

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]

$t, ^\circ\text{C}$	$\tau_{0,5}$	$t, ^\circ\text{C}$	$\tau_{0,5}$
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

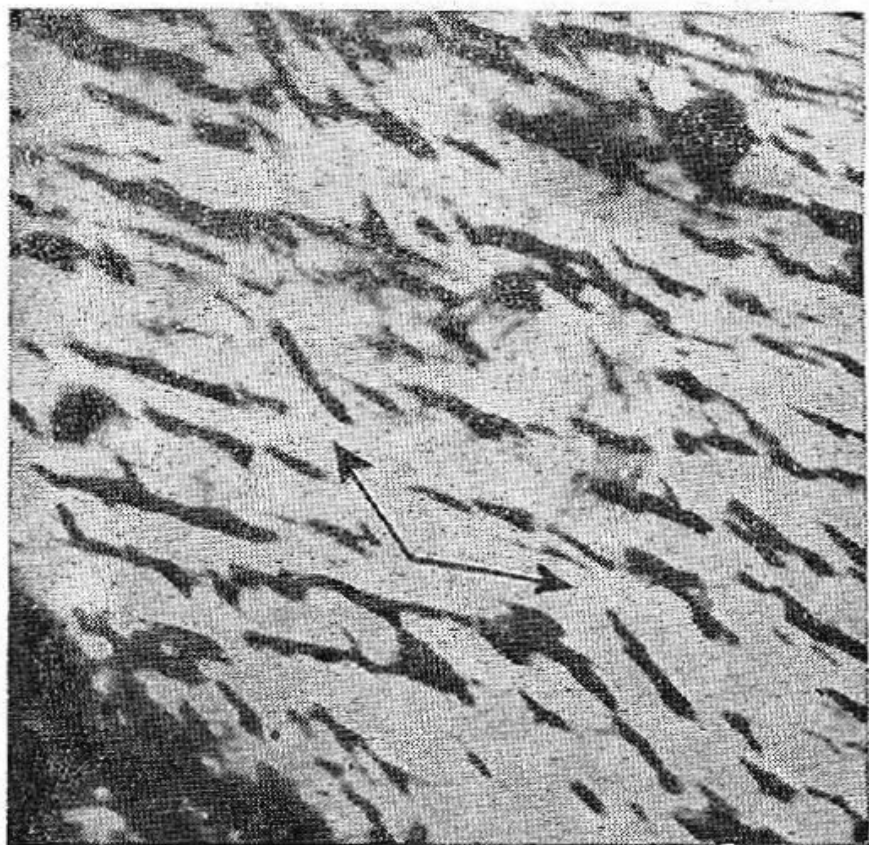


Рис. 25.80. Цементитные выделения двух ориентировок. $\times 65000$ (Э. Р. Кутелия). Сталь 48X3NM. Отпуск 3,4 ч при 325°C

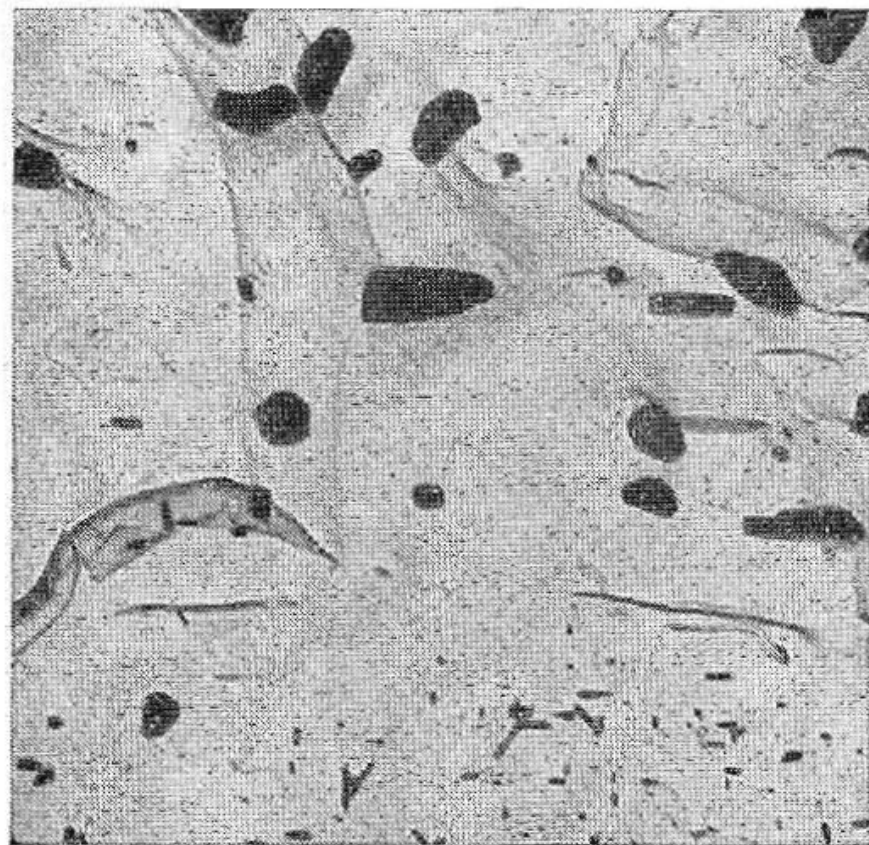


Рис. 25.81. Углеродная реплика с фиксированными карбидными выделениями. $\times 8000$. Сталь 20X2H2. Отпуск 1 ч при 650°C +300 ч при 500°C

