

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ДМИТРА МОТОРНОГО**

Сушко О.В., Колодій О.С., Коломоєць В.А.

НОВІ МАТЕРІАЛИ В МАШИНОБУДУВАННІ

**НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ ПОСІБНИК
ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ**

для здобувачів ступеня вищої освіти «Магістр» зі спеціальності
133 «Галузеве машинобудування»

Мелітополь
2021

УДК 62 (075.8)
(С91)

Автори: Сушко О.В., Колодій О.С., Коломоєць В.А.

Рекомендовано до друку рішенням Вченої ради механіко-технологічного факультету Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного (протокол № 6 від 25.02.2021)

Рецензенти:

Карасєв О.І. – д.т.н., ст. наук. співр. кафедри «Сільськогосподарські машини», Таврійський державний агротехнічний університет імені Дмитра Моторного

Пеньов О.В. – к.т.н., доцент кафедри «Технологія конструкційних матеріалів», Таврійський державний агротехнічний університет імені Дмитра Моторного

Сушко О.В., Колодій О.С., Коломоєць В.А.

Нові матеріали в машинобудуванні: навчально-методичний посібник до виконання лабораторних робіт / О.В.Сушко, О.С. Колодій Коломоєць В.А. – Мелітополь: ТПЦ «Forward press», 2021. – 106 с.

Навчально-методичний посібник до виконання лабораторних робіт складено з метою найбільш повного забезпечення самостійної роботи студентів при вивченні дисципліни «Нові матеріали в машинобудуванні». Посібник призначений для вивчення та практичного засвоєння знань про нові сучасні матеріали, оволодіння теоретичними знаннями та одержання навичок з питань визначення цих матеріалів та їх призначення для конкретних умов експлуатації машин та механізмів у машинобудуванні. Теми лабораторних робіт відповідають навчальній програмі.

УДК 62 (075.8)
(С91)

© О.В. Сушко, О.С. Колодій, В.А. Коломоєць

ЗМІСТ

ПРАКТИКА МАРКУВАННЯ ТА РОЗШИФРОВКИ МАШИНОБУДІВНИХ СПЛАВІВ.....	4
СТАЛІ І СПЛАВИ З ОСОБЛИВИМИ ЕЛЕКТРИЧНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ.....	14
МІКРОСТРУКТУРА ТА ВЛАСТИВОСТІ МАТЕРІАЛІВ З ЕФЕКТОМ ПАМ'ЯТІ ФОРМИ.....	21
ПРОВІДНИКОВІ, НАПІВПРОВІДНИКОВІ МАТЕРІАЛИ ТА ЇХ ВЛАСТИВОСТІ.....	29
ДИЕЛЕКТРИЧНІ МАТЕРІАЛИ, ЇХ ВЛАСТИВОСТІ ТА ЗАСТОСУВАННЯ.....	34
СТРУКТУРА, СКЛАД І ВЛАСТИВОСТІ ПЛАСТМАС.....	42
ПЕРЕРОБКА ПЛАСТМАС У ВИРОБИ.....	50
ГУМИ. КЛАСИФІКАЦІЯ ТА ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ВИРОБІВ.....	62
ВИЗНАЧЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ МЕТАЛЕВИХ ПОРОШКІВ.....	69
ОСНОВНІ ПРИНЦИПИ КЛАСИФІКАЦІЇ ТА МАРКУВАННЯ СТАЛЕЙ І ЧАВУНІВ В ЗАРУБІЖНИХ КРАЇНАХ.....	78
ОСНОВНІ ПРИНЦИПИ КЛАСИФІКАЦІЇ ТА МАРКУВАННЯ ЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ, СПЕЦІАЛЬНИХ ЧАВУНІВ ТА КОЛЬОРОВИХ СПЛАВІВ В ЗАКОРДОННИХ КРАЇНАХ.....	86
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	97
ДОДАТКИ.....	98

ПРАКТИКА МАРКУВАННЯ ТА РОЗШИФРОВКИ МАШИНОБУДІВНИХ СПЛАВІВ

Методичні вказівки до лабораторної роботи № 1

МЕТА РОБОТИ – систематизувати знання з класифікації, маркування, властивостей та застосування основних машинобудівних сталей і сплавів.

1 ВКАЗІВКИ З САМОПІДГОТОВКИ ДО РОБОТИ

1.1 Завдання для самостійної підготовки

Вивчити:

– принципи класифікації вуглецевих та легованих сталей, чавунів; сплавів на основі кольорових металів: алюмінію, міді, магнію, титану, цинку.

Знати:

– маркування твердих інструментальних сплавів, вміти відрізнити тверді сплави від інструментальних сталей;

– маркування, властивості та застосування антифрикційних сплавів.

1.2 Питання для самопідготовки

1.2.1 За якими ознаками класифікують вуглецеві, леговані сталі і сплави та на які групи розподіляють сталі за призначенням?

1.2.2. Чавуни: білі, сірі, ковкі, високоміцні та спеціальні. Маркування та галузі застосування.

1.2.3 Сплави на основі кольорових металів. Класифікація, маркування та область застосування.

1.3 Рекомендована література

1. Прикладне матеріалознавство: підручник для вищих навчальних закладів III-IV ступенів акредитації / Авт. колектив: Сушко О.В., Посвятенко Е.К., Кюрчев С.В., Лодяков С.І. – Мелітополь: ТОВ «Forward press», 2019. – 352 с.: іл.

2. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство/ А.С. Опальчук та ін. / за ред. А.С. Опальчука. – Ніжин: ТОВ «Видавництво «Аспект-поліграф», 2011. – 792 с.: іл.

2 ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

2.1 Програма роботи

2.1.1 Систематизувати отримані знання з:

- принципів класифікації вуглецевих та легованих сталей, чавунів;
- маркування твердих інструментальних сплавів та інструментальних сталей.
- принципів маркування сплавів на основі кольорових металів: алюмінію, міді, магнію, титану, цинку.
- маркування, властивості та застосування антифрикційних сплавів
- *скласти звіт по роботі*: номер, назва та мета роботи; розшифрувати за індивідуальним завданням марки сталей, чавунів, сплавів на основі кольорових металів.

2.2 Оснащення робочого місця

2.2.1 Методичні вказівки до лабораторних робіт.

2.2.2 Конспект лекцій. Література та довідки.

2.2.3 Мікроскоп МІМ-7; зразки сталей, чавунів, сплавів на основі кольорових металів, бабітів.

2.2.4 Варіанти індивідуальних завдань до лабораторної роботи.

3 ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

3.1 Класифікація та маркування вуглецевих сталей, чавунів

Сталі – залізовуглецеві сплави з вмістом вуглецю до 2,14 %.

Сталі звичайної якості маркують літерами «Ст.» (сталь) і цифрами 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 (умовний номер марки сталі в залежності від хімічного складу). Наприкінці марки позначають ступінь розкислення сталі, наприклад: Ст.1кп; Ст.2пс; Ст.3сп. У деяких марках сталі стоїть літера «Г», яка вказує на кількість марганцю при його масовій частці в сталі 0,80 % і вище (Ст.3Гсп).

Вуглецеві *якісні сталі* містять менше шкідливих домішок ($S \leq 0,035 \%$, $P \leq 0,03 \%$) і неметалевих включень, ніж сталі звичайної якості. Якісні сталі маркують двома цифрами, що вказують середню кількість вуглецю у сотих частках відсотка: сталь 05, 08, 10, 15, 20, 25, 30 і далі через 0,05 %.

Високовуглецеві сталі (60, 65 та ін.) призначені для виготовлення пружин, ресор та інших деталей машин та механізмів,

які застосовуються в загартованому та відпущеному стані. Їх використовують також для торсіонних валів, тросів, робочих органів ґрунтообробних машин (борони, плуги, лапи культиваторів, лопати, сапки тощо). Такі сталі належать до групи *ресоро-пружинних*.

Автоматні сталі, або *сталі підвищеної оброблюваності* різнанням використовують у масовому виробництві кріпильних виробів (болти, гвинти, гайки і т. ін.) та деяких невідповідальних деталей на верстатах-автоматах з великою швидкістю різнання. Маркують літерою А (автоматні) і цифрами, що вказують на середню кількість вуглецю у сотих частках відсотка: сталь А12, А20, А 30, А40Г. Літера Г позначає підвищений вміст марганцю (до 1,2 %).

Вуглецеві інструментальні сталі поділяють на якісну і високоякісну. Сталь інструментальну якісну позначають літерою У і цифрою, або цифрами, що вказують на вміст вуглецю в десятих частках відсотка (наприклад, У7, У8, У9, У10, У11, У12). При маркуванні високоякісної сталі додають букву А в кінці марки (наприклад, У7А, У8А, У9А, У10А, У11А, У12А).

Котельні сталі – це сталі для котлів, посудин високого тиску, парових котлів, камер згоряння, газових турбін, судових топок та ін., які повинні працювати при високому тиску та температурі від -40 до 450°С та добре зварюватись. Вуглецеві котельні сталі маркують цифрою, яка вказує на вміст вуглецю в сотих частках відсотка і додають літеру К. Наприклад: сталь 12К, 15К, 18К, 20К. Постачають такі сталі у вигляді листа товщиною до 200 мм.

Чавуни. Це залізовуглецеві сплави з вмістом вуглецю 2,14-6,67%. Поділяються на білі та сірі. У білих чавунах вуглець – у вигляді цементиту, у сірих – у вигляді графіту.

Сірий чавун (з пластинчастим графітом) маркують літерами СЧ з додаванням двох цифр, які характеризують мінімальне значення тимчасового опору на розтяг (граничі міцності) у МПа·10⁻¹ (кгс/мм²). Наприклад, СЧ10, СЧ20, СЧ25, СЧ30. Використовують у верстатобудуванні (кожухи, станини верстатів, кришки, корпуси редукторів, гідронасосів і компресорів, фланці). Також виготовляють картери, блоки циліндрів, гільзи блоків, колінчасті та розподільні вали, зубчасті колеса.

Ковкий чавун – умовна назва чавуну, який одержують спеціальним графітизуючим відпалом білих доєвтектичних чавунів. Ковкі чавуни (з пластівчастим графітом) позначають літерами КЧ

(ковкий чавун) і числами. Перше число відповідає мінімальному значенню σ_b (МПа $\cdot 10^{-1}$), друге – мінімальному значенню відносного видовження (%), наприклад: КЧ35-10; КЧ60-3; КЧ70-2. Застосовують у текстильній, автомобільній та сільськогосподарській промисловості для виготовлення гальмівних колодок, ступиць, муфт, деталей кермового управління, ланок ланцюгів тощо.

