ТОЛЬЯТТИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Коррозионно-механическое разрушение низкоуглеродистого бейнита.

Выбойщик М.А.
vma63vma@yandex.ru

г. Тольятти
2023

Введение.

Высокие значения прочности и пластичности трубных сталей обеспечивает использование бейнитных структур.

Сопротивление бейнитных структур коррозионно механическому разрушению практически не изучено.

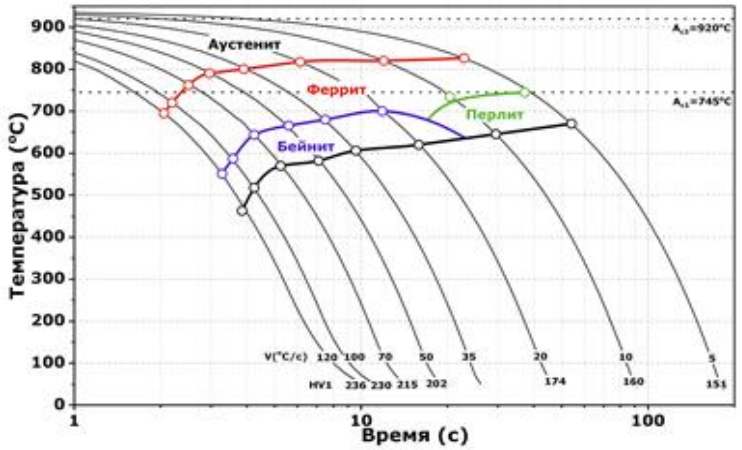
Исследование кинетики разрушения низкоуглеродистых низколегированных сталей в агрессивных нефтепромысловых средах является актуальной задачей.

Цель работы: получить представления о трансформации структурного состояния и изменении коррозионной стойкости и механических свойств реечного бескарбидного бейнита с ростом температуры отпуска.

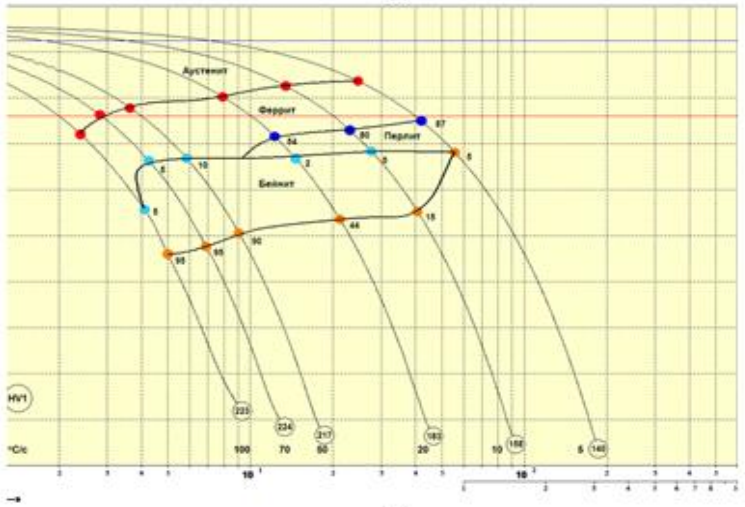
Химический состав исследуемых сталей.

Марка стали	Массовая доля элементов, %											
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	Nb	V	Mo	Al	S	P
08ХФА	0,09	0,20	0,44	0,52	0,12	0,11	0,02	0,088	0,003	0,034	0,002	0,011
08ХМФА	0,05	0,39	0,39	0,70	0,10	0,17	0,011	0,061	0,19	0,057	0,004	0,003
05ХГБ	0,05	0,22	0,71	0,61	0,08	0,18	0,029	0,003	0,01	0,013	0,001	0,006

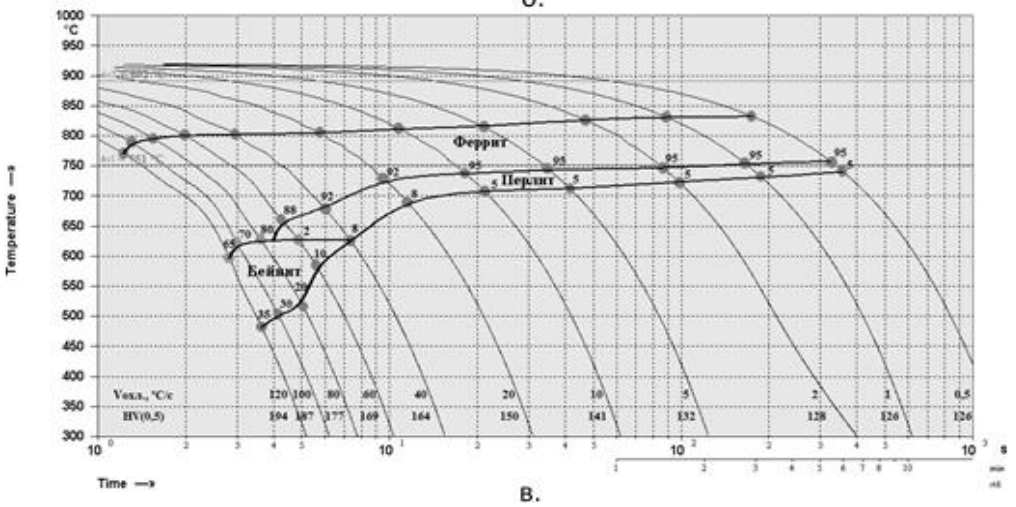
Термокинетические диаграммы распада переохлаждённого аустенита исследуемых сталей: а-сталь 08ХФА; б-сталь 08ХМФА; в-сталь 05ХГБ



а.