Карбидообразование при отпуске

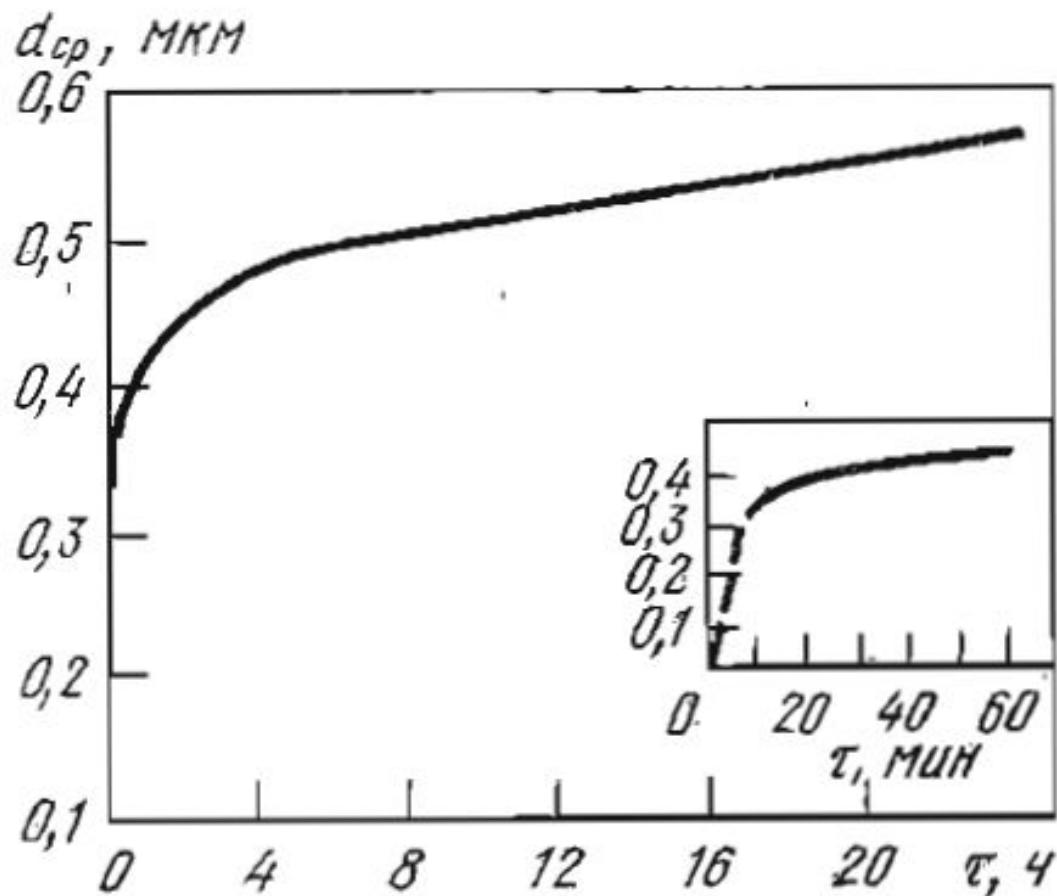
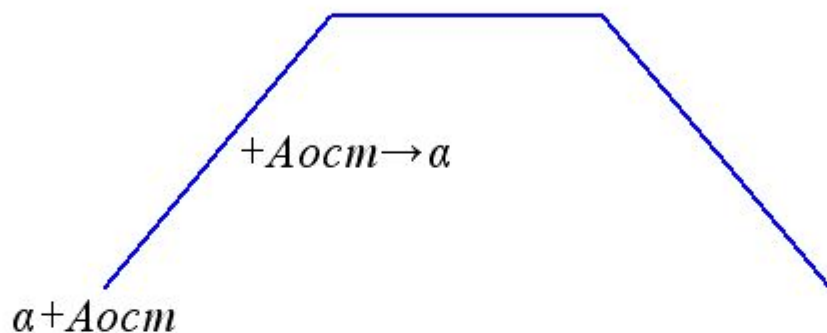
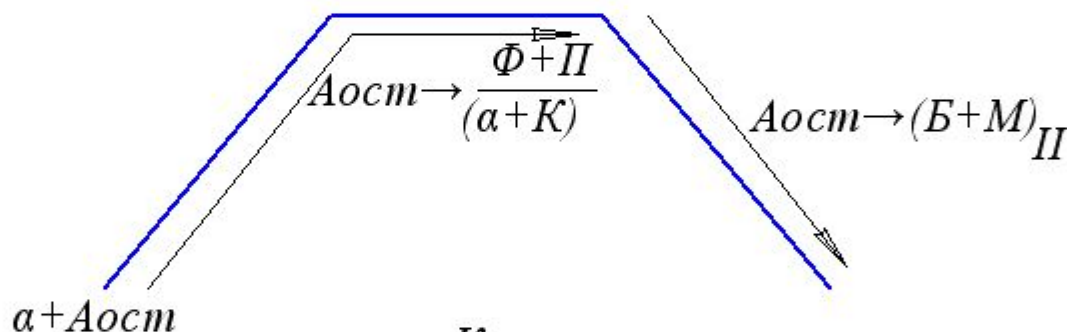


Рис. 25.82. Изменение среднего размера карбидных частиц в процессе отпуска углеродистой (0,4 % С) стали при 630 °С [152]

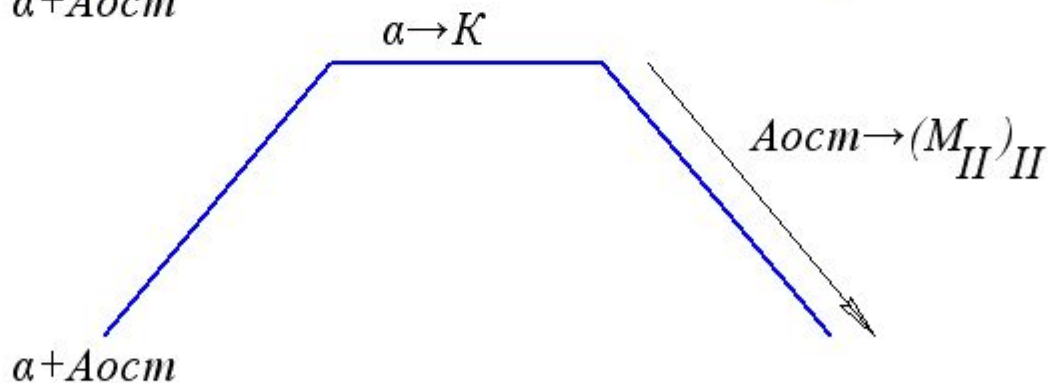
Возможные схемы превращения остаточного аустенита



