Лекция №5

Отпуск

Старение

Отпуск закаленной стали
Общая картина процессов отпуска

1. Перераспределение атомов углерода в твердом растворе (мартенсите)
2. Распад мартенсита с образованием областей, обогащенных углеродом, а затем карбидных выделений
3. Превращения остаточного аустенита
4. Выделение дисперсных частиц
5. Рекристаллизация α-фазы
6. Коагуляция карбидов
7. Перераспределение легирующих элементов и примесей.

Перераспределение углерода и процессы подготовки распада мартенсита

Распад мартенсита

ВРЕМЯ ПОЛУРАСПАДА МАРТЕНСИТА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ [34]

t, °C	$\tau_{0,5}$	t, °C	$\tau_{0,5}$
0	340 лет	100	50 мин
20	6,4 года	120	8 мин
40	2,5 мес	140	2,3 мин
60	3 сут	160	45 с
80	7ч 50 мин		

Карбидообразование при отпуске

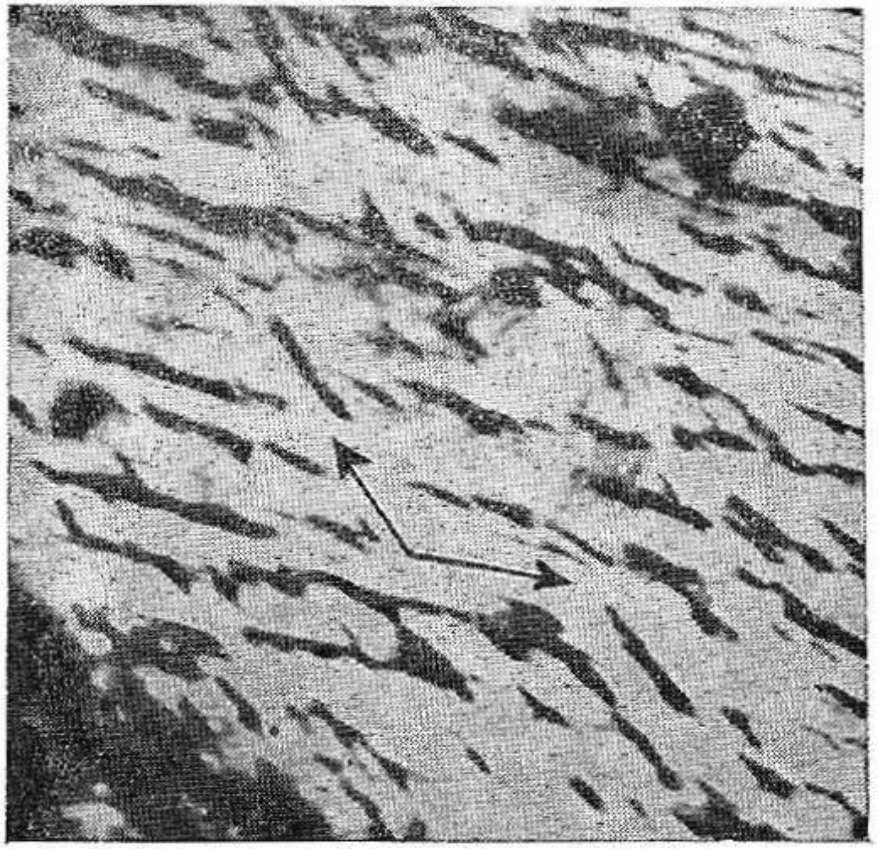


Рис. 25.80. Цементитные выделения двух ориентировок. ×65000 (Э. Р. Кутелия). Сталь 48Х3НМ. Отпуск 3,4 ч при 325 °С

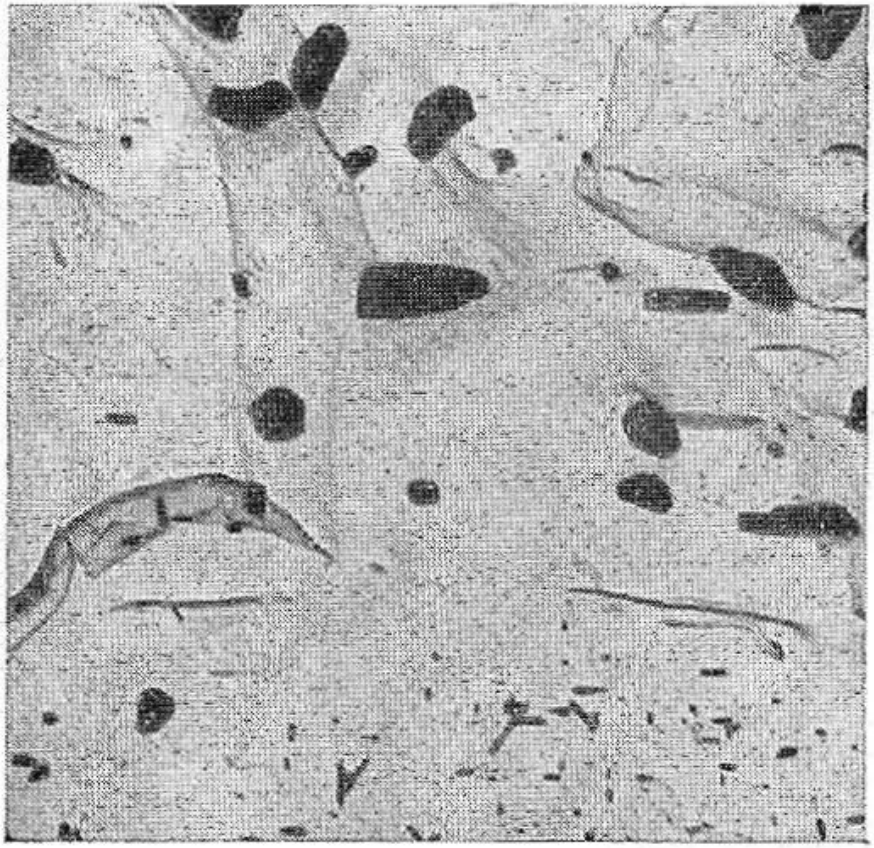


Рис. 25.81. Углеродная реплика с фиксированными карбидными выделениями. ×8000. Сталь 20Х2Н2. Отпуск 1 ч при 650 °С+300 ч при 500 °С