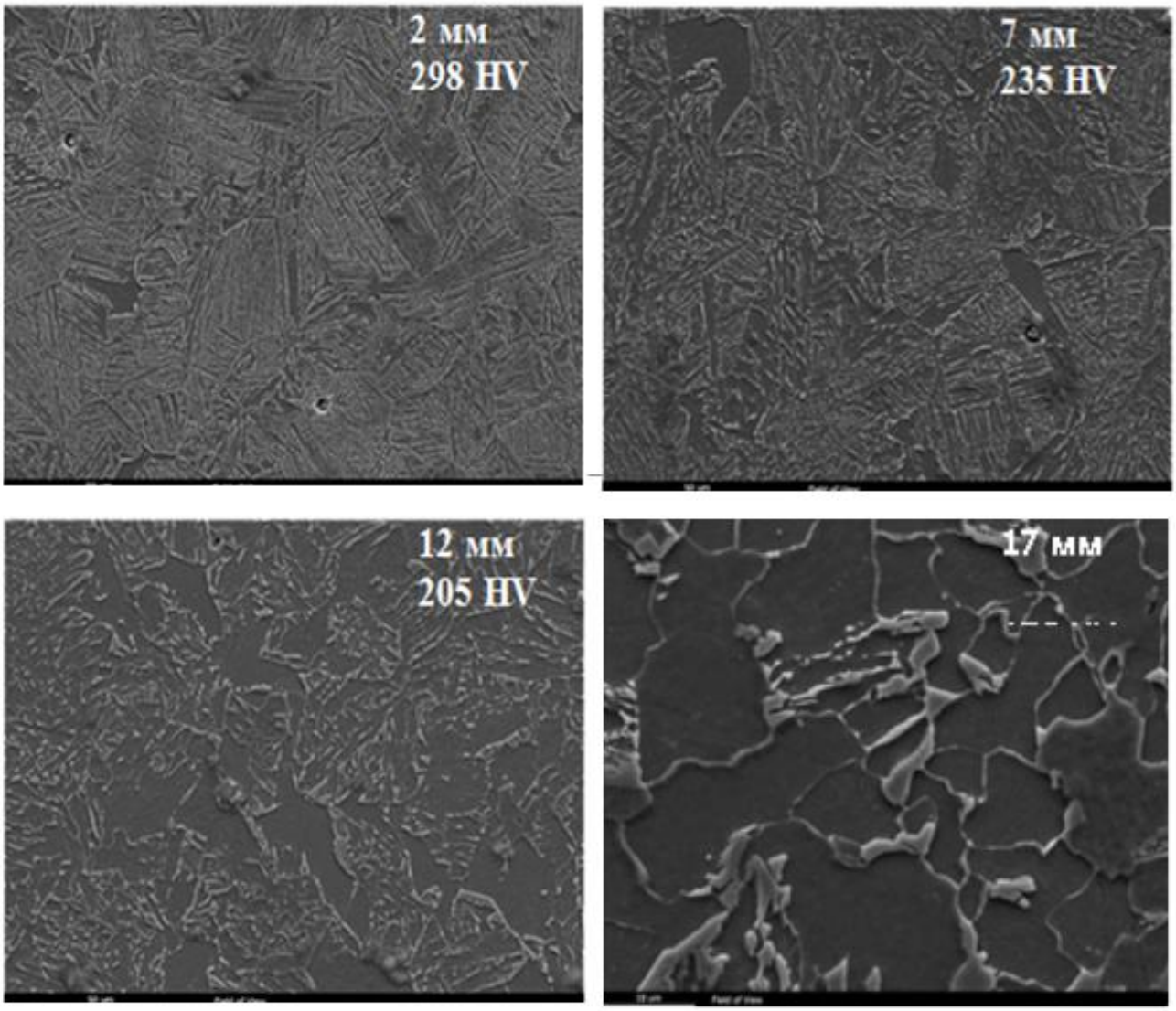


б.

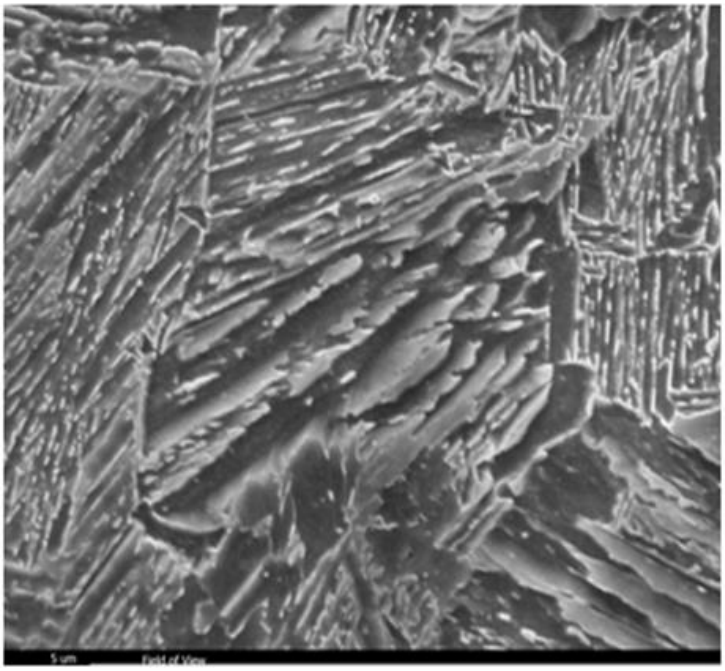


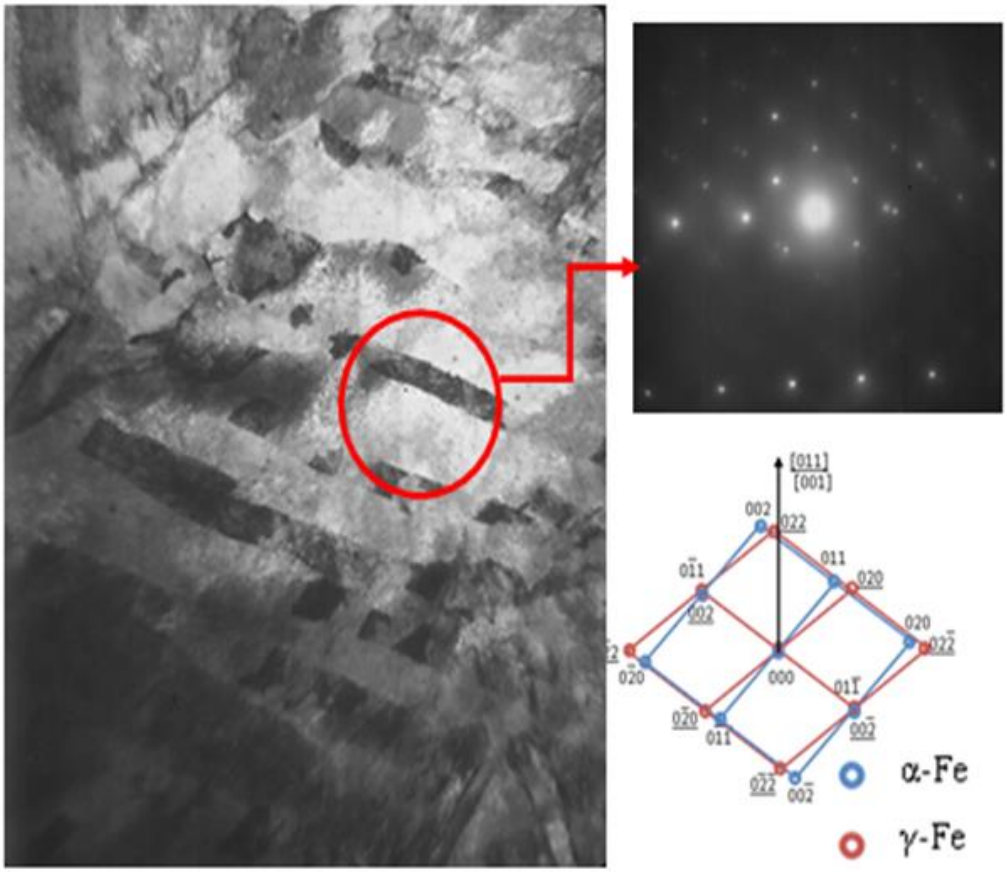
в.

