

## ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ РАСПАДА ПЕРЕОХЛАЖДЕННОГО АУСТЕНИТА СТАЛИ Д32

**Р.Е. ВЕЛИКОЦКИЙ**

*ОАО «Алчевский металлургический комбинат»,  
Украина*

**Введение.** Для понимания процессов структурообразования и формирования конечной структуры стали, при различных скоростях охлаждения из аустенитной области, важнейшее значение имеет знание термокинетических диаграмм.

В известных источниках [1, 2] термокинетические диаграммы стали Д32 не обнаружены, а наиболее близкими к ней по составу сталями, для которых такие диаграммы опубликованы, являются стали 20Г и 20Г2 [3]. Химический состав стали Д32 (%):  $C \leq 0,18$ ;  $0,9 \div 1,6Mn$ ;  $0,15 \div 0,50Si$ ;  $S \leq 0,035$ ;  $P \leq 0,035$ ;  $Cr \leq 0,20$ ;  $Ni \leq 0 < 40$ ;  $Cu \leq 0,35$ ;  $0,015 \div 0,06Al$  [4]. Известно [5], что даже в пределах одной и той же марки колебания химического состава (а также условий выплавки, раскисления и пр.) могут оказывать существенное влияние на кинетику расплава переохлаждённого аустенита и структуру стали, полученную после прокатки или термообработки, а следовательно, и на её свойства.

**Постановка задачи.** *Основной целью настоящей работы является построение термокинетических диаграмм и диаграмм фазового состояния в зависимости от скорости охлаждения, а также исследование влияния легирования на изменение фазового состава стали Д32.*

**Методы исследований.** В ходе данной работы исследование превращений аустенита при охлаждении стали Д32 с построением термокинетических диаграмм выполнено для двух плавок, существенно различающихся по содержанию  $C$ ,  $Mn$ ,  $Ti$  и  $Al$ . Химический состав исследуемых плавок следующий (%):

плавка А:  $0,09C$ ;  $1,27Mn$ ;  $0,25Si$ ;  $0,029S$ ;  $0,023P$ ;  $0,14Cr$ ;  $0,10Ni$ ;  $0,16Cu$ ;  $0,010Ti$ ;  $0,010Al$ ;

плавка Б:  $0,14C$ ;  $1,92Mn$ ;  $0,34Si$ ;  $0,033S$ ;  $0,037P$ ;  $0,16Cr$ ;  $0,14Ni$ ;  $0,18Cu$ ;  $0,015Ti$ ;  $0,030Al$ .

Углеродный эквивалент  $C_e$ ,  $(C + 0,25Mn + 0,1Si)$  плавки А равен 0,432, а плавки Б – 0,654. Термокинетические диаграммы строили с применением dilatометрического метода. Использовался кварцевый быстродействующий dilatометр. Исследованию подвергались образцы трубчатой формы, наружный диаметр которых составлял 6 мм, внутренний – 4 мм, длина – 6 мм. Критические точки  $A_{c3}$  и  $A_{c1}$  определяли при скорости нагрева  $1,5 \text{ }^\circ\text{C}/\text{с}$ , скорости охлаждения образцов варьировали от 1 до  $200 \text{ }^\circ\text{C}/\text{с}$  (в интервале  $800 \div 700 \text{ }^\circ\text{C}$ ).

**Результаты эксперимента и их обсуждение.** Термокинетические диаграммы исследованных плавок (см. рис. 1, 2) и диаграммы, показывающие количественное соотношение между структурными составляющими (см. рис. 3, 4) после охлаждения с различными скоростями, приведены на рис. 1–4, а фотографии, полученных при этом микроструктур – на рис. 5, 6. Как следует из сопоставления термокинетических диаграмм, точка  $A_{r3}$  плавки Б с содержанием углерода 0,14 % и марганца 1,92 % при всех скоростях охлаждения лежит ниже, примерно на  $80 \text{ }^\circ\text{C}$ , чем у плавки А, где содержание этих элементов, соответственно, 0,09 и 1,27 %. У плавки Б ниже также температура начала образования перлита и бейнита. Температура начала мартенситного превращения ( $M_n$ ) у этой плавки равна  $380 \text{ }^\circ\text{C}$ , что на  $70 \text{ }^\circ\text{C}$  ниже, чем у плавки А ( $450 \text{ }^\circ\text{C}$ ) с низким содержанием углерода и марганца. Увеличение содержания углерода и марганца в стали существенно повышает устойчивость аустенита, в связи с чем у плавки Б температура