Карбидообразование при отпуске

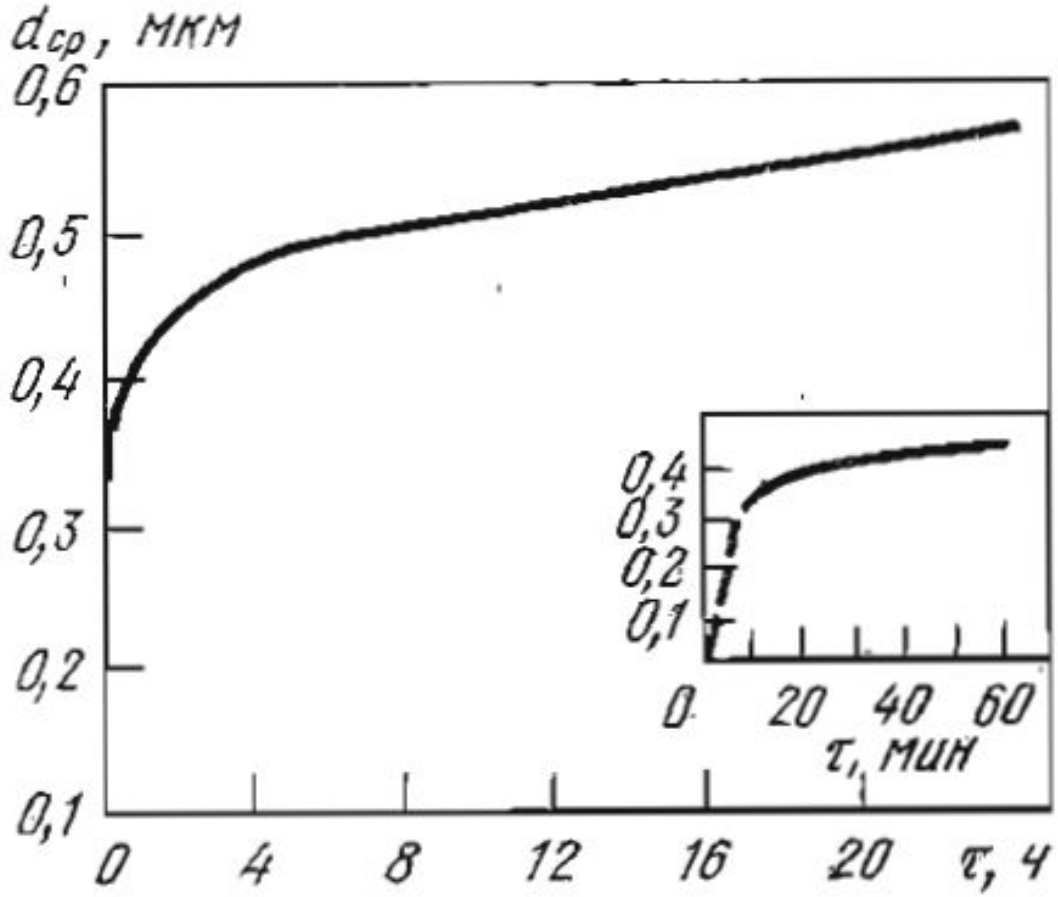
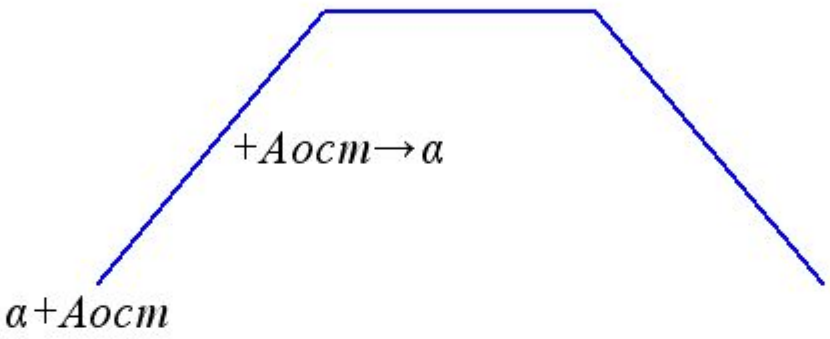
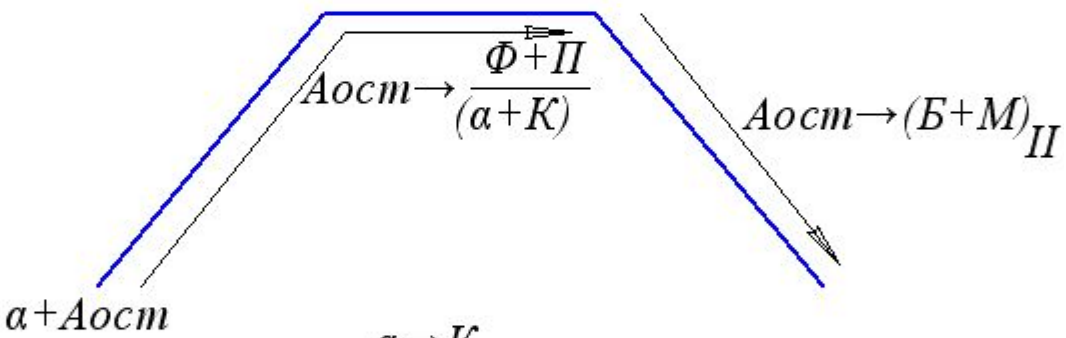


Рис. 25.82. Изменение среднего размера карбидных частиц в процессе отпуска углеродистой (0,4 % С) стали при 630 °С [152]

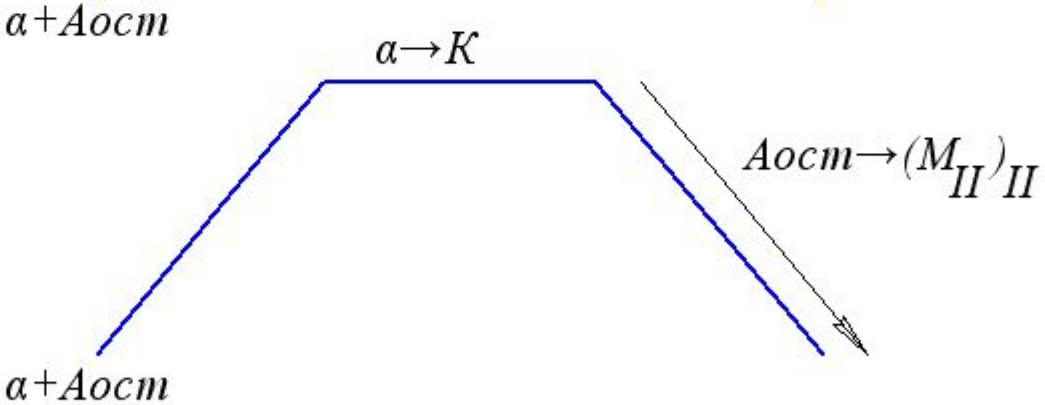
Возможные схемы превращения остаточного аустенита