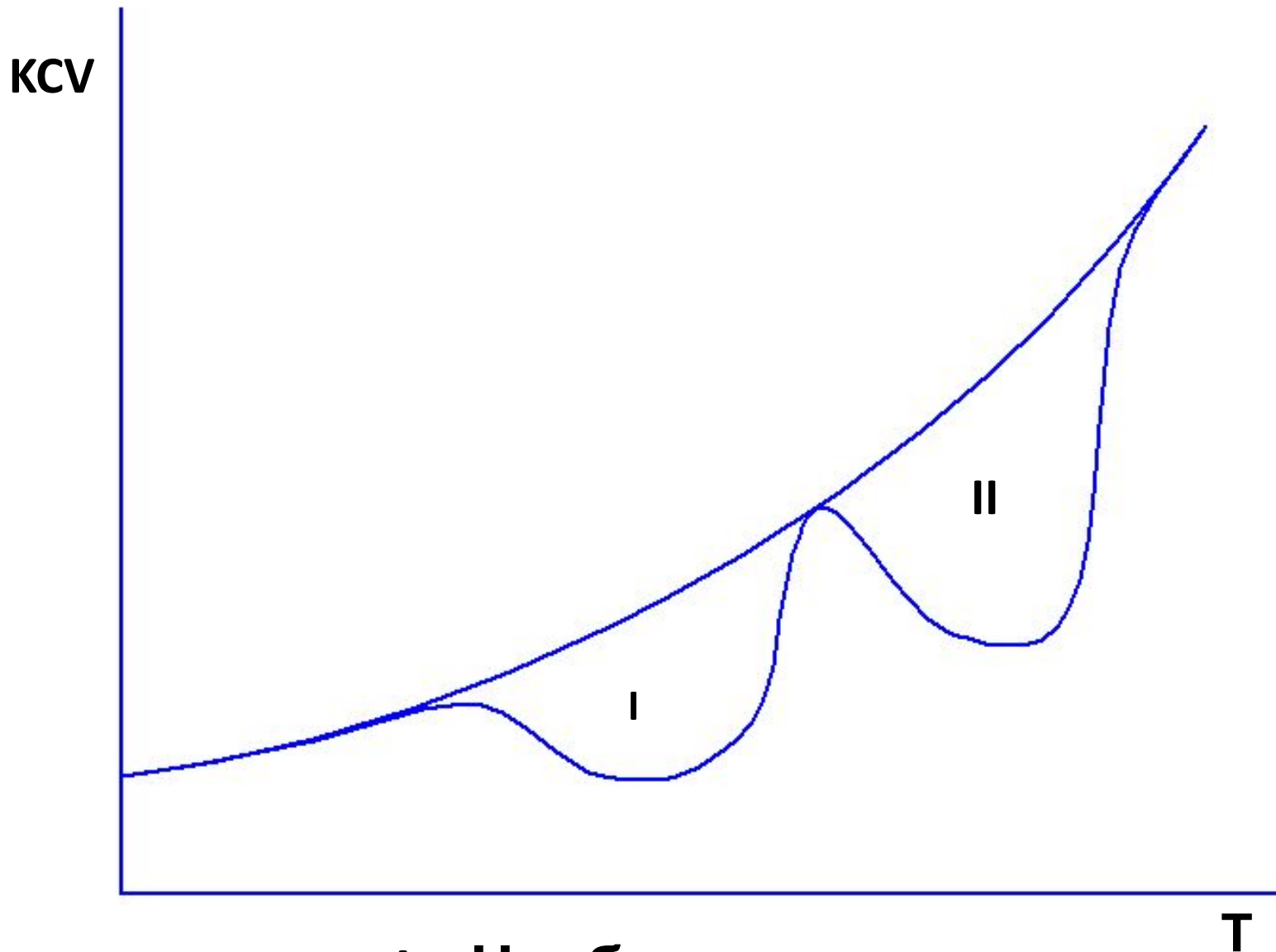
Низколегированные
стали



С повышением
легирования



С еще большим
легированием
(Быстрорежущие
стали;
Карбидного класса
типа X12)



I – Необратимая
II - Обратимая

Явления хрупкости при отпуске

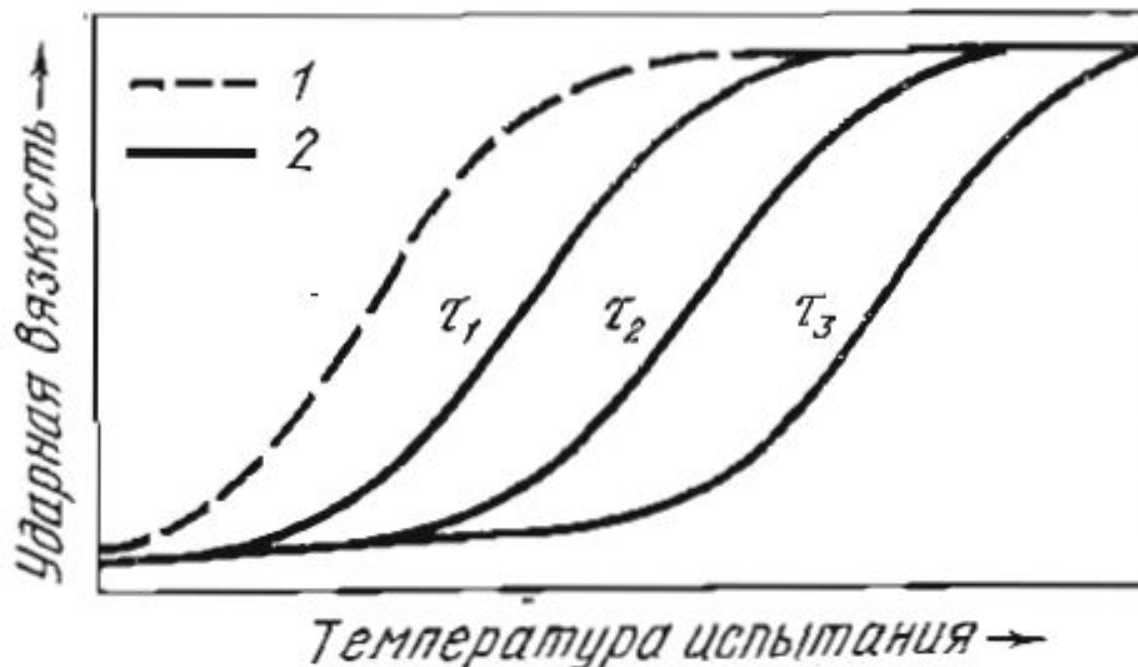


Рис. 25.94. Зависимость ударной вязкости от температуры испытания при развитии отпускной хрупкости:

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

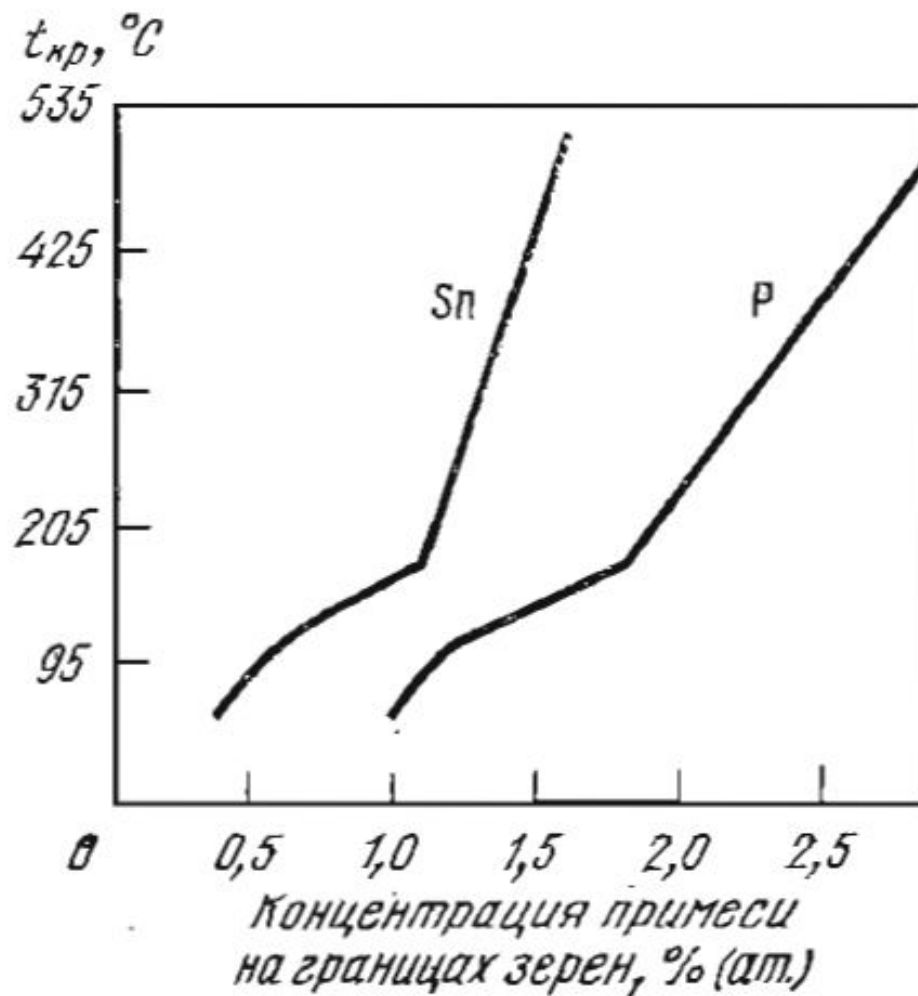


Рис. 25.96. Зависимость критической температуры хрупкости хромоникелевой стали от концентрации фосфора и олова на границах зерен в состоянии отпускной хрупкости [168]

