Особенности процесса карбидообразования в мартенситных сталях на основе системы 13Cr

Долгач Егор

Инженер научного проекта НИЛ «ГНМ»,
аспирант кафедры ПИШ МАСТ университета МИСИС

Место проведения: г. Самара

Дата проведения: 3 сентября 2026 г.

Низкая стойкость инструмента при прошивке мартенситных хромистых сталей



Прошивной стан



Износ носика оправки после прошивки

≈100 средняя стойкость при прошивке углерод. сталей

≈15 средняя стойкость при прошивке сталей типа 13Cr

Причины критически низкой стойкости инструмента при прошивке сталей семейства 13Cr однозначно не установлены.

Проблема ограничение возможности целенаправленного повышения стойкости оправок.

Возможности управления свойствами стали 20Х13 термической обработкой ограничены

МИСИС УНИВЕРСИТЕТ

1 Прочность

Достигнута группа прочности L80; дальнейшее повышение уровня прочности только за счет изменения режимов ТО ограничено.

Согласно API 5CT

2 Хладостойкость

Ударная вязкость KCV^{-60} остается на относительно низком уровне, что ограничивает хладостойкость стали при отрицательных температурах.

$KCV^{-60} \approx 40$ Дж/см²

3 Микроструктура

Повышение температуры аустенитизации способствует росту аустенитного зерна.

$T_{закалки}$: 1030–1040 °C → 1000 °C
*$d_{ср}$ зерна: ≈50 мкм → ≈15 мкм**

Вывод возможности получения требуемого комплекса прочности, хладостойкости и структурной стабильности 20Х13 только за счет изменения режимов ТО ограничены

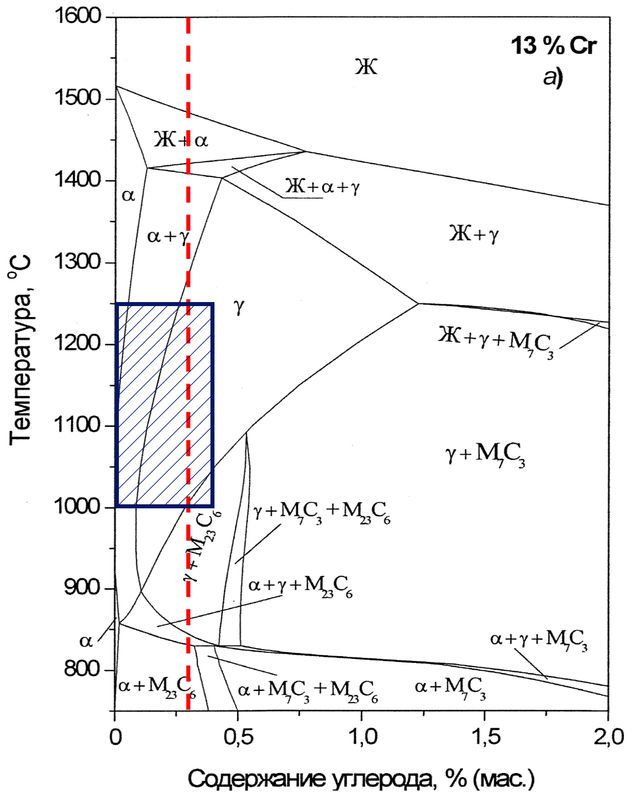
* Лаев К.А. – Влияние легирования и термической обработки на структуру и свойства коррозионностойких высокохромистых сталей мартенситного и супер мартенситного классов для изготовления труб нефтегазового сортамента

О причине низкой стойкости стойкость прошивных оправок при получении бесшовных труб из стали 20Х13-Ш

МИСИС УНИВЕРСИТЕТ

Химический состав лабораторной плавки

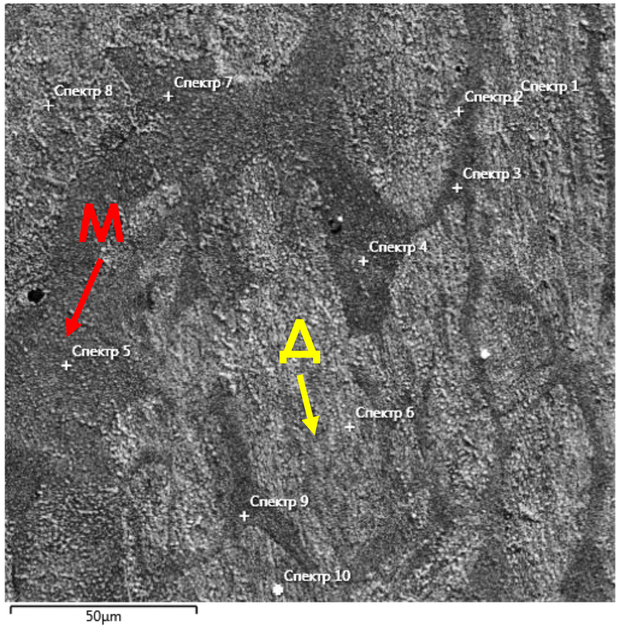
C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu
0,26	0,23	0,61	0,006	0,007	13,71	0,06	0,26	0,03



