

Лекция №5. Тема: ТЕОРИЯ СПЛАВОВ

1. Общая характеристика металлических сплавов

Сплавом называют *вещество, полученное сплавлением двух и более компонентов.*

Сплав считается **металлическим**, если его основу (свыше **50% по массе**) составляют металлические компоненты. Металлические сплавы обладают более высокими прочностными и другими механическими свойствами по сравнению с чистыми металлами. По этой причине они получили широкое применение в качестве конструкционных материалов.

После затвердевания сплав представляет собой **поликристалл**, состоящий из отдельных зерен (кристаллитов). Изучением строения сплавов занимается **металлография**. В металлографии объектом изучения является **макрошлиф** – образец со шлифованной поверхностью, протравленный кислотой, исследуемый невооруженным взглядом или с помощью лупы - или **микрошлиф** - отполированный образец, изучаемый с помощью с помощью металлографического микроскопа. Металлографические микроскопы позволяют рассматривать строение сплава при увеличении до 2000 раз.

Способы приготовления сплавов:

1. *сплавление*

2. *спекание* (порошковая металлургия - прессование твердых частиц и их последующее спекание при высоких температурах)

3. *диффузионные методы* (проникновение одного вещества в другое твердое вещество при высоких температурах)

4. *плазменное напыление*

5. *кристаллизация из паров в вакууме*

6. *электролиз* и др

В зависимости от атомно-кристаллического строения подразделяются:

1. Механические смеси

2. Химические соединения

3. Твердые растворы

2. Компоненты, фазы и структурные составляющие сплавов

Компоненты – это вещества, необходимые и достаточные для образования сплава. Компонентами сплава могут быть химические элементы (металл, неметалл) и химические соединения естественного или искусственного происхождения.

В чистом виде компоненты применяют в ограниченных количествах - при получении лабораторных сплавов. В промышленных плавках вместе с компонентами плавятся и примеси, которые бывают случайными (попадают в сплав из сырья) и технологическими добавками. К технологическим добавкам относятся раскислители, модификаторы и легирующие элементы.

Один из компонентов сплава (обычно самый дорогой) и легирующие элементы, придающие сплаву специфические свойства, отмечают в марке сплава. Большинство сплавов имеют буквенно-цифровую маркировку, характеризующую состав сплава. Маркировка сплавов изучается в соответствующих разделах курса материаловедения. Компоненты при их взаимодействии образуют фазы сплава.

Фаза – часть сплава, отделенная от других частей поверхностью раздела, при переходе через которую свойства изменяются скачкообразно.

На рис.1 приведена микроструктура однофазного сплава (техническое железо - феррит). Все зерна структуры однофазного сплава имеют одинаковую окраску.

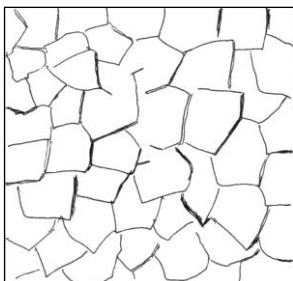


Рис.1. Однофазная структура – все зерна одинакового состава и цвета; характерна для чистых металлов и твердых растворов, $\times 200$.

Показан феррит – твердый раствор 0,02% C в Fe $_{\alpha}$

На рис.2 приведена микроструктура двухфазного сплава (ковкий чугун на ферритной основе). Черные зерна представляют собой графит (точнее это полости на поверхности микрошлифа, которые занимал графит, выкрошившийся при приготовлении шлифа). Светлые зерна – феррит.

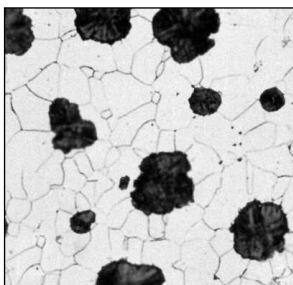


Рис.2. Двухфазная структура: одна фаза – зерна феррита (светлое поле), вторая – графит (черные пятна); характерна для чугунов на ферритной основе с 2,5-3,0%С, $\times 200$

Фазы в сплавах представляют собой: чистые компоненты, твердые растворы, химические соединения (табл.1).

