

Лабораторная работа 4

ЦВЕТНЫЕ МЕТАЛЛЫ И ИХ СПЛАВЫ. СТАЛЬ И ЧУГУН

4.1. Цветные металлы и их сплавы

4.1.1. Алюминий и его сплавы

Алюминий отличается низким удельным весом (около $2,72 \text{ г/см}^3$), низкой температурой плавления (660°C), высокими тепло- и электропроводностью (60% электропроводности меди) и хорошо сопротивляется коррозии благодаря образованию на поверхности тонкой и очень плотной пленки окиси алюминия. Алюминий выпускается десяти марок, различающихся по степени чистоты: особой чистоты, высокой чистоты и технической чистоты. В алюминии всех марок содержится не менее 99% Al.

Марки алюминия обозначаются прописной буквой «А», за которой следуют числа, соответствующие минимальным долям весовых процентов содержания алюминия сверх 99%. Так, в алюминии особой чистоты марки А999 должно содержаться не менее 99,999% Al; в алюминии технической чистоты марки А0 — не менее 99% Al.

Алюминий особой и высокой чистоты применяется для научно-исследовательских работ и для специальных целей. Алюминий технической чистоты идет на изготовление деформированных полуфабрикатов (прутков, профилей, труб, листов, проволоки). Технически чистый алюминий отличается невысокой прочностью и высокой пластичностью. Вследствие высокой электропроводности алюминий нашел широкое применение в электротехнике для изготовления шин, проводов, оболочки кабеля, конденсаторной фольги.

Из-за низкой прочности ($\sigma_b = 50 \text{ МПа}$) применение алюминия в качестве конструкционного материала ограничено. Однако его сплавы с медью, магнием, марганцем, цинком, кремнием и некоторыми другими элементами, отличающимися значительно более высокими механическими свойствами, широко применяются в промышленности.

По способу получения изделий сплавы делятся на две большие группы: деформируемые и литейные. Деформируемые сплавы разделяются в свою очередь на сплавы неупрочняемые термической обработкой и на термически упрочняемые.

К термически неупрочняемым сплавам относится AlMn, содержащий 1,0–1,6% Mn и AlMg (2–6% Mg). Они предназначены для изготовления сварных трубопроводов и баков для бензина и масла, а также других листовых крупногабаритных конструкций.

Наиболее распространенные термически упрочняемые сплавы — дюралюмины — сплавы системы алюминий-медь-магний. Для повышения коррозионной стойкости в дюралюмины добавляют небольшое количество марганца (менее 1%). Термическая обработка дюралюминов состоит в закалке на пересыщенный α -твердый раствор. Сразу после закалки дюралюмины отличаются невысокой прочностью и высокой пластичностью. При выдержке при комнатной температуре, то есть при естественном старении, прочность дюралюминов начинает постепенно повышаться и достигает максимального значения через 4–7 суток. Идет процесс, называемый естественным старением, сущность которого заключается в распаде пересыщенного твердого раствора. Химический состав и механические свойства дюралюминов марок Д1 и Д16 приведены в таблице 4.1. Числа, стоящие в обозначении марок после буквы «Д» являются порядковыми номерами сплавов.

Таблица 4.1: Свойства сплавов алюминия

Марка	Химический состав, %					σ_b , МПа	σ_t , МПа	δ , %
	Cu	Mg	Mn	Примеси	Al			
Д1	3,8–4,8	0,4–0,8	0,4–0,8	1,8	остальное	360–410	220–250	10–12
Д16	3,8–4,9	1,2–1,8	0,3–0,9	1,5	остальное	470	300	19

Микроструктура дюралюминов после закалки и естественного старения состоит из зерен α -твердого раствора и некоторых нерастворившихся при закалке интерметаллидных фаз (включения темного цвета).

Дюралюмины поставляются в виде листов, прутков и профилей. Основное применение дюралюмины нашли в авиации для изготовления каркаса и обшивки самолетов.

В энергомашиностроении применяются жаропрочные алюминиевые сплавы АК4 и АК4-1, в состав которых, кроме меди и магния, входят также никель и железо, и, кроме того, в сплав АК4 входит кремний, а в АК4-1 — титан. Сплавы подвергают закалке и искусственному старению — отпуску при 150–180°C. Применяются эти сплавы для изготовления поршней быстроходных двигателей, крыльчаток центробежных компрессоров, подшипников распределительных валов дизелей, дисков и лопаток осевых компрессоров и других деталей, работающих при повышенных температурах.

Наиболее распространенные литейные алюминиевые сплавы — силумины, то есть сплавы алюминия с кремнием. Их литейные свойства очень высоки. Сплавы марки АЛ2 (А — алюминиевый, Л — литейный, 2 — порядковый номер сплава) содержат 10–13% кремния.

Кремний, входящий в состав эвтектики, имеет игольчатое строение, а так как он очень хрупок, силумины с грубоигольчатой эвтектикой отличаются невысокими механическими свойствами. Для их повышения силумины модифицируют солями натрия (NaCl и NaF) в количестве 0,5–1% от веса металла. Упрочнение происходит вследствие измельчения кристаллов эвтектики, в которой кристаллы кремния приобретают форму мелких зерен (округлых).

Силумин АЛ2 широко применяется в промышленности для отливки малонагруженных деталей сложной формы — кронштейнов, моделей для изготовления литейных форм, а также для заливки роторов асинхронных двигателей.

Для повышения механических свойств силумины дополнительно легируют магнием, медью, марганцем и другими элементами. В энергомашиностроении применяют силумины марок АЛ4 (8–10,5% Si; 0,17–0,3% Mg; 0,2–0,5% Mn) и АЛ5 (4,5–5,5% Si; 0,35–0,6% Mg; 1,0–1,5% Cu), из которых отливают крупные и сложные по форме детали, несущие высокие нагрузки.

4.1.2. Медь и ее сплавы

Чистая медь отличается высокой электропроводностью, высокой теплопроводностью и относительно высокой коррозионной стойкостью в атмосфере, в пресной и морской воде и в конденсате пара. Медь очень пластична (относительное удлинение около 40%), и поэтому легко обрабатывается давлением, как в горячем, так и в холодном состоянии. Прочность и твердость отожженной меди относительно невелики ($\sigma_b = 160$ МПа, НВ = 40–50 кгс/мм²), но они значительно повышаются при холодном деформировании в результате наклепа. Предел прочности наклепанной меди достигает значений более 450 МПа, твердость — более 120 НВ, при относительном удлинении, равном $\delta = 3\%$.

Медь выпускается шести марок, различающихся по степени чистоты, то есть по содержанию примесей. Марки меди обозначаются прописной буквой «М», справа от которой ставится номер — от 00 до 4 (00, 0, 1, 2, 3, 4). Чем чище медь, то есть чем меньше содержание в ней примесей, тем меньше ее номер; наиболее чистая медь — М00 (не более 0,01% примесей), наиболее загрязненная — М4 (до 1% примесей). Медь некоторых марок маркируется дополнительно буквами «б» или «р», например, М0б или М2р. Буква «б» обозначает, что медь практически не содержит кислорода, а буква «р» — что медь содержит менее 0,01% кислорода.

Кроме кислорода в меди могут содержаться примеси висмута, свинца, серы, фос-

фора, мышьяка и некоторых других элементов. Наиболее вредные примеси меди — висмут и свинец, которые в количествах тысячных и сотых долей процента соответственно вызывают явление красноломкости, так что горячая обработка меди под давлением становится невозможной. С кислородом и серой медь образует соединения CuO и Cu_2S , сильно снижающие пластичность меди.

Вследствие высокой электропроводности медь служит основным материалом проводников тока. Так как примеси снижают электропроводность меди, для проводников тока применяется наиболее чистая медь марок М00, М0 и М1.