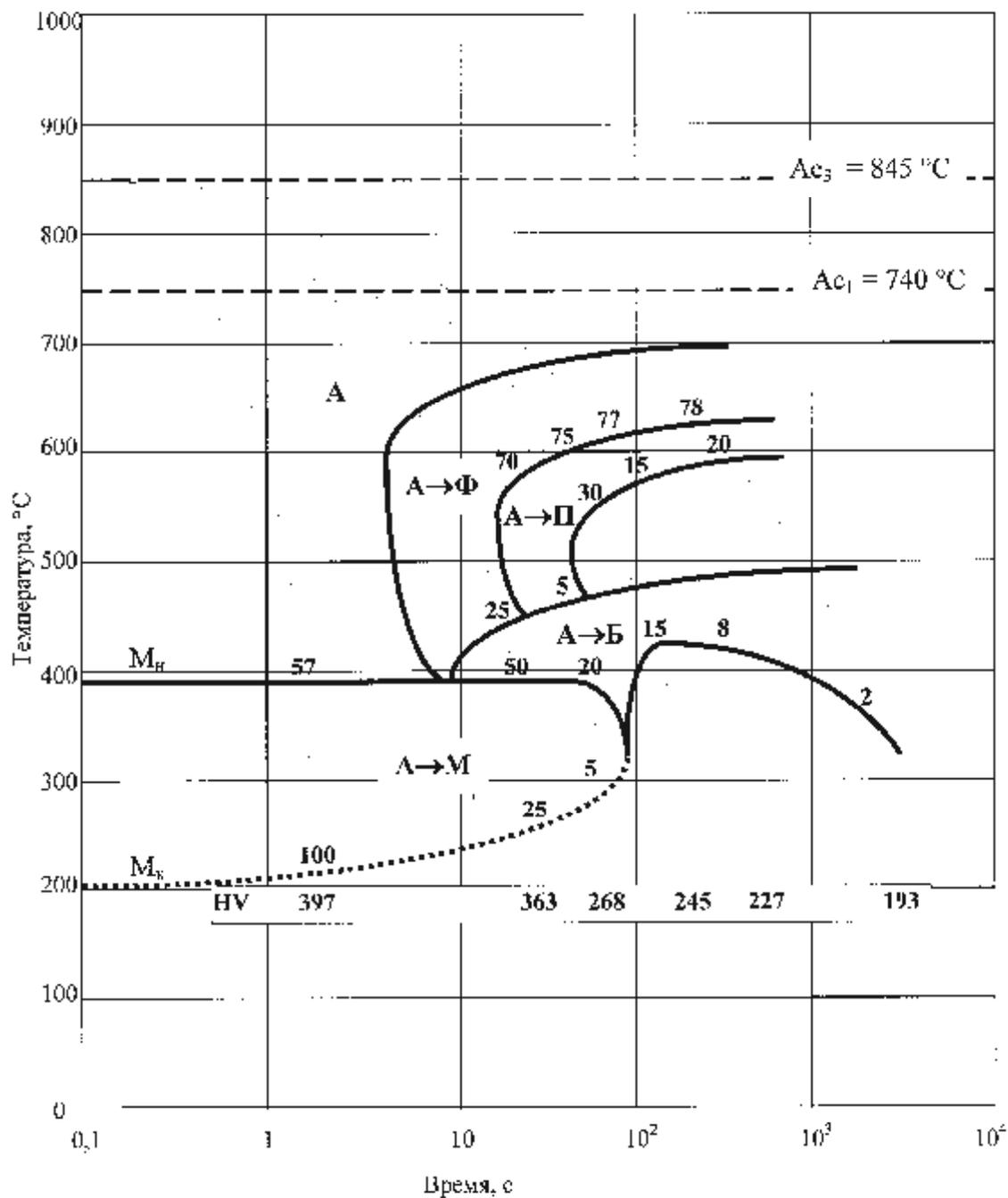


Рис. 2. Результаты исследования превращений при охлаждении стали марки Д32 (плавка Б)

