



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ ЗАЛІЗНИЧНОГО
ТРАНСПОРТУ

**МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ
ВИРОБІВ ТРАНСПОРТНОГО
ПРИЗНАЧЕННЯ**

Навчальний посібник

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки,
молоді та спорту України як навчальний посібник
для студентів вищих навчальних закладів*

Харків – 2015

УДК 620.22 (075. 8): 656
ББК 34.431+39.1

М 341

Рекомендовано Міністерством освіти і науки, молоді та спорту України як навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів (№ 1/11-3427 від 18 лютого 2013 р.).

Рецензенти:

професор, д-р фіз.-мат. наук Р.В. Вовк (ХНУ ім. В.Н. Каразіна),
д-р техн. наук В.М. Власовець (ХНТУСГ ім. Петра Василенка)

Авторський колектив:

Л.А. Тимофєєва, С.С. Тимофєєв, І.І. Федченко,
Г.Л. Комарова, В.М. Остапчук

М 341 Матеріали для виготовлення виробів транспортного призначення: Навч. посібник / Л.А. Тимофєєва, С.С. Тимофєєв, І.І. Федченко та ін. – Харків: УкрДУЗТ, 2015. – 173 с., рис. 50, табл. 29.
ISBN 978-617-654-032-8

Посібник містить довідково-допоміжні матеріали до самостійного вивчення теоретичного курсу та виконання курсового проекту.

Розглянуто основні матеріали, які найбільш часто використовують для виготовлення, ремонту та експлуатації виробів транспортного призначення. Велику увагу приділено основним характеристикам сталей з особливими фізико-хімічними властивостями, розглянуто найбільш поширені сфери їх застосування на транспорті.

У зв'язку з розширенням використання неметалевих матеріалів викладено сучасні уявлення про застосування пластмас, стекл, кераміки, композитів, а також детально розглянуті і класифіковані гумотехнічні матеріали і клеї, проаналізовані особливості цих матеріалів з урахуванням їх вживання у виробництві різних виробів транспортного призначення.

Для кращого засвоєння викладеного матеріалу наприкінці кожного розділу подано контрольні запитання для самоперевірки.

Посібник призначений для студентів технічних вузів транспортних спеціальностей, а також може бути корисним магістрам, аспірантам, інженерам та науковцям, що працюють у галузі експлуатації і створення виробів різного призначення.

УДК 620.22 (075. 8): 656
ББК 34.431+39.1

ISBN 978-617-654-032-8

© Український державний університет залізничного транспорту, 2015.

Навчальний посібник

Тимофєєва Ларіса Андріївна,
Тимофєєв Сергій Сергійович,
Федченко Ірина Іванівна
та ін.

**МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ВИРОБІВ
ТРАНСПОРТНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ**

Відповідальний за випуск Федченко І.І.

Редактор Еткало О.О.

Підписано до друку 15.12.14 р.

Формат паперу 60x84 1/16. Папір писальний.

Умовн.-друк.арк. 8,0. Тираж 300. Замовлення №

Видавець та виготовлювач Українська державна академія залізничного транспорту,
61050, Харків-50, майдан Фейербаха, 7.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 2874 від 12.06.2007 р.

**МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ
ВИРОБІВ ТРАНСПОРТНОГО
ПРИЗНАЧЕННЯ**

Навчальний посібник

Харків – 2015

Міністерство освіти та науки, молоді та спорту України
УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЗАЛІЗНИЧНОГО
ТРАНСПОРТУ

Л.А. Тимофеева, С.С. Тимофеев, Г.Л. Комарова, І.І. Федченко,
В.М. Остапчук

**МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ВИРОБІВ
ТРАНСПОРТНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ**

Рекомендовано
Міністерством освіти і науки, молоді та спорту України
як навчальний посібник
для студентів вищих навчальних закладів
напрямків «Рухомий склад залізниць»,
«Теплоенергетика», «Машинобудування»

Харків 2015

Гриф надано Міністерством освіти і науки, молоді та спорту України

Матеріали для виготовлення виробів транспортного призначення: Навч. посібник / Л.А. Тимофєєва, С.С. Тимофєєв, Г.Л. Комарова, І.І. Федченко, В.М. Остапчук. – Харків: УкрДУЗТ, 2015. – 173 с.

Посібник містить довідково-допоміжні матеріали до самостійного вивчення теоретичного курсу та виконання курсового проекту.

Розглянуто основні матеріали, які найбільш часто використовують для виготовлення, ремонту та експлуатації виробів транспортного призначення. Велику увагу приділено основним характеристикам сталей з особливими фізико-хімічними властивостями, розглянуто найбільш поширені сфери їх застосування на транспорті.

У зв'язку з розширенням використання неметалевих матеріалів викладено сучасні уявлення про застосування пластмас, стекл, кераміки, композитів, а також детально розглянуті і класифіковані гумотехнічні матеріали і клеї, проаналізовані особливості цих матеріалів з урахуванням їх вживання у виробництві різних виробів транспортного призначення.

Для кращого засвоєння викладеного матеріалу наприкінці кожного розділу подано контрольні запитання для самоперевірки.

Посібник призначений для студентів технічних вузів транспортних спеціальностей, а також може бути корисним магістрам, аспірантам, інженерам та науковцям, що працюють у галузі експлуатації і створення виробів різного призначення.

Іл. 50, табл. 29, бібліогр.: 37 назв.

Рецензенти:

професори Р.В. Вовк (ХНУ імені В.Н. Карабіна),
В.М. Власовець (ХНТУСГ імені Петра Василенка)

Вступ.....	5
1. Короткі відомості про машинобудівні матеріали та основи їх вибору.....	8
Питання для самоперевірки.....	15
2. Машинобудівні матеріали на основі заліза.....	16
2.1. Конструкційні сталі загального призначення.....	21
2.2. Маркування та класифікація сплавів провідних промислових країн світу.....	34
2.3. Чавуни.....	39
2.4. Конструкційні сталі спеціального призначення.....	48
Питання для самоперевірки.....	70
3. Сплави кольорових металів для машинобудування.....	72
3.1. Мідні сплави.....	72
3.2. Сплави на основі алюмінію.....	81
3.3. Антифрикційні сплави.....	87
3.4. Підшипникові сплави.....	74
Питання для самоперевірки.....	79
4. Матеріали, альтернативні металевим сплавам, виготовлені за нетрадиційною технологією.....	95
4.1. Пластичні маси.....	95
4.2. Термопластичні полімери та пластмаси.....	105
4.3. Термореактивні полімери та пластмаси.....	113
4.4. Композиційні матеріали.....	116
4.5. Порошкові матеріали.....	128
4.6. Кераміка та металокераміка.....	130
Питання для самоперевірки.....	132
5. Неметалеві матеріали.....	134
5.1. Гумові матеріали.....	134
5.2. Клейові і герметизуючі матеріали.....	140
5.3. Припої та технологія одержання паяних з'єднань.....	144
5.4. Інші матеріали.....	149
Питання для самоперевірки.....	150
6. Корозія та методи захисту машинобудівних сплавів.....	152
6.1. Захисні лакофарбові покриття, антикорозійні мастила та інгібітори.....	154
6.2. Олійні лакофарбові матеріали.....	155

6.3. Поліхлорвінілові та перхлорвінілові лакофарбові матеріали.....	157
6.4. Нітроцелюлозні лакофарбові матеріали.....	158
6.5. Антикорозійні мастила та інгібітори.....	159
Питання для самоперевірки.....	160
Бібліографічний список	161
Додаток. Перелік чинних міждержавних стандартів (ГОСТ) з порошкової металургії та твердих сплавів (станом на 1 січня 2011 р.).....	164
Предметний показчик.....	172

ВСТУП

Розвиток промислового виробництва у всіх галузях науки і техніки потребує підвищення якості існуючих і створення нових матеріалів з наперед заданими властивостями. Дивовижний світ різних матеріалів як на Землі, в її надрах, так і в космічному просторі, дає змогу розширювати наші пізнання в цій галузі.

Як видно з даних історії розвитку людського суспільства, люди з найдавніших часів навчилися використовувати метали. Вони знаходили метали в природі або отримували їх з руди, створюючи різні сплави.

У цей час найбільш розвинене виробництво чорних металів і сплавів. Менше використовуються сплави, отримані з кольорових металів, але і їх виробництво постійно зростає. Крім того, вчені та практики створюють нові штучні матеріали, що відзначаються унікальними властивостями. Ці матеріали поєднують малу питому вагу, електричні, магнітні, хімічні властивості з підвищеними характеристиками міцності, тепло- і жаростійкості.

Відомо величезну кількість різноманітних матеріалів, використовуваних при створенні машин і агрегатів для різних галузей народного господарства.

Вибір матеріалу – відповідальний етап, правильно вибраний матеріал визначає якість деталі та машини в цілому. У машинобудуванні для виготовлення деталей машин застосовують чорні та кольорові метали, їх сплави, комбіновані та неметалеві матеріали.

Усі матеріали за хімічною основою діляться на дві основні групи – металеві та неметалеві. До металевих належать метали та їх сплави. Метали становлять понад 2/3 усіх відомих хімічних елементів. У свою чергу металеві матеріали діляться на чорні та кольорові. До чорних належать залізо і сплави на його основі – сталі і чавуни.

Усі інші метали належать до кольорових. Чисті метали характеризуються низькими механічними властивостями порівняно зі сплавами і тому їх застосування обмежується тими випадками, коли необхідно використовувати їх спеціальні властивості. Практичне значення різних металів не однаково. Найбільш часто застосовуються в техніці чорні метали.

На основі заліза виготовляють більше 90 % усієї металопродукції. Проте кольорові метали мають цілу низку цінних фізико-хімічних властивостей, які роблять їх незамінними. З кольорових металів найбільше промислове значення мають алюміній, мідь, магній, титан та ін. Крім металевих, у промисловості значне місце посідають різні неметалеві матеріали – пластмаси, кераміка, гума. Їх виробництво і застосування розвивається в цей час випереджаючими темпами порівняно з металевими матеріалами.

Сучасна техніка, зокрема машини, характеризується складними умовами роботи (високі питомі навантаження, високі швидкості відносного переміщення, високі та низькі температури, агресивні середовища, вакуум та ін.). Ці умови потребують застосування таких матеріалів, які в цих умовах забезпечили б довговічність, надійність деталей машин, механізмів у цілому, а також різного інструменту у поєднанні з невисокою вартістю.

У цей час незважаючи на створення нових композиційних матеріалів металеві сплави залишаються найбільш використовуваними в промисловості й техніці. Поряд з відомими сплавами широко застосовуються нові жаростійкі, жароміцні і корозійностійкі сплави, а також сплави на основі кольорових металів, зокрема алюмінієві і мідні.

Усі ці матеріали, а також пластмаси, композиційні та гумотехнічні вироби, широко використовуються в автомобілебудуванні, на залізничному транспорті та в машинобудуванні в цілому.

У результаті збільшення виробництва кольорових металів значення заліза і його сплавів трохи знижується. Тенденція до неухильного зростання частки виробництва спостерігається тільки для алюмінію, хрому, нікелю, магнію, молібдену і титану.

Такі метали, як хром, марганець, молібден, через їхню недостатню пластичність чи дефіцитність не є самостійними конструкційними матеріалами і входять у сплави як легуючі добавки. Свинець, цинк, олово через їхню недостатню міцність, а магній також унаслідок невисокої корозійної стійкості мають обмежене застосування як конструкційні матеріали і використовуються як захисні покриття. Таким чином, основних металевих конструкційних матеріалів п'ять: залізо (сталь, чавун),

алюміній, мідь, нікель і титан.

У цьому посібнику розглянуто основні матеріалознавчі аспекти різних металів і їх сплавів. Викладено основні характеристики сталей з особливими фізико-хімічними характеристиками, структура і механічні властивості, розглянуто найбільш поширені сфери їх застосування.

Поряд з металевими сплавами все більшого поширення набувають вироби з різних полімерних композиційних матеріалів. У посібнику розглядаються основні характеристики і принципи отримання полімерних композиційних матеріалів. Також детально розглянуто і класифіковано гумотехнічні матеріали і клеї, проаналізовано особливості цих матеріалів з урахуванням їх вживання у виробництві різних виробів транспортного призначення.

Для кращого засвоєння теоретичних знань наприкінці кожного розділу подано контрольні запитання для самоперевірки.

Цей посібник рекомендується студентам вищих технічних навчальних закладів, інженерам і науковцям, що працюють у галузі експлуатації і створення виробів транспортного призначення.

1. КОРОТКІ ВІДОМОСТІ ПРО МАШИНОБУДІВНІ МАТЕРІАЛИ ТА ОСНОВИ ЇХ ВИБОРУ

Призначення матеріалу визначається вимогами конструкції (конструкційні критерії – міцність, довговічність, корозійні властивості тощо) і можливістю переробки у виріб (технологічні критерії – коефіцієнт оброблюваності різанням, зварювання та обробки тиском і т.п.).

Вибір матеріалу з використанням класифікації здійснюється за двома основними критеріями. У загальному випадку матеріали класифікують за трьома основними різновидами: металеві, неметалеві, композиційні. За геометричними ознаками матеріали і речовини розподіляють за видом напівфабрикатів: листи, профілі, гранули, порошки, волокна тощо. Оскільки матеріал того чи іншого напівфабрикату виготовляється за різною технологією, застосовують поділ за структурою. Розрізняють чорну та кольорову металургію. До матеріалів чорної металургії належать сталі, чавуни, феросплави та сплави на основі заліза, леговані кольоровими металами, кількість яких переважає кількість сталі. До матеріалів кольорової металургії належать найважливіші кольорові метали – алюміній, мідь, цинк, свинець, нікель, олово та сплави на їх основі. До металевих матеріалів належать і матеріали порошкової металургії. Неметалеві матеріали розподіляють за основними класами: гума, кераміка, скло, пластичні маси.

Композиційні матеріали – складні або складові матеріали, що складаються з двох різних матеріалів (наприклад, скла і пластмаси – склопластики) класифікують за типом структури, матеріалом матриці, призначенням і способом виготовлення. Більш докладно класифікація матеріалів буде викладена нижче. Технічні матеріали класифікують за призначенням: матеріали приладобудування, машинобудівні матеріали, і більш детально, наприклад, сталі для суднобудування або мостобудування. У науковому аспекті матеріали поділяють за типом структури: аморфні, кристалічні, гетерофазні. При виборі матеріалу для тієї чи іншої деталі або конструкції враховують економічну доцільність його застосування.

Вартість технічного матеріалу пов'язана з витратами на його виробництво і рівнем запасів його в промисловому та державному резервах, з вмістом у земній корі речовин і елементів, необхідних для його виробництва. Тому такі важливі знання інженера про вміст елементів і речовин у земній корі. Останніми роками в класифікації машинобудівних матеріалів застосовують параметри питомої міцності та енергозатрат виробництва матеріалів. Вони показують, що найкращі поєднання властивостей для машин мають титан і алюміній.

Ресурсозбереження в промисловості передбачає підвищення потужності машин, що випускаються, якості, надійності, економічності, конкурентоспроможності й продуктивності обладнання та інших виробів машинобудування. При цьому передбачається зменшення їх габаритів, металомісткості, енергоспоживання і зменшення їх собівартості.

Для цього має бути вирішено питання про розширення і систематичне оновлення номенклатури та асортименту конструкційних матеріалів, впровадження високоефективних методів підвищення їх міцнісних властивостей, корозійно- і зносостійкості; збільшення виробництва нових композитних конструкційних матеріалів; виробів на основі порошкової металургії, порошків-сплавів, що заміняють чорні і кольорові метали, широке застосування малоопераційної і безвідходної технології, а також прогресивної технології обробки – електронно-променевої, лазерної, електроерозійної, плазмово-механічної.

При виборі матеріалу перш за все враховують експлуатаційні, технологічні та економічні вимоги, що ставляться до деталі.

Експлуатаційні вимоги до матеріалу визначаються умовами роботи деталі в механізмі. Для виконання цих вимог ураховуються такі властивості матеріалу:

- **міцність** – здатність матеріалу чинити опір руйнуванню або появі залишкових деформацій;
- **зносостійкість** – здатність матеріалу чинити опір зносу, не втрачаючи своїх лінійних розмірів та ваги;
- **жорсткість** – здатність матеріалу чинити опір пружним деформаціям;

- **пружність** характеризується межею пружності і модулем пружності;

- **антифрикційність** характеризується коефіцієнтом тертя ковзання f .

Спеціальні характеристики:

- **електропровідність;**

- **теплопровідність;**

- **корозійна стійкість;**

- **жароміцність** та ін.

Технологічні вимоги до матеріалу визначають можливість виготовлення деталей з мінімальними трудовитратами.

При виготовленні деталей методами обробки тиском (штампування, пресування і т.д.) враховують **пластичність** – властивість матеріалу отримувати без руйнування значні залишкові деформації; при виготовленні литтям враховують **легкоплавкість** і **рідкоплинність** – наповненість без пористості вузьких виливниць різних форм; при виготовленні методами механічної обробки враховують **оброблюваність різанням**. До технологічних вимог відносять також **термооброблюваність** – здатність матеріалу змінювати механічні властивості при термічній (загартування, відпуск, відпал) і термохімічній (цементация, азотування тощо) обробках і **зварюваність** – здатність матеріалу утворювати міцні з'єднання при зварюванні.

Економічні вимоги до матеріалу визначаються його вартістю і дефіцитністю. Більш вагомим економічним вимогою є собівартість деталі, яка містить як вартість матеріалу, так і виробничі витрати на її виготовлення. Виробничі витрати значною мірою залежать від технологічного процесу виготовлення деталі. Наприклад, при масовому і великосерійному виробництвах дешевше виготовляти деталі штампуванням, пресуванням, за допомогою лиття, а при одиничному або дрібносерійному виробництві ці технології через велику вартість оснастки (штампи, прес-форми, ливарні форми) дуже дорогі, тут вигідніше застосовувати деталі, отримані за допомогою механічної обробки. Вибір технології виготовлення деталі впливає і на вибір матеріалу.

Вартість матеріалів, з яких виготовляють машину, становить 30 – 60 % повної вартості машини. Економію на вартості

матеріалів можна отримати як шляхом зменшення кількості потрібного матеріалу на машину, так і шляхом заміни дорогого матеріалу більш дешевим. Але не завжди дешевий матеріал виявляється вигіднішим, ніж дорожчий. Наприклад, щоб виготовити невелику шестірню з чавуну, необхідно спочатку зробити модель, відформувати її, залити чавуном і обточити отриманий відливок; швидше, простіше і дешевше буде відрізати диск потрібної товщини від круглої сталевий заготовки відповідного діаметра і для отримання шестірні обробити його на верстаті.

При застосуванні литва необхідно мати на увазі, що якщо взяти вартість 1 т виливків із сірого чавуну за одиницю, то для вартості різного виду литва орієнтовно приймають таке співвідношення: сірий чавун – 1, сталеве литво – 2, ковкий чавун – 2 і бронзове литво – 8.

При проектуванні деталей зубчастих передач найбільш відповідальний момент у рішенні – правильний вибір матеріалу для сполученої пари зубчастих коліс.

У практиці машинобудування зубчасті колеса для силових передач, як правило, виготовляють з вуглецевих і легованих сталей різних марок. Зубчасті колеса із чавуну застосовуються тільки в слабо-навантажених маловідповідальних передачах.

Зубчасті колеса з кольорових металів (з бронзи) застосовують головним чином при виготовленні черв'ячних коліс і в основній комбінованій конструкції: зубчастий вінець виготовляють з бронзи, маточину – з чавуну і сталі.

Пластмаси також застосовуються відносно рідко і головним чином для передач, що працюють в агресивних середовищах. Зубчасті колеса з вуглецевих конструкційних сталей застосовують у менш відповідальних випадках, а з легованих сталей – в середньонавантажених і важконавантажених передачах, що працюють з великими динамічними та ударними навантаженнями.

Слід зауважити, що зубчасті колеса з вуглецевих сталей, підданих тільки нормалізації і деякому поліпшенню, мають зазвичай невисоку контактну міцність. Тому такі колеса використовують лише в одиничному і дрібносерійному

виробництві. Високу навантажувальну здатність мають зубчасті колеса з твердою поверхнею зубів і в'язкою їх серцевиною.

Такими вони виходять при виготовленні з вуглецевих або легованих сталей після проведення відповідної термічної обробки, пов'язаної з цементацією, азотуванням або ціануванням, та поверхневим загартуванням зубів. При об'ємному загартуванні зуби будуть мати знижену в'язкість серцевини, а тому погано чинитимуть опір ударним навантаженням.

З технологічних та економічних міркувань колеса малих і середніх розмірів виконують з поковок або прокату.

Колеса діаметром більше 500 мм рекомендується виготовляти зі сталевого литва (35Л, 40Л, 50Л), застосовуючи їх у парі з кованою шестірнею.

Призначаючи матеріал, потрібно прагнути отримати однакову міцність зубів шестірні і колеса.

Зуби шестірні зазвичай мають менше значення коефіцієнта форми зуба і працюють у передаточне число разів інтенсивніше, ніж зуби колеса передачі.

Тому для шестірні необхідно призначати матеріал з більш високими механічними характеристиками, твердість матеріалу на поверхні зубів шестірні рекомендується приймати на 20 – 50 одиниць НВ вище від твердості поверхні зубів колеса.

Вибираючи тип заготовки та матеріал для виготовлення деталей фахівець повинен іти шляхом найменших витрат на виготовлення машини і чітко уявляти технологічний процес її виготовлення.

Якщо, наприклад, закладається поверхнева термічна або хіміко-термічна обробка зубів шестірні, то на підприємстві-виробникові повинно бути обладнання для виконання такої обробки (піч ТВЧ або піч газового азотування), а також обладнання для шліфування зубів після загартування (зубошліфувальний верстат). Це робить значно дорожчим процес виготовлення та зменшення габаритів машини, що досягається, і може виявитися непорівнянним зі здійсненими витратами.

Виходячи з того, що за кресленнями студента передбачається разове виготовлення машини, рекомендується на початковому етапі проектування вибирати для виготовлення зубчастих передач і валів рядові конструкційні сталі (35; 45; 50)

або малолеговані сталі (40X; 40XH; 35XM) і вводити щадну термообробку (поліпшення HB 210 – 230 або HB 260 – 290).

При проектуванні черв'ячних передач важко обійтися без використання бронзових виливків для виготовлення вінців черв'ячних коліс, але і тут бажано по можливості використовувати стандартний прокат з кольорових металів.

Останнім часом отримано в'язкий стан абсолютно крихких тіл. Матеріалом такого типу є гексаніт Р, який набагато перевершує карбідно-вольфрамові тверді сплави.

Широко застосовуються в машинах пластмаси, які виготовляються без зняття стружки, де в 5 разів менша трудомісткість виготовлення і кількість відходів.

Алюмінієві порошки, розпорошені плазмотроном на поверхні деталі, збільшують термін служби у 2 – 3 рази і захищають від корозії.

Застосування біметалевих матеріалів для деталей раціональної пустотілої форми збільшує контактну міцність, при цьому маса деталі зменшується у 2 рази.

Науково-технічний прогрес у машинобудуванні тісно пов'язаний зі створенням нових конструкційних матеріалів.

Для підвищення якості, надійності виробу з одночасним ресурсозбереженням розробляються ефективні методи підвищення міцності, корозійної стійкості, тепло- і холодостійкості сплавів.

Розширено виробництво нових полімерних і композиційних матеріалів із заданими властивостями.

Так, наприклад, іонна імплантація знижує точкову корозію, поверхневе легування приводить до економії дорогих сталей.

Якщо питома міцність поліпшеної сталі 40X становить 130 МПа, то для титанового сплаву становить до 310 МПа, а для композиційного матеріалу на основі алюмінію, армованого борним волокном, до 430 МПа.

Таким чином, підвищення питомої міцності призводить до значного скорочення металомісткості виробу.

Основні машинобудівні матеріали. Матеріали мають вирішальне значення для якості й економічності машин. Вибираючи матеріал, необхідно враховувати такі фактори (табл. 1.1):

Таблиця 1.1

Критерії оцінки матеріалів

Експлуатаційні вимоги	Виробничі фактори	Економічні показники	Механічні властивості	Технологічні властивості
1. Міцність	1. Серійність виробу	1. Доступність і вартість матеріалу	1. Межа плинності	1. Оброблюваність різанням
2. Жорсткість	2. Необхідна точність виготовлення деталей і складання вузлів	2. Витрати на проектування	2. Межа міцності	2. Рідкоплинність
3. Зносостійкість	3. Наявність обладнання для отримання заготовок за передовою технологією	3. Витрати на виготовлення	3. Відносне подовження	3. Ливарні усадки
4. Теплостійкість	4. Наявність різального інструменту і метало-обробного обладнання	4. Експлуатаційні витрати	4. Модуль пружності	4. Деформованість (пластичність)
5. Вібростійкість	5. Наявність хіміко-термічних і зміцнювальних установок	5. Витрати на ведення НДР	5. Модуль зсуву	5. Зміцнюваність
6. Сійкість	6. Наявність дослідницької бази	6. Витрати на розроблення перспективних конструкцій	6. Коефіцієнт Пуассона	6. Зварюваність
7. Корозійна стійкість		7. Витрати на придбання ліцензії на виробництво машин або наукоємної технології	7. Твердість HB, HRC, HV.	7. Пластичність
8. Жаростійкість			8. Модуль об'ємної пружності	8. Флокенечутливість
9. Холодостійкість			9. Питома міцність	9. Відпускатна хрупкість
10. Теплопровідність				
11. Електропровідність				
12. Магнітна проникність				
13. Довговічність				
14. Надійність				

- 1) відповідність властивостей матеріалу основним вимогам надійності деталей протягом заданого терміну служби;
- 2) вагові та габаритні вимоги до деталі та машини в цілому;
- 3) відповідність технологічних властивостей матеріалу конструктивній формі і запланованому способу обробки деталі (штампованість, оброблюваність на верстатах і т.д.);
- 4) вартість і дефіцитність матеріалу.

Для виготовлення деталей транспортного призначення застосовують різні матеріали: сталь, чавун, сплави кольорових металів, пластмасу, гуму. Властивості, позначення цих матеріалів, приклади застосування розглянуто в інших розділах посібника.

Питання для самоперевірки

1. Які вимоги перш за все висуваються до деталі при виборі матеріалу?
2. Які властивості матеріалу належать до експлуатаційних?
3. Що визначають технологічні вимоги до матеріалу?
4. Які властивості матеріалів враховують при різних технологічних обробках?
5. Якими факторами визначаються економічні вимоги матеріалу?
6. Яким шляхом можна отримати економію вартості матеріалів?
7. Які фактори необхідно враховувати вибираючи матеріал?
8. Назвіть критерії оцінки матеріалів.
9. Обґрунтуйте вибір матеріалу для виготовлення зубчастих коліс.
10. Обґрунтуйте вибір матеріалу для виготовлення черв'ячних передач.

2. МАШИНОБУДІВНІ СПЛАВИ НА ОСНОВІ ЗАЛІЗА

Без металів неможливий сучасний матеріальний розвиток сучасної цивілізації. Рівень народного господарства значною мірою визначається виробництвом і раціональним використанням металів і сплавів. Метали і сплави сьогодні є основними конструкційними матеріалами для машинобудування, транспорту, будівництва, сантехнічного устаткування, хімічної промисловості й інших галузей народного господарства. Значення властивостей металів і сплавів та прогнозування їх поведінки в різних умовах дають змогу зробити правильний вибір металу для апарата чи машини, що забезпечує їхню надійну і безвідмовну експлуатацію.

Метали — це хімічні елементи, характерними ознаками яких є висока тепло- й електропровідність, пластичність та міцність.

М.В. Ломоносов метали визначав як “світлі тіла, які ковать можна”. Це визначення не втратило значення і тепер. Отже, властивість пластично деформуватись без руйнування — одна з головних ознак металів.

Зі 107 елементів періодичної системи Д.І. Менделєєва 83 становлять метали. З них найбільше поширення в земній корі мають наведені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Вміст металів у земній корі

Метал	Відсоток до ваги земної кори	Метал	Відсоток до ваги земної кори	Метали	Відсоток до ваги земної кори
Алюміній	8,8	Натрій	2,6	Титан	0,6
Залізо	5,1	Калій	2,6	Марганець	0,09
Кальцій	3,6	Магній	2,1	Мідь	0,01

Кількість інших металів невелика й загалом не перевищує 2,0 %. Такі важливі для техніки метали, як цинк, олово, свинець, нікель, кобальт, вольфрам, ванадій, молібден, уран, містяться в земній корі в тисячних частках відсотка.

Широко розповсюджені хімічно активні кальцій, натрій і

калій не можуть бути основою для створення конструкційних матеріалів. У техніці найбільше застосування мають залізо, алюміній, мідь, свинець, цинк, олово, нікель. Це так звані технічні метали.

Деякі метали, наприклад марганець, використовуються як добавки для утворення сплавів. Хімічно стійкі срібло, золото, платина, ртуть належать до групи благородних металів.

Велику роль у народному господарстві відіграють сплави металів, тому що вони мають більш високі механічні і технологічні властивості, ніж чисті метали, з яких вони складаються.

У техніці найчастіше застосовуються сплави на основі заліза, так звані чорні метали (чавун, сталь), і сплави кольорових металів на основі міді, алюмінію, свинцю, цинку, олова, нікелю. Деякі сплави роблять на основі вольфраму, титану, ванадію, молібдену й інших металів.

Вимоги до металів ставляться в залежності від їхнього призначення. Наприклад, метал рейок і бандажів повинен бути міцним і стійким проти зносу, метал ресор – пружним, метал заклепок – пластичним, електропроводи повинні добре проводити електричний струм, метал зварених конструкцій добре зварюватися і не зазнавати загартування, а метал деталей, що працюють в агресивних середовищах, добре чинити опір корозії. Властивості металів поділяють на фізичні, хімічні, механічні і технологічні. До фізичних властивостей належать колір, щільність, плавкість, електро- і теплопровідність, теплоємність, магнітні й інші властивості. Хімічними властивостями металів є окисність, розчинність, корозійна стійкість, жаростійкість (окалиностійкість). Метали легко вступають у взаємодію з неметалами, віддаючи валентні електрони. Це пояснюється тим, що в металах усі валентні електрони неміцно зв'язані з ядром і число їх велике. Ці ж властивості металу лежать в основі електричної провідності, тому що електрони, заряджені негативно, створюють незначну різницю потенціалів, що забезпечує їх переміщення до позитивно зарядженого полюса і тим самим викликає появу електричного струму. Таким чином, слабкий зв'язок валентних електронів з ядром визначає фізичні і хімічні властивості металів. Метали, як правило, добре проводять

електрику і теплоту, мають характерний блиск, непрозорі, пластичні. Такі ж властивості мають і металеві сплави – більш складні речовини, що складаються з декількох металів і неметалів. До механічних властивостей металів належать міцність, пружність, пластичність, в'язкість, твердість. Основні фізичні і механічні властивості найважливіших металів наведені в табл. 2.2.

Таблиця 2.2

Фізичні і механічні властивості деяких металів (МПа=0,1 кг/мм)

Метал	Щільність, ρ , кг/м ²	$t_{\text{плав}}$, С ⁰	$t_{\text{кип}}$, С ⁰	Межа міцності σ_y , МПа	Відносне подовження, δ , %	Твердість за Бригеллем, НВ	Коеф. лінійного розширення, $\lambda \times 10^6$
Залізо	7860	1539	2380	300	21-55	50-70	11,5
Алюміній	2700	660	2500	80-110	40	20-30	23,1
Мідь	8930	1083	2600	220	60	35	16,5
Магній	1740	651	110	170-200	10-12	25-30	25,7
Нікель	8900	1455	3080	400-500	40	60	13,9
Титан	4500	1665	3260	300-550	20-30	100	1,2
Молібден	10200	2620	4800	800-1200	46	150-160	5,8-6,2

Кольорові метали розділяють на легкі (берилій, магній, алюміній), благородні (срібло, золото, платина та ін.), легкоплавкі (цинк, кадмій, ртуть, олово, свинець, вісмут, талій, сурма, галій, германій).

Залізо – це метал сіруватого кольору, атомна маса якого становить 55,85, а атомний радіус – 0,127 нм. Температура плавлення 1539 °С. У твердому стані залізо має кристалічну ґратку, для якої характерні два можливі стани, які називаються поліморфною модифікацією і позначаються як Fe- α і Fe- γ . Існування цих модифікацій залежить від температури нагрівання.

Для Fe- α характерна об'ємцентрична кубічна ґратка, яка існує при температурах менш $T \leq 910$ °С і в діапазоні $T = 1392-1539$ °С. У діапазоні температур $T = 910 - 1392$ °С залізо існує у формі Fe- γ .

Вуглець є неметалевим елементом, який розчиняється в залізі як у рідкому, так і твердому станах. Найчастіше система Fe-

С існує у вигляді рідкого сплаву або твердого розчину. Твердими розчинами називають такі фази, у яких один з компонентів зберігає свою кристалічну структуру, а атоми інших компонентів наявні в ґратці першого, змінюючи її розміри. Розрізняють тверді розчини заміщення і впровадження.

Твердий розчин вуглецю та інших домішок у Fe- α називається **феритом**. Вуглець при цьому розміщується в центрі межі куба, у якому може поміститися сфера радіусом $0,29 R$, де R – атомний радіус заліза.

Розчин вуглецю та інших домішок у Fe- γ називають **аустенітом**. Атом вуглецю при цьому розміщується в центрі куба зі вписаною сферою радіусом $0,41 R$. Аустеніт характеризується високою пластичністю і низькою міцністю.

Найбільш поширеними сплавами на основі заліза є сталь і чавун, які являють собою тверді розчини (сплави) заліза Fe з вуглецем С.

Сталь — сплав заліза з вуглецем, який містить до 2,14 % вуглецю. За вмістом вуглецю сталі поділяють на дві групи: м'яка сталь, або технічне залізо (містить до 0,3 % вуглецю), тверда сталь (містить від 0,3 до 2,14 % вуглецю).

Якщо вміст вуглецю в розчині більше 2,14 %, то сплав називається **чавуном**.

Межа поділу чавуну і сталі відповідає граничній розчинності вуглецю в аустеніті. Сталі після затвердіння не містять крихкої структурної складової і при високому нагріванні мають тільки аустенітну структуру, яка має високу пластичність. Через це сталі легко деформуються при нормальних і підвищених температурах, тобто є ковкими матеріалами. На відміну від сталей чавуни характеризуються крихкістю, але мають гарні ливарні властивості, у тому числі більш низькі температури плавлення.

Конструкційна сталь повинна мати і гарні технологічні властивості: добре оброблятися тиском і різанням, бути несхильною до шліфувальних тріщин, мати високу прогартовуваність і малу схильність до зневуглецювання, деформацій і тріщин при загартуванні.

Сталі промислового виробництва, крім заліза і вуглецю, у своєму складі містять певну кількість домішок та інших

елементів. Це зумовлено технологією виробництва сталі (наприклад, Mn до 0,9 %, Si до 0,35 % для розкиснення), неможливістю їх повного видалення (S та P до 0,05 %; O, N, H), а також наявністю у вихідних матеріалах шихти (Cr, Ni, Cu тощо). Домішки також поділяють на постійні (Si, Mn, S, P), приховані (N, O, H), випадкові (Cu, Al, W, Ni) і спеціальні (вуглець і легуючі елементи). Сірка і фосфор знижують механічні властивості сталей: сірка збільшує крихкість у гарячому стані (червоноламкість), а фосфор – при знижених температурах (холодноламкість).

Найчастіше сталі класифікують за трьома ознаками:

- за хімічним складом;
- за способом виробництва;
- за призначенням.

За хімічним складом конструкційні сталі поділяються на два класи: **вуглецеві і леговані**.

У загальному обсязі продукції машинобудування продукція зі сталі звичайної якості (ГОСТ 380-94) та якісної (ГОСТ 1050-74), а також легованої (ГОСТ 4543-71) становить майже 80 %. Вона дешева і має задовільні механічні властивості в поєднанні з гарною оброблюваністю різанням і тиском.

Вуглецеві сталі є найбільш поширеними. Їх виробництво доходить до 80 % від загального обсягу виробництва всіх сталей.

Вуглецеві сталі, залежно від вмісту вуглецю, діляться на три групи:

- низьковуглецеві сталі із вмістом C – 0,3 %;
- середньовуглецеві сталі із вмістом C – 0,3-0,5 %;
- високовуглецеві сталі, що містять більше 0,5 % C.

Леговані сталі – це сталі, у які уведено спеціальні елементи, що значно змінюють їх властивості.

Леговані сталі за загальним вмістом легуючих елементів також можна розділити на три групи:

- низьколеговані сталі, у яких легуючих елементів до 3 %;
- середньолеговані сталі, у яких легуючих елементів 3-10 %;
- високолеговані сталі, у яких легуючих елементів більше 10 %.

Класифікація сталей за способом виробництва визначається умовами металургійного виробництва і насамперед контролем хімічного складу та вмісту в них шкідливих домішок.

1. **За способом виробництва:** конвертерні (бесемерівські, томасівські, кисневі), мартенівські, електропічні.

2. **За вмістом вуглецю:**

- низьковуглецеві ($C \leq 0,25 \%$);
- середньовуглецеві ($C = 0,25-0,7 \%$; $\approx 20 \%$ фериту та 80% перліту);

- високовуглецеві ($C \geq 0,7 \%$).

3. **За якістю** сталі ділять на звичайні, якісні, високоякісні та особливо високоякісні. Різниця між ними полягає в кількості шкідливих (сірка і фосфор) домішок. Так, у сталях звичайної якості допускається вміст сірки до $0,06 \%$ і фосфору до $0,07 \%$; в якісних – кожного елемента не більше $0,035 \%$; а у високоякісних – не більше $0,025 \%$.

2.1. Конструкційні сталі загального призначення

2.1.1. Сталі звичайної якості

Конструкційні вуглецеві сталі звичайної якості широко застосовуються при виготовленні конструкцій масового призначення в будівництві та машинобудуванні, як відносно дешеві, технологічні і такі, що характеризуються необхідними властивостями. В основному ці сталі використовують у гарячекатаному стані без додаткової термічної обробки з феритно-перлітною структурою. Сталі звичайної якості маркуються літерами Ст і цифрами від 0 до 6 (умовний номер марки сталі). Більше число відповідає більшому вмісту вуглецю, підвищенню міцності і зниженню пластичності. До цієї групи належать вуглецеві сталі із вмістом вуглецю до $0,6 \%$, при виробництві яких не ставляться високі вимоги до шихти, процесів плавлення і розливання. У результаті цього сталі містять більшу кількість шкідливих домішок: сірки до $0,06 \%$, фосфору до $0,08 \%$.