В качестве конструкционного материала чистая медь не получила применения вследствие ее низкой прочности. Зато сплавы на основе меди — латуни и бронзы, отличающиеся более высокими механическими и другими ценными свойствами, нашли широкое применение в качестве конструкционного материала.

Латуни представляют собой сплавы меди с цинком. Применяются латуни с содержанием цинка от 4 до 46%. Если содержание цинка не превышает 39%, микроструктура латуней состоит из зерен α -фазы — твердого раствора замещения цинка в меди с решеткой ГЦК (однофазные латуни). На зернах твердого α -раствора видны двойники скольжения. На микрошлифах зерна α -фазы окрашены в светло-желтый цвет.

Микроструктура латуней, содержащих от 39 до 46% цинка, состоит из двух фаз — α и β (двухфазные латуни). Фаза β представляет собой твердый раствор меди и цинка на основе химического соединения CuZn с решеткой ГЦК. На микрошлифах зерна β -фазы окрашены в коричневато-бурый цвет.

Цвет поверхностей однофазных латуней зависит от содержания в них цинка. Их цвет изменяется от желтовато-розового, при малом содержании цинка, до светло-желтого с золотистым оттенком, при большом содержании цинка.

Присадка цинка к меди обуславливает повышение прочности и пластичности. Максимальной пластичностью отличается α -латунь, содержащая 30–32% цинка. Предел прочности латуней возрастает с повышением содержания цинка до 400 МПа. Высокая пластичность α -латуней позволяет деформировать их в холодном состоянии. Обработку давлением двухфазных $\alpha + \beta$ -латуней производят из-за их меньшей пластичности обычно в горячем состоянии. Вследствие небольшого интервала кристаллизации латуней они отличаются хорошими литейными свойствами.

Латуни, не содержащие других легирующих элементов кроме цинка, называются двухкомпонентными или двойными. Для повышения механических свойств, улучшения коррозионной стойкости и обрабатываемости резанием к латуням добавляют различные легирующие элементы, в результате чего получают так называемые многокомпонентные (иначе, специальные) латуни. Добавки к латуням олова, никеля и марганца повышают их прочность и коррозионную стойкость, а добавка алюминия в сочетании с железом, никелем и марганцем сообщает латуням особо высокие прочность, твердость и коррозионную стойкость. Свинец улучшает обрабатываемость латуней резанием. Кремний повышает твердость и прочность, а совместно со свинцом улучшает антифрикционные свойства латуни.

Обозначение марок двойных латуней начинается с буквы «Л», за которой следует число, показывающее содержание меди в процентах. Например, в латуни марки Л62 содержится 62% меди и, следовательно, 38% цинка. В марках многокомпонентных латуней после буквы «Л» проставляют буквенные обозначения введенных в латунь элементов, а далее числа, показывающие процентное содержание меди и легирующих элементов, поставленные в той же последовательности, что и соответствующие буквы. Легирующие элементы обозначаются прописными буквами: А — алюминий, Ж — железо, К — кремний, Н — никель, Мц — марганец, О — олово, С — свинец. Так, в латуни марки ЛМцЖ 55–3–1 содержится 55% меди, 3% марганца, 1% железа, остальное (41%)

— цинк.

Двухкомпонентные латуни применяются только в деформированном состоянии, а среди многокомпонентных латуней есть и деформируемые, и литейные. Очень популярные латуни марок Л62 и Л68 поставляются в виде листов, лент, полос, труб и проволоки. Их применяют для деталей, изготавливаемых холодной штамповкой и глубокой вытяжкой. Несмотря на худшую, по сравнению с медью, электропроводность, латуни марок Л68 и Л62, вследствие их меньшей стоимости, идут на изготовление некоторых токоведущих деталей. В энергомашиностроении латунь Л68 применяется для изготовления деталей масло- и воздухоохладителей, трубок конденсаторов, работающих на пресной воде, уплотнительных сегментов турбин, работающих при температурах ниже 300°C (уплотнительные детали турбин изготавливают также из латуни Л62).

Широко применяемая латунь Л59 относится к двухфазным латуням. Ее микроструктура состоит из α и β фаз. Широкое распространение получила деформируемая свинцовая латунь ЛС59–1. Она поставляется в виде листов, полос, лент, прутков, проволоки и труб. Она отличается более высокой прочностью и меньшей пластичностью, чем латунь Л68, и применяется для изготовления корпусов кранов, тройников, ниппелей, шурупов, шрифтов, болтов, гаек, шайб и других деталей, изготавливаемых резанием и горячей штамповкой. Литейная латунь ЛС59–1Л применяется для литья втулок шарикоподшипников. В энергомашиностроении из латуни ЛС59–1 изготавливают трубные доски маслоохладителей, конденсаторов и воздухоохладителей, работающих на морской воде.

Бронзами называют сплавы меди с другими, кроме цинка, легирующими элементами. В состав некоторых бронз вводят цинк, но не в качестве основного легирующего элемента. Название бронзы дается по легирующим элементам, входящим в состав сплава. Применяются бронзы оловянные, алюминиевые, бериллиевые, марганцевые, свинцовые и кремнистые. В некоторые бронзы вводят различные добавки: цинк, свинец и фосфор в оловянные бронзы; железо, марганец и никель в алюминиевые бронзы.

Марки бронз обозначаются буквами «Бр» (бронза), за которыми следуют буквенные обозначения легирующих элементов и в том же порядке числа, показывающие их содержание в процентах. Буквенные обозначения легирующих элементов такие же, как в марках латуней. Например, бронза БрОФ10–1 — оловянно-фосфористая, содержащая 10% Sn, 1% P и 89% Cu.

Оловянные бронзы содержат до 12% Sn. В реальных условиях охлаждения отливок структура оловянных бронз, вследствие большой склонности к ликвации из-за медленного протекания диффузии олова в меди, отличается от равновесных структур. Однофазной структурой α -твердого раствора отличаются бронзы, содержащие менее 6–7% олова. При большем содержании олова структура бронз двухфазна — $\alpha + \delta$. Образование в структуре δ -фазы приводит к резкому снижению пластичности оловянных бронз.

Оловянные бронзы отличаются широким интервалом кристаллизации, что является причиной их низкой жидкотекучести, малой усадки и невысокой плотности отливок из-за большого количества рассеянных пор. Добавка цинка улучшает жидкотекучесть и повышает плотность отливок, улучшает обрабатываемость резанием и повышает антифрикционные и механические свойства бронз.

В зависимости от содержания олова оловянные бронзы делятся на литейные и деформируемые. Литейная бронза БрОФ10–1 отличается высокой коррозионной стойкостью в атмосфере, пресной и соленой воде и разбавленной серной кислоте, хорошо обрабатывается резанием и отличается высокими антифрикционными свойствами. Последнее объясняется тем, что структура этой бронзы соответствует правилу Шарпи, согласно которому структура антифрикционного сплава должна состоять не менее чем

из двух структурных составляющих: в мягкую и вязкую основу сплава должны быть вкраплены более твердые кристаллы. В процессе работы вал, опираясь на твердые кристаллы, изнашивает мягкую основу и образует микроканалы, по которым циркулирует смазка, обеспечивающая низкий коэффициент трения. Чтобы не повредилась шейка вала, твердые кристаллы должны быть мягче самой мягкой составляющей металла вала.

Микроструктура бронзы БрОФ10–1 состоит из дендритов α -твердого раствора олова и фосфора в меди с розовато-желтыми осями дендритов и бурыми межосными пространствами, эвтектоида $\alpha + \text{Cu}_{31}\text{Sn}_8$ голубого цвета и светло-голубых включений фосфида меди Cu_3P . Мягкой основой служит α -твердый раствор на участках осей дендритов, межосные пространства дендритов α -твердого раствора с включениями эвтектоидов и фосфида — более твердыми (опорными) участками. Бронза БрОФ10–1 применяется для отливки деталей ответственного назначения, работающих в условиях сильного износа как при спокойной, так и при ударной нагрузках: фрикционных и зубчатых колес, венцов червячных колес, втулок кривошипных головок шатуна, вкладышей тяжело нагруженных подшипников, золотников.

