

**ПРИОРИТЕТНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ Ш.28.  
СИСТЕМА МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОГО СВЯЗНОГО АНАЛИЗА,  
ОБЕСПЕЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ ПРОЧНОСТИ, РЕСУРСА,  
ЖИВУЧЕСТИ, НАДЕЖНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ МАШИН, МАШИННЫХ  
И ЧЕЛОВЕКО-МАШИННЫХ КОМПЛЕКСОВ В МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫХ  
ПРОБЛЕМАХ МАШИНОВЕДЕНИЯ И МАШИНОСТРОЕНИЯ.  
НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ КОНСТРУКЦИОННОГО МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ**

**Программа Ш.28.1. Разработка междисциплинарных научных основ создания новых материалов и применения перспективных технологий для экстремальных условий эксплуатации (координатор член-корр. РАН М. П. Лебедев)**

В Институте физико-технических проблем Севера им. В. П. Ларионова исследованы особенности деградации структуры трубной стали после длительной эксплуатации в условиях низких температур. Тщательные экспериментальные работы позволили выявить особенности деградации фазовой структуры трубной стали 09Г2С магистрального газопровода после длительной эксплуатации в экстремальных климатических условиях, методами электронной растровой, просвечивающей и атомно-силовой микроскопии (АСМ), в сравнении со структурой стали той же партии из аварийного запаса. Показаны преимущества метода АСМ, заключающиеся в уникальной возможности количественной оценки шероховатости фазовых составляющих, характеристик границ зерен и

регулярности структуры перлита при его распаде (рис. 44). Результаты АСМ-исследований согласуются с результатами исследования микроструктуры и тонкой структуры этих же металлов с использованием растровой электронной и просвечивающей электронной микроскопии и дополняют их.

Установлено: длительная эксплуатация в экстремальных климатических условиях приводит к распаду цементита в перлите стали, что проявляется в возрастании дисперсии расстояний между пластинами цементита, характеризующей регулярность расположения пластин (рис. 44); при длительной эксплуатации в стали не наблюдается изменения ширины границ ферритных зерен и выделения карбидов на межферритные границы; шероховатость поверхности

**АТОМНО-СИЛОВАЯ МИКРОСКОПИЯ**

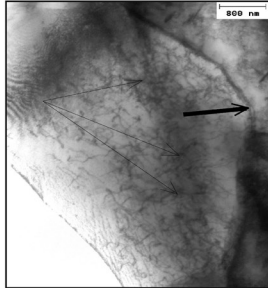
Параметры	Металл трубы из аварийного запаса	Металл трубы после эксплуатации
Дисперсия расстояний между цементитными пластинами, мкм	0,208	0,403
Среднее расстояние между цементитными пластинами, мкм	1,188	1,048



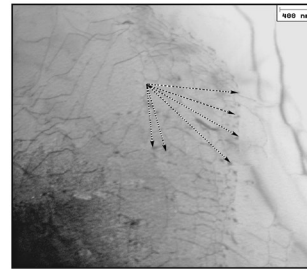
**Рис. 44.** Сравнение результатов исследования структуры стали 09Г2С, полученных АСМ, просвечивающей и растровой электронной микроскопией.

Результаты АСМ-исследований

Параметры	Металл трубы из аварийного запаса (мкм)	Металл трубы после эксплуатации (мкм)
Среднеквадратичная шероховатость перлита	17,548	20,921
Среднеквадратичная шероховатость феррита	45,142	22,870



Металл трубы из аварийного запаса: плотность дислокаций  $10^{-8} \text{ см}^{-3}$



Металл трубы после эксплуатации: плотность дислокаций  $10^{-9} \text{ см}^{-3}$

Рис. 45. Шероховатость структурных составляющих, определенная с помощью методом АСМ, и плотность дислокаций, полученная электронной микроскопией.

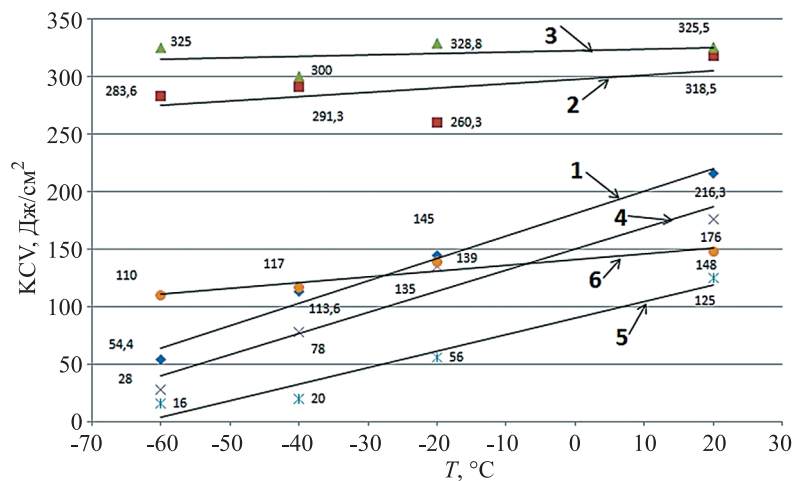


Рис. 46. График зависимости ударной вязкости по Шарпи (KCV) от температуры.