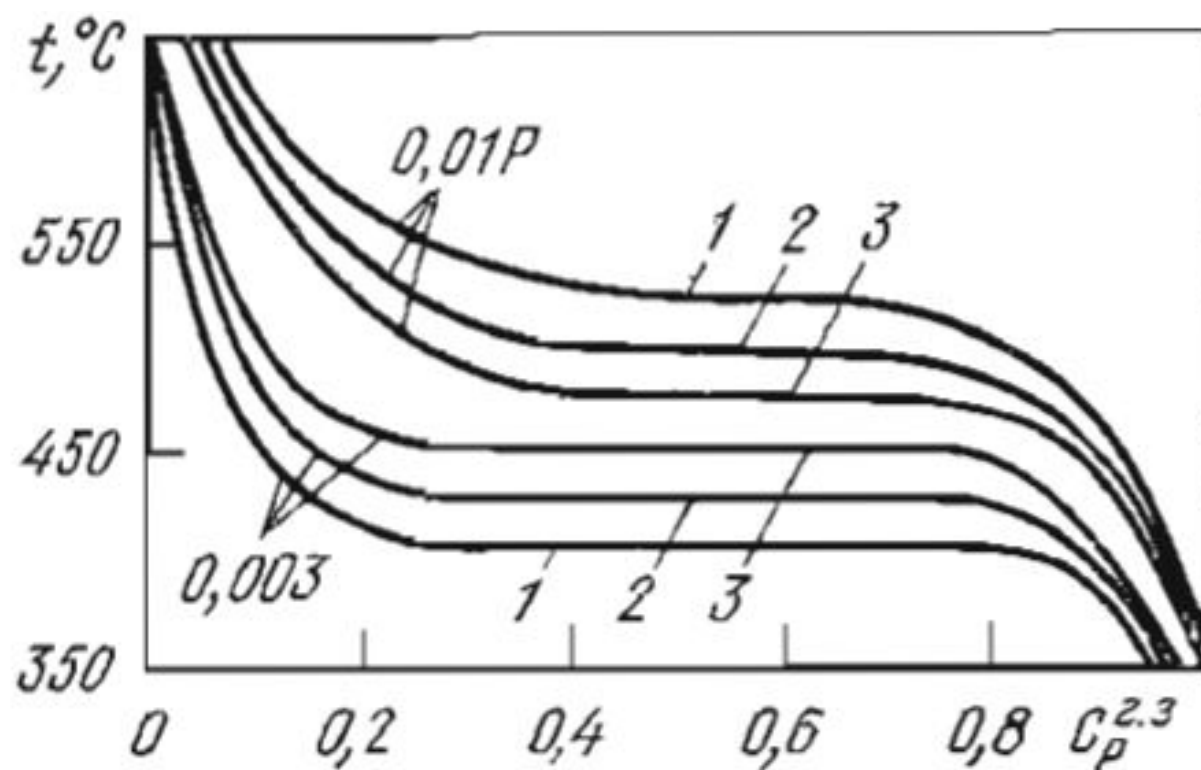
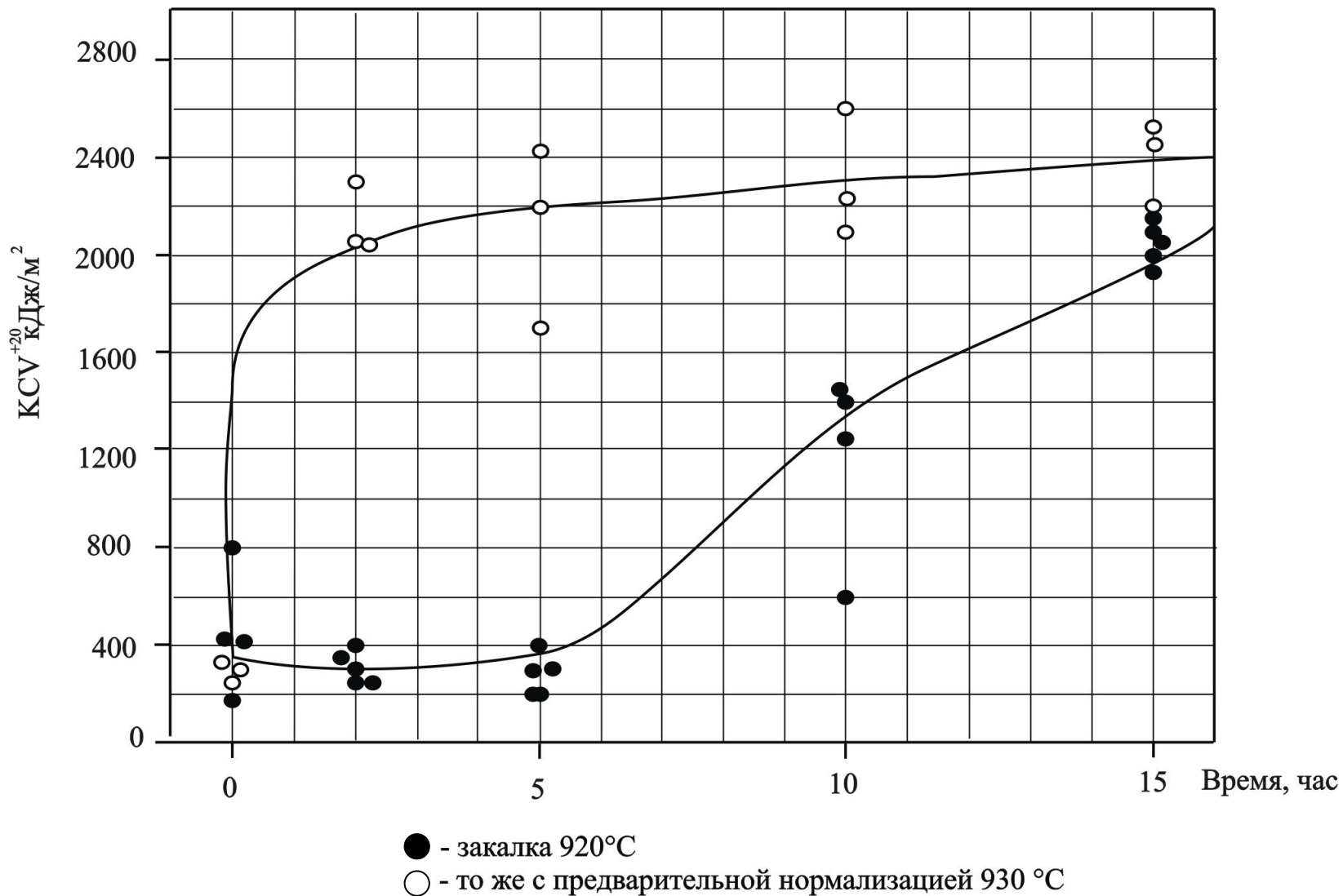
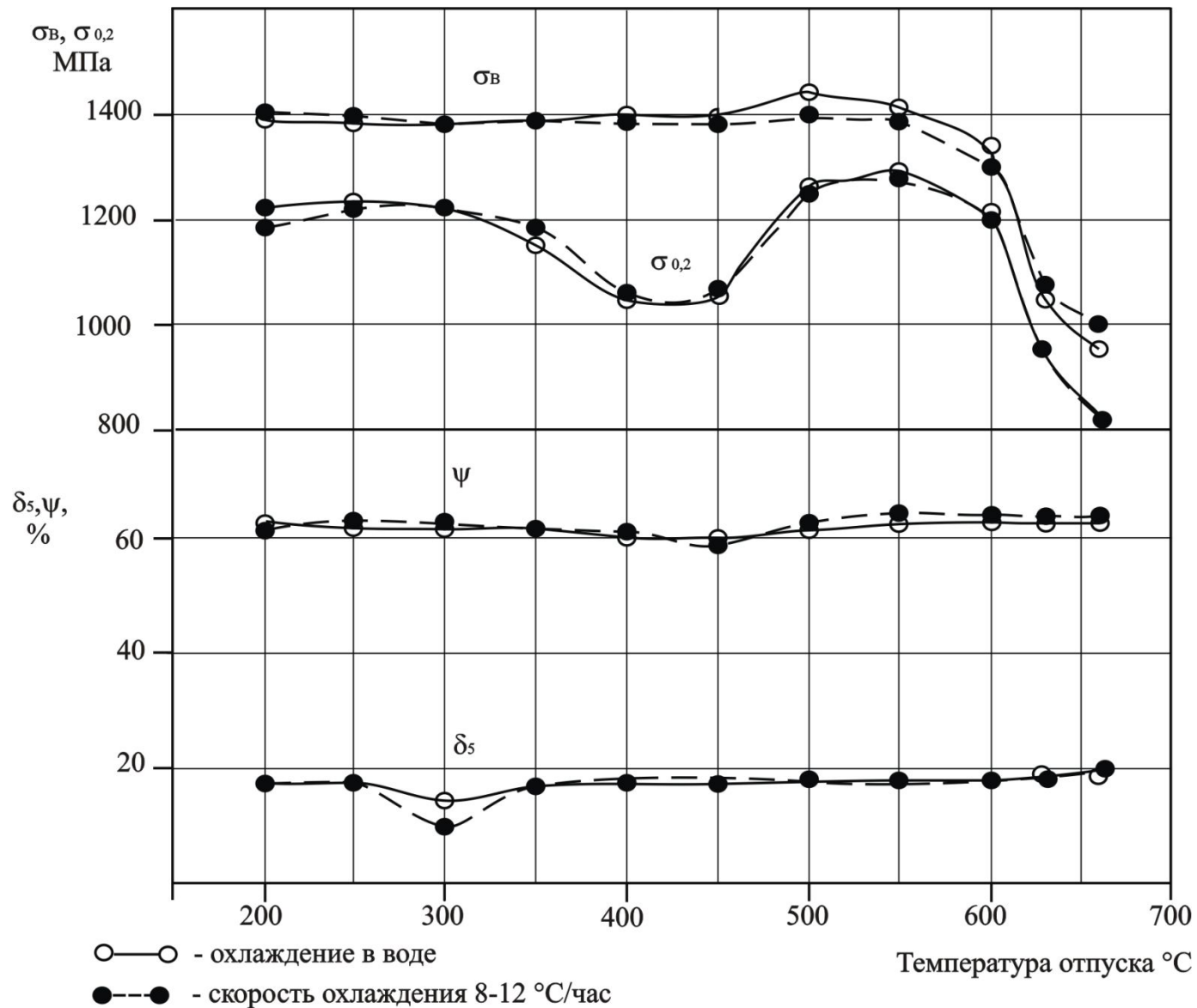


