442–444.
<https://doi.org/10.17073/0368-0797-2023-4-442-444>

Стали с регулируемым аустенитным превращением при эксплуатации (РАПЭ) – новый класс безвольфрамовых сталей на ферритной основе для горячего прессования [1; 2]. Находясь в однофазной γ - или двухфазной ($\gamma + \alpha$)-области, эти стали склонны к сохранению высокотемпературного упрочнения [3]. Этот эффект позволяет осуществлять предварительное горячее упрочнение стали. Для этого перед эксплуатацией сталь подвергают аустенизации при 1150 °С, после чего охлаждают до 450 °С. При этом сталь сохраняет аустенитную структуру из-за очень высокой устойчивости переохлажденного аустенита, после чего осуществляют деформацию. В результате сталь приобретает требуемый уровень упрочнения, который будет сохраняться при рабочих температурах до 750 – 800 °С [4].

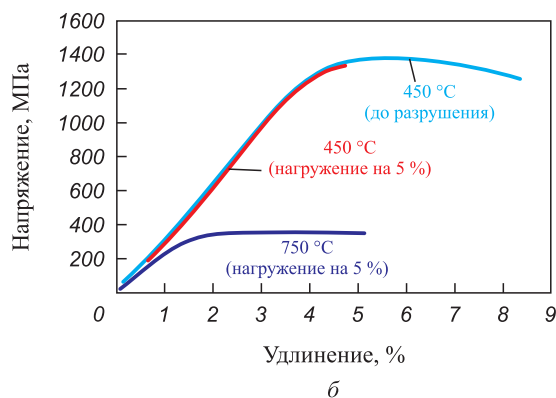
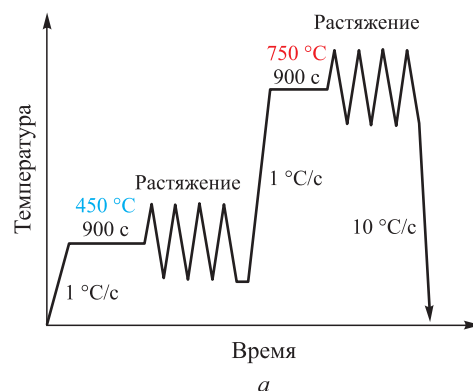
В то же время стали с РАПЭ способны работать при высоких температурах и без предварительного упрочнения – в состоянии после закалки и отпуска [5]. Однако для сталей с РАПЭ новых оптимизированных составов исследований в этом направлении не проводилось. Поэтому цель работы – оценка высокотемпературной прочности новой штамповой стали с РАПЭ после закалки и отпуска.

Для исследования взята штамповая сталь с РАПЭ типа 5X2Г4НЗМ2ФСТБ после закалки (1100 °С, 20 мин, масло) и двойного отпуска (590 °С, 2 ч + 560 °С, 2 ч, воздух) на твердость 55 HRC [6]. Испытание круглых образцов с резьбовым креплением длиной и диаметром рабочей части 20 и 4 мм соответственно проводили на машине Zwick по двум схемам (см. рисунок):

- нагрев до 450 °С, выдержка 15 мин, пластическая деформация растяжением до разрушения;
- нагрев до 450 °С, выдержка 15 мин, пластическая деформация растяжением до общей деформации 5 %, нагрев до 750 °С, выдержка 15 мин и пластическая деформация растяжением до общей деформации 5 %.

Показатель степени деформационного упрочнения (n) оценивали аналогично работе [3].

Условный предел текучести и предел прочности стали при температуре испытания 450 °С составили 1277 и 1379 МПа соответственно, а относительное удлинение 9 % (см. рисунок). Таким образом, в процессе пластической деформации при 450 °С наблюдается деформационное упрочнение стали ($n = 0,03$). После достижения максимальной нагрузки происходит локализация деформации с последующим разрушением образца. В процессе деформации при 450 °С до величины относительного удлинения 5 % упрочнение стали достигает 1335 МПа. Последующий нагрев до 750 °С приводит к многократному снижению прочности: при деформации условный предел текучести составил 311 МПа (в 4 раза меньше, чем при температуре 750 °С). Однако в процессе дальнейшей деформации при температуре 750 °С склонность стали к деформационному упрочнению усиливается ($n = 0,06$) и при величине относительного удлинения около 2 % упроч-



Общая диаграмма процесса испытания (а) и соответствующие кривые деформации (б) стали с РАПЭ

General diagram of the test process (а) and the corresponding stress-strain curves (б) of RATE steel

вень прочности достигает 356 МПа. Это можно связать с переходом стали в аустенитное состояние в результате $\alpha \rightarrow \gamma$ -превращения. Достигнутый уровень упрочнения сохраняется при дальнейшей деформации до величины относительного удлинения около 5 %.