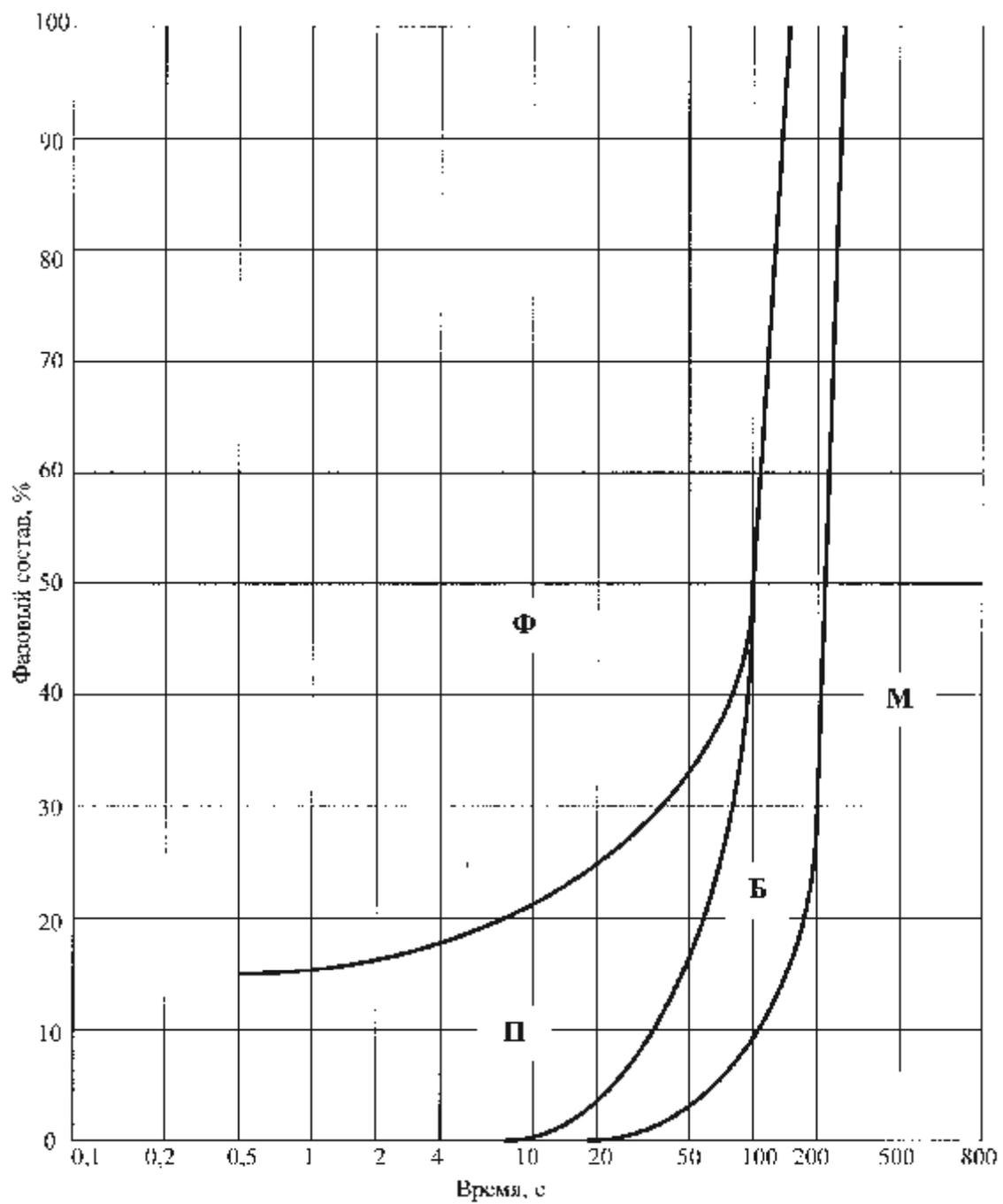


Рис. 3. Количество структурных составляющих при разных скоростях охлаждения (плавка А)

