УДК 669.15

**М. В. Майсурадзе [1*], М. А. Рыжков [1], Д. И. Лебедев [1,2], Е. Д. Антакова [1]**

[1] Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург

[2] Институт физики металлов им. М. Н. Михеева, г. Екатеринбург

[*] *m. v.maisuradze@urfu.ru*

# ВЛИЯНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ЗАКАЛОЧНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ЛЕГИРОВАННОЙ СТАЛИ

Исследована высокопрочная легированная сталь, обладающая высокой прокаливаемостью. Изучена микроструктура, формируемая в результате охлаждения от температуры аустенитизации со скоростями в интервале 0,02...20 °C/с. Определены механические свойства. Показано, что самоотпуск мартенсита и формирование бейнитной структуры в исследуемой стали приводит к понижению ударной вязкости.

*Ключевые слова*: сталь, термическая обработка, микроструктура, мартенсит, бейнит, скорость охлаждения, прочность, пластичность, ударная вязкость

**M. V. Maisuradze, M. A. Ryzhkov, D. I. Lebedev, E. V. Antakov**

# THE EFFECT OF THE COOLING RATE ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF THE NOVEL ALLOYED STEEL

The high strength alloyed steel with high hardenability was studied. The microstructure formed during the continuous cooling at the rates approx. 0,02...20 °C/c was investigated. The mechanical properties were determined. The self tempering of martensite and bainite formation led to the decrease of the impact toughness of the studied steel.

*Key words*: steel, heat treatment, microstructure, martensite, bainite, cooling rate, strength, plasticity, impact strength

Исследована сталь, содержащая следующие основные легирующие элементы, масс. %: C — 0,22; Cr — 1,96; Mn — 2,02; Si — 0,96;

Ni — 1,09; Mo — 0,31 [1; 2]. Исследование микроструктуры и механических свойств экспериментальной стали проводилось после термической обработки образцов в лабораторных условиях: аустенитизация 900 °C, 1 ч, охлаждение в масле (~20 °C/c), на воздухе (~2 °C/c), в контейнере с чугунной стружкой (~0,2 °C/c) и в печи (~0,02 °C/c). Микроструктура стали после охлаждения с различной интенсивностью приведена на рис. 1.

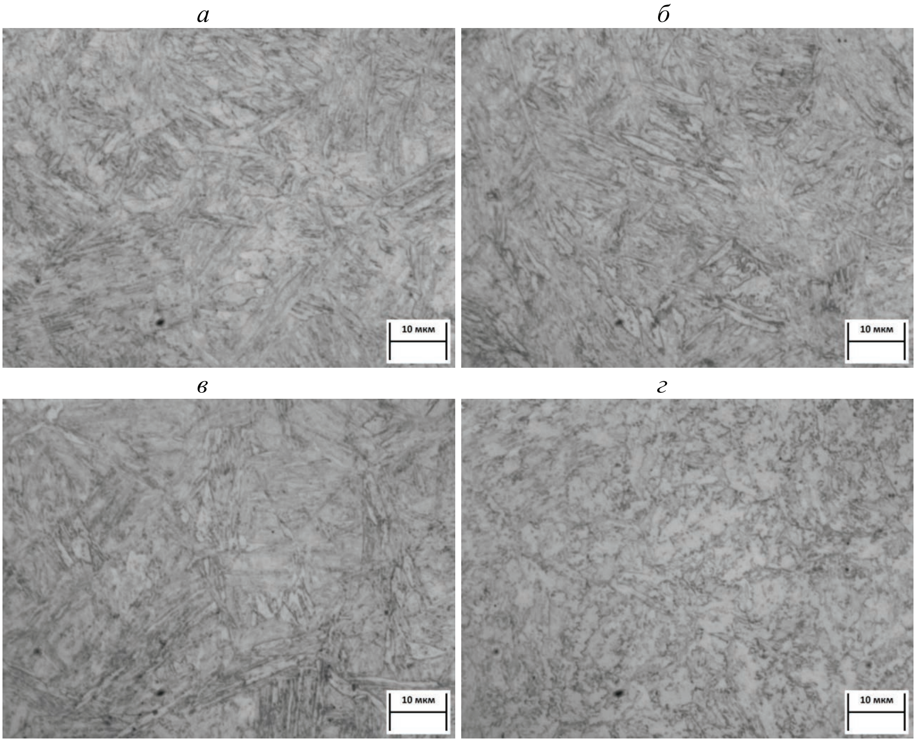


Рис. 1. Микроструктура исследуемой стали после охлаждения от температуры 900 °C в различных средах:
*а* — масло; *б* — воздух; *в* — чугунная стружка; *г* — печь

Установлено, что при охлаждении в печи в структуре стали формируется бейнито-мартенситная микроструктура (рис. 1, *г*). В остальных случаях (охлаждение в масле, на воздухе, в контейнере с чугунной стружкой) формируется преимущественно мартенситная микроструктура (рис. 1, *а*, *б*, *в*). Механические свойства исследуемой стали после охлаждения в различных средах представлены на рис. 2.

