МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

КУРГАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра энергетики и технологии металлов

ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ ОХЛАЖДЕНИЯ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА СТАЛИ

Методические указания
для самостоятельной подготовки
к лабораторной работе
для студентов специальностей
080502, 150202, 151001, 200503, 220301,
190201, 190202, 190601, 190603,
190700, 190702, 280100, 140211

Курган 2011

Кафедра: «Энергетика и технология металлов»

Дисциплина: «Материаловедение»

Составили: канд. техн. наук, доцент Дудорова Т.А.,
канд. техн. наук, доцент Савиных Л.М.

Составлены на основе переработанных и дополненных методических указаний «Влияние скорости охлаждения на структуру и свойства стали»/Паньшин И.Ф., Дудорова Т.А., Савиных Л.М. – Курган: Изд-во КГУ, 1998 г.

Утверждены на заседании кафедры «30» _ноября_ 2010 г.

Рекомендованы методическим советом университета «21» _декабря_ 2010 г.

ПРЕВРАЩЕНИЯ ПРИ НАГРЕВЕ И ОХЛАЖДЕНИИ СТАЛИ

Термическая обработка стали является важной операцией в технологическом цикле изготовления детали. Её цель – изменить свойства сплава за счет изменения структуры. Это достигается нагревом стали до определенной температуры, выдержкой при этой температуре и последующим охлаждением с заданной скоростью.

На рисунке 1 приведена диаграмма нагрева и охлаждения. Как видно, с течением времени $\tau_н$ происходит повышение температуры (кривая идет вверх). Затем дается выдержка при постоянной температуре $t_н$ и далее следует снижение температуры.

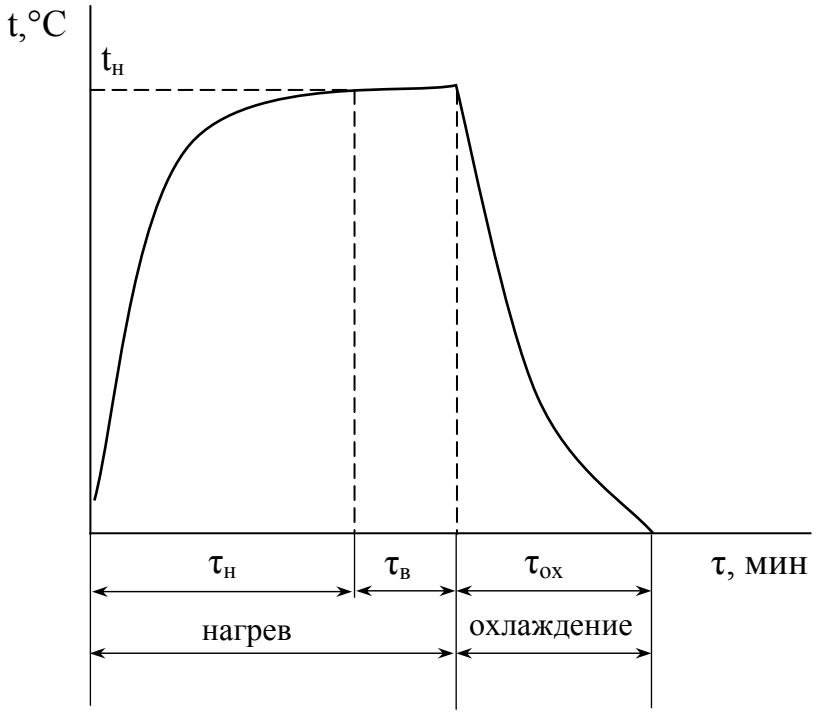


Рисунок 1 – Диаграмма нагрева и охлаждения при отсутствии превращений

Основными параметрами процесса являются:
– температура нагрева – $t_н$;
– продолжительность нагрева – $\tau_н$;
– продолжительность выдержки – $\tau_в$;
– продолжительность охлаждения – $\tau_{ох}$.

Рассмотрим диаграмму нагрева доэвтектоидной стали 30 (рисунок 2). Для этой стали на диаграмме Fe-C обнаруживается две критические точки A_1и A_3 (рисунок 2). При нагреве превращения смещаются в сторону повышенных температур, о чем говорит положение точек Ac_1 и Ac_3. Сталь 30 – доэвтектоидная сталь, то $t_н$= Ac_3+(30-50)°C, то есть $t_н$≈850°. Из рисунка 3 видно, что при нагреве до точки Ac_1 – плавная кривая, так как при этих температурах превращений нет. В точке b наблюдается перегиб кривой, а на участке bc

подъем температуры сильно замедляется, что указывает на поглощение тепла металлом в процессе превращения. Затем следует участок cd, отражающий превращение при медленном нагреве.

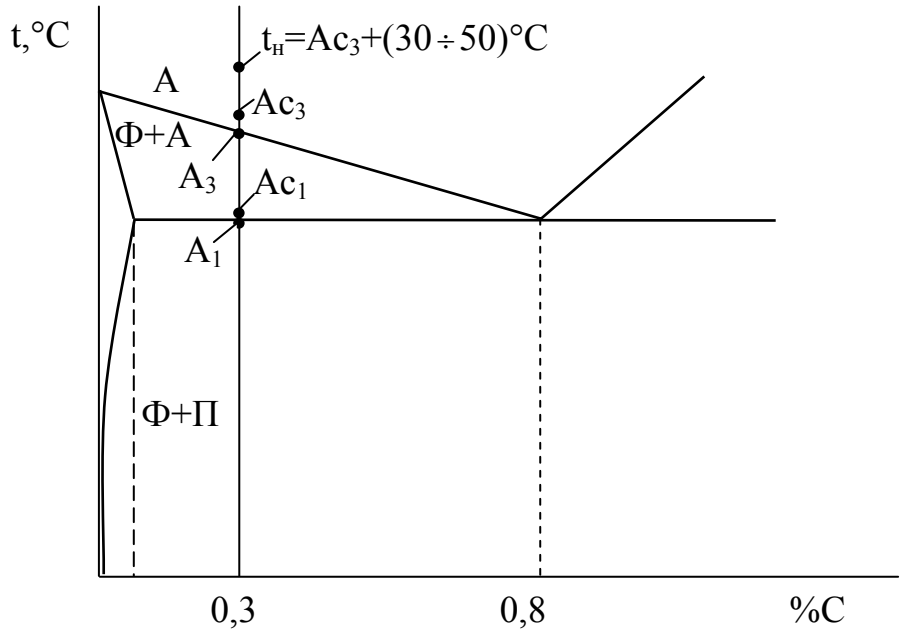
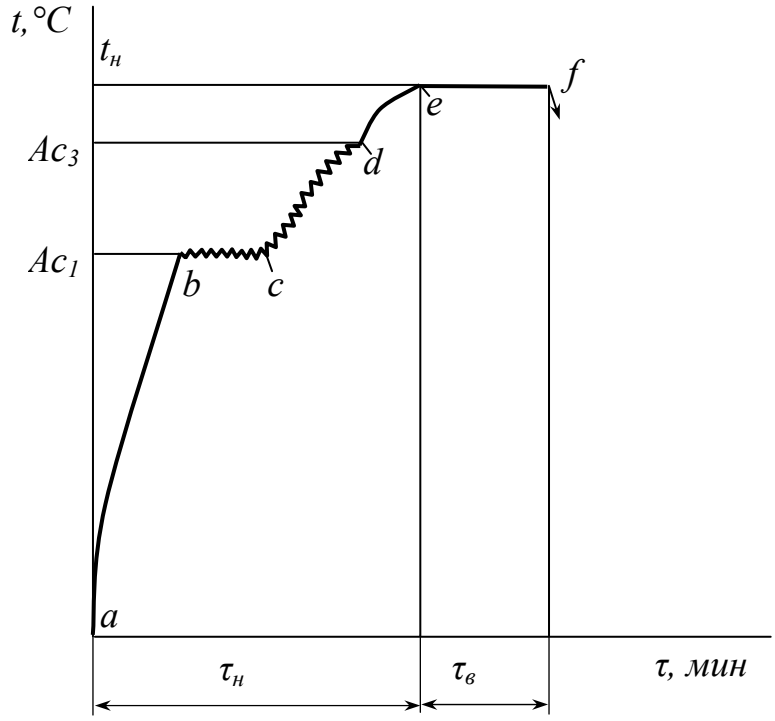


Рисунок 2 – Критические точки A_{C1} и A_{C3} для доэвтектоидной стали



ab – нет превращений;
bc – превращение при t=const;
cd – превращение при повышении температуры;
df – фазовых превращение нет;
Рисунок 3 – Диаграмма нагрева стали

Рассмотрим процесс образования аустенита при нагреве доэвтектоидной стали. Исходная структура состоит из зерен перлита и зерен феррита (рисунок 4). В свою очередь, перлит состоит из чередующихся прослоек феррита и цементита. Феррит показан белым, цементит – черным цветом.

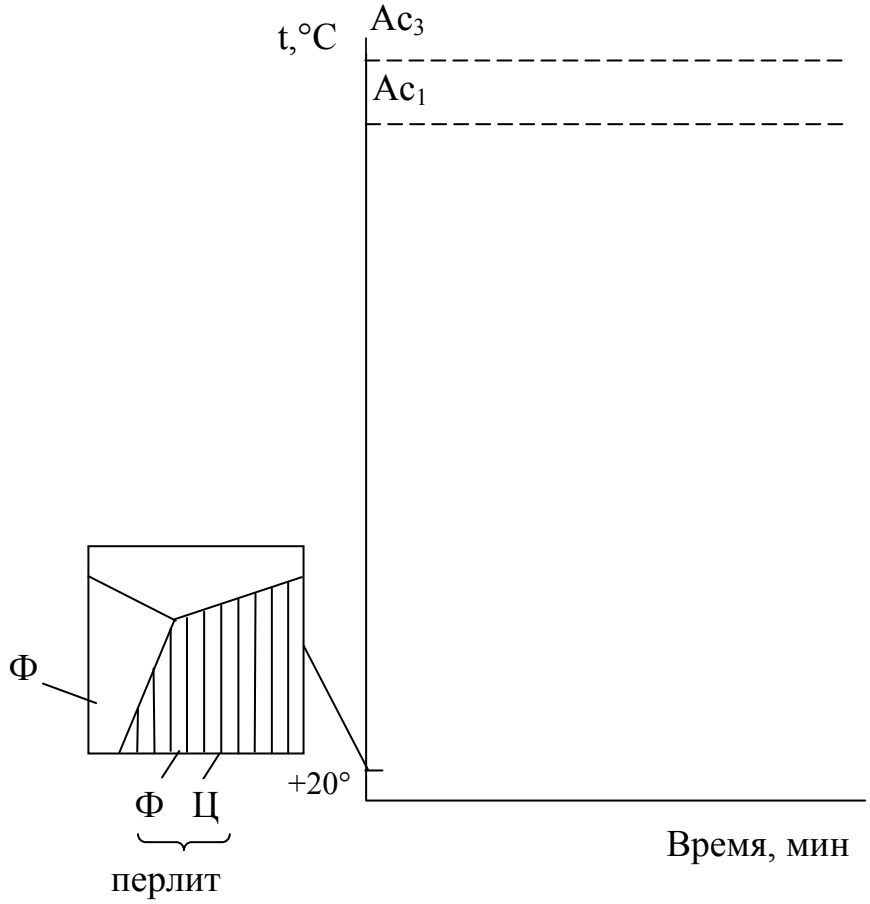


Рисунок 4 – Структура доэвтектоидной стали при комнатной температуре

При нагреве до температуры 727° (точка A_1) структура стали не изменяется (рисунок 5). Когда температура достигает точки Ac_1, в перлите на границах зерен появляются зародыши аустенита (рисунок 6), на зародышах растут новые мелкие зерна аустенита за счет перлитного зерна. Развитие превращения показано зигзагообразной линий.