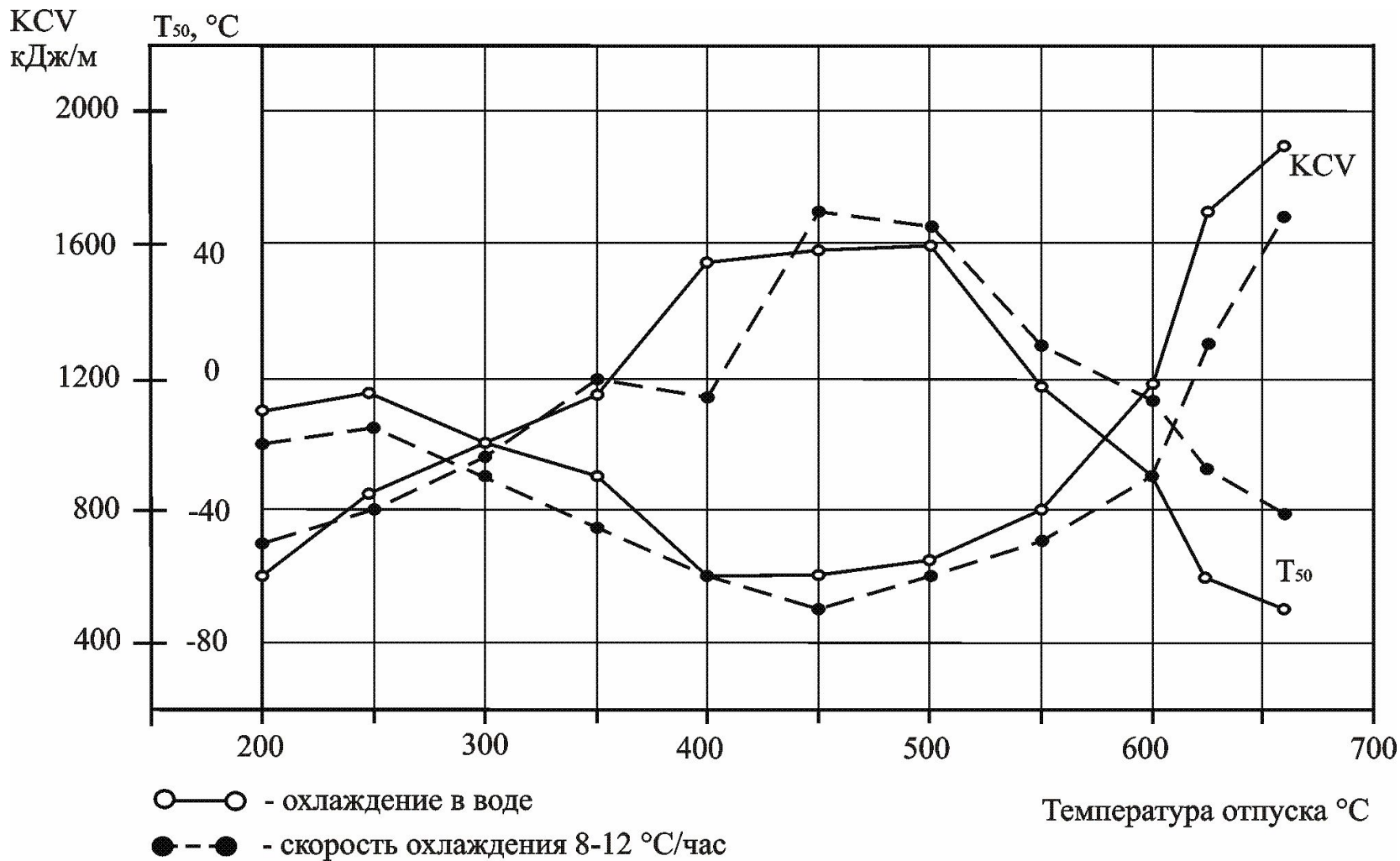
Рис. 25.98. Температурная зависимость равновесной концентрации фосфора на границах зерен в стали 15X2NMΦА с различным содержанием (%) никеля и фосфора [165]