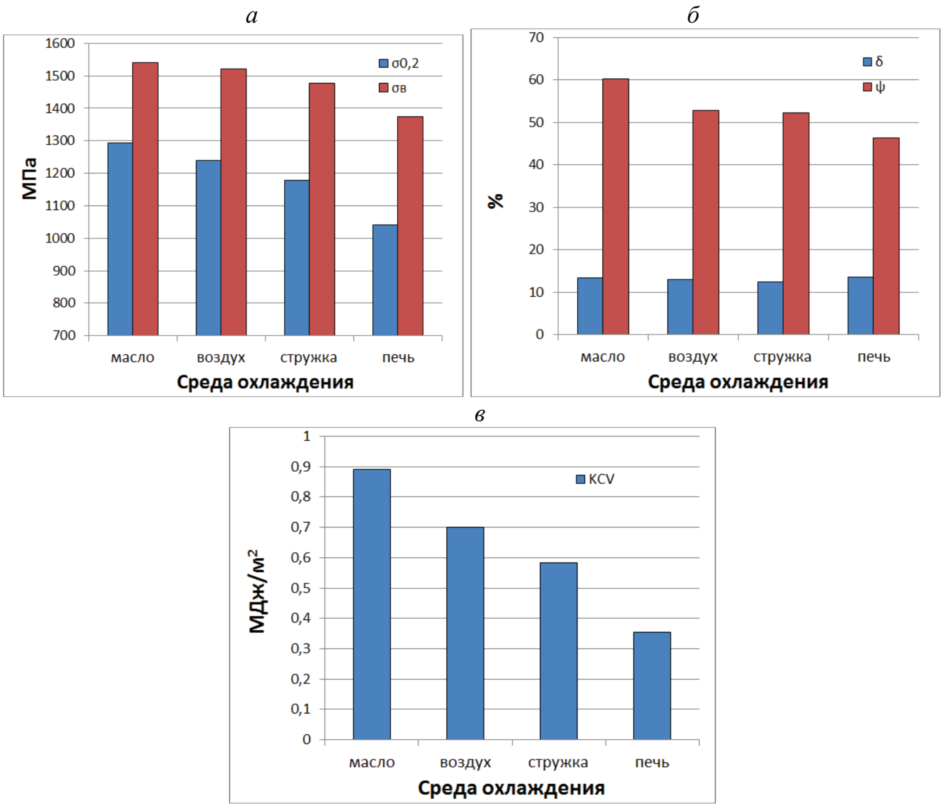


Рис. 2. Механические свойства исследуемой стали после охлаждения в различных средах:

*а* — прочностные свойства; *б* — пластичность; *в* — ударная вязкость

Установлено, что понижение интенсивности охлаждения от охлаждения в масле (~20 °С/с) до охлаждения в чугунной стружке (~0,2 °С/с) приводит к незначительному понижению прочностных характеристик стали: предел текучести снижается на 9 %, временное сопротивление разрыву — на 4 %. При этом относительное удлинение не изменяется и составляет 12...13 %, а относительное сужение и ударная вязкость снижаются. Вероятно, это связано с процессами перераспределения углерода при протекании мартенситного превращения или самоотпуска мартенсита в условиях замедленного охлаждения, а также с образованием некоторого количества бейнита. При охлаждении в печи в стали формируется существенное количество бейнита, что приводит к более значительному снижению прочностных характеристик, а также к понижению ударной вязкости до 0,35 МДж/м$^2$.

**Литература**

1. Майсурадзе М. В., Рыжков М. А., Сурнаева О. А. Превращения переохлажденного аустенита в перспективных машиностроительных сталях высокой прокаливаемости // Металловедение и термическая обработка металлов. 2018. № 6. С. 3–11.

95. Майсурадзе М. В., Рыжков М. А. Термическая стабилизация аустенита при ступенчатой закалке сталей для автомобилестроения // Металлург. 2018. № 4. С. 38–47.