В этом превращении ферритные пластинки являются поставщиком атомов железа, а цементитные – атомов углерода. Образующийся аустенит содержит 0,8% С. Превращение перлита в аустенит можно выразить формулой $Ф_{0,02\%C}+Ц_{6,67\%C}\rightarrow A_{0,8\%C}$. На рисунке 7 показана структура после окончания превращения перлита в аустенит. На месте перлитного зерна видим несколько зерен аустенита.

В температурном интервале Ac_1 – Ac_3 аустенитные зерна растут за счет феррита, т.е. феррит превращается а аустенит (рисунок 8). При достижении температуры Ac_3 структура становится полностью аустенитной (рисунок 9).

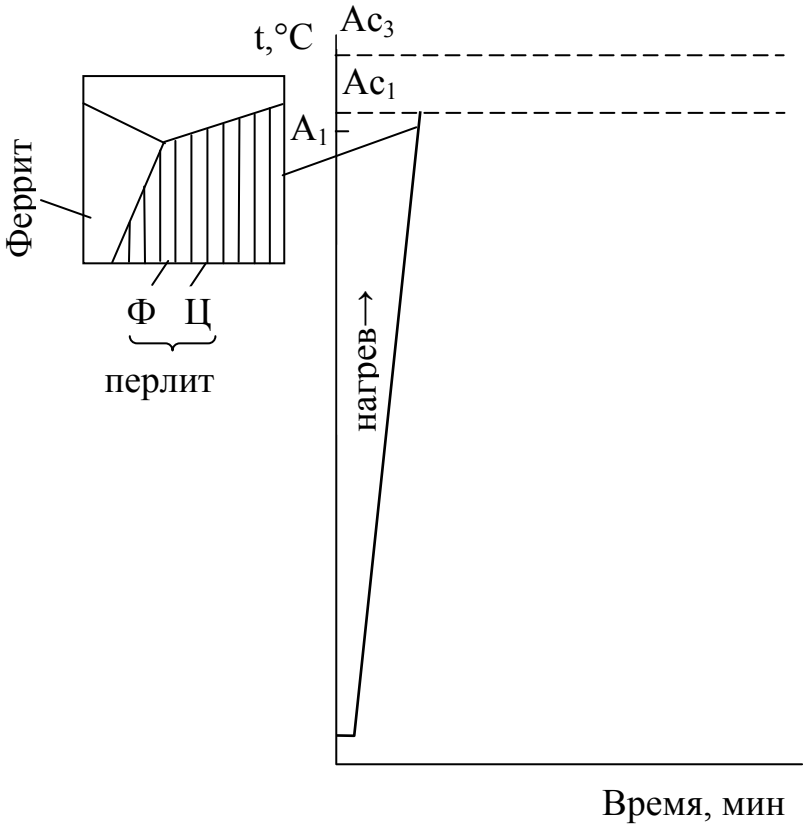


Рисунок 5 – Структура доэвтектоидной стали при нагреве до A_1

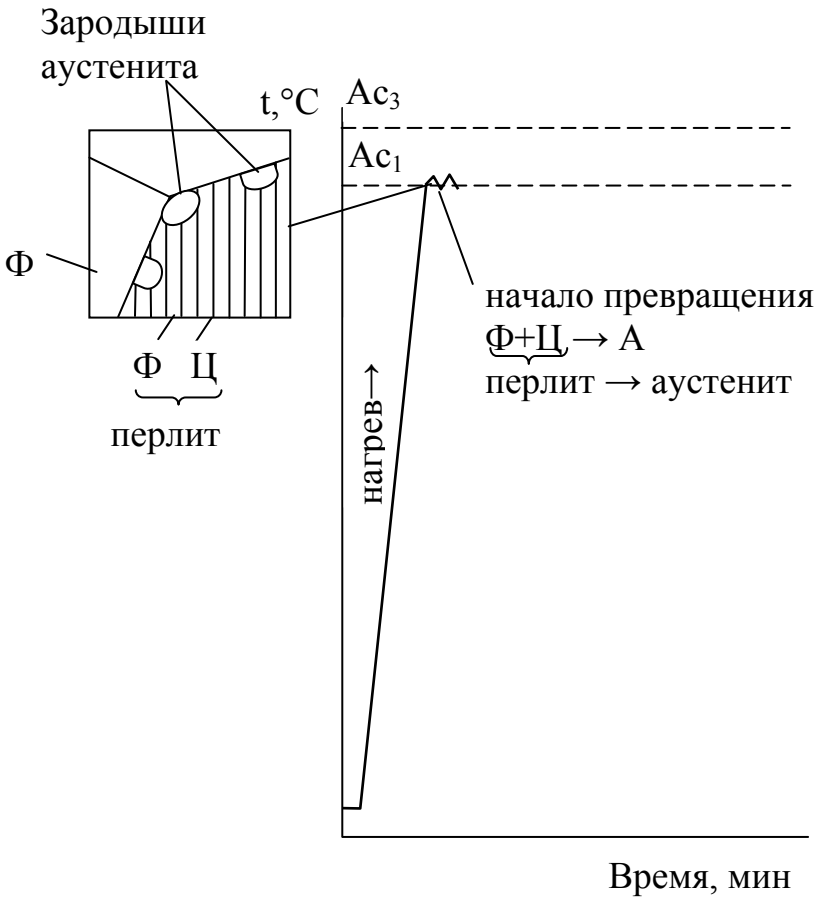


Рисунок 6 – Начало процесса образования аустенита

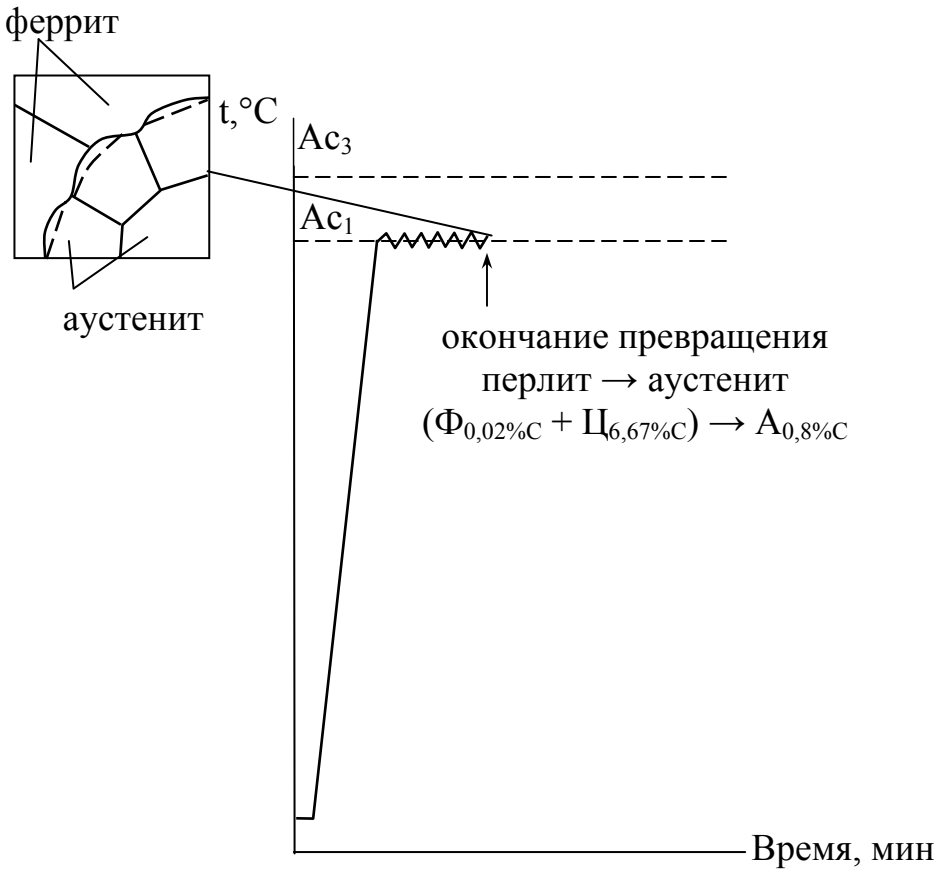


Рисунок 7 – Окончание превращения перлита в аустенит

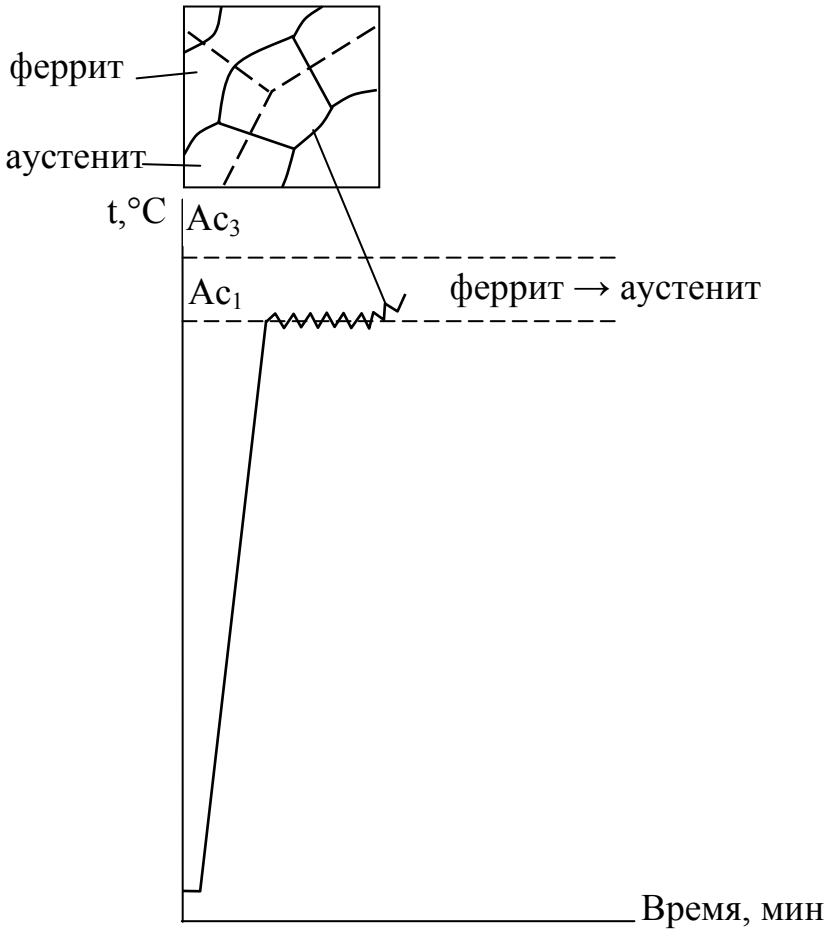


Рисунок 8 – Развитие второй стадии образования аустенита: превращение феррита в аустенит

