**Лекция 13.11.18**

**Тема: Материалы с особыми тепловыми свойствами**

Для ряда отраслей машиностроения и приборостроения необходимо применение материалов со строго регламентированными значениями в определенных температурных интервалах эксплуатации такого физического свойства, как температурный коэффициент линейного расширения α (ТКЛР). Этот коэффициент определяет характер изменения размеров детали при нагреве. ТКЛР сплава определяют с помощью дилатометра по относительному удлинению образца в заданном температурном диапазоне.

Согласно правилу Курнакова, в том случае, если компоненты образуют твердый раствор, то ТКЛР сплава изменяется по криволинейной зависимости внутри пределов, ограниченных значениями ТКЛР чистых компонентов. Коэффициент линейного расширения α металлов и сплавов возрастает с повышением температуры (рис. 1).

Однако сплавы Fe — Ni не подчиняются общим закономерностям. В области концентраций от 30 до 45 % никеля для них характерны аномалии, связанные с т. н. инварным эффектом (от слова **инвар**  - лат. *неизменный*) (рис. 2). Самое низкое значение ТКЛР в диапазоне температур от — 100 до +1000С имеет сплав, содержащий 36 % Ni. Этот сплав был открыт Гийомом в 1897 г. и назван **инваром** из-за минимальных значений теплового расширения (другое его название сплав 36Н).



Рисунок 1 - Кривая расширения сплавов при повышении температуры



Рисунок 2 - Температурный коэффициент линейного расширения сплавов Fe - Ni

Благодаря высокому уровню механических свойств и технологичности инвар используется в качестве конструкционного материала для деталей, от которых требуется постоянство размеров при меняющихся температурных условиях эксплуатации. Из инвара изготавливают жесткозакрепленные трубопроводы сложной пространственной формы, перекачивающие сжиженные газы в криогенных установках. Малая величина ТКЛР позволяет уменьшить напряжения в трубопроводах и предотвратить возможность их разрушения. Отпадает необходимость установки сильфонных узлов для компенсации деформации, что упрощает конструкцию и делает ее более надежной.

Для обеспечения минимально возможного ТКЛР и наибольшей стабильности размеров содержание углерода в сплавах инварного состава не должно превышать 0,05%. Более высокое содержание углерода приводит к изменению параметров кристаллической решетки и магнитострикции пара-процесса. Для спаев со стеклом повышенное содержание углерода приводит к выделению СО2 в процессе впаивания и образованию газовых пузырей в стекле.

ТКЛР сплавов зависит от предварительной обработки. Минимальное значение коэффициента α инвара достигается после закалки от 8300С, в результате которой примеси переходят в твердый раствор, и отпуска при 3150С. Холодная деформация также способствует снижению ТКЛР. В результате комбинации обеих обработок он приближается к нулю.

Замена части никеля равным количеством кобальта (**ковар - 29НК**) и легирование малыми добавками меди (**платинит - 47НД**) позволяет дополнительно снизить ТКЛР инвара. Сплав  32Ni - 4Co - 0,7Cu (32НКД) называют **суперинваром**.

В электровакуумных газоразрядных и полупроводниковых приборах широко используют спаи металлов с такими диэлектриками, как стекло и керамика. Для обеспечения герметичности и вакуумной плотности спаев необходимо соответствие ТКЛР материалов соединяемой пары в эксплуатационном интервале температур. Во избежание напряжений и трещин значение ТКЛР сплава должно быть максимально приближено к ТКЛР диэлектрика и строго регламентировано. Состав сплавов для пайки и сварки со стеклом подбирают таким образом, чтобы ТКЛР стекла и металла были близки во всем интервале температур вплоть до размягчения стекла. **Ковар** применяют для соединения с термостойкими стеклами, а **платинит** — с обычными легкоплавкими стеклами, применяемыми в электровакуумной промышленности.

Стали с определенным тепловым расширением служат также для изготовления термобиметаллов, когда слой с низким тепловым расширением ("пассивный слой") путем прокатки надежно соединяют с другим слоем, обладающим более высоким тепловым расширением ("активный слой"). Биметаллические пластины используют в качестве терморегулятора в приборостроении. Нагрев такой пластинки приводит к ее искривлению, позволяющему замкнуть электрическую цепь.