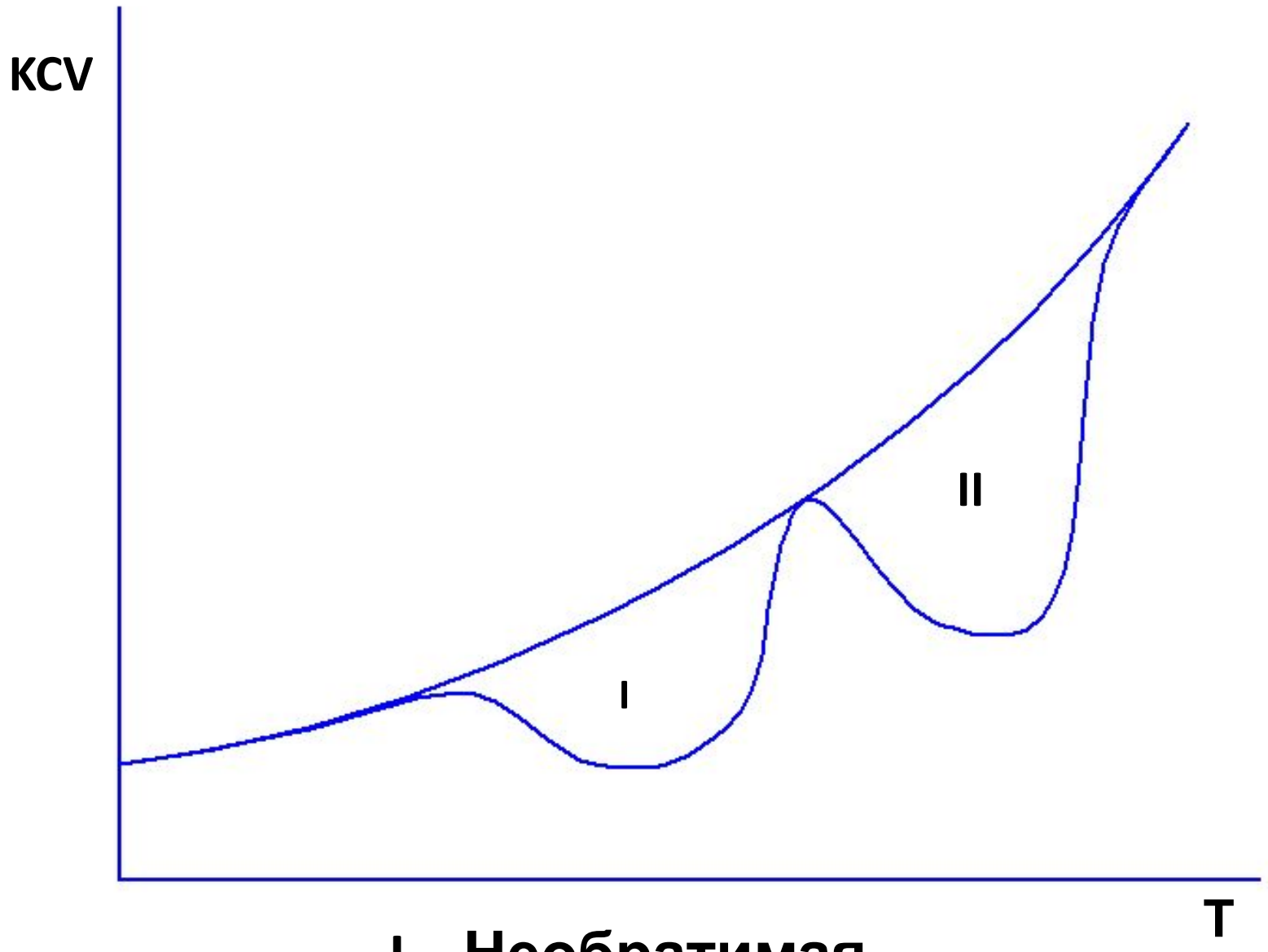
Низколегированные стали



С повышением легирования



С еще большим легированием (Быстрорежующие стали; Карбидного класса типа Х12)



I – Необратимая

II - Обратимая

Явления хрупкости при отпуске

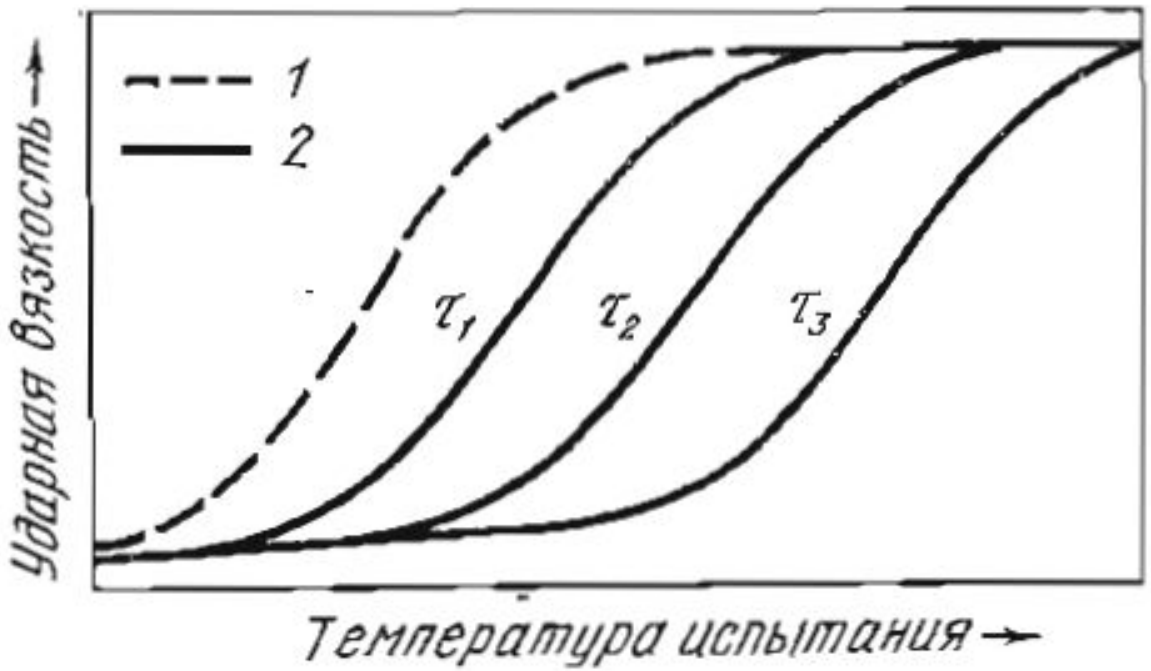


Рис. 25.94. Зависимость ударной вязкости от температуры испытания при развитии отпускной хрупкости:

1 — высокий отпуск с быстрым охлаждением; *2* — то же, с последующей дополнительной выдержкой различной длительности ($\tau_3 > \tau_2 > \tau_1$) при температуре развития хрупкости