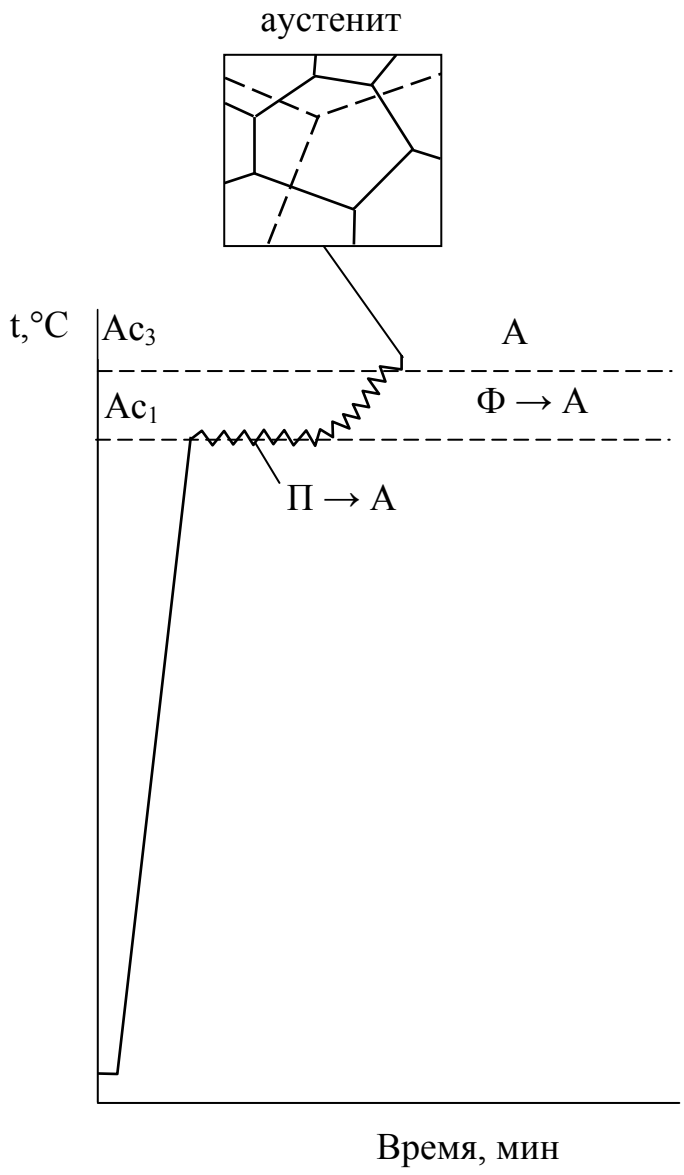


Рисунок 9 – Превращение феррита в аустенит завершилась

Выдержка стали при постоянной температуре (выше Ac_3) обеспечивает выравнивание химического состава аустенита. Исчезают и границы первичных зерен (рисунок) 10.

На рисунке 11 показаны все стадии образования аустенита.

При комнатной температуре – исходная структура, при нагреве до Ac_1 структура сплава не изменяется, при температуре Ac_1 появляются зародыши аустенита и перлит превращается в аустенит, в интервале Ac_1 – Ac_3 феррит превращается в аустенит. Заметим, что режим нагрева должен обеспечить получение мелкого аустенитного зерна.

Проанализируем превращения при охлаждении доэвтектоидной стали после нагрева ее до аустенитного состояния.

Диаграммы, описывающие превращения переохлажденного аустенита, обычно строят в координатах время – температура. Применение логарифмической шкалы времени дает возможность показать развитие процесса как при больших, так и при малых скоростях охлаждения (рисунок 12). Так, при быстром охлаждении (кривая M) температурный интервал от 740 до 20°C проходится за 2,5 сек, а при медленном охлаждении (кривая N) – за 2000 секунд.

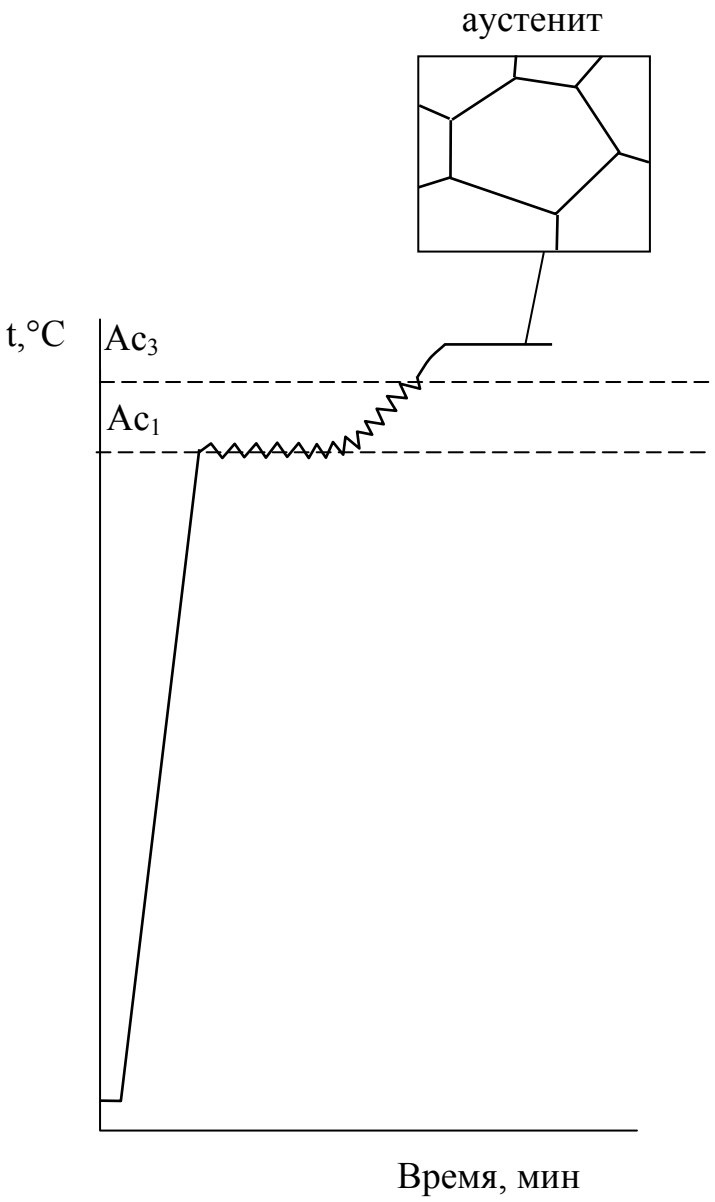


Рисунок 10 – Во время выдержки при температуре выше Ac_3 протекает процесс выравнивания химического состава аустенита