В деформируемых бронзах количество олова не превышает 6,5%. Бронза БрОФ6,5–0,15 применяется для изготовления пружинящих деталей, проводящих ток малой плотности. В отожженном состоянии ее структура состоит из одной фазы — α -твердого раствора олова и фосфора в меди.

4.1.3. Титан и его сплавы

Титан отличается высокой температурой плавления (1660°C), низким удельным весом ($4,5 \text{ г/см}^3$), высокой прочностью при комнатных и повышенных температурах и высоким сопротивлением коррозии в атмосфере, морской и пресной воде, вследствие образования на поверхности тонкой и очень прочной пленки окислов. Однако при высоких температурах, особенно в жидком состоянии, титан активно реагирует с кислородом, азотом, углеродом и водородом, образуя с ними твердые растворы внедрения и хрупкие химические соединения, которые сильно снижают его ударную вязкость, пластичность и коррозионную стойкость. Плавку титана необходимо вести в вакууме.

Титан существует в двух аллотропических формах — α и β . Ниже 882°C устойчив α -титан с гексагональной плотноупакованной решеткой, а выше 882°C — β -титан с решеткой ОЦК. В отожженном состоянии структура обеих модификаций полиэдрическая. После быстрого охлаждения титан приобретает игольчатую структуру, напоминающую мартенсит, вследствие того, что выделение α -модификации при распаде β -титана протекает по определенным кристаллографическим плоскостям.

Свойства титана в большой степени зависят от его чистоты. В промышленности применяется технический титан марок ВТ1–1 и ВТ1–2, содержание титана в которых должно быть не менее 99,2%. Механические свойства титана марки ВТ1–1: $\sigma_{\text{в}} = 450 \text{ МПа}$, $\delta = 20 - 25\%$. Прочность титана марки ВТ1–2 несколько выше, так как в нем сохраняется состояние наклепа. Из технического титана изготавливают листы, прутки, плиты, трубы, проволоку, поковки и штамповки. Для упрочнения титан легируют алюминием, ванадием, молибденом, марганцем, хромом и оловом, которые образуют с титаном твердые растворы замещения.

В зависимости от их структуры сплавы титана делятся на три группы: α -твердого раствора, $(\alpha + \beta)$ -твердых растворов и β -твердого раствора. В промышленности нашли применение первые две группы, $(\alpha + \beta)$ -сплавы более прочны, чем α -сплавы. Они лучше куются, штамуются и прокатываются и упрочняются термической обработкой. Сохраняют достаточную прочность до 430°C . Большинство применяемых промышленных

сплавов относятся к этой группе.

При пределе прочности в $\sigma_v = 450\text{МПа}$ сплавы титана превосходят другие металлы по удельной прочности, то есть по отношению к удельному весу. С повышением температуры удельная прочность снижается, но до $400\text{--}450^\circ\text{C}$ она выше удельной прочности жаропрочных сталей.

Сплавы на основе титана применяются в качестве материала для турбинных лопаток последних ступеней низкотемпературной части мощных паровых турбин, а также для изготовления кованных и штампованных деталей, рассчитанных на службу ограниченной продолжительности при температурах до 450°C , например, лопаток и дисков компрессорных машин.

4.1.4. Антифрикционные сплавы

Антифрикционные сплавы применяют для изготовления деталей трущихся поверхностей механизмов и машин. Трение происходит в подшипниках между вкладышем подшипника и трущейся деталью (осью, валом). Для вкладышей подшипников должен быть подобран такой материал, который предохранит бы от износа вал, сам минимально изнашивался, создавал условия для нормальной смазки, и облегчал работу трущегося узла, то есть уменьшал коэффициент трения.

Исходя из условий работы подшипника, подшипниковый материал должен представлять собой сочетание достаточно прочной, относительно пластичной и вязкой основы, в которой должны быть твердые опорные включения. При этих условиях изнашивается пластичная основа, вал в основном лежит на твердых опорных включениях и, следовательно, трение будет идти не по всей поверхности подшипника, смазка будет удерживаться в изнашивающихся местах пластичной основы. Схематические условия, создающиеся при работе вала с вкладышем, имеющим такую структуру, показаны на рисунке 4.1.

Основа сплава не должна быть слишком мягкой, иначе из-за давления на подшипник материал вкладыша будет просто выдавливаться, наволакиваться на вал, твердые включения не будут удерживаться основной массой, и такой материал не будет пригоден для работы. Количество твердых включений также не должно быть слишком велико, иначе подшипник будет плохо прирабатываться. Под давлением вала твердые частицы будут ломаться, осколки, попадая между валом и вкладышем, будут действовать как абразив, царапая вал. При значительных количествах твердой фазы сам вкладыш будет разрушаться.

Следовательно, для подшипников применимы не однофазные, а многофазные сплавы. Такими сплавами являются сплавы на основе олова или свинца (так называемые баббиты), меди, алюминия, цинка, а также антифрикционные чугуны и металлокерамические подшипниковые материалы.

Баббиты обозначают буквой Б, справа от которой ставится цифра, показывающая

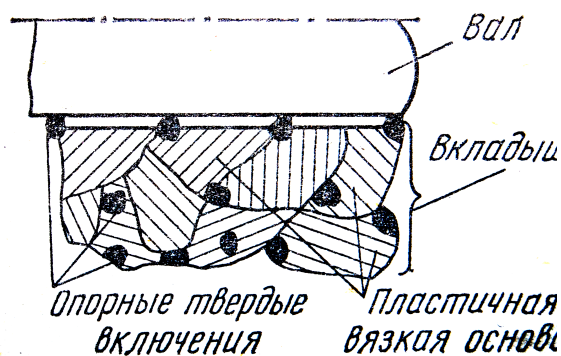


Рис. 4.1. Схема структуры подшипника скольжения.

процент олова или буква, характеризующая специальный элемент, входящий в сплав. Например, Б83, Б16, Б6 означает, что в эти баббиты входит соответственно 83, 16 и 6 процентов олова. БН означает, что в сплав вводится никель, БТ — теллур, то есть обозначение носит условный характер, не показывая полностью состав сплава.

Свинцовые баббиты применяют в самых различных отраслях машиностроения: марки БН — для подшипников тракторных и автомобильных двигателей, паровых турбин, центробежных насосов; БТ — для коренных и шатунных подшипников тракторных и автомобильных двигателей; Б16 — для компрессоров, вакуум-насосов, локомотивов, подъемных машин, подшипников трамваев; Б6 — для подшипников нефтяных двигателей, металлообрабатывающих станков, трансмиссий, вентиляторов, насосов.

Для изготовления вкладышей подшипников, работающих при повышенном удельном давлении и больших скоростях, применяют свинцовую бронзу БрС30 с содержанием свинца 27–33%. Теплопроводность бронзы БрС30 высокая, следовательно, подшипники меньше нагреваются, высокие механические свойства при нагреве сохраняются до сравнительно высоких температур (200°С), поэтому ее применяют для вкладышей подшипников наиболее мощных двигателей.

Антифрикционными сплавами на основе алюминия являются сплавы АН2,5 и Алькусин Д. В этих сплавах мягкая основа — твердые растворы алюминия с элементами, входящими в данный сплав, а твердые включения — химические соединения, находящиеся в эвтектике с твердым раствором. Антифрикционные алюминиевые сплавы имеют высокую теплопроводность, что ценно для подшипников. Твердость алюминиевых сплавов выше, чем баббитов, поэтому их можно применять только в паре с твердыми валами (азотированные шейки валов, поверхностно закаленные шейки валов).