Изменение структуры исследуемых стали 08ХМФА при торцевой закалке.

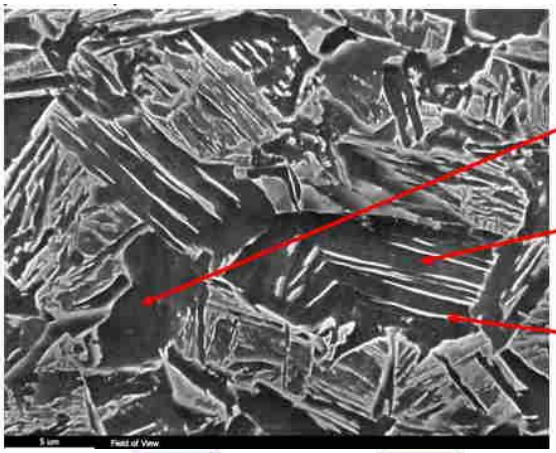


Микроструктура стали 08ХМФА после закалки:
а – СЭМ; б - ПЭМ; в- микродифракция.

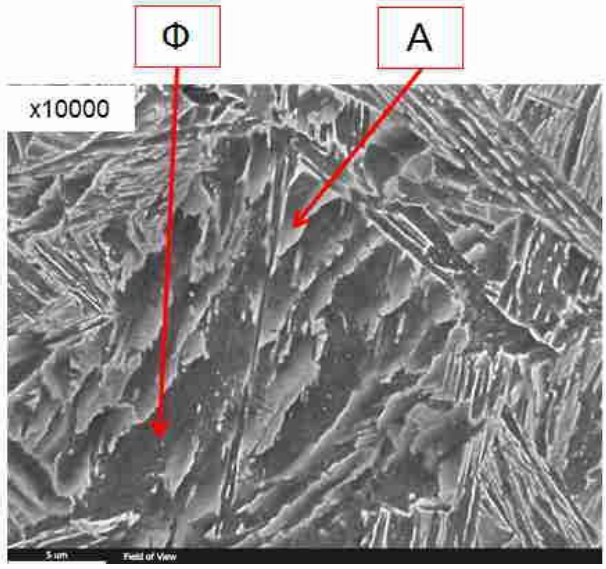




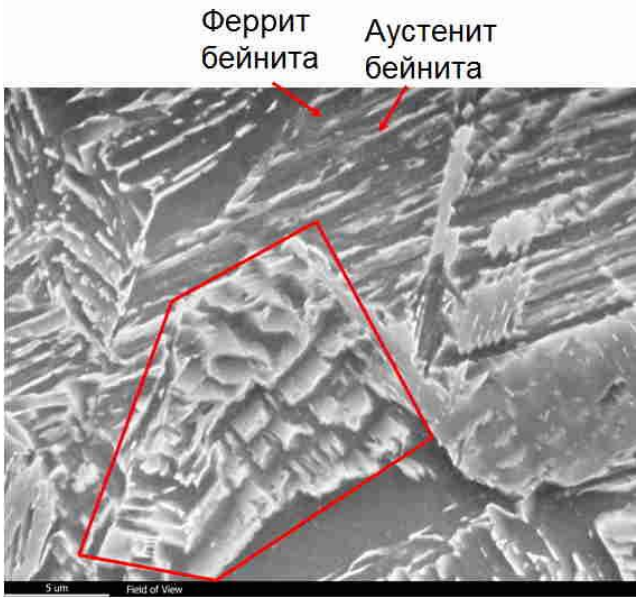
Микроструктура после закалки в воду (СЭМ)