1 – МШ 13Г1С-У; 2 – ЗТВ 13Г1С-У; 3 – ОМ 13Г1С-У; 4 – МШ 09Г2С; 5 – ЗТВ 09Г2С; 6 – ОМ 09Г2С

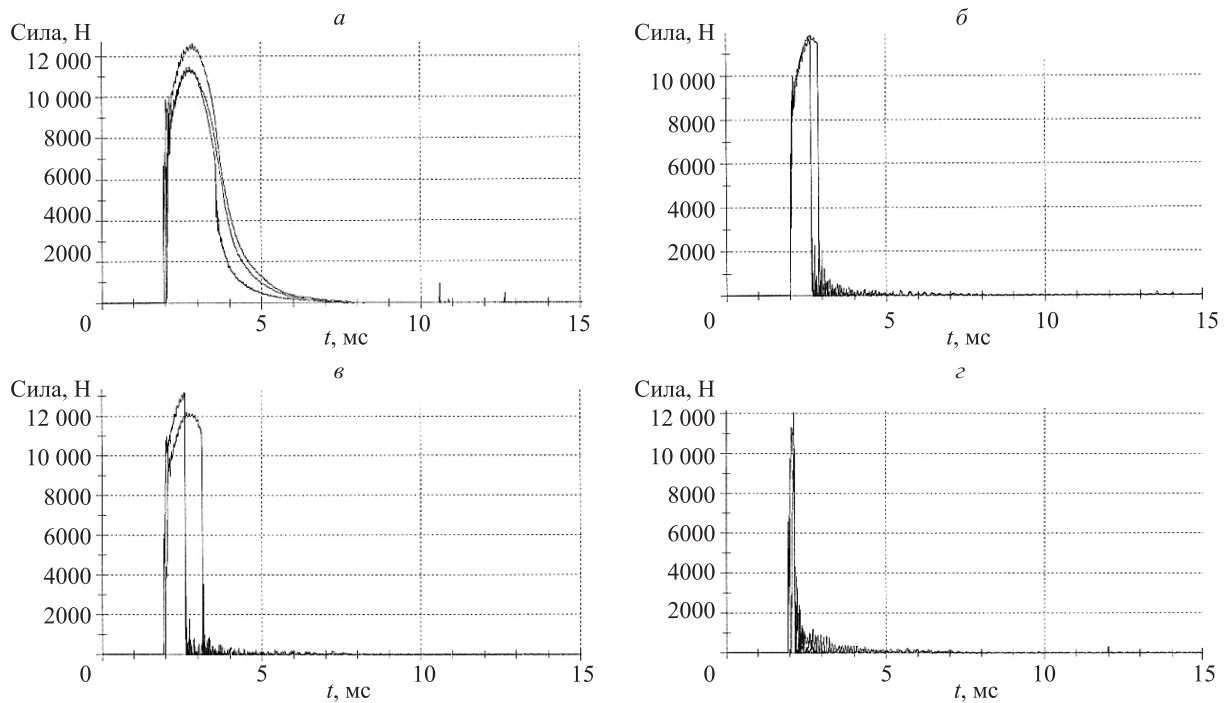
ферритных зерен в металле трубы из аварийного запаса в два раза превышает эту же величину в металле трубы после эксплуатации, что свидетельствует о высокой плотности дислокаций в первом металле (рис. 45).

Выявлено существенное снижение динамических характеристик металла шва для исследованных сталей, однако в зоне термического влияния недопустимое снижение ударной вязкости наблюдалось только для стали 09Г2С (линия 5 на рис. 46).

В этом же Институте выявлено падение динамической трещиностойкости металла шва и зоны термического влияния трубных сталей в

условиях низких температур. В ходе исследований определялись ударная вязкость, динамическая трещиностойкость и динамический коэффициент интенсивности напряжений сварных соединений стыков труб газопровода диаметром 720 мм из стали 13Г1С-У и сварных соединений листовой стали 09Г2С.

Образцы зон сварных соединений (МШ – металл шва, ЗТВ – зона термического влияния, ОМ – основной металл) сталей 13Г1С-У и 09Г2С были испытаны на инструментированном маятниковом копре «Amsler RKP450» фирмы Zwick/Roell при температурах +20, -20, -40, -60 °C (рис. 46).



**Рис. 47.** Характерные графики испытаний на ударную вязкость образцов при различных температурах, °С: *a* – 20; *б* – –20; *в* – –40; *г* – –60.

Исходя из полученных осциллограмм разрушения образцов в зависимости от температуры испытания выявлено, что на ниспадающей ветви появляются «срывы» нагрузки. Высота

этих срывов увеличивается при снижении температуры испытания, а природа их связана со стартом, распространением и остановкой хрупкой трещины (рис. 47).