Хоча фосфор традиційно вважається шкідливою домішкою, що викликає холодноламкість сталі, проте у 1930 р. у США з'явилася атмосферостійка низьковуглецева сталь "кортен", яка містить малу кількість міді, хрому, нікелю і підвищену (до 0,15 %) кількість фосфору. Виявилось, що при спільній взаємодії міді, нікелю і фосфору, а також хрому з киснем, вуглекислим газом і парами води утворюються важкорозчинні сполуки, які входять до складу окисної плівки, яка захищає сталь від подальшого окиснення. Захисний шар формується протягом півтора-трьох років, і після цього руйнування сталі від атмосферної корозії практично припиняється.

До недоліків таких сталей варто віднести те, що захисна плівка захищає сталь від окиснення при температурах не нижче -10 °С. У знаменитій "Делійській колонії", яка не зазнає корозії вже протягом більше 1500 років, останнім часом також виявлена підвищена кількість міді і фосфору.

Сталі звичайної якості мають, крім того, підвищену кількість неметалевих включень. Якщо в марці сталі відсутній підрядковий індекс, то сталь розкиснена алюмінієм, марганцем та кремнієм і вважається спокійною (сп). Підрядковий індекс у марці сталі не свідчить про те, що сталь розкиснена алюмінієм і марганцем і належить до напівспокійної (СтЗнс). Підрядковий індекс у марці сталі кп вказує на те, що сталь розкиснена тільки марганцем (Ст5 кп) – називається кипляча. Поруч з номером марки вказують ступінь розкиснення сталі: кп – кипляча сталь, пс – напівспокійна сталь, сп – спокійна сталь. Сталі звичайної якості діляться на три групи: А, Б, В.

Група А – постачаються з певними регламентованими механічними властивостями. Їх хімічний склад не регламентується. Ці сталі застосовуються в конструкціях, вузли яких не зазнають гарячої обробки – куванням, гарячим штампуванням, термічною обробкою тощо. У зв'язку з цим механічні властивості гарячекатаної сталі зберігаються, використовуються в такому стані, в якому їх виготовив металургійний завод. Марки – від Ст 0 до Ст 6. Літера А в марках групи не ставиться.

Група Б – постачаються з певним регламентованим хімічним складом, без гарантії механічних властивостей. Ці сталі

застосовуються у виробках, що зазнають гарячої обробки тиском (кування, штампування), технологія якої залежить від їх хімічного складу, а кінцеві механічні властивості визначаються самою обробкою. Марки – БСт1кп; БСт3пс до БСт6сп, МСт3 – мартенівська, КСт6 – конвертерна тощо. Наприклад, Сталь БСт0кп. Ст – сталь звичайної якості, постачається з гарантованим хімічним складом, кипляча, 0 – порядковий номер. Із збільшенням величини порядкового номера вміст вуглецю зростає, але ця цифра не означає вміст вуглецю в сталі (табл. 2.3).

Таблиця 2.3

Склад сталей загального призначення групи Б, %

Марка сталі	Вміст, %		Марка сталі	Вміст, %	
	С	Mn		С	Mn
Ст0	< 0,23	–	Ст4	0,18 – 0,27	0,40 – 0,70
Ст1	0,06 – 0,12	0,25 – 0,50	Ст5	0,28 – 0,37	0,50 – 0,80
Ст2	0,09 – 0,15	0,25 – 0,50	Ст3	0,38 – 0,49	0,50 – 0,80
Ст3	0,14 – 0,22	0,30 – 0,65			

Група В – постачаються з регламентованими механічними властивостями і хімічним складом. Ці сталі застосовуються для виготовлення зварних конструкцій. Їх зварюваність визначається хімічним складом, а механічні властивості поза зоною зварювання визначені в стані постачання. Такі сталі застосовують для найвідповідальніших деталей. Марки - ВСт1 до ВСт6.

Кращі сталі групи В. Гірші – групи А.

Вуглецеві сталі звичайної якості за ГОСТ 380-94 з позначенням Ст призначені для виготовлення гарячекатаного прокату: сортового, фасонного, товсто- і тонколистового, ширококутового (холодного тонколистового), а також злитків, блюмів, слябів, сутунки, катаної і литої заготовок, труб, поковок і штамповок, стрічок, дроту, метизів, малонавантажених деталей, металоконструкцій, будь-яких корпусних деталей і так ін. (табл. 2.4).

Таблиця 2.4

Галузь застосування вуглецевих сталей звичайної якості

Марка сталі	Призначення
-------------	-------------

Ст.0	Невідповідальні нерозрахункові другорядні елементи зварних конструкцій, настили, огорожі, перила, кожухи, обшивки
Ст.1	Деталі високої в'язкості та низької твердості, анкерні болти, обшивки, невідповідальна арматура, заклепки
Ст.2кп	Невідповідальні деталі, що потребують підвищеної пластичності або глибокої витяжки і працюють при додатних температурах
Ст.2пс, Ст.2сп	Малонавантажені елементи зварних конструкцій, що працюють при постійних навантаженнях
Ст.3пс, Ст.3сп	Несучі елементи зварних конструкцій, фасонного металопрокату, деталі, що працюють при додатних температурах
Ст.3пс5, Ст.3сп5, Ст.3Гпс5	Фасонний і листовий прокат товщиною до 25 мм для несучих елементів зварних конструкцій, що працюють при змінних навантаженнях в інтервалі температур від -30 до +425 °С.
Ст.3пс2, Ст3кп2, Ст3пс4, Ст3сп4	Кутики рівнополичні і нерівнополичні, швелери та фасонні профілі
Ст5пс, Ст5сп	Деталі клепаних конструкцій, болти, гайки, ручки, тяги, важелі, упори, стержні, пальці та інші деталі, що працюють при температурі 0 – 425 °С

2.1.2. Якісні сталі

На частку вуглецевих сталей припадає 80 % від загального обсягу. Це пояснюється тим, що вуглецеві сталі дешеві і

поєднують задовільні механічні властивості з хорошою оброблюваністю різанням і тиском. При однаковому вмісті вуглецю за оброблюваністю різанням і тиском вони значно перевершують леговані сталі. Однак вуглецеві сталі менш технологічні при термічній обробці. Через високу критичну швидкість гартування вуглецеві сталі охолоджують у воді, що спричиняє значні деформації і викривлення деталей. Крім того, для отримання однакової міцності з легованими сталями їх слід піддавати відпуску при більш низькій температурі, тому вони зберігають більш високі гартівні напруги, знижують конструкційну міцність.

За хімічним складом це вуглецеві та леговані сталі, які виплавляються з дотриманням більш високих вимог до складу шихти, процесів плавлення і розливання. Вміст сірки і фосфору в якісних сталях не повинен перевищувати (залежно від марки) 0,035 % кожного. Коливання за вмістом вуглецю в межах марки не повинні перевищувати 0,08 %.

Якісні вуглецеві сталі містять $S < 0,040 \%$ і $P < 0,040 \%$.

Маркуються цифрами від 05, 08, 10, 15 30 – до 85 тощо. Цифри в марках сталей визначають вміст вуглецю в сотих частках відсотка. Наприклад, сталь 45 – якісна конструкційна сталь із вмістом вуглецю 0,45 %. Мікроструктура конструкційних сталей наведена на рис. 2.1.

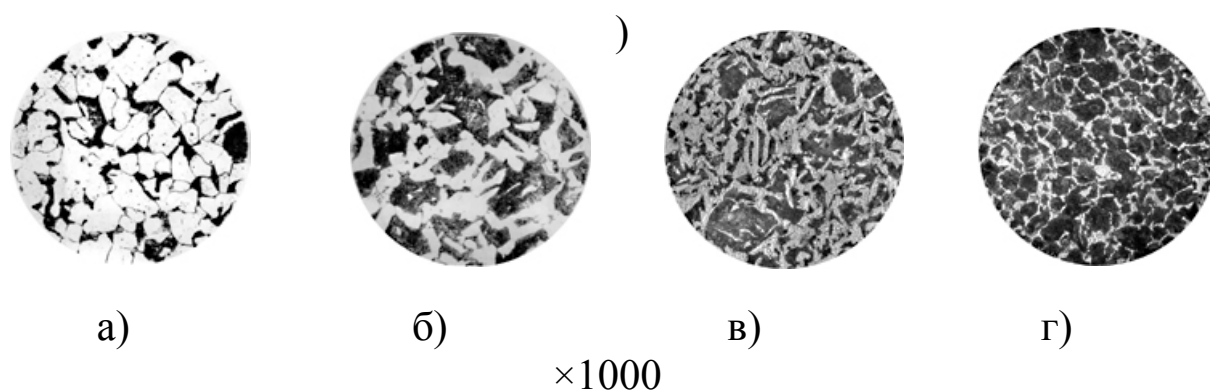


Рис. 2.1. Мікроструктура конструкційних сталей:

а – Сталь 20; б – Сталь 35; в – Сталь 45; г – Сталь 60

Низьковуглецеві сталі Сталь 05кп, 08кп, 08пс, 08, 10кп, 10пс, 10, 15кп, 15пс, 15, 20кп, 20пс, 20, 25, 15Г, 20Г, 25Г (ГОСТ 1050-74) застосовуються для виготовлення шайб, заклепок, кришок, болтів, фланців, вилок, муфт, втулок, косинок, штуцерів

теплообмінних апаратів. Після цементації і ціанування застосовують для виготовлення втулок, осей ланок ланцюга, болтів, гайок, гвинтів, шестерень, черв'яків, шпинделів, зірочок та інших деталей з високою твердістю і зносостійкістю поверхонь.

Вуглецева сталь часто не відповідає вимогам сучасного машинобудівного та інструментального виробництва. У таких випадках використовують леговану сталь (табл. 2.5).

Таблиця 2.5

Фізико-механічні характеристики вуглецевої і легової конструкційних сталей

Марка сталі	σ^B , МПа	σ^T , МПа	НВ
1	2	3	4
<i>Сталь вуглецева звичайної якості</i>			
Ст2	340	220	133
Ст3	380	240	132
Ст4	420	260	152
Ст5	500	280	160
Ст6	600	310	200
<i>Сталь вуглецева якісна конструкційна</i>			
10	333	206	137
15	373	226	143
20	412	245	156
25	451	275	170
30	490	294	179
35	490	260	187
40	530	265	190
45	580	290	200
50	590	310	210

Продовження табл. 2.5

1	2	3	4
<i>Відливки з вуглецевої сталі</i>			

35Л	490	274	>143
40Л	520	294	>147
45Л	540	314	>153
50Л	569	333	>174
55Л	589	343	155-217
<i>Сталь легована конструкційна</i>			
30ХГС	981-795	835-637	229-215
35Х	934-686	736-441	241 -90
40Х	981-686	785-441	241-190
40ХН	981-736	785-550	250-220

Легованими називають сталі, до складу яких для надання їм спеціальних властивостей вводять легуючі елементи. Як легуючі елементи, як правило, використовують: хром (Cr), кремній (Si), нікель (Ni), ванадій (W), алюміній (Al), марганець (Mg) та ін. Вони по-різному впливають на властивості сталі: марганець підвищує міцність і зносостійкість; кремній збільшує пружні характеристики сталі; хром підвищує корозійну стійкість, твердість, міцність, жароміцність; нікель знижує коефіцієнт лінійного розширення, підвищує міцність і зносостійкість; вольфрам і молібден підвищують міцність і твердість, покращують різальні властивості при підвищеній температурі.

Сталі, у яких сумарний вміст легуючих елементів не перевищує 2,5 %, називаються низьколегованими; якщо вміст легуючих елементів складає 2,5 ...10 % - це леговані сталі, а якщо легуючих добавок більше 10 %, то такі сталі називають високолегованими.

Вміст вуглецю в легованих конструкційних сталях у межах 0,25-0,50 %.

Мікроструктура легованих сталей подана на рис. 2.2.

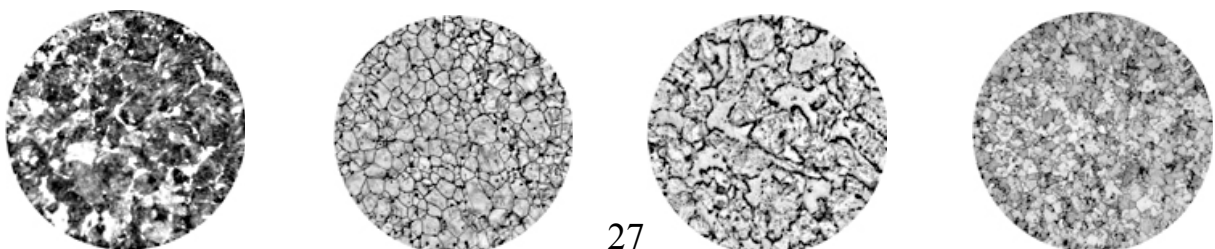




Рис. 2.3. Зубчасті колеса з ливарної сталі

Наприклад, 38Х2Н5МА – це середньолегована високоякісна хромонікелева конструкційна сталь. Хімічний склад: вуглець – близько 0,38 %; хром – близько 2 %; нікель – близько 5 %; молібден – близько 1 %.

Леговані конструкційні сталі застосовуються для найбільш відповідальних і важконавантажених деталей машин. Практично завжди ці деталі зазнають остаточної термічної обробки – загартування з подальшим високим відпуском при температурі 550-680⁰ С (поліпшення), що забезпечує найбільш високу конструктивну міцність.

Вуглецеві і леговані сталі 30, 35, 30Г, 35Г, 40, 45, 40Г, 45Г, 50Г, 50, 55, 40Г2, 30Х, 35х, 40Х, 45Х, 50Х, 30ХРА, 33ХС, 38ХС, 40ХС, 20ХГСА, 25ХГСА, 30ХГС, 30ХГСА, 35ХГСА (ГОСТ 1050-74) і 30ХН2МА, 38Х2Н2МА (ГОСТ 4543-71) з різною термічною і хіміко-термічною обробкою застосовуються для виготовлення осей, валів, гвинтів, штифтів, упорів, кілець, шайб, втулок, тяг, траверс, шатунів, валів, шпинделів, вилок перемикачів передач, маховиків, гайок, болтів, зубчастих вінців, зубчастих коліс, шпонок, храповиків, фрикційних дисків, плунжерів, муфт, зубчастих рейок, шліцьових шестеренних валів, анкерних болтів, муфт зчеплення коробок швидкостей, півосей, деталей зварних з'єднань, відповідальних деталей, що зазнають вібраційних і динамічних навантажень (рис. 2.4); після гартування з відпуском

– тяг, траверс, важелів, циліндрів пресів, кріпильних деталей, валів, шпинделів високої міцності.



Рис. 2.4. Деталі, виготовлені з легованих сталей

Низьколегована сталь 14Г2АФ (ГОСТ 19282-73) застосовується для виготовлення підкранових ферм для мостових кранів.

Сталі з мікродобавками бору 20ХГР, 27ХГР, 20ХНР, 20ХГНР (ГОСТ 4543-71) застосовуються для виготовлення зубчастих коліс, кулачкових муфт, вал-шестерень, черв'яків, пальців, валиків, втулок (рис. 2.5).



Рис. 2.5. Деталі, виготовлені зі сталі з мікродобавками бору

2.1.3. Інструментальні сталі

Інструментальні сталі, з яких виготовляють різальний інструмент, розподіляють на три групи (рис. 2.6).

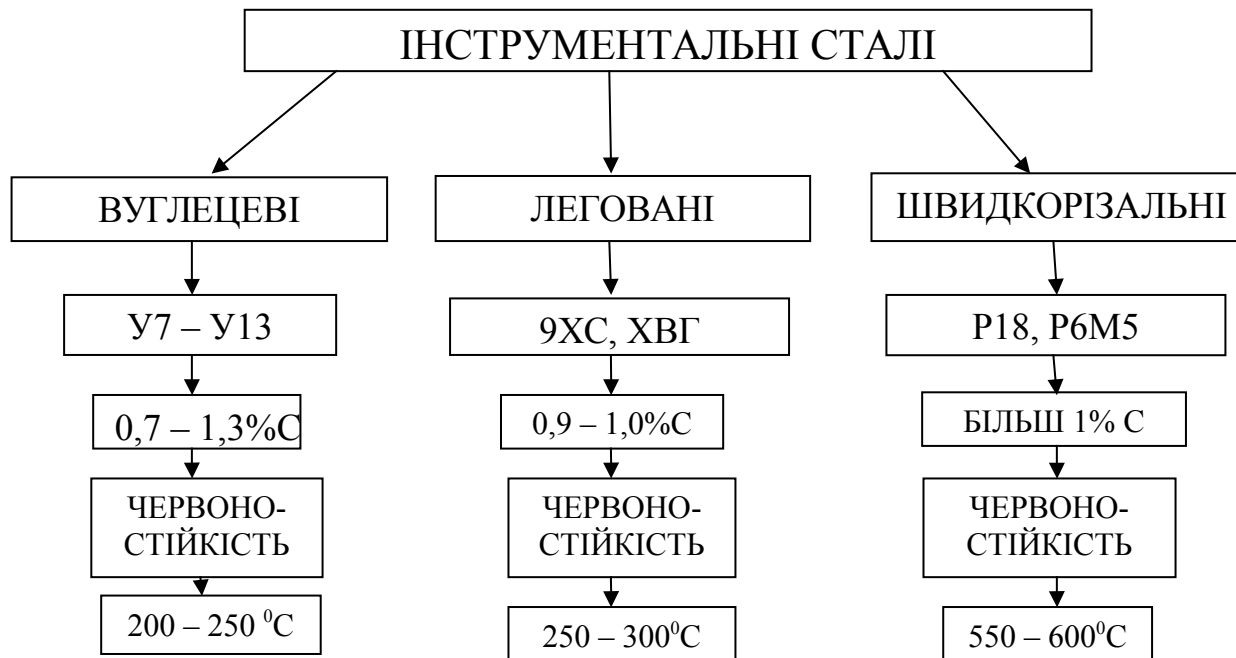


Рис. 2.6. Групи інструментальних сталей

Вуглецеві інструментальні сталі випускаються середньої якості і високоякісні, що мають менший вміст сірки і фосфору. Найбільш широке розповсюдження одержали сталі марок У8;У8А;У10А;У12А, які містять 0,8;1,0-1,2 % вуглецю.

Літера У – вуглецева. Цифра після У – середній вміст вуглецю в десятих частках відсотка, літера А — сталь високоякісна.

Наприклад, Сталь У7 – вміст вуглецю від 0,65 до 0,73 %; Mn = 0,17 - 0,28 % ; Si = 0,17 - 0,33 %; S < 0,028 %; P < 0,03 %;

Сталь У7А – вміст С, Mn , Si як у попередній, а S<0,018 %, P<0,025 %, А – високоякісна сталь.

Ці сталі мають низьку теплостійкість (200-250 °С), досить технологічні і недорогі. Вони використовуються для виготовлення ручного інструменту, який працює при невисоких швидкостях різання. Основними складовими є залізо, вуглець і марганець. Із

збільшенням кількості вуглецю ростуть твердість і протизношувальна міцність сталі, але знижується її пластичність.

Сталі зі збільшеним вмістом вуглецю краще гартуються. Марганець надає сталі такі ж властивості, як і вуглець, а також очищає її від сірки і робить метал більш щільним, але він сприяє росту зерна при гартуванні, що є причиною утворення тріщин, тому марганцю в сталі не більше 0,4 %. У складі цих сталей є ще S_i, C_r, N_i, S і Р. Сірка і фосфор шкідливі, тому їх не більше 0,03 %. Хром і нікель у комбінації з вуглецем і марганцем дещо поліпшують сталь, але не мають великого значення. Кремній підвищує пружність сталі, її твердість, стійкість проти корозії, але знижує пластичність, його у сталі не більше 0,35 %. Мікроструктура інструментальних сталей подана на рис. 2.7.

Згідно з міжнародними нормами ISO4957 ці сталі позначаються **WS**.

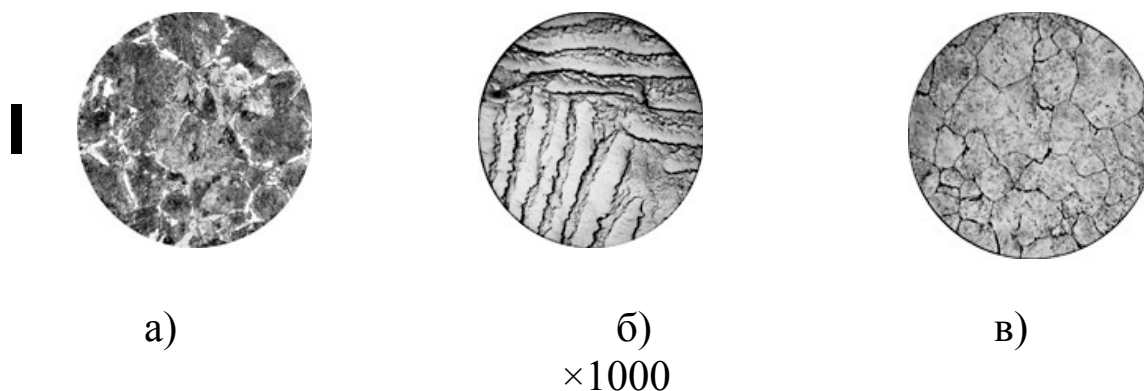


Рис. 2.7. Мікроструктура інструментальних сталей:
а – У7; б – У8; в – У12

Інструментальні сталі використовують для виготовлення: Сталь У7, У8 – ударного слюсарного інструменту (молотки, зубила, крейцмейселі, воротки, пробійники, накувальні, а також інструменти для обробки деревини (стамески, рубанки). Зі сталей У9, У10 виготовляють різці, свердла по дереву, плашки, мітчики. Зі сталей У12, У13 виготовляють ножівкові полотна, граверний інструмент, напилки, ножиці (рис. 2.8).



Рис. 2.8. Деталі, виготовлені з інструментальних сталей

Недоліком вуглецевих інструментальних сталей є їх низька червоностійкість. При нагріванні в процесі роботи до температури вище 200 °С інструмент втрачає різальні властивості. Тому вуглецеві інструментальні сталі в основному використовують для виготовлення ручного слюсарного інструменту (табл. 2.6).

Таблиця 2.6

Деякі властивості вуглецевих інструментальних сталей, які використовуються для виготовлення ручного слюсарного інструменту

Сталь	Температура відпуску, °С	Твердість робочої частини, HRC	Інструменти
У10 – У12	180 – 200	60 – 62	Мітчики
У10 – У12	160 – 180	62 – 64	Розвертки
У7	280 – 300	56 – 85	Зубила
У8 – У10	200 – 220	60 – 62	Матриці для холодного штампування
У10	220 – 240	59 – 61	Плашки

2.2. Маркування та класифікації сплавів провідних промислових країн світу

Основні принципи класифікації та маркування сталей розроблено у Сполучених Штатах Америки.

Технічні товариства, асоціації та інститути, члени яких розробляють, виготовляють або купують сталеві вироби, видають стандартні специфікації. Деякі з найбільш важливих специфікацій наведено нижче.

1. Товариство автомобільних інженерів (SAE).
2. Американський інститут заліза та сталі (AISI).
3. Специфікація космічних матеріалів (AMS).
4. Асоціація американських залізниць (AAR).
5. Американське бюро суднобудування (ABS).
6. Американський нафтовий інститут (API).
7. Американська асоціація розробників залізниць (AREA).
8. Американське товариство інженерів - механіків (ASME).
9. Американське товариство з випробувань і матеріалів (ASTM).

Уніфікована номерна система класифікації матеріалів (UNS) була розроблена Американським товариством з випробувань і матеріалів (ASTM), товариством автомобільних інженерів (SAE) та іншими технічними товариствами, торговельними асоціаціями, а також агентствами уряду Сполучених Штатів Америки.

Номер UNS означає хімічний склад матеріалу, а не специфікацію, і призначений для кожного хімічного складу металевого сплаву.

Позначення сплаву за системою UNS складається з літери і п'яти цифр. Літери вказують на клас сплавів, а цифри визначають хімічний склад сплавів у межах цього класу.

SAE – AISI система розроблена товариством автомобільних інженерів і американським інститутом заліза та сталі. Це найбільш широко використовувана система класифікації. SAE – AISI система використовується до поковок, гаряче- і холоднокатаного металу, катанки, трубних та листових матеріалів, а також до литва (табл. 2.7).

Німецька класифікація (DIN) розроблена інститутом Deutsches Institut für Normung. Використовують числові або

числові та літерні ознаки. Приклад, 1.1820,C55W – Найближчий номер SAE-AISI 1055.

Японська класифікація (JIS) розроблена комітетом японських промислових стандартів міністерства міжнародної торгівлі та промисловості. JIS класифікація починається із великих літер JIS з наступною літерою, що позначає вид виробу (наприклад, літера G позначає вуглецеві та низьколеговані сталі). Наприклад, JIS G3445 STKM11A – низьковуглецева трубна сталь з таким хімічним складом: C = 0,12 %; Si = 0,35 %; Mn = 0,60 %; P = 0,040 %; S = 0,040 %.

Таблиця 2.7

Основні групи сталей за американською (США) класифікацією SAE AISI

Позначення	Тип сталі	Вміст легуючих елементів, %
1	2	3
10xx	Вуглецеві	Прості (Mn ≈ 1,00)
11xx		Леговані сіркою 0,1-0,2
12xx		Леговані сіркою та фосфором
15xx		Прості
13xx	Марганцеві	Mn ≈ 1,75
23xx	Нікелеві	Ni ≈ 3,50
25xx		Ni ≈ 5,00
40xx	Молібденові	Mo = 0,20-0,25
44xx		Mo = 0,40-0,52
50xx	Хромисті	Cr = 0,27-0,65
51xx		Cr = 0,8-1,05
501xx	Хромисті (підшипникові)	C > 1,00; Cr > 0,5
511xx		C > 1,00; Cr > 1,02
521xx		C > 1,00; Cr > 1,45
31xx	Хромонікелеві	Ni ≈ 1,25; Cr = 0,65-0,80
32xx		Ni ≈ 1,75; Cr ≈ 1,07
33xx		Ni ≈ 3,50; Cr = 1,50-1,57
34xx		Ni ≈ 3,00; Cr ≈ 0,77
41xx	Хромомолібденові	Cr = 0,50-0,95; Mo = 0,12-0,30

Продовження табл. 2.7

1	2	3
46xx	Нікельмолібденові	Ni=0,85-1,82; Mo=0,12-0,30
48xx		Ni≈3,50; Mo≈0,25
61xx	Хромованадієві	Cr=0,60-0,95; V=0,10-0,15
72xx	Вольфрамохромисті	W≈1,75; Cr≈0,75
92xx	Кремнієвомарганцевисті	Si=1,4-2; Mn=0,65-0,85; Cr≈0,65
9xx	Високоміцні низьколеговані	Різні типи SAE
xxVxx	Бористі сталі	B – вміст бору
xxLxx	Сталі, леговані свинцем	L – сталь містить свинець
43xx	Нікельхроммолібденові	Ni≈1,82; Cr=0,50-0,80; Mo≈0,25
43Vxx		Ni≈1,82; Cr≈0,50; Mo=0,12-0,25; V>0,03
47xx		Ni≈1,05; Cr≈0,45; Mo=0,2-0,35
81xx		Ni≈0,30; Cr≈0,40; Mo≈0,12
86xx		Ni≈0,55; Cr≈0,50; Mo≈0,20
87xx		Ni≈0,55; Cr≈0,50; Mo≈0,25
88xx		Ni≈0,55; Cr≈0,50; Mo≈0,35
93xx		Ni≈3,25; Cr≈1,20; Mo≈0,12
94xx		Ni≈0,45; Cr≈0,40; Mo≈0,12
97xx		Ni≈0,55; Cr≈0,20; Mo≈0,20
98xx		Ni≈1,00; Cr≈0,80; Mo≈0,25

*Останні дві цифри вказують на середній вміст вуглецю (у сотих частках відсотка).

Класифікація сталей та сплавів у **Великій Британії (BS)** розроблена британським інститутом стандартів. Кожне позначення цієї класифікації містить вид виробу та код сплаву. Наприклад, BS 979 708A37 – низьколегована сталь з таким хімічним складом: C=0,35-0,40 %; Si=0,10-0,35 %; Mn=0,70-1,00 %; P<0,040 %; S<0,050 %; Cr=0,90-1,20 %; Mn=0,15-0,25 %.

Класифікація сталей та сплавів, прийнята у **Франції (AFNOR)**, розроблена Association Francaise de Normalisation. У марці сталі великі літери NF розміщені ліворуч від літерно-цифрового коду. Код складається із великої літери і ряду цифр і літер. Нариклад, NF A35-562 35MF6 – легована сіркою сталь (легко обробляється різанням) з таким складом: C=0,33-0,39 %; Si=0,10-0,40 %; Mn = 1,10-1,70 %; P < 0,040 %; S < 0,09-0,13 %.

Італійська класифікація (UNI) розроблена Ente Nazionale Italiano di Unificazione. Італійським стандартом передбачено такий порядок маркування сталей та сплавів: на початку марки – великі літери UNI, за якими йде цифровий код продукції та алфавітно-цифрова ідентифікація сплаву. Наприклад, UNI 5598 3CD5 – низьковуглецева сталь для катанки з таким складом: C<0,06 %; Mn = 0,25-0,50 %; P < 0,035 %; S < 0,035 %; N<0,007 %.

Шведська класифікація (SS14) розроблена шведським інститутом стандартів. Позначення починаються з літер SS, за якими йде чотиризначне число.

Марки зарубіжних вуглецевих сталей звичайної якості та міжнародного стандарту, які відповідають українським сталям марки СТ за механічними властивостями наведено в табл. 2.8 При цьому вміст основних елементів (C, Si, Mn, P, S) лежить у передбачених інтервалах.

При зіставленні меж міцності і плинності діапазон лежить у межах ± 50 МПа.

Таблиця 2.8

Україна (ДСТУ)	США (ASTM)	Німеччина (DIN)	Японія (JIS)	ІСО 630-80 1052-82
Ст.2кп, Ст.2нс		Ust 34-2	SS 34	-
Ст.3сп	A283/C	RSt 37-2	-	Fe 360C
Ст.3кп, Ст.3нс	A283/C	Ust 37-2	-	Fe 360A
Ст.3Гнс	A572/42	-	SM 41B	Fe 360B
Ст.3Гсп	A131/B	-	SM 41B	Fe 360D
Ст.4сп	A283/D	St 42-2	SM 41	Fe 430C
Ст.4сп	A131/A	St 44-2	SM 41A	Fe 430Д
Ст.5сп	-	St 50-2	SS 50	Fe 510C
Ст.6сп	-	St 60-2	-	Fe 590

Марки зарубіжних аналогів вуглецевої і низьколегованої якісної конструкційної сталі наведені для порівняння результатів дослідження вчених різних країн світу (табл. 2.9 і 2.10).

Таблиця 2.9

Україна	США	Німеччина	Японія
ГОСТ 1050	ASTM A29/A29M	DIN 1629/3	JIS G3445
35	1034 1035 1038	Ск 35 (2) С 35 (2) Ст 35 (2)	S 30 C - -
45	M1044 1045 1045H	Ск 45 С 45 Ст 45	- S 45 C S 48 C
55	1055 -	Ск 55 (2) М 55 (2)	- S 55 C
60	1060	С 60 Ст 60	S 58 C

Таблиця 2.10

Україна	США		Німеччина	Японія	
ГОСТ	ASTM		DIN	JIS	
4543	A29/A29M	A304	17200	G4104	G4052
15X	5115	-	15 Cr 3	SCr 415	SCr 415H
20X	5120	5120H	20 Cr 4	SCr 420	SCr 420H
35X	5132	-	-	-	-
40X	5140	-	-	SCr 440H	-
50X	5147	5147H	-	-	-

2.3. Чавуни

Залізовуглецеві сплави з вмістом вуглецю від 2,14 до 6,67 % називаються **чавунами**. Чавуни порівняно зі сталями мають більш високий вміст вуглецю, постійних домішок (S, P, Si, Mn), більш низькі механічні властивості.

Чавун можна розглядати як сталь, пронизану графітом, який відіграє роль надрізів, що послаблюють металеву основу структури. У цьому випадку механічні властивості чавуну залежать від характеру розподілів включень графіту і від їх величини. Чим менше графітових включень і чим вони дрібніші, тим вища міцність чавуну. Таким чином, можна сказати, що для чавуну характерне порушення суцільності, і це робить його мало чутливим до будь-яких концентраторів.

На відміну від сталі чавун не схильний до залишкового пластичного деформування, отже, не має межі плинності. Для чавунів характерним є тільки межа міцності, причому межа міцності при стисненні виявляється істотно вище, ніж межа міцності при розтягуванні.

Завдяки хорошим ливарним властивостям і низькій вартості чавун використовується для виготовлення конструкцій складних конфігурацій. Через свою відносно низьку вартість чавун застосовується для виготовлення масивних деталей, наприклад корпусних, і різного роду станин, а також для маховиків при колій швидкості не вище 30 м/с.

Наявність евтектики в структурі чавуну обумовлює його гарні ливарні властивості. Вуглець у чавуні може перебувати у

вільному стані у вигляді графіту або у зв'язаному стані (у вигляді цементиту Fe_3C). Чавун добре обробляється різанням, тому що наявність у структурі графіту сприяє утворенню дрібної сипучої стружки і, крім того, графіт виконує при обробці різанням роль мастила.

Наявність у структурі чавуну графітових включень надає йому гарну вібростійкість і несприйнятливність до поверхневих концентраторів напруг.

За станом вуглецю у чавунах вони поділяються:

а) на **білі**, в яких вуглець перебуває у хімічно зв'язаному стані (у вигляді цементиту – Fe_3C);

б) **сірі, ковкі та високоміцні**, в яких весь вуглець чи більша його частина перебуває у вільному стані у вигляді графіту. Залежно від форми графітових включень розрізняють сірий чавун із пластинчастим графітом (ГОСТ 1412—85), високоміцний чавун з кулястим графітом і ковкий чавун із пластівчастим графітом;

в) **леговані чавуни зі спеціальними властивостями**.

У білих чавунах надлишковий вуглець, що не розчинився у твердому розчині заліза, наявний у вигляді карбідів заліза. Внаслідок низьких механічних властивостей – високої крихкості й твердості, поганої оброблюваності різанням – білі чавуни не застосовуються як конструкційні матеріали.

Найнижчу міцність має сірий чавун, оскільки пластинчаста форма графіту несприятлива з погляду концентраторів напруг. У високоміцному чавуні графіт під впливом модифікатора в процесі кристалізації набуває кулястої форми, чим і пояснюється підвищена міцність. На тонну чавуну вводять усього 4 кг (0,04 %) сплаву фероцезію з магнієм, і міцність сірого чавуну збільшується вдвічі.

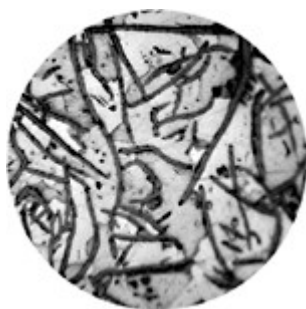
Металева основа у чавуні може бути феритна, феритно-перлітна і перлітна. Зрозуміло, найвища міцність у перлітного чавуну, найнижча у феритного, а середня у феритно-перлітного.

Марки чавуну позначаються літерами, що показують призначення чавуну: СЧ – сірий чавун, ВЧ – високоміцний, КЧ – ковкий чавун; для антифрикційних чавунів на початку марки вказується літера А (АСЧ, АВЧ, АКЧ). Цифри в позначенні марки нелегованого чавуну вказують на його механічні властивості.

Механічні властивості чавунів зумовлюються в основному їх структурою, а не хімічним складом, тому ці властивості зазначають у марках чавунів. Наприклад, марка СЧ 15 позначає сірий чавун з межею міцності на розтяг 150 МПа. ВЧ100 – високоміцний чавун з межею міцності на розрив $\sigma_r=1000$ МПа; КЧ 33-8 – ковкий чавун з межею міцності $\sigma_r=330$ МПа та відносним подовженням $\delta=8$ %.

Типовий склад сірих чавунів такий: 3,2-3,5 % С; 1,4-3,0 % Si; 0,4-0,6 % Mn; 0,10-0,125, 0,3-0,8 % P; решта – залізо. Межа міцності чавуну на розтяг становить 100-350 МПа, твердість 145-270 НВ, відносне видовження $\delta = 0,2-0,8$ %, а ударна в'язкість не перевищує 0,1 МДж/м² (для порівняння, ударна в'язкість фериту досягає 2 МДж/м²).

Сірі чавуни з пластинчастою формою графіту (рис. 2.9) виплавляють із спеціально підготовленої шихти у різних плавильних агрегатах (вагранках, електропечах).



×1000

Рис. 2.9. Мікроструктура чавуну з пластинчастою формою графіту

Структура цих чавунів зумовлюється повільним охолодженням і наявністю деяких домішок (переважно кремнію), що сприяють розпаду цементиту. Особливостями будови сірого чавуну зумовлюються його низькі механічні властивості. Оскільки графітні включення утворюють своєрідні пустоти та надрізи в металевій основі, чавун із пластинчастим графітом має низьку міцність і пластичність, погано витримує ударні навантаження (табл. 2.11).

Таблиця 2.11

Фізико-механічні характеристики виливків із сірого чавуну

Марка чавуну	σ^B , МПа	σ^T , МПа	НВ
СЧ10	98	274	143-229
СЧ15	147	314	163-229
СЧ18	176	358	170-229
СЧ20	196	392	170-241
СЧ21	206	392	170-241
СЧ24	235	421	170-241
СЧ25	245	451	180-250
СЧ30	294	490	181-255
СЧ35	343	539	197-269
СЧ40	392	588	207-285

Сірі чавуни щодо їх застосування можна розділити на нижченаведені групи.

1. Феритні і феритно-перлітні чавуни застосовують для виготовлення маловідповідальних деталей, що зазнають невеликих навантажень у роботі.

2. Перлітні чавуни застосовують для відливання станин потужних верстатів і механізмів, поршнів, циліндрів, деталей, що працюють на знос в умовах великих тисків.

Чавуни: СЧ 30 застосовуються для виготовлення станин ножиць і пресів, блоків та плит багатопшпіндельних верстатів, патронів токарних верстатів, зубчастих коліс.

СЧ 20 застосовуються для виготовлення станин довбальних верстатів, вертикальних стояків фрезерних, стругальних і розточувальних верстатів, зубчастих коліс, маховиків, гальмівних барабанів, дисків зчеплення.

СЧ 18 застосовуються для виготовлення корпусних деталей, кришок, кожухів.

СЧ15 застосовуються для виготовлення основ більшості верстатів, маточин, полозків, столів, зубчастих коліс, кронштейнів, вилок перемикування, шківів.

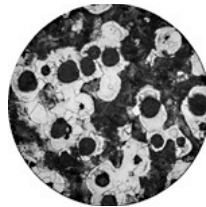
СЧ 10 застосовуються для виготовлення плит, стояків, підшипників, втулок (рис. 2.10).



