

Лабораторная работа 9

Упрочнение сплава в результате образования твердого раствора.

Томск – 2013

Рекомендуемая литература

- 1. Утевский Л.М. Дифракционная электронная микроскопия в металловедении. – М.: Metallurgy, 1973. – 584 с.
- 2. Гольдштейн М.И., Фарбер Б.М. Дисперсионное упрочнение стали. – М.: Metallurgy, 1979. – 208 с.
- 3. Пикеринг Ф.Б. Физическое металловедение и разработка сталей. – М.: Metallurgy, 1982. – 184 с.
- 4. Штремель М.А. Прочность сплавов. Часть II. Деформация. Учебник для ВУЗов. – М.: МИСИС, 1997. – 527 с.
- 5. Фридель Ж. Дислокации. - М.: Мир, 1967. - 643 с.
- 6. Журавлев В.Н., Николаева О.И. Машиностроительные стали. Справочник – М.: Машиностроение, 1981. – 391 с.

Цель работы

Ознакомление с механизмами упрочнения материала при образовании твердого раствора.

Оценка величины упрочнения закаленной конструкционной стали в результате формирования твердых растворов.

Задачи работы

1. Ознакомление с механизмами упрочнения материала при образовании твердого раствора.
2. Оценка величины твердорастворного упрочнения стали.

Вид отчетности:

Сдать реферат и отчет на тему:

Ознакомление с механизмами упрочнения материала при образовании твердого раствора.

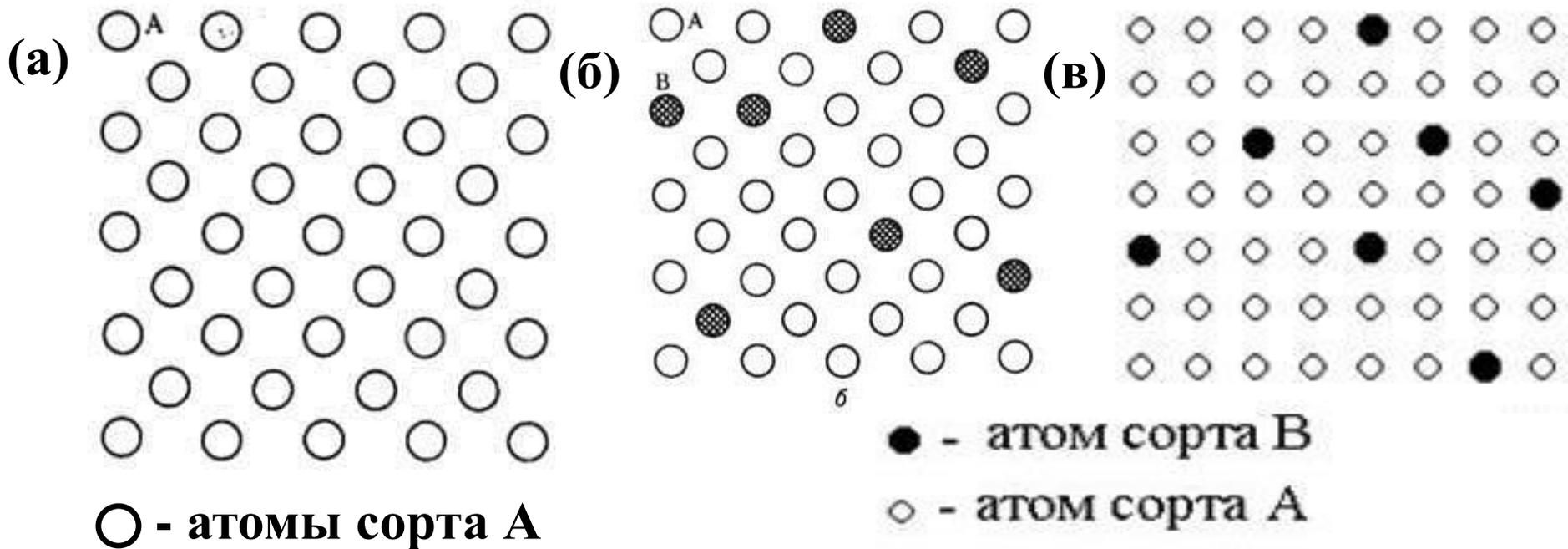
Твердые растворы

Твердыми растворами называют фазы, в которых один из компонентов сплава сохраняет свою кристаллическую решетку, а атомы других (или другого) компонентов располагаются в решетке первого компонента (растворителя), изменяя ее размеры (периоды).