4.2. Сплавы железа с углеродом

4.2.1. Углеродистые стали

Микроструктура углеродистых незакаленных сталей определяется в своей основе диаграммой состояния железо-цементит и зависит от содержания углерода. Микроструктура сталей с очень низким содержанием углерода состоит только из зерен феррита. Зерна феррита не окрашиваются слабым спиртовым раствором кислот и остаются светлыми. Границы между зернами растравливаются в узкие желобки и выглядят на шлифе в виде темных линий. Микроструктура эвтектоидной стали (0,8% С) состоит из зерен только перлита, представляющего собой механическую смесь пластинок феррита и цементита. При средних и больших увеличениях зёрна перлита после травления кажутся состоящими из светлых и темных полос, хотя цементит, как и феррит, не окрашивается отмеченными выше травителями. Наличие этих полос объясняется тем, что пластинки феррита растворяются в кислоте быстрее пластинок цементита, вследствие чего получается микрорельеф. Свет, падающий на поверхность микрошлифа, дает тени от выступающих пластинок цементита, отбрасываемые на углубленные пластинки феррита. При небольших увеличениях зерна перлита окрашены в темные тона — серый или серо-бурый, а пластинки цементита и феррита в них неразличимы. Это объясняется тем, что разрешающая способность слабых объектов мала и поэтому не дает возможности различить отдельные пластинки: светлые и темные полосы перлита сливаются в сплошную темную массу.

Микроструктура доэвтектоидных сталей, содержащих углерод в количестве от 0,02% до 0,8%, состоит из феррита и перлита. С увеличением содержания углерода в стали в ее структуре увеличивается количество перлита и, соответственно, уменьшается количество феррита.

Микроструктура заэвтектоидных сталей (0,8–2,14% С) состоит из перлита и вторичного цементита. Вторичный цементит различим в виде белой сетки, окружающей зерна перлита.

Поскольку перлит и цементит содержат строго определенное количество углерода — 0,8 и 6,67% соответственно, а содержание углерода в феррите настолько мало, что им можно пренебречь, то, определив количество той или иной структурной составляющей в структуре отожженной углеродистой стали, можно легко определить приблизительное содержание углерода в стали.

Феррит — очень пластичная, но малопрочная фаза, цементит очень тверд и статически прочен, но практически непластичен. Поэтому увеличение содержания углерода в стали (или, что то же, увеличение содержания цементита) приводит к повышению прочности и твердости стали и к уменьшению ее пластичности. Знание содержания углерода в углеродистой стали позволяет в большинстве случаев установить и ее марку.

Углеродистые конструкционные стали делятся на стали углеродистые обыкновенного качества, выплаваемые способами мартеновским или конверторным (с продувкой кислородом сверху), и стали углеродистые качественные, выплаваемые в мартеновских или электрических печах.

В зависимости от назначения и гарантируемых характеристик углеродистые стали обыкновенного качества подразделяют на группы А, Б, В.

Сталь группы А поставляется по механическим свойствам, так как она не подвергается у потребителя горячей обработке (ковке, штамповке, термической обработке), и ее структура, а следовательно, и свойства в изделии сохраняются такими, как в состоянии поставки.

Сталь группы Б подвергается у потребителя горячей обработке. Для назначения правильного режима такой обработки нужно иметь сведения о химическом составе стали и поэтому сталь группы Б поставляется по химическому составу.

Сталь группы В поставляется по механическим свойствам и с отдельными требованиями по химическому составу. Сталь этой группы применяется главным образом для изготовления ответственных сварных конструкций. Поэтому потребителю стали необходимо знать не только химический состав металла, определяющий (при прочих равных условиях) свойства металла в зоне термического влияния, но также механические свойства металла конструкции вне зоны теплового воздействия.

Марка стали обыкновенного качества, поставляемой по ГОСТ 380-71, обозначается сочетанием букв и цифр. В начале обозначения марок стали групп Б и В ставятся буквы «Б» и «В»; в обозначениях марок стали группы А буква «А» не ставится. Буквы «Ст» обозначают слово «сталь», а цифры от 1 до 6 — условный порядковый номер в зависимости от механического состава и (или) механических свойств стали. Чем больше номер, тем выше содержание углерода в стали и тем выше ее прочность, но ниже пластичность и ударная вязкость. Примеры: Ст1, БСт3, ВСт5.

Для обозначения степени раскисления стали в конце обозначения марки добавляются соответствующие индексы: «кп» — кипящая, раскисленная только марганцем, «пс» — полуспокойная, раскисленная марганцем, кремнием и алюминием.

Качественные углеродистые конструкционные стали (ГОСТ 1050-60) поставляются по механическим свойствам, причем комплекс гарантируемых характеристик механических свойств сложнее, чем для стали обыкновенного качества. Марки углеродистых качественных конструкционных сталей обозначают двузначными числами, означающими среднее содержание углерода в стали в сотых долях процента. Например, сталь 15 содержит в среднем 0,15% С, сталь 40 — 0,40% С и так далее.

Малоуглеродистая качественная сталь марки 05 выплаывается только кипящей, и поэтому в ее обозначение входят буквы «кп»; стали марок 08, 10, 15 и 20 могут

выплавляться как спокойными, так и кипящими; марки спокойной стали обозначаются только числом (10, 15), к обозначению марок кипящей стали добавляются буквы «кп».

Углеродистые качественные конструкционные стали содержат несколько меньше вредных примесей (серы и фосфора), чем стали обыкновенного качества.

Углеродистые инструментальные стали (ГОСТ 1435-54) содержат углерод в пределах от 0,65% до 1,40%. Маркируют эти стали следующим образом: впереди обозначения марки ставится буква «У» (углеродистая), за ней число, обозначающее среднее содержание углерода в десятых долях процента, и затем буква «Г», если сталь содержит повышенное количество марганца. Если сталь высококачественная, то в конце марки ставится буква А. Так, У8 означает сталь углеродистую инструментальную с содержанием в среднем 0,8% углерода, У8ГА — то же, высококачественная, с повышенным содержанием марганца.

4.2.2. Легированные стали

Легированной называется сталь, содержащая в своем составе один или несколько специальных элементов (хром, никель, вольфрам, титан и другие) в количестве, заметно изменяющем ее свойства, или содержащая повышенное против углеродистых сталей количество марганца (больше 1%) и кремния (больше 0,5%).

Легированные стали классифицируют по различным признакам. По назначению легированные стали делят на конструкционные, инструментальные и стали с особыми свойствами. По содержанию легирующих элементов, то есть по степени легированности, легированные стали делят на низколегированные, в которых суммарное содержание легирующих элементов меньше 5%, среднелегированные, содержащие от 5 до 10% легирующих элементов, и высоколегированные, содержащие больше 10% легирующих элементов.

По числу компонентов, считая железо, углерод и легирующие элементы, но пренебрегая металлургическими примесями (марганцем, кремнием, серой и фосфором), стали могут быть двухкомпонентными (углеродистые), трехкомпонентными (один легирующий элемент), четырехкомпонентными (два легирующих элемента) и так далее. Стали, содержащие больше трех легирующих элементов, называют обычно многокомпонентными или сложнелегированными.

По микроструктуре после нормализации легированные стали делятся на три основных класса: перлитный, мартенситный и аустенитный. Образование той или иной структуры легированных сталей после нормализации можно объяснить с помощью диаграмм изотермического распада аустенита. Большинство легирующих элементов сдвигает линии начала и конца распада аустенита вправо, увеличивая его устойчивость, и снижает температуру мартенситного превращения. Устойчивость аустенита сталей перлитного класса невелика, и поэтому кривая охлаждения, соответствующая процессу нормализации, пересекает линии начала и конца распада аустенита. В результате после нормализации структура сталей этого класса состоит из продуктов распада аустенита (перлит, сорбит или тростит).

К сталям перлитного класса относится, например, низколегированная четырехкомпонентная сталь 15ХМ. Наличие в стали молибдена увеличивает ее сопротивление ползучести и обуславливает ее применение в котлотурбостроении для труб пароперегревателей, паропроводов и коллекторов, роторов и дисков турбин. Структура этой стали после нормализации состоит из феррита и перлита. В перлите этой стали углерода меньше, чем в перлите углеродистых сталей, и поэтому пластинки карбидов в зернах перлита расположены реже.