Рис. 2.10. Виливки із сірого чавуну марок Сч10-СЧ35

Для поліпшення механічних властивостей чавуну графіт треба закруглити, найкраще об'єднати у формі кульок. Кулястий графіт найменшою мірою послаблює металеву основу, що приводить до високих механічних властивостей.

Такий чавун називають високоміцним (рис. 2.11). Щоб об'єднати графіт у кульки в чавун додають марганець. Одночасно з ним, або дещо пізніше, в рідкий чавун вводять феросиліцій. Кулястий графіт менше послаблює металеву основу, ніж пластинчастий. Як і сірі пластинчасті, високоміцні чавуни можуть мати феритну, феритно-перлітну і перлітну основи. Високоміцний чавун визначається хорошими ливарними та експлуатаційними властивостями. Механічні властивості високоміцного чавуну дають змогу застосовувати його для виготовлення деталей машин, які працюють у важких умовах, замість сталевих. Із них виготовляють деталі прокатних станів, ковальсько-пресового обладнання, парових турбін, тракторів, автомобілів. Низький вміст сірки й фосфору та невеликий вміст інших хімічних елементів забезпечується тим, що такий чавун виплавляють не у вагранках, а в електричних печах. Після термічної обробки механічні властивості чавуну стають дуже високими.



×1000

Рис. 2.11. Мікроструктура чавуну з кулястою формою графіту

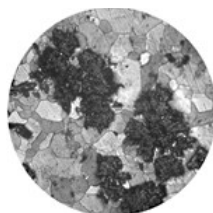
Високоміцний чавун за багатьма показниками не лише не поступається перед вуглецевими та легованими марками сталі, але й у багатьох випадках значно перевищує їх. Наприклад, труби вантажної системи танкера, що виготовлені з цього матеріалу, експлуатуються без заміни 20 — 25 років, а вантажна система із сталевих труб виходить з ладу в умовах морського агресивного середовища за 2 — 3 роки експлуатації.

Високоміцний чавун широко застосовується в машинобудуванні для виготовлення станин, колінчастих валів, зубчастих коліс, циліндрів двигунів внутрішнього згоряння, деталей, що працюють при температурі до 1200 °С в окисних середовищах, та ін. (рис. 2.12).



Рис. 2.12. Компресійні кільця з високоміцного чавуну

Проміжним станом графіту між пластами та кульками може бути графіт у вигляді пластівців. Такий чавун називають ковким (рис. 2.13). Цю назву він має не тому, що його можна кувати, а тому, що він пластичніший, ніж пластинчастий. Ковкий чавун одержують з білого шляхом подальшого відпалу до розпаду графіту у вигляді пластівців.



×1000

Рис. 2.13. Мікроструктура чавуну з пластівчастою формою графіту

Деталі з нього можуть зазнавати незначних деформацій. Вони мають меншу в порівнянні з деталями з сірого чавуну крихкість, але коштують на 30-100 % дорожче.

У залежності від структури металевої основи виділяють ковкий феритний чавун і ковкий перлітний чавун.

Феритні ковкі чавуни отримують з білих чавунів, які виплавлені дуплекс-процесом і містять 2,4 — 2,8 % вуглецю; 0,8 — 1,4 % кремнію; 0,4 — 0,3 % марганцю.

Для захисту від окиснення при відпалі виливки із білого чавуну укладають у спеціальні металеві ящики та засипають піском, сталеву стружку або шамотом. Відпал білого чавуну полягає в повільному нагріванні (20 — 25 год) до *температури* 950 — 1000 °С і тривалій витримці (10 — 15 год) при цій же температурі. Перлітні ковкі чавуни отримують з білих чавунів, які виплавлені у вагранках. Для зменшення вмісту вуглецю відпал проводять в окиснювальному середовищі. Для цього виливки засипають окалиною або подрібненою залізною рудою, нагрівають до температури близько 1000 °С, тривалій час витримують (перша стадія графітнізації) і повільно охолоджують до кімнатної температури.

Перлітні ковкі чавуни мають менше застосування, ніж феритні. Ковкий чавун застосовують для деталей, що потребують

за своєю формою литої заготовки, але допускають при роботі випадкові ударні навантаження. З феритних чавунів виготовляють картери редукторів, маточини, гаки, скоби, хомутики, муфти, фланці. З перлітних чавунів, що характеризуються високою міцністю, достатньою пластичністю, виготовляють вилки карданних валів, ланки і ролики ланцюгів конвеєра, гальмівні колодки (рис.2.14).



Рис. 2.14. Пожежні крани з ковкого чавуну

Для поліпшення характеристик міцності та отримання особливих експлуатаційних властивостей: зносостійкості, немагнітної, корозійної стійкості і т.д., до складу чавунів вводять легуючі елементи (нікель, хром, мідь, алюміній, титан та ін.) Легуючими елементами можуть служити також марганець (при вмісті більше 2 %) і кремній (більше 4 %).

У випадках, коли, крім міцності, чавун повинен мати ті чи інші специфічні властивості (зносостійкість, жаростійкість, хімічну стійкість тощо), виготовляють *спеціальні чавуни*.

Наприклад, *антифрикційні чавуни* застосовують для виготовлення підшипників ковзання, втулок та інших деталей, що працюють при терті об метал; магнітний чавун використовують для виготовлення корпусів електричних машин, рам, щитів тощо. До такого чавуну відносять феритний з кулястим графітом.

Немагнітний чавун використовують для виготовлення кожухів і бандажів різних електричних машин. Це нікелемарганцевий чавун.

Аустенітний чавун — кислотостійкий, лугостійкий та жаростійкий. Це нірезіл (2 % хрому, 14 % нікелю, 7 % міді) та нікросилал (5 % кремнію, 18 % нікелю, 2 % хрому). Жаростійкий чавун містить 20 — 25 % алюмінію.

Жаростійкі чавуни (ЖЧХ) застосовуються для виготовлення деталей компресорів, пальників, кокилів.

ЖЧХ30 застосовуються для виготовлення деталей хімічної апаратури.

ЖЧХ2 застосовуються для виготовлення деталей контактних апаратів хімічного обладнання.

Значні перспективи у використанні високоміцного чавуну виникають у зв'язку з останніми дослідженнями українських учених. Відкриття “карбідного ефекту” дає змогу, крім магнію, як модифікатор використовувати ітрію, гадоліній, церій, лантан, скандій, тербій, ітербій, стронцій та деякі інші сфероїдизатори графіту. Для практики особливий інтерес має кальцій. У природі його майже стільки ж, як і заліза. Кальцій, як і магній, також дає “карбідний ефект”, зі своїми особливостями, які необхідно враховувати. Як тільки було визначено умови, за яких кальцій стає сфероїдизатором графіту, стало очевидним, що необхідно для модифікування чавуну застосовувати лише кальцієвмісні комплексні модифікатори.

Суть “карбідного ефекту” зводиться до того, що в усіх випадках утворенню кулястого графіту передує утворення карбідів магнію, церію, ітрію у нікельвуглецевих та кобальтвуглецевих сплавах карбідів нікелю, кобальту та їх подальший розпад із зародженням та ростом графіту.

За допомогою таких модифікаторів розроблені технології отримання зносостійких гальмівних колодок для залізничного транспорту, гальмівних барабанів для автомобільного транспорту, тонкостінних виливків з високоміцного чавуну з кулястим графітом, надійних і довговічних робочих органів нафтодобувних та інших насосів, а також багато інших виробів.

2.4. Конструкційні сталі спеціального призначення

2.4.1. Автоматні сталі

Автоматні сталі добре оброблюються при великих швидкостях різання, причому виходить більш висока якість поверхні. При їх застосуванні знижується витрата різального інструменту. Ці властивості досягаються підвищенням в автоматних сталях вмісту сірки та фосфору. Сірка утворює дуже багато сульфідів марганцю, витягнутих в напрямі прокатки. Сульфіди надають змащувальну дію, порушуючи при цьому суцільність металу. Фосфор підвищує крихкість фериту, полегшуючи відділення стружки металу при різанні. Обидва ці елементи сприяють зменшенню налипання на різальний інструмент та отримання гладкої блискучої оброблюваної поверхні. Але потрібно пам'ятати, що підвищений вміст сірки і фосфору знижує якість сталі. Склад та механічні властивості автоматних сталей наведені в табл. 2.12.

Таблиця 2.12

Хімічний склад та механічні властивості автоматних сталей

Марка сталі	Склад елементів, %*				Механічні властивості			
	C	Mn	S	P	σ_t , кгс/мм ²	δ , %	ψ , %	НВ
A12	0,08-0,16	0,6-0,9	0,08-0,2	0,08-0,15	42-57	22	36	160
A20	0,15-0,25	0,6-0,9	0,08-0,15	$\leq 0,06$	46-61	20	30	168
A40Г	0,35-0,45	1,2-1,55	0,18-0,30	$\leq 0,05$	60-75	14	20	207

* В усіх сталях є 0,15-0,35 % Si

Ці сталі застосовуються для деталей не дуже відповідального призначення, які не працюють при динамічних навантаженнях і виготовляються різанням на верстатах-автоматах, що забезпечує високу продуктивність.

Автоматні сталі маркуються літерою та двозначною цифрою, що вказує вміст вуглецю в сотих частках відсотка: наприклад, A12, A20, при підвищеному складі в сталі марганцю

наприкінці марки додається літера Г: наприклад А40Г, при додаванні до складу автоматної сталі свинцю, зменшується тертя між інструментом та оброблюваним виробом, наприклад АС20 (рис. 2.15).



Рис. 2.15. Автоматні сталі

Підвищення оброблюваності різанням може бути досягнуто шляхом легування сталі селеном, близько 0,1 %, наприклад: А45Е. Швидкість різання підвищується в 1,2-1,8 рази, а стійкість інструменту більш ніж у 2 рази.

Присадки, що поліпшують оброблюваність різанням (S, Ca, Pb, Se), безумовно, знижують конструкційну міцність сталей, що варто враховувати при практичному їх використанні.

2.4.2. Ресорно-пружинні сталі

Пружини, ресори та інші пружні елементи працюють у сфері пружної деформації матеріалу.

У той самий час чимало їх зазнають впливу циклічних навантажень. Ці сталі повинні мати високі межі пружності і витривалості при достатній пластичності та в'язкості. Для одержання таких властивостей сталі повинні містити не менше 0,5 % С та зазнавати гартування й середнього відпуску для набування троститної структури (табл. 2.13).

Таблиця 2.13

Режими термічної обробки та механічні властивості пружинних сталей

Марка сталі	Температура, °С		Механічні властивості (не менш)			
	гартування	відпуск	$\sigma_{0,2}$	σ_T	δ	ψ
			кгс/мм ²		%	
65	840	480	80	110	10	35
85	820	480	100	115	8	30
50С2	870	460	110	120	6	30
55С2А	870	460	140	160	6	20
70С3А	860	460	160	180	6	25
60С2ХФА	850	410	170	190	5	20
60С2ВА	850	420	170	190	5	20
60С2Н2А	880	420	160	175	6	20

Тому основні вимоги до пружинних сталей – це забезпечення високих значень меж пружності, плинності, витривалості, а також необхідної пластичності та опору крихкому руйнуванню (рис. 2.16).

Для пружин невеликого перерізу, що зазнають невисоких навантажень, застосовують вуглецеві сталі марок 65,70.

Для відповідальних пружин і ресор використовують сталі, леговані Si, Mn, Cr, V, W, Ni. Ці елементи підвищують межу пружності та прогартуваності сталі. Троститна структура, яку одержують після середнього відпуску, має найбільшу межу пружності. Але при цьому варто мати на увазі, що температурний інтервал середнього відпуску відповідає необоротній відпускній крихкості 1-го роду, тобто збільшення межі пружності приводить до зменшення ударної в'язкості, тому ресори, пружини та подібні їм деталі завжди руйнуються крихко.

Як ресорно-пружинні широко застосовуються сталі, леговані кремнієм, наприклад, 55С2, 60С2. Кремній затримує розпад мартенситу при відпуску та значно зміцнює ферит, тому кременисті сталі мають високу межу пружності. Однак кременисті сталі схильні до знеуглецювання та утворення поверхневих дефектів при гарячій обробці, що знижує межу витривалості.



Рис. 2.16. Пружини, які встановлюються на вагоні

Через це суто кремністі сталі все частіше замінюють хромомарганцевими (60ХГ, 55ХГР), хромованадієвими (50ХФ), а для великих високонавантажених і відповідальних ресор і пружин застосовують складнолеговані сталі 55ХГСФ і 60С2ХФ.

У заводській практиці пружини в основному виготовляють з шліфованого холоднотягнутого дроту. Для цього найчастіше застосовують сталі марок 65, 70, В8, В10. Наклеп від холодної обробки і волочіння сприяє одержанню високої твердості і пружності. Для навивання звичайно застосовуються токарські верстати. Після навивки пружини відпускають при температурах 250..350 °С, коли повністю знімаються залишкові напруги і підвищується межа пружності.

Широко застосовуються на транспорті крем'яністі сталі 55С2, 60С2А, 70С3А. Але вони можуть зазнавати знеуглецьовування, графітизації, що знижує характеристики пружності і витривалості матеріалу. Усунення зазначених дефектів, і навіть підвищення прогартовування і гальмування зростання зерна при нагріванні досягається додатковим введенням у крем'яністі сталі хрому, ванадію, вольфраму і нікелю.

2.4.3. Шарикопідшипникові сталі

Для більшої працездатності виробів шарикопідшипникова сталь повинна мати високу твердість, міцність і контактну витривалість. Це досягається підвищенням якості металу: його очищенням від неметалевих включень і зменшенням пористості у вигляді використання електрошлакового чи вакуумно-дугового переплаву. За хімічним складом це високовуглецеві сталі, що містять близько 1 % вуглецю та до 1,5 % хрому. Такий хімічний склад забезпечує високу твердість, зносостійкість та здатність опиратися контактній втомності. До сталей також ставляться високі вимоги щодо вмісту неметалевих включень, тому що, потрапляючи у поверхневий шар, вони стають концентраторами напруг, викликаючи передчасне втомне руйнування. Неприпустима також карбідна неоднорідність. При виготовленні деталей підшипника широко використовують шарикопідшипникові (Ш) хромисті (Х) сталі ШХ15СГ (наступна цифра 15 вказує вміст хрому в десятих частках відсотка – 1,5 %). ШХ15СГ додатково легована кремнієм і марганцем підвищення прогартовування. Відпал сталі дає твердість близько 190 НВ та забезпечує оброблюваність напівфабрикатів різанням і штампованість деталей у холодному стані. Гартування деталей підшипника (кульок, роликів і кілець) проводиться в мастилi при температурі 840-860 °С. Перед відпуском деталі охолоджують до 20-25 °С для забезпечення стабільності його роботи (з допомогою зменшення кількості залишкового аустеніту). Відпуск сталі проводять при 150- 170 °С протягом 1-2 год.

Шарикопідшипникові сталі марок ШХ6, ШХ9, ШХ15, ШХ15СГ застосовуються для виготовлення кілець, кульок і роликів підшипників кочення (рис. 2.17). Високий вміст вуглецю (0,95-1,15 %) і хрому, середній вміст яких зазначено в марці в десятих частках відсотка, забезпечують їх високу твердість. Крім того, хром збільшує прогартовуваність сталі. Остаточною термічною обробкою є гартування з температурою 830-880 °С (залежно від марок сталі) в мастилi і низькотемпературний відпуск при 150-160 °С на твердість не нижче 61-65 HRC₃.



Рис. 2.17. Шарикопідшипникові сталі

Для роботи в агресивних середовищах використовують нержавіючу високолеговану сталь 95X18, що розжарюється в мастилi при температурi 1050...1070 °С і зазнає низького відпуску при температурi 150...160 °С.

Оскільки сталь високовуглецева та високолегована, то в структурi загартованої сталі є велика кількість $A_{ост}$, для усунення якого та стабілізації розмірів шарикопідшипників застосовують обробку холодом при -70 °С на 1,5 - 2,5 год залежно від розмірів підшипників.

Великогабаритні підшипники для енергетичних установок і турбін виготовляють з цементованої хромонікелевої сталі 20X2H4 із застосуванням одного з видів зміцнювальної термообробки.

2.4.4. Зносостійкі сталі

Для деталей, що працюють на знос в умовах абразивного тертя та високомісних тисків та ударів (наприклад залізничних хрестовин), використовують високомарганцеву литу аустенітну сталь 110Г13Л, яка містить 0,9...1,3 % С та 11,5...14,5 % Mn. Це перша промислова легована сталь, що застосовується з 1882 року.

Після лиття структура сталі набуває структуру аустеніту і карбідів типу $(FeMn)_3C$, які виділяються по межах зерен, що

знижує міцність та в'язкість сталі. Розчинення карбідів відбувається при температурі нагрівання під гартування (1050...1150 °С).

Після гартування у воді сталь набуває аустенітну структуру. Відмінною рисою марганцевистого аустеніту є його підвищена схильність до наклепу.

У процесі експлуатації при ударних навантаженнях відбувається інтенсивне дроблення блоків аустенітних зерен, часткове перетворення аустеніту в мартенсит.

Все це призводить до різкого гальмування дислокацій, що сприяє підвищенню твердості та міцності.

Сталі другої групи застосовують для деталей, які повинні бути зносостійкими при взаємодії з потоком рідини, тобто в умовах особливого виду руйнування (кавітаційна ерозія є наслідком утворення в потоці рідини різних пустот, парогазових пазирів і т.ін., зростання яких створює багаторазовий мікроударний вплив). У поверхневому шарі металу виникає складнапружений стан і створюються умови для зародження та росту тріщин.

Спочатку кавітаційна ерозія носить локальний характер, але поступово захоплює значну поверхню деталі й проникає на більшу глибину.

Для виготовлення деталей, здатних протистояти кавітаційній ерозії, застосовуються сталі аустенітного класу (12Х18Н9Т, 08Х14АГ12, 08Х14АГ12М), які в процесі мікроударного впливу зміцнюються і підвищують опір ерозії. Високу кавітаційну стійкість мають також мартенситостаріючі сталі, але вони мають більшу вартість.

Зносостійкі цементовані сталі 15Х, 15ХА, 20Х, 15ХФ, 18ХГ, 20ХН, 12ХН2, 12ХН3А, 20ХН3А, 12Х2Н4А, 20Х2Н4А, 18Х2Н4МА, 14Х2Н3МА, 20ХН2М, 15Н2М, 20Н2М (ГОСТ 4543-71) застосовуються для виготовлення черв'ячних, шліцьових і розподільних валів, зубчастих коліс, втулок, шпильок, осей, вал-шестерень, валів редукторів (рис. 2.18).

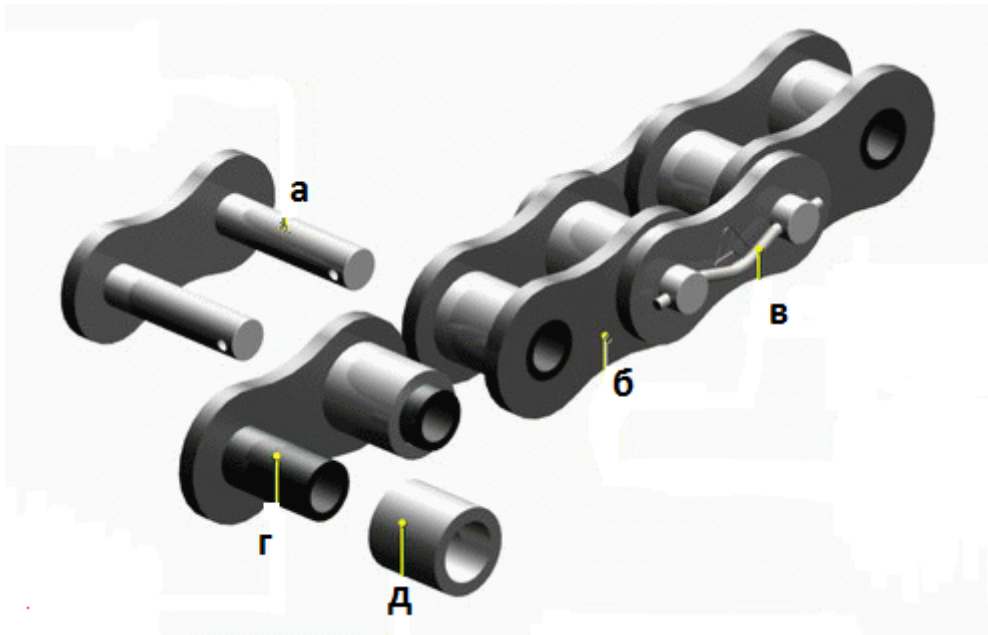


Рис. 2.18. Матеріали приводних ланцюгів підвищеної міцності й точності:

а – валик (сталь 25ХГМ); б – штифт (сталь 65Г);

в – пластина (сталь 40ХМ); г, д – втулка та ролик (сталь 20ХМ)

Високоміцні сталі 38ХН3МФА, 30ХН2МФА, 38ХН3МА, 34ХН1М, 34ХН1МА, 34ХН3М, 34ХН3МА, 35ХН1М2ФА (ГОСТ 4543-71) застосовуються для виготовлення деталей редукторів, болтів, шпильок, валів, осей, зубчастих коліс, муфт, особливо відповідальних деталей компресорних машин, роторів, напівмуфт та інших особливо відповідальних важконавантажених деталей.

2.4.5. Корозійностійкі (нержавіючі) сталі та сплави

Корозія – це руйнування металів під дією навколишнього середовища.

Розрізняють хімічну корозію, що протікає при впливі на метал газів (газова корозія) і неелектролітів (нафта і її похідні), та електрохімічну корозію, яку викликають електроліти (кислоти лугів, солей).

До електрохімічної корозії належать також атмосферна та ґрунтова корозії.

Сталі, які стійкі до електрохімічної корозії, називають **нержавіючими, або корозійностійкими** (рис. 2.19).



Рис. 2.19. Ємності з нержавіючої сталі

Підвищення стійкості сталі до корозії досягається введенням у неї елементів, що утворюють на поверхні захисні плівки, які міцно зв'язані з основним металом, що є попереджувальним бар'єром між сталлю та агресивним зовнішнім середовищем.

У результаті чого також підвищується електрохімічний потенціал сталі в різних агресивних середовищах.

У морській воді та атмосферній волозі в порядку зростання електрохімічного потенціалу металевий ряд можна подати в такій послідовності: Li - Mg - Zn - Al - Cd - Fe - Sn - Ni - Cr - Cu - Ag - Au.

При будь-якому контакті першим з перерахованих металів руйнується той, який розташований лівіше.

Наприклад, електрохімічний потенціал цинку в порівнянні з алюмінієм і залізом нижче. У такому сполученні цинк є анодною ділянкою в електрохімічному ланцюзі і руйнується першим.

На цьому принципі оснований протекторний захист від корозії, широко застосовуваний в авіації, суднобудуванні та машинобудуванні.

Катодні покриття виготовляються з металів з більш високим електрохімічним потенціалом, наприклад, шар хрому, нікелю або олова на сталі.

Катодний захист менш надійний, ніж анодний, тому що найменше порушення катодного покриття негайно призводить до інтенсивного руйнування основного металу.

Основний елемент у нержавіючих сталях – хром, якого повинно бути не менше 13 %. У цьому випадку на поверхні металу виникає захисна плівка окислів хрому, яка перериває контакт металу з агресивним середовищем.

Електрохімічна корозія може бути рівномірною, що протікає приблизно з однаковою швидкістю по всій поверхні металу, але може носити місцевий характер. Склади сталей, стійких до електрохімічної корозії, установлюють з урахуванням середовища, де вони будуть працювати.

Ці сталі за хімічним складом можна розділити на два основні класи: хромисті і хромонікелеві.

Хромисті нержавіючі сталі містять не менше 13 % Cr і за структурою звичайно діляться на три групи:

- мартенситні – 20X13, 30X13, 40X13;
- мартенситоферитні – 12X13;
- феритні – 12X17, 15X28.

Сталі 12X13 і 20X13 добре зварюються та у відпаленому стані мають високу пластичність, що дає змогу їх використовувати при холодному штампуванні. Сталі належать до класу цементованих. Звичайно їх піддають гартуванню в маслі при температурі 1000-1100 °C та високому відпуску, після якого карбіди наявні у вигляді відособлених включень, що запобігає міжкристалевій корозії.

Сталі марок 30X13 і 40X13 відносять до класу поліпшуваних. Звичайно їх гартують при температурі 1000-1050 °C і роблять відпуск при температурі 180-200 °C, щоб зберегти мартенситну структуру, високу твердість і стійкість проти корозії.

З хромистих сталей виготовляють деталі паливної апаратури, деталей засобів транспорту та ін. Ці сталі широко застосовуються у побуті, а також для виготовлення хірургічного інструменту.

Більш високу корозійну стійкість мають сталі феритного класу – 12X17, 15X25T, 15X28, які можуть працювати в більш агресивних середовищах і при більш високих температурах.

Значним недоліком феритних сталей є те, що грубозерниста структура, яка виникає при нагріванні (наприклад при зварюванні), не може бути виправлена подальшою термообробкою, оскільки у цих сталях не проходять фазові перетворення у всьому інтервалі температур. Грубозерниста структура призводить до крихкості сталі. Росту зерна можна частково запобігти введенням у сталь Ti , що, утворюючи карбід Ti , перешкоджає росту зерна. Сталь також схильна до міжкристалітної корозії, якої частково також можна запобігти введенням титану.

Таким чином, залежно від типу і кількості легуючих елементів, хромонікелеві сталі за структурою діляться на три класи: аустенітні, аустенітно-мартенситні, аустенітно-феритні.

Аустенітні сталі схильні до крихкого руйнування при низьких температурах, тому хромонікелеві корозійностійкі сталі широко використовують у криогенній техніці для зберігання скраплених газів, виготовлення оболонок паливних баків і т.д. (рис. 2.20).



Рис. 2.20. Сталі аустенітного класу

Сталі аустенітно-мартенситного класу (09X15H8Ю, 09X17H7Ю) отримали широке використання в основному як високоміцні. Вони добре зварюються, стійкі проти атмосферної корозії. З метою забезпечення достатньої міцності й одночасно підвищеної корозійної стійкості сталь 09X15H8Ю піддається

такій термічній обробці: загартуванню на аустеніт (925-975 °С) із подальшою обробкою холодом (-70 °С) та старінням (350-380 °С).

Сталі аустенітно-феритного класу (08Х22Н6Т, 03Х23Н6, 08Х21Н6М2Т, 10Х25Н5М2 та ін.) містять 18-30 % Сr, 5-8 % Ni, до 3 % Мо, 0,03-0,10 % З, а також добавки Ti, Nb, Cu, Si і Ni. Ці сталі після гартування у питній воді з 1000- 1100 °С мають структуру, що складається з рівномірно розподілених між собою зерен аустеніту і фериту із вмістом останнього близько 40-60 %.

Сталі з добавками титану 18ХГТ, 25ХГМ, 25ХГТ, 30ХГТ, 15ХГН2ТА, 15Х2ГН2ТА, 15Х2ГН2ТРА, 20ХГНТР, 25Х2ГНТА (ГОСТ 4543-71) застосовуються для виготовлення зубчастих коліс коробок передач, черв'ячних валів, зубчастих вінців, осей, важконавантажених зубчастих коліс, трансмісій транспортних машин; після азотування – ходових валиків і гвинтів верстатів та інших деталей, які зазнають мінімальної деформації.

Корозійностійкі сталі 30Х13, 40Х13, 14Х17Н2, 12Х17, 15Х17АГ14, 10Х14Г14Н4Т, 08Х17Т, 08Х18Т1, 15Х25Т, 15Х28, 08Х22Н6Т, 08Х18Г8Н2Т, 10Х17Н13М2Т, 10Х17Н13М3Т, 08Х17Н15М3Т, 03Х17Н14М3, 03Х16Н15М3, 03Х16Н15М3Б, 08Х17Н13М2Т, 11Х11Н2В2МФ, 16Х11Н2В2МФ, 13Х11Н2В2МФ, 31Х9Н9МВБ (ГОСТ 5632-72) застосовуються для виготовлення різальних інструментів, дисків, валів, втулок, устаткування заводів харчової промисловості, консервних заводів, м'ясо-молочної промисловості, труб теплообмінної апаратури, деталей компресорних машин (рис. 2.21).



Рис. 2.21. Центробіжнолиті труби з жароміцних сталей типу 20Х20Н14С2, 20Х25Н20С, 20Х25Н19С2Л, 35Х24Н24Б, 45Х25Н20С, 50Х25Н35С2Б

Високолеговані корозійностійкі ливарні сталі 20Х13Л, 15Х13Л, 09Х16Н4БЛ, 09Х17Н3СЛ, 40Х24Н12СЛ, 10Х18Н11БЛ, 12Х18Н12М3ТЛ, 15Х23Н18Л, 35Х18Н24С2Л (ГОСТ2176-77) застосовуються для виготовлення лопаток компресорів, шнеків, кріпильних деталей, деталей, що зазнають дії слабких агресивних середовищ (волога пара, водні розчини солей органічних кислот), деталей підвищеної міцності для харчової промисловості

2.4.6. Жаростійкі та жароміцні сталі

Сталі, стійкі до газової корозії при температурах вище 550 °С, називають **окалиностійкими, або жаростійкими**.

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.

Підвищення жаростійкості сталі досягається не тільки за рахунок введення в сталь хрому, але також легуванням Al і Si. У цьому випадку утворюються щільні багатофазні окисні плівки Cr₂O₃, Al₂O₃, SiO₂, що захищають метал від окиснювання. Якщо на першій стадії процес окиснювання носить суто хімічний характер, то на наступних – він розвивається за допомогою дифузії атомів кисню та металу через шар окиснених плівок. Чим щільніші ці плівки, тим пасивніше йде процес подальшого окиснювання.

Введення в сталь 5-8 % Cr підвищує жаростійкість до температури 700-750⁰С; збільшення вмісту хрому до 15-17 % робить сталь жаростійкою до температури 950-1000 °С, а при вмісті 25 % Cr сталь залишається жаростійкою до температури 1100 °С. Легування сталей з 25 % Cr алюмінієм і кремнієм (добавкою Al і Si по 5 %) підвищує жаростійкість до температури 1300 °С.

Аустенітні жаростійкі сталі не зміцнюються термообробкою. У загартованому стані сталі мають достатню пластичність і гарну зварюваність. Сталі широко застосовуються для виготовлення камер згоряння, жарових труб, форсажних камер та інших аналогічних деталей. Одержали поширення сталі 20Х23Н18, 06ХН28МДТ; ХН78Т.

Жаростійкі сталі 08Х18Н10, 12Х18Н9, 08Х18Н10Т, 12Х18Н10Т, 12Х18Н9Т, 40Х9С2, 12Х17, 08Х17Т, 08Х18Т1, 15Х18СЮ, 15Х25Т, 15Х28 (ГОСТ 5632-72) застосовуються для виготовлення теплообмінників, адсорбційних веж.

Сталь, що азотують 38Х2МЮА (ГОСТ 4543-71), застосовується для виготовлення втулок, зубчастих коліс.

Жароміцність – це здатність матеріалу при високих температурах опиратися розвитку пластичної деформації та руйнуванню під впливом тривалих механічних навантажень.

У загальному випадку міцність металу визначається двома факторами – температурою і часом. Чим вища температура та більша тривалість впливу навантаження, тим інтенсивніше розвивається пластична деформація і швидше настає руйнування конструкції.

Жароміцність тісно пов'язана з явищем **повзучості**, тобто властивістю матеріалів деформуватися при високих температурах під дією постійних навантажень.

Явище повзучості спостерігається в тому випадку, якщо робочі напруги в деталі перевершують межу пружності матеріалу, а робоча температура вища від температури рекристалізації.

Жароміцність характеризується двома характеристиками – **межею повзучості і межею тривалої міцності**.

Оскільки жароміцність матеріалу залежить від його схильності до повзучості, то всі фактори, що перешкоджають повзучості, будуть сприяти підвищенню жароміцності.

Виходячи із цього можна стверджувати, що управляти характеристиками жароміцності можна за допомогою трьох основних факторів: межі пружності, температури рекристалізації та швидкості рекристалізаційних процесів.

Вплив цих факторів варто розглядати в сукупності, з огляду на те, що вони визначаються складом сплаву і його структурним станом. Насамперед за основу жароміцного сплаву вибирається

метал з максимальною температурою плавлення. Потім цей метал легують, основна мета цього процесу – створити сприятливі умови для подальшої зміцнювальної термообробки.

Далі за основу жароміцної матриці вибирається метал з максимальною щільністю пакування атомів у ґратках.

У машинобудуванні поширення одержали жароміцні сталі двох класів: з карбідним зміцненням та інтерметалідним.

Сталі з карбідним зміцненням 40X15H7Г7Ф2МС і 37X12H8Г8МФБ широко застосовуються для кріпильних деталей, дисків і корпусів турбін та інших аналогічних деталей.

Зміцнювальна термообробка полягає в гартуванні у воді при температурі 1050-1150 °С і подальшому старінні при температурі 650-700 °С (приблизно до робочих температур в експлуатації) протягом 10-16 год. Основною зміцнювальною фазою є карбіди, які утворюються при високому вмісті вуглецю. Сталі інтерметалідного класу мають те ж призначення, що і сталі карбідного класу, але зміцнення при старінні відбувається при виділенні з пересиченого твердого розчину дрібнодисперсних утворень надлишкових інтерметалідних фаз. Широке застосування одержали сталі 10X17H13M2T і 10X14Г14H4T.

2.4.7. Кріогенні сталі

Звичайно кріогенними температурами вважаються температури нижче точки кипіння рідкого азоту (-196 °С). При таких температурах можуть працювати не всі сталі та сплави (рис. 2.22).

В основному як кріогенні застосовують низьковуглецеві нікелеві сталі аустенітного класу, які не схильні до холодноламкості. Велике число деталей апаратів кріогенної техніки виготовляють зі звичайних аустенітних сталей, не схильних до крихкого руйнування.

Аустенітні кріогенні сталі ділять на три групи:

- найбільше застосовуються хромонікелеві нержавіючі сталі 12X18H10T і 08X18H10T. Вони добре зварюються і мають значний запас в'язкості навіть при температурі -253 °С ($\sigma_{0,2} = 600$ МПа, КСУ = 1 МДж/м²);

- складнолеговані аустенітні сталі підвищеної міцності 07X2117АН5 і 03X20Н16АГ6, у яких при температурі $-253\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($\sigma_{0,2}=1150-1350\text{ МПа}$ і $\text{КСУ}=1,0-1,3\text{ МДж/м}^2$). З цих сталей, як правило, виготовляють методом штампування товстостінні ємності;
- аустенітні сталі на хромомарганцевій основі 10X14Г14Н4Т та 03X13АГ19, які використовуються як замітники дорогих хромонікелевих сталей. Сталі призначені для виготовлення зварних конструкцій, що працюють при температурах від $+20$ до $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Рис. 2.22. Кріогенне обладнання для кисню, аргону, азоту

У техніці для експлуатації при кріогенних температурах почали застосовуватися мартенситостаріючі сталі, але вони дуже дорогі.

2.4.8. Інструментальні сталі для різального та вимірального інструменту

Ефективність роботи різальних інструментів, а в кінцевому результаті і продуктивність праці при обробці матеріалів різанням значною мірою залежить від властивостей інструментального матеріал. Основна вимога до матеріалу і геометрії різального інструменту – забезпечення гостроти леза (різальних властивостей) протягом якомога довшого часу. Втрата працездатності може прийти через аварійне (випадкове) зношування і в результаті поступового монотонного зношування. Тому до інструментальних матеріалів ставляться такі вимоги:

1) мати високі механічні властивості (твердість, міцність, ударну в'язкість) та високу зносостійкість;

2) бути хімічно інертними до оброблюваних матеріалів;

3) мати високу теплостійкість (зберігати твердість і відповідно різальні властивості при високих температурах), теплопровідність, бути малочутливими до циклічних коливань температури. Під теплостійкістю інструментального матеріалу розуміють максимальну температуру нагрівання, при якій зберігається необхідна твердість (для інструментальних сталей HRC58);

4) бути достатньо технологічними і відносно дешевими.

Відповідно до прийнятої концепції інструментальної програми України всі інструментальні матеріали класифікуються таким чином: інструментальні сталі; тверді сплави; абразиви; полікристалічні надтверді матеріали; інструментальна кераміка; абразивні надтверді матеріали.

Запроваджена така класифікація основних видів промислових інструментів за галузями їх застосування: металообробні, деревообробні, для оброблення полімерних матеріалів.

У цей час у металообробці найбільш широко використовуються інструментальні сталі, тверді сплави й абразивні інструменти.

Основна вимога до цих сталей – тривале збереження різальної кромки, твердість якої повинна бути не менш 60-62 HRC, тобто сталь повинна бути червоностійкою.

Червоностійкість – це здатність матеріалу тривалий час зберігати високу твердість і різальні властивості при високих швидкостях різання.

Інструментальні леговані сталі мають червоностійкість до температур 550-600 °С. Тверді сплави червоностійкі при нагріванні до 900-1000 °С.

Інструментальні сталі для різального інструменту діляться на три основні групи:

- 1) **вуглецеві;**
- 2) **леговані;**
- 3) **швидкорізальні.**

Для різального інструменту, розрахованого на невеликі швидкості різання, а отже, і невелику червоностійкість, застосовуються звичайні вуглецеві сталі (рис. 2.23). У сталях для різального інструменту вміст вуглецю в середньому близько 1 %. До цих сталей належать сталі марок У9, У10, У11, У12, які мають невелику (до 10 мм) прогартованість у воді і застосовуються для виготовлення не дуже навантаженого інструменту.



Рис. 2.23. Різальний інструмент

Додавання до вуглецевих сталей 1-3 % легуючих елементів поліпшує їх прогартованість. Інструмент з цих сталей гартується в маслі. Мала швидкість охолодження при гартуванні зменшує небезпеку утворення тріщин і жолоблення, до чого схильні суто вуглецеві сталі. Тому сталі марок 9ХС, ХГСВФ, ХВГ та інші аналогічні застосовуються для виготовлення інструменту складної конфігурації, що випробовує при роботі більш високі навантаження.

Під швидкорізальними розуміються сталі, з яких виготовляється різальний інструмент, призначений для роботи при високих швидкостях різання, тому що інструмент при цьому не втрачає своїх різальних властивостей. Основними легуючими елементами швидкорізальних сталей є вольфрам і хром. Найбільше поширення одержала сталь Р18 (18 % W; 1,2 % V; 4,2 % Cr; 0,74 % C).

Основною перевагою швидкорізальної сталі є її червоностійкість до температури 700 °С. Для підвищення червоностійкості використовують тверді сплави, що складаються з карбідів і сполучної фази.