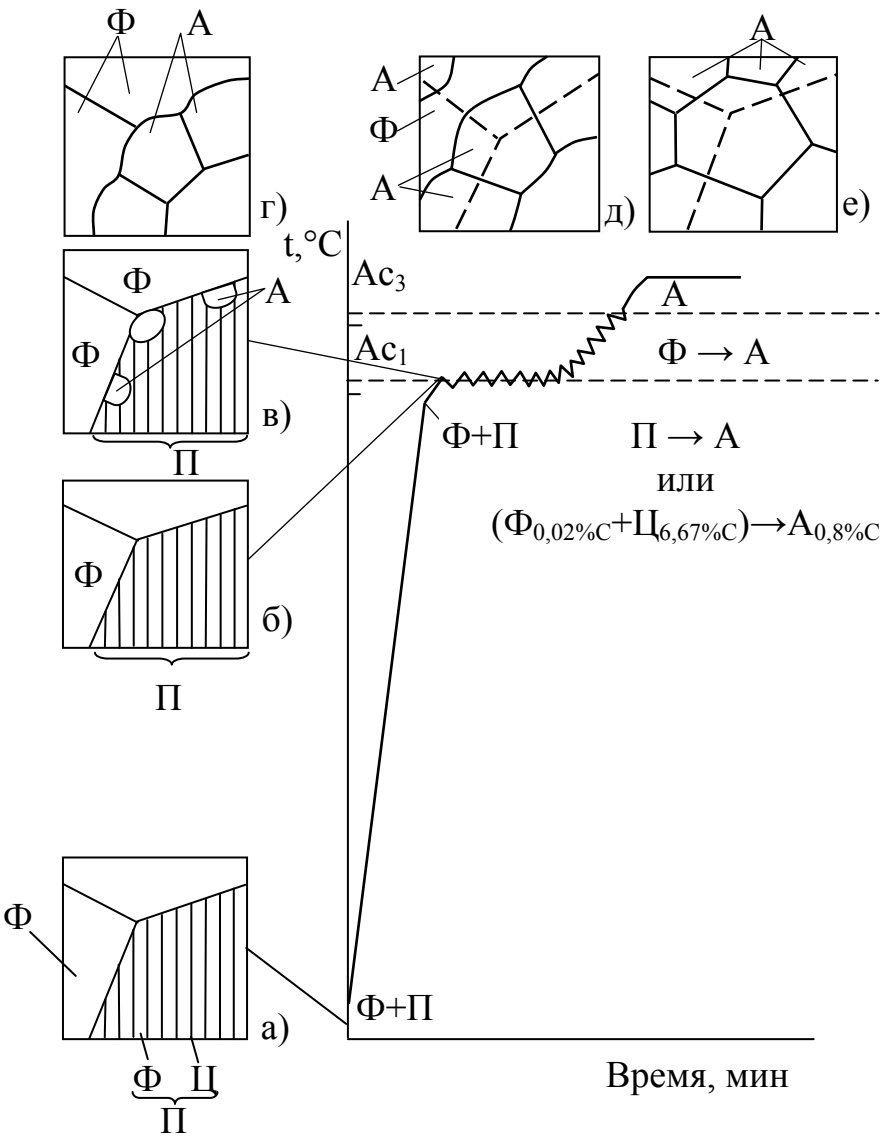


Рисунок 11 – Превращения при нагреве доэвтектоидной стали

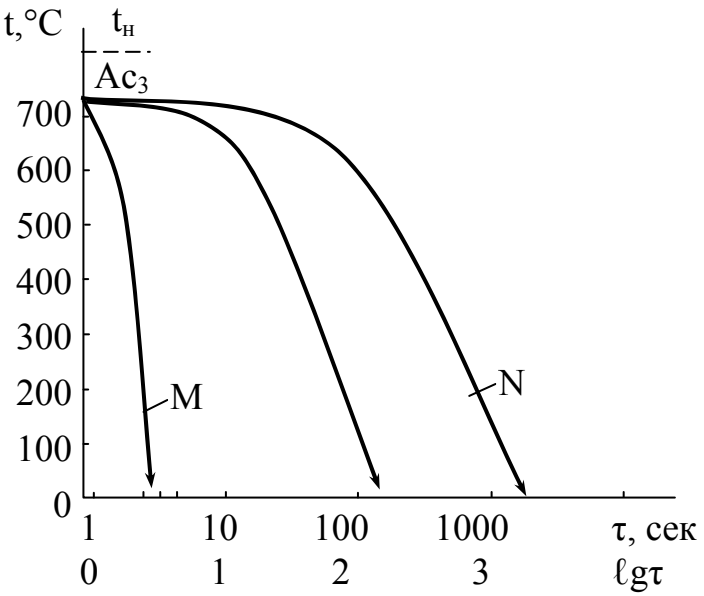


Рисунок 12 – Диаграмма охлаждения при логарифмической шкале времени

Остановимся на превращении при медленном охлаждении (рисунок 13). Аустенит устойчив (стабилен), если сталь находится при температуре выше A_3. После понижения температуры ниже A_3 аустенит становится неустойчивым и называется переохлажденным.

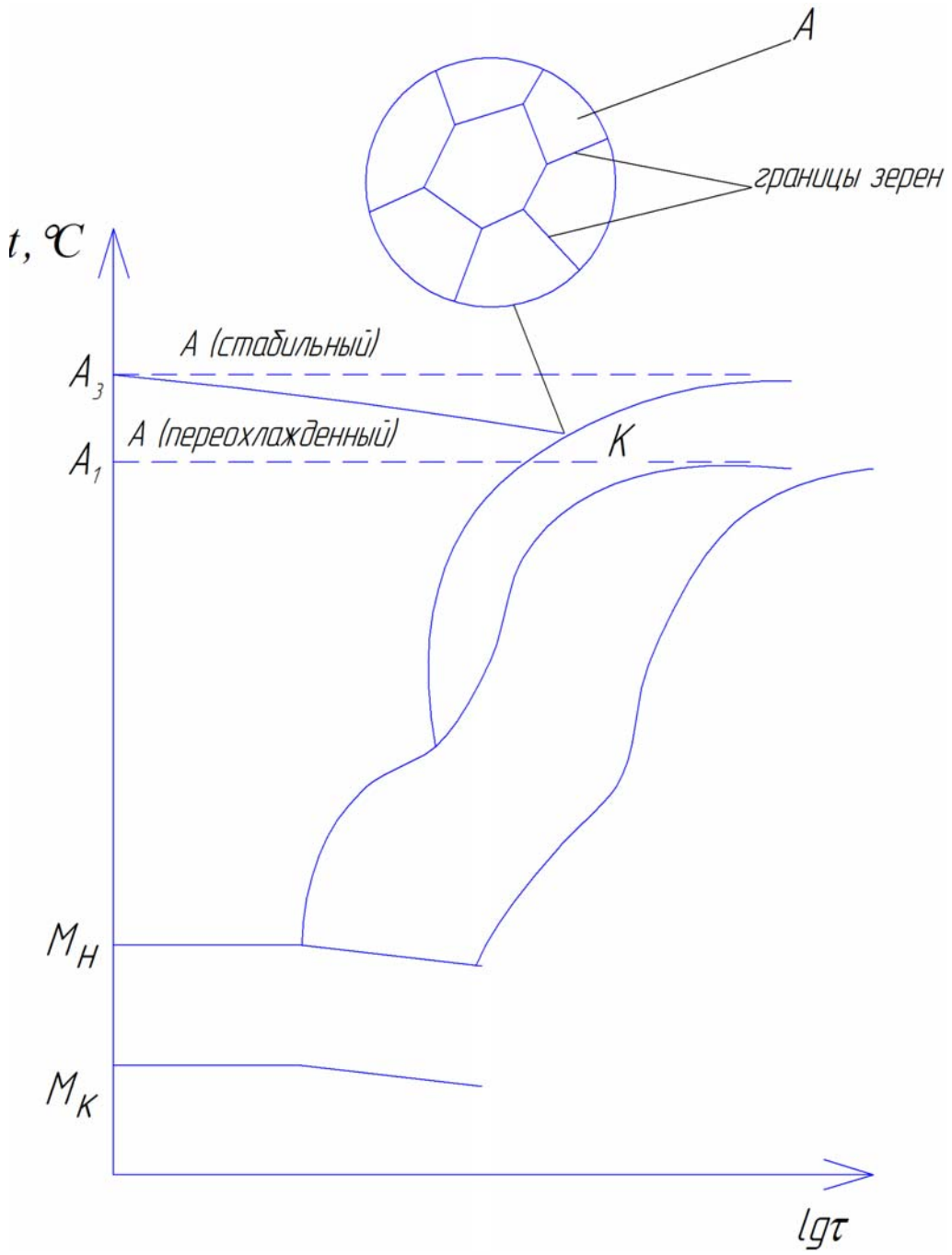


Рисунок 13 – Термокинетическая диаграмма превращений аустенита при охлаждении доэвтектоидной стали

При охлаждении до точки «К» аустенит сохраняется. При прохождении точки «К» появляются первые зародыши феррита (рисунок 14). Количество

феррита увеличивается по мере охлаждения до точки «L» (рисунок 15). В результате на границах зерен аустенита получается оторочка феррита.