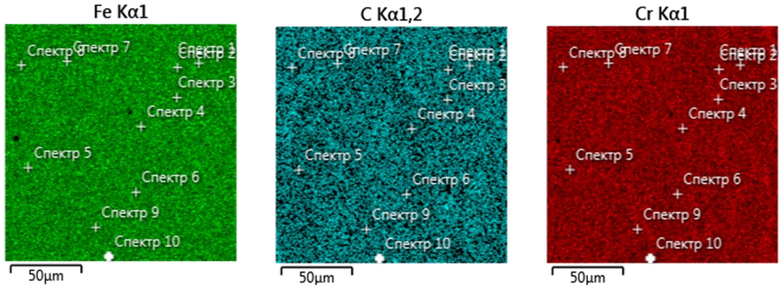
Параметры процесса структурообразования

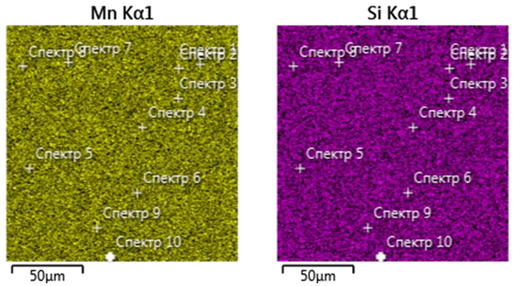
Анализируемые параметры процесса кристаллизации и последующего охлаждения	Температура, °C
Температура ликвидуса $t_Л$, °C	1485
Температура перитектической реакции $t_{ПР}$, °C	1430
Температура солидуса t_C, °C	1410
Интервал трансформации $\delta_{Fe} \rightarrow \gamma_{Fe}$ $\Delta_{\delta\rightarrow\gamma}$, °C	1410 –1300
Интервал существования высокотемпературного гомогенного аустенита, $\Delta\gamma_{Fe}$, °C	1300 –1000
Температура выделения карбидных фаз $t_{КФ}$, °C	1000 и далее при охлаждении
Температура начала мартенситного превращения, Мн, °C	275 (по формуле А. Кульмбурга)*