Выводы

Установлено, что при температурах 450 – 750 °С, соответствующих эксплуатационным, наблюдается деформационное упрочнение стали с РАПЭ, причем склонность к деформационному упрочнению при 750 °С выше, чем при 450 °С. При величине относительного удлинения около 5 % горячая прочность стали при 750 °С достигает ~360 МПа. Полученные результаты прогнозируют стабильную работу штампового инструмента из стали с РАПЭ при температурах до 750 °С.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- Орлов Ю.Г., Дудецкая Л.Р. *Материалы и технологии изготовления литого штампового инструмента*. Минск: Беларуская навука; 2010:171.
- Позняк Л.А. *Инструментальные стали*. Киев: Наукова думка; 1996:488.
- Kruglyakov A.A., Rogachev S.O., Lebedeva N.V., Sokolov P.Yu., Arsenkin A.M., Khatkevich V.M. On the nature of

hot work hardening phenomenon in die steel with regulated austenitic transformation during exploitation. *Materials Science and Engineering: A*. 2022;833:142548.

<https://doi.org/10.1016/j.msea.2021.142548>

4. Пат. 2776893 RU. Способ упрочняющей обработки инструмента из штамповых сталей / Н.В. Лебедева, Г.А. Панова, А.А. Кругляков, С.О. Рогачев; опубл. 28.07.2022.
5. Кругляков А.А. Структура и механические свойства штамповых сталей после закалки и отпуска. *Деформация*

и разрушение материалов. 2019(10):42–45.

<https://doi.org/10.31044/1814-4632-2019-10-42-45>

Krugljakow A.A. Structure and mechanical properties of die steels after quenching and tempering. *Deformatsiya i razrushenie materialov*. 2019;(10):42–45. (In Russ.).

<https://doi.org/10.31044/1814-4632-2019-10-42-45>

6. Пат. 2744584 RU. Штамповая сталь / С.А. Никулин, А.А. Кругляков, С.О. Рогачев, Г.А. Панова, Н.В. Лебедева; опубл. 11.03.2021.

Сведения об авторах

Information about the Authors

Александр Аркадьевич Кругляков, к.т.н., генеральный директор, Научно-коммерческая фирма WBH
E-mail: dr.a.krugljakow@t-online.de

Станислав Олегович Рогачев, к.т.н., доцент кафедры металловедения и физики прочности, Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»; научный сотрудник, Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН
ORCID: 0000-0001-7769-7748
E-mail: csaap@mail.ru

Алексей Валерьевич Моляров, инженер кафедры металловедения и физики прочности, Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»
E-mail: anwil_875@mail.ru

Aleksandr A. Krugljakow, Cand. Sci. (Eng.), General Director, Scientific Production Association WBH
E-mail: dr.a.krugljakow@t-online.de

Stanislav O. Rogachev, Cand. Sci. (Eng.), Assist. Prof. of the Chair “Metallography and Physics of Strength”, National University of Science and Technology “MISIS”; Research Associate, Baikov Institute of Metallurgy and Materials Science, Russian Academy of Sciences
ORCID: 0000-0001-7769-7748
E-mail: csaap@mail.ru

Aleksei V. Molyarov, Engineer of the Chair “Metallography and Physics of Strength”, National University of Science and Technology “MISIS”
E-mail: anwil_875@mail.ru

Вклад авторов

Contribution of the Authors

А. А. Кругляков – формирование основной концепции, формулирование выводов.

С. О. Рогачев – научное руководство, подготовка текста.

А. В. Моляров – исследования, проведение расчетов.

A. A. Krugljakow – conceptualization, formulation of conclusions.

S. O. Rogachev – scientific guidance, writing the text.

A. V. Molyarov – investigation, calculations.

Поступила в редакцию 05.06.2023
После доработки 20.06.2023
Принята к публикации 30.07.2023

Received 05.06.2023
Revised 20.06.2023
Accepted 30.07.2023