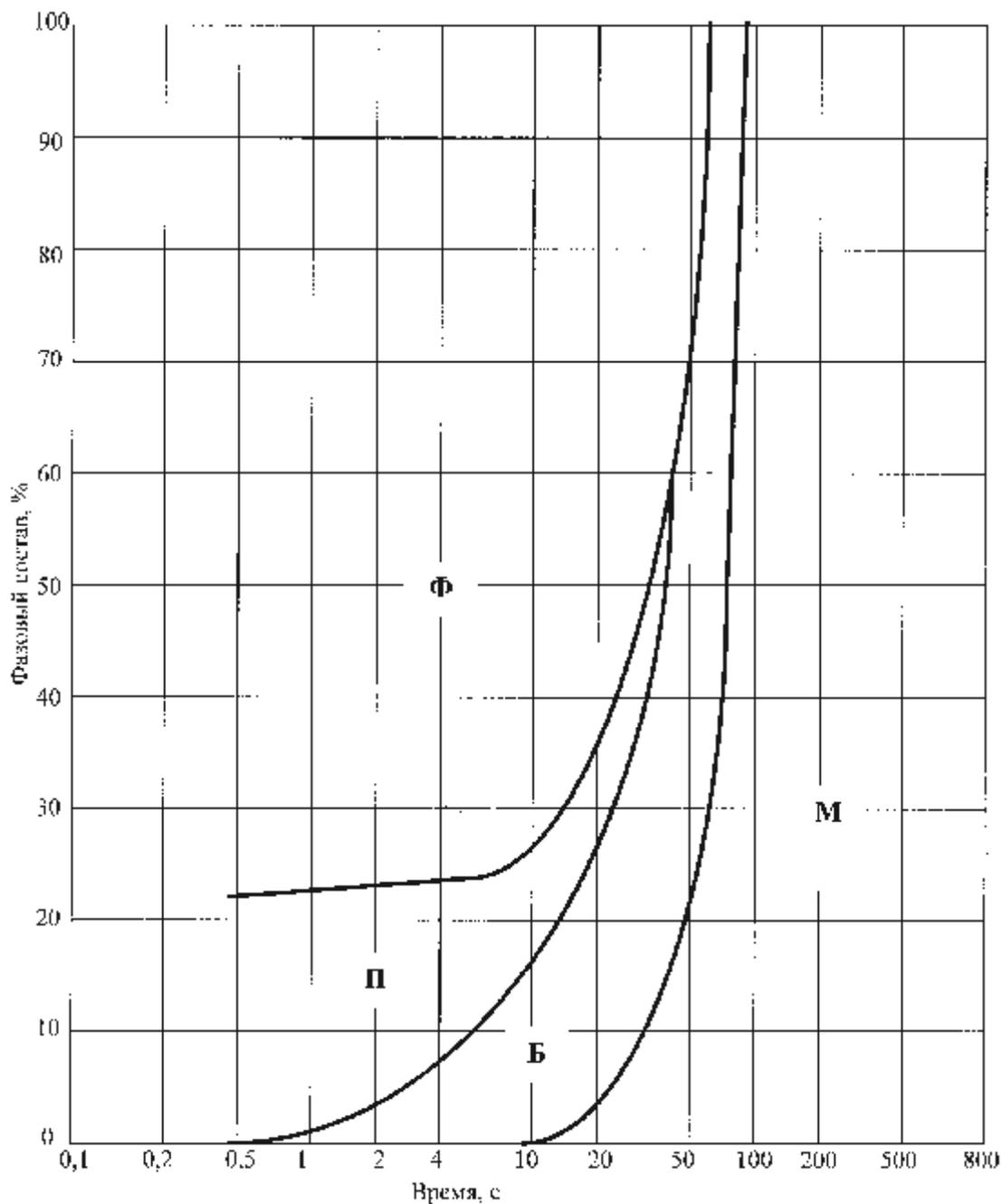
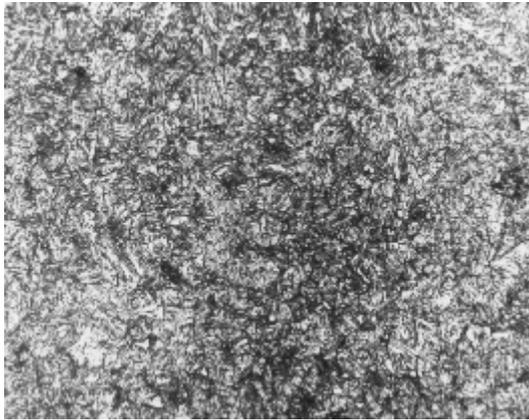