Тверді сплави для різального інструменту діляться на три групи:

- 1) ВК (WC + Co);
- 2) ТК (WC+Ti+Co);
- 3) ТТК (WC+Ti+Ta+Co).

Найпоширенішими є сплави групи ВК марок ВК3, ВК6, ВК8, ВК20, у яких цифри відповідають кількості зв'язуючого, тобто 3,6,8 і 20 % С, а інше (карбід вольфраму, який забезпечує основні властивості сплаву (рис. 2.24).



Рис. 2.24. Твердосплавні пластини

Сталі для вимірювальних інструментів і деталей високої точності. Основними вимогами до сталей для вимірювальних інструментів є висока твердість, зносостійкість і стабільність розмірів протягом тривалого періоду експлуатації. Найбільш важко забезпечити останню вимогу, тому що загартована сталь згодом старіє, сутність цього явища полягає в тому, що у металі відбуваються:

- перерозподіл напруг, що може викликати деформацію інструменту;
- зменшення тетрагональності мартенситу через виділення вуглецю, що призводить до збільшення об'єму інструменту, а отже, і розмірів;
- перетворення залишкового аустеніту в мартенсит відпуску, що також сприяє збільшенню розмірів інструменту.



Рис. 2.25. Вимірювальний інструмент

Для виготовлення вимірювальних інструментів використовуються сталі марок Х, ХГ, 50, 55, 15, 20 та ін. (рис. 2.25). Високовуглецеві сталі зазнають гартування і дуже низького тривалого відпуску. Бажано перед відпуском провести обробку холодом. Маловуглецеві сталі, піддають цементації і подальшому гартуванню з низьким відпуском.

2.4.9. Сталі для штамів холодного та гарячого деформування

Основні вимоги до інструментальних сталей для холодного деформування – це висока твердість, міцність, опір зношуванню та підвищена в'язкість (рис. 2.26).

Дані про основні марки сталі для виготовлення інструментів холодного деформування металів наведені в табл. 2.14.

Вуглецеві сталі рекомендуються для виготовлення простого і малогабаритного інструменту. Після гартування і відпуску на твердість HRC 57-59 інструмент набуває високої зносостійкості та ударної в'язкості.

Таблиця 2.14

Тип інструменту	Рекомендована сталь
-----------------	---------------------

Сталі для штампів об'ємного штампування	
Висаджувальні штампи	B10, B12, ХВСГ
Штампи для пресування	X12М, X12Ф, P12, P6M5, 5XB2C
Сталі для штампів листового штампування	
Витяжні штампи	B10-B12, X, ХГ2, X12Ф1, Х6ВФ
Вирубні штампи	X12Ф1, Х6ВФ, P12, 4X6Ф, X12Ф4М



Рис. 2.26. Штампи для вирубки, витяжки, пробивки

Для складного за формою і великогабаритного інструменту застосовуються леговані сталі. Режими зміцнювальної термообробки на практиці визначаються індивідуально для кожного типу інструмента і кожної марки сталі.

У табл. 2.15 наведені марки сталей, які застосовують для різних видів інструменту при деформуванні металу і пластмас у гарячому стані.

Таблиця 2.15

Тип інструменту	Сталь, що рекомендується
Молотові штампи	5ХНМ, 5ХНВ, 5ХГМ, 4Х5У2ФС
Висаджувальні штампи	7Х3, 4Х5В2ФС, 4Х2СВ2М9
Штампи для пресування, видавлювання, прошивання, протягання	2Х8В8М2Ю8
Ножі, пилки гарячого різання	4Х5В2ФС; 4Х3ВМС; 4Х5В4ФСМ, 6ХС

Прес-форми для лиття під тиском	4X5MC, 4X3BMФC – для магнієвих сплавів 4X5B2ФC; 4X5MC – для алюмінієвих сплавів 3X2B8Ф, 4X5B4ФCМ6; 3X12B12Ф – для мідних сплавів
Прес-форми для пресування пластмас	2X12B12Ф, 55Г, 6XC, X12M, X12Ф, 5XB2C, 4X3VMC, (20X,12XН3) – після цементації

Крім загальних вимог, до інструментальних та штампових сталей для гарячого штампування і виготовлення прес-форм для лиття під тиском ставляться додаткові вимоги:

- висока розпалостійкість (стійкість до утворення тріщин при багаторазовому нагріванні й охолодженні);
- висока окалиностійкість;
- гарна теплопровідність для кращого відведення тепла від робочої поверхні штампа;
- висока прогартованість для забезпечення високої міцності по всьому перерізу інструменту.

Питання для самоперевірки

1. За якими ознаками класифікують сталі?
2. Як класифікують сталі за призначенням?
3. Як класифікують сталі за хімічним складом?
4. Сталі звичайної якості. Їх класифікація та маркування.
5. Яка з ознак може характеризувати киплячу сталь?
6. Якісні сталі. Їх класифікація за хімічним складом та маркування.
7. Який основний критерій для розподілу сталей за якістю?
8. Який граничний вміст сірки і фосфору в якісних сталях?
9. Який граничний вміст сірки і фосфору у високоякісних сталях?
10. До якої категорії за якістю належить сталь Стбсп? До якої категорії за якістю належить сталь 08кп?

11. Чи містять інформацію про хімічний склад (вміст вуглецю) марочні позначення сталей звичайної якості, наприклад Ст4?
12. Який із сплавів СтЗсп або сталь 30 містить більше вуглецю?
13. Вироби якого типу можуть виготовлятися зі сталей марок 65, 70?
14. Який хімічний склад сталі 20ХНЗА?
15. Маркування та класифікація сплавів провідних промислових країн світу.
16. Які сталі називають автоматними?
17. До якої групи матеріалів належить сплав марки А20?
18. До якої групи матеріалів належить сплав марки АЦ20? Який його хімічний склад?
19. До якої групи матеріалів належить сплав марки АС40? Який його хімічний склад?
20. Дано дві марки сталей: 40Х9С2 і 40Х13. Яка з них є корозійностійкою (нержавіючою)?
21. Які метали називають жаростійкими?
22. Які метали називають жароміцними?
23. Які сталі називають зносостійкими?
24. До якої групи матеріалів належить сплав марки У10А? Який його хімічний склад?
25. Яка форма графіту у чавуні марки КЧ 35-10?
26. Яка форма графіту у чавуні марки СЧ 40?
27. Яка форма графіту у чавуні марки ВЧ 50?
28. Що означає число 10 у марці сплаву КЧ 35-10?
29. Що означає число 40 у марці сплаву СЧ 40?
30. До якого класу за рівноважністю структури належать швидкорізальні сталі?
31. Що таке червоностійкість швидкорізальних сталей?
32. Чи має швидкорізальна сталь високу червоностійкість у литому стані?
33. До яких орієнтовно температур слід нагрівати швидкорізальні сталі при гартуванні?
34. Чому при гартуванні швидкорізальних сталей застосовують ступінчасте нагрівання?

35. Чому швидкорізальні сталі при гартуванні нагрівають до температур значно більш високих, ніж, наприклад, вуглецеві сталі?

36. Який з процесів, які відбуваються при відпуску, приводить до підвищення твердості загартованої швидкорізальної сталі?

37. Скільки відсотків вольфраму та ванадію (W і V) містить сталь P18K5Ф2?

38. Яка роль карбіду вольфраму (WC), що входить до складу твердих сплавів?

39. Сталі для штампів холодного та гарячого деформування. Основні вимоги та маркування.

3. СПЛАВИ КОЛЬОРОВИХ МЕТАЛІВ ДЛЯ МАШИНОБУДУВАННЯ

Кольорові метали входять до складу різних сплавів. Найбільше застосування отримали мідні сплави (бронзи, латуні), що мають антифрикційні, антикорозійні властивості, та алюмінієві сплави (дюралюміній), які легкі. Однак ці метали значно дорожчі від чорних.

3.1. Мідні сплави

Мідь – це метал червонуватого кольору щільністю $8,94 \text{ г/см}^3$, що має гранецентровану кристалічну ґратку з періодом $a = 0,31607 \text{ нм}$.

Мідь у чистому вигляді характеризується високою електро- і теплопровідністю, хорошою оброблюваністю тиском, невеликою міцністю і застосовується для виготовлення струмопровідних деталей.

На основі міді отримують різні сплави, які широко використовуються як матеріали для виготовлення різних деталей (рис. 3.1).



Рис. 3.1. Мідні кріпильні вироби
(болти, гайки, саморізи, заклепки)

Ці сплави мають гарні механічні й антикорозійні властивості, вони зносостійкі, мають низький коефіцієнт тертя, високу електро- і теплопровідність. Розрізняють дві основні групи мідних сплавів: латунь і бронза. У латунях основним легуючим елементом є цинк, у бронзах – інші елементи.

Легуючі елементи в марках мідних сплавів позначають такими літерами: А – алюміній, Н – нікель, О – олово, Ц – цинк, С – свинець, Ж – залізо, Мц – марганець, К – кремній, Ф – фосфор, Т – титан.

Латунь – сплав міді з цинком. Вміст цинку в сплаві досягає 40-45 %. Латуні пластичні і відзначаються хорошими ливарними

властивостями. Їх межа текучості дорівнює $\sigma_T=250-450$ МПа. Міцність можна трохи підвищити за рахунок використання обробки тиском при високій температурі.

Латуні ділять на подвійні (прості) та багатокомпонентні сплави, в яких основним легуючим елементом є цинк. У подвійних вміст цинку може доходити до 50 %. Марки таких латуней позначають літерою Л і цифрою, що показує вміст міді у відсотках, наприклад Л59. Для поліпшення механічних, технологічних і корозійних властивостей у латуні вводять, крім цинку, в невеликих кількостях різні легуючі елементи (алюміній, кремній, марганець, олово, залізо, свинець) (рис. 3.2).



Рис. 3.2. Нарізні латунні вставки

Такі латуні називають спеціальними або багатокомпонентними. Введення легуючих елементів (крім нікелю) зменшує розчинність цинку в міді. Нікель збільшує розчинність цинку в міді. Легуючі елементи збільшують міцність, але зменшують пластичність латуні. Свинець полегшує оброблюваність різанням і покращує антифрикційні властивості. Опір корозії підвищують алюміній, цинк, кремній, марганець і нікель. Латуні в наклепаному стані або з високими залишковими напруженнями містять понад 20 % Zn і схильні до корозійного (“сезонному”) розтріскування при наявності вологи, кисню, аміаку. Для запобігання розтріскуванню напівфабрикати з латуні

зазначених складів відпалюють при 250-650 °С, а вироби з латуні – при 250 - 270 °С.

Усі латуні за технологічною ознакою поділяють на дві групи: деформовані і ливарні.

Деформовані латуні відзначаються високими корозійними властивостями в атмосферних умовах, прісної і морської води і застосовуються для деталей у суднобудуванні. Більш високу стійкість у морській воді мають латуні, леговані оловом, що отримали назву морських латуней (рис. 3.3).



Рис. 3.3. Морська латунь

Ливарні латуні, призначені для фасонного лиття, мають гарну плинність, мало схильні до ліквіації (неоднорідність хімічного складу, що виникає при його кристалізації) і відзначаються антифрикційними властивостями. Від ливарних латуней потрібна підвищена міцність, тому до них додається велика кількість спеціальних присадок, які поліпшують їх ливарні властивості. Ці латуні відзначаються кращою корозійною стійкістю. Коли потрібна висока пластичність, підвищена теплопровідність і важлива відсутність схильності до корозійного розтріскування, застосовують латуні з високим вмістом міді. Латуні з великим вмістом цинку мають більш високу міцність, краще обробляються різанням, але гірше опираються корозії.

У марках багатокomпонентних латуней перші цифри вказують середній вміст міді, а наступні – легуючих елементів.

Наприклад, латунь ЛКС80-3-3 містить 80 % міді, по 3 % кремнію і свинцю, а інше – цинк.

Для хімічного складу бронзи характерна наявність основного легуючого компонента, за який застосовують: олово, алюміній, залізо, кремній, хром, берилій та ін.

Бронзи класифікують за основним легуючим елементом: олов'янисті і безолов'янисті (або спеціальні). До безолов'янистих відносять алюмінієві, берилієві, крем'янисті, свинцюваті і т.д. Широко використовуються олов'янисті бронзи. Вони характеризуються високою стійкістю проти стирання, низьким коефіцієнтом тертя ковзання, найкращими антифрикційними властивостями. Олов'янисті бронзи за технологічною ознакою поділяють на ливарні і деформувальні. Безолов'янисті бронзи добре обробляються, в ряді випадків мають більш високі механічні й антикорозійні властивості, ніж олов'янисті, тому вони широко застосовуються в промисловості. У залежності від призначення і механічних властивостей спеціальні бронзи діляться на деформувальні і ливарні. До деформувальних спеціальних бронз відносять бронзи з вмістом основного легуючого елемента 5-10 %. Ці бронзи добре обробляються в гарячому і в ряді випадків у холодному стані, мають високу корозійну стійкість (рис. 3.4).

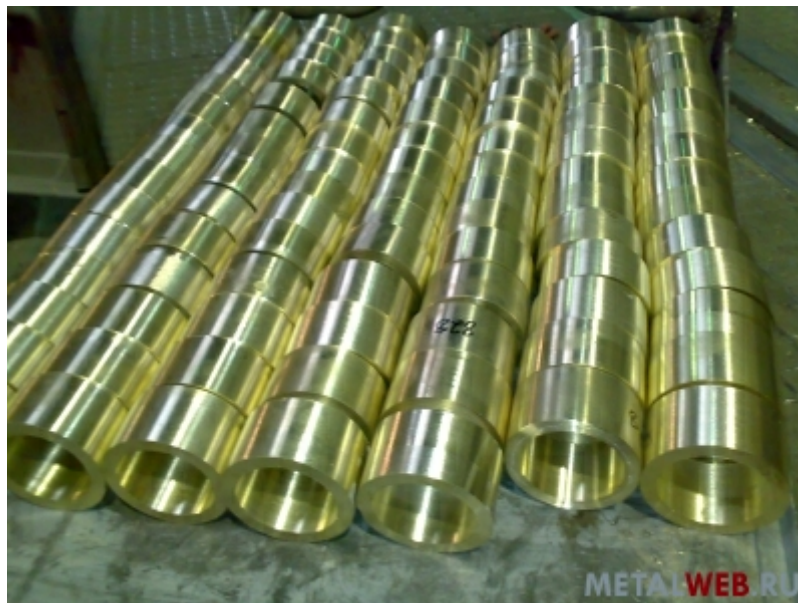


Рис. 3.4. Бронзові втулки БрАЖ, БрОЦС, БрОФ, БрОЦ

Сплав міді з оловом звичайно містить до 10-12 % Sn. Якщо збільшити вміст олова, то сплав набуває підвищеної крихкості. Зазвичай цей тип бронз додатково легують Zn, Fe, P, Pb, Ni та іншими елементами. При цьому цинк Zn поліпшує технологічні властивості і знижує вартість. Фосфор P поліпшує ливарні властивості бронзи, нікель Ni позитивно впливає на механічні характеристики і поліпшує корозійну стійкість, залізо підвищує опір корозії.

Бронзи, леговані алюмінієм, являють собою сплав з вмістом Al до 9 %. Крім цього, вони часто містять легуючі добавки, наприклад, Fe, Ni, Mn та ін. Такі бронзи добре опираються корозії, і їх можна використовувати для виробництва деталей, що працюють у морській воді та інших агресивних середовищах. Крім того, вони мають високі механічні й технологічні властивості.

При легуванні міді кремнієм (до 3,5 % Si) істотно підвищуються міцність і пластичність. Крім основного легуючого компонента, тут використовують і інші легуючі добавки, такі як Si, Mn та ін. Завдяки хорошим технологічним та механічним властивостям такі бронзи застосовують для виготовлення пружин, що працюють в агресивних середовищах. Вони більш міцні і дешеві, ніж олов'яні бронзи. Крем'яниста бронза має високу стійкість проти корозії в ряді агресивних середовищ, особливо в лугах.

У результаті легування міді берилієм, гранична розчинність якого становить 2,7 %, бронзи мають високу міцність і пластичність. Досягаються такі механічні характеристики в результаті загартування і подальшого старіння. Ці бронзи мають високу межу витривалості й успішно працюють в агресивних середовищах. Вони добре зварюються і обробляються різанням. Їх можна з успіхом використовувати для виготовлення пружин, мембран, різних рухомих контактів і деталей, що працюють на знос. Берилієва бронза марки БрБ2 немагнітна, стійка до морозу, дії прісної і солоної води, добре зварюється й обробляється різанням.

Бронзи, леговані свинцем (до 30 % Pb), являють собою сплави, які після затвердіння складаються з кристалів міді і включень свинцю. Це відбувається тому, що свинець не

розчиняється. Проте такий вид бронзи відзначається хорошими антифрикційними властивостями і використовується як матеріал для антифрикційних покриттів. Оскільки ці бронзи мають низьку міцність, то їх доцільно застосовувати як покриття, нанесені на металеву поверхню, найчастіше в підшипниках ковзання.

Марки бронз і мідно-нікелевих сплавів починаються відповідно з літер Бр і М, а наступні літери і цифри вказують на наявність легуючих елементів і відповідно їх вміст у відсотках. Наприклад, бронза БрОЦС 5-5-5 містить олова, цинку і свинцю по 5 % або мідно-нікелевий сплав мельхіор МН19 містить 19 % нікелю.

Усі мідні сплави визначаються гарною стійкістю проти атмосферної корозії. Міцність мідних сплавів, особливо латуней, нижча, ніж сталей, а корозійна стійкість набагато більша. Усі латуні і більшість бронз, за винятком алюмінієвих, добре паяються.

Бронзи і латуні використовуються як матеріали для виготовлення тертьових з'єднань (для гайок робочих гвинтів, вкладишів підшипників, зубчастих вінців черв'ячних коліс і т.п.), оскільки відзначаються хорошими антифрикційними властивостями (рис. 3.5). Чим більша різниця у твердості поверхонь тертя, тим краще; чим ближча їх твердість, тим більша небезпека заїдання при найменшій нестачі мастила. Дрібні деталі складного обрису при небезпеці іржавіння, наприклад, частини насосів, арматура і т. п., виготовляють з латуні.



Рис. 3.5. Бронзове литво

Латуні ЛЦ14КЗСЗ, ЛЦ40АЖ застосовуються для виготовлення підшипників, втулок; ЛЦ23А6ЖЗМц2 – гайок гвинтів, черв'ячних гвинтів; ЛЦ40С – втулок, сепараторів для підшипників кочення; ЛЦ40Сд, ЛЦ36Мц202С2 – зубчастих коліс. Латунь Л63, що визначається високою пластичністю, використовується для виготовлення струмопровідних і конструктивних деталей типу наконечники, втулки, шайби, а латунь ЛК80-3Л – для виготовлення литих деталей.

Бронзи Бр.ОФ6,5-0,15, Бр.010ф1, Бр.010Ц2, Бр.05С25, Бр.01С22, Бр.С60Н2, 5Бр.С30 застосовуються для деталей підшипників, втулок, Бр.0Ф7-0, 2 – прутків, шестерень, зубчастих коліс, втулок.

Деформувальні олов'янисті бронзи використовуються для отримання стрічок, смуг, прутків, дроту, пружин, трубок, підшипникових деталей і т.д., до них відносять бронзи марок БрОФ4-0,25, БрОФ6,5-0,4, БрОЦ4-3, БрОЦС4 -4-2,5 та ін.

Свинцювата бронза БРС-30 має високі антифрикційні властивості і застосовується для сильнонавантажених підшипників з великими питомими тисками, наприклад корінні підшипники турбін (рис. 3.6) .



Рис. 3.6. Підшипники турбін з бронзовим сепаратором

Особливе місце при виготовленні пружних елементів через високу міцність і пружність посідає берилієва бронза марки БрБ2 (рис. 3.7). Застосовують її для виготовлення відповідальних деталей типу струмоведучих пружних контактів, пружин, мембран.



Рис. 3.7. Берилієва бронза

Безолов'яністі бронзи (БрАЖ9-4, БРАМц9-2) використовуються при виготовленні невеликих зубчастих і черв'ячних коліс, втулок підшипників ковзання, ходових гайок у гвинтових механізмах.

Ливарні спеціальні бронзи використовують для фасонного лиття в авіа- і машинобудуванні при отриманні шестерень, втулок, сідел клапанів, пружин, ободів підшипників для різних масивних деталей, що працюють в агресивних середовищах і при великих тисках, а також для антифрикційних деталей.

Мідно-нікелеві сплави (МНЖМц30-1-1, МН19) застосовуються в хімічній і харчовій промисловостях.

МН95-5 – для виробів машинобудування; МНЖ5-1, МН10 – для конденсаторних труб.

Мідно-нікелеві сплави (мельхіор) – сплав міді з нікелем був відомий ще в III столітті до н. е. як “біла мідь”. Сучасна назва походить від імен його “винахідників” – французів Майо і Шорье. Основні характеристики: сріблястий колір, висока корозійна стійкість, температура плавлення 1170 °С (залежить від складу сплаву), пластичний, добре обробляється під тиском (штампуються, ріжуться, карбуються) в холодному і гарячому стані, паяється, полірується.

За зовнішніми характеристиками мельхіор схожий на срібло, але має більшу механічну міцність. Сплав широко застосовують для виготовлення посуду і недорогих ювелірних виробів (рис. 3.8). Більшість сучасних монет сріблястого кольору виготовляють з мельхіору (зазвичай 75 % міді і 25 % нікелю з незначними добавками марганцю).



Рис. 3.8. Набір з мельхіору

У залежності від складу мельхіор може бути електронегативним щодо морської води, через що застосовується у виробництві високоякісних деталей морських човнів. З мельхіору виготовляють також термогенератори, точні резистори та ін.

Титанові сплави (BT22, BT9, BT14) застосовуються для виготовлення деталей, що працюють протягом тривалого часу (рис. 3.9).



Рис. 3.9. Титанові сплави в конструкції планера

У конструкції планера літака використовуються титанові сплави (26,7%), алюмінієві сплави (37%), високоміцні сталі (5%), композиційні матеріали (не менше 5-7%).

BT16 застосовуються для виготовлення кріпильних і нарізних деталей діаметром 40 мм і більше.

3.2. Алюміній і сплави на його основі

Алюміній – це метал сріблясто-білого кольору з температурою плавлення 600°C . Він має гранецентровану кристалічну ґратку з періодом $a = 0,4041$ нм. Так як алюміній відзначається низькою щільністю, г/см^3 , то сплави на основі алюмінію називаються легкими. Алюміній, як і мідь, має високу електро- і теплопровідність. Модуль пружності $E = 7,0$ МПа.

Алюміній є корозійностійким матеріалом, так як на його поверхні з'являється плівка оксидів, що захищає основний метал від корозії. Чистий алюміній має низьку міцність і застосовується для виробництва деталей, які не сприймають силового впливу. Він добре деформується пластично, успішно зварюється, але погано обробляється механічно. Через це з алюмінію виготовляють трубопроводи, резервуари, палубні надбудови річкових і морських суден та ін. (рис. 3.10). З чистого алюмінію виготовляють також металеву фольгу, струмопровідні та кабельні матеріали.



Рис. 3.10. Алюмінієві профілі, які використовуються

Чистий алюміній застосовується рідко, тому що має низьку міцність. Найчастіше при виготовленні деталей застосовують сплави на основі алюмінію. Вони мають малу щільність, високу електро- і теплопровідність, корозійну стійкість і питому міцність. Найбільшого поширення набули сплави Al-Cu, Al-Si, Al-Mg, Al-Cu-Mg, Al-Cu-Mg-Si, Al-Mg-Si, Al-Zn-Mg-Si. За технологічними ознаками алюмінієві сплави поділяються на *деформівні*, тобто одержувані пластичним деформуванням, і *ливарні*, призначені для отримання фасонних деталей методом лиття.

Деформівні сплави за здатністю зміцнюватись термічною обробкою підрозділяють на сплави, що не зміцнюються термічною обробкою, і сплави, що зміцнюються термічною обробкою.

Найбільш відомим представником класу деформівних сплавів є *дюралюміній* (Al-Cu-Mg), який набув поширення в авіаційній техніці і транспортному машинобудуванні (марки Д1, Д16). Марганець додається до складу сплаву для підвищення корозійної стійкості. Часто в такі сплави додають присадки у вигляді Cr, Zn, Fe, Si. Сплав добре деформується в гарячому і холодному станах, а також задовільно обробляється різанням у загартованому та зістареному станах і погано – у відпаленому стані, добре зварюється точковим зварюванням і не зварюється зварюванням плавленням внаслідок схильності до утворення тріщин.

Дюралюміній широко використовується у виробництві листового і профільного прокату. Для підвищення міцності такі сплави часто зазнають гартування при температурі 500-520 °С з подальшим охолодженням у воді і витримкою при нормальній температурі протягом 75-100 год (природне старіння). Крім того, деформівні сплави зазнають обробки тиском з подальшою механічною обробкою. Таку технологію застосовують для виготовлення деталей з високою міцністю, наприклад, дисків відцентрових машин, деталей компресорів і т.д.

Перше застосування дюралюмінію – виготовлення каркаса дирижаблів жорсткої конструкції (рис. 3.11).



Рис. 3.11. Перший дирижабль цепелін

Перший політ здійснив дирижабль жорсткої конструкції, побудований графом Фердинандом фон Цепеліном (1838-1917). Його прізвище дало назву всім дирижаблям цього типу. Жорстка конструкція відрізнялася від м'якої і напівжорсткої тим, що прогумована оболонка повітряного корабля не роздувалася підйомним воднем, а була натягнута на міцний і легкий металевий каркас. Склад сплаву і термообробка в роки Першої світової війни були засекречені. Завдяки високій питомій міцності дюралюмінії починаючи з 1920-х років стає найважливішим конструкційним матеріалом у літакобудуванні.

До деформувальних сплавів, що не зміцнюються термічною обробкою, належать алюмінієво-магнієві. Ці сплави додатково легують марганцем, який зміцнює сплав. Ефект від загартування і старіння цих сплавів невеликий, і їх застосовують у відпаленому стані. Підвищення міцності при деякому зменшенні пластичності виробів простої форми досягається розпеченням. Зміцнення, створюване розпеченням, знімається в зоні зварювання. Сплави легко обробляються тиском. Добре зварюються і відзначаються високою корозійною стійкістю. Обробка різанням утруднена. Сплави застосовуються для зварних і клепанних елементів конструкцій, що зазнають невеликих навантажень і потребують високого опору корозії. З алюмінієво-магнієвих сплавів найбільш часто застосовується сплав марки АМг6. До деформувальних

сплавів належить високоміцний алюмінієво-магнієво-цинковий сплав В95.

Деформувальними є так звані спечені алюмінієві сплави, що визначаються дуже високими міцнісними властивостями (рис. 3.12). Вони бувають двох видів: **САП** (спечена алюмінієва пудра) і **САС** (спечений алюмінієвий сплав). САП зміцнюється дисперсними частинками окису алюмінію Al_2O_3 , утвореного в процесі помелу алюмінієвої пудри в атмосфері азоту з регульованою подачею кисню. Пудру брикетують, спікають і піддають деформації – пресуванню, прокатці, куванню. Залежно від вмісту Al_2O_3 (міцність сплаву зростає при збільшенні окису алюмінію до 20 – 22 %) розрізняють 4 марки САП (САП-1, САП-2, САП-3 і САП-4).

Сплави САС містять до 25 % кремнію і 5 % заліза. Їх отримують розпиленням рідкого сплаву, брикетуванням отриманих гранул і подальшою деформацією.

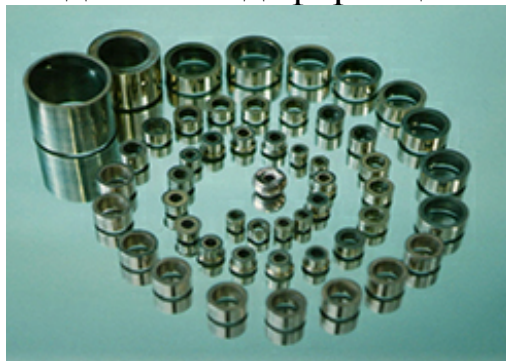


Рис. 3.12. Деформувальні сплави

Ливарні сплави на базі алюмінію (Al-Cu, Al-Mg, Al-Si, Al-Zn-Mg-Si) завдяки низькій щільності і гарній технологічності широко використовуються в літакобудуванні, суднобудуванні, машинобудуванні, будівництві та інших галузях.

Ливарні сплави застосовуються для фасонного лиття. Такі сплави повинні мати високу рідкоплинність, порівняно невелику усадку, малу схильність до утворення гарячих тріщин і пористості в сполученні з гарними механічними властивостями, опір корозії. Високими ливарними властивостями відзначаються сплави, що містять у своїй структурі **евтектику**. Евтектика утворюється в багатьох сплавах, у яких вміст легуючих елементів більше граничної розчинності в алюмінії. Найчастіше застосовують сплави алюмінію: з кремнієм (Al - Si), міддю (Al -

Cu), магнієм (Al - Mg), які додатково легують невеликою кількістю міді і магнію (Al - Si), кремнію (Al - Mg), марганцю, нікелю, хрому (Al - Cu).

Сплави Al - Si набули найбільшого поширення. Ці сплави, що отримали назву **силумін**, близькі за складом до евтектичних і тому визначаються високими ливарними властивостями і середніми механічними властивостями, а виливки – більшою щільністю. Мають високу корозійну стійкість.

Сплави *Al - Si* порівняно легко обробляються різанням. Зварку дефектів можна робити газовим та аргонодуговим зварюванням.

Сплави *Al - Cu* після термічної обробки мають високі механічні властивості при кімнатній і підвищених температурах і добре обробляються різанням. Ливарні властивості сплавів низькі. Ці сплави використовують для виливання невеликих деталей простої форми. Вони схильні до крихкого руйнування. Якщо від виливків потрібна підвищена міцність, то їх після гартування піддають штучному старінню при 150 °С. Алюмінієво-мідні сплави малостійкі проти корозії, тому виливки зазвичай анодують.

Сплави *Al - Mg*. Сплави алюмінію з магнієм мають низькі ливарні властивості, тому що не містять евтектики. Характерною особливістю цих сплавів є гарна корозійна стійкість, підвищені механічні властивості й оброблюваність різанням. Додавання до сплавів модифікуючих присадок (титан, цирконій) покращує механічні властивості, а берилію – зменшує окиснюваність розплаву, що дає змогу вести плавлення без захисних флюсів. Ці сплави призначені для виливків, що працюють у вологій атмосфері, наприклад у суднобудуванні й авіації. Додавання до сплавів Al - Mg кремнію покращує ливарні властивості в результаті утворення потрібної евтектики.

Сплави алюмінію широко застосовують у тих випадках, коли важливе зниження маси машини (конструкції). Алюміній і його сплави важко паяються.

Маркування алюмінієвих сплавів містить у собі початкові літери компонентів, що входять до складу сплаву, і цифри, що вказують вміст легуючого елемента у відсотках.

Дюралюмініни маркуються літерою "Д" та порядковим номером, наприклад: Д1, Д12, Д18.

Ливарні алюмінієві сплави маркуються літерами "АЛ" з подальшим порядковим номером: АЛ2, АЛ9, АЛ13, АЛ22, АЛ30.

Іноді маркують за складом: АК7М2; АК21М2, 5Н2, 5; АК4МЦ6. У цьому випадку "М" позначає мідь, "К" – кремній, "Ц" – цинк, "Н" – нікель; цифра – середній відсотковий вміст елемента.

Алюмінієві антифрикційні сплави маркують літерою "А" і початковими літерами елементів, що входять до них, : А09-2, А06-1, АН-2, 5, АСМТ. У перші два сплави входить вказана кількість олова і міді (перша цифра – олово, друга – мідь у відсотках), в третій 2,7-3,3 % Ni і в четвертий мідь, сурма і телур.

Дюралюміній і алюмінієво-магнієві сплави застосовують для середньонавантажених деталей типу стояків, кришок, втулок і т.д. Сплави марки В65, Д18 – для заклепок. Спечені алюмінієві сплави застосовують для виготовлення високонавантажених деталей і різних профілів. Силуміни марок АЛ-2, АЛ-4, АЛ-9 застосовують для виготовлення литтям корпусів, кришок, кронштейнів та інших складних середньонавантажених деталей. Алюмінієво-магнієво-цинковий сплав В95 застосовують для деталей з підвищеними статичними навантаженнями (вали, зубчасті колеса). З алюмінієвих антифрикційних сплавів виготовляють підшипники і вкладиші.

Крім перерахованих вище, у машинобудуванні використовується ряд інших металевих сплавів, як правило, призначених для виготовлення деталей з особливими властивостями. Наприклад, сплав олова і свинцю – **бабіт** – відзначається високими антикорозійними властивостями і застосовується як матеріал для виробництва вкладишів підшипників ковзання.

3.3. Антифрикційні сплави

Антифрикційні сплави належать до матеріалів з низьким коефіцієнтом тертя, які характеризуються значною зносостійкістю і достатньою міцністю, доброю припрацьовуваністю, корозійною стійкістю, відсутністю

схоплювання з контактуючою поверхнею. До антифрикційних сплавів належать литі матеріали: *бабіти, бронзи, латуні, антифрикційні чавуни і сталі (мідяна та графітізована сталь)*, деякі сплави на основі алюмінію та ін. (рис. 3.13). За структурою литі антифрикційні сплави поділяють на матеріали, в яких:

- у відносно м'якій основі розташовані більш тверді включення інтерметалідних сполук (наприклад, олов'янистий бабіт, алюмінієва та олов'яниста бронза);

- у більш міцній основі твердого розчину містяться включення м'якої металевої структурної складової (наприклад, свинцюваті бронзи, сплави на основі алюмінію, що містять олово, свинець і кадмій), яка служить твердим мастилом у процесі експлуатації.



Рис. 3.13. Антифрикційні матеріали на основі заліза і міді

Антифрикційні сплави застосовуються для виготовлення деталей, які працюють на стирання: підшипників і втулок різних механізмів, поршневих кілець, черв'ячних коліс тощо.

3.4. Підшипникові сплави

Підшипниковими називаються сплави, які використовуються для виготовлення вкладишів підшипників ковзання. Як підшипникові сплави в основному використовують *бронзи,*

чавуни та бабіти (рис. 3.14). Умови виготовлення і роботи підшипникових сплавів висувають ряд вимог до властивостей матеріалу, який повинен витримувати достатній питомий тиск, і його коефіцієнт тертя із сталеву поверхнею має бути невеликим, щоб не спричинити сильного зносу вала.



Рис. 3.14. Бабіти – підшипникові сплави, що відзначаються антифрикційними властивостями

Підшипникові сплави повинні мати високу корозійну стійкість, невисоку температуру плавлення для зручності заливки, хорошу зчіплюваність зі сталеву основою, високу ударну в'язкість у випадку роботи при ударних навантаженнях.

Залежно від елемента, який є основою сплаву, розрізняють **олов'янисті і свинцевисті бабіти, а також алюмінієві і цинкові підшипникові сплави**. Бабіти є легкоплавкими підшипниковими сплавами і відповідають цим вимогам. Вони мають низький коефіцієнт тертя при роботі в парі зі сталевим валом і добре до нього припрацьовуються.

Властивості бабітів наведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Марка бабіту	Густина, г/см ³	t _{пл} , °C	σ _в , МПа	δ, %	Коефіцієнт тертя
Б83	7,5	380	90	6,0	0,005
Б16	9,3	410	80	0,5	0,006
БКА	10,5	470	100	2,51	0,004

У структурі цих сплавів є мікрокапіляри, які забезпечують легкий доступ мастила до поверхонь, що труться. Це обумовлено гетерогенною структурою бабітів, яка складається з м'якої основи

та твердих включень. М'яка основа забезпечує достатню припрацьовуваність підшипника до вала, тверді кристали, які виступають над поверхнею, є опорними для частин, які труться і сприймають на себе навантаження, що дає змогу одержати високу зносостійкість сталі. Мікрорельєф, який утворюється в результаті стирання м'якої основи, забезпечує добру подачу мастила до поверхонь тертя та його рівномірне розподілення.

Олов'янисті бабіти (Б83, Б89) є сплавами олова з сурмою (7,5-12,0 %) і міддю (2,5-6,5 %) (рис. 3.15). Сурма вводиться для утворення твердих включень β -фази (твердий розчин на основі сполуки SnSb). Мідь додають для запобігання ліквіації, яка виникає при литті внаслідок різниці густини основних компонентів: важкого олова і більш легкої сурми. При кристалізації сплаву в першу чергу утворюється каркас Cu_3Sn , який має голчасту форму і забезпечує рівномірний розподіл β -фази по всьому об'єму. Одночасно сполука Cu_3Sn виконує роль твердої складової.



Олов'янисті бабіти застосовують для більш відповідальних підшипників парових турбін, турбонасосів, дизелів, парових машин та інших високонавантажених установок. Дефіцитність олова привела до необхідності розроблення більш економічних бабітів. Такими стали свинцевисті бабіти, які дуже широко застосовуються в промисловості, хоча зносостійкість їх дещо нижча, ніж олов'янистих.

Свинцевистий бабіт Б16 містить у середньому 16 % олова, 16 % сурми і 2 % міді.

У потрібних бабітах на основі свинцю, що леговані сурмою (6-18 %) і міддю (до 3 %) (Б16) сурма виділяється у вигляді правильно огранованих кристалів, які є твердою складовою сплавів. М'якою складовою є евтектика Pb-Sn. Для усунення ліквіації за густиною, так як і в олов'янистих бабітах, вводять мідь. Вона утворює сполуку Cu_2Sn , яка рівномірно розподіляється в рідкій фазі, збагаченій свинцем і заважає спливанню кристалів сурми.

Бабіт БС не містить дефіцитного олова і являє собою заевтектичний сплав системи Pb-Sb. Окрім того, якщо в сплав введена мідь, то утворюються кристали Cu_2Sb . М'якою основою є евтектика, а роль твердої складової виконують первинні кристали $\beta(Pb)$ -фази і сполуки Cu_2Sb .

Найдешевшими є свинцевисті бабіти з кальцієм та натрієм (БКА, БК2). Вони мають більшу зносостійкість і меншу крихкість, ніж бабіти БС.

Бабіт БК застосовують на залізничному транспорті, як і бабіт БС, – це відносно дешеві сплави. Їх структурна основа – свинець, тверді включення – хімічні сполуки свинцю з кальцієм і натрієм (табл. 3.2).