сталь 08ХФА

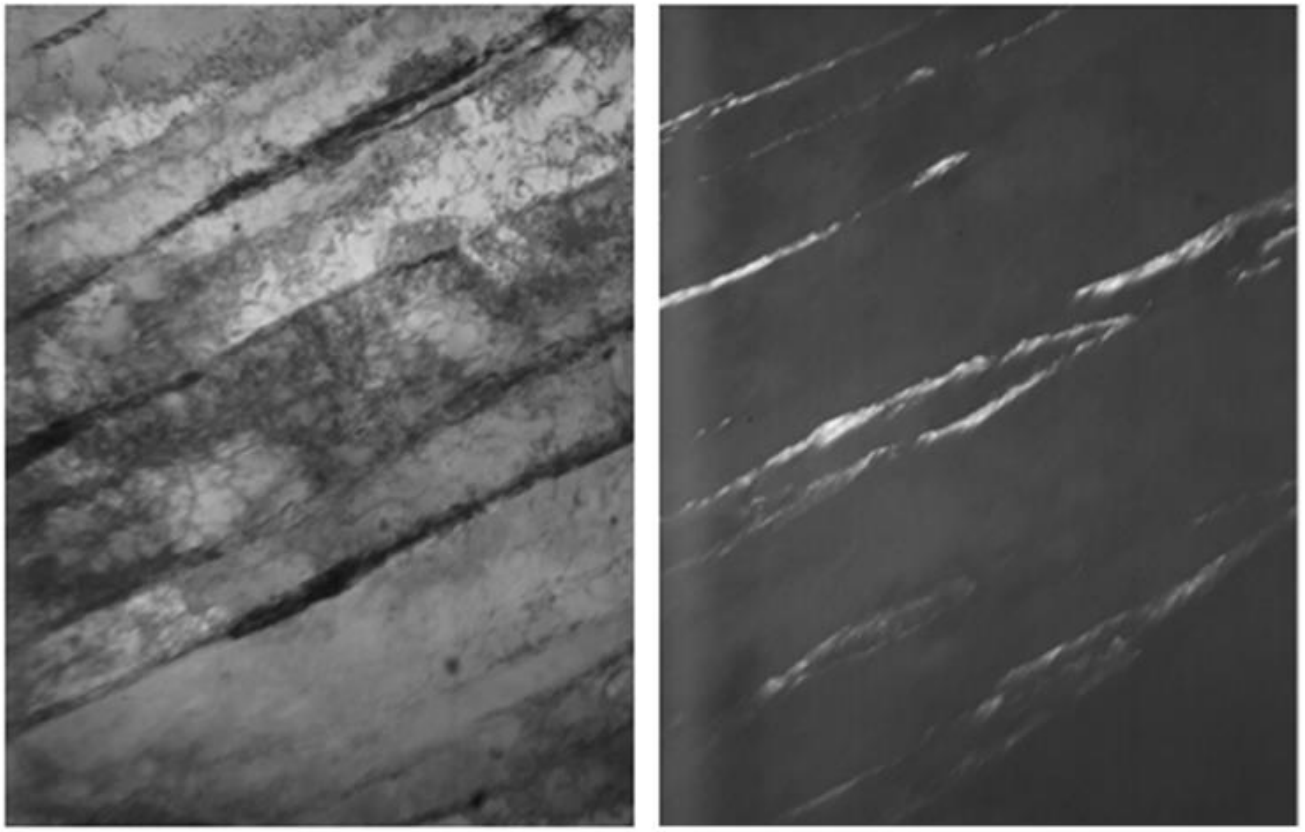


сталь 08ХМФА



сталь 05ХГБ

Микроструктура стали 05ХГБ после закалки в воду с 920 ˚С (ПЭМ):
а - светлопольное изображение;
б - темнопольное изображение;

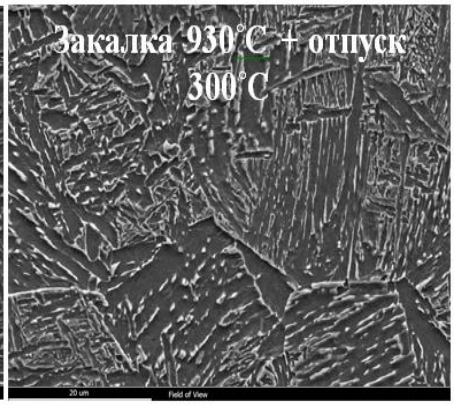


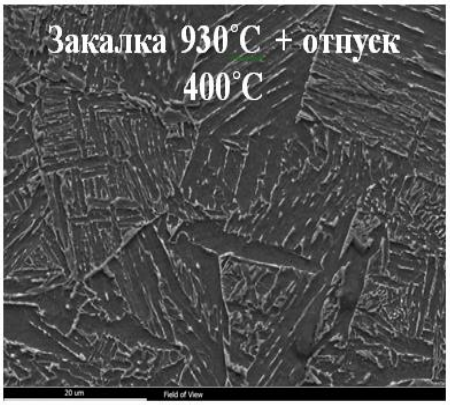
а) х 18000

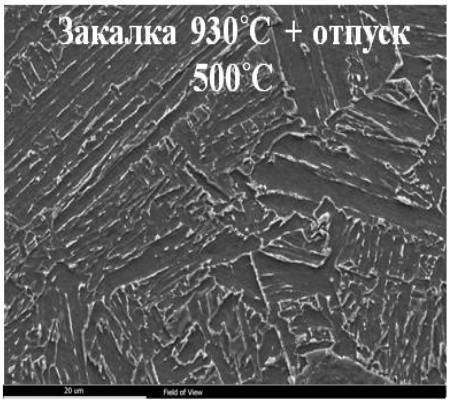
б) х 18000

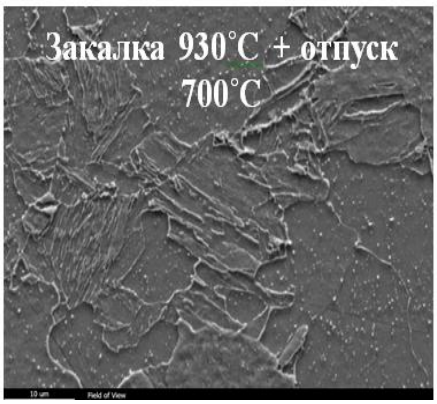
Изменение структуры стали с ростом температуры отпуска (СЭМ).











Изменение структуры стали 08ХМФА с ростом температуры отпуска (ПЭМ): а- отпуск 300^{0}С; Б- отпуск 400^{0}С; аВ- отпуск 500^{0}С; Г- отпуск 600^{0}С.



x15000

а.



x9000

б.



x13000

в.