Явления хрупкости при отпуске

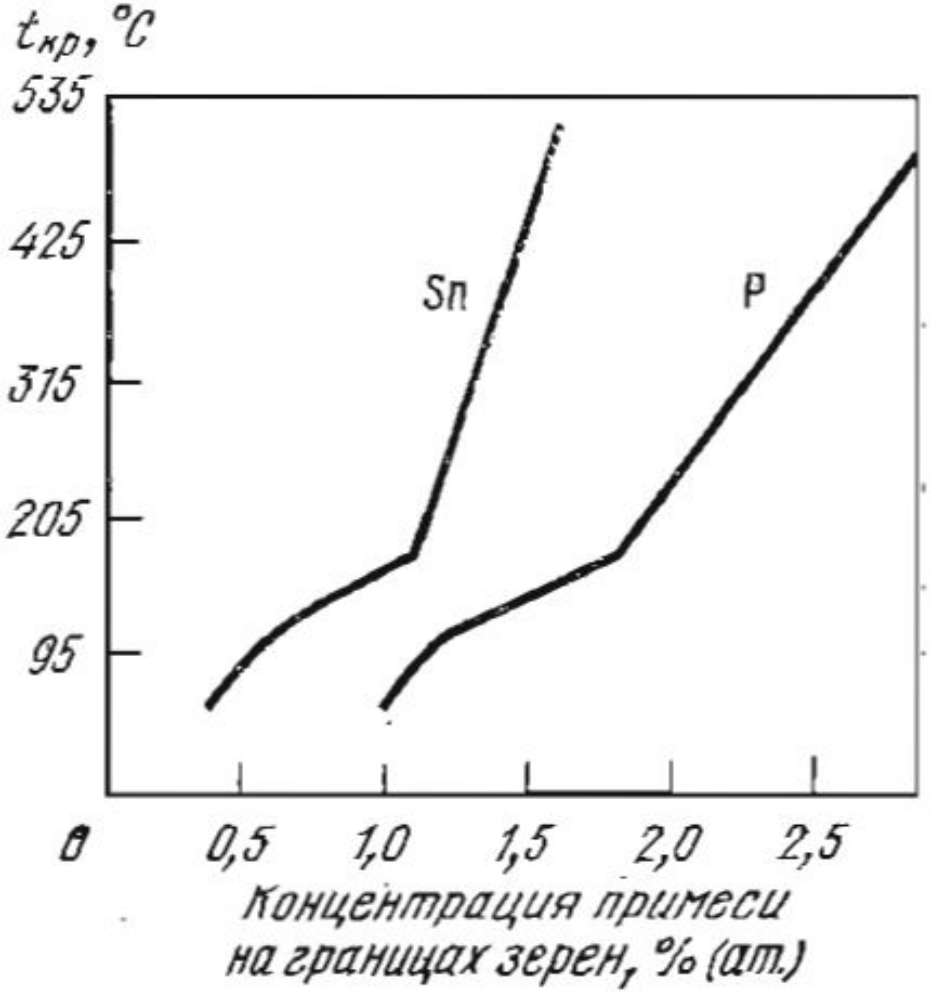


Рис. 25.96. Зависимость критической температуры хрупкости хромоникелевой стали от концентрации фосфора и олова на границах зерен в состоянии отпускной хрупкости [168]

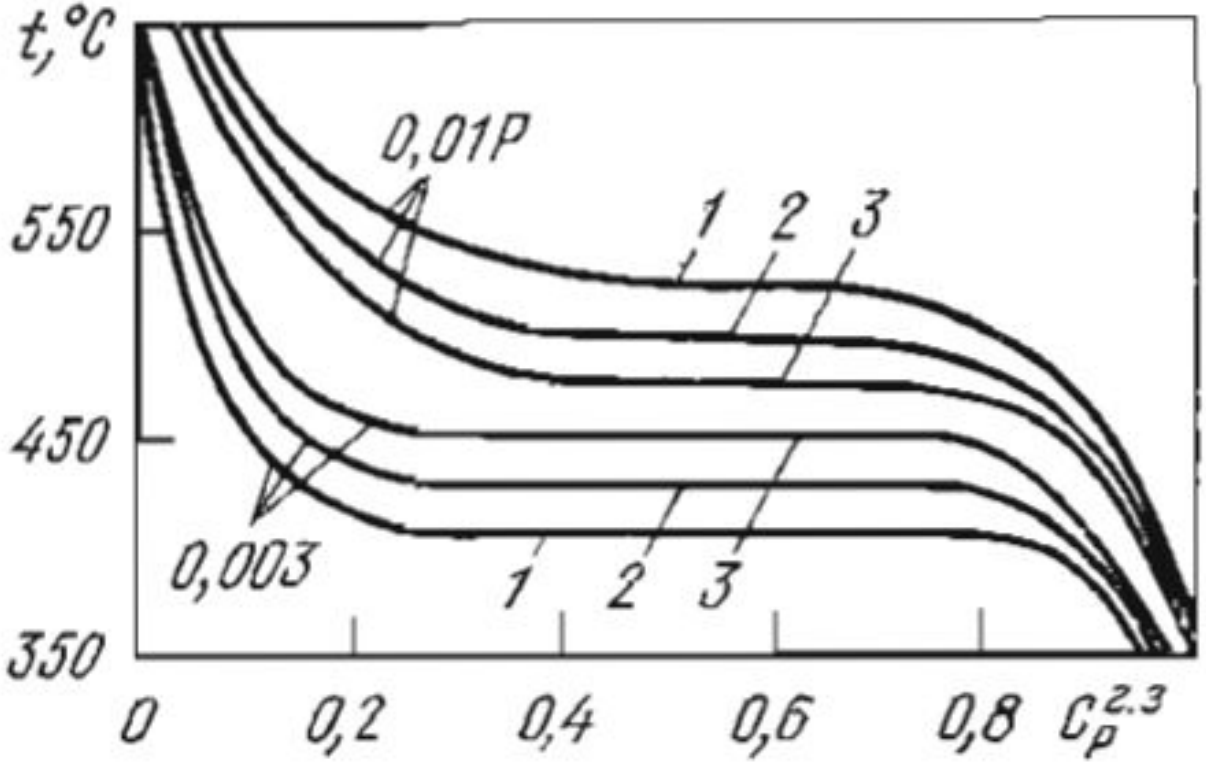
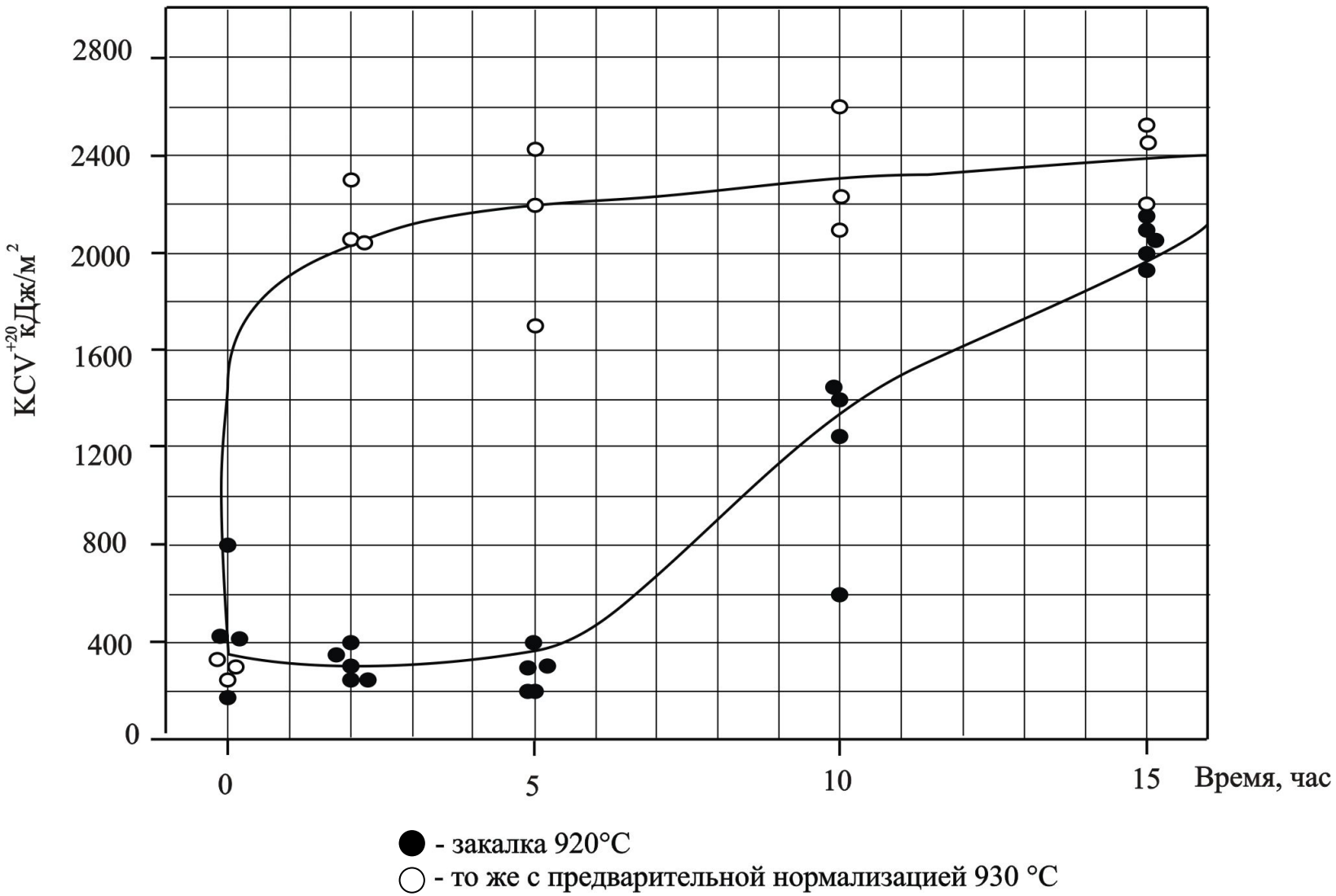
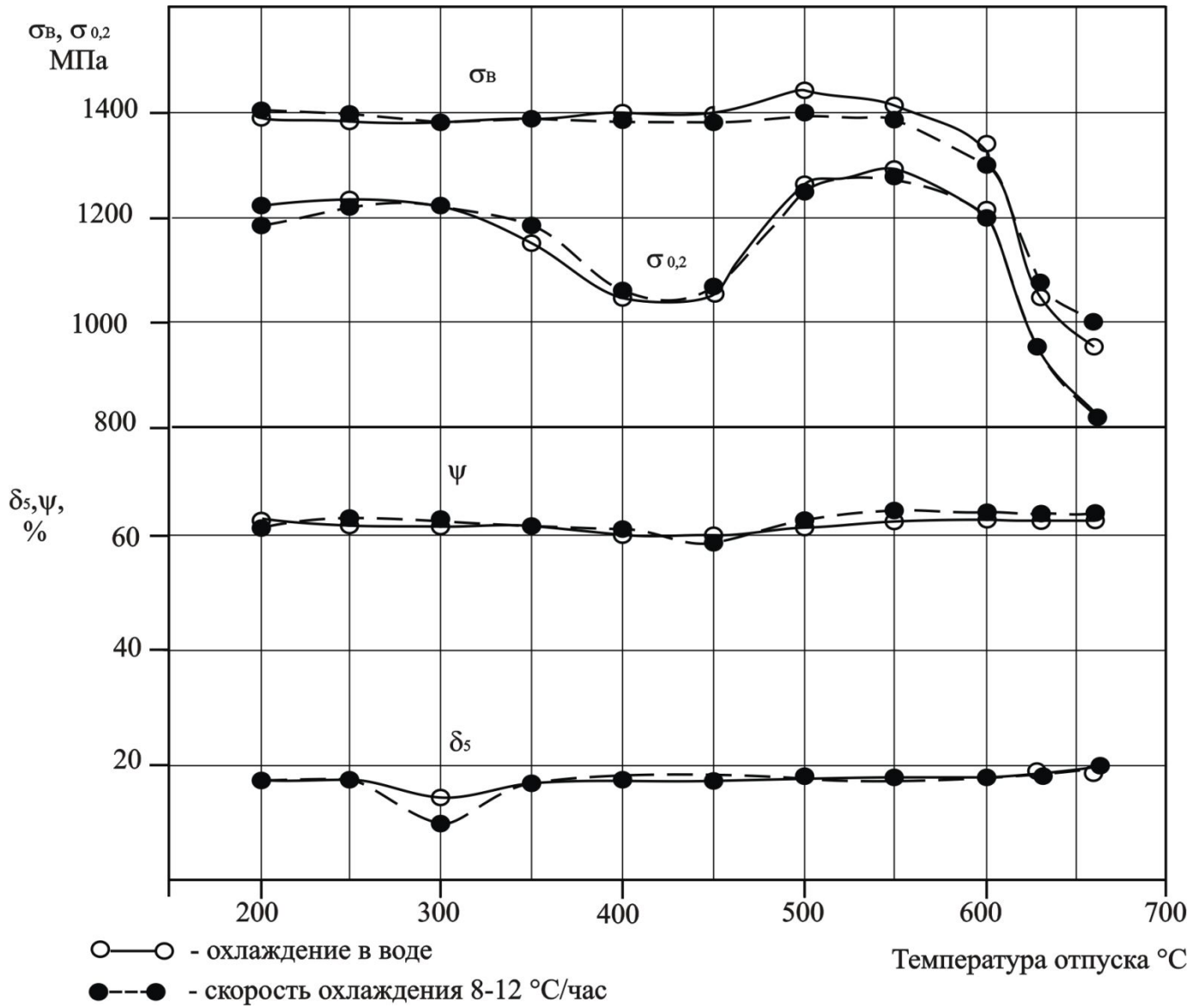