Високоміцні чавуни (з кулястим графітом) маркують літерами ВЧ і цифрами: ВЧ350-22, ВЧ450-22, ВЧ1000-2, які характеризують мінімальне значення σ_s (МПа $\cdot 10^{-1}$), друге – мінімальному значенню відносного видовження δ (%), наприклад: ВЧ45, ВЧ70, ВЧ100, де цифри – межа міцності на розтяг. З них виготовляють вироби відповідального призначення – станини прокатних станів, преси та молоти, прокатні валки, диски муфт, важко навантажені шестерні, колінчасті вали.

Чавуни з вермікулярним графітом (ЧВГ; від лат. vermiculus – хробачок) маркуються за тим же принципом, що й високоміцні: ЧВГ300-4, ЧВГ400-4 тощо (ДСТУ 3926-99 або ГОСТ 28394-89). Їх використовують для корпусних деталей, деталей верстатів та пресово-ковальського обладнання, махових коліс, гідроциліндричних деталей насосів високого тиску.

Антифрикційні чавуни маркують літерами АЧ (антифрикційний чавун), далі вказують вид чавуну (С – сірий, В – високоміцний, К – ковкий) та порядковий номер (1- 6), наприклад: АЧС-1, АЧВ-2, АЧК-1 (ГОСТ 1585-85).

Леговані чавуни зі спеціальними властивостями (зносостійкі, корозійностійкі, жаростійкі тощо) легують хромом, кремнієм, алюмінієм, нікелем, міддю. Їх маркують таким чином: літера Ч (чавун), за якою йде літера, що позначає легувальний елемент (як у сталях), число (вміст елемента у відсотках). Якщо в кінці марки стоїть Ш, це означає графіт кулястої форми (від російського «шаровидный»). Приклади: ЧХ22, ЧХ3Т – зносостійкі; ЧХ2, ЧС5Ш, ЧЮХШ – жаростійкі; ЧЮ22Ш, ЧЮ30 – жаростійкі та зносостійкі при підвищених температурах; ЧС15 (феросилід), ЧС17М3 – корозійностійкі у рідкому середовищі; ЧН15Д7 (нірезист) – зносостійкий у двигунах та маломагнітний; ЧН20Д2Ш – жароміцний, холодостійкий, маломагнітний і т. ін.

Леговані сталі. Для позначення легованої сталі застосовують певний склад цифр і літер: Х – хром, Н – нікель, Г – марганець, С –

кремній, В – вольфрам, М – молібден, Ф – ванадій, К – кобальт, Т – титан, Ю – алюміній, Д – мідь, П – фосфор, Р – бор, Б – ніобій, А – азот, Е – селен, Ц – цирконій, Ч – рідкісноземельні метали (лантан та ін.).

Конструкційну леговану сталь маркують таким чином: перші дві або три цифри показують вміст вуглецю у сотих відсотка, літери – наявність відповідних легуючих елементів. Цифри, що стоять за літерами, показують процентний вміст цих елементів у сталі. Якщо після якоїсь літери не має цифр, то це означає, що сталь містить даний елемент у кількості до 1 %. Наприклад, марка 40Х означає хромисту сталь, що містить 0,40 % вуглецю і до 1 % хрому, марка 110Г13Л означає марганцеву сталь, що містить 1,10 % вуглецю і 13 % марганцю. Літера Л в кінці марки означає, що ця сталь ливарна, бо деталі з цієї сталі одержують литтям. Якщо сталь високоякісна, то в кінці марки сталі додають літеру А (наприклад, 30ХГСА). Якщо при маркуванні сталі літера А стоїть всередині марки, то це вказує на те, що сталь легована азотом.

Інструментальну леговану сталь маркують таким чином: кількість вуглецю зазначається однією цифрою, що показує вміст вуглецю в десятих відсотка (наприклад, 9ХС). Якщо першої цифри немає, то це означає, що сталь містить вуглецю близько 1 % (наприклад, ХВГ). Далі порядок маркування за легуючими елементами такий, як і для легованої конструкційної сталі.

Деякі сталі спеціального призначення мають особливе маркування з літер, що ставляться спереду: А – автоматна, Ш – шарикопідшипникова, Р – швидкорізальна, Е – магнітна, Э – електротехнічна сталь.

Нестандартні сталі маркують літерами ЭИ і ЭП та номерами. Це означає, що сталь виплавлена на заводі “Електросталь” (літера Э), дослідна (літера И), або пробна (літера П). Номер означає черговий номер запису марки сталі у заводському журналі (наприклад, сталь ЭП276, або ЭИ269).

Шарикопідшипникові сталі маркують великою літерою Ш, за якою вказують легуючий елемент – хром. Цифра, або цифри за літерою Х означають вміст хрому в десятих, а не в цілих відсотках. Це виняток з правила і це треба пам’ятати (наприклад, ШХ6, ШХ15: цифри 6 та 15 – це 0,6 % та 1,5 % хрому відповідно).

Сталі з особливими властивостями. Багато машин мають деталі, до яких ставляться особливі вимоги щодо фізичних та хімічних властивостей: опір корозії і дії хімічних агресивних середовищ – нержавіюча сталь (наприклад, 30X13), жароміцність (наприклад, 45X14H14B2M), жаростійкість (наприклад, 40X9C2), зносостійкість (наприклад, Г13), особливі магнітні властивості (наприклад, ЕХ3), особливі теплові властивості (наприклад, Н36).