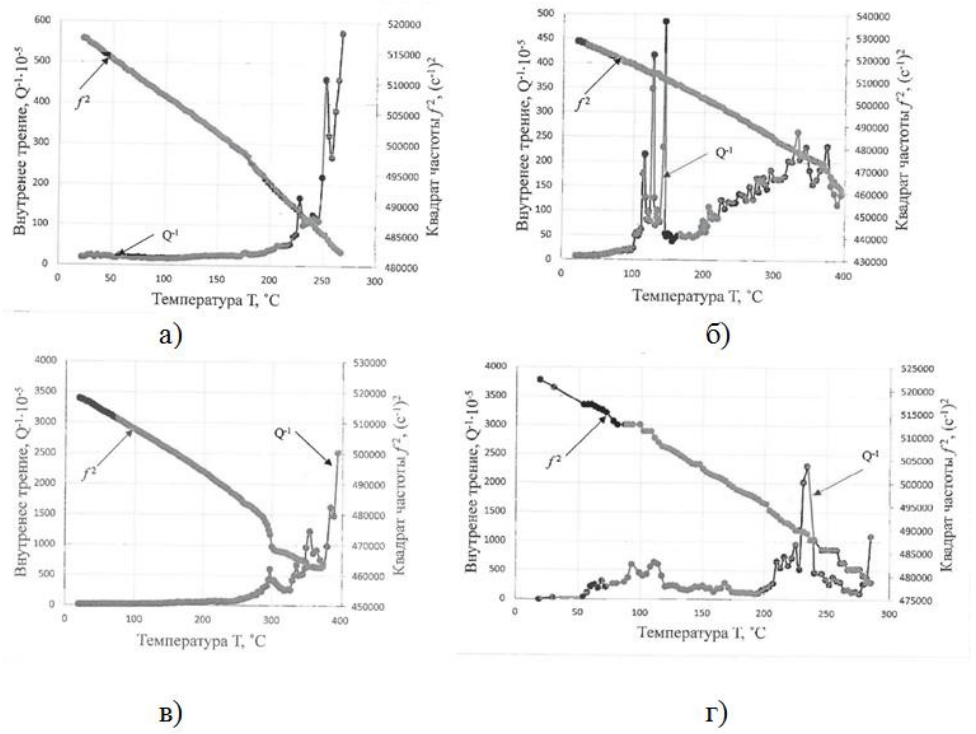
x18000

г.

Изменение механических свойств, остаточных напряжений и плотности дислокаций сталей 08ХФА, 08ХМФА, 05ХГБ с ростом температуры отпуска.

Марка стали	Режим термообработки	$\sigma_в$, МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ, %	KCV -50 Дж/см^2	Остаточн. напр. 3-го рода, МПа	Плотность дисл., $\rho*10^{14}$, м$^{-2}$
08ХФА	Закалка 930˚С	830	740	22,0	230 (100%)	300	5,1
	930˚С + отпуск 200˚С	820	710	19,0	240 (100%)	225	4,4
	930˚С + отпуск 300˚С	810	730	17,5	240 (100%)	220	4,1
	930˚С + отпуск 400˚С	785	690	18,0	252 (100%)	140	5,1
	930˚С + отпуск 500˚С	710	645	18,5	260 (100%)	91	4,7
	930˚С + отпуск 600˚С	680	605	22,0	260 (100%)	71	5,2
	930˚С + отпуск 700˚С	615	535	25,0	-	64	2,8
08ХМФА	Закалка 930˚С	775	700	19,5	180 (80%)	190	4,0
	930˚С + отпуск 200˚С	780	650	19,0	215 (100%)	200	4,7
	930˚С + отпуск 300˚С	785	660	18,0	200 (100%)	180	4,5
	930˚С + отпуск 400˚С	760	650	19,5	215 (100%)	120	4,2
	930˚С + отпуск 500˚С	710	635	20,0	235 (100%)	-	-
	930˚С + отпуск 600˚С	685	605	21,5	250 (100%)	86	3,4
	930˚С + отпуск 700˚С	590	520	23,5	270 (100%)	63	3,6
05ХГБ	Закалка 920˚С	605	490	29,0	290 (100%)	570	5,4
	920˚С + отпуск 200˚С	-	-	-	-	-	-
	920˚С + отпуск 300˚С	590	500	29,0	315 (100%)	460	4,9
	920˚С + отпуск 400˚С	560	470	27,0	330 (100%)	215	4,7
	920˚С + отпуск 500˚С	530	430	28,0	314 (100%)	90	4,5
	920˚С + отпуск 600˚С	510	420	27,0	325 (100%)	45	4,0
	920˚С + отпуск 700˚С	-	-	-	-	-	-
Группа прочности К52		510÷ 630	≥353	≥20	≥58,8	-	-

Температурные зависимости внутреннего трения и квадрата резонансной частоты стали 08ХФА после закалки и отпуска : а – закалка 920˚С, б – закалка + отпуск 200˚С, в – закалка + отпуск 400˚С, г – закалка + отпуск 600˚С



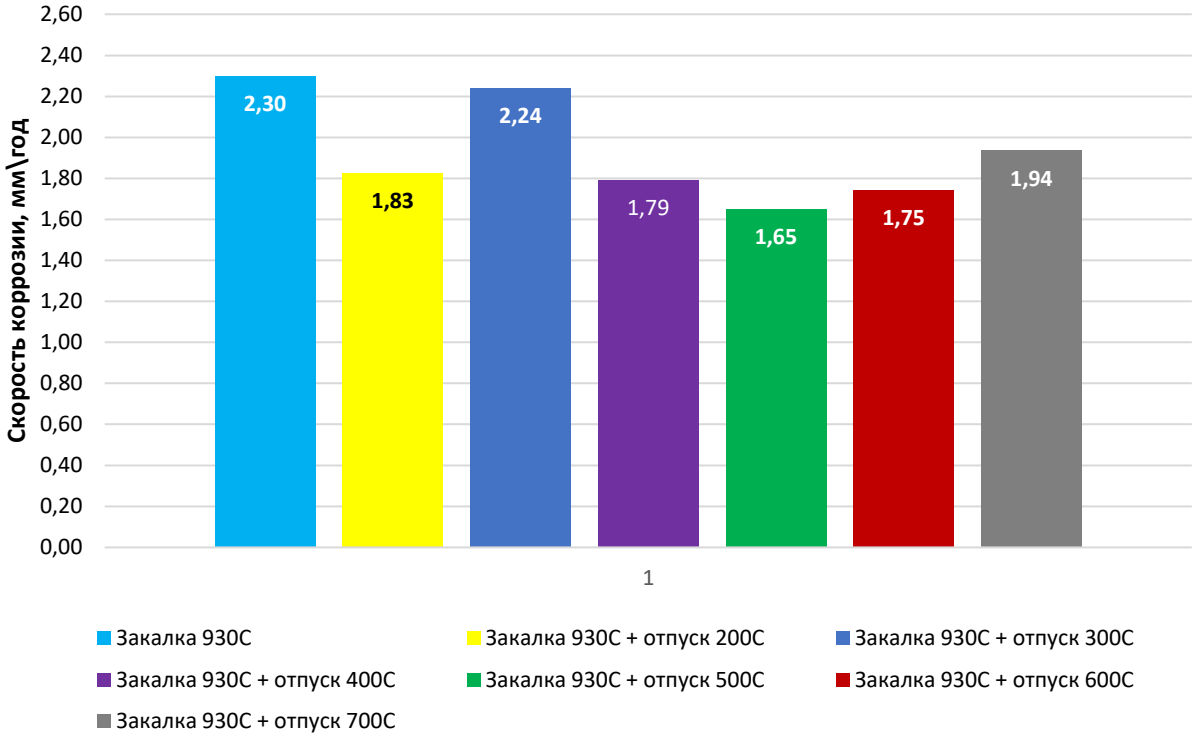
№	Режим термообработки	Распределение углерода		
		В объеме		На дислокациях
		Высота макс. Снука, $Q^{-1}max\cdot10^{-5}$	Концентрация углерода, весс, %	Высота макс. Снука-Кестера, $Q^{-1}max\cdot10^{-5}$
1	Закалка 930˚С	-	<0,003	350
2	Закалка 930˚С + отпуск 200˚С	420	0,017	150
3	Закалка 930˚С + отпуск 300˚С	-	<0,003	500
4	Закалка 930˚С + отпуск 400˚С	-	<0,003	-
5	Закалка 930˚С + отпуск 500˚С	-	<0,003	200
6	Закалка 930˚С + отпуск 600˚С	292	0,0117	1500
7	Закалка 930˚С + отпуск 700˚С	-	-	-
8	Нормализация 940˚С	-	-	-