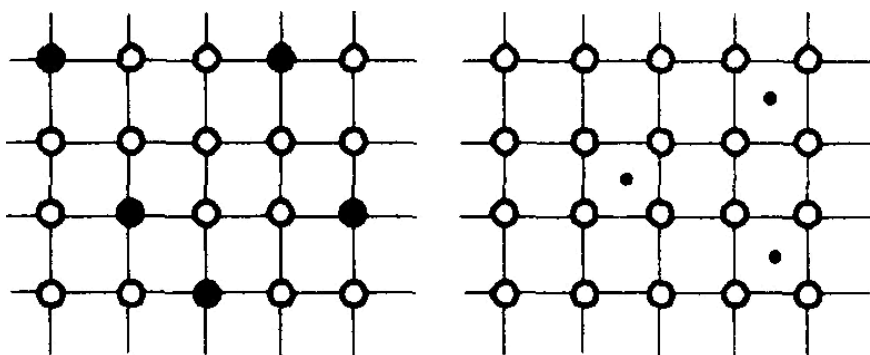
Таблица 1

Фазы сплавов

Название фазы	Обозначение на фазовых и структурных схемах	Примеры сплавов, соединений
Чистый компонент	A, B	Al-Si; Al-Cu; Pb-Sb; Sn-Zn
Твердый раствор	A(B), B(A) или α , β и др. буквы греческого алфавита	Fe $_{\alpha}$ (C) – феррит Fe $_{\gamma}$ (C) – аустенит Cu(Ni); Ni(Cu) Bi(Sb); Sb(Bi)
Химическое соединение	A $_n$ B $_m$	Fe $_3$ C - цементит Cu $_3$ Al; Mg $_2$ Sn; Al $_3$ Mg FeCr; FeSb; NiSb

Твердый раствор – однофазное вещество, состоящее из однотипных зерен постоянного состава, строения и свойств (см. рис.1). На структурных схемах твердый раствор обозначается символом A(B), **A – компонент-растворитель, B – компонент-растворенное вещество, или буквами греческого алфавита α , β и др.** **Твердый раствор имеет кристаллическую решетку растворителя.** В соответствии с принятым обозначением твердые растворы A(B) и B(A) имеют разные (достаточно близкие при этом) кристаллические решетки.

В зависимости от расположения атомов растворенного компонента внутри кристаллической решетки компонента-растворителя различают твердые растворы замещения и внедрения. См рисунок 3.



○ - Атомы компонента-растворителя ● - Атомы растворимого компонента

а

б

Рис. 3. Виды твердых растворов: а-замещения; б-внедрения

Твердый раствор замещения образуется замещением части атомов компонента-растворителя в его кристаллической решетке атомами растворенного компонента (рис.3а). Такого типа твердые растворы имеют место, например, при сплавлении **железа с Cr, Mn, Ni, W, Mo; меди с Zn, Sn, Al.**

При образовании твердого раствора замещения исходная кристаллическая решетка компонента-растворителя искажается тем в большей степени, чем сильнее атомы растворенного компонента отличаются от атомов компонента-растворителя по размеру и электронному строению внешних оболочек. Предельная растворимость компонентов в твердых растворах замещения изменяется от долей процента ($\text{Sn}(\text{Zn}) \rightarrow 0,2\%$ при 25°C , $\text{Si}(\text{Al}) \rightarrow 0,02\%$ при 1190°C) до десятков процентов ($\text{Pb}(\text{Sn}) \rightarrow 19\%$ при 183°C).

После достижения предельной растворимости дальнейшее введение растворенного компонента приводит к выпадению избыточной фазы в виде, например, химического соединения. При определенных условиях получаются

непрерывные твердые растворы. При сплавлении меди и никеля при любой концентрации компонентов образуются твердые растворы $\text{Cu}(\text{Ni})$ или $\text{Ni}(\text{Cu})$.