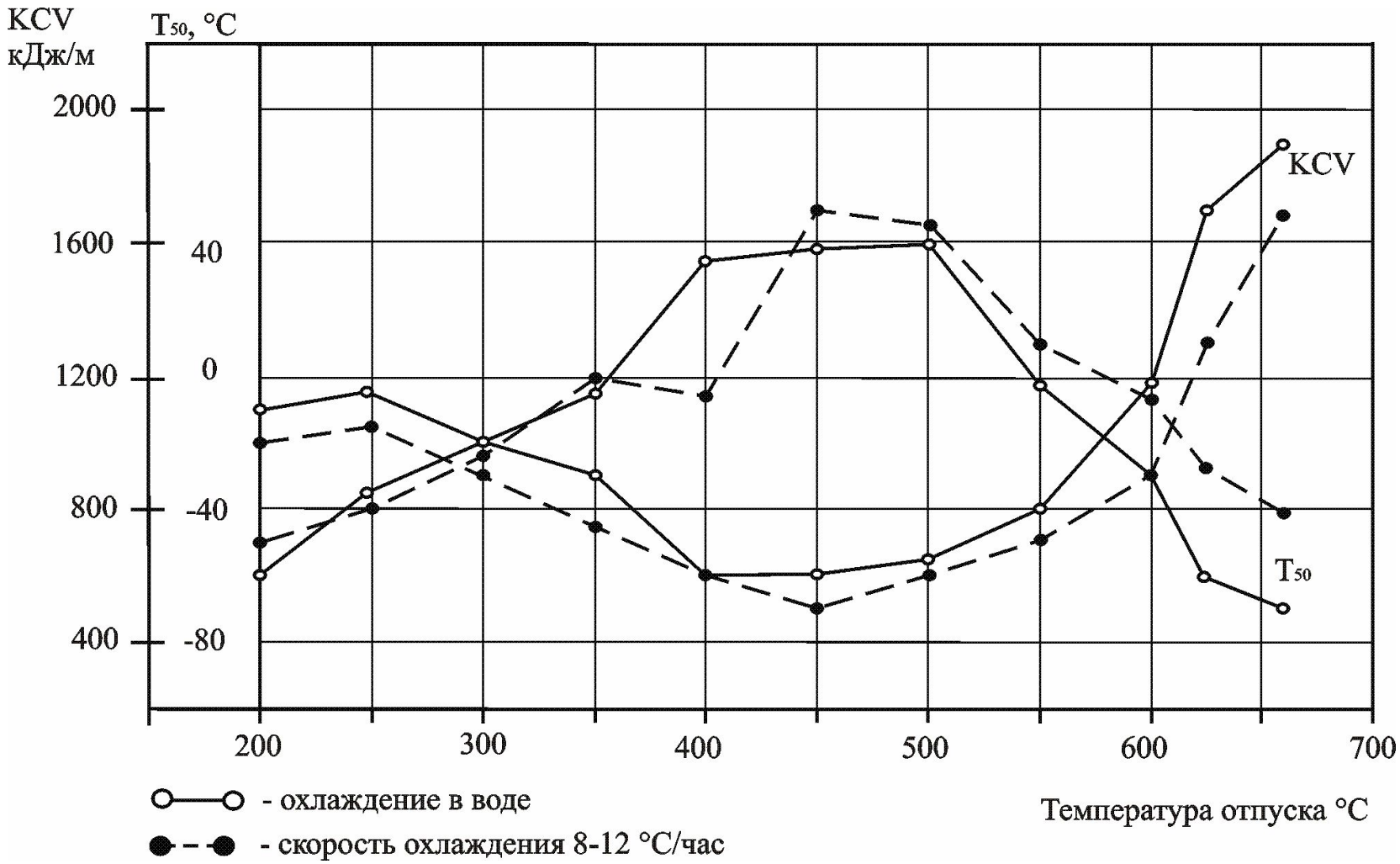
Рис. 25.98. Температурная зависимость равновесной концентрации фосфора на границах зерен в стали 15Х2НМФА с различным содержанием (%) никеля и фосфора [165]