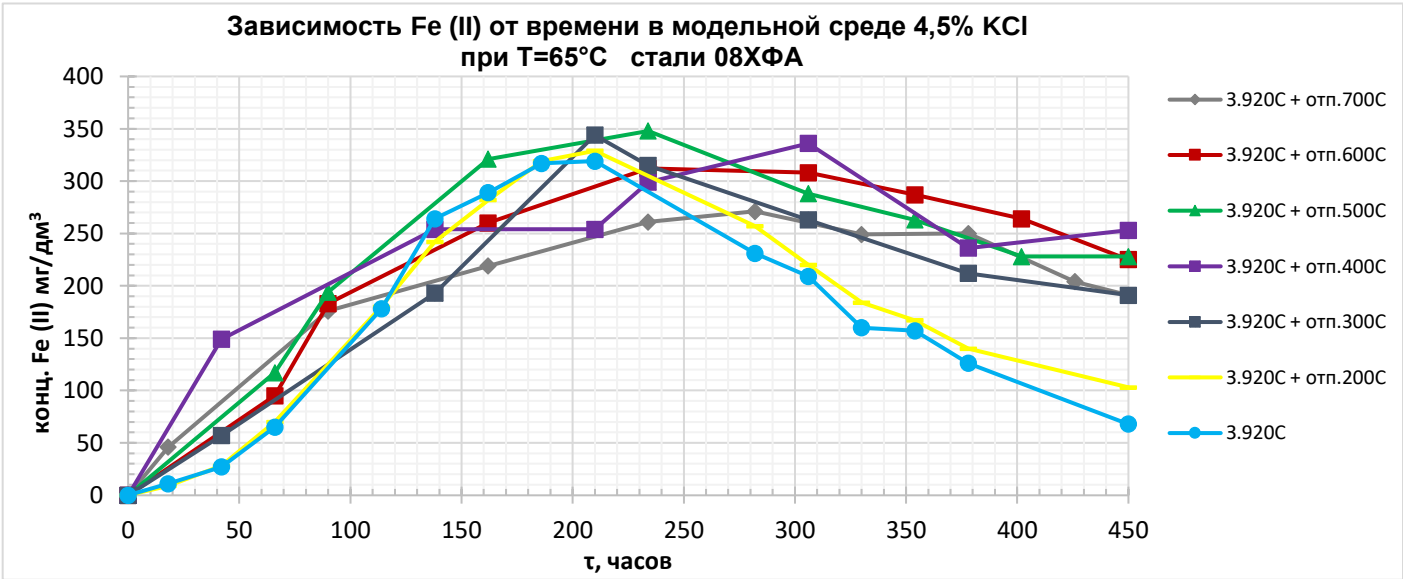
Изменение распределения углерода в стали 08ХФА с ростом температуры отпуска.

Изменение коррозионной стойкости сталей 08ХФА, 08ХМФА, 05ХГБ с ростом температуры отпуска.