Среднелегированные стали относятся обычно к сталям мартенситного класса, то

есть имеют после нормализации структуру мартенсита. Линии начала и конца распада аустенита этих сталей на диаграмме изотермического распада так сильно сдвинуты вправо, что кривая охлаждения, соответствующая процессу нормализации, пересекает линию мартенситного превращения, не касаясь кривой начала распада аустенита.

К сталям мартенситного класса относится сталь марки 18ХН4ВА. Эта сталь закаливается не только в масле, но и на воздухе, и на полную глубину больших сечений. Она отличается высокими механическими свойствами и поэтому в качестве цементуемой или улучшаемой применяется для изготовления очень ответственных изделий: коленчатых валов, валов редукторов, шестерен.

Сталь Х18Н10Т является нержавеющей сталью. Она устойчива на холоде, в азотной и серной кислотах, пресной и морской воде, перегретом и насыщенном паре, органических кислотах, растворах щелочей, хлористых и сернокислых солей. Поэтому ее применяют для изготовления различной аппаратуры в химической, нефтяной и пищевой промышленности. Вследствие хорошей жаростойкости этой стали на воздухе и в выхлопных газах она широко применяется также для изготовления выхлопных патрубков, коллекторов, глушителей и других деталей, отводящих отработанные газы.

Стали аустенитного класса немагнитны. Поэтому они широко применяются в электротехнике и других областях промышленности для изготовления немагнитных деталей повышенной прочности.

Высоколегированные стали аустенитного класса, легированные хромом и никелем (с добавлением небольших количеств некоторых других элементов), применяются в качестве жаропрочных материалов.

Жаропрочность металла зависит от многих факторов. Так, она тем выше, чем больше силы межатомных связей в металле, то есть чем выше температура его плавления. Жаропрочность сплава зависит также от типа кристаллической решетки. Если основа сплава имеет несколько аллотропических модификаций, например, α , β и γ , то более высокой жаропрочностью отличается сплав с гранцентрированной решеткой, как более плотноупакованной. Следовательно, стали с аустенитной структурой отличаются более высокой жаропрочностью, чем стали с ферритной структурой.

Жаропрочность повышается дополнительно, если структура сплава состоит из твердого раствора и тонкодисперсных включений какой-либо прочной и твердой фазы, например, интерметаллидной.

Высокая степень дисперсности фазы достигается термической обработкой — закалкой, в результате которой образуется однородный пересыщенный твердый раствор, и отпуском (старением), при котором происходит выделение дисперсной фазы. Сплавы легируют так, чтобы при отпуске выделялась либо карбидная фаза (карбидное упрочнение), либо интерметаллидная фаза (интерметаллидное упрочнение).

Для выделения мелкодисперсной карбидной фазы требуется сравнительно кратковременный отпуск (несколько часов) при температуре 650–700°C. При этом карбиды выделяются преимущественно по границам зерен. Недостатком карбидного упрочнения является его сравнительная недолговечность: в процессе работы металла при повышенных температурах карбидная фаза коагулирует и эффект упрочнения ослабляется.

Образование мелкодисперсной интерметаллидной фазы в жаропрочных сплавах требует более длительных выдержек при температуре отпуска, чем образование карбидной фазы — 15–25 часов. Однако интерметаллидные фазы отличаются значительно большей устойчивостью, чем карбидные фазы, и поэтому срок службы сплавов с интерметаллидным упрочнением больше, чем сплавов с карбидным упрочнением.

Интересны сплавы с одновременным карбидным и интерметаллидным упрочнением. Такие сплавы подвергают термической обработке (закалке и отпуску), в результате которой выделяется мелкодисперсная карбидная фаза. В процессе работы сплава

при повышенных температурах происходит коагуляция карбидов и эффект карбидного упрочнения поэтому ослабляется, но одновременно выделяются высокодисперсные интерметаллидные фазы и тем самым создается интерметаллидное упрочнение. Интерметаллиды выделяются равномерно по всему объему.

Кроме перечисленных трех, имеется еще два структурных класса легированных сталей: ферритный и карбидный. Стали ферритного класса содержат очень много углерода и большое количество легирующих элементов, снижающих критическую точку A_1 и повышающих критическую точку A_3 , то есть элементов, расширяющих область α -железа на диаграмме состояния (хром, кремний, вольфрам и другие). В сталях этого класса структура легированного феррита сохраняется до плавления, так как никаких аллотропических превращений эти стали не претерпевают и поэтому относятся к закалывающимся. При их нагревании происходит только рост зерна.

Стали карбидного класса содержат в своем составе большое количество углерода и карбидообразующих элементов. Характерной особенностью их структуры является наличие в ней большого количества свободных карбидов. В зависимости от состава стали структура металлической основы после нормализации может быть перлитной (сорбитной), мартенситной или аустенитной.

Типичным представителем сталей карбидного класса является быстрорежущая сталь марки P18 следующего химического состава: 0,7–0,8% C; 3,8–4,4% Cr и 1,05–1,4% V. В литом состоянии структура этой стали состоит из остаточного аустенита, ледебуритной эвтектики, представляющей собой смесь карбидов типа Fe_2W_2C скелетообразного вида и продуктов распада аустенита — сорбита и тростита. Ледебуритная эвтектика придает быстрорежущей стали повышенную хрупкость и создает опасность выкрашивания режущей кромки инструмента при ударах в процессе резания. Для устранения хрупкости литую быстрорежущую сталь подвергают горячей обработке давлением (прокатке, ковке), в процессе которой крупные карбиды размельчаются и в виде мелких включений равномерно распределяются в металлической основе.

Для повышения твердости и жаростойкости режущих инструментов из стали P18 их подвергают закалке с высоких температур (1280°C) и двукратному отпуску при 560–580°C. Структура кованой и термически обработанной стали P18 представляет собой чрезвычайно мелкоигольчатый (бесструктурный) мартенсит с равномерно распределенными в нем мелкообразованными карбидами.

Для маркировки легированных сталей принята система обозначения марок стали буквами и цифрами, указывающими примерный химический состав стали. Каждый легирующий элемент обозначается прописной буквой русского алфавита: никель — Н, хром — Х, молибден — М, вольфрам — В, ванадий — Ф, титан — Т, ниобий — Б, цирконий — Ц, марганец — Г, кремний — С, бор — Р, алюминий — Ю, медь — Д, фосфор — П, кобальт — К, азот — А, редкоземельные элементы — Ч.

В обозначении марок низколегированных конструкционных сталей две цифры показывают среднее содержание углерода в сотых долях процента (так же, как в качественных конструкционных углеродистых сталях). Например, сталь марки 40Х содержит около 0,40% С. В обозначении марок некоторых сталей (инструментальных и некоторых других) содержание углерода либо вообще не указывается, либо указывается в десятых долях процента. Например, сталь марки 9ХС содержит около 0,90% С.

Числа, стоящие справа от буквы, указывают примерное содержание в процентах элемента, обозначенного буквой, после которой стоит число. Например, сталь марки 12Х2Н4 содержит около 2% Cr и около 4% Ni. Если содержание легирующего элемента меньше 1,5%, то число справа от буквы не ставится, например, сталь марки 30ХГС содержит около 1% Cr, около 1% Mn, около 1% Si.

Буква «А» в конце обозначения марки указывает на принадлежность стали к кате-

гории высококачественных, например, 20ХНЗА; буква «Ш» в конце обозначения марки указывает на принадлежность стали к категории особовысококачественных, причем буква «Ш» ставится через дефис, например, 30ХГС-Ш. Легированные стали, марки которых обозначаются без букв «А» или «Ш», относятся к категории качественных.