Особенности микроликвации в литой стали 20Х13-Ш



ЭДС картирование по элементам

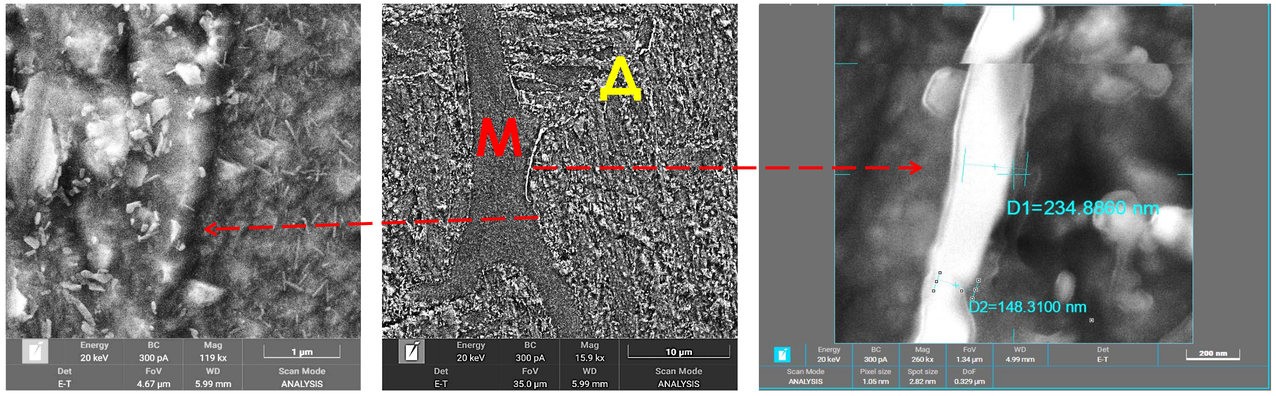


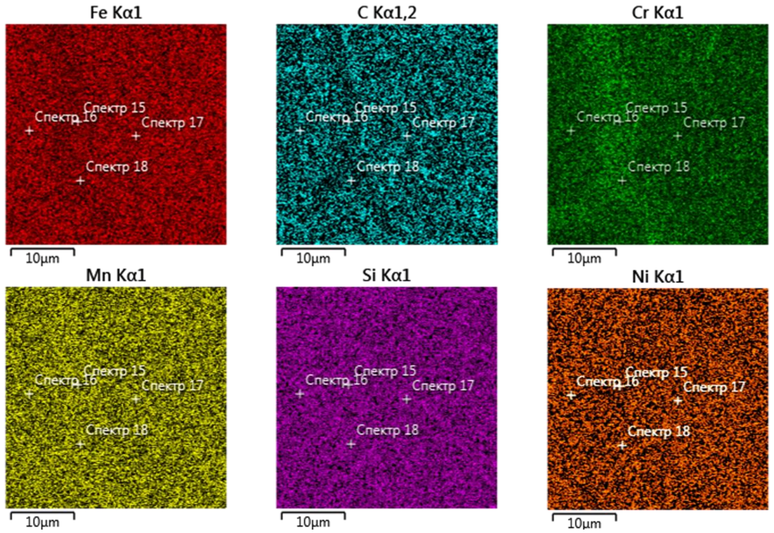


Содержание легирующих элементов в точках набора импульсов, C^i, % масс

Элемент	Зоны анализа		Характер остаточной микроликвации
	Области дендритных кристаллов (Д)	**Междендритная область (М)**	
	спектры 8, 6, 10 16, 17	спектры 7, 4, 5, 3, 2, 1, 9, 15, 18	
Cr	11,74 ± 0,20	13,91 ± 0,50	прямая
Si	0,38 ± 0,10	0,84 ± 0,20	прямая
Mn	0,34 ± 0,05	0,44 ± 0,08	прямая

Высокоугловая граница микроликвационных зон «дендритный кристалл Д – междендритное пространство М»





Расширение возможностей управления структурой и свойствами 20Х13 за счет дополнительного легирования

МИСИС УНИВЕРСИТЕТ

Исходная марка
20Х13
Базовая коррозионностойкая хромистая сталь

→

Модифицированный сплав
20Х13Н3М + Nb
Дополнительное легирование Ni, Mo + микролегирование Nb

Никель (Ni)

- Стабилизация аустенитной фазы
- Существенное повышение ударной вязкости

+

Молибден (Mo)