Таким образом, твердый раствор, состоящий из двух или нескольких компонентов, имеет один тип решетки и представляет собой одну фазу.

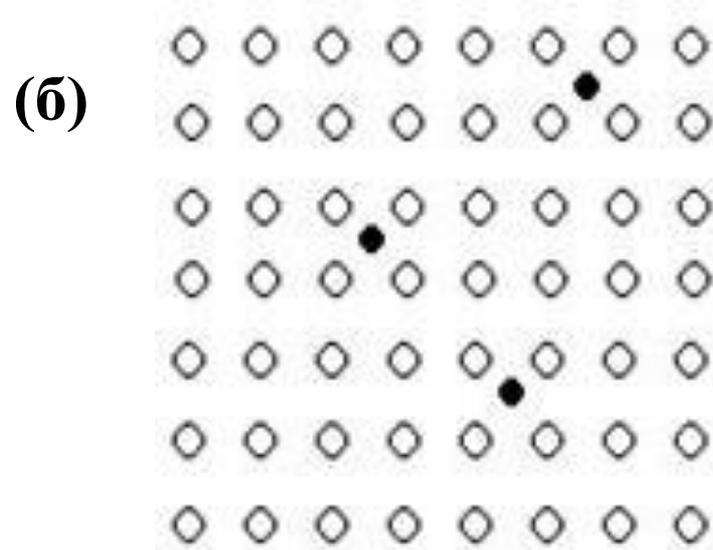
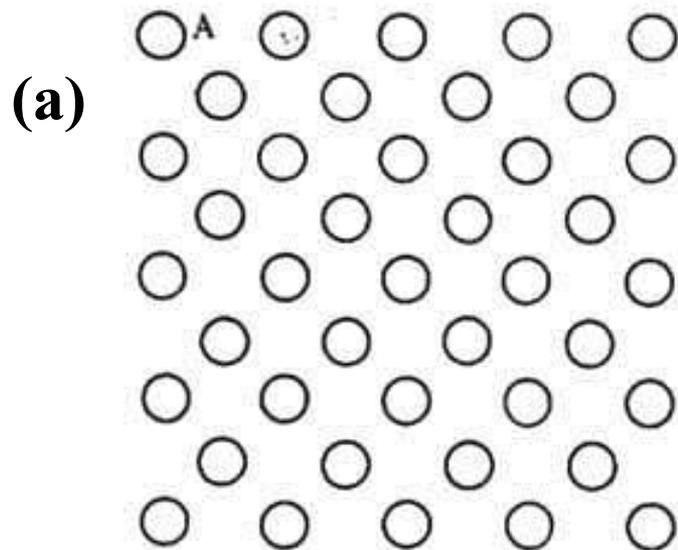
Компонент, решетка которого сохраняется, называется растворителем (матрицей), а остальные – примесью или растворенными элементами. В зависимости от того как располагаются атомы примеси в решетке растворителя, различают три типа твердых растворов: *замещения, внедрения и вычитания.*

Независимо от типа твердого раствора, все они имеют атомарный характер, т.е. в узлах кристаллической решетки располагаются атомы или ионы, но не молекулы.