Легированные стали различных качественных категорий различаются по тщательности выплавки, что определяется, в первую очередь, максимально допустимым содержанием вредных примесей серы и фосфора, а также максимально допустимым содержанием остаточных меди, никеля и хрома.

Стали некоторых назначений маркируются отличным от описанного методом. Так, быстрорежущая инструментальная сталь марки Х4В18Ф обозначается обычно Р18 (18% W). Быстрорежущие стали остальных марок также обозначаются буквой Р и числом, показывающим содержание вольфрама в процентах, например, Р9.

4.2.3. Чугун

Чугунами называются сплавы железа с углеродом, содержащим более 2,14% С. Кроме углерода, содержание которого обычно колеблется от 2,5 до 4,0%, в чугунах содержится также 1,0–3,5% кремния, 0,5–1,0% марганца, 0,08–0,010% серы и 0,3–0,6% фосфора. Чугуны являются наиболее распространенными литейными сплавами, которые используются для изготовления фасонных отливок.

Условия кристаллизации, химический состав и последующая термическая обработка существенно влияют на структуру и свойства чугунных отливок. В зависимости от структуры чугуны делятся на белые, серые, ковкие и высокопрочные (рисунок 4.2).

Во всех железоуглеродистых сплавах углерод находится в виде химического соединения Fe_3C — цементита. Однако в большинстве случаев на практике имеют дело с чугунами, в структуре которых имеется свободный графит (углерод), образованию которого способствует повышенное содержание кремния в составе таких чугунов. При нагреве цементит разлагается на железо и графит, откуда следует, что графит является более стабильной фазой, чем цементит.

Графит представляет собой полиморфную модификацию углерода в кристалле. Между слоями атомов осуществляется металлическая связь. Благодаря этому, графит обладает некоторыми металлическими свойствами (электропроводностью). Прочностные свойства графита очень низкие.

В белых чугунах, излом которых светлый, блестящий, весь углерод находится в связанном состоянии в форме цементита. Образование структуры белых чугунов можно проследить по диаграмме состояния сплавов железо-цементит. Начиная от температуры, соответствующей линии ликвидус, и до 1147°C в доэвтектических белых чугунах (менее 4,3% С) из расплава выпадают кристаллы аустенита, то есть твердого раствора углерода в железе. При температуре 1147°C кристаллизация жидкости заканчивается образованием эвтектики — ледебурита, представляющего собой тонкую механическую смесь кристаллов аустенита и цементита (ледебурит аустенитный). При дальнейшем охлаждении, вследствие уменьшения растворимости углерода в железе, при снижении температуры в интервале от 1147°C до 727°C из аустенита выделяется цементит вторичный, и при 720°C избыточный и входящий в состав ледебурита аустенит, содержащий 0,8% С, распадается с образованием перлита. В отличие от ледебурита аустенитного, ледебурит, существующий при температурах ниже 720°C, называется ледебуритным перлитом.

Вследствие наличия в структуре большого количества твердого и хрупкого цементита, образовавшегося при эвтектической, вторичной и эвтектоидной кристаллизациях, белый чугун тверд и хрупок. Вследствие высокой твердости он хорошо сопротивляет-

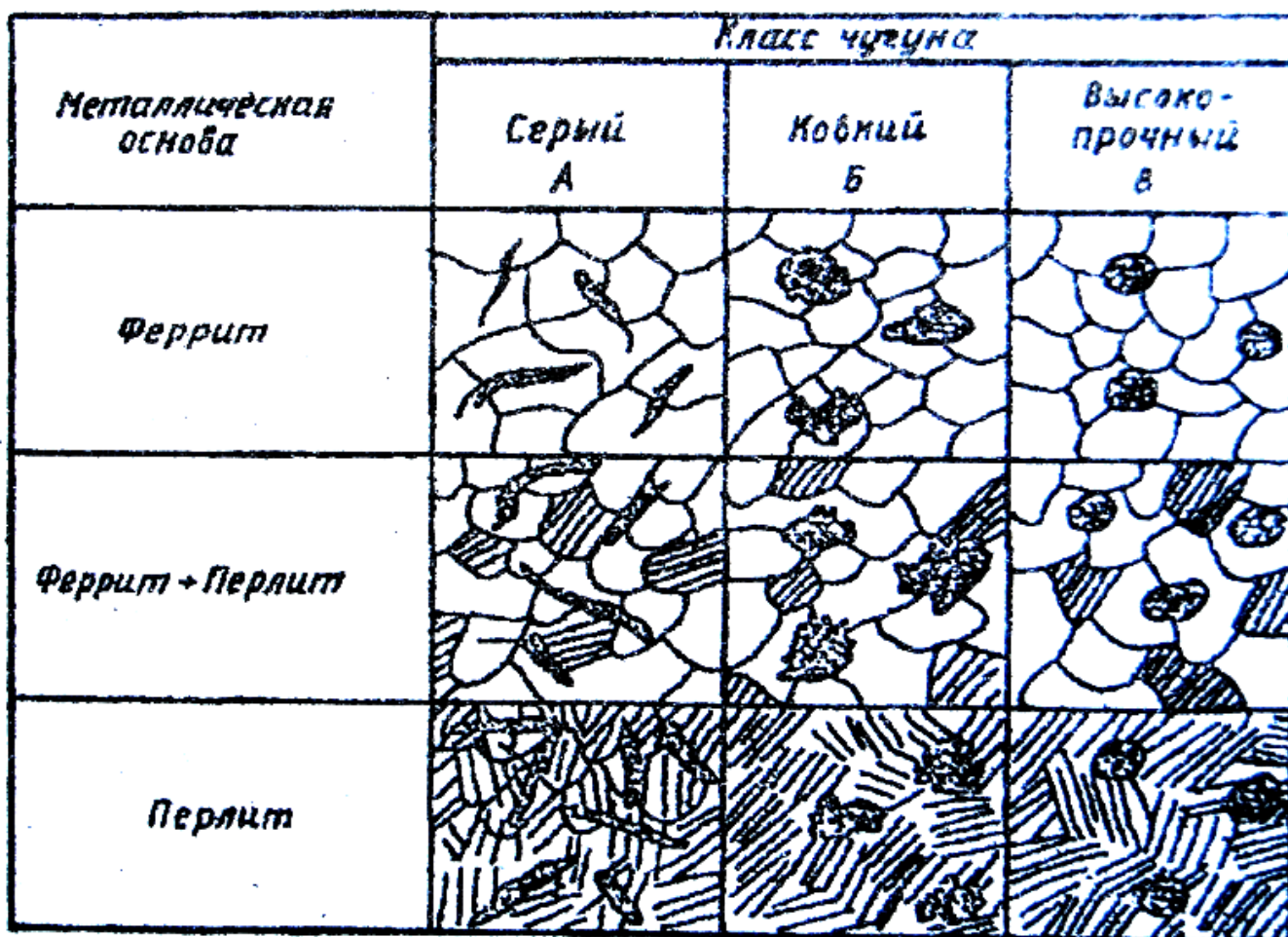


Рис. 4.2. Микроструктура чугунов.

ся износу, но очень плохо обрабатывается резанием и поэтому его применение в машиностроении ограничено. Эвтектические белые чугуны (структура — ледебурит) и заэвтектические (цементит первичный + ледебурит), в структуре которых цементита содержится еще больше, чем в доэвтектических чугунах, в машиностроении не применяются вовсе.

Серыми называются чугуны, в которых весь углерод или большая его часть присутствует в свободном состоянии в виде графита, имеющего форму пластинок (чешуек). Вследствие присутствия в их структуре графита излом этих чугунов имеет серый цвет. Образование графита в чугуне (графитизация) происходит при медленном охлаждении отливки в форме. Чем медленнее охлаждение, тем больше образуется графита, и тем меньше углерода остается в связанном состоянии в виде цементита. При этом твердость чугуна уменьшается, так как графит значительно мягче цементита.