Таблиця 3.2

Хімічний склад кальцієвих бабітів

Сплав	Вміст елементів, %				
	Ca	Na	Sn	Mg	Al
БКА					
БК2	0,45-1,15	0,7-0,9	-	-	0,5-0,2
	0,3-0,55	0,2-0,4	1,5-2,1	0,06-0,11	-
	0,65-0,9	0,7-0,9	1,5-2,1	0,1-0,16	-
БК2Ш					
Інше – свинець					

Оскільки кальцієво-натрієві бабіти добре чинять опір ударним навантаженням, то вони застосовуються для підшипників залізничних вагонів, тепловозів, тракторів. Бабіти

БКА належать до почетвереної системи Pb-Ca-Na-Al (0,95-1,15 % Ca, 0,7-0,9 % N, 0,05-0,2 % Al). Їх структура – α -твердий розчин натрію, кальцію та алюмінію у свинці (м'яка основа) і кристали сполуки Pb₃Ca (тверді включення).

У табл. 3.3 наведений склад і призначення найбільш застосовуваних бабітів.

Таблиця 3.3

Склад і призначення бабітів

Сплав	Вміст елементів, %					Призначення
	Sb	Cu	Cd	Sn	Ін.елементи	
Б88	4,3-7,8	2,5-3,5	0,8-1,2	Інше	0,15-0,25Ni	Важконавантажені машини, парові турбіни й ін.
Б83	10-12	5,5-6,5	-	Інше	—	Те ж
БН	13-15	1,5-2,0	0,1-0,7	9-11	0,1-0,5Ni 0,5-0,9As	Машини середньої навантаженості
Б16	15-17	1,5-2,0	—	15-17	—	Автомобільні двигуни
БС6	5,5-6,5	0,1-0,3	—	5,5-6,5	—	Те ж

Примітка. У всіх сплавах, крім Б88 і Б83, основа – свинець.

Цинкові антифрикційні сплави. Найчастіше застосовуються сплави ЦАМ10-5 і ЦАМ9,5-1,5, що містять, крім алюмінію і міді, 0,03-0,06 % Mg. Цинкові сплави ЦАМ10-5 і ЦАМ9,5-1,5 поступаються бабітам на олов'яній основі за пластичністю, коефіцієнтом тертя та коефіцієнтом лінійного розширення і приблизно рівноцінні свинцевистим бабітам. У литому вигляді сплави використовуються для монометалевих

вкладишів, втулок і т.д., сплав ЦАМ10-5 – для виливання біметалевих вкладишів зі сталевим корпусом.

У деформованому вигляді сплав ЦАМ9,5-1,5 використовують для одержання біметалевих смуг (сталь + алюмінієвий сплав) методом прокату з подальшим штампуванням вкладиша.

Внаслідок високих антифрикційних властивостей і достатньої міцності ($\sigma_b = 250-400$ МПа) при температурі 120 °С ці сплави можуть замінити бронзи для вузлів тертя, температура експлуатації яких не перевищує 100 °С. При більш високих температурах сплави розм'якшуються і налипають на вал.

Алюмінієві підшипникові сплави. У табл. 3.4 наведений хімічний склад алюмінієвих підшипникових сплавів.

Таблиця 3.4

Хімічний склад алюмінієвих підшипникових сплавів

Сплав	Вміст елементів (інше Al), %				σ_b , МПа	δ %	НВ
	Sn	Cu	Ni	Si			
A03-1	2-4	0,8-1,2	0,3-0,5	1,7-2,1	110	2	420
A09-2	8-10	2,0-2,5	0,8-1,2	0,3-0,7	150	4,5	550
A020-1	17-23	0,7-1,2	-	-	110	30	300
АН-2,5	-		2,7-3,3	-	120	20	350

Механічні властивості сплавів А03-1, А09-2 і АН-2,5 при литті в кокіль, а сплаву А020-1 – після прокатки і відпалу

Основними компонентами сплавів є Sn, Cu, Ni і Si, що утворюють з алюмінієм гетерогенні структури. Чим більше в сплаві олова, тим вищі його антифрикційні властивості.

Сплави А03-1 і А09-2 застосовують для лиття монометалевих вкладишів і втулок товщиною більше 10 мм. Сплави А020-1 і АН-2,5 використовують для одержання біметалевої стрічки методом прокатки з подальшим штампуванням вкладишів.

Алюмінієві підшипникові сплави мають низький коефіцієнт тертя та високу зносостійкість, але за технологічністю вони поступаються звичайним бабітам. Їх більш висока твердість є

швидше недоліком, ніж перевагою сплаву, тому що потребує від обробки цапф і вкладиша підвищеної чистоти, а шийка вала повинна бути твердою. Недотримання цих умов спричиняє прискорене зношування. Високий коефіцієнт лінійного розширення алюмінієвих бабітів потребує більш ретельного складання з більшими зазорами.

Алюмінієві бабіти застосовують замість олов'яних і свинцевистих бабітів, а також свинцюватої бронзи.

Розроблено сплав АММГК-1, що містить Mg, Si, Ti, Mn і Sn. Застосування цього сплаву замість алюмінієвих для підшипників ковзання забезпечує коефіцієнт тертя 0,007-0,01, збільшення зносостійкості в 1,5-2 рази, а протизадиростійкості у два рази.

Питання для самоперевірки

1. Які основні вимоги до підшипникових сплавів?
2. Які матеріали застосовують для виготовлення підшипників ковзання?
3. Яка структура повинна бути у антифрикційних сплавів?
4. Що таке бабіт?
5. Що служить основою бабітів?
6. Яку структуру повинні мати бабіти, щоб забезпечити гарні антифрикційні властивості?
7. Для виготовлення яких деталей застосовують сплав БК?
8. Яку основу має сплав Б88, Б83?
9. Яку основу має сплав Б16?
10. Для виготовлення яких деталей застосовують сплав Б83?
11. Для виготовлення яких виробів застосовують сплави ЦАМ10-5, ЦАМ9?
12. Для виготовлення яких деталей застосовують сплави А 03-1, А 09-2?
13. Для виготовлення яких деталей застосовують сплави А 020-1, АН – 2,5?
14. Яке застосування алюмінієвих бабітів?

15. Який з наведених матеріалів кращий для виготовлення швидкохідних підшипників ковзання (БрО5Ц5С5, АО9-2, АЧС-3, ЛЦ16К4)?

16. Який метал застосовують при паянні титанових сплавів?

17. Який матеріал застосовують для паяння міді та мідно-нікелевих сплавів?

18. Припої на якій основі застосовують для паяння жароміцних сталей?

19. Назвіть способи видалення оксидної плівки?

4. МАТЕРІАЛИ, АЛЬТЕРНАТИВНІ МЕТАЛЕВИМ СПЛАВАМ, ВИГОТОВЛЕНІ ЗА НЕТРАДИЦІЙНОЮ ТЕХНОЛОГІЄЮ

У конструкціях виробів транспортного машинобудування поряд з металевими матеріалами все більше застосовуються різні матеріали, альтернативні металевим сплавам, виготовлені за нетрадиційною технологією.

Ці матеріали отримані на основі:

1) неорганічних речовин (наприклад, мінеральні стекла, силікати, керамічні матеріали, азбестові матеріали);

2) органічних речовин (наприклад, пластичні маси, деревні матеріали, каучуки, технічні гуми, лакофарбові матеріали, папір та ін.)

Неметалеві матеріали органічного походження є в основному природні або синтетичні високомолекулярні сполуки.

До природних високомолекулярних сполук належать: целюлоза, натуральний каучук, природні смоли.

Синтетичні високомолекулярні сполуки утворюються, як правило, з низькомолекулярних сполук полімеризацією або поліконденсацією.

Якщо раніше ці матеріали використовувалися в основному як допоміжні, то зараз усе частіше почали розробляти композиції конструкційного призначення, серед яких основне місце посідають пластмаси, виготовлені на основі різних полімерних сполук.

4.1. Пластичні маси

4.1.1. Короткі відомості про полімери

Полімерами (високомолекулярними сполуками) називають речовини, макромолекули яких побудовані з численних елементарних ланок (мономерів) однакової структури (рис. 4.1).

Молекулярна вага полімерів досягає 10^4 - 10^6 . При таких величезних розмірах макромолекул властивості полімерів

визначаються не тільки хімічними властивостями молекул, але і їхнім взаємним розташуванням і будовою.



Рис. 4.1. Полімери

Найбільшого поширення одержали органічні полімери, ланцюг яких побудовано з атомів вуглецю. Якщо крім вуглецю в основному ланцюзі наявні атоми інших елементів, наприклад, кремнію, кисню, алюмінію, нікелю та ін., то такі полімери називають *елементоорганічними*, серед яких найбільше поширення одержали *кремнійорганічні*. Якщо в основному ланцюзі відсутні атоми вуглецю, то такі полімери належать до *неорганічних* – силікатне скло, слюда, кераміка та ін.

Крім звичайних полімерів, ланцюги яких побудовані з однакових ланок (мономерів), існують також полімери, побудовані з різних ланок з різноманітною орієнтацією в просторі.

Розрізняють звичайні полімери, сополімери, щеплені полімери і блок-сополімери (рис. 4.2).

Побічні області полімерів можуть містити радикали (атоми або групи атомів), від хімічної природи і розташування яких залежать властивості макромолекул.

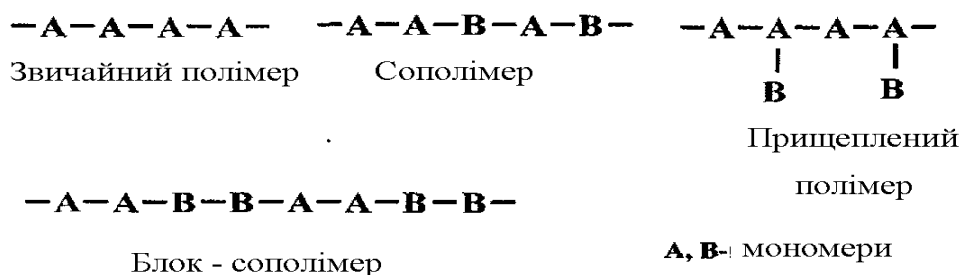


Рис. 4.2. Схеми різних типів полімерів

Якщо електронегативні радикали (NH_2 і ін.) розташовані симетрично, то полімер набуває неполярної структури. Неполярна макромолекула електрично нейтральна, міцність міжмолекулярних зв'язків відносно слабка, і тому зростає інтенсивність теплового руху макромолекул.

Цим пояснюється підвищена морозостійкість і еластичність неполярних полімерів у твердому стані, низька температура розм'якшення і підвищена пластичність. Неполярні полімери стійкі до водних середовищ, але розчиняються в органічних розчинниках.

Неполярні полімери характеризуються низькими діелектричними втратами у всьому діапазоні частот, тобто є гарними низькочастотними та високочастотними діелектриками.

У полярної (дипольної) макромолекули центри ваги різнойменних зарядів не збігаються. Полярність збільшує сили міжмолекулярної взаємодії, тому полімери мають підвищену твердість і теплостійкість, але проявляють більшу реакційну здатність при взаємодії з водою, лугами і кислотами. Полярні полімери можуть працювати без втрат тільки в обмеженій області частот, тобто є низькочастотними діелектриками.

Макромолекули полімерів можуть мати лінійну, розгалужену або сітчасту (просторову) форму (рис. 4.3).

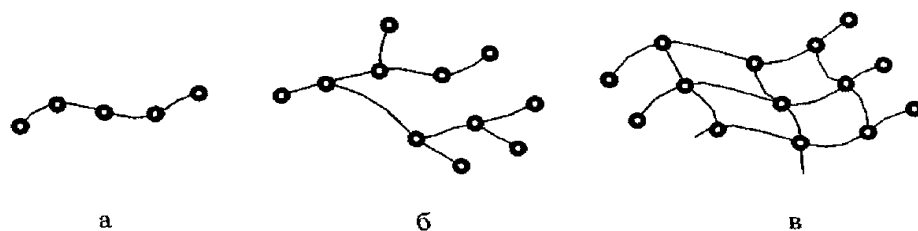


Рис. 4.3. Форми макромолекул полімерів:
 а – лінійна макромолекула; б – розгалужена макромолекула;
 в – сітчаста макромолекула

У цей час встановлено, що полімери можуть перебувати як в аморфному, так і в кристалічному стані.

Кристалічні полімери утворюються в тому випадку, коли їх макромолекули досить гнучкі і мають регулярну структуру. Наявність розгалужень ускладнює кристалізацію, тому сильно розгалужені полімери втрачають здатність до утворення кристалічних структур. Звичайно, полімерні кристали далекі від досконалості, яку мають кристали мінералів і металів, але певна регулярність просторового розташування макромолекул чітко проглядається за допомогою рентгеноструктурного аналізу.

Синтез полімерів з низькомолекулярних мономерів здійснюється реакціями полімеризації або поліконденсації, а продукти, що утворюються в результаті цих реакцій, часто називають *смолами*.

Реакції полімеризації – це такі реакції, при яких утворення смоли (полімеру) відбувається за рахунок з'єднання однакових молекул без виділення побічних продуктів реакції.

Поліконденсацією називається реакція утворення полімерів з низькомолекулярних речовин, що супроводжується виділенням побічних продуктів, наприклад води. Молекулярна вага полімеру в таких реакціях не дорівнює сумі молекулярних ваг мономерів, що складають полімер.

За поведінкою при нагріванні полімери підрозділяють на термопластичні, термостабільні і термореактивні.

Термопластичні полімери – це, як правило, полімери з лінійною або слабкорозгалуженою структурою, які при нагріванні розм'якшуються і навіть розплавляються, переходячи у

в'язкотекучий стан, а при охолодженні твердіють. Ця властивість зберігається при багаторазових нагрівах і охолодженнях.

Термостабільні полімери мають захисну сітчасту структуру. При нагріванні ці полімери не розм'якшуються аж до температури розкладання. При розкладанні вони поглинають велику кількість тепла, тому застосовуються для теплозахисних покриттів.

Терморективні полімери – це найчастіше ненасичені полімери з лінійною будовою, які при нагріванні розм'якшуються, розплавляються, набувають в'язкотекучого стану, а потім за рахунок хімічних реакцій набувають сітчастої будови, необоротно переходячи в термостабільний стан.

Відомо, що полімери можуть перебувати в трьох фізичних станах залежно від температури (рис. 4.4).

До температури T_c (ділянка I) полімер перебуває в склоподібному стані. Це область пружних деформацій, величина яких звичайно не перевищує 2-5 %. Полімер деформується пружно в інтервалі температур T_{xp} - T_c . При температурі нижче T_p відбувається крихке руйнування полімеру в результаті розриву ковалентних зв'язків в основному ланцюзі макромолекули.

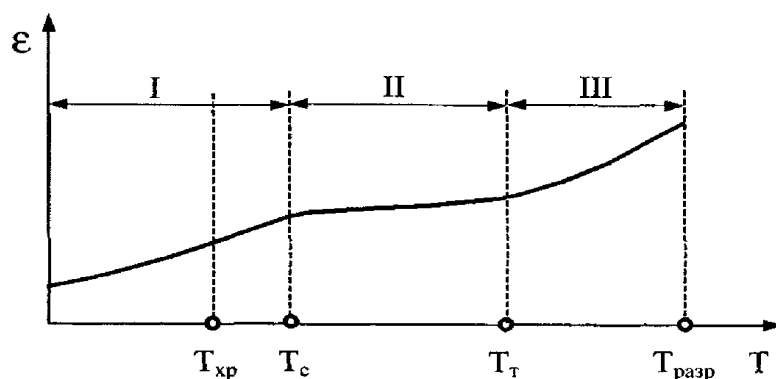


Рис. 4.4. Залежність деформації полімерів від температури

Руйнування відбувається при дуже незначних деформаціях.

В інтервалі температур T_c - T_r (ділянка II) полімер перебуває у високоеластичному стані, коли легко відбуваються повороти ланок навколо зв'язків у головних ланцюгах, але ускладнене ковзання молекул відносно один одного. Під навантаженням полімери поведуться як еластичні пружні тіла. При порівняно

невеликих зусиллях деформація досягає 500-800 %, а при знятті навантаження – майже миттєво знижується до нуля.

Високоеластична деформація – це результат розпрямлення скручених молекул. При знятті навантаження відбуваються зворотні конформаційні зміни макромолекул, тобто високоеластична деформація оборотна.

При температурі вище T_T (ділянка III) полімер переходить у в'язкотекучий стан, стає в'язкою рідиною і тече під навантаженням. Під навантаженням макромолекули легко ковзають одна щодо одної, і цей рух становить основну і необоротну частину загальної деформації полімеру.

При нагріванні вище $T_{\text{разр}}$ полімер руйнується через розрив ковалентних зв'язків в основному ланцюзі.

Температури T_c , T_T , $T_{\text{разр}}$ визначаються складом і будовою полімерів і різні у всіх полімерів.

Рідкосітчаста структура дає змогу перебувати полімерам у склоподібному і високоеластичному станах.

Полімери із просторовою сітчастою структурою можуть перебувати тільки в склоподібному стані.

Механічні властивості полімерів залежать від часу дії і швидкості прикладеного навантаження більшою мірою, ніж механічні властивості іншого матеріалу. Це обумовлено особливостями будови макромолекул, що позначається на релаксаційних процесах, які протікають у полімерах. Під впливом зовнішнього навантаження відбувається розпрямлення макромолекул (конформаційні зміни), а потім переміщення макромолекул та інших надмолекулярних структур відносно одна одної. Усі ці процеси потребують певного часу, і встановлення рівноваги (релаксація) досягається не відразу. Розрізняють релаксацію деформації і релаксацію напруги.

Релаксація деформації – це зміна відносного подовження (або стиску) зразка при постійній напрузі в часі. Під впливом прикладеного навантаження зразок перебуває в нерівноважному стані, і релаксація починається через певний час, деформація досягає рівноважного значення (установлюється рівновага між постійною напругою і тепловим рухом). Повна деформація складається з високоеластичної деформації (конформаційної зміни) і в'язкої течії (переміщення макромолекул відносно одна

одної). Чим більший час випробування, тим більш в'язка течія. Це явище називається *повзучістю*.

Релаксація напруги – це зменшення напруги до рівноважного значення за умови незмінності деформації. З часом величина первісної напруги буде поступово зменшуватися, тому що в зразку під дією теплового руху почнеться мимовільна конформаційна перебудова.

Релаксаційні процеси варто враховувати при експлуатації (особливо при підвищених температурах) деталей, виготовлених з пластмас на основі полімерів.

До характерних рис полімерів відносять старіння полімерів і їх радіаційну стійкість.

Старіння – це необоротна мимовільна зміна технологічних характеристик полімеру в процесі його експлуатації або тривалого зберігання. Старіння відбувається під впливом світла, тепла, кисню, озону. Дія цих факторів проявляється інтенсивніше при одночасному впливі механічних навантажень. Звичайне старіння є результатом окиснювання киснем, тому в полімери вводять спеціальні добавки (антиоксиданти), які перешкоджають розвитку процесу окиснювання, зв'язуючи вільні радикали.

Старіння супроводжується **деструкцією** або **структуруванням** полімеру. Якщо переважає деструкція, то полімер розм'якшується, виділяючи леткі речовини. При структуруванні підвищується твердість, крихкість, спостерігається втрата пластичності.

Тривалість експлуатації стабілізованих полімерів зростає. Наприклад, крихкість поліетилену, стабілізованого сажею, настає більш ніж через п'ять років. Під дією іонізаційних випромінювань у полімерах можуть розриватися хімічні зв'язки й утворюватися вільні радикали. Найбільш стійкі до радіації полімери, у структурі макромолекул яких наявне бензольне кільце. Це пояснюється тим, що структура бензольної групи має велику кількість енергетичних рівнів, що сприяє швидкому розсіюванню поглиненої енергії по всій молекулі без ініціювання хімічних реакцій.

По-різному діє на полімери вакуум. Погіршення властивостей пов'язане з виділенням з матеріалу різних добавок та інтенсифікацією процесів деструкції. Вакуум-стійкість

оцінюється за газонепроникністю – технічною характеристикою, що визначає потік газу через ущільнювач (мембрани, діафрагми, герметичні прокладки). На газопроникність впливають склад, структура полімеру, а також природа газу і температура.

Абляція – це руйнування полімерного матеріалу. Абляційна стійкість визначається стійкістю матеріалу до механічної, термічної й окисної деструкції. Полімери з лінійною структурою мають низьку абляційну стійкість, оскільки температура абляції не перевищує 900 °С. Термостійкі полімери сітчастої будови мають підвищену абляційну стійкість – температура абляції досягає 3000 °С. З таких полімерів виготовляється абляційний захист космічних літальних апаратів, що повертаються на Землю.

Адгезія – це злипання при контакті різнорідних тіл; обумовлена вона міжмолекулярною взаємодією. На здатності полімерів до адгезії ґрунтується їх використання як плівкоутворюючих матеріалів (клеї, герметики, лакофарбові покриття), а також одержання наповнених і армованих полімерних матеріалів.

4.1.2. Призначення, склад і класифікація пластмас

Пластмасами називають матеріали, одержувані на основі природних або синтетичних смол (полімерів), які при певних температурі і тиску набувають пластичності, а потім тверднуть, зберігаючи форму при експлуатації (рис. 4.5).

Крім сполучної речовини (полімеру), до складу пластмас входять наповнювачі, пластифікатори, затверджувачі, барвники. Наповнювачі вводять у смоли для підвищення механічної міцності, теплостійкості, зменшення усадки і зниження вартості пластмаси. Наповнювачі можуть бути в газовій (пінопласти) і твердій фазі, мати органічне (деревне борошно, бавовняні пачоси, целюлоза, папір, бавовняна тканина) і неорганічне (графітне, азбестове і кварцове борошно; вуглецеве і скловолокно; склотканина) походження. Механічна міцність пластмас істотно залежить від наповнювача. Пластмаси з порошкоподібними, коротковолокнистими, довжиною 2-4 мм, наповнювачами за міцністю наближаються до дюралюмінію і деяких сортів сталі. Для

деталей, що працюють у вузлах тертя, широко застосовують теплопровідні наповнювачі, наприклад графіт.



Рис. 4.5. Пластмаси

Пластифікатори збільшують плинність, еластичність і зменшують крихкість пластмас. Затверджувачі прискорюють процес затвердіння пластмас, барвники надають пластмасам потрібного кольору.

Пластмаси мають такий комплекс властивостей (табл. 4.1):

- мала щільність – від 50 до 2500 кг/м³ при досить високій міцності, що забезпечує високі значення питомої міцності;
- висока хімічна стійкість; наприклад, фторопласт-4 руйнується тільки під дією розпавлених лужних металів і елементарного фтору;
- низька теплопровідність і високі теплоізоляційні властивості (завдяки цим властивостям пластмаси широко застосовуються в техніці для абляційного теплозахисту);
- високі звукоізоляційні властивості, що дає змогу використовувати пластмаси для звукоізоляції;
- високі діелектричні характеристики в широкому діапазоні частот, включаючи і високі (природних високочастотних діелектриків не існує, тому ця властивість пластмас особливо важлива для радіотехніки й електротехніки);

- високі електротехнічні властивості деяких пластмас, що дає змогу застосовувати їх при виготовленні антен радіолокаційної апаратури й інших електроізоляційних виробів;
- світлопрозорість у сполученні з високою міцністю, що дає можливість використовувати деякі пластики (оргскло) для остеклення вагонів та локомотивів;
- висока технологічність і більш високий порівняно з металами коефіцієнт використання матеріалу ($KIM=0,90-0,95$);
- економічність використання пластмас, що полягає в зниженні маси конструкції, підвищенні надійності, розширенні технічних можливостей експлуатації конструкції.

Тому можна зробити висновок, що пластмаси відзначаються цінними властивостями: легкістю, міцністю, тепло- і електроізоляцією, стійкістю проти дії агресивних середовищ, фрикційністю або антифрикційністю, високим коефіцієнтом лінійного розширення (в 10-30 разів більше, ніж у сталі), можливістю отримувати вироби складної форми високопродуктивними методами (литтям під тиском, штампуванням).

Таблиця 4.1

Порівняльні характеристики властивостей різних матеріалів

Матеріал і його стан	Міцність σ_v , МПа	Щільність ρ , кг/м ³	Питома міцність, МПа
Сталь вуглецева	600	7800	7,7
Сталь 30ХГСА гартування+відпуск	1700	7800	21,8
Сплав В95 гартування+старіння	600	2700	22,8
Сплав Д16 гартування+старіння	470	2700	21,8
Сплав ВТ22 гартування+старіння	1400	4650	30,1
Склотекстоліт на основі фенол-формальдегідної смоли	380	1900	20,0
Боропласт КМБЛм	1200	2000	60,0

Вуглепласт КМУ	1020	1400	72,8
----------------	------	------	------

Властивості та економічна ефективність забезпечили пластмасам широке застосування в різних галузях техніки, незважаючи на недоліки: помірну міцність, велике термічне розширення, невисоку теплостійкість, малу твердість, схильність більшості пластмас до старіння, яке супроводжується поступовою зміною механічних характеристик у процесі експлуатації.

Залежно від складу пластмаси підрозділяють на прості та складні.

Прості пластмаси – це чисті полімери без домішок, а **складні** – це суміші полімерів з різними домішками.

Складні пластмаси складаються із суміші таких компонентів:

полімери (основа пластмаси);

наповнювачі – їх додають у кількості 40-70 % (за масою) для підвищення механічних характеристик, надання спеціальних властивостей і зниження вартості. Наповнювачі являють собою органічні і неорганічні речовини, які вводяться в полімерну матрицю у вигляді порошків, волокон, листів;

стабілізатори – вводяться в невеликій кількості, що стабілізує властивості пластмас і збільшує строк їхньої експлуатації;

пластифікатори – їх додають у кількості 10-20 % для зменшення крихкості і поліпшення формівності. Пластифікаторами є речовини, які зменшують міжмолекулярну взаємодію і гарно взаємодіють з полімерами;

спеціальні домішки — затверджувачі, барвники, домішки для зменшення статичних зарядів, горючості, захисту від цвілі і т.ін.

Вироби з пластмас одержують литтям під тиском, екструзією, пресуванням, формуванням з листів або труб, зварюванням, склеюванням, обробкою різанням.

4.2. Термопластичні полімери та пластмаси

Термопласти являють собою практично чисті полімери, у які іноді вводять у невеликих кількостях спеціальні домішки у вигляді протистарителів, барвників і т.п.

Поліетилен є продуктом полімеризації етилену, за зовнішнім виглядом являє собою парафіноподібну масу і належить до неполярних полімерів, що кристалізуються.

Розрізняють поліетилен високого тиску (умови полімеризації: тиск 150-200 МПа, температура 200 °С, ступінь кристалізації 55-65 %, щільність 920-930 кг/м³, межа міцності 8,4-17,5 МПа, а також поліетилен низького тиску (полімеризація при тиску 3-4 МПа і температурі 150-185 °С з ступенем кристалізації 75-95 %, щільністю 930-950 кг/м³ і міцністю при розтяганні 19,5-45 МПа.

З підвищенням щільності і ступеня кристалізації поліетилену зростають його механічні характеристики і поліпшується теплостійкість. Оскільки поліетилен неполярний, то в нього висока морозостійкість і не дуже висока теплостійкість, вироби з поліетилену можна експлуатувати в інтервалі температур від -70 до +120 °С.

До температури 60-80 °С поліетилен має високу стійкість до дії всіх кислот, у тому числі фтористоводневої, і лугів. Тому поліетилен широко застосовують для транспортування та зберігання активних хімічних речовин. При нагріванні вище 80 °С поліетилен добре розчиняється в бензолі, толуолі, ксилолі, чотирихлористому вуглецю.

Поліетилен є одним з кращих діелектриків для високочастотної техніки. Його діелектричні властивості мало змінюються в інтервалі температур від -80 до +60 °С.

Висока пружність і еластичність (деформації досягають 800 %) дають змогу виготовляти з поліетилену тонкі та прозорі плівки, здатні пропускати ультрафіолетові промені. Плівка практично непроникна для води і пару, має високу морозостійкість, зберігає гнучкість і еластичність до температури -70 °С.

Недоліком поліетилену є його схильність до старіння, для запобігання цього в поліетилен вводять протистарителі. Наприклад, 12-3 % сажі, уведені в поліетилен, інтенсивно

поглинають сонячні промені і сповільнюють процеси старіння в 30 разів.

Крім того, поліетилен служить антикорозійним покриттям для металів, на які він наноситься газоплазмовим методом. Суть методу полягає в тому, що матеріал у вигляді дрібного порошку подається в полум'я спеціального розпилювального газового пальника, де він нагрівається до розм'якшення або розплавлення і при ударі об поверхню металу зчіплюється з ним, утворюючи покриття товщиною $(0,3-0,4)10^{-3}$ м.

Крім лиття і пресування поліетилен має здатність до зварювання, причому міцність звареного з'єднання не поступається міцності основного матеріалу.

При виготовленні великих деталей листи поліетилену зварюються в струмені інертного газу (азоту), нагрітого до 300 °С.

Пластини, блоки, товсті листи й інші вироби з поліетилену мають здатність до механічної обробки на всіх металорізальних верстатах.

Поліетилен використовують для виготовлення труб, литих і пресованих несилкових деталей, поліетиленових плівок для ізоляції проводів та кабелів, чохлаїв, облицювання водойм, крім того, поліетилен служить покриттям на металах для захисту від корозії, вологи, електричного струму, а плівку використовують як ізоляційний матеріал.

Полістирол є продуктом полімеризації стиролу і являє собою прозору безбарвну склоподібну масу аморфної структури зі слабкою полярністю. Найпоширеніші засоби одержання полістиролу – блоковий і водоемульсійний методи полімеризації стиролу.

Полістирол має щільність 1050-1080 кг/м³ і межу міцності при розтягуванні 25-40 МПа, вироби з полістиролу можуть працювати в температурному інтервалі від -20 до +90 °С.

Фізико-механічні властивості полістиролу залежать від ступеня полімеризації. Зі збільшенням ступеня полімеризації збільшується міцність і зменшується крихкість полімеру. Діелектричні властивості аналогічні властивостям поліетилену.

Полістирол має практично абсолютну водостійкість, високу хімічну стійкість стосовно дії розчинів кислот і лугів. У посудинах з полістиролу можна зберігати фтористоводневу кислоту.

Розчиняється полістирол у бензолі, толуолі і хлорованих вуглеводнях, не розчиняється в спиртах і оліях.

Іноді для поліпшення гнучкості в полістирол вводять пластифікатори (дибутилфталат, трикрезилфосфат), а для збільшення теплостійкості, твердості й міцності як наповнювач вводять кварцовий пісок.

Високі діелектричні властивості, водостійкість і хімічна стійкість, прозорість і безбарвність, гарні оптичні властивості, здатність легко перероблятися методами лиття під тиском і екструзії забезпечили йому широке застосування в різних галузях техніки. Полістирол використовують для виготовлення радіотехнічних деталей, плівок для високочастотних конденсаторів, для ізоляції високочастотних кабелів, хімічно стійких посудин, акумуляторних баків, кислотодротів, лінз та інших світлотехнічних деталей.

Аналогічно поліетилену полістирол як корозійностійке покриття можна наносити на поверхню металевих деталей.

Політетрафторетилен

Вітчизняна назва полімеру ***фторопласт-4***. Це неполярний кристалічний полімер, що має щільність 2140-2250 кг/м³, межа міцності при розтяганні 15-35 МПа і температура плавлення 327 °С, ступінь кристалізації звичайно становить 80-85 %. Після полімеризації фторопласт-4 одержують у вигляді порошку біломолочного кольору. Хоча фторопласт-4 належить до термопаста, але його термопластичність досить своєрідна, на відміну від поліетилену і полістиролу він має незначну плинність при температурах вище температури плавлення. Його розплав може текти лише з незначними швидкостями, тому більшість методів, звичайно використовуваних при переробці інших полімерів, до цього пластику незастосовні. Основний засіб переробки фторопласту-4 – пресування дрібнодисперсного порошку при кімнатній температурі і тиску 30-35 МПа для надання йому заданої форми і подальше спікання при температурі 375-410 °С для одержання щільної і міцної гомогенної деталі.

Найбільш характерними властивостями політетрафторетилену є його висока хімічна стійкість і термостабільність. Щодо цього він перевершує всі відомі полімери, а температурний інтервал його експлуатації перебуває в межах від -100 до +300 °С. За

хімічною стійкістю фторопласт-4 не тільки перевершує всі полімери, але не поступається за цим показником навіть золоту і платині. Він практично стійкий до всіх мінеральних і органічних кислот, лугів, органічних розчинників, окислювачів та інших агресивних середовищ. Фторопласт-4 руйнується лише розплавленими лужними металами та елементарним фтором. Недоліками фторопласту-4 є виділення токсичного фтору при нагріванні, труднощі при переробці у виробі і складноламкість. Деталі із фторопласту-4 і між собою, і з металами погано склеюються.

Фторопласт-4 має високий опір стиранню, а також низький коефіцієнт тертя до більшості матеріалів, тому він застосовується для виготовлення підшипників, що не змащуються, які працюють в агресивних середовищах.

Істотними недоліками фторопласту-4 є легкість його випарювання у вакуумі, що потребує додаткових заходів захисту, а також підвищена чутливість до радіоактивних випромінювань, під дією яких полімер легко руйнується.

Незважаючи на ці недоліки, фторопласт-4 широко застосовується в хімічному машинобудуванні, з нього виготовляють електро- і радіотехнічні вироби, а також плівки, які використовують в апаратурі, що працює в інтервалі температур від -60 до +250 °С.

Політрифторетилен (фторопласт-3) після полімеризації являє собою порошок або білі пластівці. Належить до полярних кристалічних полімерів і є низькочастотним діелектриком.

За багатьма властивостями фторопласт-3 близький до фторопласту-4, але є і відмінності. Фторопласт-3 може працювати в інтервалі температур від -80 до +180 °С, тобто верхня межа значно нижча, ніж для фторопласту-4. Поступається фторопласт-3 і за стійкістю до агресивних середовищ. На відміну від фторопласту-4 він незначно набухає в органічних розчинниках.

Істотною перевагою фторопласту-3 перед фторопластом-4 є гарна плинність при термічній переробці. Тому фторопласт-3 переробляють у виробі і напівфабрикати на стандартному устаткуванні.

Фторопласт-3 широко застосовується в електро- і радіотехніці, але найбільш ефективно – як антикорозійний

конструкційний матеріал. З фторопласту-3 можна виготовляти суспензію тонкорозмеленого порошку в суміші з органічними розчинниками. Ця суспензія – домішка для нанесення тонких плівок і покриттів на метали з попередньо підготовленою шорсткуватою поверхнею. Перед нанесенням покриття поверхневі шари деталі нагрівають до температури 280 °С, а після нанесення суспензії їх швидко охолоджують.

Поліметилметакрилат (оргскло) за хімічною природою являє собою продукт полімеризації складних ефірів акрилової і метакрилової кислот, має щільність 1200 кг/м³ і межу міцності на розрив близько 60 МПа.

Листи оргскла виготовляють товщиною від 0,5 до 50 мм, а іноді і більше.

Органічне скло визначається високою атмосферостійкістю, оптично прозоре (світлопрозорість 92 %), пропускає 75 % ультрафіолетових променів (силікатне скло – 0,5 %), починає розм'якшуватися при температурі +80 °С, а при нагріванні до 105-140 °С стає пластичним, що дає змогу формувати з нього різні деталі.

До недоліків оргскла варто віднести низьку поверхневу твердість і поступове утворення як поверхневих, так і внутрішніх тріщин, названих "сріблом". Причиною появи "срібла" є залишкові напруги, що виникають через низьку теплопровідність оргскла. При цьому завдяки внутрішньому тріщиноутворенню відбувається утворення дрібних пустот з повним внутрішнім відбиттям, що негативно позначається на прозорості стекол. Помутніння стекол підсилюється з підвищенням температури.

Таким чином, органічні стекла можна використовувати при температурах 200-250 °С. При більш високих температурах експлуатації застосовують теплостійкі силікатні стекла або кварцові стекла, які зберігають свої властивості при температурі нагрівання до 1000 °С.

Оргскло має досить гарні діелектричні властивості, але через полярність полімеру діелектрики з оргскла можуть працювати лише в діапазоні низьких частот.

Полівінілхлорид – це продукт полімеризації вінілхлориду, являє собою аморфний полярний полімер зі щільністю 1400 кг/м³ і межею міцності на розрив 50-60 МПа. Основний метод

полімеризації полівінілхлориду – водоемульсійний, при якому полімер одержують у вигляді порошку білого кольору. При переробці полімеру варто мати на увазі, що при нагріванні вище 140 °С він розкладається, виділяючи хлористий водень. Для усунення цього недоліку в полівінілхлорид вводять стабілізатори (2-3 % стеарату свинцю або стеарату кальцію), які поглинають хлористий водень, запобігають розкладанню полімеру і підвищують його стійкість до світла й окислювання.

Полівінілхлорид випускається непластифікований і пластифікований. Непластифікований полівінілхлорид називають **вініпластом**, а пластифікований – **поліхлорвініловим пластифікатором**.

Вініпласт стійкий до дії розчинів солей, лугів і кислот, за винятком сильних окиснювачів (азотна кислота концентрацією вище 40 %), тому листовий вініпласт застосовують для футерування електролізних і травильних ванн, виготовлення вентиляційних повітропроводів, резервуарів для зберігання кислот і лугів. Труби з вініпласту служать для транспортування агресивних рідин і з успіхом замінюють свинцеві й емальовані труби.

Для з'єднання труб та інших конструкцій з вініпласту застосовують зварювання. Поряд зі зварюванням використовують склейку листів, гаряче пресування, а також формування деталей з листового вініпласту як при кімнатній температурі, так і при невеликому нагріванні (60-80 °С).

Поліаміди (капрон, нейлон), отримані полімеризацією або поліконденсацією, являють собою тверді смоли кристалічної будови з температурою плавлення 180-250 °С. Механічні властивості різних поліамідів близькі, їх щільність становить близько 1200 кг/м³, межа міцності на розрив – 50-110 МПа і відносне подовження – до 400 % залежно від виду напівфабрикату.

Значні деформації і міцність до 600 МПа характерні, як правило, для поліамідних волокон, у монолітних поліамідів ці значення менші.

Поліаміди практично негорючі і дуже важко запалюються.

Поліаміди широко застосовуються для виготовлення волокон, для чого полімер у вигляді порошку плавлять при

температурі 260-270 °С у спеціальних апаратах із захисною атмосферою з азоту, потім розплав продавлюють через фільтри, а волокна, що утворюються, намотують на бабіни. Волокна можна використовувати самостійно або переробляти в тканини за технологією ткацького і трикотажного виробництва.

Поліамідні волокна мають низку гігроскопічність (найбільша, близько 12 %, у капрону), тому виготовлені з них троси і канати не втрачають своїх властивостей при тривалій роботі у вологій атмосфері, практично не зазнають гниття.