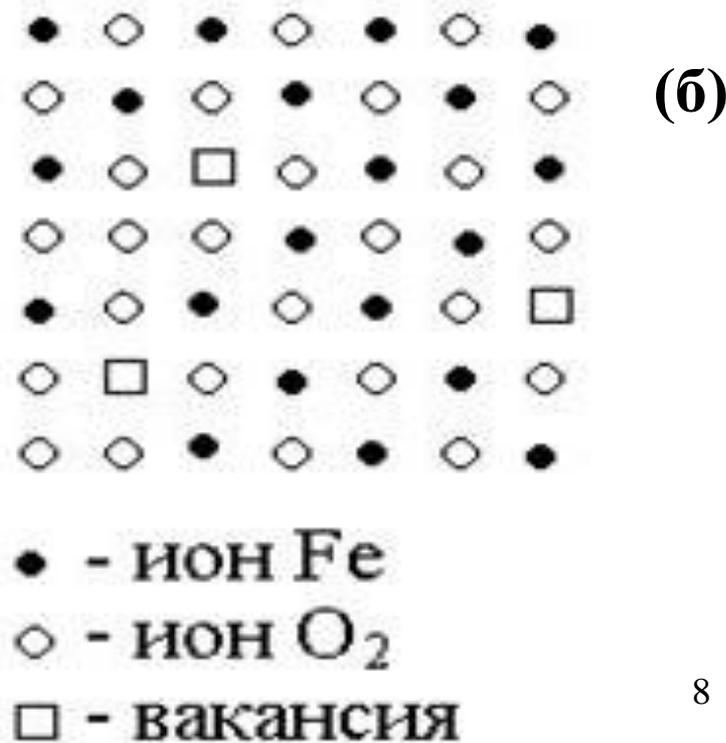
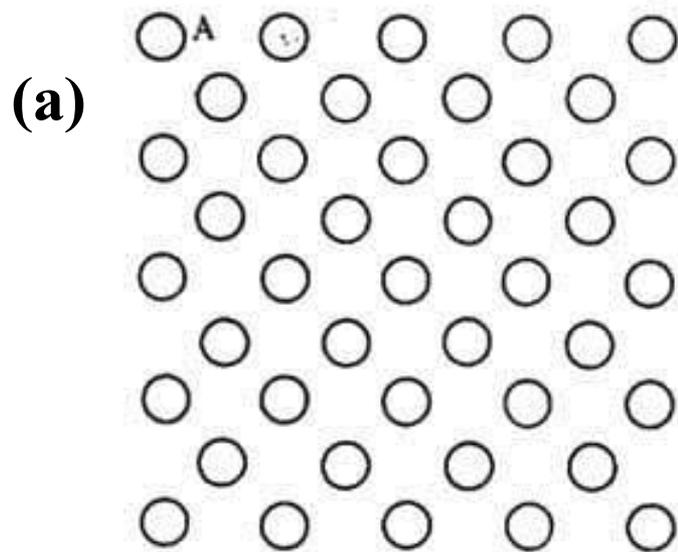


В твердых растворах **замещения** атомы растворенного элемента замещают атомы растворителя в узлах кристаллической решетки, распределяясь, чаще всего, хаотически (рис. б), либо упорядоченно (в). При этом растворителем может быть химический элемент (металл), а также химическое соединение. В твердых растворах между химическими соединениями ионы одного сорта замещаются ионами другого сорта в соответствии со схемой (рис. б), например, в системе $NaCl - KCl$ ионы калия замещают ионы натрия.

Растворы внедрения. В твердых растворах внедрения атомы примеси располагаются в междоузлиях кристаллической решетки растворителя (рисунки). Растворы типа внедрения чаще всего образуются при растворении элементов с малыми атомными радиусами (водород, углерод, азот, бор и др.) в металлах переходной группы (например, раствор углерода в железе). Положение атома внедрения в междоузлии устойчиво, если радиус внедренного атома достаточно мал, чтобы не слишком смещать окружающие его атомы металла, и достаточно велик, чтобы с ними соприкасаться. Растворы этого типа существуют и на базе химических соединений (раствор никеля в **NiSb**).



Твердые растворы **вычитания** (растворы с дефектной решеткой) образуются на основе химических соединений. Типичным примером является раствор кислорода в соединении *FeO* (рис.). Все позиции, в которых должны находиться ионы кислорода, заняты, а часть позиций, которые должны быть заняты ионами железа, – вакантны. Дефектной может быть как металлическая подрешетка, так и неметаллическая, например в оксидах титана, содержащих от 38 до 56 атомных процентов кислорода.



Твердые растворы замещения могут быть с ограниченной и неограниченной растворимостью. В твердых растворах с ограниченной растворимостью концентрация растворенного компонента возможна до определенных пределов. В твердых растворах с неограниченной растворимостью возможна любая концентрация растворенного компонента (от 0 до 100%).