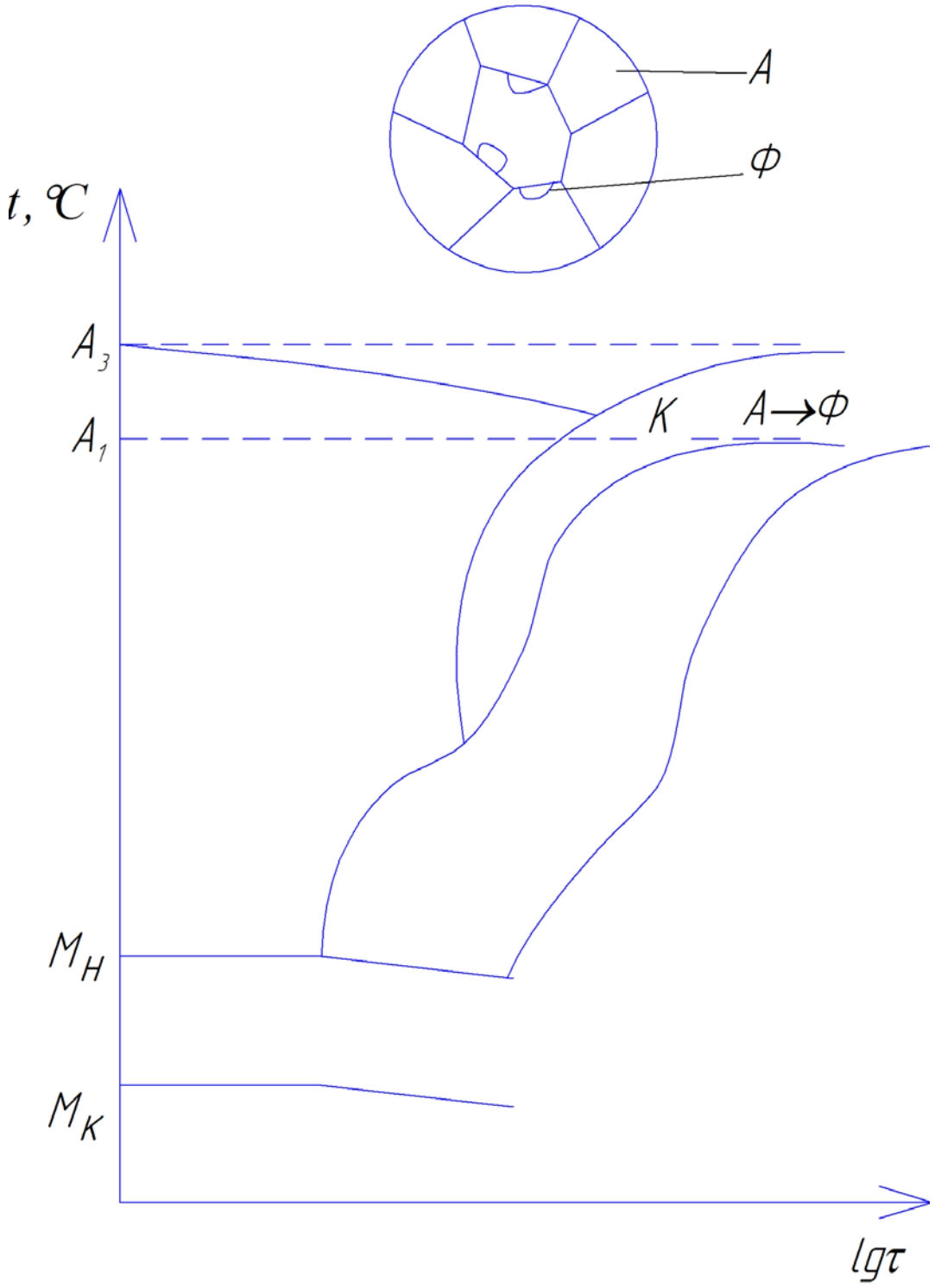


Рисунок 14 – Начало превращения аустенита в феррит при медленном охлаждении

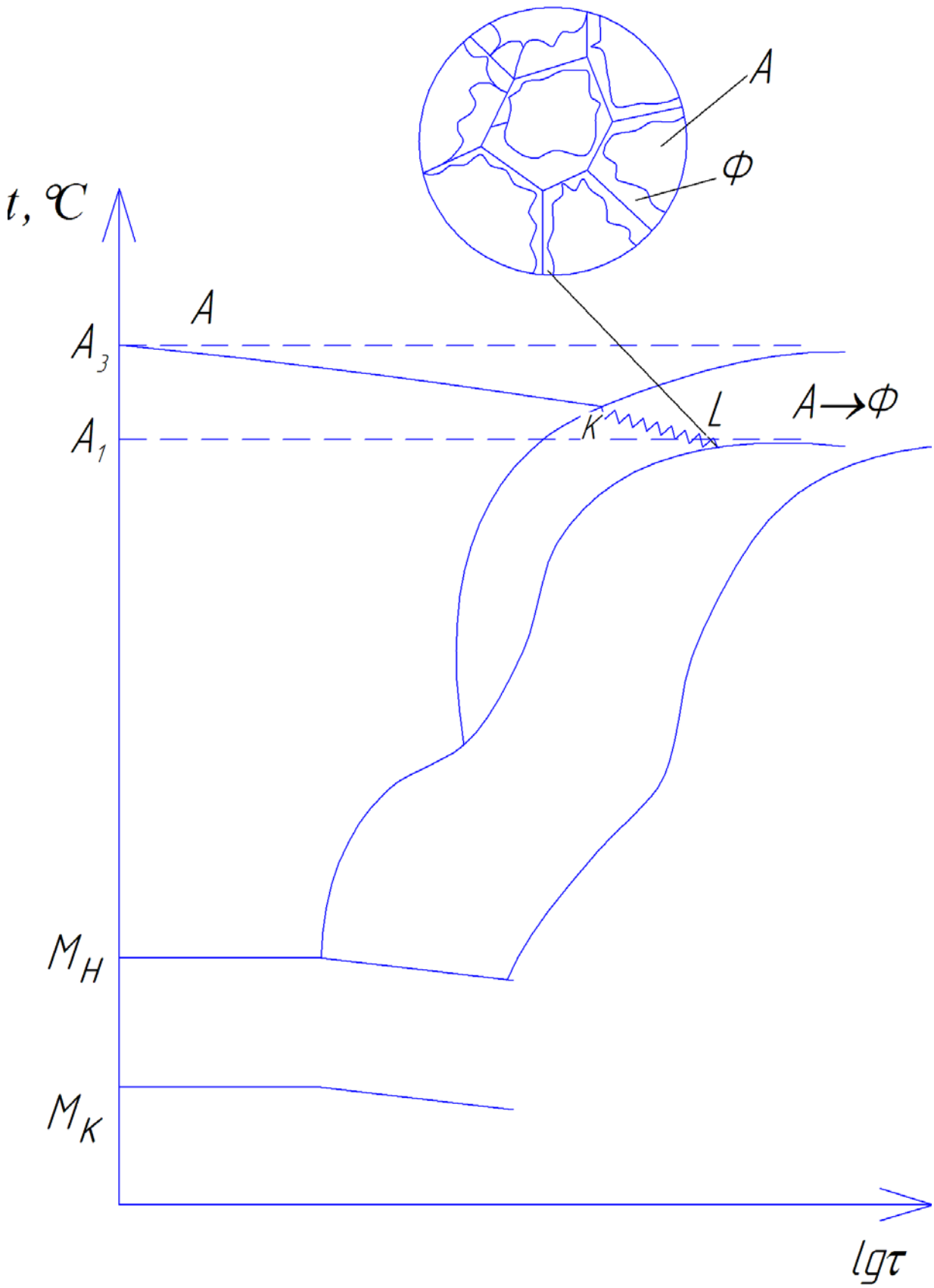


Рисунок 15 – окончание превращения аустенита в феррит

Дальнейшее охлаждение от точки «L» до точки «m» сопровождается превращением аустенита в перлит рисунок 16. Перлитная составляющая размещается в средней части зерна.

Таким образом, при охлаждении с малой скоростью аустенит превратился в феррит и перлит.

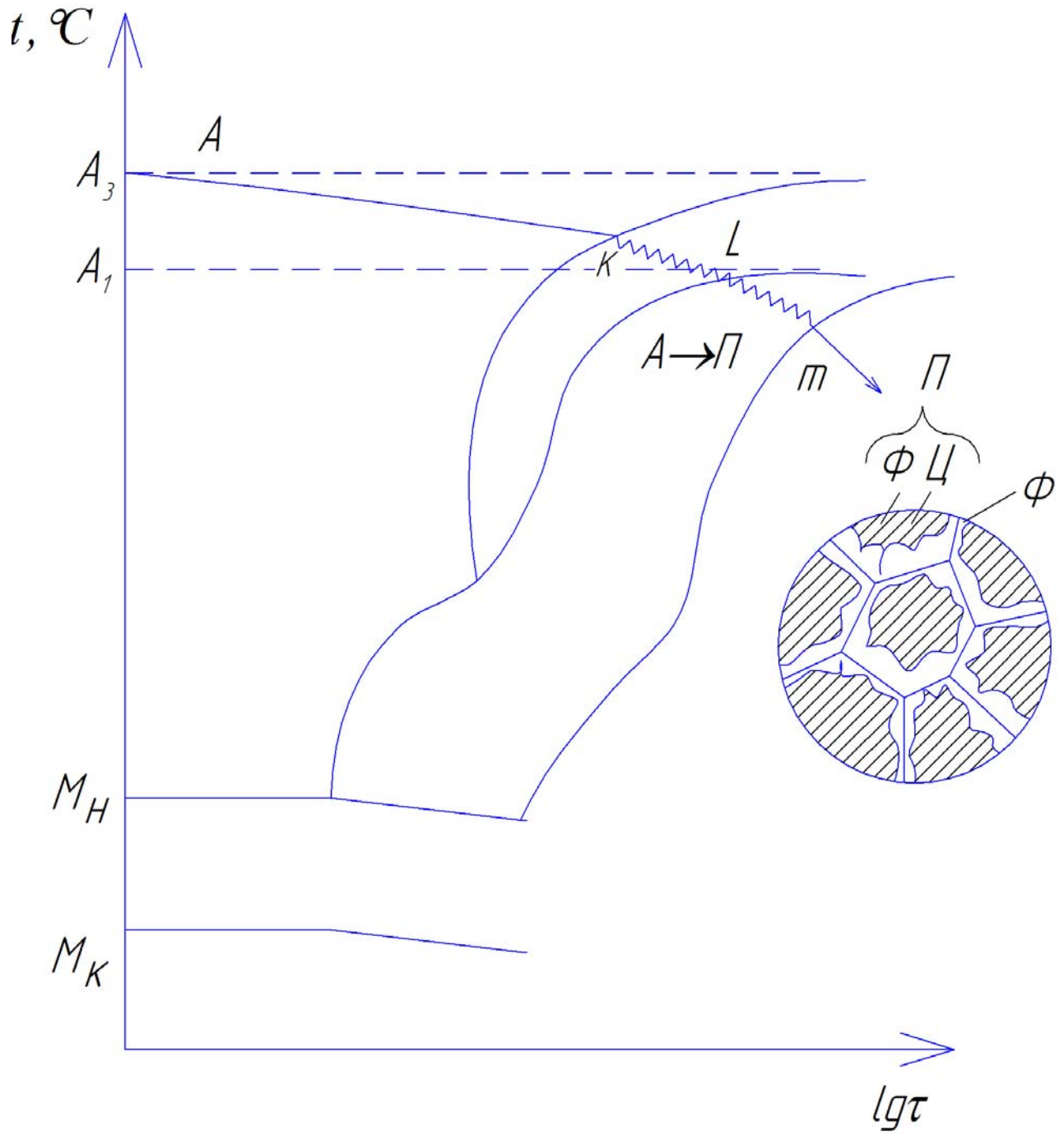


Рисунок 16 – Вторая стадия превращения аустенита при медленном охлаждении стали: превращение аустенита в перлит

Если охлаждение проводится ускоренно, (на воздухе), то превращение аустенита также протекает в две стадии (рисунок 17). На первой стадии из аустенита образуется феррит, а на второй стадии оставшийся аустенит превращается в перлитные продукты (сорбит, троостит).

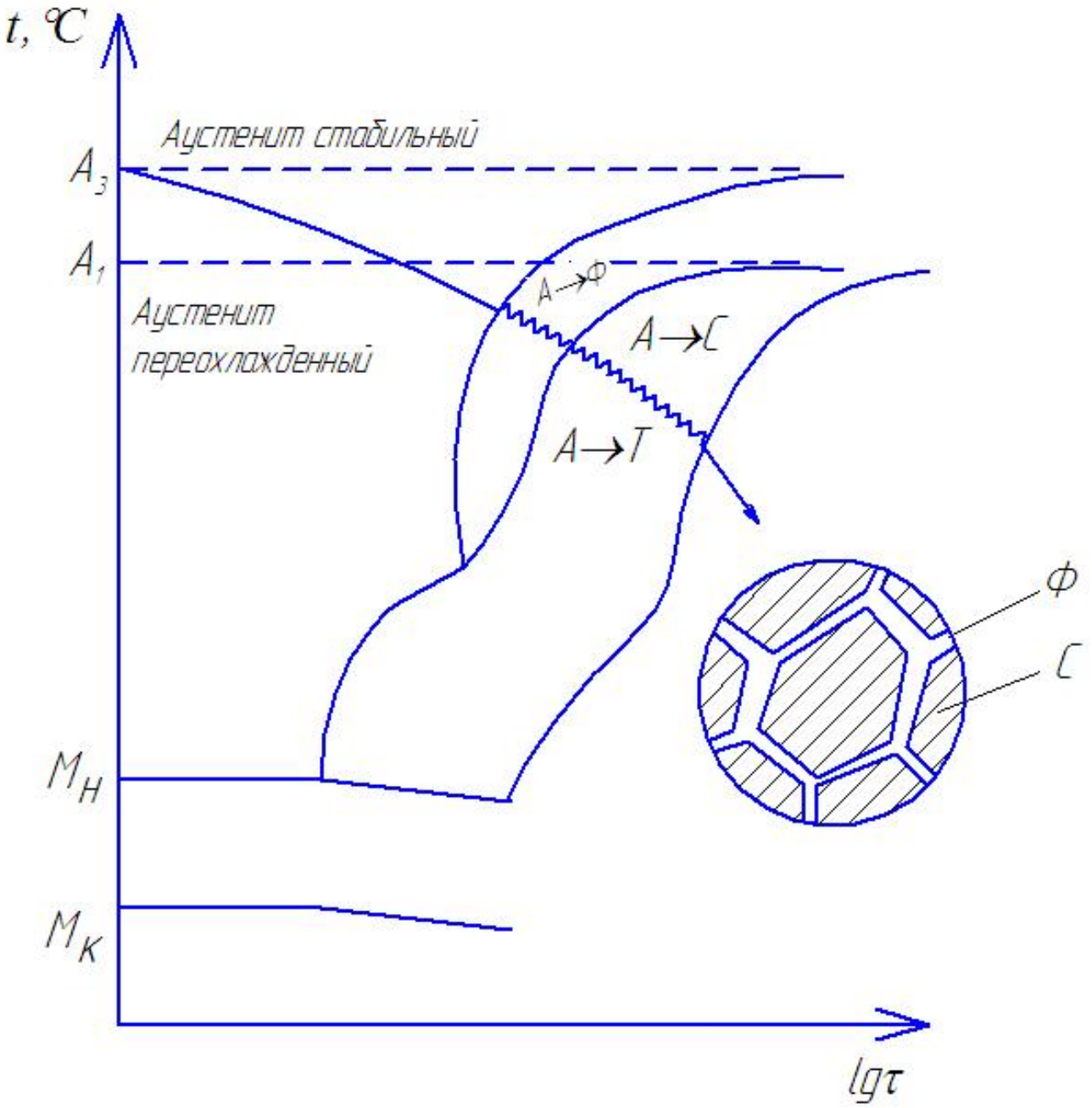


Рисунок 17 - При ускоренном охлаждении (на воздухе) превращение аустенита также протекает в две стадии:

1) аустенит превращается в феррит;
2) аустенит превращается в перлитные продукты (сорбит)

В случае быстрого охлаждения (в масле) превращение аустенита начинается при более низкой температуре, в точке «0» (рисунок 18). В структуре появляется группа параллельно растущих игл перенасыщенного феррита, в которых появляются частицы цементита. Такая структура называется бейнитом. Бейнитное превращение развивается в интервале температур от точки «0» до точки «р» (рисунок 19). На участке «рq» последние порции аустенита превращаются в мартенсит (рисунок 20). Таким образом, получается бейнито-мартенситная структура.

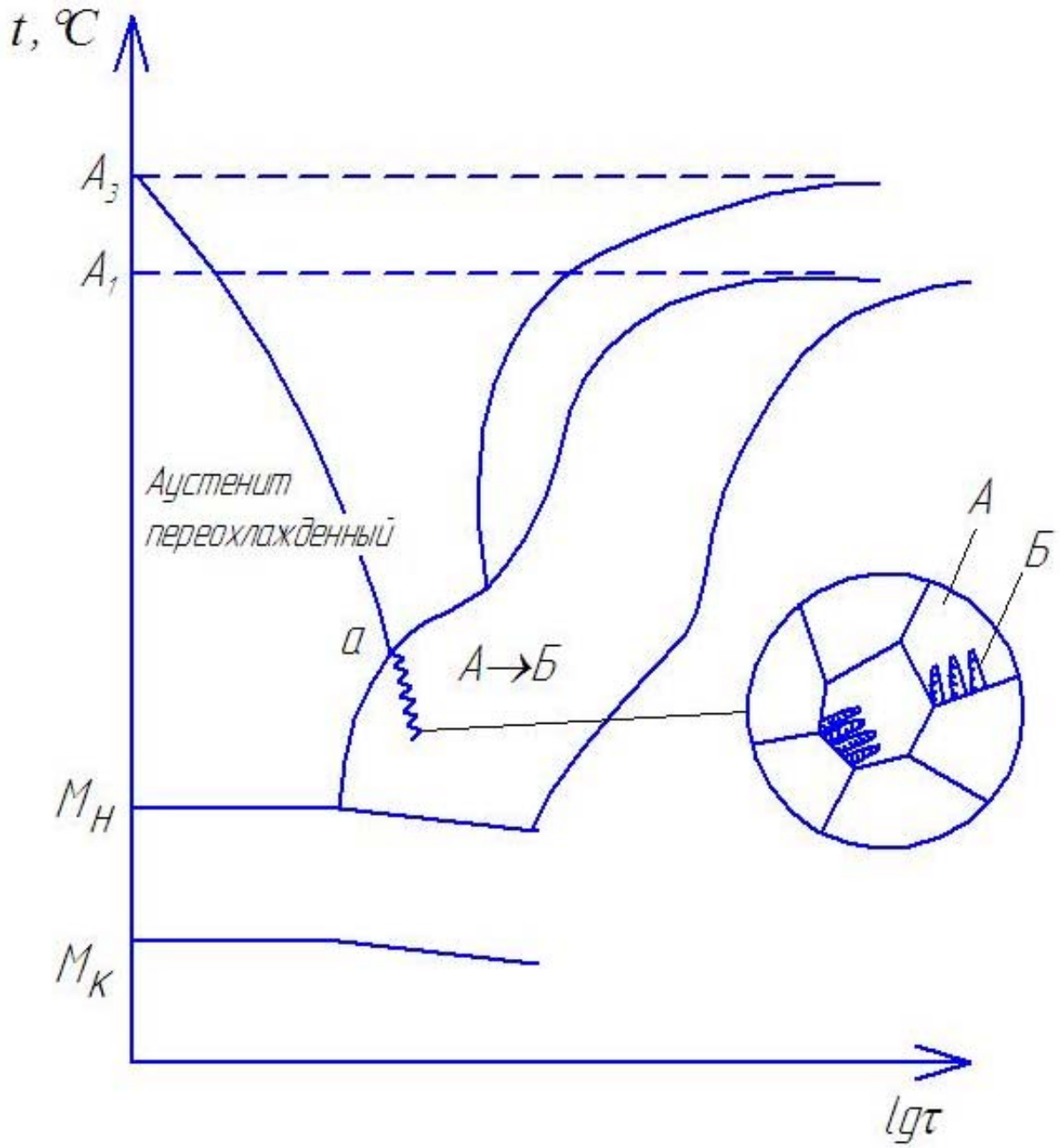


Рисунок 18 – Охлаждение в масле. Начало превращения аустенита в бейнит

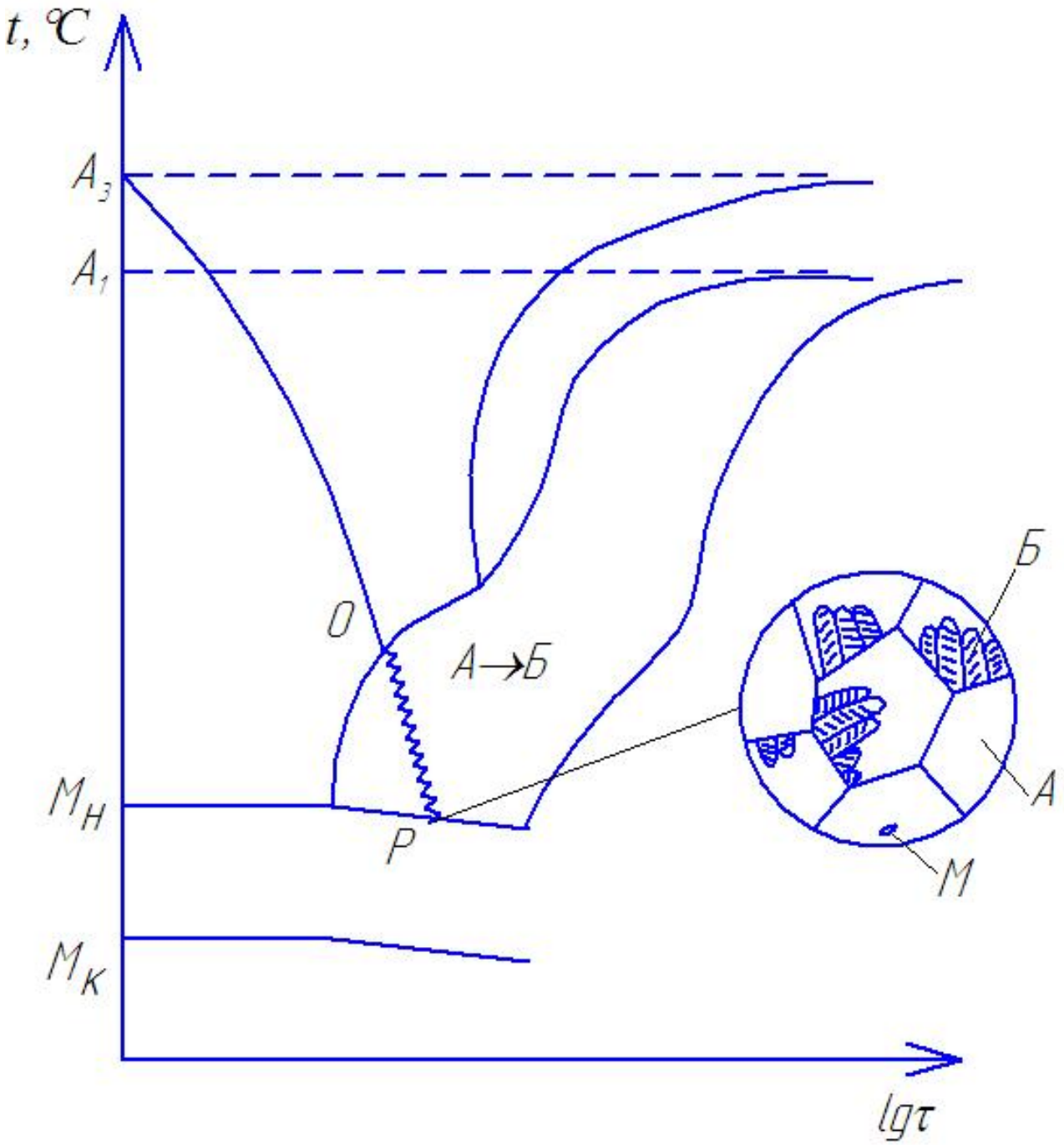


Рисунок 19 – В точке «Р» заканчивается превращение аустенита в бейнит и начинается превращение аустенита в мартенсит