Швидкорізальну сталь маркують літерою Р, за якою йде цифра, чи цифри, які вказують на вміст основного легуючого елемента – вольфраму у цілих відсотках. Далі порядок маркування за легуючими елементами такий, як і для легованих конструкційних сталей (наприклад: Р6, Р9, Р12, Р18, Р6М3, Р18К5Ф2).

Тверді інструментальні сплави. Твердими інструментальними сплавами називають металокерамічні тверді сплави, основною складовою частиною яких є карбіди вольфраму, титану та танталу. Як зв'язувальний матеріал використовують кобальт. Маркують їх таким чином: ВК2 – 2 % кобальту, решта (98 %) – карбід вольфраму; Т5К10 – 10 % кобальту, 5 % карбідів титану, решта (85 %) – карбід вольфраму; ТТ7К12 – 12 % кобальту, 7 % карбідів титану і танталу (разом), решта (81 %) – карбід вольфраму. Сплави застосовують у вигляді пластинок до різального інструменту.

3.2 Класифікація та маркування сплавів на основі кольорових металів

Деформівні алюмінієві сплави класифікуються за двома системами, які в техніці використовуються паралельно: старою літерно-цифровою (ГОСТ 4784-97) та новою цифровою (ДСТУ 11069-01).

За літерно-цифровою системою окремим групам сплавів присвоюється певна літера чи група літер, а сплави цієї групи розрізняються за номером, що стоїть біля літер. Наприклад, сплави системи Al-Cu-Mg (*дуралюміни*) позначаються літерою Д (Д1, Д16, Д18), сплави системи Al-Mg (*магналії*) – АМг (АМг1, АМг5).

За цифровою системою перша цифра 1 в усіх марках означає алюмінієвий сплав, друга цифра – систему сплаву (0 – технічний алюміній; 1 – система Al-Cu-Mg; 2 – Al-Cu-Mn; 3 – Al-Mg-Si та Al-Mg-Si-Cu; 4 – Al-Mn; 5 – Al-Mg). Останні дві цифри – це порядковий номер сплаву. Наприклад, сплав 1520 – це алюмінієвий сплав системи Al-Mg, порядковий номер 20. У літерно-цифровому варіанті це сплав АМг2.

У марці деформівних сплавів умовними літерами позначають також стан сплаву: М – м'який, відпалений; Н – наклепаний; П – напівнаклепаний. Літерою Т з наступною цифрою позначають вид термічної обробки (Т1, Т2 тощо). Режими можна знайти у відповідних довідниках.

Зміцнювані термічною обробкою:

– дуралюміни (Д1, Д6, Д16) – виготовляють силові елементи літаків (лонжерони, шпангоути), кузови вантажних автомобілів, будівельні конструкції, бурові труби тощо.

– сплави підвищеної пластичності та корозійної стійкості системи *Al-Mg-Si* АД31 (1310), АВ (1340) – авіаль. Сплав АД 31 застосовують у будівництві, суднобудуванні, легкій та автомобільній промисловості для деталей помірної міцності, що працюють у вологій атмосфері, морській воді. Сплав АВ використовують для деталей, технологія виготовлення яких вимагає високої здатності матеріалу до деформування (лопаті гвинтів вертольотів, штамповані деталі складної форми).

– високоміцні сплави системи *Al-Zn-Mg-Cu* В93, В95, В96 застосовують для важко навантажених конструкцій, що працюють переважно в умовах стискання (силові каркаси будівельних споруд, шпангоути, фюзеляжі літаків).

Сплави, що не зміцнюються термічною обробкою:

– сплави систем *Al-Mg* та *Al-Mn*. Маркуються літерами АМц (з марганцем) та АМг (з магнієм); їх зміцнення забезпечується легуванням та наклепом.

Сплави системи *Al-Mg* називають *магнеліями*. В марках цих сплавів після літер АМг додають цифри, які відповідають середньому вмісту магнію, наприклад: АМг1 (0,7-1,6 %), АМг2 (1,8-2,6 %), АМг3 (3,2-3,8 %). За цифровою системою ці сплави відповідно позначаються марками 1510, 1520, 1530. Використовують для мало- та середньо навантажених деталей, які добре працюють в умовах високої вологості (обшивки кузовів, автоцистерни, бензинові баки, внутрішні перегородки літаків, суден, підводних човнів тощо).

Ливарні сплави маркуються за ДСТУ 1583-93 літерою А (алюмінієвий сплав), за якою додають літери, що позначають легувальні елементи (К – кремній, М – мідь, Мг – магній, Н – нікель та ін.) та цифри, що показують середній вміст легувального елемента у відсотках. Відсутність цифри означає, що вміст елемента близько 1 %.

Наприклад, АК9 (8-11 % *Si*), АК12М2 (11-13 % *Si*, 1,8-2,5 % *Cu*), АК12М2МгН (11-13 % *Si*, 1,5-3 % *Cu*, 0,8-1,3 % *Mg*, 0,8-1,3 % *Ni*).

Сплави на основі міді поділяються на дві групи – латуні та бронзи. *Латуні* – це подвійні або багатокомпонентні сплави, в яких цинк є основним легуючим компонентом. *Бронзи* – сплави міді з усіма іншими елементами, в які цинк може входити як додатковий легуючий компонент.