Твердые растворы замещения с неограниченной растворимостью на основе компонентов: Ag и Au, Ni и Cu, Mo и W, V и Ti, и т.д.

Твердые растворы замещения с ограниченной растворимостью на основе компонентов: Al и Cu, Cu и Zn, и т.д.

На основании многочисленных экспериментальных результатов были сформулированы необходимые (но не всегда достаточные) условия для неограниченной растворимости металлов друг в друге:

1. Неограниченные ряды твердых растворов образуют металлы, имеющие одинаковые кристаллические решетки (например, медь – никель, медь – золото – решетки гцк). Если металлы имеют несколько полиморфных модификаций, то неограниченная растворимость наблюдается между их изоморфными модификациями.

2. Атомные радиусы растворяющихся друг в друге элементов не должны отличаться более чем на 10–15 %.

3. Необходима близость физико–химических свойств, при значительном их различии проявляется тенденция к образованию интерметаллических соединений.

Невыполнение хотя бы одного из перечисленных выше условий приводит к ограниченной растворимости, однако, при выполнении всех условий неограниченной растворимости может не быть (например, в системе медь–серебро наблюдается ограниченная растворимость, хотя все три условия выполняются).

Твердые растворы внедрения могут быть только с ограниченной растворимостью, поскольку число пор в решетке ограничено, а атомы основного компонента сохраняются в узлах решетки.

Возможно одновременное сочетание двух видов твердых растворов (например, твердых раствор внедрения атомов D в твердый раствор замещения атомов B в кристаллической решётке, образованной атомами A).

Поскольку размеры растворенных атомов отличаются от размеров атомов растворителя, то образование твердого раствора сопровождается искажением кристаллической решетки растворителя.