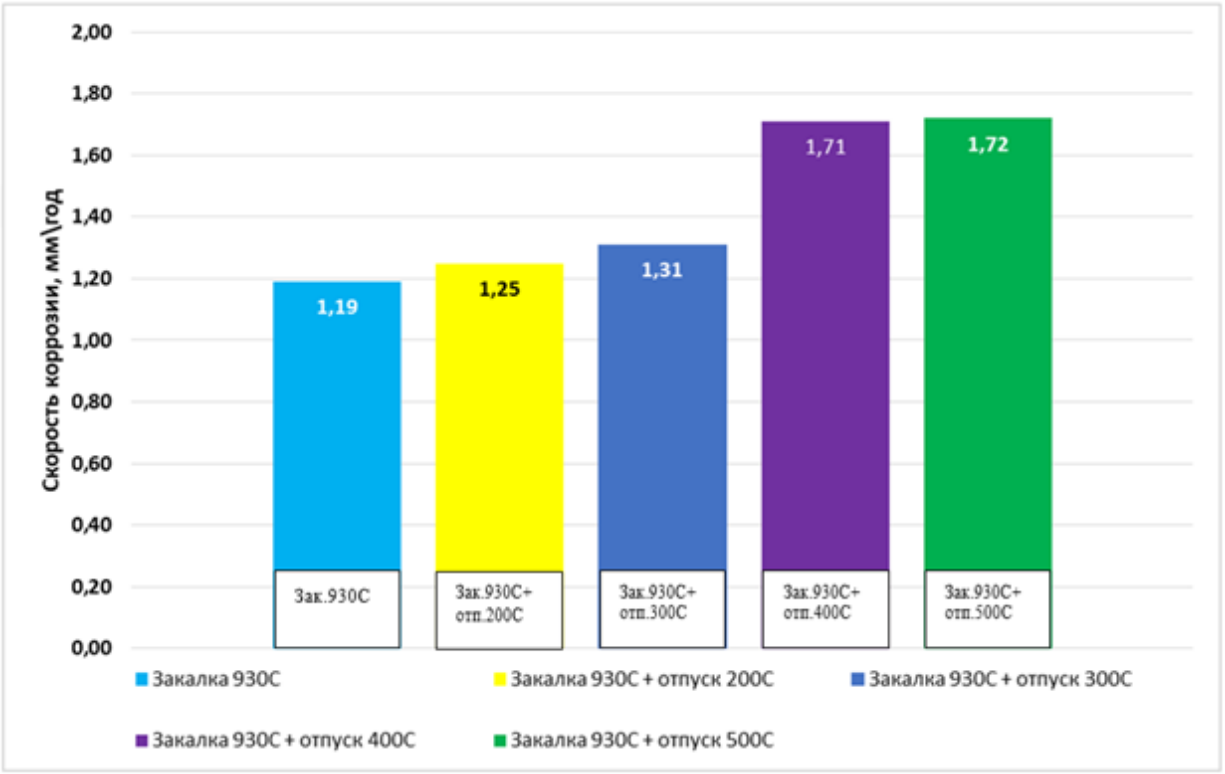
Марка стали	Режим термообработки	ВР		СКРН		V_{CO_2} мм/год
		CLR, %	CTR, %	σ_{th} от σ_τ, %	K1SSC, МПа/м$^{1/2}$	
08ХФА	Закалка 930˚С	0	0	75	-	2,3
	Закалка 930˚С + отпуск 200˚С	0	0	75	-	1,8
	Закалка 930˚С + отпуск 300˚С	0	0	75	30,6	2,25
	Закалка 930˚С + отпуск 400˚С	0	0	75	31,0	1,8
	Закалка 930˚С + отпуск 500˚С	0	0	75	56,9	1,65
	Закалка 930˚С + отпуск 600˚С	0	0	75	58,4	1,75
	Закалка 930˚С + отпуск 700˚С	0	0	75	61,8	1,9
08ХМФА	Закалка 930˚С	0	0	75	-	1,2
	Закалка 930˚С + отпуск 200˚С	0	0	75	-	1,25
	Закалка 930˚С + отпуск 300˚С	0	0	75	-	1,3
	Закалка 930˚С + отпуск 400˚С	0	0	75	-	1,6
	Закалка 930˚С + отпуск 500˚С	0	0	75	-	1,7
	Закалка 930˚С + отпуск 600˚С	0	0	75	-	1,4
	Закалка 930˚С + отпуск 700˚С	0	0	75	-	1,4
05ХГБ	Закалка 930˚С	0	0	70	-	2,07
	Закалка 930˚С + отпуск 200˚С	-	-	-	-	-
	Закалка 930˚С + отпуск 300˚С	0	0	70	-	2,07
	Закалка 930˚С + отпуск 400˚С	0	0	70	-	1,93
	Закалка 930˚С + отпуск 500˚С	0	0	70	-	1,93
	Закалка 930˚С + отпуск 600˚С	0	0	70	-	1,40
	Закалка 930˚С + отпуск 700˚С	-	-	-	-	-

Зависимость коррозионной стойкости стали 08ХФА от температуры отпуска

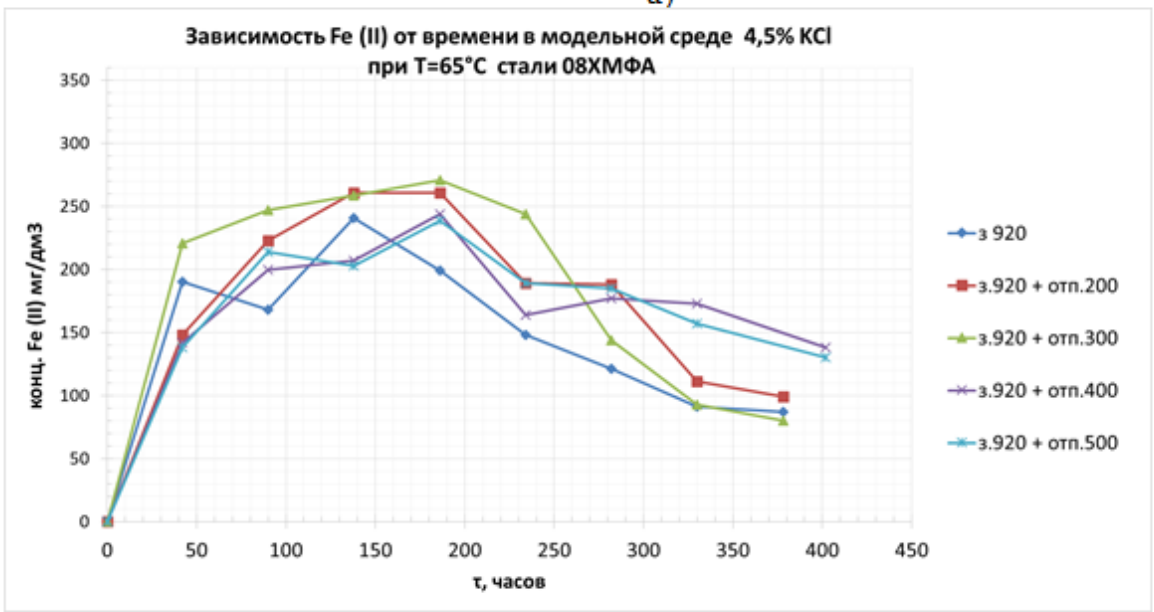




Зависимость скорости коррозии от температуры отпуска Углекислотная коррозия стали 08ХМФА: а –скорость коррозии, б – зависимость концентрации Fe^{+2}, в модельной среде от времени испытаний.



а)