За хімічним складом латуні поділяються на подвійні, або прості, які містять тільки мідь та цинк, та складні, або леговані, в яких присутні інші елементи, які додають для одержання спеціальних властивостей.

Латуні маркують літерою Л. В простих латунях після літери наведена кількість основного компонента – міді, а решта – цинк, наприклад, Л90, що означає латунь з вмістом міді 90 % і цинку 10 %. В складних латунях. Як і у всіх кольорових сплавах, легуючі елементи позначають такими літерами: А – алюміній, Б – берилій, Ж – залізо, К – кремній, М_ц – марганець, М_г – магній, Н – нікель, О – олово, С – свинець, Т – титан, Ф – фосфор, Х – хром, Ц – цинк. Кількість елемента вказана цифрами, які відповідають його вмісту у відсотках. Інколи при вмісті легувального елемента менше 1,5 % цифра не ставиться.

Маркування складних деформівних та ливарних латуней відрізняється. В деформівних латунях після Л ставиться літера, що характеризує легуючий елемент, а потім йдуть цифри, з яких перша позначає кількість міді, решта – цинк. Наприклад, ЛС59-1 (59 % міді, 1 % свинцю, решта 40 % – цинку). В ливарних латунях після Л ставиться літера Ц та цифра, що позначає кількість цинку, а далі літери та цифри, що відносяться до легуючих елементів: ЛЦ40Мц3Ж (40 % цинку, 3 % марганцю, менше 1,5 % заліза, решта – мідь).

Бронзи позначають літерами Бр, наступні літери вказують легувальні елементи, що входять до бронзи, а цифри – їх кількість у відсотках, решта – вміст міді. В деформівних бронзах (ГОСТ 5017-2006) спочатку пишуть літери, потім цифри в порядку, що відповідає легувальним елементам: БрОЦ4-3 (4 % олова, 3 % цинку, 93 % міді). У ливарних бронзах (ГОСТ 613-79) кількість легуючого елемента у відсотках вказується безпосередньо після літери: БрА10Ж3Мц2 (10 % алюмінію, 3 % заліза, 2 % марганцю, решта – мідь).

Сплави **титану** маркуються літерами VT, за ними йдуть цифри, перша з них – середня кількість алюмінію у відсотках. Практично всі титанові сплави містять алюміній, який зменшує густину сплаву та покращує властивості як при кімнатній температурі, так і при нагріванні. Інші цифри є умовними: VT5 (~5 % Al), VT5-1 (~5 % Al, 2,5 % Sn). Для деяких сплавів і перша цифра не відповідає кількості Al, наприклад, VT14 (~5,5 % Al, 1,3 % V, 3 % Mn). У ливарних сплавах до марки в кінці додається літера Л (VT6Л).

Деформівні магнієві сплави маркують літерами MA та цифрами від 1 до 14 (MA1 - MA14), які означають номер сплаву. З них виготовляють прутки, листи, профілі для отримання деталей літаків та автомобілів. *Ливарні магнієві* сплави використовують для виготовлення деталей методом лиття. Їх маркують літерами MJ та цифрами, що означають порядковий номер сплаву (MJ1-MJ12). Литі магнієві сплави MJ застосовують для високонавантажених деталей авіаційної промисловості (картери, корпуси приладів, шасі тощо).

Цинкові сплави. Наприклад, ЦА4 (цинковий сплав, що містить 4 % алюмінію), ЦАМ4-1, ЦАМ10-1. Цинк застосовується для гарячого та гальванічного оцинковування сталевих листів, у поліграфічній промисловості, для виготовлення гальванічних елементів тощо. Цинк також використовують як добавку в різні сплави (у першу чергу сплави міді), та як основу для цинкових сплавів (припоїв, цинкових бабітів), а також як друкарський метал. З цинкових сплавів виготовляють різноманітні деталі автомобілів, велосипедів, холодильників, а також пресовий інструмент.

4 РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПРОВЕДЕННЯ РОБОТИ ТА СКЛАДАННЯ ЗВІТУ

Перед лабораторною роботою здійснюється вхідний контроль самостійної підготовки студентів шляхом опитування.

4.1 Розшифрувати і записати розшифровку марок вуглецевих сталей та чавунів, легованих сталей.

4.2. Знати принципи класифікації сплавів на основі кольорових металів, галузь їх застосування.

4.3 Розшифрувати і записати розшифровку марок сталей, чавунів, кольорових сплавів, антифрикційних сплавів за індивідуальним завданням, склавши звіт по роботі.

5 КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

5.1 Наведіть принципи класифікації вуглецевих сталей: звичайної якості, якісних, автоматних, для виливків; інструментальних сталей.

5.2 Чим відрізняються білі та сірі чавуни? Наведіть принципи маркування сірих, ковких, високоміцних та спеціальних чавунів.

5.3 Як маркуються сплави на основі кольорових металів: алюмінію (зміцнювані та не зміцнювані термічною обробкою), міді (латуні, бронзи), титану, магнію та цинку. Наведіть приклади маркування.

СТАЛІ І СПЛАВИ З ОСОБЛИВИМИ ЕЛЕКТРИЧНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ

Методичні вказівки до лабораторної роботи № 2

МЕТА РОБОТИ – знайомитись зі сталями і сплавами, які мають особливі електричні властивості, вміти розшифровувати марки таких сталей.