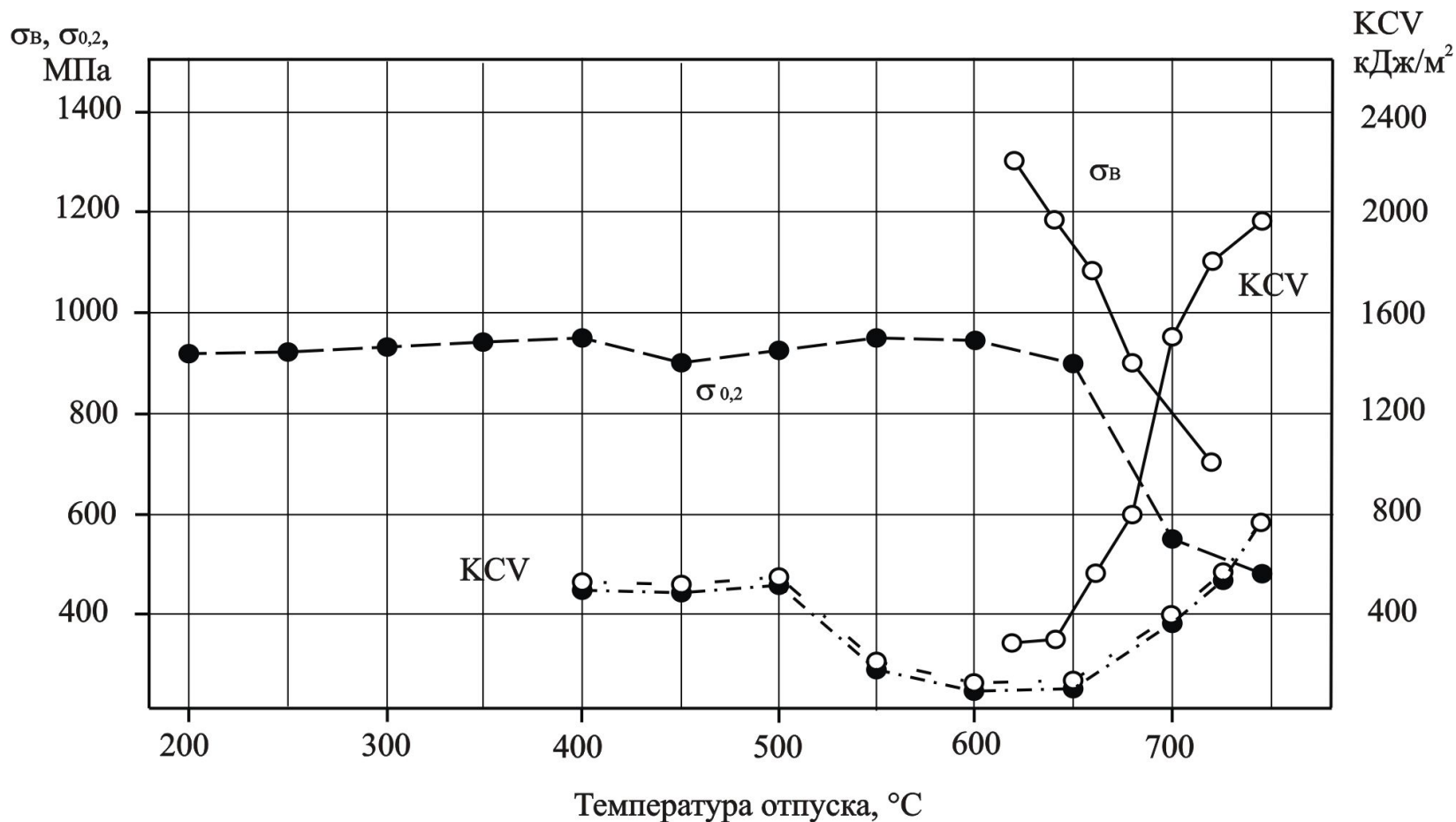
Влияние продолжительности отпуска при 660 °C на ударную вязкость стали 15X3NMFA-A:



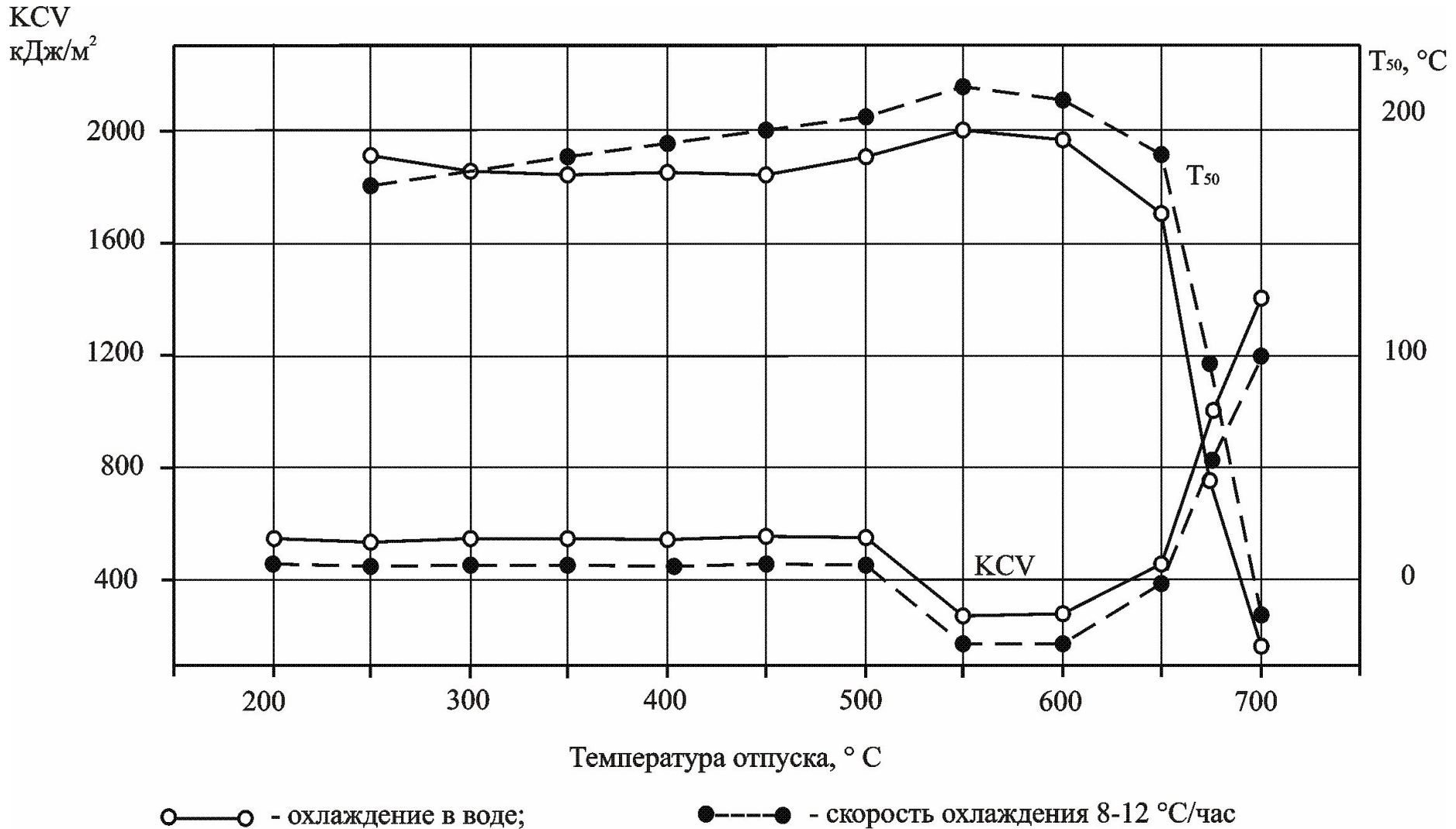
Влияние температуры отпуска и скорости охлаждения после отпуска на характеристики прочности и пластичности стали 20X2H4MBFA.



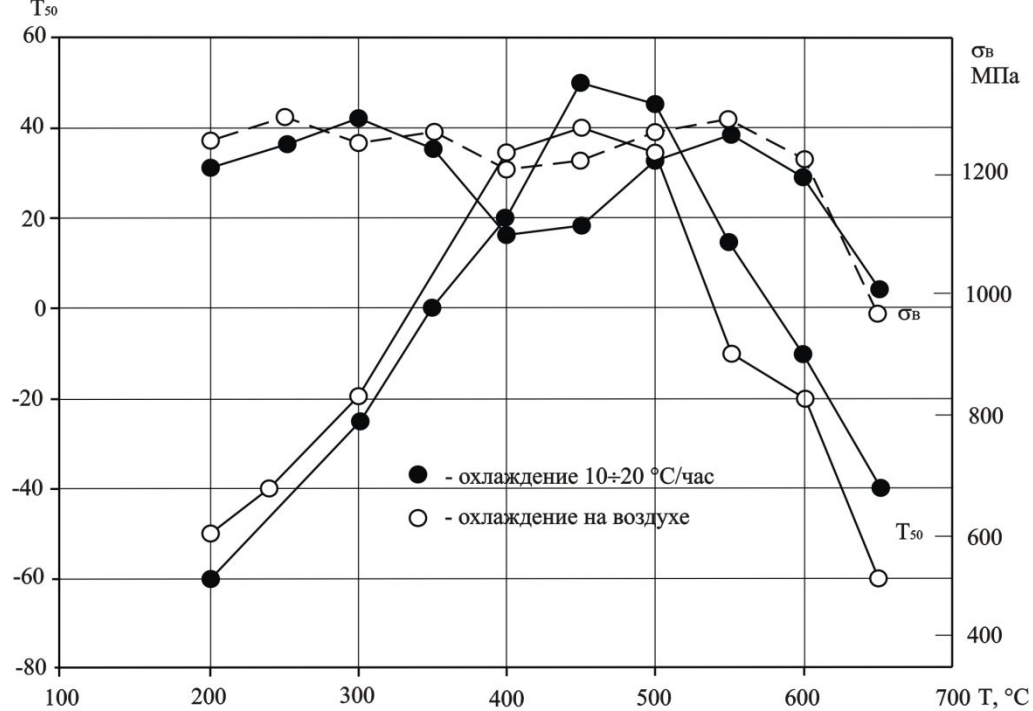
Влияние температуры отпуска и скорости охлаждения после отпуска на ударную вязкость KCV и переходную температуру хрупкости T₅₀ стали 20X2H4MBFA.



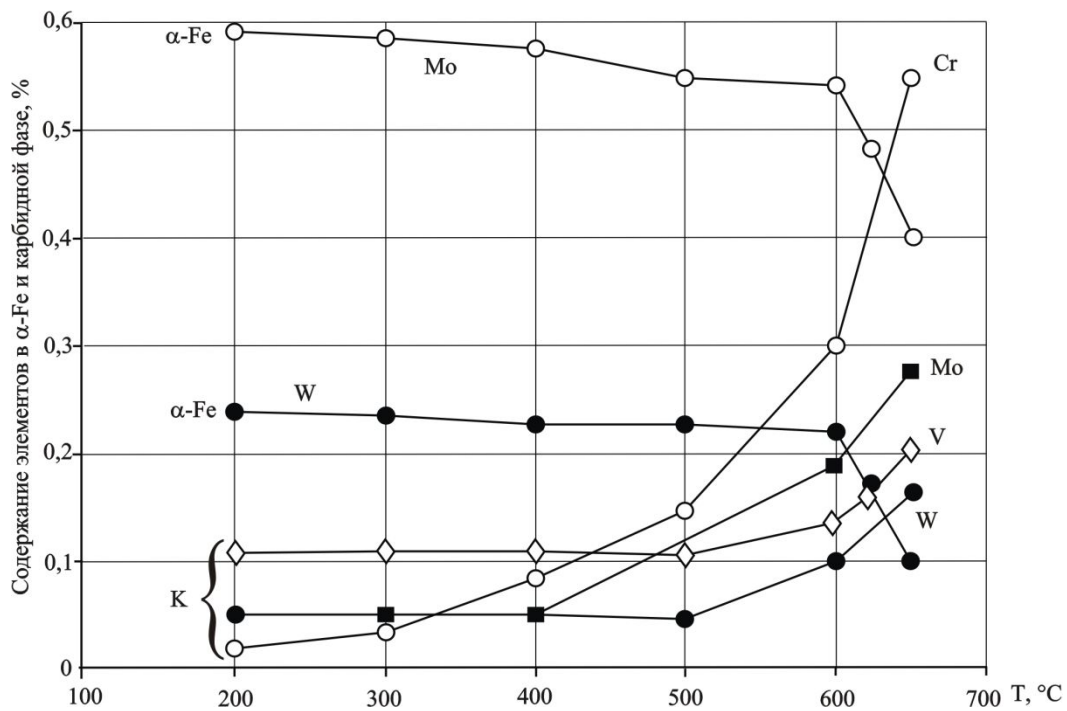
Влияние скорости охлаждения после закалки и температуры отпуска на характеристики прочности и ударной вязкости KCV стали 20X3MVФ.