Основным свойством термобиметаллов является термочувствительность, т.е. способность изгибаться при изменении температуры. В качестве пассивной составляющей обычно применяют инвар 36Н с ТКЛР = 1,5 10-6/К, а в качестве активной — Fe — Ni сплавы с ТКЛР около 20 10-6/К, содержащие 8 — 27 % Ni, дополнительно легированные Cr, Mn, Мо.

**Лекция 14.11.18**

**Тема: Материалы с особыми электрическими свойствами**

Электротехнические сплавы делят на *проводниковые*, у которых сопротивление прохождению электрического тока должно быть минимальным, и *сплавы электросопротивления* с повышенным электросопротивлением. Первые применяют для передачи электроэнергии на расстоянии, вторые — для преобразования электроэнергии в тепло.

В качестве ***проводниковых*** материалов применяют чистые металлы: **медь, алюминий**, реже — **серебро, железо**, но не сплавы, так как легирование (и наклеп) создает искажение в решетке и, в соответствии с законом Курнакова, повышает электросопротивление. Особую группу проводниковых материалов составляют **сверхпроводники**.

Для элементов ***электросопротивления*** требуется низкая электропроводность или высокое электросопротивление и в данном случае применяют не чистые металлы, а сплавы. Эти сплавы используются для нагревательных элементов различных электрических приборов и электрических печей (*сплавы высокого электросопротивления*) и для изготовления реостатов (так называемые *реостатные сплавы*).

Согласно правилу Курнакова если два компонента образуют механическую смесь, то электросопротивление изменяется с изменением концентрации по аддитивному закону. При образовании твердых растворов электросопротивление меняется по криволинейному закону. При этом электросопротивление сплава значительно выше электросопротивления чистых компонентов. Отсюда следует, что надо применять, сплавы из металлов, образующих твердые растворы; обычно эти сплавы являются твердыми растворами высокой концентрации.

К *сплавам высокого электросопротивления*, использующимся в качестве материала  нагревательных элементов предъявляются следующие требования:

1. Сплав должен обладать большим удельным электросопротивлением.

2. Сплав должен обладать высокой окалиностойкостью. Окалиностойкость сплава определяет срок службы нагревательного элемента.

Для нагревателей применяют ферритные стали, легированные Cr и Al (хромали), а также сплавы на основе хрома и никеля, например нихром Х20Н80, содержащий около 20 % Cr и 80 % Ni. Его допустимая рабочая температура составляет не менее 11500С.

Хромали, содержащие невысокий процент хрома и алюминия и обладающие жаростойкостью примерно до 11000С, изготавливают в виде проволоки, сплавы с высоким содержанием хрома и алюминия с жаростойкостью до 1250 — 13500С непластичны, из них изготавливают литые элементы сопротивления.

Молибденовые нагреватели, хотя и имеют более высокую температуру эксплуатации (до 15000С), но из-за низкой жаростойкости могут работать только в вакууме и в среде инертных газов.

*Реостатные сплавы -*не нагреваются в реостатах до высокой температуры, поэтому не обязательно должны быть жаростойкими. В то же времядолжны обладать возможно малым температурным коэффициентом электросопротивления ρ = ρ0 (1 + α t) (т. е. чтобы электросопротивление мало изменялось при изменении температуры), поскольку точное регулирование силы тока реостатом затруднено, если электросопротивление сплава сильно изменяется с изменением температур.

Для реостатных сплавов применяют медные сплавы — **никелин, константин, манганин**, являющиеся сплавами меди с никелем, цинком и марганцем.

Медь и никель неограниченно растворимы в твердом состоянии. Медноникелевыс сплавы с 40 — 50% Ni обладают максимальным для этих сплавов злектросопротивлением почти при нулевом значении температурного коэффициента электросопротивления (т. е. электросопротивление у этих сплавов практически не изменяется с температурой, рис. 1). Действительно, наиболее распространенные реостатные сплавы с 40 — 50 % Ni (константан МНМц40-1,5, копель МНМц45-0,5) имеют максимальное электросопротивление, которое почти не меняется с температурой. Их максимальная рабочая температура во избежание окалинообразования не должна быть выше 5000С.



Рисунок 1 - Электрические свойства сплавов Cu — Ni: 1 — температурный коэффициент электросопротивления; 2 — электросопротивление

Примесями (загрязнениями) в этих сплавах являются железо, кремний, свинец, сера, углерод, фосфор, мышьяк, предельное содержание которых строго ограничивается ГОСТом.

**Лекция 16.11.18**

**Тема: Материалы для режущих и измерительных инструментов**

К материалам для измерительных инструментов предъявляются дополнительные по сравнению с материалами для режущих инструментов требования. Основный из них: малый температурный коэффициент линейного расширения, хорошие закаливаемость с минимальными деформациями и обрабатываемость с низкой шероховатостью поверхностей, способность в термически обработанном виде сохранять стабильными размеры, а также быть коррозионно-стойкими.

Универсальные измерительные инструменты, широко используемые в обработке металлов резанием и давлением, можно разделить в зависимости от назначения и точности измерения на штриховые, штангенинструменты, микрометрические инструменты, калибры, плитки и др.

Штриховые инструменты — это обычные металлические линейки и рулетки разной длины с нанесенными на них делениями — штрихами ценой в 1 мм.

Штангенинструмент (штангенциркули) — измерительные инструменты с двумя губками: одной, неподвижно соединенной с масштабной (с делениями) линейкой (штангой), и другой, скользящей вдоль линейки с нониусом. Цена деления этих инструментов 0,1; 0,05 и 0,02 мм. Штангенциркуль с ценой деления 0,1 мм имеет глубиномер.

Микрометрические инструменты (микрометры) предназначены для измерения диаметров валов, отверстий, толщин и глубин с точностью до 0,01 мм.

Калибры служат для отбраковки по размерам деталей типа валов и отверстий в них как гладких, так и резьбовых. Для контроля наружных размеров используют инструмент в виде скоб, внутренних — пробки, резьб кольца. Калибры имеют два размера, между которым находится действительный размер изделия. Один из размеров калибра является проходным (Г1Р), а второй — непроходным (НЕ). Пробки с проходным размером, как правило, делают длиннее пробок с непроходным. Сначала контролируемое изделие пропускают через проходную часть калибра, а затем прикасаются им непроходной части, через которую оно не проходит, слегка застревая.

Плитки — концевые меры длины, используемые для проверки измерительных приборов, инструментов, установки заданных размеров, при особо точных разметочных работах, наладке станков и в других случаях. Они имеют две взаимно-параллельные измерительные плоскости, изготовленные с высокой точностью, минимальной шероховатостью и в виде наборов с разными номинальными размерами. Важнейшее свойство плиток — притираемость одной к другой с достаточной прочностью, что позволяет составлять из плиток блоки нужных размеров.

В зависимости от предъявляемых требований к качеству и, прежде всего, к точности измерительный инструмент изготовляют из сталей инструментальных легированных ХГ, X, ХГС, ХВГ, 9ХВГ (ГОСТ 5950 — 2000), легированных 38ХЮ, 38МЮА и 38ХВФЮ (ГОСТ 1435 — 74), высококачественных углеродистых У8А, У10А, У11А, У12А (ГОСТ 1050 — 88) и низкоуглеродистых сталей 15, 20 (ГОСТ 1050-88).

Так, из сталей ХГ и X делают мерительные инструменты, которые при термической обработке должны мало деформироваться. К таким инструментам относятся гладкие, резьбовые пробки и кольца, установочные калибры, мерительные стержни штихма-сов, угольники, лекальные линейки, плоскопараллельные плитки.

Стали ХГС и ХВГ используют для производства резьбовых калибров, плоскопараллельных плиток, т. е. инструмента, повышенное коробление в котором после закалки недопустимо.

Из стали 9ХВН изготовляют лекала сложной формы, лекальные линейки.

Регулируемые резьбовые кольца, установочные калибры, линейки производят из стали 38ХЮ, 38ХМЮА и 38ХВФЮ (ГОСТ 1435 — 74). Для микровинтов микрометров, штанг штангенциркулей, радиусных шаблонов, подвижных вставок штихмасов и подвижных ножек штангенциркулей и прочего применяют стали У8А, У10А, У11А, У12А.

Для такого инструмента, как листовые скобы одно- и двухсторонние, штампованные, пробки проходные и непроходные, шаблоны, длинные стороны угольников, используют стали 15, 20,

15Х, 20Х, которые после изготовления инструмента подвергают цементации с последующей термической обработкой.

К инструментальным сталям для измерительных инструментов предъявляют особые требования, изложенные в соответствующих стандартах. Каждая плавка таких сталей должна быть проверена на степень загрязнения неметаллическими включениями — оксидами, сульфидами, а также на однородность распределения карбидов — карбидную ликвацию. Кроме того, ограничивается допустимый температурный коэффициент линейного расширения.

Для изготовления особо точного инструмента используют высокочистый металл (по примесям и загрязнениям). Наиболее распространенный метод его получения — электрошлаковый переплав (ЭШП). Процесс осуществляется при атмосферном давлении под слоем шлака, нагретого до температуры 1 700...2ООО°С, в медном кристаллизаторе. Расплавленный металл стекает по электроду через защитный слой шлака в жидкую ванну, в которой он затвердевает по окончании плавки. Методом ЭШП получают слитки массой до 150...200 т, а отсутствие огнеупоров позволяет выбирать и строго регулировать оптимальный для данной марки химический состав. Поверхность слитка, переплавляемого методом ЭШП, получается чистой, покрытой тонким слоем шлака, который легко удаляется.

Кроме указанного, известны и другие способы переплава, например, в процессах вакуумной индукционной плавки (ВИП), вакуумного дугового переплава (ВДП), электронно-лучевого переплава (ЭЛП), плазменно-дуговой плавки (ПДП) и др.

Инструмент штампов для холодной обработки должен иметь высокую поверхностную твердость при достаточной вязкости сердцевины, износостойкость, большое сопротивление изгибу, сжатию, высокую теплопроводность, ударную прочность и т.д.

Штампы для холодной обработки во многом схожи, различие относится только к рабочему инструменту и обрабатываемым деталям. Как правило, всякий штамп включает в себя штамповый блок, пуансоны и матрицы (рабочий инструмент), съемники, выталкиватели и другие детали.

Блок штампа состоит из двух параллельных плит (нижней и верхней), способных перемещаться по направляющим колонкам и втулкам за хвостовик с помощью ползуна пресса. Плиты штампа обычно делают из низкоуглеродистой стали или чугуна. Они могут быть литыми или изготовлены резанием.

Для колонок и втулок, работающих на истирание и воспринимающих значительные напряжения, в том числе и изгибающие, обычно используют сталь 20, которую цементуют, термически обрабатывают, а затем шлифуют и попарно прирабатывают. В этом случае соприкасающиеся поверхности втулок и колонок имеют твердые поверхности, которые после смазывания хорошо работают в условиях изнашивающих нагрузок, а сердцевина этих деталей остается незакаленной, вязкой, способной работать на изгиб и внецентренное сжатие, излом.

Для изготовления прокладок, штифтов, специальных винтов и других вспомогательных деталей используют стали 45 и 40Х. Толкатели, съемники, ловители, подкладки можно изготавливать из углеродистой инструментальной стали У10А. Как правило, указанные детали подвергают термической обработке.

Пуансоны и матрицы штампов малых размеров для штамповки мелких деталей простой формы, производимых вырубкой, пробивкой, вытяжкой, гибкой, отрезкой и высадкой, обычно изготовляют из углеродистой инструментальной стали У10А. Следует помнить, что углеродистые стали после закалки и отпуска изменяют свои размеры и форму из-за коробления и перестройки структуры.

Хорошо работает на истирание, изнашивание и противостоит затуплению рабочий инструмент штампов, предназначенных для штамповки деталей значительных размеров и сложной конфигурации, из легированных сталей Х12М, Х12Ф1 (ГОСТ 5950 — 73).

Наличие аустенита в структуре указанных сталей после термической обработки делает их вязкими и работоспособными в тяжелых эксплуатационных условиях. Для изготовления пуансонов и матриц в ответственных штампах применяют стали 9ХС, ХВГ, ШХ15 и др., которые после ступенчатой закалки приобретают высокую вязкость, так как в этом случае в структуре сохраняется значительный процент остаточного аустенита.

Применение того или иного материала для изготовления пуансонов и матриц определяется свойствами перерабатываемого материала, количеством изготовляемых изделий, требованиями к их качеству, соотношением размеров изделия (толщины и минимальных размеров вырубаемого контура). Иногда целесообразно пуансоны и матрицы как вытяжных, так и вырубных штампов изготовлять твердосплавными из спеченного или пластифицированного материала и обрабатывать алмазным режущим инструментом. При этом стоимость изготовления штампов повышается в три— пять раз, а стойкость возрастает в десятки раз.

Инструмент штампов при горячей штамповке работает в более тяжелых условиях, чем при холодной, нагревается до 450... 550 “С. Материал штампов в термически обработанном состоянии должен иметь высокие механические свойства, сопротивление к истиранию и образованию трещин, теплопроводность, хорошо обрабатываться резанием.

***Домашнее задание: Рабочая тетрадь до задания № 64***