1 ВКАЗІВКИ З САМОПІДГОТОВКИ ДО РОБОТИ

1.1 Завдання для самостійної підготовки

Ознайомитись з:

- сплавами високого омичного опору;
- основними магнітними характеристиками магнітних сталей і сплавів.

Підготувати:

- глосарій (магнітна проникність, остаточна індукція, коерцитивна сила, петля гістерезису, парамагнетизм)

1.2 Питання для самопідготовки

1.2.1 Для чого призначені матеріали високого електричного опору? Галузь їх використання.

1.2.2 Які сплави використовують для виготовлення термопар?

1.2.3 Що є основною характеристикою для визначення магнітних сталей і сплавів?

1.2.4 Дайте визначення основних характеристик магнітних матеріалів.

1.3 Рекомендована література

1. Прикладне матеріалознавство: підручник для вищих навчальних закладів III-IV ступенів акредитації / Авт. колектив: Сушко О.В., Посвятенко Е.К., Кюрчев С.В., Лодяков С.І. – Мелітополь: ТОВ «Forward press», 2019. – 352 с.: іл.

2. Сушко О.В., Кюрчев С.В. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів: Навчальний посібник. – Мелітополь: ТОВ «Видавничий будинок ММД», 2010. – 232 с.: іл.

2 ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

2.1 Програма роботи

Вивчити

– сплави високого омичного опору.
– магнітотверді сталі і сплави, їх властивості, маркування та застосування.

– мангнітом'які сталі і сплави, їх властивості, маркування і застосування.

Скласти звіт і захистити роботу.

2.2 Оснащення робочого місця

2.2.1 Методичні вказівки до лабораторних робіт. Література та довідки.

2.2.2 Зразки сталей і сплавів з особливими магнітними властивостями.

2.2.3 Варіанти індивідуальних завдань до лабораторної роботи.

3 ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

3.1 Сплави високого омичного опору

Сплави високого омичного опору бувають реостатні та нагрівальні.

До реостатних сплавів відносяться: *манганін* – сплав на основі міді, легований марганцем і нікелем (МНМц 3-12), *константан* – сплав міді з нікелем (МНМц 40-1,5) і *копель* (МНМц 43-1,5). Вони мають знижені механічні властивості і застосовуються у реостатах.

До нагрівальних сплавів відносяться: *ніхром* (Х20Н80, Х15Н60) і *фехраль* (Х13Ю4). Ніхром – це хромонікелевий сплав, а фехраль – хромо-алюмінієва сталь. Ніхром має низьку механічну міцність і застосовується в нагрівальних приладах побутового призначення; фехралі, які мають підвищені механічні властивості, застосовуються в шинних промислових нагрівачах, хоча робоча температура їх майже однакова (1000 °С у фехралю і 1050 °С у ніхрому).

Ніхром технологічний, жаростійкий. Але дуже дорогий, бо містить багато дефіцитного нікелю. Для здешевлення сплаву та поліпшення технологічних властивостей частину нікелю замінюють на залізо. Такі сплави називають *фероніхромами* (Х15Н60, яка містить ~25 % Fe і має робочу температуру 1000 °С).

3.2 Матеріали з особливими магнітними властивостями

Це матеріали, що за величиною коерцитивної сили поділяються на магнітом'які і магнітотверді. Якщо коерцитивна сила в матеріалі менше $5 \cdot 10^4$ А/м ($H_c < 5 \cdot 10^4$ А/м), вони легко перемагнічуються і називаються магнітом'якими матеріалами. Якщо коерцитивна сила в матеріалі більше $40 \cdot 10^4$ А/м ($H_c > 40 \cdot 10^4$ А/м), вони важко перемагнічуються і називаються магнітотвердими матеріалами.

Магнітотверді матеріали – це висококоерцитивні сплави, які мають високу залишкову індукцію – (B_r) і застосовуються для постійних магнітів.

1. *Заевтектоїдна загартована сталь*. Чим більше вуглецю в мартенситі, тим вище коерцитивна сила (тобто високий рівень внутрішніх напружень). Вони мають коерцитивну силу $H_c = (60 - 70) \cdot 10^4$ А/м.

2. *Сплави на основі заліза (Fe), кобальту (Co), нікелю (Ni), алюмінію (Al)*. Це сплави – альніко та магніко. Вони характеризуються наявністю двох фаз: β – сильно магнітної на основі Fe, Co та β_2 – слабомагнітної на основі Ni і Al. β – фаза виділяється по площинах $\{100\}$. Часточки цієї фази однодоменні, призводять до високих магнітних властивостей сплаву і їх дуже важко перемагнітити.

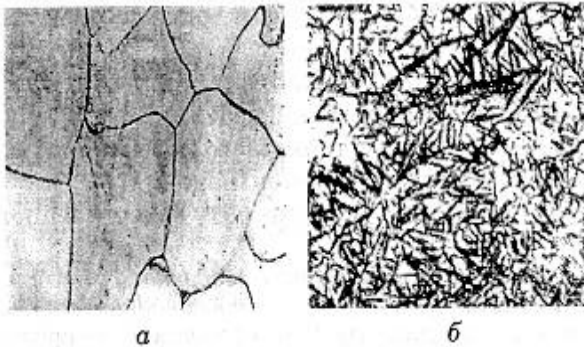


Рис. 2.1. Мікроструктура магнітних сталей:
а – магнітом'яка 1511; б – магнітотверда EX3

Магніко мають дуже велику енергію максимального магнітного потоку. Поліпшити властивості магніко можна термомагнітним обробленням. Магнітне поле прикладають, коли сплав знаходиться в однофазному стані. Подальше підвищення властивостей очікується,

якщо використовувати не полікристалічні матеріали, а монокристали зі стовпчастою структурою.