Однак більш низька гігроскопічність поліамідних волокон, порівняно з натуральними, не завжди є їхньою перевагою, тому що мала гігроскопічність негативно позначається на гігієнічних властивостях тканини, виготовленої з цих волокон, поліамідні волокна застосовують при виготовленні корду для авіаційних і автомобільних покришок.

Поліаміди мають гарні діелектричні властивості, завдяки чому їх застосовують для виготовлення ізоляційних оболонок для кабелів, замінючи при цьому паперову, гумову ізоляцію і свинцеву оболонку.

Монолітні поліамідні матеріали широко використовують при виготовленні найрізноманітніших деталей, особливо таких, що працюють в умовах вібрації і тертя без змащення (зубчасті колеса і шестерні різних передатних систем, крильчатки насосів, гребні гвинтів, муфти і т.ін.).

Поліуретани за своїми властивостями близькі до поліамідів. Наявність атомів кисню в молекулярному ланцюзі сприяє підвищенню еластичності полімерів.

Поліуретанам властиві висока атмосферостійкість і морозостійкість, що дає змогу експлуатувати їх при температурах від -70 до +150 °С. Завдяки малій гігроскопічності і хімічній стійкості вони широко використовуються при виготовленні парашутних і фільтрувальних тканин.

Поліуретан виробляється також у вигляді плівки і монолітного полімеру, з якого можна виготовляти деталі різного призначення.

4.3. Термореактивні полімери та пластмаси

Прості пластмаси на основі термореактивних смол застосовуються обмежено. В основному ці смоли використовують як складові при створенні різних реактопластів.

Реактопласти не переходять в пластичний стан при повторному нагріванні. Вони мають більш високі, ніж термопласти, показники за твердістю, модулем пружності, теплостійкістю, опором втомної міцності. Їх властивості не так різко залежать від температури. Залежно від наповнювача розрізняють монолітні (карболіт), шаруваті (текстоліт, гетинакс) і композиційні пластмаси, де наповнювачем є волокна. В термореактивних пластмасах сполучними є епоксидні, кремнійорганічні та інші смоли.

Термореактивні смоли повинні задовольняти такі основні вимоги: мати високу здатність до склеювання, теплостійкість, мати хімічну стійкість, невелику усадку і бути нетоксичними, а також повинні відзначатися простотою технології переробки.

Фенолоформальдегідні смоли (ФФС). Одержання ФФС ґрунтується на здатності фенолу і формальдегіду при нагріванні і при наявності каталізаторів вступати в реакцію конденсації з утворенням смол і виділенням води.

Епоксидні смоли являють собою продукти поліконденсації *епіхлоргідрину* з двохатомними фенолами в лужному середовищі. З фенолів найчастіше застосовують *дифенілпропан* або *резорцин*.

Епоксидні смоли при введенні затверджувачів тверднуть і переходять у неплавкий і нерозчинний стан. Залежно від виду затверджувача смоли можуть застигати при кімнатній температурі або при нагріванні.

Епоксидні смоли застосовуються як ливарні композиції або при виготовленні складних пластиків. Як такі матеріали для виготовлення форм можна використовувати фторопласт-4 або змащувати металеві форми кремнійорганічними сполуками. В епоксидних смолах немає також адгезії до поліетилену, полістиролу та інших неполярних полімерів.

Поліефірні смоли одержують поліконденсацією багатоатомних спиртів з кислотами або їх ангідридами. Поліефірні смоли бувають термопластичними і термореактивними.

До числа поліефірів просторової будови належать продукти поліконденсації гліцерину і фталевого ангідриду, так звані **гліфтали**.

Недоліки поліефірних смол: горючість, менші, ніж в епоксидних смолах, міцність і адгезійна здатність, невисока термо- і радіаційна стійкість, а іноді і низька водостійкість. Для зниження горючості й підвищення термостійкості при синтезі цих полімерів застосовують хлоровмісні поліефіри або як розчинник – дихлорстирол.

Кремнійорганічні полімери (силоксани) були розроблені радянським хіміком К.А. Андріановим, якому в 1937 р. було видано авторське свідоцтво на спосіб одержання силіконів.

Кремній до деякої міри є хімічним аналогом вуглецю й утворює великий клас сполук з воднем, киснем і галогенами. Характерною відмінністю кремнію від вуглецю є різне відношення до окислювання. Вуглець і вуглеводні утворюють при глибокому окислюванні леткі продукти, а кремній дає міцні полімери типу (SiO₂).

Основний недолік кремнійорганічних сполук – відсутність еластичності. Однак класичні силікатні матеріали внаслідок їх міцної і часто "зшиті" просторово-сітчастої структури мають надзвичайно високу крихкість.

Полісилоксанові смоли стійкі до впливу неорганічних кислот (за винятком концентрованих сірчаної та азотної) і багатьох органічних розчинників, що визначає можливість використання їх для корозійних цілей.

Рідкі силікони є низькомолекулярними полімерами і застосовуються як мастила, що не взаємодіють з металом при нагріванні до температури 150 °С при наявності повітря протягом декількох тижнів.

Силоксанові смоли широко застосовують для електроізоляції силових установок. Звичайна електроізоляція з органічним зв'язуючим витримує температуру не вище 130 °С, а на основі кремнійорганічних смол — до 180 °С, що дає змогу

значно знизити масу електродвигунів, трансформаторів та інших силових установок і поліпшити економічність.

Недоліком усіх кремнійорганічних сполук є невисока адгезія і когезія. Для усунення цього недоліку рекомендується модифікувати кремнійорганічні смоли відповідними органічними сполуками. Приєднання до кремнійорганічних сполук алкідних і епоксидних груп підвищує їх адгезійні властивості.

Карболіт – один з видів феноло-альдегідних синтетичних смол, одержаний поліконденсацією фенолу (крезолів) з формальдегідом при наявності нафтових сульфокислот.

Текстоліти (наповнювач – бавовняна тканина) широко використовують у машинобудуванні як конструкційний і антифрикційний матеріал: в них вигідно поєднуються висока механічна міцність з низькою щільністю, зносостійкістю і хорошими діелектричними властивостями. Текстоліт застосовують для виготовлення підшипників, зубчастих коліс і різних силових деталей загального і спеціального машинобудування.

Древоліти – деревношаруваті пластики (ДШП). Древоліт являє собою пластики, що складаються з правильно покладених шарів тонкого (0,6-1 мм) деревного шпону, просочених фенольною смолою і термічно оброблених під високим тиском.

Гетинакс (як наповнювач застосовується папір) відзначається високими діелектричними властивостями і задовільною механічною міцністю. Випускається у вигляді листів, плит, труб і різних пресованих деталей. Широко застосовується як електроізоляційний матеріал.

Пластмаси є хорошими електроізоляційними матеріалами. Для них характерна висока хімічна та корозійна стійкість, мала щільність і теплостійкість. Вони відзначаються достатньою міцністю і пружністю. Деталі, виготовлені з пластмас, мають блискучу гладку поверхню різних кольорів. Пластмаси значно гірше, ніж метали, чинять опір змінним навантаженням, вони схильні до теплового, світлового та атмосферного старіння, багато з пластмас гігроскопічні.

Великою перевагою пластмас є їх висока технологічність, що забезпечує значне скорочення виробничого циклу. Виготовлення металевих деталей здійснюється за десятки

операцій механічної обробки, а пластмасових – часто за одну технологічну операцію з формоутворення (пресування, видавлювання, лиття під тиском та ін.) Тому трудомісткість виготовлення пластмасових деталей зменшується в 5-6 разів і більше, а собівартість продукції знижується в 2-3 рази, при цьому отримують дуже високий коефіцієнт використання матеріалу, рівний 0,9-0,95. Це приводить до значного зниження матеріаломісткості та через малу щільність пластмас (1,2-1,9 мг/м³), до зменшення маси конструкції в 4-5 разів (табл. 4.2).

З пластмас виготовляють зубчасті та черв'ячні колеса, шківни, підшипники, ролики, корпуси, зубчасті ремені, ручки управління та інші деталі. Виробництво пластмас розвивається інтенсивніше, ніж таких традиційних матеріалів, як метали. Це пояснюється здешевленням виготовлення, поліпшенням ряду основних параметрів механізмів: зменшення ваги та інерційності ланок, втрат на тертя, підвищенням швидкодії.

Таблиця 4.2

Фізико-механічні характеристики пластмас

Матеріал	q , кг/м ³	σ_v , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	Застосування
Волокніт	13,5-	30-40	50-80	Вкладиші, деталі фрикційних передач, сепаратори підшипників
Текстоліт Пт	14,5			
Текстоліт ПТК	13-14	100	160	ковзання, зубчасті колеса
Деревношаруваті пластинки	13-14	110-260	100-280	
Капрон	11,3	60-84	90	

4.4. Композиційні матеріали

Композиційні матеріали (КМ) являють собою композицію з легких металів як основи (матриці) і міцних волокон як наповнювача.

Як металева основа використовують Al, Mg, Ni та їх сплави. Металева матриця пов'язує волокна в єдине ціле. Волокна розташовуються таким чином, що створюють певну композицію.

Композиційні матеріали по відношенню до звичайних сплавів відзначаються вищою статичною міцністю і міцністю при змінному режимі навантаження. Застосування цих матеріалів

підвищує жорсткість конструкції і знижує її металомісткість. При цьому міцність композиційного матеріалу визначається насамперед властивостями волокон, а матриця виконує роль сполучної ланки.

Одержання КМ із заданими фізико-механічними характеристиками має ряд особливостей:

- КМ і його властивості формуються в процесі виготовлення конкретної конструкції;
- процес проектування виробу починається з конструювання самого матеріалу – вибору його компонентів і призначення оптимальних режимів переробки;
- без урахування особливостей технології виробництва не можна правильно призначити вимоги до КМ (як до конструкційного матеріалу) і тим паче до самої конструкції;
- головна особливість створення конструкцій з КМ, на відміну від традиційних, полягає в тому, що конструювання матеріалу, розроблення технологічного процесу виготовлення й проектування самої конструкції – це взаємозалежний єдиний процес, у якому кожна зі складових не виключає, а доповнює і визначає іншу. Тріада "матеріали – конструкція – технологія" нероздільна;
- композит являє собою неоднорідний суцільний матеріал, що складається з двох або більше компонентів, серед яких можна виділити армуючі елементи, що забезпечують необхідні механічні характеристики матеріалу, і матрицю (або сполуку), що забезпечує спільну роботу армуючих елементів.

Поводження композита під дією різних навантажень визначається співвідношенням властивостей армуючих елементів і матриці, а також міцністю зв'язку між ними. У композитах високоміцні волокна сприймають основні зусилля, що виникають у конструкції при дії зовнішніх навантажень, і забезпечують твердість та міцність у напрямку орієнтації волокон.

Армуючі волокна, які застосовують у конструкційних КМ, повинні задовольняти комплекс експлуатаційних і технологічних вимог. До першого ставляться вимоги, що обумовлюють міцність, твердість, щільність, стабільність у певному температурному інтервалі, хімічну стійкість і т.п., до других – технологічність волокон, що визначає можливість створення високопродуктивних

процесів виготовлення силових каркасів і виробів на їх основі. Армуючі компоненти використовують у вигляді моноволокон, ниток, дротів, джгутів, сіток, тканин, стрічок. Властивості КМ при цьому залежать не тільки від властивостей волокон і матриці, але і від способу армування, відповідно до якого можна виділити такі основні групи: композити, утворені з шарів, армованих паралельними безперервними волокнами, які визначаються числом шарів, їхньою товщиною і взаємною орієнтацією (властивості таких матеріалів оцінюються властивостями односпрямованого шару); композити, армовані тканинами (ткані матеріали); композити з хаотичним і просторовим армуванням.

4.4.1. Класифікація КМ

У композитах армуючі елементи з'єднані ізотропною полімерною, металевою або іншою матрицями, які забезпечують монолітність матеріалу, фіксують форму виробу, сприяють спільній роботі волокон і перерозподіляють навантаження при руйнуванні частини волокон.

Тип матриць визначає також метод виготовлення конструкції. Загальноприйнято характеризувати сучасні композити за типом матриці (рис. 4.6).

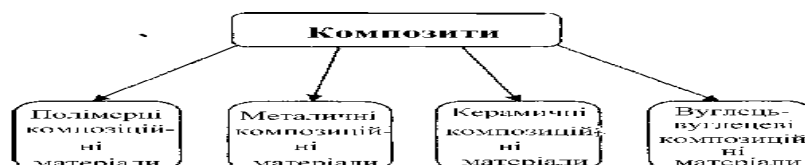


Рис. 4.6. Класифікація композитних матеріалів

Найважливіша перевага композитів – можливість створення з них елементів конструкції із заздалегідь заданими властивостями, що найбільш повно відповідають характеру та умовам роботи. Різноманіття волокон і матричних матеріалів, а

також схем армування, які використовуються при створенні композитних конструкцій, дає змогу спрямовано регулювати міцність, твердість, рівень робочих температур та інші властивості шляхом підбору складу, зміни співвідношення компонентів і макроструктури композита.

За конструктивною ознакою волокнисті матеріали розрізняють залежно від типу арматур і її орієнтації в матриці (рис. 4.7).

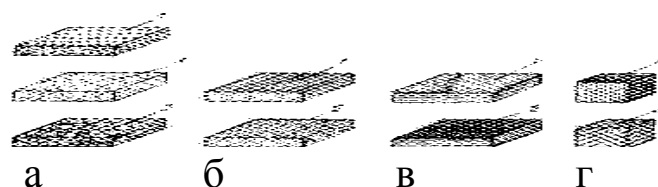


Рис. 4.7. Класифікація композитів за конструктивною ознакою:
а – хаотично армовані (1 – короткі волокна; 2 – безперервні волокна); б – однорозмірно армовані (1 – односпрямовані безперервні; 2 – односпрямовані короткі);
в – двовимірноармовані (1 – безперервні нитки; 2 – тканини);
г – просторово армовані (1 – три сімейства ниток; 2 – n сімейств ниток)

У результаті з'єднання армуючих елементів з матрицею різними технологічними способами формується комплекс властивостей композита, який не тільки містить вихідні характеристики його компонентів, але і властивості, яких ізольовані компоненти не мають.

Важливою вимогою при створенні волокнистих композитів є сумісність матеріалів волокна і матриці. При цьому сумісними вважаються компоненти, на межі яких можливе досягнення міцного зв'язку, близького до міцності матриці, за умов, що забезпечують збереження вихідних властивостей компонентів.

Композиційні матеріали з металевою матрицею являють собою металевий матеріал (частіше Al, Mg, Ni і їх сплави),

зміцнений високоміцними волокнами чи тонкодисперсними тугоплавкими частинками, які не розчиняються в основному металі (дисперсно-зміцнені матеріали). Металева матриця пов'язує волокна (дисперсні частинки) у єдине ціле.

Композиційні матеріали з неметалевою матрицею набули широкого застосування. Як неметалеві матриці використовують *полімерні, вуглецеві та керамічні матеріали*. З полімерних матриць найбільшого поширення набули епоксидна, фенолоформальдегідна і поліамідна. Вуглецеві матриці, коксовані або піровуглецеві, отримують із синтетичних полімерів, підданих піролізу. Матриця пов'язує композицію, надаючи їй форму. Зміцнювачами служать волокна: скляні, вуглецеві, борні, органічні, на основі ниткоподібних кристалів (оксидів, карбідів, боридів, нітридів та ін.), а також металеві (дроту), що відзначаються високою міцністю і жорсткістю, порівняльна характеристика яких наведена в табл. 4.3.

Таблиця 4.3

Порівняльна характеристика волокон

Властивості	Волокна			
	скляне	борне	вуглецеве	арамідне
<i>Механічні:</i>				
питома міцність	Висока	Висока	Середня	Дуже висока
питомий модуль	Низький	Високий	Високий	Середній
опір удару	Відмінне	Задовільне	Погане	Відмінне
подовження при розриві	Високе	Низьке	Середнє	Середнє
стабільність	Відмінна	Відмінна	Середня	Відмінна
<i>Теплофізичні:</i>				
теплопровідність	Низька	Середня	Висока	Дуже низька
демпфіруюча	Висока	Задовільна	Хороша	Відмінна
<i>Виробничо-технологічні:</i>				
найменший радіус вигину	Малий	Дуже великий	Малий	Малий
чутливість до пошкоджень при переробці	Середня	Середня	Висока	Низька

можливість переробки в стрічки і тканини	Гарна	Погана	Гарна	Гарна
Вартість	Дуже низька	Висока	Помірна	Помірна

Композиційні матеріали з волокнистим наповнювачем за механізмом армуючої дії ділять на дискретні, у яких відношення довжини волокна до діаметра відносно невелике, і з безперервним волокном. Дискретні волокна розташовуються в матриці хаотично. Діаметр волокон від часток до сотень мікрометрів. Чим більше відношення довжини до діаметра волокна, тим вищий ступінь зміцнення.

Часто композиційний матеріал являє собою шарувату структуру, у якій кожен шар армований великим числом паралельних безперервних волокон. Кожен шар можна армувати також безперервними волокнами, витканими в тканину, яка являє собою вихідну форму, що за шириною та довжиною відповідає кінцевому матеріалу. Нерідко волокна сплітають у тривимірні структури.

Композиційні матеріали відрізняються від звичайних сплавів більш високими значеннями тимчасового опору і межі витривалості (на 50–10 %), модуля пружності, коефіцієнта жорсткості і зниженою схильністю до утворення тріщин. Застосування композиційних матеріалів підвищує жорсткість конструкції при одночасному зниженні її металомісткості. Міцність композиційних (волокнистих) матеріалів визначається властивостями волокон; матриця в основному повинна перерозподіляти напруги між армуючими елементами. Тому міцність і модуль пружності волокон повинні бути значно більші, ніж міцність і модуль пружності матриці. Жорсткі армуючі волокна сприймають напруги, що в композиції при навантаженні надають їй міцності і жорсткості у напрямку орієнтації волокон.

Для зміцнення алюмінію, магнію та їх сплавів застосовують борні волокна, а також волокна з тугоплавких сполук (карбідів, нітридів, боридів та оксидів), що мають високі міцність і модуль пружності. Для армування титану і його сплавів застосовують молібденовий дріт, волокна сапфіру, карбїду кремнію і бориду титану. Підвищення жароміцності нікелевих сплавів досягається армуванням їх вольфрамовим чи молібденовим дротом. Металеві волокна використовують і в тих випадках, коли потрібні високі

теплопровідність і електропровідність. Перспективними зміцнювачами для високоміцних і високомодульних волокнистих композиційних матеріалів є ниткоподібні кристали з оксиду і нітриду алюмінію, карбіду і нітриду кремнію, карбіду бору та ін. Композиційні матеріали на металевій основі мають високу міцність і жароміцність, але вони малопластичні. Однак волокна в композиційних матеріалах зменшують швидкість поширення тріщин, що зароджуються в матриці, і практично повністю зникає раптове крихке руйнування. Відмінною особливістю волокнистих одноосьових композиційних матеріалів є анізотропія механічних властивостей вздовж і впоперек волокон і мала чутливість до концентраторів напруги. Анізотропія властивостей волокнистих композиційних матеріалів враховується при конструюванні деталей для оптимізації властивостей шляхом узгодження поля опору з полями напруги. Необхідно враховувати, що матриця може передавати напруги волокнам тільки в тому випадку, коли існує міцний зв'язок на поверхні розподілу армуюче волокно – матриця. Для запобігання контакту між волокнами матриця повинна цілком оточувати всі волокна, що досягається при вмісті її не менш 15-20%. Матриця і волокно не повинні між собою взаємодіяти (має бути відсутня взаємна дифузія) при виготовленні та експлуатації, так як це може призвести до зниження міцності композиційного матеріалу. Армування алюмінієвих, магнієвих і титанових сплавів безперервними тугоплавкими волокнами бору, карбіду кремнію, бориду титану та оксиду алюмінію значно підвищує жароміцність. Особливістю композиційних матеріалів є мала швидкість знеміцнювання в часі з підвищенням температури.

Основним недоліком композиційних матеріалів з одно- і двовимірним армуванням є низький опір міжшаровому зрушенню і поперечному обриву. Цього позбавлені матеріали з об'ємним армуванням.

На відміну від волокнистих композиційних матеріалів у дисперсно-зміцнених композиційних матеріалах матриця є основним елементом, що несе навантаження, а дисперсні частинки гальмують рух усередині дислокацій.

Висока міцність досягається при розмірі частинок 10-500 нм при середній відстані між ними 100-500 нм і рівномірному

розподілі їх у матриці. Міцність і жароміцність у залежності від об'ємного вмісту зміцнювальних фаз не підпорядковуються закону адитивності. Використання як зміцнювальних фаз стабільних тугоплавких сполук (оксиди торію, гафнію, ітрію, складні сполуки оксидів і рідкоземельних металів), що не розчиняються в матричному металі, дає змогу зберегти високу міцність матеріалу. У зв'язку з цим такі матеріали найчастіше застосовують як жароміцні. Дисперсно-зміцнені композиційні матеріали можуть бути отримані на основі більшості застосовуваних у техніці металів і сплавів. Найбільш широко використовують сплави на основі алюмінію – САП (спечений алюмінієвий порошок).

4.4.2. Склад, будова та властивості композиційних матеріалів

Властивості композиційних матеріалів залежать від складу компонентів, їх поєднання, співвідношення і міцності зв'язку між ними.

Вміст зміцнювача в орієнтованих матеріалах складає 60-80 %. У неорієнтованих (з дискретними волокнами і ниткоподібними кристалами) 20-30 %. Чим вищі міцність і модуль пружності волокон, тим вищі міцність і жорсткість композиційного матеріалу. Властивості матриці визначають міцність композиції при зсуві і стиску та опір втомному руйнуванню. У шаруватих матеріалах волокна, нитки, стрічки, просочені зв'язуючим, укладаються паралельно один до одного в площині укладання. Плоскі шари збираються в пластини. Властивості виходять анізотропними. Для роботи матеріалу у виробі важливо враховувати напрям діючих навантажень. Можна створити матеріали як з *ізотропними*, так і з *анізотропними* властивостями. Можна укладати волокна під різними кутами, варіюючи властивості композиційних матеріалів. Застосовується укладання зміцнювачів з трьох, чотирьох і більше ниток. Найбільше застосування має структура з трьох взаємно перпендикулярних ниток. Зміцнювачі можуть розташовуватися в осьовому та радіальному напрямках. Тривимірні матеріали можуть бути будь-якої товщини у вигляді блоків, циліндрів.

Об'ємні тканини збільшують міцність на відрив і опір зрушенню порівняно з шаруватими. Система з чотирьох ниток будується шляхом розкладання зміцнювача по діагоналях куба. Структура з чотирьох ниток рівноважна, має підвищену жорсткість при зсуві в головних площинах. Проте створення чотириспрямованих матеріалів складніше, ніж триспрямованих.

Найбільше застосування в будівництві й техніці отримали композиційні матеріали, армовані високоміцними і високомодульними безперервними волокнами.

До них відносять: **полімерні композиційні матеріали** на основі термореактивних (епоксидних, поліефірних, феноло-формальдегідних, поліамідних тощо) і термопластичних сполучних, армованих скляними (склопластики), вуглецевими (вуглепластики), органічними (органопластики), борними (боропластики) та іншими **волокнами**; **металеві композиційні матеріали на основі сплавів Al, Mg, Cu, Ti, Ni, Cr**, армованих борними, вуглецевими або карбідкремнієвими волокнами, а також сталевим, молібденовим або вольфрамовим дротом; **композиційні матеріали на основі вуглецю**, армовані вуглецевими волокнами (вуглець-вуглецеві матеріали); **композиційні матеріали на основі кераміки**, армовані вуглецевими, карбідокремнієвими та іншими жаростійкими волокнами.

При використанні вуглецевих, скляних, мідних і борних волокон, що містяться в матеріалі в кількості 50-70 %, створені композиції з питомою міцністю і модулем пружності у 2-5 разів більшими, ніж у звичайних конструкційних матеріалів і сплавів. Крім того, волокнисті композиційні матеріали перевершують метали і сплави за втомною міцністю, термостійкістю, вібростійкістю, шумопоглинанням, ударною в'язкістю та іншими властивостями.

Так, армування сплавів Al волокнами бору значно поліпшує їх механічні характеристики і дає змогу підвищити температуру експлуатації сплаву з 250-300 до 450-500 °С.

Армування дротом (з W і Mo) і волокнами тугоплавких сполук використовують при створенні жароміцних композиційних матеріалів на основі Ni, Cr, Co, Ti і їх сплавів. Так, жароміцні сплави Ni, армовані волокнами, можуть працювати при

1300-1350 °С. При виготовленні металевих волокнистих композиційних матеріалів нанесення металевої матриці на наповнювач здійснюють в основному з розплаву матеріалу матриці, електрохімічним осадженням або напиленням. Формування виробів проводять шляхом просочування каркаса з армуючих волокон розплавом металу під тиском до 10 МПа або з'єднанням фольги (матричного матеріалу) з армуючими волокнами із застосуванням прокатки, пресування, екструзії при нагріванні до температури плавлення матеріалу матриці.

Один із загальних технологічних методів виготовлення полімерних та металевих волокнистих і шаруватих композиційних матеріалів – **виращування кристалів** наповнювача в матриці безпосередньо в процесі виготовлення деталей. Такий метод застосовують при створенні евтектичних жароміцних сплавів на основі Ni і С. Легування розплавів карбідними й інтерметалічними сполуками, що утворюють при охолодженні в контрольованих умовах волокнисті або пластинчасті кристали, приводить до зміцнення сплавів і дає змогу підвищити температуру їх експлуатації на 60-80 С.

Композиційні матеріали на основі вуглецю поєднують низьку щільність з високою теплопровідністю, хімічною стійкістю, постійністю розмірів при різких перепадах температур, а також зі зростанням міцності та модуля пружності при нагріванні до 2000 °С в інертному середовищі.

Високоміцні композиційні матеріали на основі кераміки отримують при армуванні волокнистими наповнювачами, а також металевими і керамічними дисперсними частинками.

Армування безперервними волокнами дає змогу отримувати композиційні матеріали, що характеризуються підвищеною в'язкістю, міцністю на вигин і високою стійкістю до окислення при високих температурах. Однак армування кераміки волокнами не завжди призводить до значного підвищення її міцнісних властивостей через відсутність еластичного стану матеріалу при високому значенні його модуля пружності.

Армування дисперсними металевими частинками дає змогу створити кераміко-металеві матеріали (**кермети**), що відзначаються підвищеною міцністю, теплопровідністю, стійкістю до теплових ударів. При виготовленні керамічних

композиційних матеріалів звичайно застосовують гаряче пресування, пресування з подальшим спіканням, шлікерне лиття.

Армування матеріалів дисперсними металевими частинками приводить до різкого підвищення міцності внаслідок створення бар'єрів на шляху руху дислокацій. Таке армування застосовують при створенні жароміцних хромонікелевих сплавів. Матеріали одержують введенням тонкодисперсних частинок у розплавлений метал з подальшою переробкою звичайних злитків у виробі. Введення, наприклад, TiO_2 або ZrO_2 , у сплав дає змогу отримувати дисперсно-зміцнені жароміцні сплави, які тривалий час працюють під навантаженням при 1100-1200 °С (межа працездатності звичайних жароміцних сплавів у тих же умовах 1000-1050 °С).

Перспективний напрямок створення високоміцних композиційних матеріалів – армування матеріалів ниткоподібними кристалами ("вусами"), які внаслідок малого діаметра практично позбавлені дефектів, наявних у більш великих кристалах, і відзначаються високою міцністю.

Найбільш практичний інтерес представляють кристали Al_2O_3 , BeO , SiC , B_4C , Si_3N_4 , AlN і графіту діаметром 1-30 мкм і довжиною 0,3-15 мм. Використовують такі наповнювачі у вигляді орієнтованої пряжі або ізотропних шаруватих матеріалів на зразок паперу, картону. Введення в композицію ниткоподібних кристалів може надавати їй незвичайні поєднання електричних і магнітних властивостей.

Вибір і призначення композиційних матеріалів багато в чому визначаються умовами навантаження і температурою експлуатації деталей або конструкцій, технологічними можливостями.

Найбільш доступні й освоєні полімерні композиційні матеріали. Велика номенклатура матриць у вигляді термореактивних і термопластичних полімерів забезпечує широкий вибір композиційних матеріалів для роботи в діапазоні від від'ємних температур до 100-200 °С – для органопластиків, до 300-400 °С – для скло-, вугле- і боропластиків. Полімерні композиційні матеріали з поліефірною і епоксидною матрицею працюють до 120-200 °С, з феноло-формальдегідною – до 200-300 °С, поліамідною і кремнійорганічною – до 250-400 °С.

Металеві композиційні матеріали на основі Al, Mg та їх сплавів, армовані волокнами з B, C, SiC, застосовують до 400-500 °С; композиційні матеріали на основі сплавів Ni і Co працюють при температурі до 1100-1200 °С, на основі тугоплавких металів і сполук – до 1500-1700 °С, на основі вуглецю і кераміки – до 1700-2000 °С.

Використання композитів як конструкційних теплозахисних, антифрикційних, радіо- й електротехнічних та інших матеріалів дає змогу знизити масу конструкції, підвищити ресурси та потужності машин і агрегатів, створити принципово нові вузли, деталі та конструкції. Усі види композиційних матеріалів застосовують у хімічній, текстильній, гірничорудній, металургійній промисловості, машинобудуванні, на транспорті, для виготовлення спортивного спорядження й ін.

4.4.3. Економічна ефективність застосування композиційних матеріалів

Галузі застосування композиційних матеріалів не обмежені. Вони застосовуються в авіації для високонавантажених деталей (обшивки, лонжеронів, нервюр, панелей, лопаток компресора і турбіни і т.д.), у космічній техніці для вузлів силових конструкцій апаратів, для елементів жорсткості, панелей, у **машинобудуванні для полегшення кузовів, ресор, рам, панелей кузовів, бамперів** і т.д., у гірничій промисловості (буровий інструмент, деталі комбайнів і т.д.), у цивільному будівництві (прольоти мостів, елементи збірних конструкцій висотних споруд і т.д.) і в інших галузях народного господарства.

Застосування композиційних матеріалів забезпечує новий якісний стрибок у збільшенні потужності двигунів, енергетичних і транспортних установок, зменшенні маси машин і приладів.

Композиційні матеріали з неметалевою матрицею, а саме полімерні карбоволокніти, використовують у судно- і машинобудуванні (кузови гоночних машин, шасі, гребні гвинти), з них виготовляють підшипники, панелі опалення, спортивний інвентар, частини ЕОМ.

Високомодульні карбоволокніти застосовують для виготовлення деталей авіаційної техніки, апаратури для хімічної промисловості, у рентгенівському устаткуванні і іншому.

Карбоволокніти з вуглецевою матрицею замінюють різні типи графітів. КМ застосовуються для теплового захисту дисків авіаційних гальм, хімічно стійкої апаратури. Вироби з борволоконітів застосовують в авіаційній і космічній техніці (профілі, панелі, ротори і лопатки компресорів, лопасті гвинтів, трансмісійні вали вертольотів і т.д.).

Органоволокніти застосовують як ізоляційний і конструкційний матеріал в електрорадіопромисловості, авіаційній техніці, машинобудуванні і т.д.

4.5. Порошкові матеріали

Порошкові матеріали останнім часом все більш широко застосовуються в промисловості. Деталі, виготовлені методом порошкової металургії, не потребують подальшої механічної обробки. Суть методу полягає в пресуванні і подальшому спіканні в прес-формах композицій металевих порошоків і спеціальних присадок. У залежності від композиції порошоків можуть бути отримані матеріали з необхідними характеристиками міцності, фрикційними, антикорозійними й іншими властивостями. Цей метод реалізує принцип безвідходної технології. Порошкові матеріали широко використовують при виготовленні гальмівних колодок, вкладишів підшипників ковзання, малонавантажених зубчастих коліс, втулок, шайб та ін.

Тверді сплави виготовляють методами порошкової металургії. Основні компоненти: карбід вольфраму (WC), карбід титану (TiC) і карбід танталу (TaC), зв'язкою служить металевий кобальт, нікель або молібден. Теплостійкість твердих сплавів різних марок становить 800-1100 С, що дає змогу значно підняти швидкість різання (до 150-200 м/хв). Недолік їх – відносно низька міцність на згин $\sigma_{зг}=0,9-1,6$ ГПа, а у швидкорізальній сталі $\sigma_{зг}=3-3,5$ ГПа. Міцність на стиск $\sigma_{ст}=4-6$ ГПа, а твердість 90-96 HR_A.

У залежності від хімічного складу тверді сплави поділяються на 4 групи: однокарбідні, двокарбідні, трикарбідні і безвольфрамові.

Однокарбідні тверді сплави (ВК) містять карбід вольфраму і кобальт. Широко відомі марки ВК3; ВК4; ВК6; ВК8; ВК10; ВК15. Цифрою вказано відсотковий вміст кобальту, а решта – карбід вольфраму. Із збільшенням кількості кобальту зменшується твердість сплаву і росте пластичність, тому для чорнової обробки застосовують марки ВК8, ВК10, а для чистової – ВК3, ВК4. Фізико-механічні властивості твердих сплавів залежать від розміру зерен. Вони можуть бути грубозернисті, нормальні, дрібнозернисті і дуже дрібнозернисті (розмір зерен до 0,5 мкм), позначаються вони відповідно, наприклад, ВК6В, ВК6 ВК6-М, ВК6-ОМ. Сплав ВК6-ОМ додатково легований до 2 % T_{aC} .

Однокарбідні тверді сплави добре зарекомендували себе при обробці чавунів. Для виготовлення інструменту, який працює з ударним навантаженням (обдирні операції, переривчасте точіння) застосовують грубозернисті тверді сплави (ВК6В). Згідно з нормами ISO однокарбідні тверді сплави у своєму позначенні мають літеру **К** (K01, K05, K10, K20, K30, K40) і фарбуються у червоний колір. Тут маркування ведеться не за хімічним складом, а за механічними (експлуатаційними) властивостями, тому деякі однокарбідні тверді сплави не обов'язково будуть у марці мати літеру К. У деякій технічній літературі трапляється позначення **HW**.

Двокарбідні тверді сплави (ТК) у своєму складі містять карбід вольфраму (основна складова), карбід титану і кобальт. Широко застосовуються марки Т30К4, Т5К10, Т15К6 (15 % T_{iC} ; 5 % Co , 80 % WC). При однаковому вмісті кобальту двокарбідні тверді сплави мають вищу твердість і крихкість, ніж однокарбідні, тому їх використовують для напівчистової і чистової обробки сталі. Згідно з нормами ISO їх маркування починається з літери **Р** (P01, P10, P15, P20, P30, P40), вони фарбуються в синій колір, у деякій літературі позначаються **HT**.

Трикарбідні тверді сплави (ТТК) складаються з карбіду вольфраму, карбіду титану, карбіду танталу і металевого кобальту (зв'язки). Використовуються марки ТТ7К12 і ТТ20К4, вони характеризуються високою зносостійкістю й експлуатаційною

міцністю ($\sigma_b=1,3-1,6$ МПа), добре витримують ударні навантаження, вібрації і використовуються при струганні і фрезеруванні. Згідно з нормами ISO їх маркування починається з літери **M** (M10, M20, M30, M40), або **HM**, колір жовтий.

Безвольфрамкові тверді сплави створені на основі карбиду і карбонітриду титану, карбиду хрому і тугоплавких зв'язок, зокрема кобальт-нікелевої. Ці сплави характеризуються окалинотійкістю, низьким коефіцієнтом тертя, зниженою схильністю до адгезії з оброблюваним матеріалом, але вони мають нижчу міцність, яку втрачають при підвищенні температури, мають низьку теплопровідність. Це сплави КНТ16, ТН20, ТН30, ТМ1, ТМ3, КХН30. Вони застосовуються для напівчистої і чистої обробки конструкційних низьколегованих сталей і чавунів.

Інститутом надтвердих матеріалів ім. В.М.Бакуля НАН України розроблені нові тверді сплави (ВН і ВКН), які за своїми властивостями близькі до сплавів ВК з однаковою кількістю зв'язки. Дослідження експлуатаційних властивостей цих сплавів при обробці різанням чавунів, сталей, у буровому і штамповому інструменті підтвердило їх добру якість. Це сплави ВН6, ВН8, ВН10, ВН15.

Розроблення цих інструментальних матеріалів викликано відсутністю в Україні необхідної сировинної бази (кобальту). Нікель у 2-3 рази дешевший від кобальту. Собівартість твердих сплавів на нікелевій основі на 10-20 % нижча, ніж сплавів ВК.

4.6. Кераміка та металокераміка

Металокераміка — штучний матеріал, що являє собою гетерогенну композицію металів або сплавів з неметалами (кераміками).

Інші назви: кермети, кераміко-металеві матеріали, спечені антифрикційні матеріали.

Металокераміки поєднують важливі конструкційні та експлуатаційні властивості металів і неметалів. Вони мають велику міцність, високу зносо- й теплостійкість, антикорозійні властивості.

Застосовуються як антифрикційні або захисні покриття деталей, як самостійні конструкційні матеріали в авіабудуванні, автомобілебудуванні, транспортному і хімічному машинобудуванні, електроприладобудуванні, турбобудуванні та інших галузях промисловості.

Металокерамічні матеріали виготовляються *методами порошкової металургії*. В основі ці матеріали являють собою суміш кераміки з металами. Таке поєднання дає змогу створювати матеріали, що мають високі термічну міцність, зносостійкість, корозійну стійкість і стійкість до агресивних хімічних середовищ.

Металева фаза металокерамічних матеріалів може містити Cr, Ni, Al, Fe, Co, Ti, Zr та їх сплави. До керамічної фази відносять оксиди (Al_2O_3 , Cr_2O_3 , SiO, SiO_2 , ZrO_2), карбіди (SiC, Cr_3C_2 , TiC), бориди (Cr_2B_2 , TiB_2 , ZrB_2), силіциди (MoSi), нітриди (TiN) і вуглець (алмаз, графіт). Частина керамічної складової в металокераміці в залежності від її типу змінюється в широких межах від 15 до 85 % (за об'ємом).

Технологія виготовлення таких виробів включає отримання порошків металів (а також їх сумішей з неметалевими порошками), пресування і подальше спікання в прес-формах. Отримані таким чином деталі не потребують подальшої механічної обробки. У результаті такої технології обробки матеріали можуть виходити пористими, причому пористість досягає 10-30 %. Такі матеріали мають низький коефіцієнт тертя, який для контакту $f = 0,05-0,09$ доцільно використовувати як фільтри та антифрикційні матеріали, а також вкладиші підшипників.

Так виробляють тверді металокерамічні матеріали (цементовані карбіди), що використовуються для обробки металів різанням і для буріння гірських порід. Іншим прикладом металокераміки, отриманої спіканням порошків суміші заліза і графіту, є пористі самозмащувальні підшипники, матеріал яких після спікання просочують мастилом.