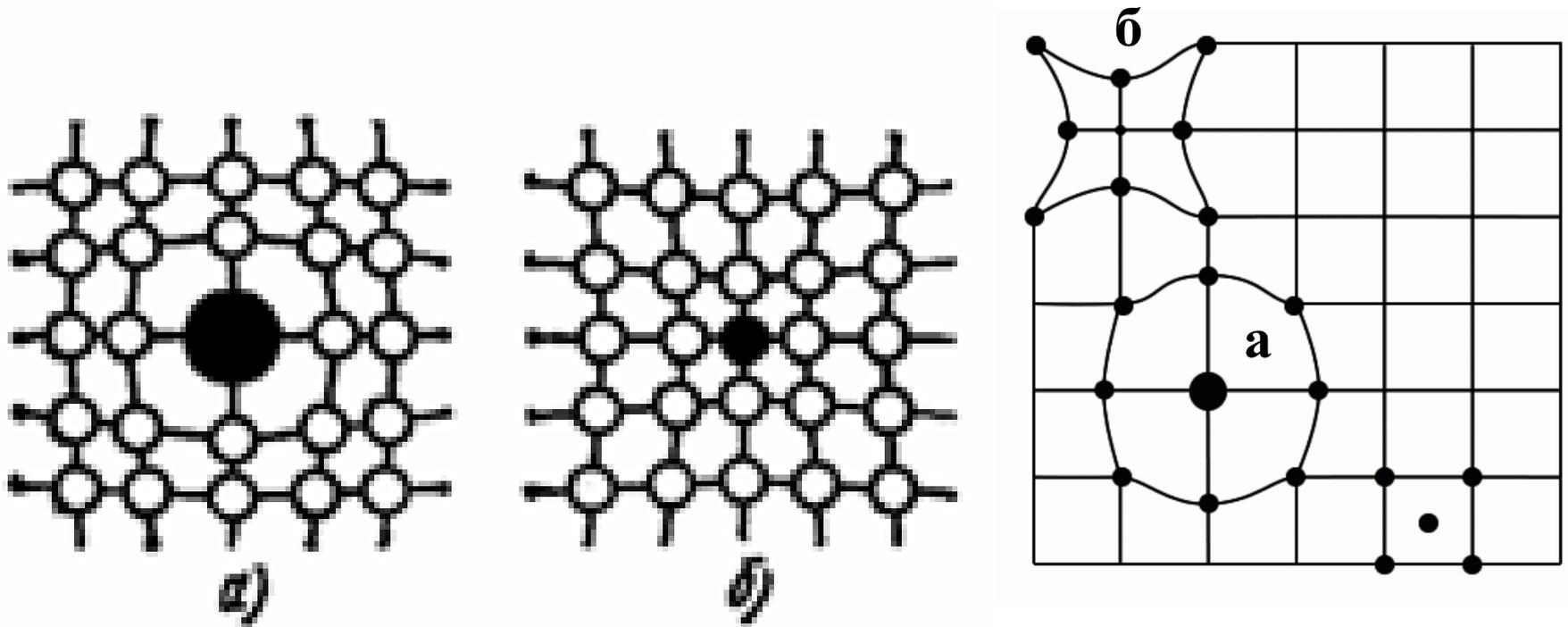


Рис. 1. Искажения кристаллической решетки в твердых растворах замещения:

а – атом растворенного компонента больше атома растворителя
 б – атом растворенного компонента меньше атома растворителя
 в – атом растворенного компонента больше атома растворителя

Степень упрочнения твердого раствора зависит от ряда факторов:
1. Различие в размерах атомов растворителя и растворенных в нем атомов. Обычно степень изменения прочности в зависимости от концентрации легирующих компонентов определяется соотношением

$$\frac{d\tau}{dC} \sim \left(\frac{1}{a} \cdot \frac{dC}{da} \right)^n, \quad (1)$$

где τ - напряжение сдвига; a - параметр решетки твердого раствора; C - концентрация компонентов. Данные, подтверждающие влияние различия размеров атомов, получены в сплавах Cu, феррито-перлитных сталях и аустенитных нержавеющей сталях.

Выражение для критического напряжения течения твердого раствора имеет вид :

$$\tau_{cr} = 2,5G \cdot \delta_a^{3/4} \cdot c, \quad (2)$$

здесь

$$\delta_a = 2 \frac{a_m - a_r}{a_m + a_r}, \quad (3)$$

где a_m и a_r - параметры решетки матрицы и растворенного элемента, соответственно; c - концентрация растворенного элемента.

2. Возмущение электронной структуры, которую обычно выражают через модули сдвига атомов растворителя и растворенных атомов. В растворах замещения растворенные атомы вызывают в основном симметричные искажения решетки растворителя, и это приводит к относительно небольшим эффектам упрочнения. Асимметричные искажения, обычно вызываемые атомами внедрения в α -железе, приводят к значительно большему упрочнению твердого раствора. Тем не менее, интенсивность упрочнения в растворах замещения может существенно возрасти, если атомы раствора связаны в виде диполей, что приводит к появлению асимметричности искажений.

Упрочнение, связанное с несоответствием упругих модулей атомов примеси и матрицы, определяется параметром:

$$\delta_a = \frac{1}{G} \frac{dG}{dc} \quad (4)$$

Для разбавленных растворов:

$$\delta_a = 2 \frac{G_m - G_r}{G_m + G_r}, \quad (5)$$

где G_m и G_r – модули упругости матрицы и растворенного элемента, соответственно.

Упрочнение, обусловленное размерным и упругим несоответствием может быть рассчитано из соотношения:

$$\sigma_r = G \cdot \delta_s^{3/2} \cdot \frac{c^n}{m}, \quad (6)$$

где $m = 760$, $\delta_s = |\delta_G| + \alpha_0 |\delta_a|$ – параметр несоответствия, c – концентрация растворенного элемента, $\alpha_0 = 3$ для краевой и $\alpha_0 = 16$ для винтовой дислокаций, $n = 1/2$. Степенной показатель n может быть равен 1; 1/2; 1/3; 0,3.

Уравнение (6) неудобно для расчета твердорастворного упрочнения сложнолегированных сталей, поэтому обычно, предполагая аддитивность вкладов в упрочнение отдельных легирующих элементов, используют приближенные эмпирические формулы типа:

$$\sigma_r = \sum_{i=1}^m (k_i \cdot c_i), \quad (7)$$

где k_i – коэффициент упрочнения феррита, представляющий собой прирост предела текучести при растворении в нем 1 вес. % i -того легирующего элемента, c_i – концентрация i -того элемента, растворенного в феррите, вес. %. Значения коэффициента k_i для различных элементов определяются экспериментально [2].

