

Алюминиевые сплавы

Алюминиевые сплавы по способу изготовления из них изделий делят на две группы:

- 1) деформируемые (имеют высокую пластичность в нагретом состоянии),
- 2) литейные (имеют хорошую жидкотекучесть).

Такое деление отражает основные технологические свойства сплавов. Для получения этих свойств в алюминий вводят разные легирующие элементы и в неодинаковом количестве.

Сырьем для получения сплавов обоого типа являются не только технически чистый алюминий, но также и двойные сплавы алюминия с кремнием, которые содержат 10-13 % Si, и немного отличаются друг от друга количеством примесей железа, кальция, титана и марганца. Общее содержание примесей в них 0.5-1.7 %. Эти сплавы называют силуминами. Для получения деформируемых сплавов в алюминий вводят в основном растворимые в нем легирующие элементы в количестве, не превышающем предел их растворимости при высокой температуре. Деформируемые сплавы при нагреве под обработку давлением должны иметь гомогенную структуру твердого раствора, обеспечивающую наибольшую пластичность и наименьшую прочность. Это и обуславливает их хорошую обрабатываемость давлением.

Легирование

Алюминий применяют для производства из него изделий и сплавов на его основе.

Легирование — процесс введения в расплав дополнительных элементов, улучшающих механические, физические и химические свойства основного материала. Легирование является обобщающим понятием ряда технологических процедур, проводимых на различных этапах получения металлического материала с целями повышения качества металлургической продукции.

Введение различных легирующих элементов в алюминий существенно изменяет его свойства, а иногда придает ему новые специфические свойства.

Прочность чистого алюминия не удовлетворяет современные промышленные нужды, поэтому для изготовления любых изделий, предназначенных для промышленности, применяют не чистый алюминий, а его сплавы.

При различном легировании повышаются прочность, твердость, приобретает жаропрочность и другие свойства. При этом происходят и нежелательные изменения: неизбежно снижается электропроводность, во многих случаях ухудшается коррозионная стойкость, почти всегда повышается относительная плотность. Исключение составляет легирование марганцем, который не только не снижает коррозионную стойкость, но даже несколько повышает ее, и магнием, который тоже повышает коррозионную стойкость (если его не более 3 %) и **снижает** относительную плотность, так как он легче, чем алюминий.

Основными легирующими элементами в различных деформируемых сплавах является медь, магний, марганец и цинк, кроме того, в сравнительно небольших количествах вводят также кремний, железо, никель и некоторые другие элементы.

Дюралюминии — сплавы алюминия с медью.

Характерными упрочняемыми сплавами являются **дюралюминии** — сплавы алюминия с медью, которые содержат постоянные примеси кремния и железа и могут быть легированы магнием и марганцем. Количество меди в них находится в пределах 2.2-7 %.

Медь растворяется в алюминии в количестве 0,5% при комнатной температуре и 5,7% при эвтектической температуре, равной 548 С.

Эвтектика (греч. *eutektos* — легкоплавящийся) — невариантная (при постоянном давлении) точка в системе из n компонентов, в которой находятся в равновесии n твердых фаз и жидкая фаза. Эвтектическая композиция представляет собой жидкий раствор, кристаллизующийся при наиболее низкой температуре для сплавов данной системы. Соответственно, температура плавления сплава эвтектического состава — также самая низкая, по сравнению со сплавами другого состава для данной системы компонентов. Это явление как раз и отражает этимологию термина. Эвтектика является пересечением поверхностей насыщения расплава с фазами, с которыми он находится в равновесии. Если отводится соответствующее количество тепла, то расплав эвтектического состава при кристаллизации в условиях близких к равновесным даст все кристаллические фазы, участвующие в равновесии. Если же при сохранении эвтектической температуры подводится тепло в достаточном количестве, то смесь фаз, отвечающая эвтектическому составу, в равновесных условиях полностью расплавится.

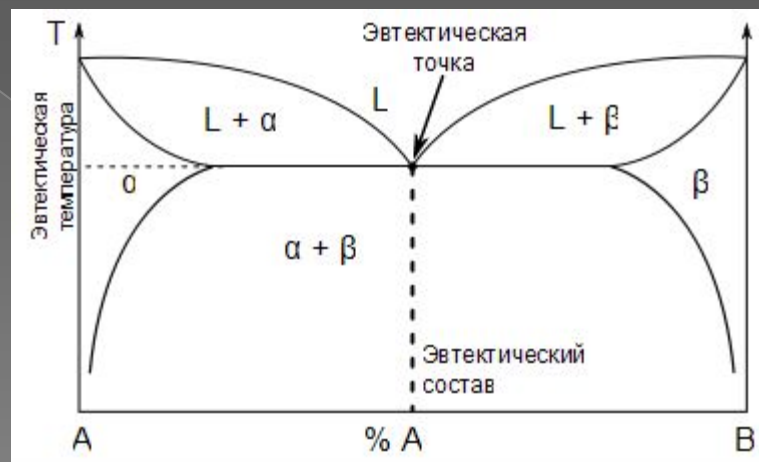
Термическая обработка дюралюминия состоит из двух этапов.

Сначала его нагревают выше линии предельной растворимости (обычно приблизительно до 500 С). При этой температуре его структура представляет собой гомогенный твердый раствор меди в алюминии.

Путем закалки, т.е. быстрого охлаждения в воде, эту структуру фиксируют при комнатной температуре. При этом раствор получается пересыщенным. В этом состоянии, т.е. в состоянии закалки, дюралюминий очень мягок и пластичен.

Структура закаленного дюралюминия имеет малую стабильность и даже при комнатной температуре в ней самопроизвольно происходят изменения. Эти изменения сводятся к тому, что атомы избыточной меди группируются в растворе, располагаясь в порядке, близком к характерному для кристаллов химического соединения CuAl .

Химическое соединение еще не образуется и тем более не отделяется от твердого раствора, но за счет неравномерности распределения атомов в кристаллической решетке твердого раствора в ней возникают искажения, которые приводят к значительному повышению твердости и прочности с одновременным снижением пластичности сплава. Процесс изменения структуры закаленного сплава при комнатной температуре носит название **естественного старения**.



Естественное старение особенно интенсивно происходит в течение первых нескольких часов, полностью же завершается, придавая сплаву максимальную для него прочность, через 4-6 суток. Если же сплав подогреть до 100-150 С, то произойдет **искусственное старение**. В этом случае процесс совершается быстро, но упрочнение происходит меньшее. Объясняется это тем, что при более высокой температуре диффузионные перемещения атомов меди осуществляются более легко, поэтому происходит завершённое образование фазы CuAl и выделение ее из твердого раствора. Упрочняющее же действие полученной фазы оказывается меньшим, чем действие искаженности решетки твердого раствора, возникающей при естественном старении.

Сравнение результатов старения дюралюминия при различной температуре показывает, что максимальное упрочнение обеспечивается при естественном старении в течение четырех дней.

Сплавы алюминия с марганцем и магнием

Среди неупрочняемых алюминиевых сплавов наибольшее значение приобрели сплавы на основе Al-Mn и Al-Mg.

Марганец и магний, так же как и медь, имеют ограниченную растворимость в алюминии, уменьшающуюся при снижении температуры. Однако эффект упрочнения при их термообработке невелик. Объясняется это следующим образом. В процессе кристаллизации при изготовлении сплавов, содержащих до 1,9% Mn, выделяющийся из твердого раствора избыточный марганец должен был бы образовать с алюминием растворимое в нем химическое соединение Al (MnFe), которое в алюминии не растворяется. Следовательно, последующий нагрев выше линии предельной растворимости не обеспечивает образование гомогенного твердого раствора, сплав остается гетерогенным, состоящим из твердого раствора и частиц Al (MnFe), а это приводит к невозможности закалки и последующего старения.

В случае системы Al-Mg причина отсутствия упрочнения при термической обработке иная. При содержании магния до 1,4% упрочнения быть не может, так как в этих пределах он растворяется в алюминии при комнатной температуре и никакого выделения избыточных фаз не происходит. При большем же содержании магния закалка с последующим химическим старением приводит к выделению избыточной фазы — химического соединения Mg Al.

Однако свойства этого соединения таковы, что процессы, предшествующие его выделению, а затем и образующиеся включения не вызывают заметного эффекта упрочнения. Несмотря на это, введение и марганца, и магния в алюминий полезно. Они повышают его прочность и коррозионную стойкость (при содержании магния не более 3%). Кроме того, сплавы с магнием более легкие, чем чистый алюминий.

Другие легирующие элементы

Также для улучшения некоторых характеристик алюминия в качестве легирующих элементов используются:

Бериллий добавляется для уменьшения окисления при повышенных температурах. Небольшие добавки бериллия (0,01-0,05%) применяют в алюминиевых литейных сплавах для улучшения текучести в производстве деталей двигателей внутреннего сгорания (поршней и головок цилиндров).

Бор вводят для повышения электропроводимости и как рафинирующую добавку. Бор вводится в алюминиевые сплавы, используемые в атомной энергетике (кроме деталей реакторов), т.к. он поглощает нейтроны, препятствуя распространению радиации. Бор вводится в среднем в количестве 0,095-0,1%.

Висмут. Металлы с низкой температурой плавления, такие как висмут, свинец, олово, кадмий вводят в алюминиевые сплавы для улучшения обрабатываемости резанием. Эти элементы образуют мягкие легкоплавкие фазы, которые способствуют ломкости стружки и смазыванию резца.

Галлий добавляется в количестве 0,01 — 0,1% в сплавы, из которых далее изготавливаются расходные аноды.

Железо. В малых количествах (>0,04%) вводится при производстве проводов для увеличения прочности и улучшает характеристики ползучести. Так же железо уменьшает прилипание к стенкам форм при литье в кокиль.

Индий. Добавка 0,05 — 0,2% упрочняют сплавы алюминия при старении, особенно при низком содержании меди. Индиевые добавки используются в алюминий-кадмиевых подшипниковых сплавах.

Кадмий. Примерно 0,3% кадмия вводят для повышения прочности и улучшения коррозионных свойств сплавов.

Кальций придает пластичность. При содержании кальция 5% сплав обладает эффектом сверхпластичности.

Кремний является наиболее используемой добавкой в литейных сплавах. В количестве 0,5-4% уменьшает склонность к трещинообразованию. Сочетание кремния с магнием делают возможным термоуплотнение сплава.

Олово улучшает обработку резанием.

Титан. Основная задача титана в сплавах — измельчение зерна в отливках и слитках, что очень повышает прочность и равномерность свойств во всем объеме.

Применение алюминиевых сплавов

Большинство алюминиевых сплавов имеют высокую коррозионную стойкость в естественной атмосфере, морской воде, растворах многих солей и химикатов и в большинстве пищевых продуктов. Последнее свойство в сочетании с тем, что алюминий не разрушает витамины, позволяет широко использовать его в **производстве посуды**. Конструкции из алюминиевых сплавов часто используют в морской воде. Алюминий в большом объеме используется в строительстве в виде **облицовочных панелей, дверей, оконных рам, электрических кабелей**. Алюминиевые сплавы не подвержены сильной коррозии в течение длительного времени при контакте с бетоном, строительным раствором, штукатуркой, особенно если конструкции не подвергаются частому намоканию. Алюминий также широко применяется в **машиностроении**, т.к. обладает хорошими физическими качествами.

Но главная отрасль, в настоящее время просто не мыслимая без использования алюминия — это, конечно, **авиация**. Именно в авиации наиболее полно нашли применение всем важным характеристикам алюминия

Титановые сплавы, титан.

Титановые сплавы, сплавы на основе титана. Лёгкость, высокая прочность в интервале температур от криогенных (-250 С) до умеренно высоких (300-600 С) и отличная коррозионная стойкость обеспечивают **титановым сплавам** хорошие перспективы применения в качестве конструкционных материалов во многих областях, в частности в авиации и др. отраслях транспортного машиностроения.

Титановые сплавы получают путём легирования титана следующими элементами (числа в скобках — максимальная для промышленных сплавов концентрация легирующей добавки в % по массе): **Al (8), V (16), Mo (30), Mn (8), Sn (13), Zr (10), Cr (10), Cu (3), Fe (5), W (5), Ni (32), Si (0,5)**; реже применяется легирование **Nb (2)** и **Ta (5)**. Как микродобавки применяются **Pd (0,2)** для повышения коррозионной стойкости и **B (0,01)** для измельчения зерна. Легирующие добавки имеют различную растворимость в α и β -Ti и изменяют температуру α/β -превращения. Алюминий, а также кислород и азот, предпочтительнее растворяющиеся в α -Ti, повышают эту температуру по мере увеличения их концентрации, что ведёт к расширению области существования α -модификации; такие элементы называются α -стабилизаторами. Sn и Zr хорошо растворяются в обеих аллотропических модификациях титана и очень мало влияют на температуру α/β -превращения; они относятся к так называемым нейтральным упрочнителям. Все остальные добавки к промышленным титановым сплавам предпочтительнее растворяются в β -Ti, являются β -стабилизаторами и снижают температуру полиморфного превращения титана. Их растворимость в α и β -модификациях титана меняется с температурой, что позволяет упрочнять сплавы, содержащие эти элементы, путём закалки и старения.

В нелегированном титане, а также в сплавах титана с α -стабилизаторами и нейтральными упрочнителями нельзя зафиксировать высокотемпературную β -модификацию путём закалки ввиду наличия мартенситного превращения, в результате которого образуется вторичная α -фаза игольчатой формы. В сплавах же с β -стабилизаторами можно, в зависимости от концентрации, зафиксировать любое количество β -фазы вплоть до 100%. На сплошную β -структуру могут закаливаться двойные сплавы, содержащие не менее 4% Fe, 7% Mn, 7% Cr, 10% Mo, 14% V, 35% Nb, 50% Ta; эти концентрации называются критическими. В закалённых сплавах докритического и критического составов (β -фаза является нестабильной и при последующей низкотемпературной обработке (старении) распадается с образованием дисперсных выделений вторичной α -фазы, что даёт эффект упрочнения. В сплавах закритического состава (например, Ti — 30% Mo) образуется стабильная β -фаза и эффекта упрочнения не наблюдается.

Общепринято деление промышленных титановых сплавов на 3 группы по типу структуры. К сплавам на основе α -структуры относятся сплавы с Al, Sn и Zr, а также с небольшим количеством β -стабилизаторов (0,5-2%). Ввиду незначительного количества или даже отсутствия в их структуре β -фазы они практически не упрочняются термической обработкой и поэтому относятся к категории сплавов средней прочности ($\sigma_b = 700-950$ Мн/м²; или 70-95 кгс/мм²). Листовая штамповка этих титановых сплавов возможна только в горячую. Достоинства α -сплавов — отличная свариваемость, высокий предел ползучести и отсутствие необходимости в термической обработке, а также отличные литейные свойства, что важно для фасонного литья. Малолегированные α -сплавы, а также относимый к этой группе технический титан, имеющие предел прочности менее 700 Мн/м² (70 кгс/мм²), поддаются листовой штамповке в холодную. Двухфазные $\alpha + \beta$ -сплавы — наиболее многочисленная группа промышленных титановых сплавов. Эти сплавы отличаются более высокой технологической пластичностью, чем α -сплавы, и вместе с тем могут быть термически обработаны до очень высокой прочности ($\sigma_b = 1500-1800$ Мн/м², или 150-180 кгс/мм²); они могут обладать высокой жаропрочностью. К недостаткам двухфазных сплавов следует отнести несколько худшую свариваемость по сравнению со сплавами предыдущей группы, так как в зоне термического влияния возможно появление хрупких участков и образование трещин, для предотвращения чего требуется специальная термическая обработка после сварки. Сплавы на основе β -структуры имеют наиболее высокую технологическую пластичность и хорошо поддаются листовой штамповке в холодную; после старения приобретают высокую прочность; хорошо свариваются, но сварные соединения нельзя подвергать упрочняющей термической обработке из-за охрупчивания, что ограничивает применение сплавов этого типа. Другим недостатком (β -сплавов является сравнительно невысокая предельная рабочая температура — примерно 300 С; при более высоких температурах большинство сплавов этого типа становится хрупким.



Титан - металл серебристого оттенка

Обозначения марок сплавов построено по следующему принципу:

1 группа - сплавы содержащие карбид вольфрама и кобальт. Обозначаются буквами ВК, после которых цифрами указывается процентное содержание в сплаве кобальта. К этой группе относятся следующие марки:

ВК3, ВК3М, ВК6, ВК6М, ВК60М, ВК6КС, ВК6В, ВК8, ВК8ВК, ВК8В, ВК10КС, ВК15, ВК20, ВК20КС, ВК10ХОМ, ВК4В.

2 группа - титановольфрамовые сплавы, имеющие в своем составе карбид титана, карбид вольфрама и кобальт. Обозначается буквами ТК, при этом цифра, стоящая после букв Т обозначает % содержание карбидов титана, а после буквы К - содержание кобальта. К этой группе относятся следующие марки: Т5К10, Т14К8, Т15К6, Т3ОК4.

3 группа — титанотанталовольфрамовые сплавы, имеющие в своем составе карбид титана, тантала и вольфрама, а также кобальт и обозначаются буквами ТТК, при этом цифра, стоящая после ТТ % содержание карбидов титана и тантала, а после буквы К - содержание кобальта. К этой группе относятся следующие марки: ТТ7К12, ТТ20К9.

4 группа — сплавы с износостойкими покрытиями. Имеют буквенное обозначение ВП. К этой группе относятся следующие марки: ВП3115 (основа ВК6), ВП3325 (основа ВК8), ВП1255 (основа ТТ7К12).

Твердые сплавы применяемые для обработки металлов резанием: **ВК6, ВК3М, ВК6М, ВК60М, ВК8, ВК10ХОМ, Т3ОК4, Т15К6, Т14К8, Т5К10, ТТ7К12, ТТ20К9.**

Твердые сплавы применяемые для бесстружковой обработки металлов и древесины, быстроизнашивающихся деталей машин, приборов и приспособлений: **ВК3, ВК3М, ВК6, ВК6М, ВК8, ВК15, ВК20, ВК10КС, ВК20КС.**

Твердые сплавы применяемые для оснащения горного инструмента: **ВК6В, ВК4В, ВК8ВК, ВК8, ВК10КС, ВК8В, ВК11ВК, ВК15.**

В России и бывшем СССР для обработки металлов резанием применяются следующие спеченные твердые сплавы

Российские спечённые твёрдые сплавы, применяемые в современной мировой промышленности:

марка сплава	WC %	TiC %	TaC %	Co %	Прочность на изгиб (σ), Мпа	Твёрдость, HRA	Плотность (ρ), г/см ³	Теплопроводность (λ), Вт/(м·°C)	Модуль Юнга (E), ГПа
ВК2	100	—	—	100	1200	100	100	100	645
ВК3	100	—	—	100	1200	100	100	100	643
ВК3-М	100	—	—	100	1550	100	100	100	638
ВК4	100	—	—	100	1500	100	100	100	637,5
ВК4-В	100	—	—	100	1550	100	100	100	628
ВК6	100	—	—	100	1550	100	100	100	633
ВК6-М	100	—	—	100	1450	100	100	100	632
ВК6-ОМ	100	—	100	100	1300	100	100	100	632
ВК8	100	—	—	100	1700	100	14,8	100	598
ВК8-В	100	—	—	100	1750	100	100	100	598,5
ВК10	100	—	—	100	1800	100	14,6	67	574
ВК10-ОМ	90	—	—	10	1500	88,5	14,6	70	574
ВК15	85	—	—	15	1900	86	14,1	74	559

марка сплава	WC %	TiC %	TaC %	Co %	Прочность на изгиб (σ), Мпа	Твёрдость, HRA	Плотность (ρ), г/см ³	Теплопроводность (λ), Вт/(м·°C)	Модуль Юнга (E), ГПа
T5K10	85	6	—	9	1450	88,5	13,1	20,9	549
T5K12	83	5	—	12	1700	87	13,5	21	549,3
T14K8	78	14	—	8	1300	89,5	11,6	16,7	520
T15K6	79	15	—	6	1200	90	11,5	12,6	522
T30K4	66	30	—	4	1000	92	9,8	12,57	422
TT10K8-Б	82	3	7	8	1650	89	13,8		
TT20K9	67	9,4	14,1	9,5	1500	91	12,5		
ТН-20	—	79 (Ni15%) (Mo6%)			1000	89,5	5,8		
ТН-30	—	69 (Ni23%) (Mo29%)			1100	88,5	6		
ТН-50	—	61 (Ni29%) (Mo10%)			1150	87	6,2		

Ферросплавы

Ферросплавы - сплавы железа с кремнием, марганцем, хромом (Cr, Si, Mn, Ti) и другими элементами, используемые при выплавке стали (для раскисления и легирования жидкого металла, связывания вредных примесей, придания металлу требуемой структуры и свойств), а также при получении других Ферросплавов (т. н. переделные Ферросплавы). К Ферросплавам условно относят некоторые сплавы, содержащие железо лишь в виде примесей (например, силикомарганец, силикокальций) и, кроме того, некоторые металлы и неметаллы в технически чистом виде (металлический марганец, металлический хром, кристаллический кремний). Стандартное содержание компонентов в Ферросплавах обусловлено химическим составом сырья, условиями выплавки Ферросплавов и введения их в жидкую сталь. Широкое применение ферросплавов в металлургии обусловлено их физическими и химическим свойствами - температура плавления ферросплавов ниже температуры плавления чистого металла, что способствует его растворению и приводит к уменьшению расхода элемента. Таким образом, восстановление окислов ведущего элемента ферросплава происходит при более низкой температуре, быстрее, полнее и с меньшими энергетическими затратами.

Марка	Базовое содержание ведущего элемента, %	Марка	Базовое содержание ведущего элемента, %	Марка	Базовое содержание ведущего элемента, %
ФС 45 45 (Si)		ФВ 70-72	72 (W)	ФТн 35С5	20 (Ti)
ФС 65 65 (Si)		ФВ 65 72 (W)		ФТн 35С8	20 (Ti)
ФС 75 75 (Si)				ФТн 70	70 (Ti)

Феррохром, ГОСТ 4757-91

Марка	Базовое содержание ведущего элемента, %
ФХ 001-003	60 (Cr)
ФХ 005	60 (Cr)
ФХ 006	60 (Cr)
ФХ 010	60 (Cr)
ФХ 015	60 (Cr)
ФХ 025	60 (Cr)
ФХ 050-100	60 (Cr)
ФХ 850	60 (Cr)

Ферромарганец, ГОСТ 4755-91

Марка	Базовое содержание ведущего элемента, %
ФМн 70	
ФМн 78	76 (Mn)
ФМн 88	80 (Mn)

Ферромolibден, ГОСТ 4759-91

Марка	Базовое содержание ведущего элемента, %
ФМо 58-60	60 (Mo)

Никелевые сплавы

Никелевые сплавы, сплавы на основе никеля. Способность никеля растворять в себе значительное количество др. металлов и сохранять при этом пластичность привела к созданию большого числа Н. с. Полезные свойства Н. с. в определенной степени обусловлены свойствами самого никеля, среди которых наряду со способностью образовывать твёрдые растворы со многими металлами выделяются ферромагнетизм, высокая коррозионная стойкость в газовых и жидких средах, отсутствие аллотропических превращений.

Важную роль в технике играют ферромагнитные сплавы Ni (40-85%) с Fe, относящиеся к классу магнитно-мягких материалов. Среди этих материалов имеются сплавы, характеризующиеся наивысшим значением магнитной проницаемости (см. Пермаллой), её постоянством (см. Перминвар), сочетанием высокой намагниченности насыщения и магнитной проницаемости (см. Перменорм). Такие сплавы применяют во многих областях техники, где требуется высокая чувствительность рабочих элементов к изменению магнитного поля.

Сплавы с 45-55% Ni, легированные в небольших количествах Cu или Co, обладают коэффициентом линейного термического расширения, близким к коэффициенту линейного термического расширения стекла, что используется в тех случаях, когда необходимо иметь герметичный контакт между стеклом и металлом (см. также Ковар).

Сплавы Ni с Co (4 или 18%) относятся к группе магнитоотрицательных материалов. Благодаря хорошей коррозионной стойкости в речной и морской воде такие сплавы являются ценным материалом для гидроакустической аппаратуры.

В начале 20 в. стало известно, что жаростойкость Ni на воздухе, достаточно высокая сама по себе, может быть улучшена путём введения Al, Si или Cr. Из сплавов такого типа важное практическое значение благодаря хорошему сочетанию термоэлектрических свойств и жаростойкости сохраняют сплав никеля с Al, Si и Mn (алюмель) и сплав Ni с 10% Cr (хромель). Хромель-алюмелевые термопары относятся к числу наиболее распространенных термопар, применяемых в промышленности и лабораторной технике. Находят практическое использование также термопары из хромеля и копеля.

Важное применение в технике получили жаростойкие сплавы Ni с Cr - нихромы. Наибольшее распространение получили нихромы с 80% Ni, которые до появления хромалей были самыми жаростойкими промышленными материалами. Попытки удешевить нихромы уменьшением содержания в них Ni привели к созданию т. н. ферронихромов, в которых значительная часть Ni замещена Fe. Наиболее распространённой оказалась композиция из 60% Ni, 15% Cr и 25% Fe. Эксплуатационная стойкость большинства нихромов выше, чем ферронихромов, поэтому последние используются, как правило, при более низкой температуре. Нихромы и ферронихромы обладают редким сочетанием высокой жаростойкости и высокого электрического сопротивления (1,05-1,40 мком·м). Поэтому они вместе с хромалей представляют собой два наиболее важных класса сплавов, используемых в виде проволоки и ленты для изготовления высокотемпературных электрических нагревателей. Для электронагревателей в большинстве случаев производят нихромы, легированные кремнием (до 1,5%) в сочетании с микродобавками редкоземельных, щёлочноземельных или др. металлов. Предельная рабочая температура нихромов этого типа составляет, как правило, 1200 °С, у ряда марок 1250 °С.

Н. с., содержащие 15-30% Cr, легированные Al (до 4%), более жаростойки, чем сплавы, легированные Si. Однако из них труднее получить однородную по составу проволоку или ленту, что необходимо для надёжной работы электронагревателей. Поэтому такие Н. с. используются в основном для изготовления жаростойких деталей, не подверженных большим механическим нагрузкам при температурах до 1250 °С.

Во время 2-й мировой войны 1939-45 в Великобритании было начато производство жаропрочных сплавов Ni - Cr - Ti - Al, называемых нимониками. Эти сплавы, возникшие как результат легирования нихрома (типа Х20Н80) титаном (2,5%) и алюминием (1,2%), имеют заметное преимущество по жаропрочности перед нихромами и специальными легированными сталями. В отличие от ранее применявшихся жаропрочных сталей, работоспособных до 750-800 °С, нимоники оказались пригодными для эксплуатации при более высоких температурах. Появление их послужило мощным толчком для развития авиационных газотурбинных двигателей. За сравнительно короткий срок было создано большое число сложнолегированных сплавов типа нимоник (с Ti, Al, Nb, Ta, Co, Mo, W, V, Zr, Ce, La, Hf) с рабочей температурой 850-1000 °С. Усложнение легирования ухудшает способность сплавов к горячей обработке давлением. Поэтому наряду с деформируемыми сплавами широкое распространение получили литейные сплавы, которые могут быть более легированными, а следовательно, и более жаропрочными (до 1050 °С). Однако для литых сплавов характерны менее однородная структура и, как следствие этого, несколько больший разброс свойств. Опробованы способы создания жаропрочных композиционных материалов введением в никель или Ni с тугоплавких окислов тория, алюминия, циркония и др. соединений. Наибольшее применение получил Ni с высокодисперсными окислами тория (ТД-никель).

Важную роль в технике играют легированные сплавы Ni - Cr, Ni - Mo и Ni - Mn, обладающие ценным сочетанием электрических свойств: высоким удельным электрическим сопротивлением ($r = 1,3-2,0$ мком-м), малым значением температурного коэффициента электрического сопротивления (порядка 10^{-5} 1/°С), малым значением термоэдс в паре с медью (менее 5 мв/°С). По величине температурного коэффициента электрического сопротивления эти сплавы уступают манганину в интервале комнатных температур, однако, имеют в 3-4 раза большее удельное электрическое сопротивление. Главная область применения таких сплавов - малогабаритные резистивные элементы, от которых требуется постоянство электрических свойств в процессе службы. Элементы изготавливаются, как правило, из микропровода или тонкой ленты толщиной 5-20 мкм. Сплавы на основе Ni - Mo и Ni - Cr применяют также для изготовления малогабаритных тензорезисторов, характеризующихся почти линейной зависимостью изменения электрического сопротивления от величины упругой деформации.

Для химической аппаратуры, работающей в высокоагрессивных средах, например в соляной, серной и фосфорной кислотах различной концентрации при температурах, близких к температуре кипения, широко используются сплавы Ni - Mo или Ni - Cr - Mo, известные за рубежом под названием хастеллой, реманит и др., а в СССР - сплавы марок Н70М28, Н70М28Ф, Х15Н55М16В, Х15Н65М16В. Эти сплавы превосходят по коррозионной стойкости в подобных средах все известные коррозионностойкие стали.

В практике применяют ещё целый ряд Ni с (с Cr, Mo, Fe и др. элементами), обладающих благоприятным сочетанием механических и физико-химических свойств, например коррозионностойкие сплавы для пружин, твёрдые сплавы для штампов и др. Помимо собственно Ni с., никель входит как один из компонентов в состав многих сплавов на основе др. металлов (например, AlNi сплавы).



Отображение эвтектической микроструктуры никелево-хромового сплава под сканирующим электронным микроскопом, полученное методом обратного рассеянного отображения

Медные сплавы

Для деталей машин используют сплавы меди с цинком, оловом, алюминием, кремнием и др. (а не чистую медь) из-за их большей прочности: 30-40 кгс/мм² у сплавов и 25-29 кгс/мм² у технически чистой меди. Медные сплавы (кроме бериллиевой бронзы и некоторых алюминиевых бронз) не принимают термической обработки, и их механические свойства и износостойкость определяются химическим составом и его влиянием на структуру. Модуль упругости медных сплавов (900-12000 кгс/мм² ниже, чем у стали). Основное преимущество медных сплавов - низкий коэффициент трения (что делает особенно рациональным применением их в парах скольжения), сочетающийся для многих сплавов с высокой пластичностью и хорошей стойкостью против коррозии в ряде агрессивных сред и хорошей электропроводностью.

Величина коэффициента трения практически одинакова у всех медных сплавов, тогда как механические свойства и износостойкость, а также поведение в условиях коррозии зависят от состава сплавов, а следовательно, от структуры. Прочность выше у двухфазных сплавов, а пластичность у однофазных.

Марки медных сплавов. Марки обозначаются следующим образом. Первые буквы в марке означают: Л - латунь и Бр - бронза. Буквы, следующие за буквой Л в латуни или Бр. В бронзе, означают: А - алюминий, Б - бериллий, Ж - железо, К - кремний, Мц - марганец, Н - никель, О - олово, С - свинец, Ц - цинк, Ф. - фосфор. Цифры, помещенные после буквы, указывают среднее процентное содержание элементов. Порядок расположения цифр, принятый для латуней, отличается от порядка, принятого для бронз. В марках латуни первые две цифры (после буквы) указывают содержание основного компонента - меди. Остальные цифры, отделяемые друг от друга через тире, указывают среднее содержание легирующих элементов. Эти цифры расположены в том же порядке, как и буквы, указывающие присутствие в сплаве того или иного элемента. Таким образом содержание цинка в наименовании марки латуни не указывается и определяется по разности. Например, Л68 означает латунь с 68% Cu (в среднем) и не имеющую других легирующих элементов, кроме цинка; его содержание составляет (по разности) 32%. ЛАЖ 60-1-1 означает латунь с 60% Cu, легированную алюминием (А) в количестве 1%, с железом (Ж) в количестве 3% и марганцем (Мц) в количестве 1%. Содержание цинка (в среднем) определяется вычетом из 100% суммы процентов содержания меди, алюминия, железа и марганца. В марках бронзы (как и в сталях) содержание основного компонента - меди - не указывается, а определяется по разности. Цифры после букв, отделяемые друг от друга через тире, указывают среднее содержание легирующих элементов; цифры расположенные в том же порядке, как и буквы, указывающие на легирование бронзы тем или иным компонентом.

Кобальтовые сплавы

- В кобальтовых сплавах не происходит настоящего выделения, а наблюдается процесс, аналогичный эвтектоидному распаду углеродистой стали. Закаленная с высокой температуры (1300°) кубическая гранецентрированная γ -фаза приблизительно при 900° медленно переходит в характеризующуюся мартенситной структурой гексагональную решетку, свойственную кобальту. Однако, максимальный эффект упрочнения в сплавах с содержанием больше 2% W или больше 10% Mo наступает быстрее, а именно в течение получаса при 800-900°.
- Большое значение для техники имеют сплавы кобальта вольфрама и хрома, так как они представляют ценный материал для изготовления режущих инструментов. Режущая способность стеллитов основывается главным образом на содержащемся в них углероде, который присутствует в сплаве в форме твердых хромо-кобальтовых карбидов. Ввиду большой твердости и трудности обработки стеллиты употребляются только в литом виде. Система кобальт - хром, сходная с системами кобальт - вольфрам и кобальт - молибден, обнаруживает, однако, небольшие различия в отношении растворимости. Несмотря на это, упрочнение кобальтовольфрамовых сплавов по Кестеру настолько увеличивается вследствие присадки хрома, что сплав, содержащий приблизительно 30% W и 10% Cr, путем кратковременного отпуска при 800-900° может быть упрочнен до твердости около 600 кг/мм² против твердости 300 кг/мм² непосредственно после закалки (1300°). Сплавы с составом, близким к вышеописанному, обладают особенно хорошей устойчивостью режущих свойств при высоких температурах, так как они смягчаются лишь при нагреве выше 800°. Температура смягчения быстрорежущей стали лежит около 600°.
- Кобальт ведет себя по отношению к присадке бериллия подобно никелю. однако чистый кобальт вследствие превращения его решетки в гексагональную сравнительно тверд при низкой температуре и может обрабатываться только горячим способом. Стабильная при сравнительно высоких температурах и более пластичная кубическая модификация становится вследствие присадки железа устойчивой и при низких температурах. Прочие присадки в виде хрома, вольфрама, молибдена и железа могут повысить способность кобальтовых сплавов к улучшению. Хорошо обрабатывающиеся и сильно упрочняющиеся после холодной деформации сплавы получают при высоком содержании железа. Сплав кобальта, хрома и железа с 1% Be, упрочняясь, повышает свою твердость с 200 до 700 кг/мм².