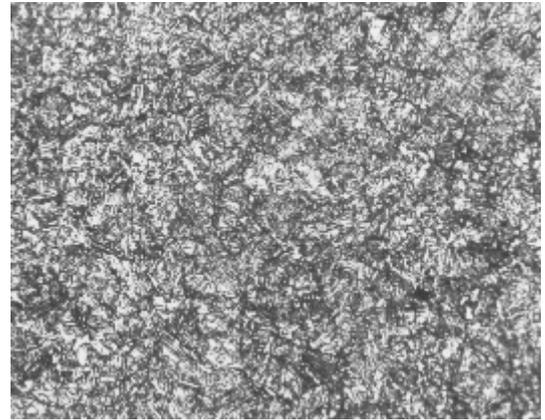
Рис. 4. Количество структурных составляющих при разных скоростях охлаждения (плавка Б)

Относительное количество всех структурных составляющих при любых скоростях охлаждения в исследованном интервале легко определить с помощью диаграмм на рис. 3, 4. Так, например, при скорости охлаждения  $3\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{с}$  (на спокойном воздухе) в конечной структуре плавки, аналогичных по составу плавке Б, будет содержаться (рис. 6) примерно 5 % бейнита, 17 % перлита и 78 % феррита, а при охлаждении со скоростью  $30\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{с}$  – примерно 10 % мартенсита, 30 % бейнита, 5 % перлита и 55 % феррита.

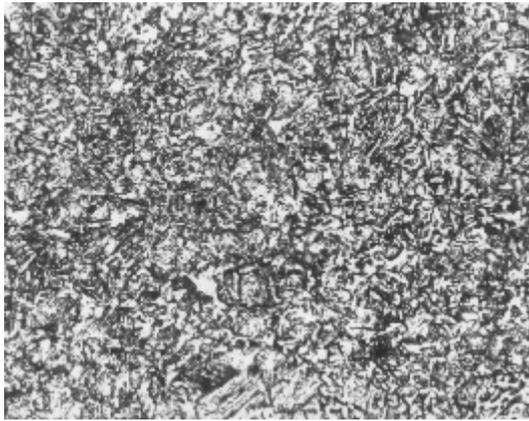
Так как бейнит отрицательно влияет на пластичность стали Д32, выплавка её с содержанием упрочняющих элементов, близкими к верхнему пределу, крайне нежелательна, так как это приводит к забракованию листов, прежде всего по испытанию на изгиб и завышенным значениям временного сопротивления.



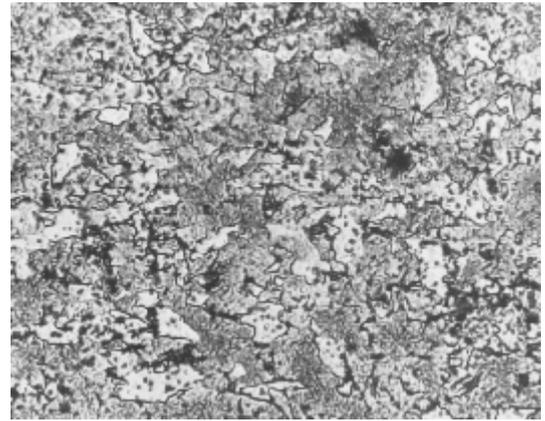
а)



б)



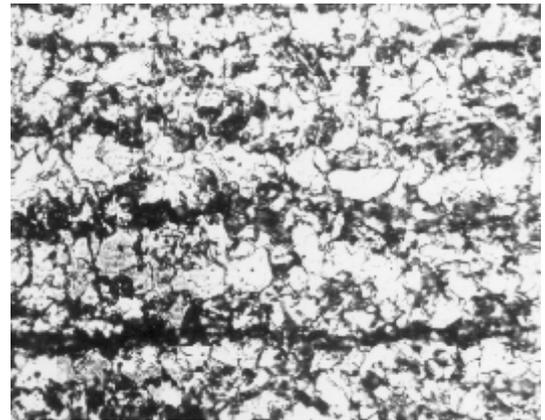
в)



г)



д)



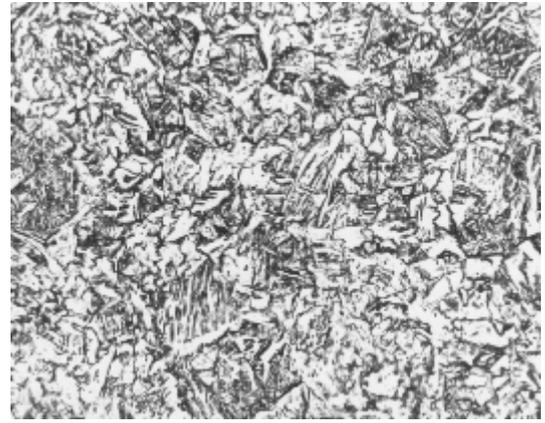
е)