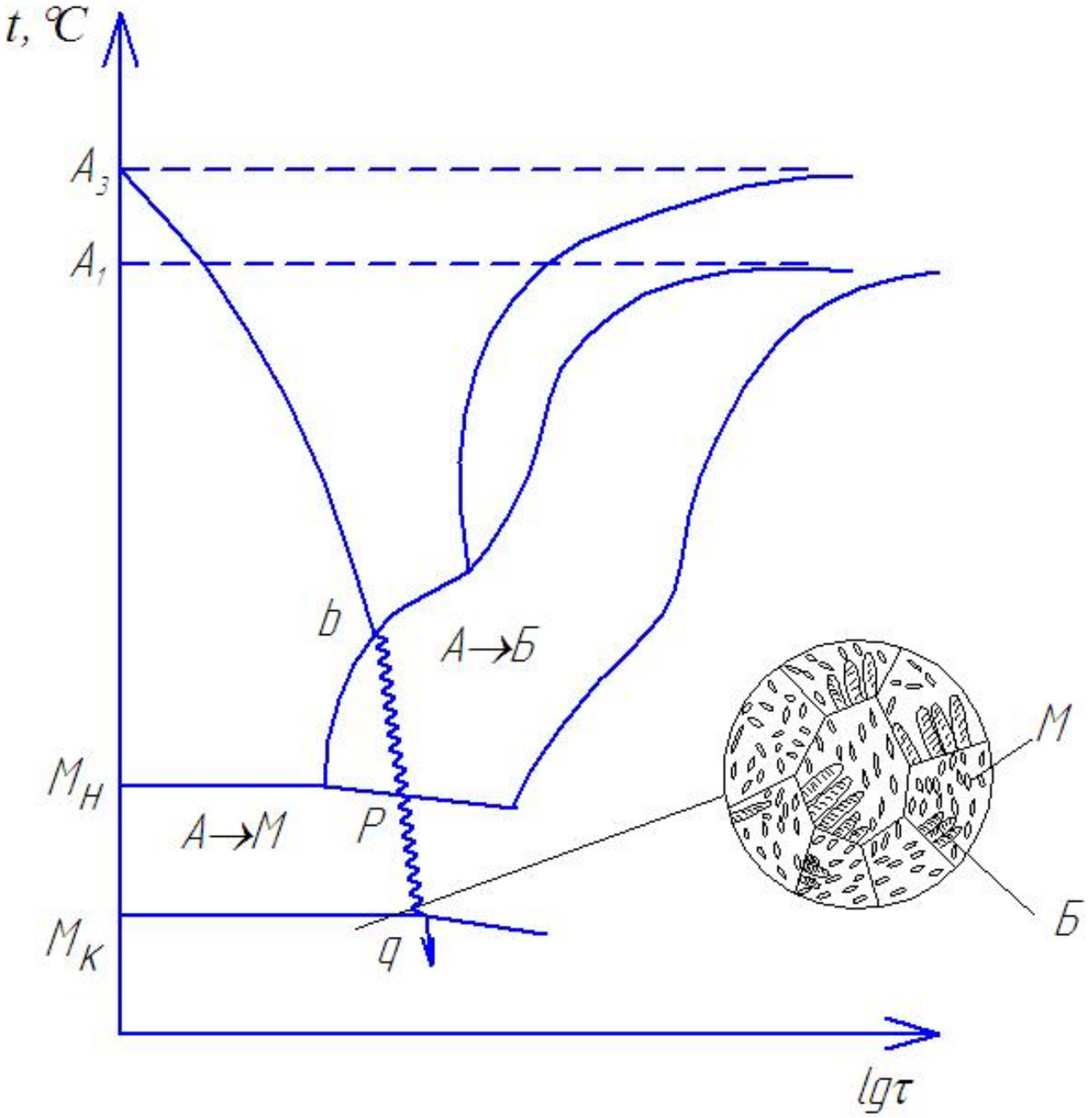


Рисунок 20 – Конечная структура: бейнит+мартенсит

При очень быстром охлаждении (в воде) аустенит переохлаждается до температуры $М_н$, а затем превращается в мартенсит в интервале температур от $М_н$ до $М_к$, т.е. от точки «0» до точки «r» (рисунок 21).

На рисунке 22 показаны все рассмотренные превращения при охлаждении и структуры, наблюдаемые после окончания превращений.

Итак, после нагрева до аустенитного состояния и медленного охлаждения получается мелкозернистая феррито-перлитная структура. Такая обработка называется отжигом. Вариант отжига с охлаждением на воздухе носит название нормализации. Нормализация дает структуру феррит + тонкопластинчатый

перлит (сорбит). Термическая обработка, заключающаяся в нагреве до аустенитного состояния и быстром охлаждении (в воде или в масле), называется закалкой. При закалке в масле – бейнито-мартенситная структура, в воде – мартенситная.

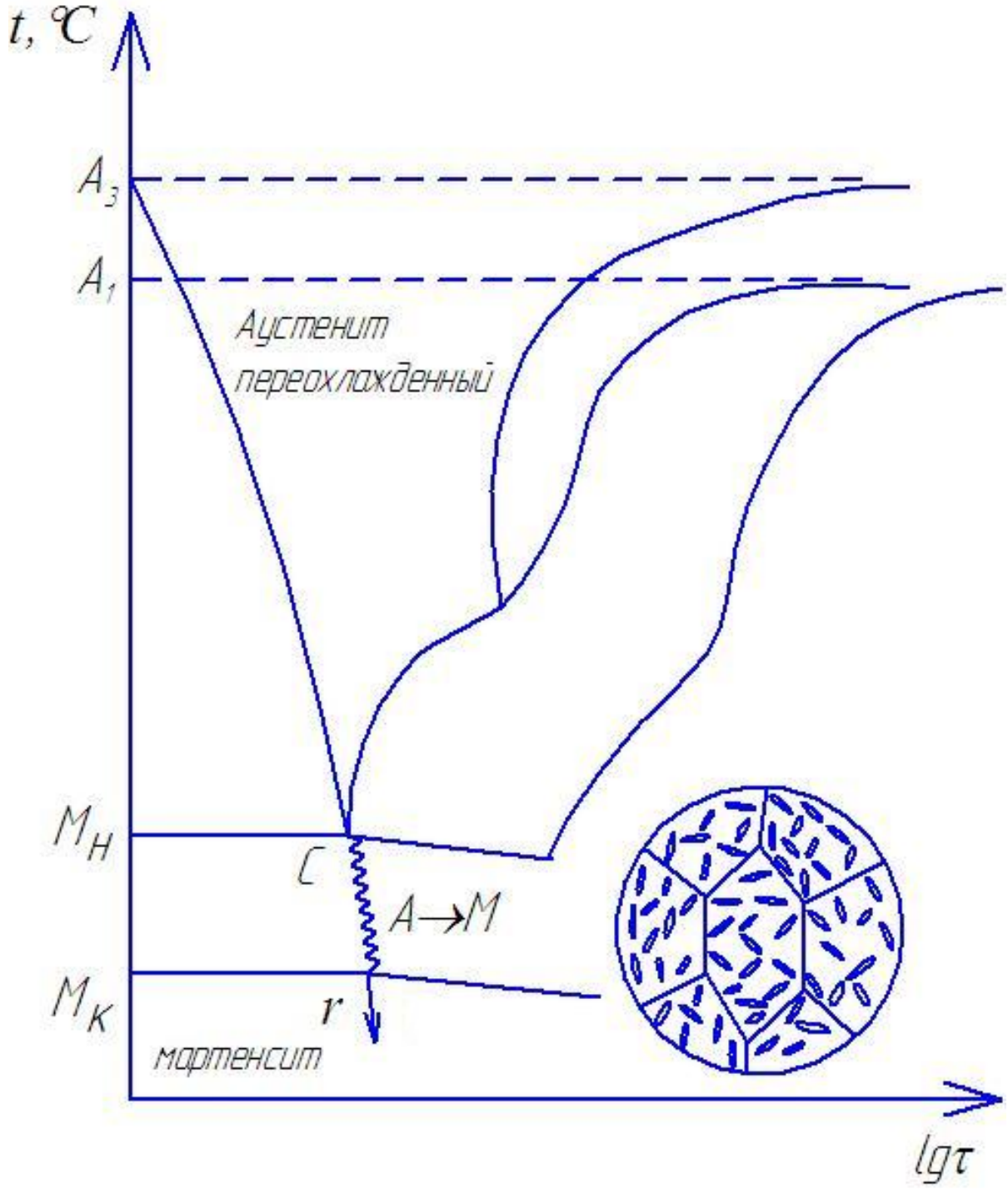


Рисунок 21 – При очень быстром охлаждении (в воде) аустенит переохлаждается до температуры $М_н$, а затем превращается в мартенсит

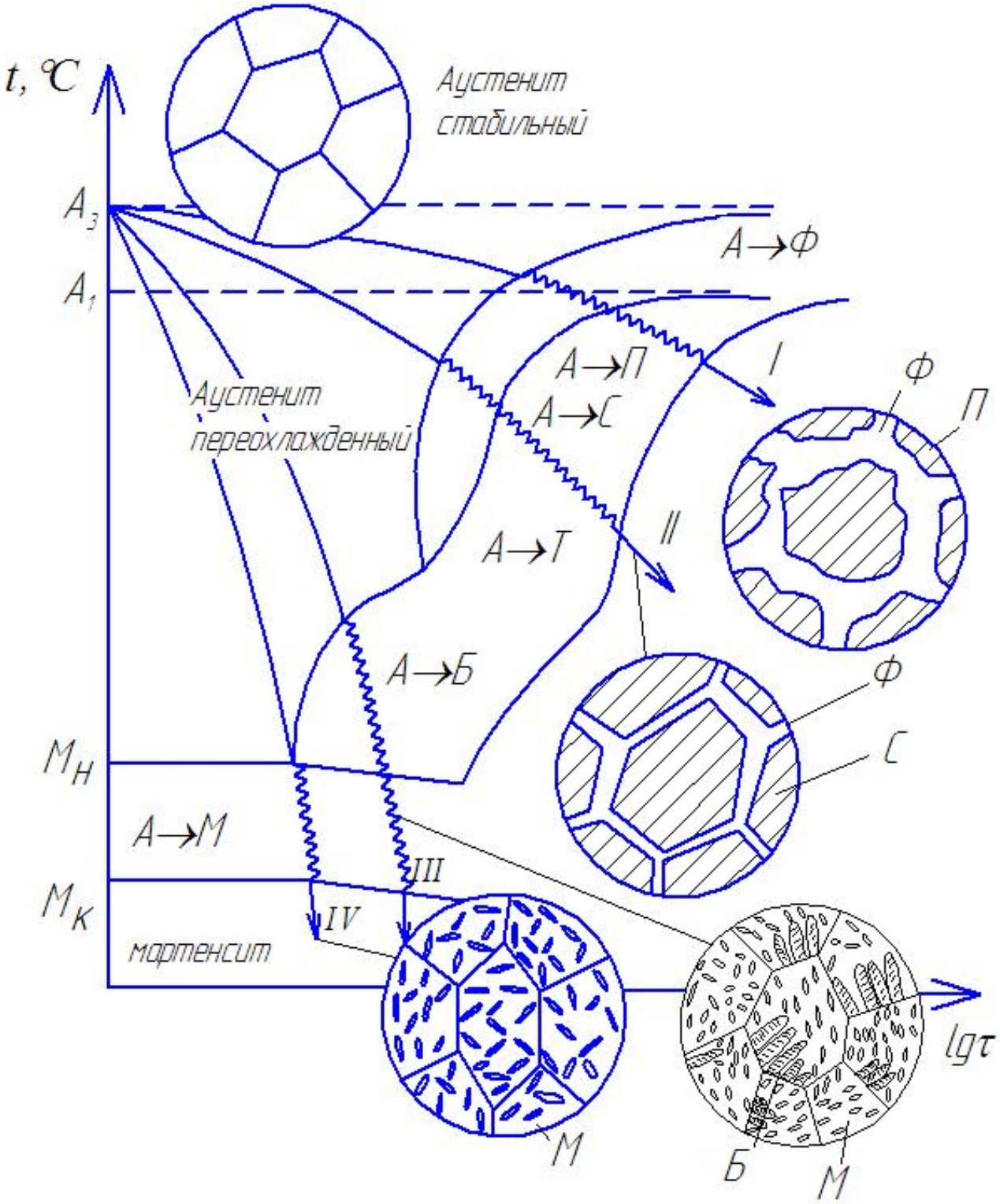


Рисунок 22 – Структурные превращения при охлаждении доэвтектоидной стали

По точкам пересечения кривой охлаждения с линиями диаграммами можно определить температуру и время начала или окончания каждой стадии превращения аустенита (рисунок 23). Например, при охлаждении по кривой II, распад аустенита начинается в точке «а», при температуре 700°С через 20 сек

после начала охлаждения. Точка «с» показывает, что распад аустенита заканчивается при 540°С, через 105 сек после начала охлаждения.