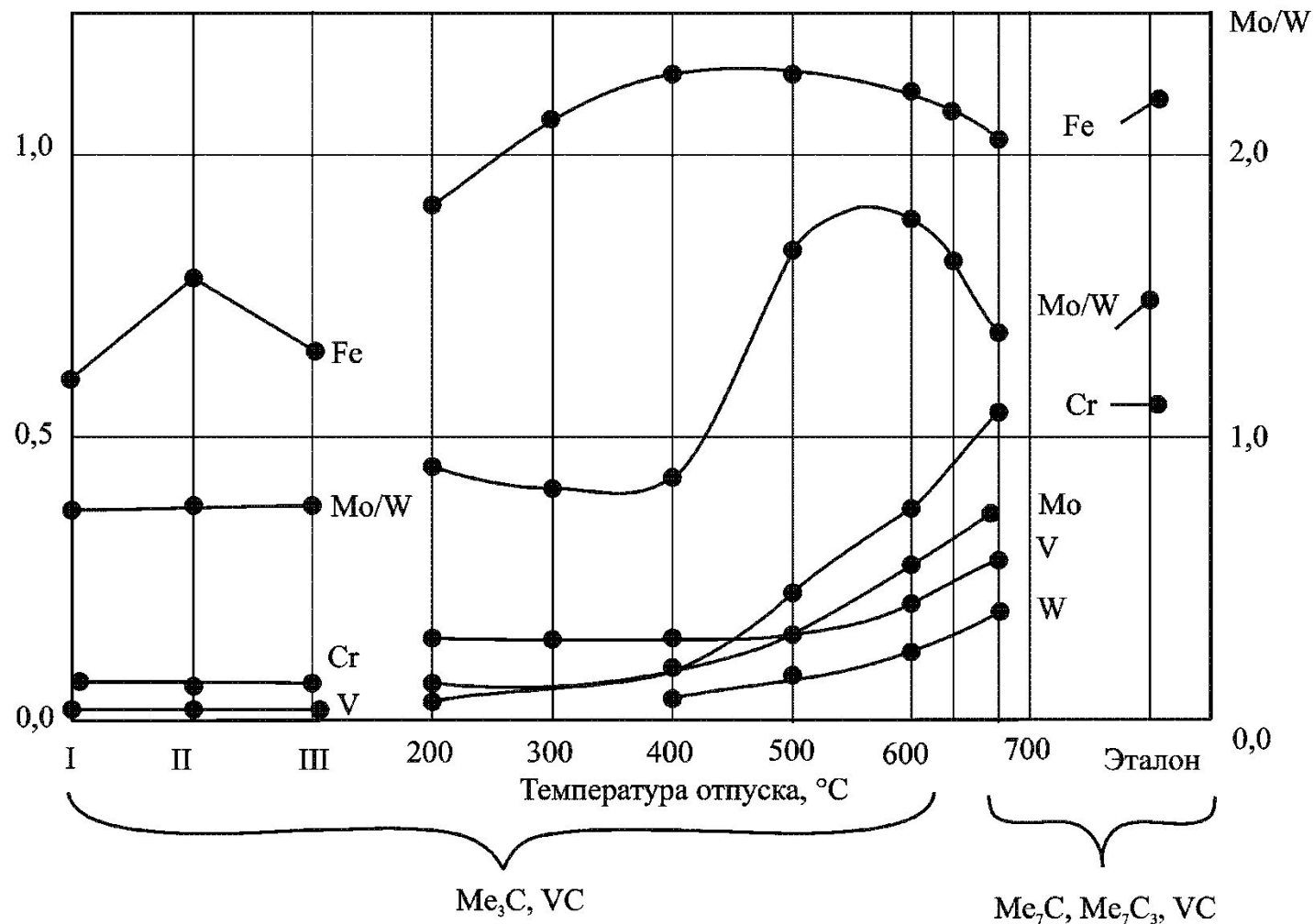
Влияние температуры отпуска и скорости охлаждения после отпуска на ударную вязкость KCV и переходную температуру хрупкости T₅₀ стали 20X3MVФ в состоянии полной прокаливаемости.



Влияние режима отпуска
 на механические свойства и
 состав карбидной фазы стали
 20X2H4MVФ



Вес.%

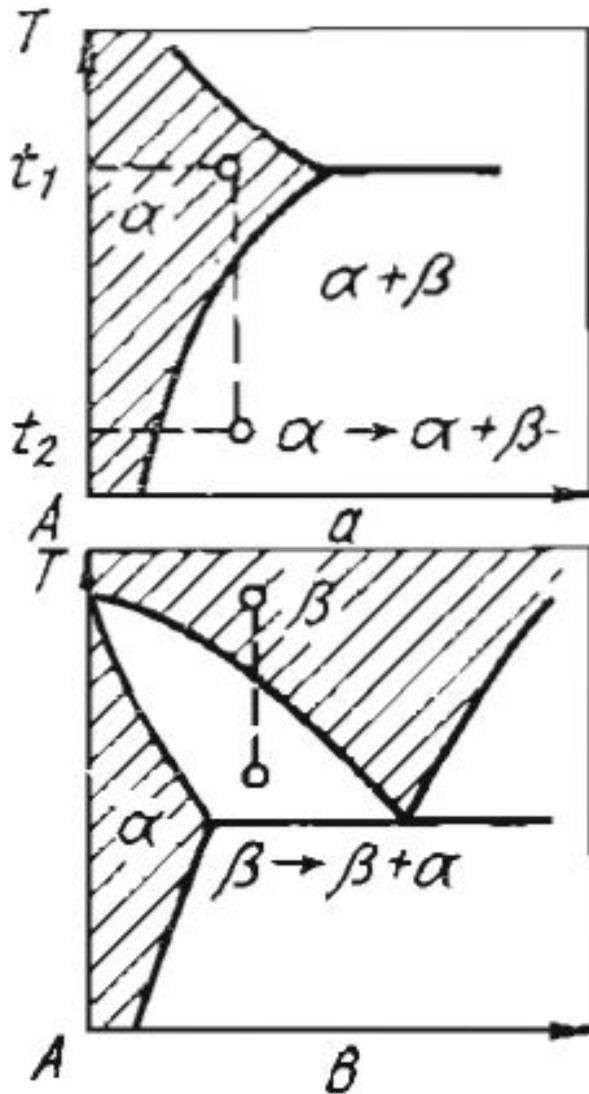


Изменение состава карбидной фазы стали марки 20X2H4MBFA в зависимости от режима термической обработки.

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

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

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