×500

*Рис. 5.* Микроструктура плавки А стали Д32 после разных скоростей охлаждения  
а –  $V_{охл} = 100 \text{ } ^\circ\text{C/s}$ ; б –  $V_{охл} = 50 \text{ } ^\circ\text{C/s}$ ; в –  $V_{охл} = 15 \text{ } ^\circ\text{C/s}$ ; г –  $V_{охл} = 10 \text{ } ^\circ\text{C/s}$ ;  
д –  $V_{охл} = 5 \text{ } ^\circ\text{C/s}$ ; е –  $V_{охл} = 1 \text{ } ^\circ\text{C/s}$



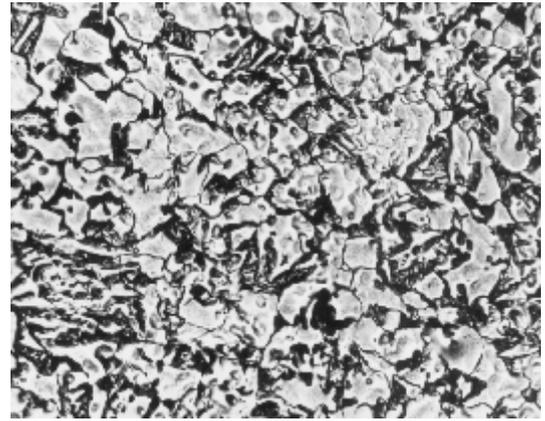
а)



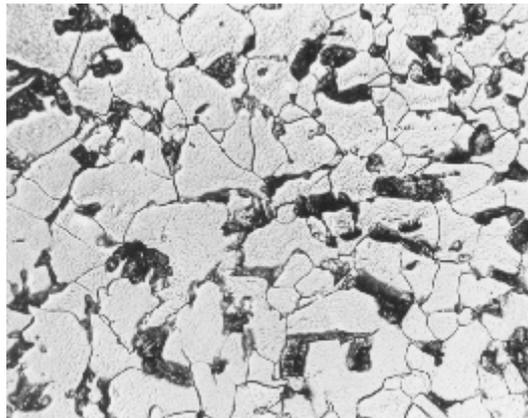
б)



в)



г)



д)

Рис. 6. Микроструктура плавки Б стали Д32 после разных скоростей охлаждения:  
а –  $V_{охл} = 100 \text{ } ^\circ\text{C/s}$ ; б –  $V_{охл} = 25 \text{ } ^\circ\text{C/s}$ ; в –  $V_{охл} = 20 \text{ } ^\circ\text{C/s}$ ; г –  $V_{охл} = 10 \text{ } ^\circ\text{C/s}$ ; д –  $V_{охл} = 1 \text{ } ^\circ\text{C/s}$

## Выводы

1. Увеличение содержания упрочняющих элементов (С, Мп и др.) приводит: 1) к существенному смещению бейнитной области в сторону более низких температур и скорости охлаждения на термокинетической диаграмме; 2) способствует снижению температур начала и конца мартенситного превращения; 3) сдвигает вправо С-образную кривую начала ферритного и перлитного превращений.

2. Протяжённость бейнитной фазы прямо пропорционально содержанию в плавке упрочняющих элементов.

3. Так как повышенное содержание упрочняющих элементов смещает процесс образования бейнитной фазы в сторону меньших скоростей охлаждения, то такие «крепкие» плавки следует рекомендовать на горячую прокатку для получения большой толщины листа (30 ÷ 50 мм).

### **Список литературы**

1. Попова Л.Е, Попов А.А. Диаграммы превращения аустенита в сталях и бета-раствора в сплавах титана: Справочник термиста. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1991. – 503 с.
2. Диаграммы состояния металлических систем. – М: ВИНТИ, 1993. – Вып. 1–38.
3. Журавлёв В.Н., Николаева О.И. Машиностроительные стали: Справочник. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1981. – 391 с., ил.
4. ГОСТ 5521-93. Прокат стальной для судостроения. Технические условия. – Киев: Госстандарт Украины, 1995. – 20 с.
5. Новиков И.И. Теория термической обработки металлов: Учебник для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1986. – 480 с.

*Получено 04.03.2004 г.*