Методом газотермічного напилення частинок порошку отримують металокерамічні покриття для захисту поверхонь деталей від зносу і корозії при виробництві деталей. Цей метод формування металокерамічного покриття використовується також для ремонту при відновленні розмірів зношених деталей.

Металокерамічні покриття також отримують на змащуваних металевих деталях при ревіталізації механізмів. У мастило, що використовується в механізмі, наприклад у трансмісійну оливу редуктора, вносять спеціальну речовину — **ревіталізант**. Ревіталізант під дією контактних навантажень формує на поверхнях зубчастих коліс, підшипників металокерамічне покриття. Покриття одночасно зміцнює і відновлює зношені поверхні, що труться, збільшує ресурс.

Тонкоплівкову металокераміку отримують методом термічного випаровування металу або сплаву у вакуумі і конденсації його парів на поверхні пластинки (підкладки). Прикладом є мікрокомпозиція Cr — SiO₂, яку використовують при виготовленні тонкоплівкових резисторів.

Металокерамічні матеріали використовуються також і в інших випадках, де їх застосування виправдане завдяки описаним вище властивостям.

Питання для самоперевірки

1. Які властивості мають пластмаси?
2. Якою буває пластмаса в залежності від її складу?
3. З яких компонентів складаються складні пластмаси ?
4. Якими методами отримують вироби з пластмаси?
5. Які основні види термопластичних пластмас? Їх характеристика.
6. Як використовується поліетилен?
7. Яким чином отримують деталі з фторопласту?
8. Основні недоліки фторопласту?
9. Які властивості має оргскло?
10. Яким чином отримують полімер?
11. Поліуретан і його властивості.
12. Особливості термореактивних полімерів.
13. Що таке епоксидні смоли, їх галузі використання?
14. Яку форму отримує феноло-формальдегідна смола при нагріванні?
15. Основні види термореактивних полімерів.
16. Які основні недоліки кремнійорганічних сполук?

17. Як у залежності від наповнювача розрізняють види пластмаси?
18. Що таке композиційний матеріал?
19. Основні складові композиційного матеріалу.
20. Роль армуючих волокон у композиті.
21. У якому вигляді виготовляють армуючий компонент?
22. Класифікація композиційних матеріалів.
23. Головні переваги композиційних матеріалів.
24. Класифікація композитів за конструктивною формою.
25. Типи армуючих волокон у композиційних матеріалах.
26. Види волокнистих наповнювачів. Застосування.
27. З чого складаються металокерамічні матеріали?
28. Якими методами виготовляються металокерамічні матеріали?
29. У чому сутність методу отримання порошкових матеріалів?
30. Тверді сплави. Марки. Застосування.

5. НЕМЕТАЛЕВІ МАТЕРІАЛИ

5.1. Гумові матеріали

Гума – матеріал, отриманий вулканізацією суміші натурального або синтетичного каучуку із сіркою та іншими добавками (інгредієнтами).

За ступенем вулканізації гуми поділяються на м'які (1-3 % сірки), напівтверді і тверді (30 % сірки) (ебоніт).

Гума застосовується для ущільнювальних виробів, діафрагм, гнучких шлангів.

Гума відрізняється від інших матеріалів високими еластичними властивостями. Вона відзначається також високою зносостійкістю, хорошими діелектричними властивостями і тим, що здатна чинити опір багатьом агресивним середовищам.

Гума може витримувати великі деформації, які у свою чергу повністю оборотні. Модуль пружності для гуми лежить у межах 1-10 МПа, що в тисячі і десятки тисяч разів більше, ніж для інших матеріалів. Висока еластичність і визначає галузь застосування деталей з гуми.

Гуму застосовують для виготовлення шин (камер і покришок) автомобілів, тракторів і літаків, приводних ременів, стрічок транспортерних і елеваторних, напірних рукавів, з'єднувальних шлангів, гумових підвісок, буферів, амортизаторів частин підшипників; для прокладкових кілець, шнурів, пластин і клапанів, деталей електротехнічної та рентгенівської апаратури і т. п.

Серйозним недоліком є низька міцність гумових виробів. Через це для підвищення міцності гуму армують текстильними матеріалами або сталевими елементами.

Таким чином, вибір конструкційних матеріалів, які відповідають службовим властивостям деталей, обґрунтування методів отримання заготовок, які забезпечують геометричну точність, структуру, якості поверхневого шару деталі є важливими складовими якості машин.

При цьому забезпечення зносостійкості хіміко-термічними і механічними методами, лазерною, іонно-плазмовою та фінішною

обробкою дає стабільну якість під час складання. **Ці комплексні фактори** істотно впливають на забезпечення якості машин і виробництва.

Крім основного компонента (каучуку), до складу гуми входять вулканізатори, наповнювачі, пластифікатори, старителі, барвники.

Каучук – основа кожної гумової суміші. Застосовується як сирий каучук, так і регенерат, що у певних межах замінює сирий каучук. Залежно від походження розрізняють **натуральний і синтетичний** каучуки.

Основним каучуконосом для виробництва натурального каучуку (НК) є тропічне дерево "гевея". Каучук міститься в молочному соку цього дерева (латексі). Витягнутий і оброблений латекс перетворюється в цільну масу – натуральний каучук, що легко розчиняється у бензині і деяких інших органічних розчинниках, характеризується високою газо- і водонепроникністю.

Натуральний каучук досить дорогий і дефіцитний, тому виробництво гуми ґрунтується на синтетичному каучуку (СК).

Синтетичний каучук у промисловому масштабі отриманий С.В. Лебедєвим з етилового спирту. Перша стадія процесу полягає в утворенні бутадієну, полімеризація якого відбувається на другій стадії при наявності металевого натрію як каталізатора, тому СК одержав назву натрійбутадієновий (СКБ).

Спосіб А.Е. Фаворського оснований на виготовленні каучуку з ацетилену й ацетону. У результаті полімеризації ізопрену одержують синтетичний ізопреновий каучук, подібний за складом до натурального (табл. 5.1).

Шляхом спільної полімеризації каучуку з деякими органічними речовинами одержують **сополімери**.

Бутадієнстирольний каучук (СКС) – це сополімер бутадієну стиролу.

Нітрилбутадієновий каучук (СКН) являє собою полімер бутадієну і нітрилу акрилової кислоти. Якщо в бутадієні замінити один атом водню хлором, то утвориться хлоропреновий каучук (найірит).

Таблиця 5.1

Порівняльні властивості натурального і синтетичних каучуків

Каучук	Межа міцності при розтяганні, МПа	Відносне подовження при розриві, %	Залишкове відносне подовження, %	Набухання протягом 24 год (не більше), %		
				Бензин	Масло	Вода
Натуральний НК	25	800	20	120	40	5
Хлоропреновий (найірит) СК	12	650	25	40	20	3
Бутадієн-нітрильний СКН	13	400	15	15	10	1
Полісилоксановий СКТ	25	200	20	-	-	-
Бутадієн-стирольний СКС	18	500	15	-	-	-
Фтороорганічний СКФ	20	200	30	10	10	-

У деяких випадках використовують також високомолекулярні еластичні матеріали, що належать до групи каучуків, в основі будови яких лежать ланцюги атомів за участю сірки або кремнію. Аналогічно одержують тіоколовий або полісилоксановий (кремнійорганічний) каучуки.

Тіоколовий каучук відзначається газонепроникністю, бензо- і маслостійкістю, гарними герметизуючими властивостями і високою адгезією до металів.

Відмінними рисами силоксанового каучуку (СКТ) є підвищена теплостійкість, гарні діелектричні властивості, стійкість до дії озону й ультрафіолетових променів.

Силіконовий каучук, що містить фтор (СКФ), відзначається високою чутливістю до дії робочої рідини при підвищених температурах, а поліуретановий каучук має велику зносостійкість.

5.1.1. Одержання гуми

Для одержання гуми каучук змішують з деякими речовинами (інгредієнтами), після чого виріб з такої гумової суміші піддають вулканізації. У порівнянні з каучуком гума має більш високі фізико-механічні властивості і меншу схильність до старіння.

Вулканізатори – це речовини, що перетворюють каучук у гуму. Як вулканізуючу речовину найчастіше застосовують сірку. Кількість сірки, що вводиться для звичайної гуми, становить 5...7 %, а для твердої гуми (ебоніту) – близько 30-35 %.

Розрізняють гарячу і холодну вулканізацію. Гаряча вулканізація здійснюється на гідропресах при 140...145 °С і тиску 2,5-7,5 МПа, час вулканізації коливається від 2 до 40 хв. Холодна вулканізація застосовується для тонкостінних виробів і полягає в їхній обробці протягом декількох хвилин 2-3 %-м розчином хлористої сірки в сірковуглеці або чотирехлористом вуглеці.

Для прискорення процесу вулканізації до складу гуми вводять свинцевий глет та інші органічні речовини (каптакс і тіурам). Прискорювачі вулканізації вводяться в кількості 0,1-2,5 % від маси каучуку.

Наповнювачі – це тверді речовини, що надають гумі певні механічні властивості і здешевлюють її. Звичайний вміст їх у гумі – від 10 до 60 %. Розрізняють порошкоподібні і листові (у вигляді тканин) наповнювачі. Порошкоподібні наповнювачі можуть бути активними і пасивними. Активні наповнювачі значно підвищують механічні властивості каучуку. До їх числа належать сажа, окиси кремнію, титану, магнію, цинку і каолін.

Економічні гумові суміші готують із застосуванням дешевих пасивних наповнювачів (крейда, тальк, сірчаноокислий барій). Ці наповнювачі майже не підвищують міцність, однак знижують еластичність, збільшують твердість. Тальк і сірчаноокислий барій підвищують кислотостійкість гуми.

Як листові наповнювачі, що збільшують міцність гуми, застосовують різні тканини. З такого матеріалу виготовляють рукави, приводні ремені, транспортні стрічки та ін.

Пластифікатори (пом'якшувачі) полегшують змішування з іншими компонентами гумових сумішей, поліпшують

пластичність маси при формуванні. Однак пом'якшувачі можуть надавати гумі певні нові властивості або виконувати додаткові функції: підвищувати морозостійкість і еластичність (дибутилфталат), бути активізаторами прискорювачів вулканізації (жирні кислоти), знижувати горючість (трикрезилфосфат) і газонепроникність (гліцерофталати), зменшувати окислюваність (феноли, парафін), змінювати колір і т.ін.

Пластифікатори вводять від 2 до 25 % від маси каучуку.

Старителі (протиокислювачі). З часом еластичність гуми зменшується, тобто вона старіє. Старіння гумових сумішей залежить від умов зберігання й експлуатації. Старіння підсилюється з підвищенням температури, а також у результаті дії сонячних променів.

Протидія процесам старіння досягається введенням особливих речовин у кількості 1-3,5 % від маси каучуку.

Протистарителями є феноли, аміни, парафін, віск, церезин.

Крім цих основних компонентів, до складу гуми входять барвники, що служать для надання гумі певного кольору. Іноді в гумові суміші вводять регенерат – продукт переробки старої гуми, що робиться для здешевлення гуми.

Формування гумових виробів може проводитися різними засобами. Листову гуму одержують методом коландрування, тобто шляхом пропускання суміші між валками, що обертаються, – каландрами, які підігрівають до 40-80 °С.

Дрібні гумові вироби формують у спеціальних прес-формах. Труби одержують склеюванням внапуск листів гуми або шприцюванням гумової суміші через мундштук шприц-машини.

5.1.2. Методи випробування і властивості гуми

Механічні властивості гуми характеризуються даними випробування на розтяг, а також визначенням твердості методом вдавнення сталевий кульки за допомогою кулькового твердоміра (ТШР) (метод Джонса) і подальшим вимірюванням деформації (табл. 5.2).

Таблиця 5.2

Властивості деяких видів гум

Тип гуми	Марка гуми	σ_z (не менш), МПа при розтяганні	Відносне подовження (не менш), % момент розриву	$\epsilon_{ост}$ (не більш), % Відносне подовження	Твердість за ТШР, кг/см ²	t_{xp} , °С Температура крихкості	Коефіцієнт старіння
Амортизаційна (еластична)	3311	15	700	25	3,0-3,6	-55	0,75
Амортизаційна середньої твердості	2671	4,5	200	15	6-12	-50	0,70
Прокладна	1432	4,0	350	30	4-8	-42	0,66
Масло- і паливостійка	3825	10	125	10	16-33	-30	0,6
Масло-і паливостійка підвищеної теплостійкості	ИРП- 1078	11,0	130	6	13,5-28	-42	0,75
Морозостійка	98-1	5,0	160	8	7-13	-60	0,60
Морозо- і світлозносо- стійка	АЛЕ- 68-1	9,0	250	12	7-15	-55	0,65
Термостійка	3687	13,0	500	30	5-10	-55	0,80
Зносостійка	ВРГ- 14	11,0	130	8	14-22	-	0,70

Межу міцності гум при розтяганні σ_z і подовження при розриві ε_z визначають на розривних машинах.

Величина $Z = \sigma_z \cdot \varepsilon_z / 100$ називається добутком пружності і є важливою характеристикою міцності й еластичності гуми.

Твердість характеризується глибиною занурення кульки в гуму. Навантаження на кульку становить 1000 г, а її діаметр 5 мм. Глибина вдавлення кульки визначається за тридцятьма випробуваннями і заміряється індикаторним динамометром.

Коефіцієнт старіння гум визначається у результаті нагрівання стандартного зразка в термошафі протягом 144 год при температурі 70 °С. Коефіцієнт старіння K є відношення z_1/z , де z – добуток пружності гуми до старіння, а z_1 – добуток пружності гуми після старіння.

Визначення морозостійкості гуми проводиться в інтервалі мінусових температур до початку втрати її еластичності.

Морозостійкість визначається температурою крихкості t_{xp} , що є найбільшою температурою, при якій гумовий зразок починає проявляти ознаки крихкого руйнування в умовах ударного впливу.

Визначення теплостійкості гуми. Теплостійкість характеризується відношенням подовження зразка при підвищених температурах до його подовження при нормальній температурі й однакових умовах навантаження.

Стійкість гуми до різних рідин (масла, бензину, гасу) визначається за зміною маси стандартного зразка певної форми і розмірів після витримування його протягом 24 год у цій рідині і характеризується збільшенням маси у відсотках від первісної маси зразка.

5.2. Клейові і герметизуючі матеріали

Клейові матеріали являють собою важкі колоїдні розчини, що мають клейову здатність, тобто здатність утворювати тверду плівку, що зчіплюється і з'єднується з матеріалами.

Останнім часом більш широко почали застосовувати клеї для з'єднання різних матеріалів. До переваг клейових з'єднань у

порівнянні з заклепувальними, звареними, болтовими й іншими видами з'єднань належать:

- можливість з'єднання між собою різнорідних матеріалів;
- більш рівномірний розподіл напруг у з'єднаннях;
- можливість виготовлення полегшених деталей і конструкцій з тонких листів; більша міцність клейових конструкцій у порівнянні з конструкціями, зібраними на механічному кріпленні;
- одержання клейових виробів з рівною і гладкою зовнішньою поверхнею; герметичність з'єднань;
- одержання багатошарових конструкцій із заповнювачами;
- економічність клейових з'єднань через їх малу вартість.

Недоліки клейових з'єднань:

- відносно невисока теплостійкість (до 350 °С);
- невисока міцність склейки при нерівномірному відриві;
- необхідність часто вести склейку з підгрівом;
- схильність до старіння клейового шва;
- втрата міцності при підвищеній вологості;
- поганий опір вібраційним навантаженням; великий розкид показників міцності.

У цей час немає загальноприйнятої теорії, що задовільно пояснює процес склеювання, і часто питання, пов'язані із створенням і застосуванням клеїв, розглядаються експериментально. Міцність склеювання залежить від явищ адгезії, когезії і механічного зчеплення плівки з поверхнею матеріалів, що склеюються.

Адгезією (липкістю) називається здатність клейової плівки міцно втримуватися на поверхні матеріалів, що склеюються. Адгезія характеризується зусиллям, необхідним для того, щоб відірвати плівку від поверхні матеріалу.

Когезія являє собою власну міцність плівки. Із збільшенням товщини плівки міцність склейки погіршується, а при дуже тонкій плівці проявляються мікронерівності поверхонь, що склеюються, це призводить до порушення суцільної плівки і

погіршення склейки. Оптимальна товщина клейової плівки 0,1-0,6 мм.

Міцність склейки можна підвищити за рахунок механічного зчеплення плівки клею з шорсткуватою поверхнею матеріалу, тобто перед склейкою поверхні спеціально підготовляють: виконують піскоструминну обробку і зачищають наждачним папером. Чистота поверхні впливає на змочування, а отже, і адгезію поверхні, тому перед склейкою поверхню знежирюють.

На процес склеювання і міцність шва впливає також природа матеріалів, що склеюються. Так, полярні матеріали потребують застосування полярних клеїв. При склеюванні пластиків кращим клеєм є розчин або розплав цього пластику.

Залежно від можливостей застосування клеїв для з'єднання різних матеріалів розрізняють *універсальні клеї* (для деревини, металів, пластмас, кераміки, скла та ін.) і *спеціальні* (тільки для гуми, деревини, металів і т.д.).

За складом клеї являють собою або розчин клеючої речовини у певному розчиннику, або суміші рідких компонентів без розчинників.

Клеї на смоляній основі можуть бути *термопластичними* (оборотними) і *термореактивними* (необоротними).

За станом клеї бувають *рідкими, порошкоподібними* (з попереднім розчиненням перед застосуванням) і *плівковими* (у вигляді просочених плівок, тканини, паперу і т.д.). Найбільше поширення одержали рідкі клеї.

Залежно від застосування розрізняють клеї *конструкційного* і *неконструкційного* призначення.

Конструкційні клеї використовують для з'єднання елементів конструкцій, що сприймають навантаження. Неконструкційні клеї призначені для з'єднання ненавантажених деталей і елементів конструкцій. Найбільше поширення одержали смоляні клеї.

5.2.1. Клеї для з'єднання металів з неметалами

Для цих цілей застосовуються клеї на основі різних синтетичних смол.

Клеї типу БФ являють собою спиртовий розчин суміші фенолщ-формальдегідної смоли з термопластичною бутварною

смолою. Клеї БФ- 2 і БФ-4 використовуються для склеювання металів, пластмас, дерев'яних матеріалів, кераміки, скла і ряду інших матеріалів як між собою, так і в різних сполученнях. Клеї рекомендуються переважно для з'єднань, що працюють в інтервалі температур від -60 до +60 °С.

Поліуретановий клей ПУ-2 являє собою сукупність двох компонентів, що перебувають при кімнатній температурі в рідкому стані. Застосовується клей для склеювання металів і для приклеювання до них неметалевих матеріалів (пінопластів, склопластів та ін.), а також для склеювання пластмас між собою.

Епоксидні клеї складаються з епоксидної смоли і затверджувача.

Особливість епоксидних клеїв полягає в тому, що вони при затвердінні не виділяють летких речовин, дають малу усадку і не потребують великого тиску при затвердінні. Склеювання можна проводити як при нормальній температурі, так і при підігріві. Склеювання при кімнатній температурі знижує міцність клейового з'єднання. Клеї здатні утворювати досить міцні клейові з'єднання як між металевими деталями, так і при сполученні металу з різними пластмасами.

5.2.2. Клеї для з'єднання виробів з пластмас

Склеювання виробів зі складних і волокнистих пластмас або прес- порошків на основі термореактивних смол здійснюють головним чином смоляним клеєм на основі феноло-формальдегідної смоли.

Склеювання між собою деталей з термопластичних матеріалів проводять в основному клеями спеціального призначення. Часто для цього використовують розчинник, який спричиняє набухання поверхні пластмаси, що надає їй необхідну клейкість. В'язкість розчинника визначають розчиненням у ньому невеликої кількості смоли, необхідної для склеювання. Звичайно для склеювання використовують 2-4 %-ві розчини.

Склеювання органічного скла здійснюється розчином оргскла в дихлоретані. Клейове з'єднання зберігає безбарвність і прозорість, характерні для оргскла. Для деталей несилового

призначення, за місцем клейового з'єднання яких допускається непрозорість, застосовують клей на основі ФФС.

Склеювання листів з полістиролу проводиться так само, як склеювання оргскла. Розчинником служить бензол, у який додають деяку кількість полістиролу.

Склеювання виробів з целулоїду і нітроцелюлозного етролу здійснюється промазуванням поверхонь, що склеюються, оцтовою кислотою.

Склеювання виробів з вініласту здійснюється сумішшю перхлор-вінілової смоли і розчинника (ацетон або дихлоретан) під тиском 0,1 МПа з витримкою 24 год.

5.2.3. Гумові клеї

Гумові клеї призначені для склеювання гум між собою і приклеювання їх до металу.

Гумовим клеєм називається розчин, отриманий у результаті взаємодії каучуку або гумової суміші з розчинником. При певних температурах або внаслідок хімічних перетворень клей утворює тверду плівку, що міцно утримує і з'єднує поверхні.

Для склеювання заготовок із сирих або вулканізованих гум, що не мають паливо- і маслостійкості, застосовують гумовий клей марки 4508 на основі натурального каучуку з бензином "калоша" у співвідношенні 1:10.

Для склеювання заготовок з паливо- і маслостійких гум використовують гумовий клей марки НС-30, що являє собою суміш нітрільного каучуку і феноло-формальдегідної смоли, розчинених у дихлоретані з ацетоном (або бензині з ацетоном).

Для склеювання гум, що не мають паливо- і маслостійкості, широко застосовується клей марки 88, що являє собою розчин наїритового каучуку з бутилфеноло-формальдегідною смолою, розчинених у суміші етил ацетону з бензином "калоша", узятих у певному співвідношенні.

Для склеювання гум, що мають паливо- і маслостійкість, застосовують гумові клеї марок *лейконат* і Б-10.

З'єднання, отримані за допомогою лейконату, визначаються міцністю й теплостійкістю. Клей застосовується для кріплення до металів невулканізованих гум з подальшою вулканізацією.

Клей марки Б-10 являє собою розчин нитрильного каучуку й фенол формальдегідної смоли в бензолі й ацетоні. Використовується для склеювання невулканізованих нитрильних, севанітових і наїрітових гум з металами з подальшою їх вулканізацією.

5.3. Припої та технологія одержання паяних з'єднань

Припої – це сплави, що утворюють сполучний прошарок між з'єднаними виробами в процесі паяння. Процес паяння відомий понад 5000 років, але й у наш час він широко застосовується в різних галузях техніки.

Для одержання спаю необхідно видалити з поверхні деталі оксидну плівку, нагріти її, а потім увести в зазор між деталями розплавлений сполучний метал.

Процес паяння має багато спільного зі зварюванням, але між ними є й істотні розходження:

- при зварюванні метал, що зварюється, та присадні метали плавляться, а при паянні метал, що паяється, не плавиться і шов утворюється за рахунок заповнення припаюваного капілярного зазора між деталями;
- паяння проводиться при температурах, нижчих від температури плавлення основного металу.

При паянні велику роль відіграють капілярні явища. Основними силами, під дією яких припій затікає в капілярні зазори, є сили змочування. Чим більше значення поверхневого натягу рідкого припою, тим вище він може піднятися в капілярному зазорі.

Міцність зчеплення припою з поверхнями, які з'єднують, залежить від дифузійних процесів, що протікають між припоєм і основним металом. За рахунок дифузії ближче до основного металу утворюються зони, збагачені компонентами основи, а ближче до центра шва – зони, збагачені компонентами припою.

Залежно від складу припою і сплаву основи шва можуть мати структуру твердого розчину, евтектики або хімічної сполуки.

Як правило, міцність паяних з'єднань нижча від міцності основного металу.

Класифікація методів паяння. Паяння класифікують з урахуванням фізико-хімічних процесів, що протікають при формуванні швів (методи паяння), і технологічних особливостей процесу (способи паяння).

Способи паяння:

- **капілярне**, при якому припій заповнює зазор між деталями, що з'єднуються, і утримується в ньому за рахунок капілярних сил;

- **дифузійне**, при якому за рахунок взаємної дифузії компонентів припою і металів, що паяються, утворюється структура твердого розчину або хімічної сполуки;

- **контактно-реактивне**, при якому між металами, що з'єднуються, і припоєм протікають активні реакції з утворенням легкоплавкого сплаву;

- **реактивно-флюсове**, при якому припій утворюється в результаті реакції між основним металом і флюсом;

- **паяння-зварювання**, при якому паяне з'єднання утворюється способами, характерними для зварювання плавленням, але з домішками припою.

Припої виготовляють у вигляді прутків, дротів, листів, смуг, спіралей і т.д., що укладаються в місці з'єднання.

Усі припої діляться на дві групи:

1) **м'які припої** з низькою температурою плавлення (до 40 °С), що забезпечують лише герметичність спаю, мають, як правило, низькі механічні властивості ($\sigma_b = 50-70$ МПа), тому спаяну деталь не слід піддавати значним механічним навантаженням;

2) **тверді припої** мають високу температуру плавлення (500-1500 °С); паяння цими припоями важке, але спай має високі механічні властивості, які мало відрізняються від властивостей металу, що паяється.

Для низькотемпературного паяння сталей, міді, нікелю застосовуються припої системи олово-свинець, що мають достатню міцність і гарні технологічні властивості.

Стандартне позначення сплавів: ПОС-61 (припій олов'яно-свинцевий з вмістом 61 % олова). Припої ПОС-40 і ПОС-30 містять відповідно 40 і 30 % олова, мають більш високу температуру плавлення. Склад і властивості м'яких припоїв наведені в табл. 5.3.

Таблиця 5.3

Склад і властивості м'яких припоїв

Марка припою	Вміст елементів, %		Властивості			
	Sn	Pb	Температурний інтервал затвердіння, °C	Рідкоплинність, см	σ_v металу, МПа	σ_v шва, МПа
ПОС-90	89-90	<0,15	185-220	135	40	—
ПОС-61	56-61	<0,8	183-185	135	50	40-80
ПОС-50	49-50	<0,8	183-210	115	40	50-90
ПОС-40	39-40	1,5-2,0	183-235	91	40	4-110
ПОС-30	29-30	1,5-2,0	183-256	63	30	30-90
ПОС-18	17-18	2,0-2,5	183-277	60	30	40-80

Для м'яких припоїв у деяких випадках використовують технічно чисте олово з невеликою кількістю домішок (табл. 5.4).

Міцність олова при кімнатній температурі становить близько 25 МПа, а міцність паяного шва через утворення твердого розчину з основним металом досягає 40-90 МПа і більше.

Для поліпшення властивостей у м'які олов'яно-свинцеві припої додають срібло. Наприклад, ПСр-2 є по суті припоєм ПОС-30, легованим сріблом і кадмієм.

Таблиця 5.4

Хімічний склад технічно чистого олова

Марка олова	Олово (не менш), %	Сума домішок (не більше), %	Примітка
01	99,90	0,10	Лудіння консервної жерсті
02	99,56	0,44	Лудіння кухонного начиння
03	98,35	1,65	Для виготовлення бабітів і припоїв
04	96,25	3,75	

Для паяння алюмінієвих сплавів олов'яно-свинцеві припої не застосовуються, тому що вони знижують корозійну стійкість сплавів.

Срібно-свинцеві припої (табл. 5.5) застосовують при паянні міді і її сплавів.

Таблиця 5.5

Хімічний склад срібно-свинцевих припоїв

Марка припою	Вміст елементів, %			Властивості	
	Ag	Sn	Сума домішок (не більше), %	Температурний інтервал затвердіння, °С	σ_v , МПа
ПСр -1,5	1,3-1,7	0,75-1,25	0,5	309-309	—
ПСр-2,5	2,3-2,7	—	0,5	304-304	33
ПСр -3,0	2,7-3,3	—	0,5	300-305	31

Примітка. Основа зазначених припоїв — свинець.

Крім олов'яно-свинцевих припоїв, застосовують і олов'яно-цинкові, які мають 90, 70, 60 і 40 % олова, інше – цинк.

Олов'яно-цинкові припої порівняно з олов'яно-свинцевими мають більш високу міцність, але меншу пластичність.

Тугоплавкі (тверді) припої використовуються при паянні міді, сталей і нікелевих сплавів. Як тверді широко застосовуються срібні припої, склад і властивості яких наведені в табл. 5.6.

Для паяння титанових сплавів застосовують чисте срібло, для паяння алюмінієвих сплавів – припої на основі алюмінію, цинку, олова. Припої на основі алюмінію мають високу температуру плавлення, але забезпечують високу корозійну стійкість і міцність з'єднання.

Для паяння міді і мідно-нікелевих сплавів використовують латуні Л62 і Л68.

Для паяння жароміцних сталей і сплавів застосовують припої на основі нікель-хром-марганцю і нікель-хром-кремнію. Хром додають для збільшення його жароміцності й жаростійкості.

Марганець знижує температуру плавлення, титан підвищує жароміцність, бор поліпшує змочувальні властивості припою. Припій може витримувати робочі температури до 900 °С. Міцність паяних з'єднань при температурі 900 °С становить 150 МПа. При паянні нержавіючих сталей, що працюють при температурах до 660 °С, широко застосовується припій системи нікель-мідь марки ВПр-1.

Таблиця 5.6

Хімічний, склад і властивості срібних припоїв

Марка припою	Вміст елементів, %			Властивості	
	Cu	Zn	Сума домішок (не більше), %	Температурний інтервал затвердіння, °С	Електроопір, Ом·мм ² /м
ПСр-72	27,3-28,5	-	0,25	779-779	0,022
ПСр-50	49,3-50,5	-	0,25	779-850	0,025
ПСр-45	29,5-30,5	24-26,5	0,50	660-725	0,097
ПСр-25	39-41	33,5-37	0,50	745-775	0,069
ПСр-10	52-54	35,5-39	0,50	815-850	0,065

Примітка. Основа зазначених припоїв – срібло, його середній вміст указують марочні позначення.

Розробляється паяння керамічних матеріалів, стекол, вуглеграфітових матеріалів, алмазів та інших неметалевих матеріалів. Процес паяння здійснюють у вакуумі при температурі 900-1100 °С.

Способи видалення оксидної плівки. Процес взаємодії твердого металу, що паяється, з розплавленим припоєм може протікати тільки після видалення з поверхні рідкої плівки, яка перешкоджає утворенню між ними металевого зв'язку. Для видалення оксидної плівки, а також захисту від подальшого окиснювання киснем застосовуються флюси, газові середовища (водень, окис вуглецю, вакуум), механічні способи (ультразвук, механічне видалення), самофлюсуючі припої (з бором, фосфором, літієм).

Флюси повинні слабо взаємодіяти з припоєм і металом, що паяється, мати більш низьку температуру плавлення в порівнянні з припоєм, малу щільність і добре змочувати припій і основний метал. Флюси випускають у вигляді порошків, паст і рідин.

5.4. Інші матеріали

Картон прокладний служить для виготовлення ущільнювальних прокладок у фланцевих та інших з'єднаннях. Пресшпан являє собою сильно ущільнений лощений картон. Він застосовується для виготовлення прокладок підвищеної щільності (порівняно з картонними прокладками).

Пароніт являє собою листовий матеріал прокладки, виготовлений з азбесту, каучуку та наповнювачів. Його застосовують у вигляді прокладок для ущільнення місць з'єднань металевих поверхонь, що зазнають впливу води, насиченої перегрітої пари, повітря, інертних газів, бензину, гасу і масла.

Азбест застосовують для виготовлення гальмівних стрічок, фрикційних кілець, фільтрів, як термоізоляційний матеріал, а також для прокладок, ущільнення сальників і т. п. Кільця фрикційні азбестові являють собою просочену і прогартовану багатошарову тканину, виготовлену з азбестової нитки з включенням латунного або червоного дроту (діаметром не менше 0,16 мм); кільця застосовують як накладки гальмівних механізмів.

Повсть технічну тонкошерстну (фетр), напівгрубошерстну і грубошерстну застосовують для сальників, прокладок і фільтрів.

Питання для самоперевірки

1. Які основні властивості гуми?
2. Що є основою гумових матеріалів?
3. Які компоненти використовують як домішки до каучуку для отримання гуми?
4. Які типи вулканізації використовуються?
5. Яка функція наповнювачів у гумі?
6. Методи формування гумовотехнічних виробів.

7. Засоби визначення механічних властивостей гуми.
8. Головне призначення пластифікаторів.
9. Який відсоток вмісту пластифікаторів у каучуку?
10. Який максимальний вміст наповнювачів у гумі?

Різновиди наповнювачів.

11. Основні недоліки клейових з'єднань у порівнянні із зварюванням.
12. Від чого залежить міцне склеювання?
13. Яка оптимальна товщина клеєної плівки?
14. Які матеріали входять до складу клеїв?
15. Які типи розчинників використовують у клеях?
16. Які матеріали використовують як пластифікатори в клеях?
17. Які бувають клеї в залежності від універсальності використання?
18. Які смоли використовують при виготовленні клеїв?
19. Основні властивості клеїв.
20. Клеї для з'єднання металів із неметалами.
21. У чому особливість епоксидних клеїв?
22. Якими клеями з'єднують вироби з пластмаси?
23. Що таке припої?
24. Основні відмінності процесу паяння від зварювання.
25. Класифікація методів паяння?
26. Основні способи паяння?
27. Основні вимоги до припоїв.
28. Наведіть приклади маркування припоїв.
29. Які припої використовуються при паянні міді, сталей та нікелевих сплавів?

6 КОРОЗІЯ ТА МЕТОДИ ЗАХИСТУ МАШИНОБУДІВНИХ СПЛАВІВ

Корозією називається руйнування металів і сплавів внаслідок їх хімічної або електрохімічної взаємодії із зовнішнім середовищем.

Корозія завдає величезної шкоди народному господарству, приводячи в непридатність велику кількість добутого та переробленого металу. Так, за деякими оцінками приблизно 10 % від загальної кількості виплавленої сталі щорічно безповоротно втрачається в результаті корозії конструкцій і споруджень.

Корозійне руйнування металевих деталей завжди починається з їхньої поверхні і поступово поширюється вглиб, але характер ураження може бути різним. Розрізняють три основних типи корозії – рівномірну, місцеву і міжкристалітну (рис. 6.1).

Рівномірна корозія – це поступове руйнування металевої деталі по всій поверхні і приблизно на однакову глибину.

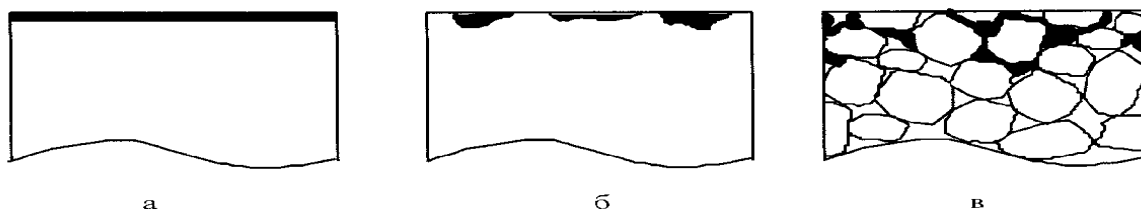


Рис. 6.1. Основні типи корозійного руйнування:

а — рівномірна корозія; б — місцева корозія; в — міжкристалітна корозія

У випадку *місцевої*, або *плямистої* корозії створюються окремі корозійні вогнища, якщо останні невеликі за розмірами, то корозію називають *точковою*.

Найнебезпечнішою є *міжкристалітна корозія*, при якій руйнування відбувається по межах зерен і швидко поширюється вглиб.

У машинобудуванні корозія становить більшу небезпеку, тому що в конструкціях машини і двигуна широко використовуються тонкі листові матеріали, а умови роботи деталей сприятливі для розвитку корозії. Розвиток корозії в машинобудівних конструкціях сприяє застосуванню металів і сплавів, різнорідних за складом.

За характером впливу середовища, деталі можуть зазнавати атмосферної, рідинної або газової корозії.

Прикладом *атмосферної* корозії може служити руйнування зовнішніх деталей машин під впливом вологого повітря, дощу, роси та інших атмосферних реагентів.

Рідинна корозія типова для деталей, що постійно стикаються в експлуатації з рідинами, наприклад, у гідравлічній, охолоджувальній та інших системах.

Газова корозія відбувається в результаті впливу гарячих газів, наприклад, на деталі реактивного двигуна при його роботі.

Оцінку корозійної стійкості сплавів роблять у результаті корозійних випробувань. Ці методи ґрунтуються на визначенні ваги зразків, вимірі об'ємів газів, що виділяються при корозії, установленні глибини ділянок корозійного ураження та ін.

Для запобігання швидкому погіршенню експлуатаційних властивостей і виходу з ладу машинобудівної техніки конструкції захищають від корозії.

Основними методами захисту є:

- легування металу;
- металеві протикорозійні покриття;
- захист протекторами;
- створення на деталях окисних і солетвірних плівок;
- нанесення лакофарбових покриттів;

- застосування інгібіторів для обробки зовнішнього середовища;
- захист деталей антикорозійними мастилами.

Вибір методу захисту визначається складом сплаву, а також призначенням і умовами роботи деталі.

6.1. Захисні лакофарбові покриття, антикорозійні мастила та інгібітори

Значне поширення лакофарбових захисних покриттів пояснюється високими захисними властивостями, а також простотою нанесення і порівняно низькою вартістю.

Лакофарбові покриття стійкі до дії води і повітря, вони утворюють на деталях щільну, еластичну плівку, що надійно захищає їх від дії газів і електролітів. Їх можна легко відновити при експлуатації та ремонті і для цього не потрібне складне устаткування.

У машинобудуванні застосовуються олійні лакофарбові матеріали, леткі лакофарбові матеріали на основі нітроцелюлози і леткі лакофарбові матеріали на основі хлорвінілової смоли, які досить повно задовольняють зазначені вимоги.

Лакофарбовими матеріалами називаються склади, які в рідкому стані наносяться тонким шаром на поверхню конструкції. Ці шари через якийсь час тверднуть, утворюючи міцні плівки, що зчіпляються і покриваються на поверхні. Лакофарбові покриття звичайно наносяться в кілька шарів. Структура покриття у вигляді схеми подана на рис. 6.2.

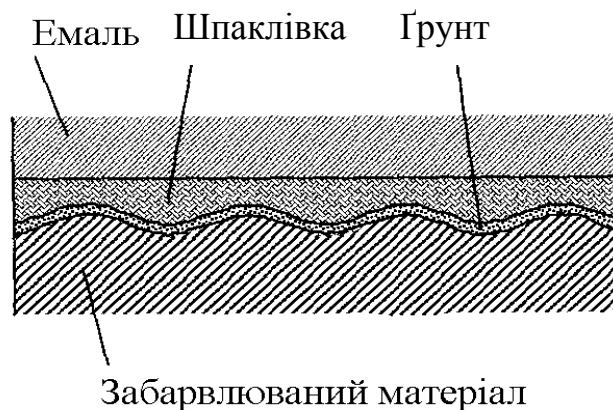


Рис. 6.2. Схема складного лакофарбового покриття

Перший шар – грунт, наноситься безпосередньо на поверхню, що фарбується, у вигляді тонкого шару і служить для здійснення міцного зв'язку між лакофарбовим покриттям і матеріалом виробу.