Таблиця 2.1
Магнітні властивості сталей для виготовлення магнітів
(ГОСТ 6862-81)

Сталь	Максимальна питома магнітна потужність ω_{\max} , кДж/м ³	Коерцитивна сила H_c , кА/м	Залишкова індукція B_r , Тл
ЕХ3	1,2	4,8	0,95
ЕХ5К5	1,6	8,0	0,85
ЕХ9К15М2	2,4	13,6	0,80

Таблиця 2.2
Магнітні властивості литих сплавів Fe-Ni-Al для виготовлення магнітів (ГОСТ 17809-82)

Сплав	Максимальна питома магнітна потужність ω_{\max} , кДж/м ³	Коерцитивна сила H_c , кА/м	Залишкова індукція B_r , Тл
ЮНД4	3,6	40	0,5
ЮНД8	5,1	44	0,6
ЮНДК18	9,7	55	0,9
ЮНДК35Т5Б	16	96	0,75
ЮНДК35Т5БА	36	110	1,02

Магнітом'які матеріали – це електротехнічні сталі. Вимоги до електротехнічних сталей: дешевина, пластичність при малих товщинах (0,3 - 0,5 мм), феромагнітність.

В основному, це сплави системи Fe-Si, які від 3 % до 5 % Si бувають гарячекатані, а до 3 % Si – холоднокатані. Вміст вуглецю в них менше 0,01 %. Ці магнітом'які матеріали не повинні містити вторинних фаз. Вміст вуглецю в них доводять до 0,003 – 0,005 %, і вони мають досить велике зерно. Отримують їх відпалюванням у відновлювальній атмосфері (H+N) при температурі 1100 – 1150 °С.

Всі електротехнічні сталі поділяються на текстуровані – анізотропні та не текстуровані – ізотропні.

Текстуровані (анізотропні) сталі – це грубозернисті сталі, отримані і запатентовані в США у 1936р. Магнітні властивості сталі суттєво поліпшуються внаслідок утворення магнітної текстури в процесі її холодного прокатування і наступного відпалу. Після прокатування з великим ступенем деформації ($\geq 70\%$) і нагрівання

сталі до температури понад 1000 °С відбувається рекристалізація, яка супроводжується орієнтацією ґраток у зернах α -заліза уздовж напрямку легкого намагнічування – ребра куба. Утворюється реброва текстура рекристалізації, яка сприяє підвищенню магнітних властивостей вздовж напрямку прокатування, що приводить до магнітної анізотропії. Сталі з магнітною анізотропією застосовуються в конструкціях магнітопроводів таким чином, щоб магнітний потік проходив у напрямку найкращих магнітних властивостей.

Нетекстуровані (ізотропні) сталі – це сталі зі зниженим вмістом кремнію і поверхнею листа, співпадаючого з напрямком ґратки. До них відносяться залізонікелеві сплави – пермалой. Наприклад, пермалой, що містить 65 % Ni, має після термомагнітного оброблення магнітну проникність $\mu_{\max} = 500$ мГн/м. Термомагнітне оброблення здійснюється тільки для сплавів.

Нелегована електротехнічна тонколистова сталь (ГОСТ 3836-83) маркується п'ятьма цифрами. Перша цифра в марці вказує спосіб виготовлення: гарячекатана сталь (1), холоднокатана ізотропна (2). Друга цифра (0) показує на низький вміст кремнію ($\leq 0,03\%$). Третя цифра визначає основну властивість, що гарантує завод-виробник, а саме: цифра 8 позначає коерцитивну силу H_c , а її значення (в А/м) показують дві останні цифри. Наприклад: 10895, 20895.

Таблиця 2.3

Магнітні властивості нелегованої сталі електротехнічної
(ГОСТ 3836-83)

Сталь	H_c , А/м	μ_{\max} , мГн/м	B (Тл) при $H = 30$ кА/м
10895	95	3,8	2,05
20895	95	3,8	2,05
10864	64	5,6	2,05
20864	64	5,6	2,05
10848	48	6,0	2,05
20848	48	6,0	2,05

Легована електротехнічна тонколистова сталь (ГОСТ 21427-75) маркується чотирма цифрами: перша цифра в марці визначає вид прокату і структуру: гарячекатана ізотропна (1), холоднокатана ізотропна (2), холоднокатана анізотропна з кристалографічною текстурою напрямку [100] (3).

