

МИКРОСТРУКТУРА И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВЫСОКОПРОЧНОЙ СТАЛИ ТИПА 35ХГМ ПОСЛЕ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУР ТЕМПФОРМИНГА

П. Д. Долженко, А. С. Долженко, А. Н. Беляков

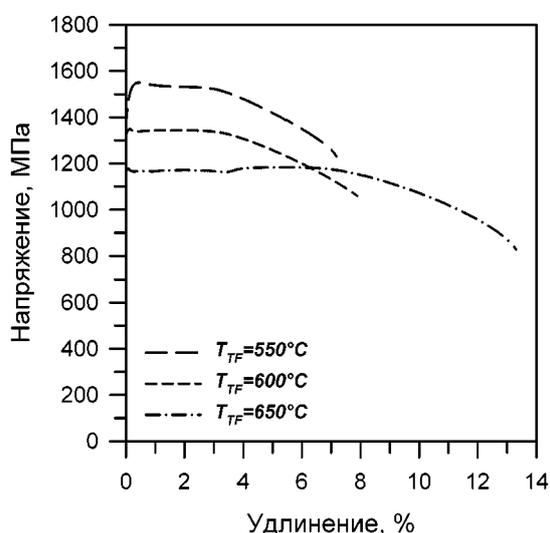
Белгородский государственный национальный исследовательский университет
dolzhenko_p@bsu.edu.ru

В настоящее время особое внимание уделяется разработке конструкционных сталей и сплавов, адаптированных к природно-климатическим условиям Крайнего Севера, а также для сооружений и конструкций различного назначения, эксплуатируемых в условиях низких температур. Высокие показатели механических свойств демонстрируют легированные мартенситно-старееющие стали. Однако большое содержание дорогостоящих легирующих добавок существенно ограничивает области их применения по условиям экономической целесообразности. В этой связи особый интерес вызывают способы улучшения механических свойств низколегированных высокопрочных сталей.

В качестве деформационно-термической обработки исследуемой высокопрочной стали типа 35ХГМ ($\text{Fe} - 0.35 \text{C} - 0.4 \text{Si} - 0.6 \text{Mn} - 0.5 \text{Cr} - 0.5 \text{Mo}$) был выбран темпформинг, который заключался в предварительном нагреве до температур 550, 600 и 650°C и выдержке в течение 1 ч (отпуск) заготовок, после чего проводилась многократная прокатка при температуре отпуска до истинной степени деформации 1.4. После каждого прохода заготовки подогревались до температуры отпуска.

После проведения темпформинга при всех температурах в исследуемой стали наблюдается формирование нанокристаллической волокнистой структуры, состоящей из сильно вытянутых вдоль направления прокатки зерен. С повышением температуры темпформинга увеличивается поперечный размер зерен и субзерен: при температуре темпформинга 550°C размеры 180 и 160 нм, соответственно, при 600°C – 200 и 175 нм, соответственно, при 650°C – 250 и 230 нм, соответственно. Стоит также отметить, что после темпформинга исследуемая высокопрочная сталь типа 35ХГМ характеризуется наличием волокнистой текстуры деформации $\langle 001 \rangle // \text{ND}$ и $\langle 111 \rangle // \text{ND}$. В структуре наблюдается образование карбидов $M_{23}C_6$, обогащенных хромом. Размеры частиц карбидов варьируются от 10 до 100 нм.

Кривые зависимостей напряжения от удлинения, полученные для образцов высокопрочной исследуемой стали типа 35ХГМ после растяжения при комнатной температуре, представлены на рисунке.



Кривые растяжения низкоуглеродистой низколегированной стали типа 35ХГМ после темпформинга при различных температурах.

После начала пластического течения наблюдается незначительная короткая стадия деформационного упрочнения до пикового напряжения с последующим разупрочнением до определенного уровня и продолжительная стадия равномерного удлинения с небольшим коэффициентом упрочнения. И предел текучести, и предел прочности на растяжение снижаются с повышением температуры темпформинга. Предел прочности после темпформинга при 550°C составляет 1550 МПа, а при температуре темпформинга 650°C предел прочности снижается до 1190 МПа. Общее удлинение составляет 7.2 % после темпформинга при 550°C. Повышение температуры темпформинга до 650°C приводит к увеличению относительного удлинения до 13.1 %.

Работа выполнена за счет гранта Российского научного фонда (проект № 20-19-00497) и с использованием оборудования Центра коллективного пользования "Технологии и Материалы НИУ "БелГУ".