Кроме скорости охлаждения, на процесс графитизации влияет химический состав чугуна. Одни элементы, присутствующие в чугуне, способствуют графитизации (элементы-графитизаторы); другие — препятствуют ей (антиграфитизаторы). К очень сильным графитизаторам относится кремний. Марганец и сера, наоборот, затрудняют выделение графита. Фосфор практически не оказывает влияния на процесс графитизации.

В структуре серых чугунов различают металлическую основу и включения графита. Последние хорошо различимы на нетравленном микрошлифе в виде темно-серых включений. Для выявления и изучения структуры металлической основы шлиф под-

вергают травлению, например, 2-4 процентным спиртовым раствором азотной кислоты.

В зависимости от степени графитизации, т.е. соотношения между количеством связанного и свободного углерода, микроструктура металлической основы серого чугуна может состоять из перлита, перлита и феррита или только феррита.

По структуре металлической основы серые чугуны делятся на следующие три вида:

1. Перлитный серый чугун. Количество связанного углерода равно 0,8% и этот углерод в виде цементита входит в состав перлита. Остальной углерод находится в свободном состоянии в виде графита пластинчатой формы.

2. Ферритно-перлитный серый чугун. В связанном состоянии находится меньше 0,8% С. Металлическая основа состоит из феррита и перлита. Графит имеет пластинчатую форму.

3. Ферритный серый чугун. Практически весь углерод в этом чугуне находится в свободном состоянии. Структура состоит из ферритной основы и пластинок графита.

По микроструктуре металлической основы серых (а также высокопрочных и ковких) чугунов можно с достаточной для практических целей точностью определить количество углерода в связанном состоянии точно так же, как это делается для углеродистых отожженных сталей.

На практике для получения необходимой структуры и, следовательно, свойств в чугунных отливках заданного сечения, регулируют химический состав чугунов в соответствии со структурной диаграммой. Так как детали малого сечения остывают быстрее массивных деталей, первые отливают из чугуна с высоким содержанием кремния и избегают тем самым отбеливания, то есть образования структуры белого чугуна. Так, например, для получения структуры перлита и феррита в отливках с толщиной стенки (или диаметром) 10 мм, суммарное содержание углерода и кремния должно составлять 4,7%. Получение такой же структуры в отливке сечением 60 мм, остывающей с меньшей скоростью, возможно при суммарном содержании углерода и кремния равном 3,6%.

Необходимо подчеркнуть, что содержание углерода в современных серых чугунах сравнительно невысоко и колеблется в узких пределах (обычно 2,8–3,3%), поэтому структуру отливок регулируют, главным образом, изменением содержания кремния.

В некоторых литых изделиях (прокатные валки, шары шаровых мельниц) образование структуры белого чугуна в поверхностных слоях желательнее, так как при этом обеспечивается высокая твердость и износостойкость их рабочей поверхности. Такие отливки быстро охлаждаются в поверхностном слое, что способствует выделению углерода в виде цементита. По мере удаления от поверхности скорость охлаждения снижается, и поэтому внутри отливки получается структура серого чугуна с различной степенью графитизации. Неоднородностью структуры определяется изменение твердости по сечению чугунной отливки.

Серый чугун распространен очень широко вследствие своей дешевизны, высоких литейных свойств, хорошей обрабатываемости резанием и удовлетворительных механических свойств. Кроме того, он отличается хорошими антифрикционными свойствами и малочувствительностью к надрезам.

Серый чугун маркируется буквами «СЧ». После букв следуют цифры, указывающие минимальное для данной марки чугуна значение временного сопротивления в кгс/мм² ($\times 10$ МПа). Чугуны марок СЧ10, СЧ15 используются для слабо- и средненагруженных деталей: крышки, фланцы, маховики, суппорты, тормозные барабаны, диски сцепления. Чугуны марок СЧ20, СЧ25 применяются для деталей, работающих при повышенных статических и динамических нагрузках: картеры двигателей, поршни цилиндров, барабаны сцепления, станины станков и другие отливки различного назначения. Для изготовления станин мощных станков, корпусов насосов, компрессоров и гидропри-

водов используют более высокие марки чугуна СЧ40 и СЧ45, часто для измельчения и оптимизации формы графитных включений, улучшения механических свойств применяя модифицирование — обработку жидкого чугуна перед разливкой ферросилицием или силикокальцием. Для деталей, работающих при повышенных температурах, применяют легированные серые чугуны, которые дополнительно содержат хром, никель, молибден, алюминий.

Графит - мягкая и непрочная неметаллическая фаза, слабо связанная с металлической основой (матрицей). Поэтому включения графита нарушают сплошность металлической основы и ослабляют ее. Особенно сильное неблагоприятное влияние оказывают включения графита пластинчатой формы, имеющие развитую поверхность и острые края, играющие поэтому роль как бы трещин или надрезов, то есть концентраторов напряжений. Этим объясняется низкая пластичность и ударная вязкость серых чугунов независимо от структуры металлической основы, а также относительно низкая прочность, особенно при растягивающих нагрузках.

Получение более благоприятной формы графита может быть достигнуто модифицированием чугуна. Наиболее распространенным модификатором является магний. Введение в расплавленный металл (чугун) перед его разливкой в формы 0,4-0,6% магния приводит к получению высокопрочного чугуна вследствие изменения формы включений графита на шаровидную. Такая компактная форма включения графита в наименьшей степени ослабляет металлическую основу и поэтому механические свойства высокопрочных чугунов (предел прочности на растяжение, пластичность, ударная вязкость и другие) гораздо выше соответствующих показателей механических свойств серых чугунов и приближаются к механическим свойствам стали. Чугун с шаровидным (глобулярным) графитом в ряде случаев с успехом может заменить стальное литье и поковки.

В зависимости от химического состава и скорости охлаждения структура металлической основы высокопрочных чугунов, как и серых, может состоять из перлита, перлита и феррита или только феррита. Таким образом, высокопрочным чугуном называется чугун, в котором количество углерода в связанном состоянии не превышает эвтектоидной концентрации, а остальной углерод находится в свободном состоянии в форме шаровидных включений графита.

Высокопрочные чугуны маркируются буквами «ВЧ» и последующими числами. Первое число указывает на минимальный предел прочности при растяжении в кгс/мм² ($\times 10$ МПа), второе — минимальное относительное удлинение в процентах. Например, ВЧ-60-2.

Ковкий чугун получают путем графитизирующего отжига (томления) отливок белого доэвтектоидного чугуна с низким содержанием углерода и кремния. Характерным структурным признаком ковкого чугуна является хлопьевидный графит — углерод отжига, образующийся в результате распада цементита белого чугуна в процессе графитизирующего отжига.

При температурах 950–1000°С эвтектический цементит и часть вторичного распадаются с выделением углерода отжига (I стадия графитизации). После окончания I стадии графитизации структура состоит из аустенита и углерода отжига, причем в аустените растворено более 0,8% углерода.

При медленном охлаждении до температур эвтектоидного превращения продолжается распад выделяющегося из аустенита вторичного цементита. Переход через критическую температуру сопровождается превращением аустенита в перлит. Таким путем образуется перлитный ковкий чугун с металлической основой из перлита и включений хлопьевидного графита.

Дополнительная длительная выдержка при температуре немного ниже температу-

ры эвтектоидного превращения приводит к разложению цементита и перлита (II стадия графитизации). В случае полного распада эвтектоидного цементита получается структура феррит + углерод отжига — ферритный ковкий чугун, а в случае частичного распада — феррит + перлит + углерод отжига (феррито-перлитный ковкий чугун).

Таким образом, в ковком чугуне содержание связанного углерода не превышает эвтектоидного, а свободный углерод (графит) имеет форму хлопьев.

Ковкий чугун широко применяется для изготовления деталей сложной формы малого и среднего сечения. Прочность отливок из ковкого чугуна близка к прочности низко- и среднеуглеродистой стали; эти отливки отличаются достаточной пластичностью и ударной вязкостью, хорошо противостоят ударным нагрузкам и вибрациям. Перлитный ковкий чугун отличается от ферритного ковкого большей прочностью и твердостью, но меньшей пластичностью и меньшей ударной вязкостью. Марки ковких чугунов обозначаются аналогично маркам высокопрочных чугунов: после букв «КЧ» (ковкий чугун) следуют два числа, из которых первое — минимальный предел прочности при растяжении в кгс/мм² ($\times 10$ МПа), второе — минимальное относительное удлинение в процентах, например, КЧ 37–12, КЧ 63–2.

Из всего сказанного следует, что по структуре серые, высокопрочные и ковкие чугуны отличаются от сталей наличием включений графита и различаются между собой только формой этих включений.

4.3. Анализ микроструктуры металлов и сплавов

Под структурой металлов и сплавов понимается их строение, выявляемое и изучаемое различными современными методами исследования и, в частности, методом микроскопического анализа.

Микроскопическим анализом (или микроанализом) называется исследование строения металлов и сплавов с помощью специальных микроскопов — оптических или электронных — при увеличении от 50 до 100 000 раз на специально подготовленных объектах — микрошлифах, репликах (оттисках), или тонких фольгах. В настоящей работе рассматривается только микроскопический анализ с помощью оптического металлографического микроскопа, дающего увеличение от 50 до 3 000 раз.

Наблюдаемое при микроанализе строение металлов называется микроструктурой. Микроскопический анализ позволяет установить:

- 1) форму и размеры кристаллических зерен, из которых состоит сплав;
- 2) характер и относительное количество структурных составляющих;
- 3) изменения внутреннего строения сплава, происходящие под влиянием различных режимов термической и химико-термической обработки, а также после внешнего механического воздействия на сплав (обработки давлением);
- 4) характер, размеры и расположение неметаллических включений (сульфидов, оксидов);
- 5) детали строения микродефектов (трещин, пор);
- 6) наличие ликвации;
- 7) ориентировочный химический состав.

Микроанализ позволяет также оценить характер технологических операций при обработке исследуемого металлического изделия — литья, штамповки, прокатки, сварки, термической и химико-термической обработки.

Микроскопическое исследование имеет большое значение и потому, что механические свойства металлов в большой степени зависят от их микроструктуры, а разрушение деталей обусловлено нередко ненормальной для данного сплава микроструктурой.

Для проведения микроанализа необходимо приготовить образец исследуемого металла и путем ряда операций (шлифования, полирования, травления) довести его до такого состояния, при котором микроструктура металла становится рассматриваемой под микроскопом. Подготовленная для исследования микроструктурой поверхность образца называется микрошлифом.

Образцы металлов с невысокой твердостью вырезают либо на металлорежущих станках, либо механической или ручной ножовкой, образцы твердых металлов — при помощи тонкого наждачного круга или путем электрофизической обработки. Наиболее удобный размер образцов составляет 1–3 см³.

Для получения ровной поверхности образец для микрошлифа обрабатывают прежде всего напильником или, если металл тверд, шлифовальным кругом. После этого поверхность шлифуют на специальных станках или вручную наждачной бумагой различной зернистости (3–4 номера). Шлифование начинают на бумаге с грубым абразивным зерном. При переходе с одной бумаги на другую направление шлифовки изменяют на перпендикулярное. Момент окончания шлифования на бумаге данного номера определяется по исчезновению рисок от шлифования на бумаге предыдущего номера.

После окончания шлифования для удаления царапин производят полировку отшлифованной поверхности образца, после чего она становится зеркальной. Полирование производят механическим или электролитическим способом. Для механического полирования применяют станки с кругами диаметром 250–350 мм, обтянутыми сукном. Круг вращается со скоростью 700–1000 об/мин. К сукну, смачиваемому непрерывно полировальной жидкостью, прижимают образец отшлифованной поверхностью. Наиболее распространенной полировальной жидкостью является вода с взвешенными в ней очень мелкими (отмученными) частицами окиси алюминия (Al_2O_3) или окиси хрома (Cr_2O_3). Отполированную поверхность образца промывают водой, протирают для обезжиривания ватой, смоченной спиртом или другим обезжиривателем, и затем просушивают сухой ватой или фильтровальной бумагой.

При рассмотрении под микроскопом полированной зеркальной поверхности микрошлифа нельзя еще судить о строении сплава. Только неметаллические включения, вследствие того, что они окрашены в различные цвета, резко выделяются на светлом фоне полированного микрошлифа.

Для выявления микроструктуры микрошлифы подвергают травлению. Для травления углеродистых сталей и чугунов в качестве травителей применяют обычно 2–4% спиртовые растворы азотной или пикриновой кислот. Для травления коррозионностойких сталей и чугунов, а также цветных металлов и их сплавов разработано большое число травителей. Действие травителей основано на следующих явлениях:

1) на различной скорости растворения металлического зерна и его пограничных слоев, благодаря чему границы зерен выявляются в виде темных линий;

2) на различиях в скорости растворения в травителе различных фаз и структурных составляющих, а также на различиях в скорости растворения однофазных зерен вследствие их анизотропности (проявляющейся в различиях ориентировки атомных плоскостей кристаллической решетки зерен исследуемого металла относительно плоскости микрошлифа);

3) на различиях в окрашиваемости различных фаз и структурных составляющих.

После травления микрошлиф промывают в проточной воде и тщательно высушивают прижатием к чистой фильтровальной бумаге или с помощью электрополотенца.

Протравленный и высушенный микрошлиф устанавливают на предметный столик металлографического микроскопа и рассматривают микроструктуру в отраженном свете; при необходимости микроструктуру фотографируют.

4.4. Протокол испытаний

В качестве отчета об исследовании микроструктуры необходимо привести рисунки или фотографии микроструктур следующих материалов:

1. Медь.
2. Алюминий.
3. Титан.
4. Бронза.
5. Латунь.
6. Сталь Ст40.
7. Сталь нержавеющей X18H10T.
8. Сталь жаропрочная аустенитная.
9. Чугун с ферритной основой и пластинчатым графитом.
10. Чугун с ферритной основой и шаровидным графитом.
11. Чугун с ферритной основой и хлопьевидным графитом.
12. Чугун с ферритно-перлитной основой и пластинчатым графитом.

4.5. Контрольные вопросы

Для успешного выполнения лабораторной работы рекомендуется подготовить ответы к следующим вопросам:

Какими свойствами обладает алюминий, как он маркируется? Приведите классификацию алюминиевых сплавов (с маркировкой). Какими свойствами обладает медь, как она маркируется? Приведите классификацию сплавов меди (с маркировкой). Приведите классификацию сплавов титана (с маркировкой). Что такое антифрикционные сплавы? Что такое правило Шарпи (дать объяснение)? Приведите классификацию антифрикционных сплавов (с маркировкой). Что такое сталь? Приведите классификацию сталей (без маркировок). Что такое углеродистая сталь? Поясните основные принципы маркировки углеродистых сталей. Что такое легирование и легированная сталь? Поясните основные принципы маркировки легированных сталей. Что такое чугун? Что такое графит? Что такое цементит? Приведите классификацию чугунов (без маркировки). Что такое серый чугун? Что такое белый чугун? Что такое высокопрочный чугун? Что такое ковкий чугун? Каковы основные принципы маркировки чугунов? Что позволяет выявить оптический микроструктурный анализ? Как подготавливают образцы для микроструктурного анализа?

В качестве дополнительного материала рекомендуется подготовиться к развернутому ответу по следующим темам:

- Классификация, маркировка и применение сплавов алюминия.
- Классификация, маркировка и применение сплавов меди.
- Классификация, маркировка, структура и применение сталей.
- Классификация, маркировка, структура и применение чугунов.
- Основы микроструктурного анализа.