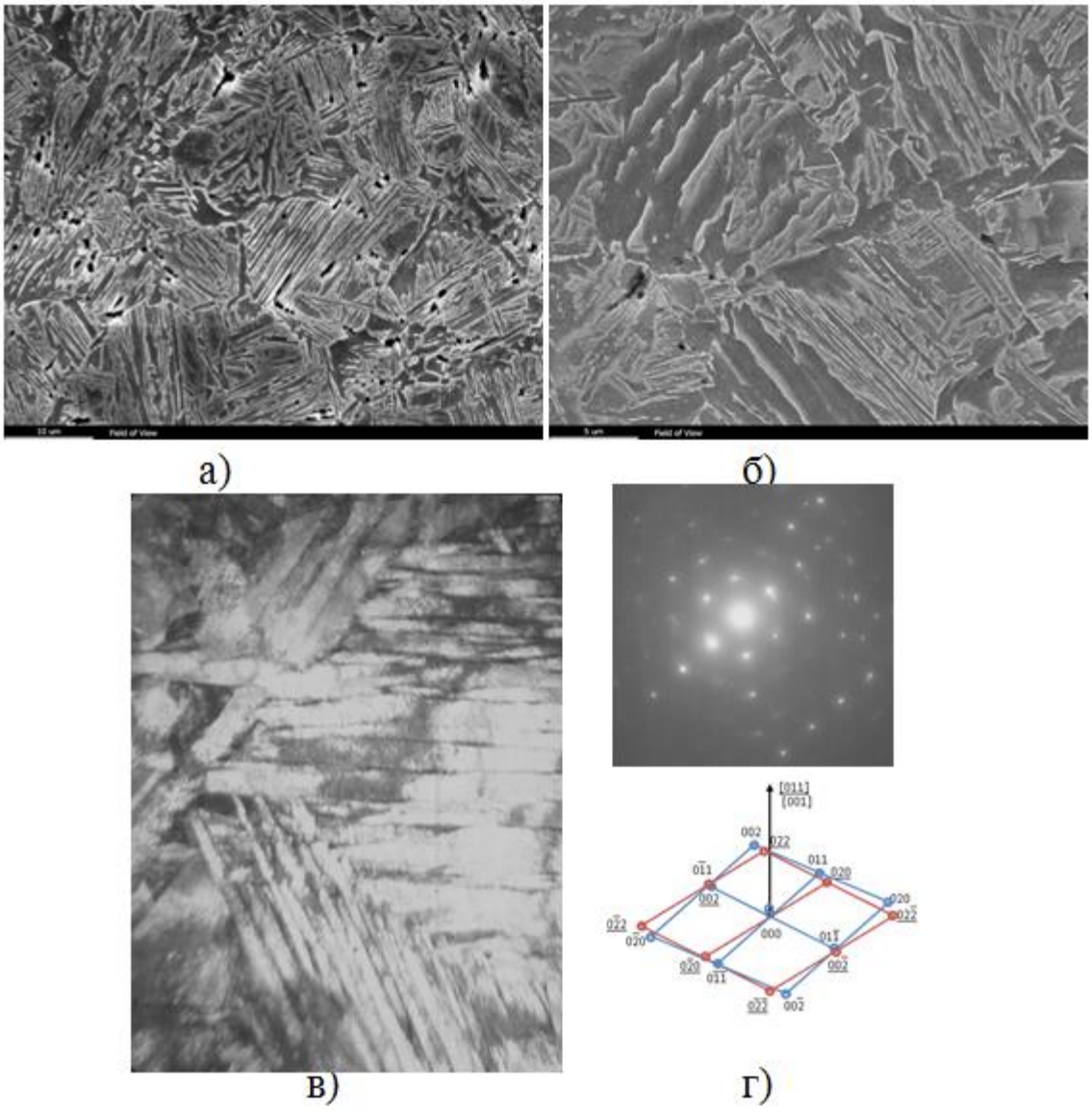


б)

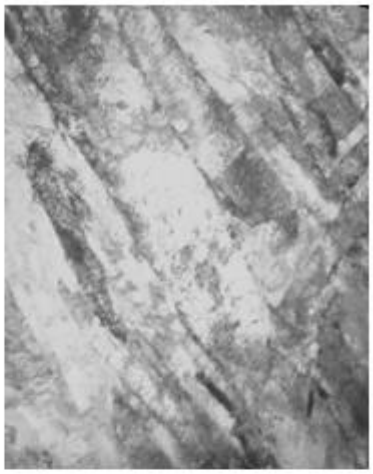
Выводы

1. Распад тонких пластин (прослоек) непревращенного аустенита в структурах реечного бескарбидного бейнита происходит при низком отпуске (200 ˚С).
2. Стойкость к углекислотной коррозии реечного бескарбидного малоуглеродистого бейнита (стали 08ХФА, 08ХМФА и 05ХГБ) мало зависит от температуры отпуска.
3. Закалка и средний отпуск в низкоуглеродистых низколегированных сталях с бейнитной закаливаемостью формируют структурное состояние, обеспечивающее сочетание высоких механических свойств и высокой коррозионной стойкости в нефтепромысловых средах.

Структура стали 08ХФА после закалки с 930˚С в воду. а, б – сканирующая электронная микроскопия; в - электронная микроскопия на просвет (светлопольное изображение, увеличение х11000), г – микродифракция.



Изменение структуры стали 08ХФА в процессе отпуска (электронная микроскопия на просвет).



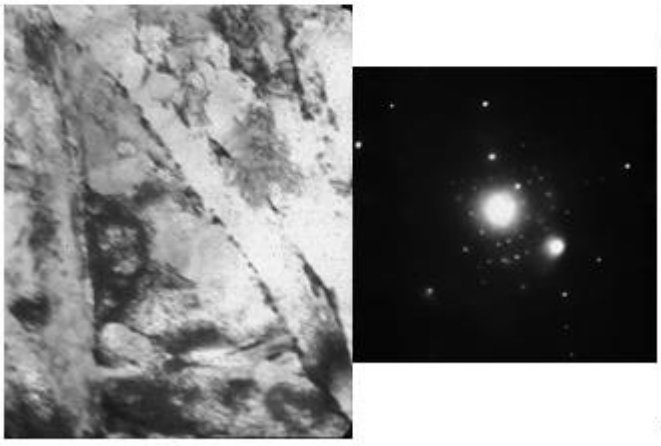
х18000, зак+отп 300^0 С

а)



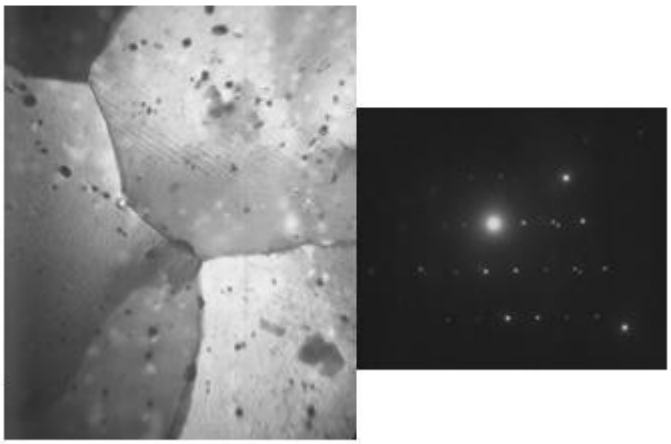
х18000 зак+отп 400^0 С

б)



х24000, зак+отп500^0 С

в)



х8000 зак+отп730^0 С

г)