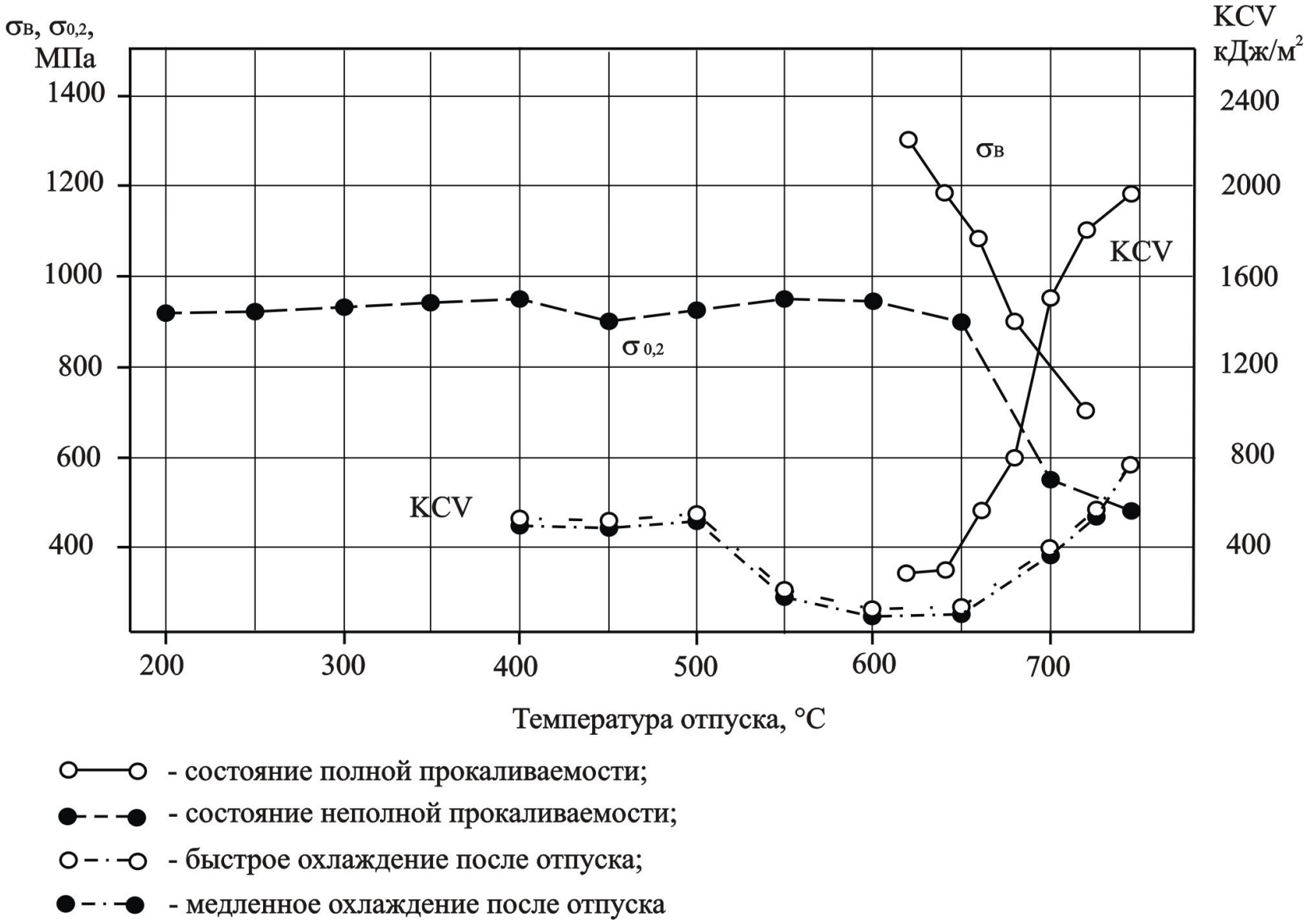
Влияние продолжительности отпуска при 660 °С на ударную вязкость стали 15Х3НМФА-А:



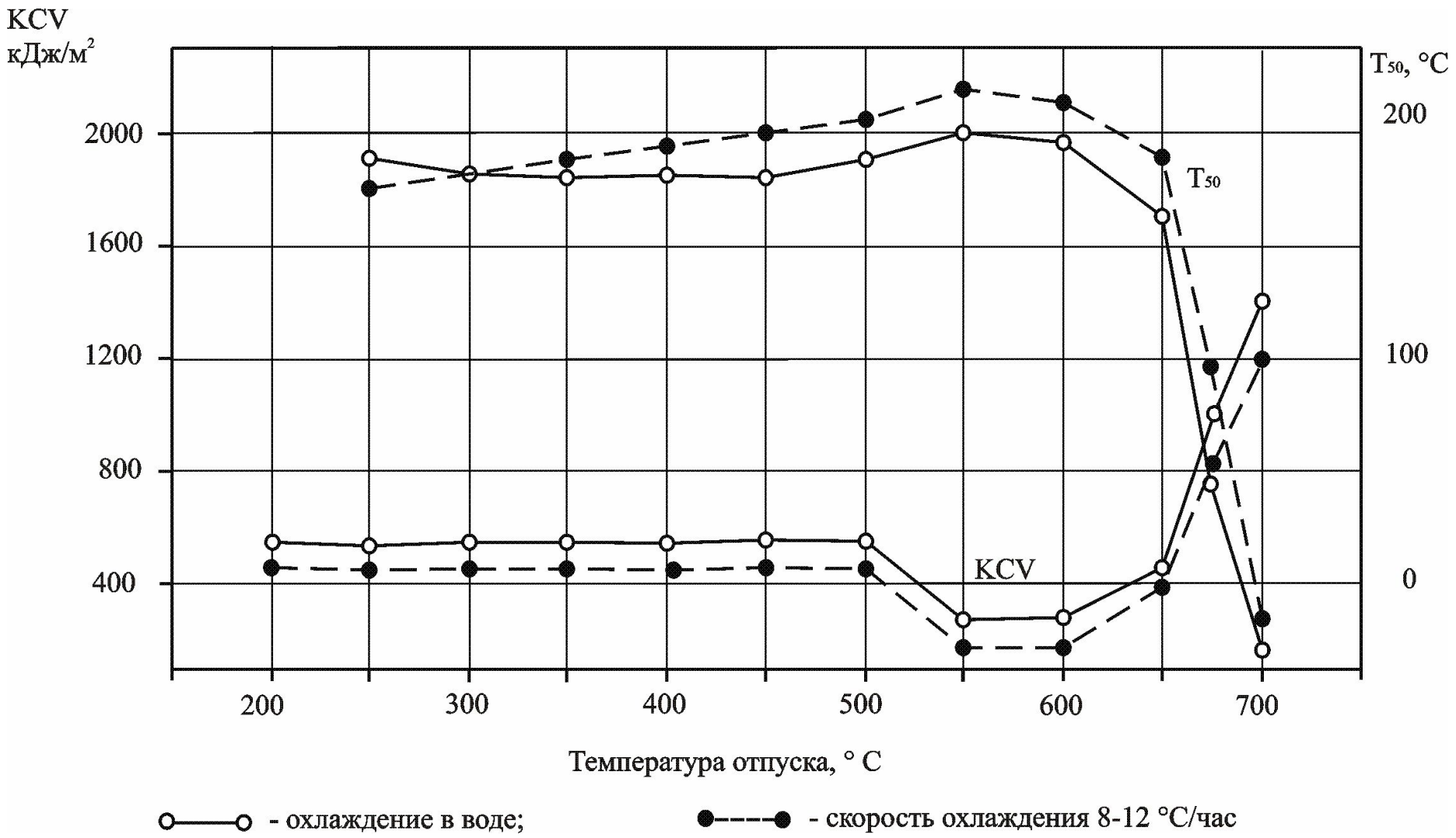
Влияние температуры отпуска и скорости охлаждения после отпуска на характеристики прочности и пластичности стали 20Х2Н4МВФА.



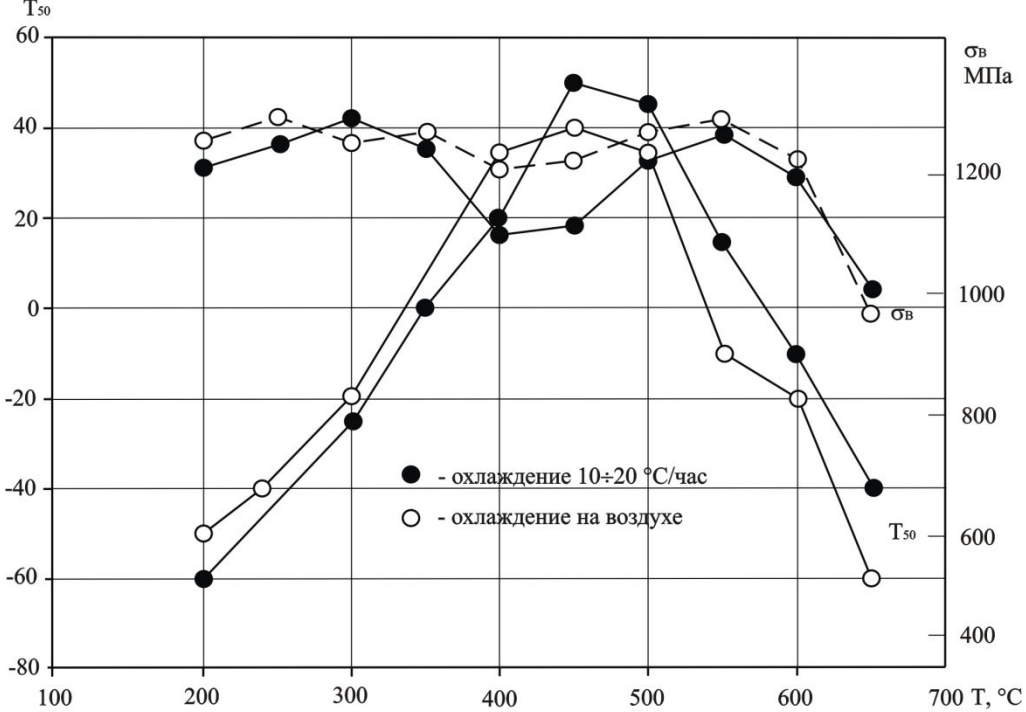
Влияние температуры отпуска и скорости охлаждения после отпуска на ударную вязкость KCV и переходную температуру хрупкости T_{50} стали 20Х2Н4МВФА.

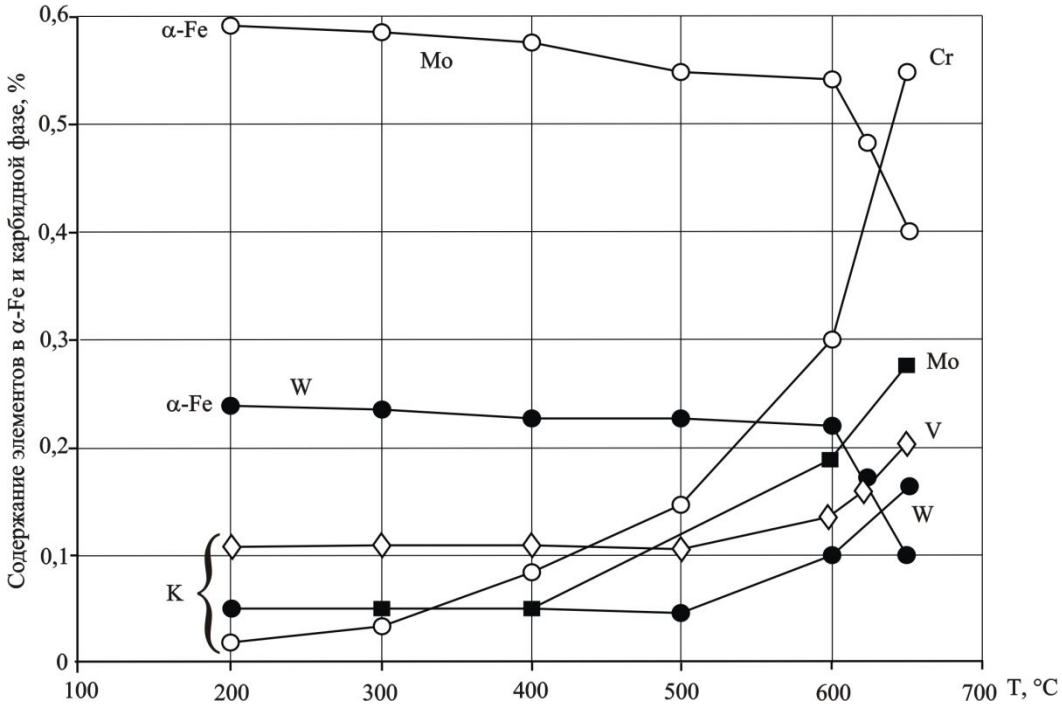


Влияние скорости охлаждения после закалки и температуры отпуска на характеристики прочности и ударной вязкости KCV стали 20Х3МВФ.