Таблиця 2.4

Магнітні властивості легованої електротехнічної тонколистової сталі

Сталь	Товщина листа, мм	$P_{1,5/50}$, Вт/кг	В (Тл) при Н (кА/м), не менше	
			2,5	30
Гарячекатана ізотропна:				
1311	0,50	6,1	1,48	1,95
1411	0,50	4,4	1,46	1,94
1511	0,50	3,5	1,46	1,90
Холоднокатана ізотропна:				
2011	0,65	9,0	1,60	2,02
2111	0,65	10,0	1,58	2,00
2211	0,65	7,0	1,56	1,96
2311	0,65	5,8	1,52	1,96
2411	0,50	3,6	1,49	1,96
Холоднокатана анізотропна:				
3411	0,50	2,45	1,75	-
3416	0,28	0,89	1,9	-

Таблиця 2.5

Магнітні властивості холоднокатаних стрічок товщиною 0,1 мм з пермалою (сплав Fe-Ni) (ГОСТ 10160-85)

Сплав	Магнітна проникність, мГн/м		H_c , А/м	B_s , Тл	ρ , мкм Ом·м
	μ_n	μ_{max}			
79НМ	25	150	2,4	0,75	0,55
	28	190	1,2	0,73	0,55
	38	250	1,2	0,73	0,55
81НМА	88	310	0,64	0,50	0,8
45Н	2,9	31	16	1,5	0,45
50Н	3,8	38	14	1,5	0,45
50НХС	3,1	31	13	1,0	0,90

Друга цифра в марці вказує вміст кремнію в %: 0 – вміст < 0,4 %; 1– (0,4-0,8 %); 2 – (більше 0,8-1,8 %); 3 – (більше 1,8-2,8 %); 4 – (більше 2,8-3,8 %); 5 – (більше 3,8-4,8 %). Третя цифра визначає втрати на гістерезис і теплові втрати при визначеному значенні В і f. Наприклад, 1– питомі втрати при В = 1,5 Тл і f < 50 Гц ($P_{1,5/50}$).

Четверта цифра – код числового значення нормованого параметру. Чим цифра більше, тим менше питомі втрати.

4 РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПРОВЕДЕННЯ РОБОТИ ТА СКЛАДАННЯ ЗВІТУ

4.1 Розшифрувати і записати розшифровку марок реостатних та нагрівальних сплавів. Галузь застосування реостатних та нагрівальних сплавів.

4.2 Розшифрувати і записати розшифровку марок магнітотвердих та магнітом'яких матеріалів. Галузь застосування магнітотвердих та магнітом'яких матеріалів.

5 КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

- 5.1 Які сплави відносяться до реостатних?
- 5.2 Які сплави відносяться до нагрівальних?
- 5.3 Що таке магнітотверді матеріали?
- 5.4 Що таке магнітом'які матеріали?
- 5.5 Що таке альніко та магніко?
- 5.6 Як маркуються магнітотверді матеріали?
- 5.7 Що таке пермалой? Його маркування та галузь застосування.

МІКРОСТРУКТУРА ТА ВЛАСТИВОСТІ МАТЕРІАЛІВ З ЕФЕКТОМ ПАМ'ЯТІ ФОРМИ

Методичні вказівки до лабораторної роботи № 3

МЕТА РОБОТИ – вивчити склад металів з ефектом пам'яті форми, умови мартенситних перетворень у процесі нагрівання та охолодження, встановити залежність ефекту пам'яті форми від складу сплавів та режимів їх обробки.

1 ВКАЗІВКИ З САМОПІДГОТОВКИ ДО РОБОТИ

1.1 Завдання для самостійної підготовки

Ознайомитись:

– з явищем ефекту пам'яті форми в сплавах;

Вивчити:

– умови виникнення ефекту пам'яті форми у різних сплавах.

1.2 Питання для самопідготовки

1.2.1 Умови виникнення ефекту пам'яті форми.

1.2.2 Суть термонапруженого мартенситного перетворення

1.2.3 Сплави з ефектом пам'яті форми

1.3 Рекомендована література

1. Прикладне матеріалознавство: підручник для вищих навчальних закладів III-IV ступенів акредитації / Авт. колектив: Сушко О.В., Посвятенко Е.К., Кюрчев С.В., Лодяков С.І. – Мелітополь: ТОВ «Forward press», 2019. – 352 с.: іл.

2. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство/ А.С. Опальчук та ін./за ред. А.С. Опальчука. – Ніжин: ТОВ «Видавництво «Аспект-поліграф», 2011. – 792 с.: іл.

2 ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

2.1 Програма роботи

2.1.1 *Намалювати* схему впливу температури на фазовий склад сплавів з ЕПФ;

2.1.2 *Ознайомитись з:*

– основними прийомами обробки сплавів на основі $Ti-Ni$;

– застосуванням сплавів з ЕПФ.

2.1.3 Провести експеримент згідно рекомендацій щодо проведення роботи.

2.1.4 *Скласти звіт по роботі:*

- номер, назва та мета роботи;
- схема впливу температури на фазовий склад сплавів з ЕПФ;
- записати температуру початку та кінця повного розгинання зразка, вказавши відносну деформацію зразка у градусах.

2.2 Оснащення робочого місця

2.2.1 Методичні вказівки до лабораторних робіт, довідникова література.

2.2.2 Зразок металу, що володіє ЕПФ.

2.2.3 Термопара, пірометр, пальник.

2.2.4 Робочий стіл, струбцини.

3 ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Ефект пам'яті форми (ЕПФ) – це явище повернення початкової форми при нагріванні, що має місце у металів після попередньої деформації. Вперше це явище спостерігав А. Оландер у 1932 р., який на основі металографічних спостережень та зміни електричного опору відмітив псевдопружну поведінку сплаву *Al-Cd*. Надалі питаннями ЕПФ займалися інші вчені (при охолодженнях та нагріваннях сплаву *Cu-Zn* – Гринінжер, Мурадян; Курдюмов, Хандрос, Чанг, