

## Тема 2. Метали і сплави

### 1. Характеристика вуглецевих сталей

**Вуглецеві сталі** промислового виробництва – це багатокомпонентні сплави, які, крім заліза й вуглецю, мають домішки марганцю, кремнію, фосфору сірки та деякі інші. Кожен з перелічених компонентів впливає на структуру та властивості сталей.

В сталях завжди присутні домішки, які поділяються на три групи:

**1. Постійні домішки:** кремній, марганець, сірка, фосфор.

**Марганець і кремній** вводяться в процесі виплавки сталі для розкислювання, вони є технологічними домішками.

Вміст марганцю не перевищує 0,5...0,8 %. Марганець підвищує міцність, не знижуючи пластичності, і різко знижує червоноламкість сталі, викликану впливом сірки.

Вміст кремнію не перевищує 0,35...0,4 %. Кремній, дегазуючи метал, підвищує густину зливка. Кремній розчиняється у фериті і підвищує міцність сталі і спостерігається деяке зниження пластичності.

Вміст **фосфору** в сталі 0,025...0,045 %. Фосфор, розчиняючись у фериті, спотворює кристалічні грати і збільшує межу міцності  $\sigma_b$  і межа текучості  $\sigma_T$ , але знижує пластичність і в'язкість.

**Сірка** – зменшується пластичність, зварюваність і корозійна стійкість. Фосфор – спотворює кристалічні грати.

Вміст сірки в сталях складає 0,025...0,06 %. Сірка – шкідлива домішка, потрапляє в сталь з чавуну. При взаємодії із залізом утворює хімічне з'єднання – сульфід сірки FeS.

Сірка знижує механічні властивості, особливо ударну в'язкість і пластичність, а також межа витривалості. Вона погіршує зварюваність і корозійну стійкість.

**2. Приховані домішки** - гази (азот, кисень, водень) – потрапляють в сталь при виплавці.

**Азот і кисень** знаходяться в сталі у вигляді крихких неметалічних включень: оксидів (FeO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) нітридів (Fe<sub>2</sub>N), у вигляді твердого розчину або у вільному стані, розташовуючись в дефектах (раковинах, тріщинах).

Дуже шкідливим є розчинений в сталі водень, який значно окрихчує сталь. Він призводить до виникнення внутрішніх тріщин – флокенів.

**Флокени** – тонкі тріщини овальної або округлої форми, що мають в зламі вид плям – пластівців сріблястого кольору.

Метал з флокенами не можна використовувати в промисловості, при зварюванні утворюються холодні тріщини в наплавленому і основному металі.

Для видалення прихованих домішок використовують вакуумування.

**3. Спеціальні домішки** – спеціально вводяться в сталь для отримання заданих властивостей. Домішки називаються легуючими елементами, а сталі - легованими сталями.

**Вуглецеві сталі** класифікують за такими ознаками:

1. За хімічним складом сталі поділяються: вуглецеві і леговані.

2. За вмістом вуглецю:

- низьковуглецеві із вмістом вуглецю до 0,25 %;

- середньовуглецеві із вмістом вуглецю 0,3...0,6 %;

- високовуглецеві із вмістом вуглецю вище 0,7 %

3. За рівноважною структурою: доєвтектоїдні, евтектоїдні, заєвтектоїдні.

4. За якістю. Критерієм якості є масові частки шкідливих домішок: сірки і

фосфору:

-  $0,04 \leq S \leq 0,06\%$  ,  $0,04 \leq P \leq 0,08\%$  – вуглецеві сталі звичайної якості;

-  $P, S = 0,03...0,04\%$  – якісні сталі;

-  $P, S \leq 0,03\%$  – високоякісні сталі.

5. За способом виробництва розрізняють сталі, виплавлені:

- в мартенівських печах;

- в кисневих конверторах;

- в електричних печах: електродугових, індукційних і ін.

6. За ступенем окислення сталі поділяються на:

- спокійні;
- напівспокійні;
- киплячі.

7 За призначенням сталі поділяють:

- конструкційні – застосовуються для виготовлення деталей машин і механізмів;
- інструментальні – застосовуються для виготовлення різних інструментів;
- спеціальні – сталі з особливими властивостями: електротехнічні, з особливими магнітними властивостями і ін.

Прийнято буквено-цифрове позначення сталей.

### **Вуглецеві сталі звичайної якості (ГОСТ 380).**

Сталі містять підвищену кількість сірки і фосфору. Маркуються Ст.2кп., БСт.3кп, ВСт.3пс, ВСт.4сп.

Ст – індекс даної групи сталі. Цифри від 0 до 6 - це умовний номер марки сталі. Із збільшенням номера марки зростає міцність і знижується пластичність сталі. Існує три групи сталей: А, Б і В. Для сталей групи А при поставці гарантуються механічні властивості, в позначенні індекс групи А не вказується. Для сталей групи Б гарантується хімічний склад. Для сталей групи В при поставці гарантуються і механічні властивості, і хімічний склад. Індеси кп, пс, сп вказують ступінь розкислення сталі: кп - кипляча, пс – пс - напівспокійна, сп - спокійна.

### **Якісні вуглецеві сталі**

Якісні сталі поставляють з гарантованими механічними властивостями і хімічним складом (група В). Ступінь розкислення, в основному, спокійна.

*Конструкційні якісні вуглецеві сталі* Маркуються двозначним числом, яке вказує середній вміст вуглецю в сотих частках відсотка. Вказується ступінь розкислення, якщо він відрізняється від спокійної. Наприклад, сталь 08 кп, сталь 10 пс, сталь 45. Вміст вуглецю, відповідно, 0,08 %, 0,10 %, 0,45 %.

*Інструментальні якісні вуглецеві сталі* маркуються буквою У (вуглецева інструментальна сталь) і числом, яке вказує вміст вуглецю в десятих частках відсотка. Наприклад, сталь У8, сталь У13. Вміст вуглецю, відповідно, 0,8 % і 1,3 %

*Інструментальні високоякісні вуглецеві сталі.* Маркуються аналогічно якісним інструментальним вуглецевим сталям, тільки вкінці марки ставлять букву А для позначення високої якості сталі. Наприклад, сталь У10А.

## **2. Характеристика чавунів**

За хімічним складом чавуни відрізняються від сталі високим вмістом вуглецю (більше 2,14 %) і постійних домішок (S, P, Si, Mn). Порівняно зі сталями чавуни мають нижчі механічні властивості, але значно кращі технологічні (ливарні, оброблюваність різанням, антифрикційні властивості, зносостійкість). Це зумовлює широке використання чавуну для виготовлення багатьох деталей у різних галузях машинобудування. Чавун, як правило, дешевший за сталь.

Залежно від стану вуглецю в чавуні розрізняють:

- білий чавун – вуглець перебуває в зв'язаному стані у вигляді цементиту, в зламі має білий колір і металевий блиск;
- сірий чавун – весь вуглець або велика частина знаходиться у вільному стані у вигляді графіту, а в зв'язаному стані знаходиться не більше 0,8 % вуглецю. Через велику кількість графіту його злам має сірий колір;
- половинчастий – частина вуглецю знаходиться у вільному стані у формі графіту, але не менш 2 % вуглецю знаходиться у формі цементиту. Мало використовується в техніці.

За структурою білі чавуни поділяють на доевтектичні (2,14...4,3 % C), евтектичні (4,3 % C) і заевтектичні (4,3...6,7 % C).

Структуру доевтектичних білих чавунів складають перліт, ледебурит і вторинний цементит. Евтектичний чавун має структуру ледебуриту – рівномірної механічної суміші перліту і цементиту. Заевтектичний чавун характеризує структура, що складається з первинного цементиту і ледебуриту.

Структура сірих, ковких і високоміцних чавунів складається з металевої основи, що пронизана графітовими вкрапленнями. Розрізняють три основні форми графітових вкраплень (фаз): пластинчасту, пластівчасту та кулясту.

**Сірим чавунам** притаманна пластинчаста форма графіту, який можна розглядати як тріщину чи надріз, що створює концентрацію напружень у металевій матриці та різко знижує характеристики міцності чавуну. Сірий чавун – найдешевший конструкційний матеріал. У виробництво надходить у вигляді виливків, має високі ливарні властивості, добре оброблюється різанням, чинить опір зношуванню, здатен розсіювати коливання при вібраційних і змінних навантаженнях (у 2... 4 рази вище за сталь). Промисловість випускає такі марки сірих чавунів: СЧК), СЧ15, СЧ20, СЧ25, СЧ30, СЧ35, СЧ40, СЧ45. При маркуванні сірих чавунів літери СЧ означають - чавун сірий, а цифри - мінімальне значення границі міцності при розтязі.

**Ковкі чавуни** більш пластичного, порівняно з сірим, чавуну. Його ніколи не куять. Одержують його шляхом тривалого високотемпературного відпалювання виливків білого чавуну з перлітно-цементитною структурою. Під час такого графітізуючого відпалювання цементит білого чавуну розпадається, утворюючи графіт пластівчастої форми. Залежно від структури металевої основи розрізняють ковкі феритний і перлітний чавуни. Феритні ковкі чавуни одержують з білих, які мають у своєму складі 2,4...2,8 % С; 0,8... 1,4 % Si; 0,3...0,4 % Mn; 0,08... 0,1 % S; <0,2 % P. Перлітні ковкі чавуни виготовляють з білих, які містять 2,8... 3,4 % С; 0,5...0,8 % Si; 0,4...0,5 % Mn; 0,12 % S; 0,2 % P.

Залежно від показників міцності при розтязі і відносного видовження ковкі чавуни розрізняють за марками: КЧ30-6, КЧ33-8, КЧ35-10, КЧ37-12 - це феритні чавуни; КЧ45-6, КЧ50-4, КЧ56-4, КЧ60-3, КЧ63-2 -перлітні. З ковких чавунів виготовляють високоміцні деталі для змінних і ударних навантажень, підвищеного спрацювання, наприклад, шестерні, шатуни, картер заднього мосту, гальмівні колодки, ступиці, гачкові ланцюги, пальці різальних апаратів тощо.

**Високоміцні чавуни** - це різновид сірого чавуну з феритною або перлітною структурою, модифікованого магнієм або комплексними модифікаторами (магній з добавками силіцію та інші). В результаті модифікування одержують графіт кулястої форми і невеликих розмірів. Такі чавуни мають підвищену міцність і порівняно з сірими чавунами здатні чинити опір крихкому руйнуванню. Вони мають феритну або перлітну структуру металевої основи.

Залежно від границі міцності і відносного видовження високоміцні чавуни поділяють на такі марки: ВЧ38-17, ВЧ42-12, ВЧ45-5, ВЧ50-2, ВЧ60-2, ВЧ70-3, ВЧ80-3, ВЧ100-4, ВЧ120-4. Високі механічні властивості цих чавунів дозволяють використовувати їх для виготовлення деталей машин, що працюють за умов значних навантажень, замість поковок і виливків із сталей. З високоміцного чавуну виготовляють деталі ковальсько-пресового обладнання, прокатних станів, парових турбін, тракторів, автомобілів (колінчасті вали, поршні тощо).

## **Леговані сталі**

### **1. Принципи та мета легування сталей**

**Легованими** називають сталі, які, крім заліза, вуглецю і технологічних домішок, містять спеціальні домішки (легуючі елементи). Легуючі елементи вводять до складу сталі для надання їй або покращання певних фізичних, хімічних, механічних або технологічних властивостей. Сталі можуть містити один або кілька легуючих елементів. Легуючі елементи в тій чи іншій мірі розчиняються в основних фазах сталі (фериті, аустеніті, цементиті) або утворюють спеціальні карбіди.

В конструкційних сталях легування здійснюється з метою поліпшення механічних властивостей (міцності, пластичності). Крім того, змінюються фізичні, хімічні, експлуатаційні властивості.

Легуючі елементи підвищують вартість сталі, тому їх використання повинне бути строго обґрунтоване.

### **Переваги легованих сталей:**

- особливості виявляються в термічно обробленому стані, тому виготовляються деталі, що піддаються термічній обробці;

- поліпшені леговані сталі мають більш високі показники опору пластичним деформаціям ( $\sigma_T$ );
- легуючі елементи стабілізують аустеніт, тому прожарювання легованих сталей вище;
- можливе використання більш “м’яких” охолоджувачів (знижується брак по гартівних тріщинах і викривленнях), оскільки гальмується розпад аустеніту;
  - підвищуються запас в’язкості і опір холодоламкості, що призводить до підвищення надійності деталей машин.

### **Недоліки:**

- схильні до оборотної відпускної крихкості II роду;
- у високолегованих сталях після гартування залишається аустеніт залишковий, який знижує твердість і опір втомі, тому вимагається додаткова обробка;
  - схильні до дендритної ліквідації, оскільки швидкість дифузії легуючих елементів в залізі мала. Дендрити збіднюються, а границі – міждендритний матеріал – збагачується легуючим елементом. Утворюється структура стрічки після кування, неоднорідність властивостей вздовж і поперек деформації, тому необхідний дифузійний відпал;
  - схильні до утворення флокенів.

Флокени – світлі плями в зламі в поперечному перерізі – дрібні тріщини з різною орієнтацією. Причина їх утворення – виділення водню, розчиненого в сталі.

При швидкому охолодженні від 200 °C водень залишається в сталі, виділяючись з твердого розчину, викликає великий внутрішній тиск, що призводить до утворення флокенів.

Засоби захисту: зменшення вмісту водню при виплавці і зниження швидкості охолодження в інтервалі флокеноутворення.

## **2. Класифікація і маркування легованих сталей**

Сталі класифікуються за декількома ознаками.

1. За структурою після охолодження на повітрі виділяються три основні класи сталей:

- перлітний;
- мартенситний;
- аустенітний.

Сталі перлітного класу характеризуються малим вмістом легуючих елементів; мартенситного – вищим вмістом; аустенітного – високим вмістом легуючих елементів.

2. За ступенем легування (за вмістом легуючих елементів):

- низьколеговані – 2,5...5 %;
- середньолеговані – до 10 %;
- високолеговані – більше 10%.

3. За кількістю легуючих елементів:

- трьохкомпонентні (залізо, вуглець, що легує елемент);
- чотирьохкомпонентні (залізо, вуглець, два легуючі елементи) і так далі.

4. За складом:

нікелеві, хромисті, хромонікельмолібденові і так далі (ознака – наявність тих або інших легуючих елементів).

5. За призначенням:

- конструкційні;
- інструментальні (ріжучі, для вимірювальних приладів, штампові);
- сталі і сплави з особливими властивостями (різко виражені властивості –нержавіючі, жароміцні і термостійкі, зносостійкі, з особливими магнітними і електричними властивостями).

Державна система маркування якісної леговоної сталі складається зі сполучення літер і цифр, що орієнтовно вказують на її хімічний склад. Легуючі елементи мають такі позначення: азот (А), ніобій (Б), вольфрам (В), марганець (Г), мідь (Д), кобальт (К), берилій (Л), молібден (М), нікель (Н), свинець (П), хром (Х), бор (Р), кремній (С), титан (Т), ванадій (Ф), цирконій (Ц), алюміній (Ю), рідкісноземельні метали (Ч).

Цифри після літери вказують приблизно на вміст даного легуючого елемента. При вмісті елемента менше 1 % цифри не пишуть; при вмісті близько 1 % - пишуть цифру 1; близько 2 % - цифру 2 тощо. При маркуванні конструкційних якісних сталей цифри перед першою літерою

марки використовують для позначення середнього вмісту вуглецю у сотих частках процента, а у високовуглецевих інструментальних сталях - в десятих частках процента. Наприклад, сталь марки 20X містить у своєму складі 0,17... 0,23 % С, 0,7... 1,0 Cr; сталь 30ХГСН2 - 0,3 % С, до 1 % Cr, до 1 % Mn, до 1 % Si, до 2 % Ni.

Деякі групи сталей мають додаткові позначення: марки шарикопідшипникових сталей починаються з літери Ш, швидкорізальних - з літери Р, магнітотвердих - з літери Е, автоматних - з літери А.

### **3. Конструкційні та інструментальні леговані сталі**

**Інструментальні сталі** використовують для виготовлення різального, штампувального і вимірюваного інструменту. Умовно їх поділяють на вуглецеві, леговані, штамповані, швидкорізальні.

Інструментальні вуглецеві сталі (0,65...1,3 % С). Виготовляють такі марки цих сталей: У7, У8, У8Г, У10, У11, У12 і У13. Цифри вказують на вміст вуглецю у десятих частках процента. Літера А після цифри означає високоякісну сталь. Наприклад, сталь марки У12А розшифровують так: інструментальна вуглецева сталь з вмістом вуглецю 1,2 %, високоякісна.

Інструментальні леговані сталі, порівняно з вуглецевими, характеризує підвищена прогартованість, значна міцність, більш високі різальні властивості, пластичність у відпаленому стані. Легуючі елементи (W, Mo, Co, Cr) підвищують теплостійкість, Mn - загартованість, N - в'язкість, V - зносостійкість.

Сталі з сумарним вмістом легуючих елементів до 2,5 % відносять до низьколегованих, до 10% - до середньолегованих і більше 10 % - до високолегованих.

У низьколегованих сталях основним легуючим елементом є хром (сталі Х, 11Х, 13Х). При вмісті хрому до 0,4 % прогартованість сталей низька, а з підвищенням вмісту хрому до 1,3...1,6 % при легуванні кількома елементами (Cr, Mn, Si, W) вона значно зростає (сталі 9ХС, 9ХВГ, ХВГ, Х12М та інші). Так, сталь Х прогартовується у маслі на глибину до 25 мм, сталь 9ХС - до 35 мм, сталь ХВГ - до 45 мм, сталь ХВГС - до 80 мм.

Сталь Х з теплостійкістю до 200 °С застосовують для токарних і стругальних різців: сталь 9ХС з теплостійкістю до 260 °С - для виготовлення свердел, розверток, фрез, метчиків, плашок; сталі типу ХВСГ, 9Х5ВФ з теплостійкістю до 450 °С використовують для виготовлення крупних свердел, плашок, протяжок, фрез та іншого різального інструменту.

Високолеговані інструментальні сталі містять у своєму складі W Cr, V, Mo (до 18 % основного легуючого елемента) і мають високу теплостійкість - до 600...650 °С. Такі сталі називають ш в и д к о р і з а л ь н и м и і позначають літерою Р і цифрою, яка вказує на вміст вольфраму у процентах (сталі Р9, Р18, Р6М5, Р9К5, Р18К5Ф2 та інші).

Для вимірювального інструмента використовують сталі Х, ХВГ після гартування і спеціального низького відпуску при 120... 130 °С протягом 15...20 год з наступною обробкою при температурах нижче нуля (до -60 °С). З цих сталей виготовляють також штампи холодного деформування складної форми перерізом 75... 100 мм. Для виготовлення інструменту з високою твердістю і зносостійкістю, а також і незначною деформацією під час гартування використовують сталі типу Х12Ф1. Сталі з меншим вмістом вуглецю і підвищеною в'язкістю використовують для інструмента, що працює за значних ударних навантажень (пневматичні зубила, ножі для холодної різки тощо), наприклад, сталі 4ХС, 6ХС, 4ХВ2С та інші.

Сталі з вмістом вуглецю (0,5...0,6 %), леговані хромом (який підвищує міцність і прогартованість), а також вольфрамом і молібденом (підвищує твердість, теплостійкість, подрібнюють зерно), нікелем (підвищують в'язкість, прогартованість) і марганцем (заміняє нікель), використовують для виготовлення штампів гарячого деформування - сталі 5ХНМ, 5ХГМ, 5ХНВ.

Конструкційні сталі призначені для виготовлення деталей машин та інших конструкцій. Від них вимагають високої міцності, в'язкості, пружності. До цієї групи належать також сталі, призначені для роботи в корозієактивних і високотемпературних умовах.

Конструкційні сталі поділяють на такі групи.

*Будівельні низьколеговані сталі* мають масову частку до 0,2 % С і порівняно невелику кількість легуючих елементів. До них належать, зокрема, сталі 09Г2, 10Г2СІ, 15Г2СФ, 10НДП. Їх використовують у будівництві та машинобудуванні в основному без термічної обробки.

*Поліпшені сталі* призначені для виготовлення деталей машин (вали, шестерні, шатуни тощо), які піддають гартуванню і високому відпусканню (поліпшенню). До них належать низьколеговані сталі з масовою часткою 0,3...0,5 % С, наприклад: 30Х, 40ХН, 30ХГСНА, 38ХНЗМФ.

*Сталі з підвищеною оброблюваністю різанням* - це так звані автоматні сталі, які можна обробляти з великою швидкістю різанням, забезпечують високу якість оброблюваної поверхні і велику стійкість інструменту. Ці сталі легують елементами, які самі або разом з іншими елементами сприяють утворенню короткої і ламкої стружки. Такими елементами є S, Pb, Ca, Се. Вводять їх у сталь 0,1...0,3 %. До цієї групи належать сталі сірчані А20, А40Г; свинцеві АС30ХМ, АС38ХГМ; кальцієві АЦ20, АЦ45Х; селенові А45Е, А40ХЕ та ін.

*Ресорно-пружинні сталі* легують Si, Mn, Cr, W, Ni у кількості 1,5...2,8 % та 0,10...0,25 % V. Більш поширені кремністі сталі: 50С2, 60С2А, 70С3А. Високонантажені пружини і ресори виготовляють із сталей 60С2ХФА, 65С2ВА, 60С2Н2А; клапанні пружини - із сталей 50ХФА, 50ХГФА.

*Підшипникові сталі* застосовують для виготовлення кульок, роликів і кілець підшипників кочення. До них належать сталі ШХ6, ШХ9, ШХ15СГ, які містять близько 1 % С і відповідно 0,6; 0,9 і 1,5 % Cr.

*Зносостійкі сталі.* Для роботи в умовах ударно-абразивного зношування призначені литі сталі аустенітного класу 110Г13Л і 60Х5Г10Л, а в умовах кавітаційно-ерозійного зношування (деталі відцентрових насосів, лопаті гідротурбін) - сталі 30Х10Г10, 0Х14АГ12, 0Х14Г12М та ін.

*Корозієстійкі сталі* поділяють на дві групи: хромисті і хромонікелеві.

Хромисті сталі містять 13 % і більше хрому. За структурою вони поділяються на сталі феритного (08Х13, 15Х25Т), феритно-мартенситного (12Х13) і мартенситного (20Х13, 30Х13, 95Х18) класів.

Більшість хромонікелевих сталей належать до аустенітного класу: 12Х18Н9, 12Х18Н12Т, 10Х14Г14Н4Т та ін. Поряд з ними існують сталі аустенітно-феритного (наприклад, 08Х21Н6М2Т) і аустенітно-мартенситного (09Х15Н8Ю) класів.

*Жаростійкі сталі* призначені для роботи при високих температурах у газових середовищах. Жаростійкість (окалиностійкість) визначається не структурою, а складом сталі і в основному залежить від вмісту хрому. Введення в сталь 5...8 % хрому підвищує її жаростійкість до 700...750 °С, а при 25%Cr - до 1100 °С. Поряд з хромом ці сталі легують Si, Al, Ni (15Х5, 40Х9С2, 15Х18СЮ, 20Х23Н13 та ін.).

*Жароміцні сталі* здатні тривало працювати під навантаженням при високих температурах. Їх поділяють на три класи: перлітний, мартенситний і аустенітний.

До сталей перлітного класу, призначених для роботи при температурі 450...580 °С, належать котельні (15К, 18К, 22К) та теплостійкі (12МХ, 25ХІМФ, 20Х3МВФ та ін.) сталі.

Сталі мартенситного класу (15Х5М, 12Х8ВФ, 40Х10С2М та ін.) здатні працювати при температурі 450...600 °С.

Для роботи при температурі 650...700 °С використовують сталі аустенітного класу (10Х18Н12Т, 08Х15Н24В4ТР, 45Х14Н14В2М).

## **Основні поняття про кольорові метали і сплави**

### **1. Титан та його сплави**

**Титан** - сріблясто-сірий метал з температурою плавлення 1672 °С, з малою питомою вагою ( $\rho=4,5$  г/см<sup>3</sup>) і високою корозійною стійкістю належить до перехідних металів четвертої групи періодичної системи елементів. Механічні властивості технічно чистого титану (марки ВТ1-0, ВТ1-00, ВТ1-1) знаходяться на рівні властивостей звичайних конструкційних сталей. З нього виготовляють катані і пресовані труби, лист, дріт, поковки. Він добре зварюється, має високі механічні характеристики, корозійну стійкість і жароміцність, але важко обробляється різанням, має низькі антифрикційні властивості.

Залежно від структури у рівноважному стані титанові сплави поділяють на  $\alpha$ -сплави (однофазні) і  $\beta$ -сплави (двофазні). Так, основними промисловими сплавами титану зі структурою аїр є VT5, VT8. За технологічним призначенням їх поділяють на ливарні й такі, що піддаються деформуванню.

За міцністю титанові сплави поділяють на три групи:

- низької міцності 300...700 МПа (VT1);
- середньої 700... 1000 МПа (VT3, VT4, VT5);
- високої міцності >1000 МПа (VT6, VT14, VT15) після гартування та старіння.

Титанові сплави можна піддавати всім основним видам термічної обробки, а також хіміко-термічній обробці, змінюючи їхні властивості у потрібному напрямку.

## 2. Сплави на основі алюмінію

**Алюміній** - легкий метал третьої групи періодичної системи елементів, сріблясто-білого кольору, з густиною  $2,7 \text{ г/см}^3$ , високою електро- і теплопровідністю та корозійною стійкістю (утворює щільну поверхневу плівку оксиду  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Температура плавлення алюмінію, залежно від чистоти металу, становить  $660...667^\circ\text{C}$ . Прокатний і відпалений алюміній високої чистоти має міцність  $\sigma_B = 60 \text{ МПа}$ , модуль пружності  $E = 1,1 \times 10^3 \text{ МПа}$ , пластичність  $\delta = 50 \%$ , твердість 25 НВ. Алюміній високопластичний, маломіцний матеріал, добре обробляється тиском, зварюється, але погано піддається обробці різанням. Як конструкційний матеріал його не застосовують.

Постійні домішки (Fe, Si, Ti, Mn, Cu, Zn, Cr) знижують фізико-хімічні характеристики і пластичність алюмінію. Залежно від вмісту домішок розрізняють марки алюмінію: А999 (0,001 % домішок), А995 (0,005 % домішок), А99 (0,010 % домішок), а також А97, А95.

Сплави алюмінію, що піддають деформуванню, повинні забезпечувати високу технологічну пластичність для здійснення операцій прокатування, кування, пресування тощо. Тому вони повинні мати однорідну структуру твердого розчину на основі алюмінію. Для підвищення міцності допускають у структурі сплаву невелику кількість кристалів евтектики. Деформовані сплави алюмінію поділяють на такі, що зміцнюються термічною обробкою, і такі, що не зміцнюються.

До незміцнюваних термообробкою належать сплави типу АМц і АМг. У сплавах АМц міститься до 1,5 % Mn, а в АМг - до 7 % Mg і 0,8 Mn. Для підвищення міцності в них додатково вводять до 2 % V, 0,1 % Ti, 0,005 % Be. Ці сплави мають високу пластичність, добре зварюються, корозієстійкі,  $\sigma_B = 200...300 \text{ МПа}$ . З них виготовляють штамповані і зварні ємкості, баки тощо. До сплавів, що зміцнюються термообробкою, належать дуралюміні. Вони містять 2...5 % Cu, до 1,5 % Mg, 1 % Mn. Позначають дуралюміні літерою Д і умовними номерами, наприклад, Д1, Д16.

Термічна обробка дуралюміні полягає в гартуванні його від температури, близької до  $500^\circ\text{C}$ , і наступному природному старінні при кімнатній температурі протягом 5...7 діб або штучному при температурі  $100...150^\circ\text{C}$ . Після такої обробки властивості дуралюміні становлять  $\sigma_B = 420...470 \text{ МПа}$ ,  $90...100 \text{ НВ}$ ,  $\delta = 18...20 \%$ .

До сплавів типу дуралюмін належать також сплави, призначені для обробки куванням і штампуванням - АК2, АК4, АК6 (алюмінієвий ковкий, номер сплаву) тощо. Порівняно з дуралюмінами вони додатково леговані нікелем або титаном.

Ливарні алюмінієві сплави містять підвищену кількість силіцію, міді, магнію, цинку. За складом їх поставляють (ДСТУ 2839-94) 38 марок і поділяють на п'ять груп:

- 1) Al-Si-Mg (Si = 6...13 %, Mg = 0,2...0,5 %); позначення - АК7, АК12 тощо;
- 2) Al-Si-Cu (Si = 3,5...11 %, Cu = 1...8 %); позначення - АК5М, АК5М7 тощо;
- 3) Al-Cu (Cu = 4,5...5,3 %, Cd = 0,07...0,25 %); позначення - АМ5, АМ4,5Кд тощо;
- 4) Al-Mg (Mg = 4,5... 13 %, Si = 0,8... 1,7 %); позначення - АМг4К1,5М, АМг5К тощо;
- 5) Al - інші компоненти (Zn = 3,5...12 %, Mg = 1,5...2 %, Si = 6... 10 %); позначення - АК7Ц9, АЦ4Мг та ін.

У марках алюмінієвих, як і в інших кольорових, сплавів компоненти позначають початковими літерами їх назви: А - алюміній, О - олово, М - мідь, Mn - манган, Mg - магній, Кд - кадмій та ін. За ними подають цифри, які вказують на вміст цих елементів. Наприклад, марка АМ4,5Кд позначає сплав з вмістом 4,5 % Cu, близько 1 % Cd, решта - алюміній.

### 3. Магнієві сплави

**Магній** - метал з мінімальною серед конструкційних металів густиною  $1,74 \text{ г/см}^3$ . У зв'язку з малою міцністю (в литому стані  $\sigma_b = 30 \text{ МПа}$ ) і малою корозійною стійкістю технічно чистий магній як конструкційний матеріал не використовують.

Магнієві сплави містять до 10 % Al, 2,5 % Mn, 3 % Zn. Іноді у сплави вводять добавки церію, кадмію, берилію, а останнім часом - цирконій, торій, неодим. Алюміній і цинк поліпшують механічні властивості, манган підвищує корозійну стійкість, інші добавки подрібнюють зерно, підвищують пластичність і теплостійкість сплаву.

**Деформівні магнієві сплави** застосовують для виготовлення поковок і штамповок. До цієї групи сплавів (їх позначають літерами МА і умовним номером - МА1, МА8 та ін.) належать сплави магнію, які мають у своєму складі до 9 % Al, 1,5 % Zn, 2,5 % Mn.

Після гартування і штучного старіння вони мають  $\sigma_b = 250\text{...}300 \text{ МПа}$  і  $\delta = 9\text{...}18 \%$ . Добавка 2 % Ti і 3 % Nd до цих сплавів дає змогу підвищити їх теплостійкість при тривалій експлуатації до  $350 \text{ }^\circ\text{C}$ .

**Ливарні магнієві сплави** (їх позначають літерами МЛ і умовними номерами - МЛ4, МЛ6 тощо) містять до 10 % Al, 3 % Zn, 0,5 Mn. Ці сплави мають  $\sigma_b = 150\text{...}250 \text{ МПа}$ ,  $\delta = 1\text{...}9 \%$ , добру рідкотекучість і широко застосовуються для виготовлення виливків, які працюють при невеликих навантаженнях (кронштейни, корпуси приладів тощо). Сплави, додатково леговані цирконієм і торієм, можна тривалий час експлуатувати при температурі до  $350 \text{ }^\circ\text{C}$  і короткочасно - при температурі до  $450 \text{ }^\circ\text{C}$ .

### 4. Мідь та її сплави

**Мідь** - це метал червоного кольору густиною  $8,9 \text{ г/см}^3$  і температурою плавлення  $1083 \text{ }^\circ\text{C}$ .

У відпаленому стані мідь має міцність  $\sigma_b = 250 \text{ МПа}$ , твердість 45 НВ, пластичність  $\delta = 45 \%$ . Як конструкційний метал чисту мідь в машинобудуванні використовують рідко. Частіше її використовують для утворення сплавів - латуней і бронз.

**Латунями** називають сплави міді з цинком. Цинк у кількості до 39 % утворює з міддю твердий розчин  $\alpha$ , так звану  $\alpha$ -латунь. При більшому вмісті цинку в сплавах утворюється друга фаза -  $\beta$ -твердий розчин. Двофазні латуні називають  $(\alpha + \beta)$ -латунями. Наявність у структурі міцнішої і твердішої  $\beta$ -фази сприяє підвищенню міцності латуні, проте різко знижує її пластичність. Тому однофазні латуні використовують для обробки тиском, а двофазні - в основному різанням або для лиття. Сплави з масовою часткою цинку понад 45 % крихкі, тому застосовують їх рідко.

Для підвищення міцності й корозієстійкості, поліпшення деяких технологічних властивостей до складу латуней вводять Ni, Pb, Sn, Si та інші елементи. Такі латуні називають *складними*.

Оброблювані тиском латуні маркують літерою Л і цифрами, які вказують на масову частку міді в сплаві, наприклад, марка Л80 означає латунь з 80 % Cu, решта - Zn. У марці складних латуней перші дві цифри за літерами вказують середній вміст міді, а наступні - вміст інших елементів (решта - Zn), наприклад: марка ЛЖС58-1-1 позначає латунь з масовою часткою 58 % Cu, 1 % Fe і 1 % Pb, решта - Zn.

Марки ливарних латуней відрізняються від розглянутих. Так, марка ЛЦ40МцЗЖ позначає латунь з масовою часткою 40 % Zn, 3 % Mn, 1 % Fe, решта - Cu.

**Бронзами** називають сплави міді з оловом, алюмінієм, берилієм та іншими елементами, крім цинку як основного компонента. На відміну від цинку ці елементи або мають змінну розчинність у міді залежно від температури, або утворюють тверді розчини, які зазнають при охолодженні евтектоїдного перетворення. Тому за технологічними властивостями бронзи поділяють на деформівні та ливарні. Крім того, бронзи зі значною розчинністю компонентів або евтектоїдним перетворенням можна піддавати зміцнювальній термообробці.

Бронзи, як і латуні, бувають простими і складними.

Марки деформівних бронз починаються літерами Бр, за якими йдуть літери, що позначають легуючі елементи, а за ними в такому самому порядку цифри, які вказують на вміст цих елементів (решта Cu). Наприклад, до складу бронзи марки БрОЦС-4-4-4 входить по



4 % Sn, Zn і Pb, решта - Cu. У марках ливарних бронз вміст елементів вказують безпосередньо після їх позначення. Наприклад, БрО8Н4Ц2 (8 % Sn, 4 % Ni, 2 % Zn, решта - Cu).

За хімічним складом бронзи поділяють на олов'яні та безолов'яні. Особливе місце належить берилієвим бронзам, які містять близько 2 % Be. Після гартування від температури 780 °С і старінні при 300°С вони мають міцність  $\sigma_b = 1300$  МПа, твердість 370 НВ, високу пружність і добру корозійостійкість. Це дає змогу застосовувати їх для виготовлення таких виробів, як пружини, мембрани, слюсарний інструмент тощо.

### **5. Підшипникові сплави. Припої та легкоплавкі сплави**

**Припої** застосовують при спаюванні металів. Процес спаювання ґрунтується на дифузійному проникненні рідкого припою у твердий метал, що зумовлює міцність спаяного з'єднання.

Припої поділяються на **м'які** та **тверді**, які різняться температурою плавлення.

До м'яких припоїв належать сплави олова та свинцю з температурою плавлення до 350°С. М'які припої відрізняються значною рідкотекучістю. З поміж них знайшли широке використання припої наступних марок: ПОС-90, ПОС-60, ПОС-40, ПОС-30, ПОС-18. Перші букви в цьому позначенні розшифровуються: олов'янисто-свинцевий, цифра - вказує на процентний вміст олова. Припої марки ПОС вміщують сурму в кількості до 3%, решта - свинець.

При підвищенні вмісту свинцю в припоях ПОС знижується міцність спаяного з'єднання. Припої даного класу використовують при спаюванні: побутового посуду, тари для нехарчових продуктів, медичної апаратури, мідних, залізних, латунних та інв'їх виробів, а також для з'єднання деталей електрорадіоапаратури.

Для низькотемпературного спаювання використовують також олов'яноцинкові припої, які маркуються буквами ПОЦ з позначенням цифрою вмісту олова (ПОЦ-90: 90 % Sn, -10 % Zn). Припой ПОЦ-90 має найнижчу температуру плавлення  $T_{пл}=200^{\circ}\text{C}$ . Припої ПОЦ (ПОЦ-60, ПОЦ-70, ПОЦ-90) застосовують для спаювання алюмінію та його сплавів.

До твердих припоїв належать: мідноцинкові, міднофосфористі та мідносрібноцинкові. Тверді припої забезпечують більш міцне з'єднання, що визначається як більшою міцністю самого припою, так і більшим розвитком процесів дифузії за рахунок вищих температур спаювання. Тверді припої служать для спаювання сталі, чавунів, міді та її сплавів. Інколи для спаювання сталевих деталей застосовують чисту мідь.

Мідноцинкові припої ПМЦ-36, ПМЦ-48, ПМЦ-54 (цифра вказує на вміст міді) мають високу температуру плавлення, яка підвищується з ростом вмісту міді й досягає 880°С.

Міднофосфористі припої, наприклад, ПМФ-7 (цифра вказує на вміст фосфору), дозволяють вести спаювання міді без спеціальних флюсів, що значно спрощує процес спаювання.

Мідносрібноцинкові припої позначають буквами ПСр. Найпоширеніші з них ПСр-10 (36%Cu, 52%Zn, 10%Ag;  $T_{пл}=785^{\circ}\text{C}$ ), ПСр-25(40%Cu, 35%Zn, 25%Ag;  $T_{пл}=765^{\circ}\text{C}$ ), ПСр-45 (30%Cu, 25%Zn, 45%Ag;  $T_{пл}=720^{\circ}\text{C}$ ). Мідносрібноцинкові припої достатньо технологічні, мають високу рідкотекучість, придатні для спаювання різноманітних металів та сплавів. З'єднання відрізняється високою корозійною стійкістю та міцністю.

Для виготовлення вкладишів підшипників застосовують сплави на основі свинцю, олова, цинку або алюмінію, які називають **бабітами**.

Бабіти є м'якими легкоплавкими матеріалами з невеликим коефіцієнтом тертя, добре утримують мастило на поверхні вкладиша.

Цинкові сплави за своїми властивостями рівноцінні з бабітами, але поступається перед бабітами на олов'яній основі.

Алюмінієві бабіти мають низький коефіцієнт тертя, високу зносостійкість і твердість. Їх використовують замість олов'яних і свинцевих бабітів.

### **Антифрикційні сплави**

Антифрикційні сплави призначені для підвищення тривалості роботи деталей, які труться між собою. Тертя відбувається у підшипниках ковзання між валом та вкладишем підшипника. Тому для виготовлення вкладиша підшипника підбирають такий матеріал, який запобігає зношенню валу і в той же час сам мало зношується, створює умови для оптимального

змащення та зменшення коефіцієнта тертя. Зменшення тертя забезпечується структурою сплаву – у м'якій основі знаходяться тверді включення. Тверда складова забезпечує малий коефіцієнт тренування, а м'яка основа – хорошу припрацьовуваність та утворення мікрокапілярів, якими змащувальна рідина надходить до поверхонь тертя. При терті пластична основа частково зношується, а вал опирається на тверде включення. В такому випадку тертя відбувається не по всій поверхні підшипника, а мастило утримується у зношених місцях пластичної основи. Оскільки при терті виникає тепло, підшипникові сплави повинні мати хорошу теплопровідність. Самі ж сплави повинні бути легкоплавкими.

Антифрикційні сплави виготовляються на основі: олова, свинцю, міді та алюмінію. Найбільш широке застосування знайшли такі сплави, як бабіт, бронза, алюмінієві сплави, чугуни та металокерамічні матеріали.

**Бабіти** – антифрикційні сплави на основі олова чи свинцю. Їх використовують для заливання вкладишів підшипників ковзання, які працюють на основі при великих швидкостях, змінних та ударних навантаженнях. За хімічним складом бабіти розподіляються на три групи: - олов'яні (Б83, Б88),

- олов'яно-свинцеві (БС6, Б16)

- - свинцеві (БК2, БКА). Останні не мають у своєму складі олова.

Найкращі антифрикційні властивості мають олов'яні бабіти.

Мікроструктура олов'яно-сурмяно-мідного бабіту Б83 складається з м'якої основи, яка є твердим розчином на базі олова. Твердими частинками є кубічні включення SnSb та голчасті кристали  $Cu_3Sn$ .

Бабіти на основі свинцю мають дещо гірші антифрикційні властивості, ніж олов'яні, але дешевші та менш дефіцитні. Свинцеві бабіти застосовують для виготовлення підшипників, які працюють у легких умовах. У марках бабітів цифра показує вміст олова.

На даний час використовуються антифрикційні сплави на основі цинку (наприклад, ЦАМЮ-5, ЦАМ5-10, системи цинк-алюміній-магній) та на основі алюмінію (наприклад, алькусід Д: 7,5...10% міді, 1,5 - 2,5% кремнію).

Невисока міцність бабітів обумовлює їх застосування у підшипниках із міцним (сталним, чуванним, бронзовим) корпусом. Заливання їх здійснюється різними способами – відцентровим, під тиском тощо. Розроблені дво- та тришарові підшипники, які мають високий опір втомному руйнуванню. Так, в автомобілебудуванні з успіхом застосовуються триметали, які складаються з міцної сталеві основи, проміжної пористої кулі (міднонікелової або порошкової) та робочої поверхневої кулі зі свинцевого сплаву.

Хороші антифрикційні якості мають олов'яні та свинцеві бронзи. Антифрикційні властивості забезпечуються структурою: м'яка основа – твердий розчин і тверде включення – евтектоїд ( $\alpha + \delta$ ).

Свинцева бронза має структуру, що складається із зерен  $\alpha$ -фази та евтектики на основі свинцю (99,96%), яка розташовується на межах зерен або у міждендритних проміжках. Однак, олов'яні бронзи дорогі, а свинцеві мають низькі технологічні властивості та міцність. Тому бронзу БрС30 краще використовувати як наплавлену робочу кулю в біта триметалах. Якщо свинцеві бронзи легувати нікелем та оловом (Бр.ОС8-І2, Бр.ОСН 10-2-3 та ін.), які дають твердорозчинне зміцнення міді, то їх можна використовувати для виготовлення втулок та вкладишів підшипників без сталеві основи. Оскільки олово та свинець дефіцитні метали, то часто використовують сплави на основі алюмінію.

Алюмінієві сплави мають хороші антифрикційні властивості, високу теплопровідність, хорошу корозійну стійкість у масляних середовищах і досить хороші механічні та технологічні властивості. Їх застосовують у вигляді тонкої кулі, яка нанесена на сталеву основу. Залежно від хімічного складу розрізняють два види сплавів.

1. Сплави алюмінію з сурмою, міддю та іншими елементами, які утворюють тверді фази у м'якій алюмінієвій основі. Найбільшого поширення набув сплав АСМ, який включає сурму (до 6,5%) і магній (0,3 – 0,7%). Цей сплав добре працює при високих швидкостях і великих навантаженнях в умовах рідкого тертя. Сплав АСМ широко використовується для виготовлення вкладишів підшипників колінчатого валу двигунів тракторів та автомобілів.

2. Сплави алюмінію з оловом і міддю, наприклад, А020-1 (20% олова і до 1,2% міді) та А09-2 (9% олова і 2% міді). Вони добре працюють в умовах сухого та напівсухого тертя і за антифрикційними властивостями близькі до бабітів. Їх використовують для виготовлення підшипників у автомобілебудуванні, тракторному та загальному машинобудуванні. Інколи як антифрикційні сплави використовують чавуни. Вони мають перлітну основу та підвищений вміст графіту. Графіт виконує роль мастила. Антифрикційні чавуни використовуються для виготовлення черв'ячних зубчастих коліс, що направляють для повзунів тощо.

Останнім часом як антифрикційні матеріали широко використовують порошкові матеріали. Їх виготовляють із порошків бронзи, або заліза з добавками 1 – 3% графіту, просоченого мастилом, яке заповнює пори, обсяг яких у виробі складає 15 – 30%. Мастило і графіт змащують тертя. Знос підшипників і шийки валу у 7 – 8 разів менший, ніж бабітів. Термін служби пористих підшипників у 1,5 – 10 разів більший, ніж у стандартних. Застосування таких підшипників в авто- та авіабудуванні не потребує регулярного змащення, спрощує конструкцію, обслуговування, підвищує надійність. Недоліком є менша, ніж у інших підшипників міцність.

Залежно від умов використання до таких підшипників висуваються різні вимоги. Так, до антифрикційних матеріалів для атомної та хімічної промисловості основною вимогою є стійкість проти агресивних середовищ (кислот, розплавлених металів, розігрітих газів тощо). Турбо- та авіабудівництво вимагає стійкості проти високих температур, роботи без змащування. Такі порошкові матеріали виготовляють із порошків метало-окислів (до 90%) або металослюди, графіту, порошків залізо+графіт+сульфідні добавки, які знижують коефіцієнт трення. Хороше змащування мастило+графіт забезпечується введенням поверхнево активних речовин (хром, кальцій, магній, барій тощо).

Для важконавантажених підшипників застосовують свинцеві бронзи із графітом.

Для особливо важких умов експлуатації (наприклад, шліфувальні станки з алмазними дисками, які працюють зі швидкістю близько 10000 об/хв застосовують антифрикційні матеріали на основі карбиду вольфраму. .

У ракетній та криогенній техніці використовують метало-пластикові композиційні матеріали. Оскільки в умовах вакууму мастила випаровуються, а за низьких температур – затвердівають.

Для отримання такої композиції пористий металічний каркас, який спечений із порошків бронзи, свинцю, графіту або сульфїду молібдену, просочується фторопластом, який має практично нульовий коефіцієнт тертя.

### **Особливості термообробки сплавів**

В процесі виробництва напівфабрикати, металеві деталі піддаються термічній обробці для надання їм потрібних властивостей (міцності, стійкості до корозії і зносу тощо).

**Термічна обробка сплавів** - це сукупність штучно створених процесів, в ході яких у сплавах під дією високих температур відбуваються структурні і фізико- механічні зміни, але зберігається хімічний склад речовини.

Металеві вироби, які використовуються щодня в будь-яких галузях народного господарства, повинні відповідати високим вимогам стійкості до зношування. Метал, як сировину, потребує посилення потрібних експлуатаційних властивостей, яких можна домогтися впливом на нього високими температурами.

**Термічна обробка сплавів високими температурами змінює початкову структуру речовини, перерозподіляє його складові компоненти, перетворює розмір і форму кристалів.**

Все це призводить до мінімізації внутрішньої напруги металу і таким чином підвищує його фізико-механічні властивості.

### **Види термічної обробки**

Термообробка металевих сплавів зводиться до трьох простих процесів: **нагрівання сировини** (напівфабрикату) до потрібної температури, **витримувannya** його в заданих умовах необхідний час і швидкому **охолодженню**.

**За способом вчинення термічна обробка буває наступних видів:**

- **Термічна** (гартування, відпуск, відпал, старіння, криогенна обробка).
- **Термо-механічна** включає обробку високими температурами в поєднанні з механічним впливом на сплав.
- **Хіміко-термічна** передбачає термічну обробку металу з подальшим збагаченням поверхні виробу хімічними елементами (вуглецем, азотом, хромом та ін).

**Відпал** - виробничий процес, при якому метали і сплави піддаються нагріванню до заданого значення температури, а потім разом з піччю, в якій відбувалася процедура, дуже повільно природним шляхом остигають.

В результаті відпалу вдається усунути неоднорідності хімічного складу речовини, зняти внутрішню напругу, домогтися зернистої структури і поліпшити її як таку, а також знизити твердість сплаву для полегшення його подальшої переробки. Розрізняють два види відпалу: відпал першого і другого роду.

Відпал першого роду передбачає термічну обробку, в результаті якої зміни фазового стану сплаву незначні або відсутні зовсім. У нього також є свої різновиди:

- **гомогенізований** - температура відпалу становить 1100-1200, в таких умовах сплави витримують протягом 8-15 годин,
- **рекристалізаційне** (при  $t$  100-200) відпал застосовується для клепаної сталі, тобто деформованої вже будучи холодною.

Відпал другого роду призводить до значимих фазовим змін сплаву.

**Загартування** - це маніпуляція зі сплавом, метою якої є досягнення мартенситного перетворення метал, що забезпечує зниження пластичності виробу і підвищення його міцності.

Гартування, так само як і відпал, припускає нагрівання металу в печі вище критичної температури до температури гарту, відмінність полягає в більшій швидкості охолодження, яке відбувається у ванні з рідиною.

Залежно від металу, і навіть його форми застосовують різні види загартування:

- Гартування в одному середовищі, тобто в одній ванні з рідиною (вода - для великих деталей, масло - для дрібних деталей).
- Переривчасте гартування - охолодження проходить два послідовних етапи: спершу в рідині (більш різке охолоджувачі) до температури приблизно 300, потім на повітрі або в іншій ванні з маслом.
- Ступінчасте гартування - по досягненню виробом температури загартування, його охолоджують якийсь час в розплавлених солях з подальшим охолодженням на повітрі.
- Ізотермічне гартування - технологія дуже схожа на ступінчасте загартування, відрізняється лише часом витримки виробу при температурі мартенситного перетворення.
- Гартування з самовідпуском відрізняється від інших видів тим, що нагрітий метал охолоджують не повністю, залишивши в середині деталі теплий ділянку. В результаті такої маніпуляції виріб набуває властивості підвищеної міцності на поверхні і високої в'язкості в середині. Таке поєднання вкрай необхідно для ударних інструментів (молотки, зубила та ін.)

**Відпуск** - це завершальний етап термічної обробки сплавів, що визначає кінцеву структуру металу. Основна мета відпуску є зниження крихкості металевих виробу. Принцип полягає в нагріві деталі до температури нижче критичної і охолодженні. Оскільки режими термічної обробки і швидкість охолодження металевих виробів різного призначення можуть відрізнятися, то виділяють три види відпуску:

- **Високий** - температура нагріву від 350-600 до значення нижче критичної. Дана процедура найчастіше використовується для металевих конструкцій.
- **Середній** - термообробка при  $t$  350-500 поширена для пружинних виробів і ресор.
- **Низький** - температура нагрівання виробу не вище 250 дозволяє досягти високої міцності і зносостійкості деталей.

**Старіння** - це термічна обробка сплавів, що зумовлює процеси розпаду пересиченого металу після гарту.

Результатом старіння є збільшення меж твердості, плинності і міцності готового виробу. Старінню піддаються не тільки чавун, але і кольорові метали, в тому числі і легко деформуючі алюмінієві сплави.

Якщо металевий виріб, підданий загартуванню витримати при нормальній температурі, в ньому відбуваються процеси, що призводять до мимовільного збільшення міцності і зменшення пластичності. Це називається **природне старіння металу**. Якщо цю ж маніпуляцію виконати в умовах підвищеної температури, вона буде називатися штучним старінням.

Зміни структури сплавів, а значить, і їх властивостей можна домогтися не тільки високими, але і вкрай низькими температурами. Термічна обробка сплавів при  $t$  нижче нуля отримала назву **криогенної**.

Криогенна обробка сплавів проводиться при  $t$   $-196$  в спеціальному криогенному процесорі. Дана технологія дозволяє істотно збільшити термін служби обробленої деталі та антикорозійні властивості, а також виключити необхідність повторних обробок.

Поєднує в собі обробку металів при високих температурах з механічною деформацією виробів. Термомеханічна обробка (ТМО) за способом вчинення може бути трьох видів:

- Низькотемпературна ТМО складається з двох етапів: пластичної деформації з наступним загартуванням і відпусткою деталі. Головна відмінність від інших видів ТМО - температура нагріву до аустенітного стану сплаву.
- Високотемпературна ТМО передбачає нагрівання сплаву до мартенситного стану в поєднанні з пластичною деформацією.
- Попередня деформація проводиться при  $t$   $20$  з наступним загартуванням і відпусткою металу.

Змінити структуру та властивості сплавів можливо і за допомогою **хіміко-термічної обробки**, яка поєднує в собі термічний і хімічний вплив на метали. Кінцевою метою даної процедури крім надання підвищеної міцності, твердості, зносостійкості виробу є і надання деталі кислотостійкості і вогнестійкості. До даної групи відносяться наступні види термообробки:

- **Цементация** проводиться для додання поверхні виробу додаткової міцності.
- **Азотування** - це хіміко-термічна обробка металевих виробів шляхом насичення їх поверхні в азотних середовищах.
- **Ціанування** - насичення металу одночасно і азотом і вуглецем.
- **Дифузійна металізація** являє собою сучасний метод надання металевим виробам жаростійкості, кислотостійкості і зносостійкості. Поверхня таких сплавів насичують різними металами (алюміній, хром) і металоїдами (кремній, бор).

## **Матеріали, що застосовуються в гальмових пристроях**

### **1. Фрикційні матеріали**

**Фрикційні матеріали** — матеріали з високими коефіцієнтами тертя і підвищеною стійкістю проти зношування.

Накладки дисків зчеплення автомобільних трансмісій виготовляють з фрикційних матеріалів

Фрикційним матеріалам притаманна значна фрикційна теплостійкість, достатні механічна міцність і корозійна стійкість. Вони характеризуються високим опором схоплюванню контактних поверхонь, стиранню та теплової втомлюваності, а також плавністю і безшумністю зчеплення та ковзання.

Розрізняють фрикційні матеріали для легких (температура до  $250$  °С), середніх ( $600$  °С), важких і надважких (температура до  $1000$  °С) умов експлуатації. Фрикційні матеріали можуть працювати у важких умовах зношування за високих питомих навантажень (до  $8$  МПа), швидкостей ковзання (до  $50$  м/с) і температур, що можуть миттєво підвищуватися до  $1200$  °С.

Матеріалами, що їх використовують у легких умовах експлуатації, служать сталі, чавуни і бронзи (через нестабільність коефіцієнта тертя їх поступово замінюють пластмасами). До фрикційних матеріалів для середніх умов експлуатації належать порошкові матеріали на мідній основі, а також матеріали на основі азбесту (зв'язуючі речовини

— каучук, формальдегідні і феноло-формальдегідні смоли) або азбестової тканини (текстоліт). У важких і надважких умовах експлуатації користуються порошковими матеріалами на залізній основі (як правило, при терті без мащення).

Фрикційні матеріали застосовують у фрикційних динамічних пристроях, до яких належать гальма, накладки, спеціальні опори ковзання, муфти, варіатори. Ці пристрої призначені для розгону (муфти зчеплення) і зупинки (гальма, лижні й ковзні опори ковзання) транспортних машин, у приводах технологічного устаткування (різні фрикційні муфти, передачі і регулятори) для передавання і зміни напрямку руху.

Механічна енергія рухомих елементів під час гальмування переходить у теплову, а потім розсіюється. Тепловий вплив паралельно з багаторазовими циклічними навантаженнями, нагріванням і охолодженням, термічними і силовими деформаціями, утворенням градієнта температур істотно впливають на кінетику тертя і зношування фрикційних матеріалів. У зв'язку з цим до фрикційних матеріалів ставлять вимоги, основні з яких такі:

- **Висока фрикційна теплостійкість**, тобто здатність пари тертя зберігати стійке значення коефіцієнта тертя і мати мале зношування у широкому діапазоні температур.
- **Достатня величина і стабільність коефіцієнта тертя**. Під час роботи фрикційної пари коефіцієнт тертя повинен бути в межах 0,2...0,5, процес тертя повинен бути досить стабільним.
- **Припрацьовуваність**. Елементи фрикційної пари повинні припрацьовуватися досить швидко так, щоб з першим гальмуванням гальмівний момент становив не менше 80% і не більше 120% від розрахункової величини. При цьому на поверхні тертя не повинні утворюватися задирки.
- **Несхоплюваність**. Пари тертя не повинні схоплюватися (зварюватися) як у процесі гальмування, так і в інших випадках, наприклад після гальмування, коли гаряче гальмо залишається затисненим.
- **Висока корозійна стійкість**. У разі тривалого перебування у вологій атмосфері (до 100%) і за температури від мінус 60 до +150 °С елементи фрикційної пари не повинні піддаватися корозії.
- **Вогнебезпечність**. У процесі гальмування чи після завершення спрацювання гальмівного пристрою фрикційні матеріали і продукти їх зносу не повинні займатися, а також не повинно бути неприємних запахів і диму.
- **Достатня механічна міцність**. У разі багатократного гальмування фрикційні матеріали повинні мати достатню механічну міцність, добре протистояти тепловому удару, що виникає за інтенсивного гальмування.
- **Зносостійкість**. Гальмівна пара повинна бути достатньо стійка до стирання. Зазвичай заміна гальмівних колодок пов'язана зі значними труднощами. Крім того, у процесі зношування збільшуються зазори. У зв'язку з цим необхідно, щоб матеріал забезпечував досить тривалу роботу.
- **Теплопровідність і теплосмність**, котрі забезпечують відведення та розсіювання теплової енергії.
- **Технологічність** у переробці і виготовленні фрикційних елементів різноманітних конструкцій.
- **Інші вимоги**: часто до фрикційних матеріалів ставлять додаткові вимоги, пов'язані з мастило-, водостійкістю, безшумністю у роботі, стійкістю в арктичних чи тропічних умовах, опором термічній втомі, стійкістю до утворення тріщин тощо.

#### **Фрикційні матеріали на основі азбесту**

Азбестові фрикційні (азбофрикційні) матеріали розрізняються сполучником і наповнювачем. Крім азбесту з метою підвищення теплопровідності, як наповнювач застосовують метали у вигляді стружки, дроту або порошку (латунь, мідь, алюміній, свинець), а також, графіти, оксиди і солі металів (каолін, оксид цинку, сурик) для збільшення коефіцієнта тертя.

Залежно від типу сполучника азбофрикційні матеріали поділяють на чотири групи:

1. Матеріали на мастильному і бітумно-мастильному сполучнику. Мастильний сполучник забезпечує високу еластичність матеріалу, однак не дає змоги домогтися високої міцності. Максимальна робоча температура не перевищує 200°C.

2. Матеріали на каучуковому сполучнику – азбокаучуки або фрованти, що використовуються для наступних умов: ЭМ-1 — для фрикційних і гальмівних накладок, що призначені для роботи при тисках до 1,5 МПа, ЭМ-2 (6 KB-10) — робочий тиск становить до 2,5 МПа; ЭМ-3 – робочий тиск — до 0,8 МПа. Міцність і пружність цих матеріалів залежать від умісту в них сірки. Робоча температура азбокаучуку не перевищує 250 °С.

Азбокаучукові матеріали застосовують для виготовлення гальмівних накладок в гальмах автомобілів, дисках зчеплення тракторів, автомобілів й інших машин. Недоліком цих матеріалів є різке зменшення коефіцієнта тертя при зростанні температури та мала теплоємність.

3. Матеріали на основі термореактивних смол — азбосмоляні або азбобакелітові (КФ-3М, ФК-16Л, ФК-24А).

З азбосмоляних матеріалів найкращим є ретинакс. Згідно з ГОСТ 10851-94 матеріал Ретинакс А (ФК-16Л) можна успішно експлуатувати в гальмах і муфтах за короткочасної поверхневої температури до 1100 °С, а Ретинакс Б (ФК-24А) - при поверхневій температурі до 700 °С. Матеріал має досить стабільний коефіцієнт тертя. Ретинакси згаданих марок містять 25% фенолоформальдегідної смоли, 40% азбесту, 35% бариту, рублену латунь і пластифікатор. У парі зі сталлю ретинакс забезпечує коефіцієнт тертя 0,37...0,40. Його використовують у гальмівних пристроях літаків, автомобілів та інших машин.

4. Комбіновані матеріали, що містять як сполучник каучук і смолу (7КФ-31).

Залежно від способу виготовлення азбофрикційні матеріали можуть бути ткані, формовані, пресовані і вальцьовані.

Істотним недоліком фрикційних азбестовмісних матеріалів є їх низька температура розпаду, за якої вони здатні взаємодіяти з чавуном або сталлю контр тіла (другого елемента пари тертя), утворювати карбіди і пересичені тверді розчини а також — заборона на використання через шкідливість азбесту для здоров'я.

#### **Порошкові металокерамічні фрикційні матеріали**

Порошкові металокерамічні фрикційні матеріали застосовують у важких режимах тертя. Їх роблять на залізній і мідній основах.

#### **Матеріали на основі заліза**

Найпоширенішими фрикційними матеріалами на основі заліза є ФМК-8 і ФМК-11, МКВ-50А і СМК. Крім основи і металевих компонентів (Sn, Pb, Ni та ін.), що забезпечують міцність, високу теплопровідність і зносостійкість, ці матеріали містять неметалеві домішки азбесту, граніту, оксидів кремнію, сульфідів, нітрідів.

Ці матеріали застосовують для оснащення таких вузлів, що працюють у вузлах тертя без мастила, як дискові гальма, муфти зчеплення автомобілів, фрикційні вузли різних приладів, рідше – для колодкових і стрічкових гальм деяких передавальних пристроїв.

#### **Матеріали на основі міді й мідних сплавів**

Фрикційні порошкові матеріали на основі міді застосовують для роботи в умовах тертя без мастила і з мастилом.

Матеріали на основі олов'янистої бронзи завдяки високій зносостійкості і досить високому коефіцієнтові тертя добре зарекомендували себе в гальмівних і передавальних пристроях різного призначення. Порівняно з матеріалами на основі заліза вони значно менше стирають контр тіло (контактуючу деталь), виготовлене з чавуну або сталі.

Матеріали на основі олов'янистої бронзи містять 62...86% Cu, 5...10% Sn, 5...10% Pb, до 2% Fe, 4...8% C (графіту), до 3% Si<sub>2</sub>, до 2% Ni, 0,75% Si. Їх застосовують у гальмівних пристроях, що працюють без мастила. Для роботи гальмівних пристроїв в умовах тертя без змащування значного поширення набув матеріал марки МК-5 на основі олов'янистої бронзи з максимальною робочою температурою 300...350 °С і коефіцієнтом тертя 0,16...0,32.

В електромагнітних муфтах фрезерних верстатів, гальмах вулканізаторів- форматорів і фрикційних пар торових варіаторів швидкостей застосовуються порошкові спечені матеріали



на основі алюмінієвої бронзи. Заміна текстоліту, що використовувався спочатку на цей матеріал дає змогу продовжити термін експлуатації фрикційної пари у 15 разів.

### **Матеріали для роботи в умовах рідкого мащення**

Недоліком «сухих» фрикційних пристроїв, окрім підвищеного зношування, є різке зниження їхньої ефективності у випадку наявності мастила на поверхні тертя дисків, розміщених у безпосередній близькості від підшипників з інтенсивним змащенням, шестерень, валів тощо.

Основні переваги фрикційних пристроїв, що працюють в умовах мащення полягають у:

- плавності вмикання;
- високій зносостійкості й довговічності;
- легкості та надійності охолодження;
- спрощенні проблем забезпечення герметизації.

Одним із недоліків цих пристроїв є зниження фрикційної ефективності. Динамічний коефіцієнт тертя спечених фрикційних матеріалів в умовах змащування становить максимум 0,08...0,10, тобто він приблизно у три рази нижчий від коефіцієнта тертя без мастила. Внаслідок цього виникає необхідність компенсації нижчого коефіцієнта тертя матеріалу збільшенням діаметра дисків, їх кількості або підвищенням питомого навантаження на поверхні тертя. Збільшувати розміри дисків або їх кількість непрактично, тому найчастіше вдаються до підвищення тиску у фрикційних пристроях до 6...8 МПа. Порошкові спечені матеріали в мастилi у пристроях можуть працювати за швидкостей до 100 м/с, а в окремих випадках — і вищих.

У фрикційних пристроях, що експлуатуються в умовах мастильного середовища, переважно застосовують матеріал марки МК-5. Коефіцієнт тертя цього матеріалу залежно від умов роботи коливається в межах 0,04...0,07. Для роботи в умовах змащування рекомендуються фрикційні матеріали на основі алюмінієвої (ФАБ) або алюмінієво-олов'янистої (типу ФАБО) бронзи.

Крім матеріалів типу МК-5 застосовують композити, що містять домішки муліту, бентоніту й азбесту, що за певних умов характеризуються вищими коефіцієнтами тертя, ніж матеріал МК-5.

### **Вуглець-вуглецеві композиційні матеріали**

Для роботи в надважких умовах тертя, за високих температур використовують вуглець-вуглецеві композиційні матеріали (ВВКМ), створені на основі вуглецевої матриці і вуглецевих волокнистих наповнювачів.

Робочий діапазон температур вуглецевих матеріалів значно ширший і вони працездатні за поверхневих температур до 2000 °С.

Однією з найважливіших переваг вуглецевих матеріалів є їх мала маса. У разі їх використання, наприклад, у літаках важких класів економиться до 1,5 т польотної маси порівняно з фрикційною металокерамікою. Вуглецеві диски застосовують у переважній більшості авіаційних шасі. Намітилася тенденція до їх використання не тільки в найважчих і швидкісних літаках, а й і літаках малої та середньої дальності, а також у малих літаках бізнес-класу. Лише ВВКМ, використані в гальмах і зчепленні, можуть витримувати навантаження, що виникають в автомобілях класу «Формула-1». Їх застосовують і в інших спортивних та великовантажних автомобілях, а також в мотоциклах, швидкісному залізничному транспорті.

З експлуатаційних чинників найбільшою мірою на коефіцієнт тертя впливає кінетична енергія, що поглинається під час гальмування. Вона залежить від швидкості початку гальмування і загальмовуваної маси. У разі переходу від одного маневру до іншого коефіцієнт тертя змінюється більше ніж на порядок. Ця енергія під час рулювання — 0,1 кДж/см<sup>2</sup> за нормальних посадкових гальмувань — 3,5 кДж/см<sup>2</sup>, а в разі аварійних гальмувань — близько 10 кДж/см<sup>2</sup>.

Слід зазначити, що ВВКМ чутливі до умов зовнішнього середовища, зокрема вологості, що зумовлене наявністю у вуглецевих матеріалах залишкової пористості. Атмосферна волога потрапляє в пори матеріалів, а потім у процесі фрикційного нагрівання пара води, адсорбуючись на робочих поверхнях, полегшує тертя і знижує коефіцієнт тертя до



неприпустимих значень. Властивий матеріалу коефіцієнт тертя відновлюється після нагрівання до 120...150°C.

За механічними характеристиками ВВФМ близькі до конструкційних вуглепластиків. За високих температур вуглецеві композиції схильні до окиснення. На відміну від фрикційної металокераміки, на поверхні якої у процесі нагрівання утворюються тверді оксидні плівки, що позитивно впливають на тертя, окиснення вуглецю киснем повітря, що починається за температури понад 500 °С, відбувається з утворенням газоподібних продуктів. Цей процес прискорюється з підвищенням температури і підсилюється наявністю відкритих, доступних для кисню пор, що додатково розвиваються у міру окиснення.

У зв'язку з цим при конструюванні фрикційних вузлів необхідно забезпечити захист від проникнення і дифузії кисню. Використовуються технологічні, конструктивні методи, спеціальні покриття, захисні екрани на бічних неробочих поверхнях фрикційних елементів, спеціальні домішки до складу фрикційних матеріалів, що пригнічують активні центри в реакціях з киснем.

## **2. Корозія металу. Захист. Способи усунення.**

Корозія є однією з найбільш поширених проблем з металами. Вона виникає, коли відбувається окиснення, процес, в якому метал з'єднується з киснем.

Корозія негативно впливає і погіршує стан металу. Всі види металу схильні до неї. Мільйони доларів збитків в металургійній промисловості можна пояснити корозією металу.

І все ж, незважаючи на наявність корозії, метал може служити і бути використаний тривалий час.

### **Види корозії**

- 1 Рівномірна: відбувається по всій відкритій поверхні металу (іржа на сталевій конструкції або зелена патина на мідному даху). Рушійною силою цього типу корозії є електрохімічна активність металу в середовищі, якої він піддається.
- 2 Гальванічна: відбувається поблизу з'єднання двох різнорідних металів. Рушійною силою реакції корозії є різниця потенціалів електроду між двома металами.
- 3 Щілинна: виникає в щілинах між компонентами, а також під полімерним покриттям і клеями. Рушійною силою корозії є різниця між концентрацією кисню всередині щілини і зовні.
- 4 Пітінг: відбувається в пасивних металах, коли пасивний шар руйнується. Прикладами пасивних металів є алюміній і нержавіюча сталь. Пітінг призводить до ослаблення або перфорації металу. При використанні металу, де зовнішній вигляд важливий, точкова корозія є проблемою.
- 5 Міжклітинна: включає в себе корозію вздовж кордонів зерен ураженого металу. В результаті зерна металу відпадають, а метал слабшає.
- 6 Корозійне розтріскування під напругою: спільний вплив напруги та агресивного середовища. У більшості випадків напруга або навколишнє середовище самі по собі недостатні, щоб викликати руйнування металу, тобто напруга нижче межі текучості металу, і метал не схильний до корозії в конкретному середовищі, якщо напруга відсутня.
- 7 Руйнування: селективне вилугування одного елемента зі сплаву. Це призводить до утворення пористої структури, яка недостатньо міцна, щоб витримувати навантаження. Одним з поширених прикладів є видалення цинку з латунних сплавів, використовуваних для сантехніки, де цинк вилугується зі сплаву.

### **Антикорозійний захист**

- 1 Пасивний бар'єрний: працює шляхом покриття сталі захисним шаром, який утворює щільний бар'єр для запобігання впливу кисню, води і солі (іонів). Чим нижче проникність системи покриття для води, тим краще забезпечується захист. Двокомпонентні епоксидні покриття і хлоровані каучуки, нанесені на досить високі плівки, забезпечують найбільш успішний захист від корозії завдяки пасивному бар'єрному захисту.

- 2 Активний: ґрунтовка, що містить хімічно активну сполуку, наноситься безпосередньо на сталь. Здатне на реакцію з'єднання, таким чином порушує нормальне утворення анодів на поверхні сталі.
- 3 Катодний або гальванічний: металевий цинк в прямому контакті зі сталевією підкладкою забезпечує захист завдяки переважного окислення металевією цинку. Цинк є відмінним вибором для захисту сталі, оскільки швидкість корозії, як правило, нижче. Ця швидкість, однак, прискорюється в присутності іонів, таких як хлориди, в прибережних районах. Електропокриття. Металеві покриття. Органічні і порошкові покриття.

### Способи усунення корозії

Побутові вироби, батареї та деякі оцинковані сталі часто піддаються корозії, якщо їх залишити без нагляду протягом тривалого часу. Корозія та іржа можуть розкладати і послаблювати метали та інші матеріали, особливо якщо немає способів запобігти їх поширення.

Видалити іржу вам допоможе: оцет, лимон, харчова сода, щавлева кислота. Використання наждачного паперу. Є деякі вперті іржі, які не можуть бути видалені за допомогою оцту або лимона відразу. Є випадки, коли вам може знадобитися наждачний папір, щоб злегка розтерти іржаві ділянки, просто, щоб послабити і зменшити деякі тверді відкладення.

Якщо ви змогли видалити велику кількість іржі за допомогою наждачного паперу, ви можете зробити будь-які з наведених вище кроків, щоб повністю видалити корозію з ваших інструментів.

В даний час на ринку є безліч професійних продуктів для видалення іржі та корозії. Однак згадані вище методи є природними та, хоча б трохи допомагають довкіллю. Ви можете спробувати один з них, перш ніж вдатися до будь-якої професійної допомоги.

Корозія металів — це процес руйнування верхнього шару металів в результаті хімічної, електрохімічної або фізико-хімічної реакції з навколишнім середовищем. Коли метали піддаються, наприклад, впливу вологи, на поверхні металу відбувається процес зміни кольору, відомий як іржа. Це призводить до погіршення і поступового руйнування металу, якщо заздалегідь не вжити певних заходів. Наукова галузь, яка вивчає корозію, методи запобігання її розвитку та засоби обробки металів, відома як корозійна інженерія.

#### Види корозії металу

Загальна корозія. Це найбільш поширений тип корозії, який піддається «лікуванню». Явище, також відоме як рівномірна корозія, виникає, коли на всю поверхню металу впливає вологе повітря чи вода, що призводить до повного пошкодження металу. Загальна корозія зазвичай спричиняє найбільшу руйнацію матеріалу, проте їй можна запобігти або уповільнити її розвиток.

Гальванічна корозія. Гальванічна (біметалічна) корозія — явище, яке виникає, коли два різних метала вступають у взаємодію між собою в електролітному середовищі. Один метал діє як катод, інший метал поводить себе як анод, а електроліт є каналом передачі іонів між ними. Різниця потенціалів між металами призводить до того, що метал-анод розчиняється в електроліті, а на металі, виступаючому в ролі катода, лишається гальванічний наліт. Швидкість корозії анодного металу посилюється, в той час як катодному металу потрібен більш тривалий час для погіршення своїх якостей. Гальванічна корозія може виникнути тільки тоді, коли обидва метали поміщені в електроліт, який схильний до корозійного впливу при проходженні через нього струму.

Концентрована корозія. У той час як загальна корозія відбувається по всій поверхні металу, концентрована корозія, також відома як локалізована корозія, з'являється на певній частині металу. Але, на відміну від загальної корозії, концентрована має підвиди:

-Щілинна корозія. Цей тип корозії розвивається в обмежених просторах. Часто зустрічається в місцях застою і недоступності профілактичних герметиків, таких як тріщини, зазори між осередками контакту, ущільнення.

-Точкова корозія. Цей тип корозії виникає, коли невелика область на поверхні металу піддається впливу певної кількості вологи, що призводить до утворення невеликих уражень, або точок, на поверхні матеріалу. Пошкоджену область зазвичай важко виявити, оскільки вона представлена у вигляді крихітних точок і часто виявляється тільки вже після руйнування конструкції.

-Ниткоподібна корозія. Вид корозії, який виникає в тріщинах або під пофарбованими поверхнями, де скупчується рідина. Вона з'являється у вигляді ниткоподібних структур, які розподілені випадковим чином.

#### Високотемпературна корозія

Корозія, що виникає в результаті хімічного впливу на поверхню металу при високих температурах, які зазвичай коливаються до 400 градусів за Цельсієм. Високотемпературна корозія також може відбуватися через карбонізацію високотемпературного окислення.

#### Прискорена корозія

Коли поверхня металу піддається впливу проточної води, верхній шар, який також є захисним оксидним шаром, знищується через швидку течію води.

#### Як захистити метал від корозії

З видами корозії розібралися. На черзі — методи запобігання корозії та боротьби з нею, причому у кожного зі способів захисту металу є свої переваги.

#### Поверхнева обробка металу

Найпростішим і найбільш поширеним способом є механічна обробка сталі. Конструкція забарвлюється емалями і фарбами з високим вмістом алюмінію. В результаті повністю перекривається доступ повітря до металу. Простота і невисока вартість технології є її основною перевагою. До мінусів можна віднести недовговічність покриття і необхідність періодично його оновлювати.

#### Хімічна обробка металу

Відмінним способом захисту сталі від корозії є її обробка спеціальними хімічними сполуками. На поверхні створюється тонка і міцна плівка, наявність якої запобігає проникненню до металу вологи й інших негативних середовищ. Технологія застосовується тільки з використанням спеціальних засобів, а її вартість доступна не кожному власнику металоконструкцій.

#### Металізація і легування

Нанесення шару цинку, хрому, срібла або алюмінію також є відмінним способом обробки сталі та запобігання корозії. Металізація і легування дозволяє створити на поверхні сталі додатковий шар металу, стійкого до впливу навколишнього середовища. Спосіб обробки змінюється в залежності від сплаву, який використовується.

#### Народні засоби

Найпростіший спосіб — використовувати просту водяну пару на розігрітій сталевій поверхні. В результаті взаємодії пари, на поверхні металу виникає оксидна плівка, що захищає від виникнення іржі.

Ще один варіант — нанесення на метали хімічних речовин, активно застосовується в побуті. Підійде навіть простий лак для волосся. Після того як речовина підсохне, виріб необхідно нагріти до температури приблизно в 120 градусів. Метал, оброблений таким чином, не буде реагувати на воду і повітря. Цей спосіб часто застосовують нумізмати. Також такий варіант придатний для захисту кузова автомобіля від гниття.

---