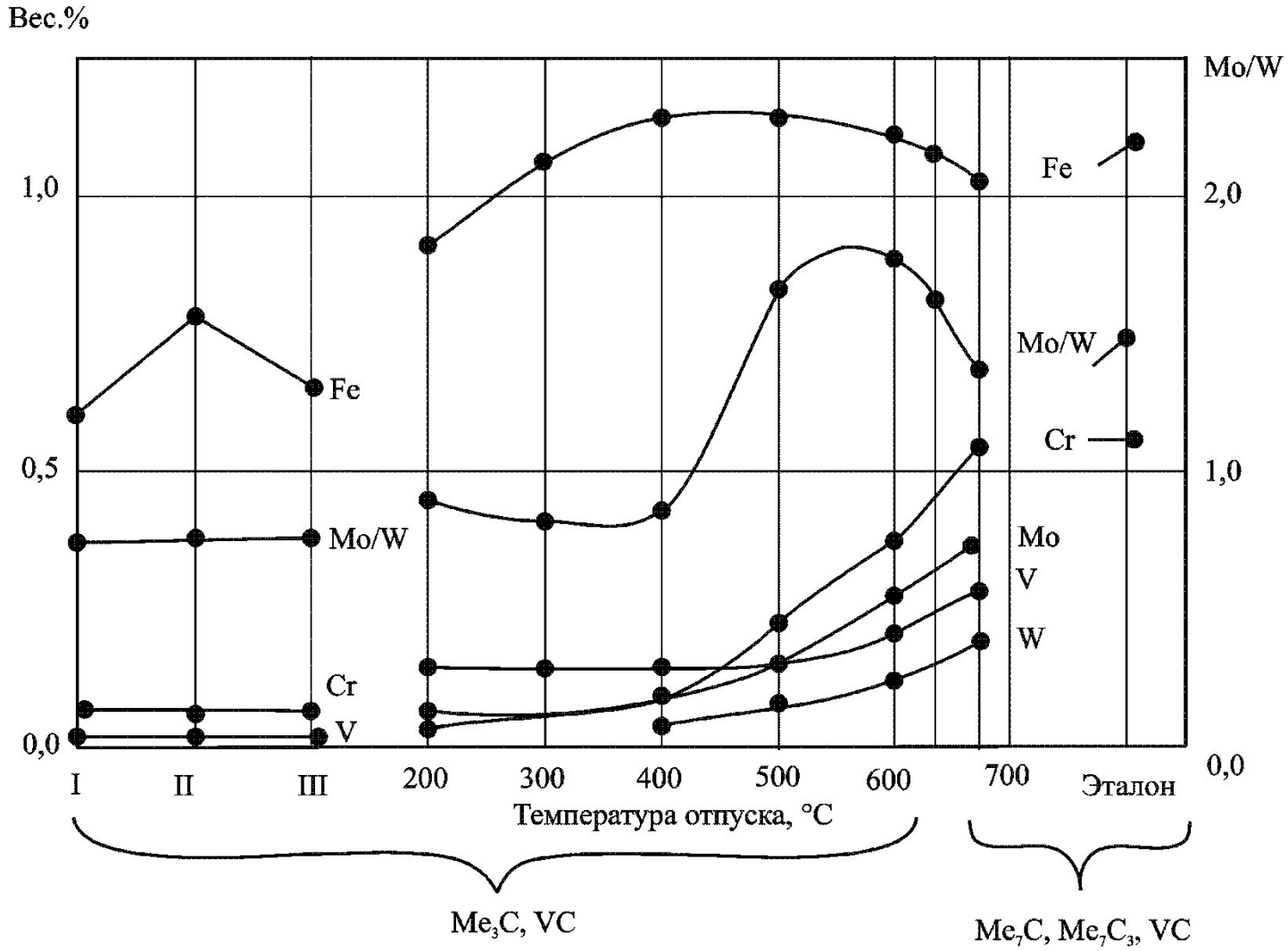


Влияние температуры отпуска и скорости охлаждения после отпуска на ударную вязкость KCV и переходную температуру хрупкости T_{50} стали 20Х3МВФ в состоянии полной прокаливаемости.





Влияние режима отпуска на механические свойства и состав карбидной фазы стали 20Х2Н4МВФ

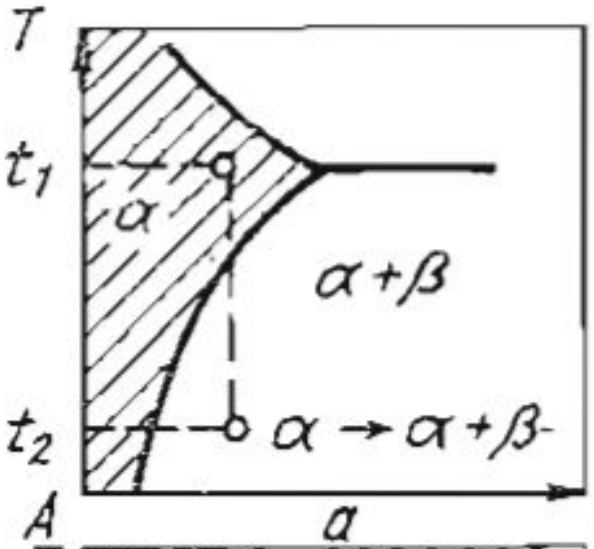


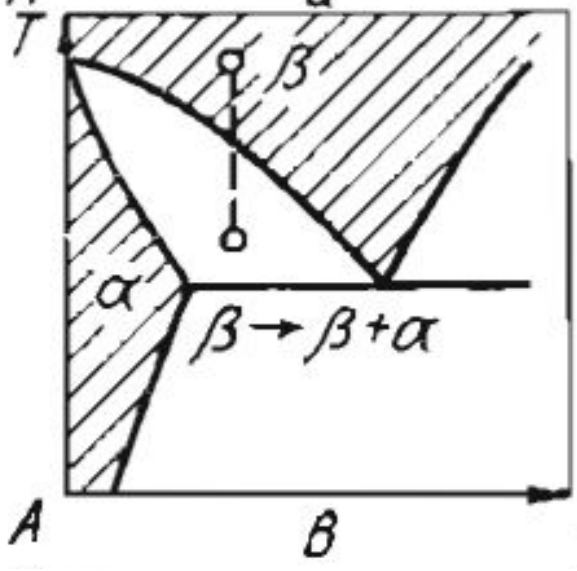
Изменение состава карбидной фазы стали марки 20Х2Н4МВФА в зависимости от режима термической обработки.

- – 860 °С, охлаждение в воде;
- – 860 °С, охлаждение на воздухе;
- – 860 °С, охлаждение с V=200-250 °С/ч;

Эталон – 860 °С, охлаждение на воздухе, затем в жидком азоте, отпуск 670 °С

Старение





Диаграммы равновесия для сплавов, в которых происходят процессы выделения:

а – уменьшение растворимости компонента *B* в металле *A*

в – металл-растворитель претерпевает полиморфное превращение

Роль дефектов кристаллического строения в процессах выделения

- Матричный твердый раствор – фаза выделения
- Вакансии
- Дислокации
- Границы зерен
- Деформационное старение