Твердые растворы внедрения образуются, когда атомы растворенного компонента (рис.3б) внедряются между узлами кристаллической решетки компонента-растворителя. Такие твердые растворы образуются при взаимодействии металлов с неметаллами, имеющими малый атомный размер (H, C, B, N и др.). Примером твердых растворов внедрения являются **фазы Fe-C сплавов: феррит - $\text{Fe}_\alpha(\text{C})$ и аустенит - $\text{Fe}_\gamma(\text{C})$ в сталях и чугунах.**

Образование твердых растворов всегда сопровождается увеличением электрического сопротивления; твердые растворы обычно менее пластичные (исключение составляют твердые растворы на основе меди) и всегда более твердые и прочные, чем чистые металлы.

Твердые растворы по свойствам наиболее близки к растворителю, так как сохраняют его кристаллическую решетку и тип связи. Твердые растворы на основе металлов отличаются высокой **технологической пластичностью** (хорошо деформируются в горячем, а многие и в холодном состоянии). Твердые растворы составляют основу большинства промышленных конструкционных сплавов и сплавов специального назначения.

Химическое соединение – однофазное твердое вещество с металлическим или ионным типом связи. Химическое соединение имеет свою особую кристаллическую решетку и особые свойства, резко отличающиеся от свойств образующих его элементов.

Примером может служить *карбид железа Fe_3C* . Карбид железа, или *цементит*, имеет $t_{пл} = 1250^0 \text{ C}$ и твердость $HB > 800$, при $\delta = 0$. В то время, как вещества, образовавшие цементит (железо и углерод) имеют следующие физико-механические свойства. **Железо:** $t_{пл} = 1539^0 \text{ C}$, 80 HB , $\delta = 50\%$. **Углерод (графит):** $t_{пл} = 3500^0 \text{ C}$, 5 HB .

Химическое соединение с **ионным типом связи** – **оксиды металлов** FeO , F_3O_4 ($FeO \times Fe_2O_3$) и др.

Химические соединения с **металлическим типом связи** представляют собой *карбиды и нитриды металлов*. Химический состав таких соединений металлов указывается формулами: MeX , Me_2X , Me_4X , MeX_4 , где X – неметалл; однако это фазы переменного состава, в которых число неметаллических атомов отличается от стехиометрического состава.

Карбиды и нитриды присутствуют в структуре многих коррозионностойких, износостойких и жаропрочных конструкционных сталей. Карбиды TiC , TaC , WC , W_2C служат основой порошковых твердых сплавов для режущих инструментов.

Карбиды Fe_3C , Cr_3C_6 и Cr_7C_3 – важнейшие фазы в конструкционных и инструментальных сталях, во многом определяющие их свойства.

В случае если компоненты сплава A и B не способны к взаимному растворению в твердом состоянии и не способны образовать химическое соединение, тогда сплав кристаллизуется с образованием **механической смеси**.

Механические смеси образуются при кристаллизации многих сплавов: **Pb-Sb**, **Bi-Sn**, **Al-Cu**, **Ag-Cu**, **Fe-Fe₃C** и др.

Механические смеси являются двухфазными сплавами, каждая фаза которых сохраняет свою индивидуальную кристаллическую решетку.

Механическая смесь, образующаяся из жидкой фазы, называется *эвтектикой*.

Эвтектика (легкоплавящаяся в переводе с греческого) – механическая смесь двух (или более) видов кристаллов, одновременно кристаллизующихся из жидкости.

Эвтектика – двухфазная составляющая сплава. На диаграмме состояния может обозначаться следующим образом ($A+B$), ($\alpha+\beta$), ($\alpha+B$), ($\beta+A$), ($\beta+A_nB_m$) и др. При обозначении эвтектики её составляющие обязательно указываются в скобках, подчёркивая тем самым одновременность кристаллизации компонентов и структурное единство эвтектики.

Примером эвтектики является ледебурит в сплавах Fe-C. Ледебурит образуется из расплава (жидкой фазы) при температуре 1147^0 C и состоит из аустенита и цементита.

Механическая смесь, образующаяся из твердой фазы, называется *эвтектоидом*. В сплавах Fe-C эвтектоидом является перлит, образующийся из аустенита при 727^0 C и представляющий собой смесь феррита и цементита.