Другий шар – шпаклівка, наноситься на грунт та на окремі ділянки фарбованої поверхні, якщо необхідно їх вирівняти.

Третій шар – емаль, створює основний захисний шар потрібного кольору. Іноді поверх емалі наноситься шар оздоблювального лаку для надання гладкості і забезпечення кращого обтікання.

Головною складовою частиною будь-якого лакофарбового матеріалу є плівкоутворювач, тобто речовина, за рахунок якої виходить захисна плівка.

Залежно від використаного плівкоутворювача лакофарбові матеріали, застосовувані в техніці, можна розділити на три групи:

- олійні лакофарбові матеріали, у яких плівкоутворювачами є олії, що висихають;
- хлорвінілові і перхлорвінілові лакофарбові матеріали, у яких плівкоутворювачем є штучна хлорвінілова або перхлорвінілова смола;
- нітроцелюлозні лакофарбові матеріали, у яких плівкоутворювачем є штучна смола – нітроцелюлоза.

В умовах зберігання та експлуатації металевих деталей для їх захисту від корозії застосовують також різні захисні мастила та

інгібітори. Останні повинні захищати деталі від шкідливого впливу навколишнього середовища. Маючи високу стійкість, вони легко наносяться або видаляються з поверхні, якщо деталь необхідно розконсервувати.

6.2. Масляні лакофарбові матеріали

До складу олійних лакофарбових матеріалів (лаків, емалей, ґрунтів і шпаклівок) входять олії, смоли, сикативи, пігменти, розчинники і розріджувачі.

Олії. Спеціально оброблені олії є головною складовою частиною олійних лакофарбових матеріалів. Найбільше застосування одержали лляна, конопляну і тунгова олії.

Лляну олію одержують з насіння льону, конопляну – з насіння конопель і тунгову – з плодів тунгового дерева.

Сирі олії сохнуть дуже повільно (п'ять-сім діб). Для прискорення висихання їх піддають спеціальній обробці: шляхом тривалого кип'ятіння з олії видаляється вода і ряд інших речовин, що сповільнюють процес висихання, крім того, у процесі варіння до олії додаються сикативи. У результаті виходить оліфа, що висихає в кілька разів швидше, ніж сира олія.

Сикативи (сушильники) вводяться для прискорення висихання олій. Вони є каталізаторами, що прискорюють процес окиснювання олії і перетворення її в плівку. Як сикативи застосовують окисли і розчинні в оліях солі свинцю, марганцю і кобальту.

Смоли вводяться для підвищення міцності, твердості, хімічної стійкості плівки і для надання блиску. Смоли бувають природні (каніфоль і асфальт) і штучні (гліфталева смола).

Каніфоль, або гарпіус, добувається із соку хвойних дерев. Це крихка, легкоплавка смола від жовтого до червоно-коричневого кольору. У лакофарбовому виробництві застосовується у вигляді сплаву із гліцерином за назвою ефір-гарпіус і служить для виготовлення світлих лаків і емалей.

Асфальт – чорна тверда смола, є продуктом нафтового походження і застосовується для виробництва чорних лаків.

Гліфталева смола – одна з найпоширеніших штучних смол, виходить при взаємодії гліцерину і фталевої кислоти.

Пігменти, або барвники, надають покриттю потрібного кольору і підвищують захисні властивості плівки. Основне застосування мають пігменти мінерального походження. Розрізняють пігменти сухі і терті. Сухий пігмент – це тонкорозмелений порошок. Тертий пігмент – той же порошок, але змішаний з оліфою.

Крім мінеральних пігментів, у лакофарбовій промисловості застосовуються органічні барвники, але вони менш стійкі до дії температури, сонячного світла й атмосфери.

Розчинники – це рідкі леткі органічні речовини, що служать для розчинення складових частин лаків і емалей. При виготовленні олійних лаків як розчинники застосовують скипидар, лаковий бензин (уайт-спірит) і сольвент-нафту. Скипидар отримують шляхом перегонки соку хвойних дерев, є відмінним розчинником для лакових смол, асфальту, каніфолі.

Лаковий бензин (уайт-спірит) – продукт перегонки нафти, застосовується в суміші зі скипидаром. Сольвент-нафта – продукт переробки кам'яновугільної смоли, використовується у виробництві олійних асфальтових і гліфталевих лаків.

Розріджувачі призначені для розрідження лакофарбових матеріалів до потрібної в'язкості залежно від способу їх нанесення (щіткою, пульверизатором, зануренням).

Як розріджувачі застосовують леткі органічні рідини: скипидар, лаковий гас, бензол, толуол, ксилол та ін.

Олійні лаки. До складу олійного лаку входять: оліфа, смола, сикатив і розчинник.

Олійні емалі дають покриття, стійке до дії води й атмосфери, що має гарне зчеплення з металом, але недостатньо стійке до дії високих температур, бензину, гасу, олії, до недоліків варто також віднести тривалість висихання і велику вагу покриття.

Останнім часом замість олійних емалей для фарбування зовнішніх поверхонь застосовують перхлорвінілові емалі і інші емалі на основі штучних смол.

6.3. Поліхлорвінілові та перхлорвінілові лакофарбові матеріали

Відмінною рисою цієї групи лакофарбових матеріалів у порівнянні з олійними є відсутність у їхньому складі олій і сикативів.

До складу поліхлорвінілових лаків входять лише смола і розчинник. В емалі, крім того, входить барвник. Для надання плівці висохлого лаку або емалі потрібної еластичності до складу вводиться пластифікатор.

Таким чином, складовими частинами поліхлорвінілових і перхлорвінілових лакофарбових матеріалів є:

- смола (плівкоутворююча речовина);
- розчинник;
- пластифікатор;
- барвник.

Процес висихання поліхлорвінілових і перхлорвінілових покриттів принципово відрізняється від процесу висихання олійних лакофарбових матеріалів. У цьому випадку процес висихання є фізичний процес випару леткого розчинника, у результаті якого утворюється плівка за рахунок нелеткої частини лаку або емалі: смоли і пластифікатора. Процес утворення плівки протікає швидко, час сушіння коливається від 30 хв до 12 год.

Лаки й емалі на основі поліхлорвінілових смол утворюють незаймисту щільну плівку, стійку до дії атмосфери, вологи, бензину, гасу й олій, а також до кислот і лугів. Вони нешкідливі для людського організму, прості і дешеві у виробництві. Основний недолік – слабе зчеплення з поверхнею, що фарбується.

Якщо поліхлорвініл додатково наситити хлором, то вийде перхлорвінілова смола. Лакофарбові матеріали, приготовлені на основі перхлорвінілової смоли, мають більш високу міцність, краще зчеплення з металом, більш високу стійкість до дії зовнішнього середовища (вода, повітря, кислоти, луги) і розчинників, ніж лакофарбові матеріали на основі поліхлорвінілової смоли. Крім того, вони мають і більш високу вогнестійкість.

Лаки, ґрунти, емалі і шпаклівки на основі перхлорвінілової смоли широко застосовуються в техніці.

6.4. Нітроцелюлозні лакофарбові матеріали

Основу нітроцелюлозних лакофарбових матеріалів становить штучна смола нітроцелюлоза – продукт взаємодії целюлози (клітковини) з азотною кислотою.

Шляхом розчинення нітроцелюлози в суміші летких розчинників одержують безбарвний нітроцелюлозний лак – нітролак, або аеролак. Додаючи до лаку пігмент, одержують нітроемалі потрібних кольорів.

У процесі висихання нітролаку або нітроемалі леткий розчинник випаровується й утворюється плівка за рахунок нітроцелюлози, смоли і наповнювача. Отримана плівка має високу міцність, щільність і водотривкість, але горюча, погано зчіплюється з металевою поверхнею і руйнується під дією сонячних променів. Плівка нітроцелюлози широко відома як матеріал для виготовлення фото- і кіноплівки.

Нітролаки і нітроемалі застосовуються для нанесення на дерев'яні деталі і тканеві обтягування для захисту їх від намокання, загнивання та сонячних променів.

Крім нітролаків і нітроемалей, застосовують нітроґрунти, нітрошпаклівки і нітроклеї. Призначення нітроґрунтів і нітрошпаклівок аналогічне призначенню олійних ґрунтів і шпаклівок, а нітроклеї АК-20 застосовується для приклеювання тканин до дерев'яних деталей.

Нітрошпаклівки застосовуються головним чином при обробці деревини. Найбільш поширена шпаклівка – нітроцелюлозна жовта АШ-32.

6.5. Антикорозійні мастила та інгібітори

Розрізняють пасивні й активні захисні мастила.

Пасивні мастила створюють лише механічний вологонепроникний бар'єр між деталлю і зовнішнім

середовищем. До них належать технічний вазелін і загущені авіаційні масла, як загущувачі застосовують парафін або церезин. Іноді для збільшення липкості в них уводять також спеціальні масла, наприклад теарат алюмінію.

До числа пасивних відносять також гарматне мастило, хоча воно крім мінеральних масел, церезину і парафіну, містить 0,02 % їдкого натру, що додається для нейтралізації кислот, що містяться у вихідних продуктах; внаслідок лужного характеру гарматне мастило не може застосовуватися для захисту кадмійованих і оцинкованих деталей.

Усі пасивні мастила складаються з речовин, що мають неполярну будову молекул і тому є гідрофобними, тобто вони не змочуються водою, звідси їхня головна властивість – водонепроникність. Однак вони не здатні усувати дію агентів корозії.

Активні мастила містять речовини, здатні зменшувати шкідливий вплив корозійного середовища. До таких речовин належать емульгатори, що оточують тонким шаром крапельки вологи, і нейтралізатори, що усувають шкідливу дію кислот і продуктів згоряння палива. До числа активних належить мастило СП-1 (58М), призначене для тривалого зберігання деталей.

В окремих випадках застосовують обробку інгібіторами. Ефективним інгібітором служить 5-10%-й розчин нітрату натрію (NaO_2), яким обробляють сталеві деталі для їх зберігання або консервації. Останнім часом застосовуються також леткі інгібітори.

Леткі інгібітори застосовуються звичайно для просочення паперу, у який упаковують деталі, що підлягають зберіганню або транспортуванню. Випаровуючись, ці інгібітори насичують собою простір, що оточує деталі, і в такий спосіб створюють захисне газове середовище.

До числа летких інгібіторів належать: етаноламінкарбонат, суміші нітрату натрію з уротропіном, бензонатом амонію та ін. Леткі інгібітори визначаються високою ефективністю захисту. Так, сталеві деталі, упаковані в папір, оброблений NaO_2 , в умовах відносної вологості, рівної 85 %, не іржавіють протягом 5 років.

Основні переваги летких інгібіторів такі: відсутність необхідності застосування захисних покриттів, легкість

розконсервації (необхідно тільки звільнити від упакування) і можливість застосування деталей без додаткової обробки.

Однак леткі інгібітори не можна застосовувати для захисту кольорових сплавів, тому що вони спричиняють їх руйнування.

Питання для самоперевірки

1. Що називається корозією?
2. Назвіть основні типи корозії.
3. Яка з видів корозії є найнебезпечнішою?
4. Назвіть основні методи захисту від корозії.
5. Основні властивості лакофарбових покриттів.
6. Що називається лакофарбовими матеріалами?
7. З яких шарів складаються лакофарбові покриття?
8. Види лакофарбових покриттів.
9. Які компоненти входять до складу лакофарбових покриттів?
10. Наведіть основні характеристики компонентів, з яких складаються лакофарбові матеріали.
11. З яких компонентів складається лак 17А?
12. Для чого застосовується кристал-лак 331?
13. Дайте характеристику поліхлорвініловим та перхлорвініловим лакофарбовим матеріалам.
14. Антикорозійні мастила та інгібітори. Їх характеристика та застосування.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение. – М.: Машиностроение, 1980. – 493 с.
2. Материаловедение / Б.Н. Арзамасов, И.И. Сидорин, Г.Ф. Косолапов и др. – М.: Машиностроение, 1986. – 383 с.
3. Гуляев А.П. Металловедение: Учеб. для вузов. – М.: Металлургия, 1986. – 542 с.
4. Материаловедение: Учеб. для вузов / Под. общ. ред. Б.Н. Арзамасова. – М.: Машиностроение, 1986. – 384 с.

5. Геллер Ю.А., Рахштадт А.Г. Материаловедение: Учеб. пособие для вузов / Под ред. А.Г. Рахштадта. – М.: Металлургия, 1989. – 454 с.
6. Богодухов С.И., Гребенюк В.Ф., Синюхин А.В. Курс материаловедения в вопросах и ответах: Учеб. пособие. – М.: Машиностроение, 2003. – 256 с.
7. Костяев П.С., Захаров Б.В. Промышленные материалы и топливо на железнодорожном транспорте: Учеб. для техникумов ж.-д. трансп. – М.: Транспорт, 1986. – 239 с.
8. Дяченко С.С. Фізичні основи міцності та пластичності металів: Навч. посібник. – Харків: Видавництво ХНАДУ, 2003. – 226 с.
9. Геллер Ю.А. Инструментальные стали. – М.: Металлургия, 1975. – 584 с.
10. Золоторевский В.С. Механические свойства металлов: Учеб. для вузов. – М.: Металлургия, 1983. – 350 с.
11. Марочник сталей и сплавов / В.Г. Сорокин, А.В. Волосникова, С.А. Вяткин и др.; Под ред. В.Г. Сорокина. – М.: Машиностроение, 1989. – 640 с.
12. Журавлев В.Н., Николаев В.И. Машиностроительные стали: Справочник. – М.: Машиностроение, 1992. – 480 с.
13. Лахтин Ю.М., Арзамасов Б.Н. Химико-термическая обработка металлов. – М.: Металлургия, 1985. – 252 с.
14. Технология конструкционных материалов / Под ред. А.М. Дальского. – М.: Машиностроение, 1977. – 664 с.
15. Курдюмов Г.В. Явления закалки и отпуска стали. – М.: Металлургия, 1960. – 64 с.
16. Масленков С.Б., Масленкова Е.А. Стали и сплавы для высоких температур: Справ очник: В 2 кн. – М.: Металлургия, 1991. – Кн. 1. – 381 с.; Кн. 2. – 832 с.
17. Конструкционные материалы: Справочник / Под общ. ред. Б.Н. Арзамасова. – М.: Машиностроение, 1990. – 688 с.
18. Материалы в приборостроении и автоматике: Справочник / Под ред. Ю.М. Пятина. – М.: Машиностроение, 1982. – 528 с.
19. Новиков И.И. Дефекты кристаллического строения металлов. – М.: Металлургия, 1983. – 232 с.

20. Новиков И.И. Теория термической обработки металлов. – М.: Металлургия, 1978. – 391 с.
21. Бондаренко В.А., Богодухов С.И. Обеспечение качества и улучшение характеристик режущих инструментов. – М.: Машиностроение, 2000. – 144 с.
22. Мотовилин Г.В., Суворов О.М. Автомобильные материалы: Справочник. – М.: Транспорт, 1989. – 464 с.
23. Промышленные алюминиевые сплавы: Справочник / Под ред. Ф.И. Квасова и И.Н. Фридляндера. – М.: Металлургия, 1984. – 527 с.
24. Смирягин А.П., Смирягина Н.А., Белова А.В. Промышленные цветные металлы и сплавы: Справочник. – М.: Металлургия, 1974. – 488 с.
25. Кацнельсон М.Ю., Балаев Г.А. Полимерные материалы: Справочник. – Л.: Химия, 1982. – 317 с.
26. Назаров Г.И., Сушкин В.В., Дмитриевская Л.В. Конструкционные пластмассы: Справочник. – М.: Машиностроение, 1973. – 192 с.
27. Мирзоев Р.Г. Пластмассовые детали машин и приборов. Л.: Машиностроение, 1971. – 368 с.
28. Лакокрасочные покрытия в машиностроении: Справочник / Под. ред. М.М. Гольберга. – М.: Машиностроение, 1974. – 575 с.
29. Порошковая металлургия сталей. Спеченные и композиционные материалы / Пер. с нем. – М.: Металлургия, 1983. – 519 с.
30. Словарь-справочник по трению, износу и смазке деталей машин / В.Д. Зозуля, Е.Л. Шведков, Д.Я. Ровинский, Э.Д. Браун. – К.: Наук. думка, 1990. – 264 с. – ISBN 5-12-001395-3.
31. Мышкин Н.К., Петроковец М.И. Трение, смазка, износ. Физические основы и технические приложения трибологии. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 368 с. – ISBN 978-5-9221-0824-9.
32. Борисов Ю.С., Кулик А.Я., Мнухин А.С. Газотермическое напыление композиционных порошков. – Л.: Машиностроение, 1985. – 197 с.
33. Кіндрачук М.В., Лабунець В.Ф., Пашечко М.І., Корбут Є.В. Трибологія: Підручник / МОН. – К.: НАУ-друк, 2009. – 392 с. – ISBN 978-966-598-609-6.

34. Казаков В.Г. Тонкие магнитные пленки // Соросовский образовательный журнал. – 1997. – № 1. – С. 107-114.

35. Симс Ч., Хагель В. Жаропрочные сплавы / Пер. с англ. – М.: Металлургия, 1976. – 567 с.

36. Ульянин Е.А., Свистунова Т.В., Левин Ф.Л. Коррозионностойкие сплавы на основе железа и никеля. – М.: Металлургия, 1986. – 262 с.

37. Глазунов С.Г., Моисеев В.Н. Конструкционные титановые сплавы. – М.: Металлургия, 1974. – 367 с.

ДОДАТОК

Перелік чинних міждержавних стандартів (ГОСТ) з порошкової металургії та твердих сплавів (станом на 1 січня 2011 р.)

№ п/п	Позначення стандарту, ГОСТ	Назва стандарту
1	3.1412–87	ЕСТД. Требования к оформлению документов на технологические процессы изготовления изделий методом порошковой металлургии
2	880–75	Изделия твердосплавные для горных инструментов. Формы и размеры
3	2209–90	Пластины твердосплавные напаиваемые для режущего инструмента. Технические условия
4	2330–76	Волоки–заготовки из твердых спеченных сплавов для волочения труб круглого сечения. Формы и размеры. Технические условия
5	3882–74 (ИСО 513–75)	Сплавы твердые спеченные. Марки
6	4872–75	Изделия для режущего инструмента из твердых спеченных сплавов. Технические условия
7	4960–75	Порошок медный электролитический. Технические условия
8	4960–2009	Порошок медный электролитический. Технические условия
9	5426–76	Волоки–заготовки из твердых спеченных сплавов для волочения шестигранных прутков. Формы и размеры
10	5494–95	Пудра алюминиевая. Технические условия
11	9391–80	Сплавы твердые спеченные. Методы определения пористости и микроструктуры
12	9453–75	Волоки–заготовки из твердых спеченных сплавов для волочения проволоки и прутков круглого сечения
13	9721–79	Порошок кобальтовый. Технические условия
14	9722–97	Порошок никелевый. Технические условия
15	9849–86	Порошок железный. Технические условия
16	10096–76	Пудра алюминиевая комкованная. Технические условия
17	10284–84	Вставки–заготовки из спеченных твердых сплавов для высадочного инструмента. Формы и размеры
18	10285–81	Вставки–заготовки для высадочного инструмента и пластины–заготовки для отрезных ножей из твердых спеченных сплавов. Технические условия
19	11378–75	Пластины–заготовки из твердых спеченных сплавов для отрезных ножей. Типы и размеры
20	12339–79	Осмий в порошке. Технические условия
21	12343–79	Рутений в порошке. Технические условия
22	13084–88	Порошки высоколегированных сталей и сплавов. Технические условия
23	13833–77	Пластины твердосплавные для дисковых дереворежущих пил. Конструкция и размеры
24	13834–77	Пластины твердосплавные для дереворежущих фрез и сверл. Конструкция и размеры
25	14086–68	Порошки распыленные из нержавеющей хромоникелевых сталей и никеля
26	16412.2–91	Порошок железный. Методы определения фосфора

№ п/п	Позначения стандарту, ГОСТ	Назва стандарту
27	16412.3–91	Порошок железный. Методы определения кремния
28	16412.4–91	Порошок железный. Методы определения марганца
29	16412.5–91	Порошок железный. Методы определения серы
30	16412.7–91	Порошок железный. Методы определения углерода
31	16412.9–91	Порошок железный. Метод фотоэлектрического спектрального анализа кремния, марганца и фосфора
32	17163–90	Пластины твердосплавные напаиваемые типа 13. Конструкция и размеры
33	17359–82	Порошковая металлургия. Термины и определения
34	17431–72	Материалы порошковые. Листы из сплава марки М–МП. Технические условия
35	17432–72	Материалы порошковые. Прутки и поковки из сплава марки М–МП. Технические условия
36	18227–98 (ИСО 2740–86)	Материалы металлические спеченные, исключая твердые сплавы. Образцы для испытания на растяжение
37	18228–94 (ИСО 3325–75)	Материалы металлические спеченные, кроме твердых сплавов. Определение предела прочности при поперечном изгибе
38	18317–94	Порошки металлические. Методы определения воды
39	18318–94	Порошки металлические. Определение размера частиц сухим просеиванием
40	18897–98 (ИСО 4491–2–97)	Порошки металлические. Определение содержания кислорода методами восстановления. Потери массы при восстановлении водородом (водородные потери)
41	18898–89 (ИСО 2738–87)	Изделия порошковые. Методы определения плотности, содержания масла и пористости
42	19042–80 (ИСО 1832–85)	Пластины сменные многогранные. Классификация. Система обозначений. Формы
43	19043–80	Пластины режущие сменные многогранные твердосплавные трехгранной формы. Конструкция и размеры
44	19044–80	Пластины режущие сменные многогранные твердосплавные трехгранной формы с отверстием. Конструкция и размеры
45	19045–80	Пластины режущие сменные многогранные твердосплавные трехгранной формы с задним углом 11°. Конструкция и размеры
46	19046–80	Пластины режущие сменные многогранные твердосплавные трехгранной формы с отверстием и стружколомающими канавками на одной стороне. Конструкция и размеры
47	19047–80	Пластины режущие сменные многогранные твердосплавные шестигранной формы с углом 80° и отверстием. Конструкция и размеры
48	19048–80	Пластины режущие сменные многогранные твердосплавные шестигранной формы с углом 80° с отверстием и стружколомающими канавками. Конструкция и размеры
49	19049–80	Пластины режущие сменные многогранные твердосплавные квадратной формы. Конструкция и размеры
50	19050–80	Пластины режущие сменные многогранные твердосплавные квадратной формы с задним углом 11°. Конструкция и размеры
51	19051–80	Пластины режущие сменные многогранные твердосплавные квадратной формы с отверстием. Конструкция и размеры

№ п/п	Позначения стандарту, ГОСТ	Назва стандарту
52	19052–80	Пластины режущие сменные многогранные твердосплавные квадратной формы с отверстием и стружколомающими канавками на одной стороне. Конструкция и размеры
53	19053–80	Пластины режущие сменные многогранные твердосплавные квадратной формы с отверстием и фасками при вершине. Конструкция и размеры
54	19056–80	Пластины режущие сменные многогранные твердосплавные ромбической формы с углом 80°. Конструкция и размеры
55	19057–80	Пластины режущие сменные многогранные твердосплавные ромбической формы с углом 80° и отверстием. Конструкция и размеры
56	19059–80	Пластины режущие сменные многогранные твердосплавные ромбической формы с углом 80° с отверстием и стружколомающими канавками на одной стороне. Конструкция и размеры
57	19061–80	Пластины режущие сменные многогранные твердосплавные параллелограммной формы с углом 84° и фасками на режущих кромках. Конструкция и размеры
58	19062–80	Пластины режущие сменные многогранные твердосплавные параллелограммной формы с углом 55° и стружколомающими канавками на одной стороне. Конструкция и размеры
59	19063–80	Пластины режущие сменные многогранные твердосплавные пятигранной формы. Конструкция и размеры
60	19064–80	Пластины режущие сменные многогранные твердосплавные пятигранной формы с отверстием. Конструкция и размеры
61	19065–80	Пластины режущие сменные многогранные твердосплавные пятигранной формы с отверстием и стружколомающими канавками на одной стороне. Конструкция и размеры
62	19067–80	Пластины режущие сменные многогранные твердосплавные шестигранной формы с отверстием. Конструкция и размеры
63	19068–80	Пластины режущие сменные многогранные твердосплавные шестигранной формы с отверстием и стружколомающими канавками на одной стороне. Конструкция и размеры
64	19069–80	Пластины режущие сменные многогранные твердосплавные круглой формы. Конструкция и размеры
65	19070–80	Пластины режущие сменные многогранные твердосплавные круглой формы с отверстием. Конструкция и размеры
66	19071–80	Пластины режущие сменные многогранные твердосплавные круглой формы с отверстием и стружколомающими канавками на одной стороне. Конструкция и размеры
67	19072–80	Пластины режущие сменные многогранные твердосплавные круглой формы с задним углом с отверстием и стружколомающими канавками на одной стороне. Конструкция и размеры
68	19073–80	Пластины опорные сменные многогранные твердосплавные трехгранной формы. Конструкция и размеры
69	19074–80	Пластины опорные сменные многогранные твердосплавные трехгранной формы с задним углом. Конструкция и размеры

№ п/п	Позначения стандарту, ГОСТ	Назва стандарту
70	19075–80	Пластины опорные сменные многогранные твердосплавные шестигранной формы с углом 80°. Конструкция и размеры
71	19075–80	Пластины опорные сменные многогранные твердосплавные квадратной формы. Конструкция и размеры
72	19077–80	Пластины опорные сменные многогранные твердосплавные квадратной формы с задним углом. Конструкция и размеры
73	19078–80	Пластины опорные сменные многогранные твердосплавные ромбической формы с углом 80°. Конструкция и размеры
74	19079–80	Пластины опорные сменные многогранные твердосплавные параллелограммной формы. Конструкция и размеры
75	19080–80	Пластины опорные сменные многогранные твердосплавные пятигранной формы. Конструкция и размеры
76	19081–80	Пластины опорные сменные многогранные твердосплавные шестигранной формы. Конструкция и размеры
77	19083–80	Пластины опорные сменные многогранные твердосплавные круглой формы. Конструкция и размеры
78	19084–80	Стружколомы сменные многогранные твердосплавные трехгранной формы. Конструкция и размеры
79	19085–80	Стружколомы сменные многогранные твердосплавные квадратной формы. Конструкция и размеры
80	19086–80	Пластины сменные многогранные твердосплавные. Технические условия
81	19106–73	Вставки из твердых металлокерамических сплавов для разделительных и гибочных штампов (заготовки)
82	19440–94 (ИСО 3923–1–79, ИСО 3923–2–81)	Порошки металлические. Определение насыпной плотности. Часть 1. Метод с использованием воронки. Часть 2. Метод волюмометра Скотта
83	20017–74 (ИСО 3738–1–82)	Сплавы твердые спеченные. Метод определения твердости по Роквеллу
84	20018–74 (ИСО 3369–75)	Сплавы твердые спеченные. Метод определения плотности
85	20019–74 (ИСО 3327–82)	Сплавы спеченные твердые. Определение предела прочности при поперечном изгибе
86	20312–90	Пластины твердосплавные напаиваемые типа 51. Конструкция и размеры
87	20559–75 (ИСО 4489–78, ИСО 4884–78)	Сплавы твердые, материалы керамические инструментальные. Правила приемки и методы отбора проб
88	20771–82	Коронки твердосплавные напаиваемые типа 35. Конструкция и размеры
89	20899–98 (ИСО 4490–78)	Порошки металлические. Определение текучести с помощью калиброванной воронки (прибора Холла)
90	21125–75	Заготовки из металлокерамических твердых сплавов для гладких калибров. Формы и размеры
91	22025–76	Сплавы кремниевые резистивные. Технические условия
92	22397–77	Порошок цинковый. Метод спектрального анализа
93	22662–77	Порошки металлические. Методы седиментационного анализа

№ п/п	Позначения стандарту, ГОСТ	Назва стандарту
94	23148–98 (ИСО 3954–77)	Порошки, применяемые в порошковой металлургии. Отбор проб
95	23401–90	Порошки металлические. Катализаторы и носители. Определение удельной поверхности
96	23402–78	Порошки металлические. Микроскопический метод определения размеров частиц
97	24247–80	Пластины режущие сменные многогранные твердосплавные трехгранной формы с отверстием и стружколомающими канавками на двух сторонах. Конструкция и размеры
98	24248–80	Пластины режущие сменные многогранные твердосплавные квадратной формы с отверстием и стружколомающими канавками на двух сторонах. Конструкция и размеры
99	24249–80	Пластины режущие сменные многогранные твердосплавные ромбической формы с углом 80° с отверстием и стружколомающими канавками на двух сторонах. Конструкция и размеры
100	24250–80	Пластины режущие сменные многогранные твердосплавные трехгранной формы с задним углом и стружколомающими канавками. Конструкция и размеры
101	24251–80	Пластины режущие сменные многогранные твердосплавные трехгранной формы с задним углом 20°. Конструкция и размеры
102	24252–80	Пластины режущие сменные многогранные твердосплавные квадратной формы с задним углом и стружколомающими канавками. Конструкция и размеры
103	24253–80	Пластины режущие сменные многогранные твердосплавные квадратной формы с задним углом 20°. Конструкция и размеры
104	24255–80	Пластины режущие сменные многогранные твердосплавные ромбической формы с углом 55° и отверстием. Конструкция и размеры
105	24256–80	Пластины режущие сменные многогранные твердосплавные ромбической формы с углом 55° с отверстием и стружколомающими канавками на одной стороне. Конструкция и размеры
106	24257–80	Пластины режущие сменные многогранные твердосплавные ромбической формы с углом 55° с отверстием и стружколомающими канавками на двух сторонах. Конструкция и размеры
107	24903–81	Порошковые изделия. Метод определения масла
108	24916–81	Сплавы твердые спеченные. Метод определения коэрцитивной силы
109	25003–81	Пластины режущие сменные многогранные керамические. Технические условия
110	25095–82 (ИСО 3312–75)	Сплавы твердые спеченные. Метод определения модуля упругости (модуля Юнга)
111	25172–82 (ИСО 3878–83)	Сплавы твердые спеченные. Метод определения твердости по Виккерсу
112	25279–93 (ИСО 3953–85)	Порошки металлические. Определение плотности после утряски

№ п/п	Позначения стандарту, ГОСТ	Назва стандарту
113	25280-90 (ИСО 3987-85)	Порошки металлические. Метод определения уплотняемости
114	25281-82	Металлургия порошковая. Метод определения плотности формовок
115	25282-93 (ИСО 3995-85)	Порошки металлические. Определение прочности прессовок
116	25283-93 (ИСО 4022-87)	Материалы спеченные проницаемые. Определение проницаемости жидкостей
117	25393-90	Пластины твердосплавные напаиваемые для режущего инструмента. Типы
118	25394-90	Пластины твердосплавные напаиваемые типа 50. Конструкция и размеры
119	25395-90	Пластины твердосплавные напаиваемые типов 01, 02, 61, 62. Конструкция и размеры
120	25396-90	Пластины твердосплавные напаиваемые типов 10, 70. Конструкция и размеры
121	25397-90	Пластины твердосплавные напаиваемые типов 06, 66. Конструкция и размеры
122	25398-90	Пластины твердосплавные напаиваемые типа 11. Конструкция и размеры
123	25399-90	Пластины твердосплавные напаиваемые типа 14. Конструкция и размеры
124	25400-90	Пластины твердосплавные напаиваемые типа 21. Конструкция и размеры
125	25401-90	Пластины твердосплавные напаиваемые типа 23. Конструкция и размеры
126	25402-90	Пластины твердосплавные напаиваемые типа 09. Конструкция и размеры
127	25403-82	Пластины режущие сменные многогранные твердосплавные круглой формы с задним углом 6° и вогнутой передней поверхностью. Конструкция и размеры
128	25404-90	Пластины твердосплавные напаиваемые типа 15. Конструкция и размеры
129	25405-90	Пластины твердосплавные напаиваемые типа 16. Конструкция и размеры
130	25406-90	Пластины твердосплавные напаиваемые типа 17. Конструкция и размеры
131	25407-90	Пластины твердосплавные напаиваемые типа 18. Конструкция и размеры
132	25408-90	Пластины твердосплавные напаиваемые типа 20. Конструкция и размеры
133	25409-90	Пластины твердосплавные напаиваемые типа 24. Конструкция и размеры
134	25410-82	Пластины твердосплавные напаиваемые типа 27. Конструкция и размеры
135	25411-90	Пластины твердосплавные напаиваемые типа 31. Конструкция и размеры
136	25412-90	Пластины твердосплавные напаиваемые типа 32. Конструкция и размеры

№ п/п	Позначения стандарту, ГОСТ	Назва стандарту
137	25413–82	Пластины твердосплавные напайваемые типа 34. Конструкция и размеры
138	25414–90	Пластины твердосплавные напайваемые типа 36. Конструкция и размеры
139	25415–90	Пластины твердосплавные напайваемые типа 38. Конструкция и размеры
140	25416–90	Пластины твердосплавные напайваемые типа 39. Конструкция и размеры
141	25417–82	Пластины твердосплавные напайваемые типа 41. Конструкция и размеры
142	25418–82	Стружколомы сменные многогранные твердосплавные круглой формы. Конструкция и размеры
143	25419–90	Пластины твердосплавные напайваемые типа 43. Конструкция и размеры
144	25420–90	Пластины твердосплавные напайваемые типа 44. Конструкция и размеры
145	25421–90	Пластины твердосплавные напайваемые типа 47. Конструкция и размеры
146	25422–90	Пластины твердосплавные напайваемые типа 48. Конструкция и размеры
147	25423–90	Пластины твердосплавные напайваемые типа 49. Конструкция и размеры
148	25424–90	Пластины твердосплавные напайваемые типа 25. Конструкция и размеры
149	25425–90	Пластины твердосплавные напайваемые типа 26. Конструкция и размеры
150	25426–90	Пластины твердосплавные напайваемые типов 07, 67. Конструкция и размеры
151	25599.1–83	Сплавы твердые спеченные. Методы определения общего углерода
152	25599.2–83	Сплавы твердые спеченные. Методы определения свободного углерода
153	25599.3–83	Сплавы твердые спеченные. Методы определения титана
154	25599.4–83	Сплавы твердые спеченные. Метод определения кобальта
155	25698–98 (ИСО 4498–1–90)	Материалы металлические спеченные, исключая твердые сплавы. Определение кажущейся твердости. Материалы в основном с равномерной твердостью по сечению
156	25849–83	Порошки металлические. Метод определения формы частиц
157	25947–83	Сплавы твердые спеченные. Метод определения удельного электрического сопротивления
158	26252–84	Порошок ниобиевый. Технические условия.
159	26528–98 (ИСО 5754–78)	Материалы металлические спеченные, исключая твердые сплавы. Метод испытания на ударный изгиб
160	26529–85	Материалы порошковые. Метод испытания на радиальное сжатие
161	26530–85	Сплавы твердые спеченные безвольфрамовые. Марки
162	26614–85	Материалы антифрикционные порошковые. Метод определения триботехнических свойств

№ п/п	Позначения стандарту, ГОСТ	Назва стандарту
163	26630–85	Материалы керамические инструментальные. Марки
164	26719–85	Материалы антифрикционные порошковые на основе меди. Марки
165	26802–86	Материалы антифрикционные порошковые на основе железа. Марки
166	26849–86 (ИСО 4003–77)	Материалы порошковые. Метод определения величины пор.
167	26876–86	Сплавы твердые спеченные. Общие требования к методам химического анализа
168	27034–86 (ИСО 4506–79)	Сплавы твердые спеченные. Метод определения предела прочности и предела текучести при сжатии
169	27301–87	Пластины режущие сменные многогранные твердосплавные с радиусом при вершине с односторонним тороидальным отверстием. Конструкция и размеры
170	27302–87	Пластины режущие сменные многогранные твердосплавные с фасками при вершин без отверстия. Конструкция и размеры.
171	27417–98 (ИСО 4491–4–89)	Порошки металлические. Определение общего содержания кислорода методом восстановительной экстракции. Общее содержание кислорода, определяемое методом восстановительной экстракции
172	28377–89	Порошки для газотермического напыления и наплавки. Типы.
173	28378–89 (ИСО 5755–2–87, ИСО 5755–3–87)	Материалы конструкционные порошковые на основе железа. Марки
174	28393–89	Прутки и полосы из быстрорежущей стали, полученной методом порошковой металлургии. Общие технические условия
175	28817–90 (ИСО 4503–78, ИСО 4883–78)	Сплавы твердые спеченные. Рентгенофлуоресцентный метод определения металлов
176	29006–91 (ИСО 4491–3–89)	Порошки металлические. Метод определения кислорода, восстановимого водородом
177	29012–91 (ИСО 4492–85)	Порошковая металлургия. Метод определения изменения размеров прессовок после снятия давления прессования и во время спекания
178	29278–92	Изделия порошковые. Конструктивные элементы. Общие требования
179	30002–93	Изделия порошковые. Метод определения содержания масла вакуумной возгонкой
180	30529–97 (ИСО 4495–78)	Порошки металлические со смазкой. Определение смазочных веществ методом экстракции по Сокслету
181	30550–98 (ИСО 4496–78)	Порошки металлические. Определение содержания не растворимых в кислотах веществ в порошках железа, меди, олова и бронзы
182	30642–99 (ИСО 7625–83)	Материалы порошковые (металлические спеченные), исключая твердые сплавы. Подготовка проб для химического анализа по определению содержания углерода

ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЗЧИК

Алюміній 8, 13, 16, 81
Аустеніт 19

Виливки 11
Відливки 11
Вуглець 19

Жорсткість 9, 14

Залізо 18
Зварюваність 10, 14
Зносостійкість 9, 14

Кераміка 8, 120, 124, 125, 130

Легкоплавкість 10, 14

Маси пластичні 95, 105, 113

Матеріали

- гумові 134
- клейові і герметизуючі 140
- композиційні 116
- олійні лакофарбові 155
- порошкові 128

Метали 16

Металокераміка 125, 130

Міцність 9

Оброблюваність різанням 10, 14

Пластичність 10, 14

Рідкоплинність 10, 14

Сплав мідний 17, 72

Сталь

- вуглецева 20
- інструментальна 31

- інструментальна для різального та вимірювального інструменту 31, 64
- конструкційна вуглецева звичайної якості 21
- конструкційна спеціального призначення 48
- легована 20
- якісна 25

Термооброблюваність 10, 14

Чавун 8, 17, 19, 39

Ферит 19