- Повышение прокаливаемости
- Увеличение стойкости к отпуску

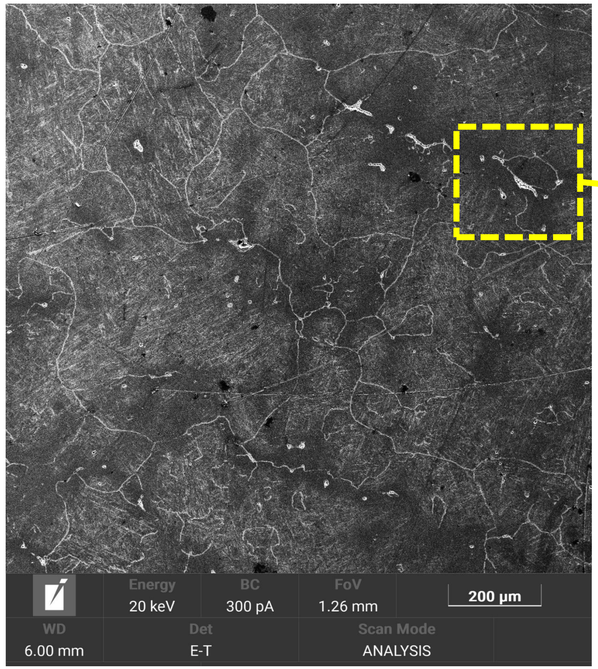
+

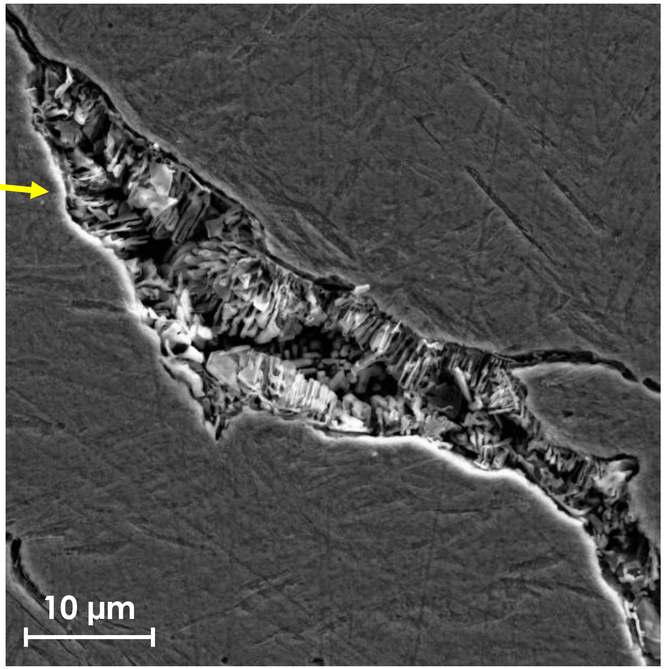
Ниобий (Nb)

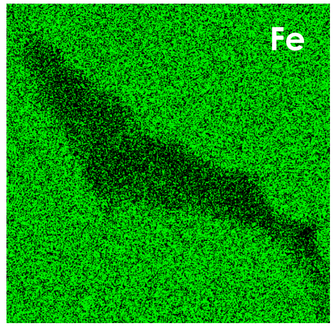
- Образование стабильных карбидов NbC
- Сдерживание роста зерна аустенита
- Дисперсионное упрочнение структуры

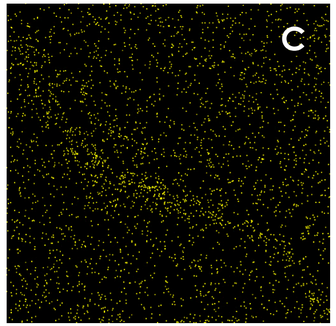
Вывод дополнительное легирование расширяет возможности управления структурой и свойствами стали, однако требует учета его влияния на процессы карбидообразования

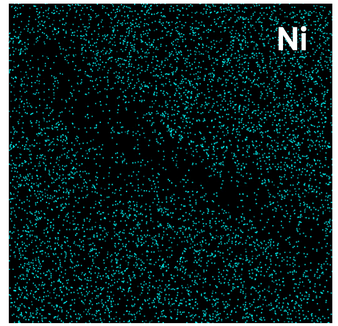
Легирование Ni и Mo (20Х13Н3М) не исключает формирования карбидных фаз микронного размера богатых хромом (эвтектик Cr_7C_3)

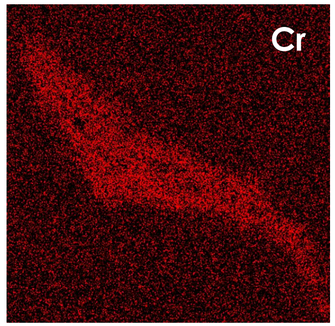


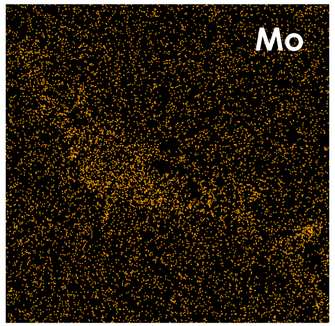












Вывод изменение легирования не устраняет появления карбидных фаз микронного размера, затвердевающих при эвтектической реакции на завершающем этапе кристаллизации.

Выводы

1) Возможности управления структурой и свойствами стали 20Х13 только посредством термической обработки ограничены; применение дополнительного легирования не исключает формирования крупных карбидных фаз.
2) При кристаллизации стали 20Х13 формируется дендритная химическая неоднородность с локальным перераспределением легирующих элементов между дендритными и междендритными областями.
3) В междендритных областях выявлены карбидные фазы микронного размера и эвтектической морфологии, что позволяет связать их формирование с ликвационными процессами при затвердевании.
4) Эвтектические карбиды кристаллизационного происхождения могут рассматриваться как один из факторов, способных влиять на технологичность стали при прошивке; данное предположение требует дальнейшей экспериментальной проверки.

МИСИС
УНИВЕРСИТЕТ

Спасибо за внимание!

Работа была выполнена в ходе программы академической мобильности, проводимой в рамках федерального проекта «Опережающая подготовка и переподготовка квалифицированных кадров по направлению новых материалов и химии» национального проекта «Новые материалы и химия».

Выражаю благодарность сотрудникам коллектива:

- технологического бюро по электрометаллургии АО «Русполимет»;
- НИЛ «ГНМ» НИТУ МИСИС.

Контакты:
e-mail: edolgach@misis.ru