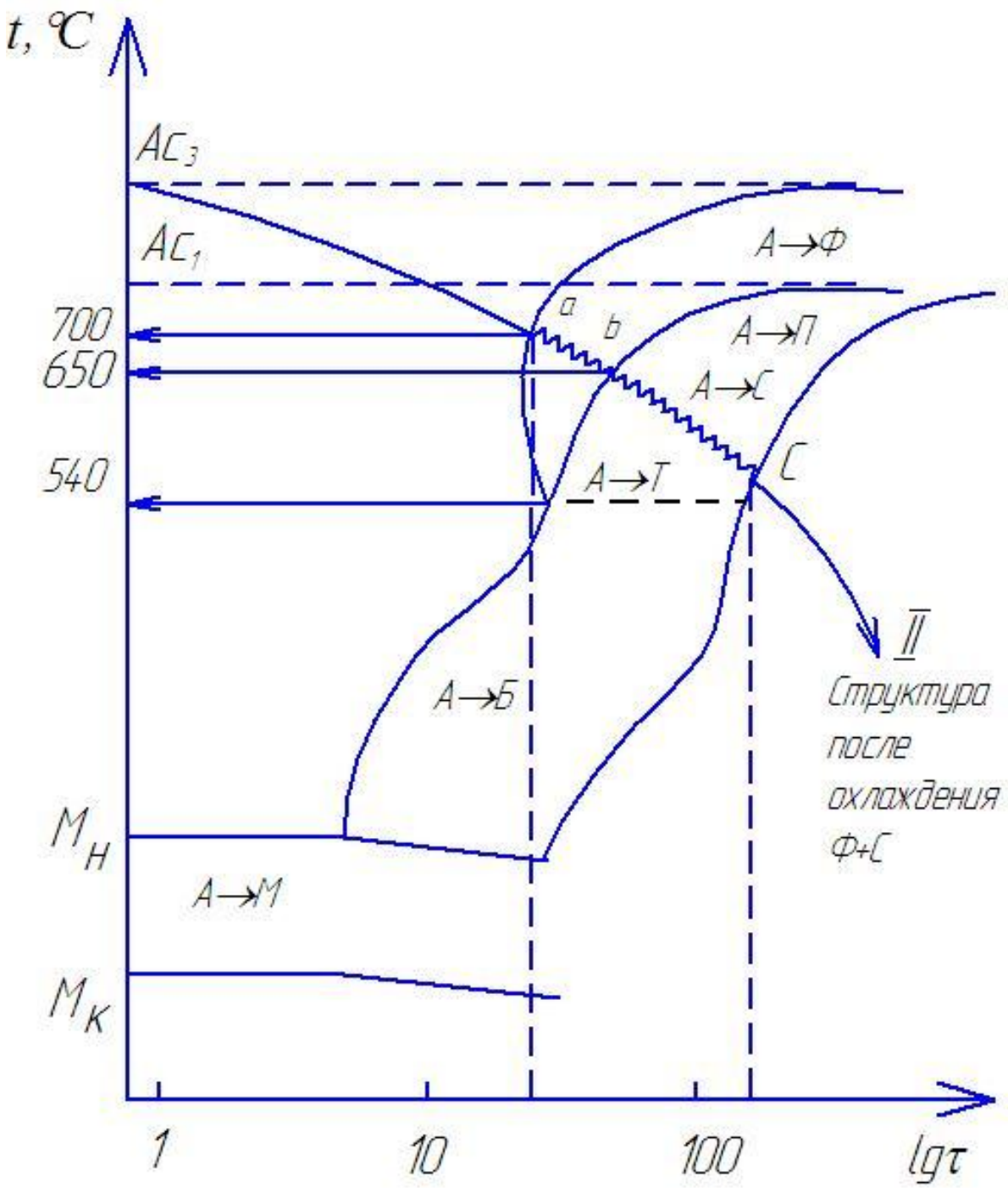


Рисунок 23 – Анализ превращений при охлаждении. В интервале температур 700° - 650° (*a* – *b*): Аустенит → феррит. В интервале температур 650° - 540° . Аустенит → сорбит

На рисунке 24 показаны обобщенные диаграммы режимов термической обработки доэвтектоидной стали. Все режимы состоят из 2-х стадий: стадия нагрева и стадия охлаждения.

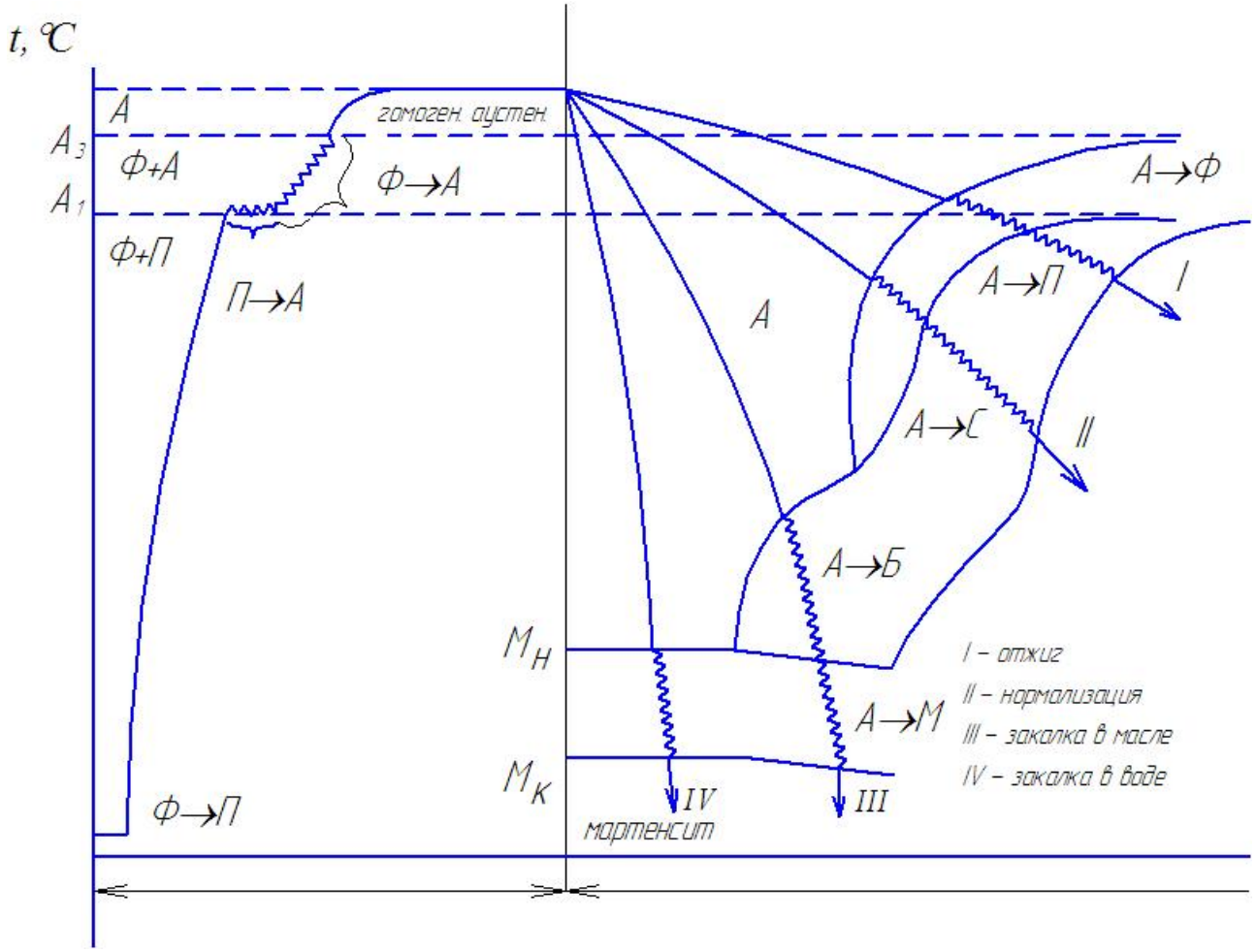


Рисунок 24 – Обобщенные диаграммы режимов термической обработки

При отжиге, нормализации, а также при закалке металл нагревается до аустенитного состояния, после чего даётся выдержка при постоянной температуре для выравнивания химического состава аустенита. В зависимости от скорости охлаждения в стали протекают различные превращения, и сталь приобретает различные структуры, а следовательно, и свойства.

После медленного охлаждения, т.е. после отжига, сталь мягкая, пластичная. Металл хорошо обрабатывается резанием, поддаётся холодной пластической деформации.

После быстрого охлаждения, т.е. после закалки, сталь становится твёрдой, прочной, износостойкой. Закаленную сталь необходимо подвергать отпуску для уменьшения внутренних напряжений и некоторого повышения пластичности.

Дудорова Татьяна Александровна
Савиных Леонид Михайлович

ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ ОХЛАЖДЕНИЯ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА СТАЛИ

Методические указания
для самостоятельной подготовки
к лабораторной работе
для студентов специальностей
080502, 150202, 151001, 200503, 220301,
190201, 190202, 190601, 190603,
190700, 190702, 280100, 140211

Редактор Е.А. Устюгова

Подписано к печати	Формат 60x84 1/16	Бумага тип. № 1
Печать трафаретная	Усл. печ.л. 1,5	Уч.-изд. л. 1,5
Заказ	Тираж 100	Цена свободная

Редакционно-издательский центр КГУ.
640669, г. Курган, ул. Гоголя, 25.
Курганский государственный университет.