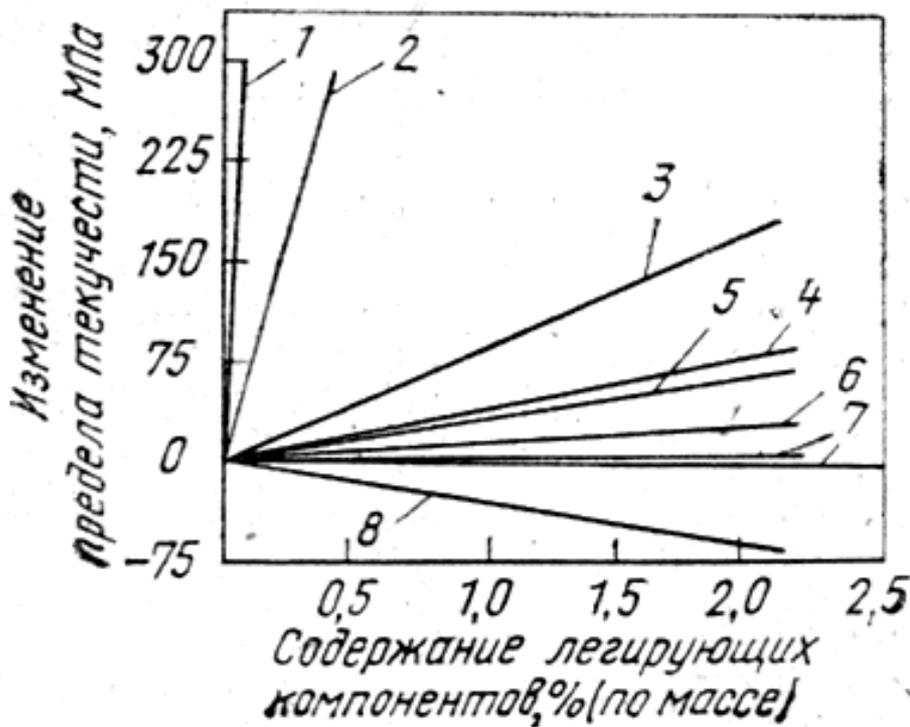


Рис. 2. Влияние легирования на упрочнение твердого раствора в низкоуглеродистых ферритных сталях: 1 – содержание C + N; 2 – P; 3 – Si; 4 – Cu; 5 – Mn; 6 – Mo; 7 – Ni и Al; 8 – Cr.

Практическая работа

1. Зная марку стали, по справочнику [6] определить ее химический (элементный) состав;
2. Для каждого легирующего элемента указанной стали найти из литературных источников значения коэффициента k_i ;
3. Используя выражение (7), провести оценки величины вклада твердорастворного упрочнения в предел текучести стали.

Практическая работа

1. 14X2H3MA
2. 12X18H9T
3. 18XГТ
4. 15XГН2ТА
5. 20XГНР
6. 38X2МЮ
7. 07X21Г7АН5
8. 20XГСА
9. 30XГСН2А
10. 25X2H4MA
11. 20XH4ФА
12. 45X2H4MФА
13. 35XH1M2ФА
14. А12
15. АЦ20XГНМ

Контрольные вопросы

1. Что такое твердые растворы?
2. Что называется растворителем (матрицей) в твердых растворах?
3. Перечислите виды твердых растворов.
4. Что такое твердые растворы замещения?
5. Что такое твердые растворы внедрения?
6. Что такое твердые растворы вычитания?
7. Что такое твердые растворы замещения с ограниченной и неограниченной растворимостью? Приведите примеры.
8. Перечислите условия для неограниченной растворимости.
9. Почему твердые растворы внедрения могут быть только с ограниченной концентрации?
10. Почему образование твердого раствора сопровождается искажением кристаллической решетки растворителя?
11. Перечислите факторы, от которых зависит степень упрочнения твердого раствора.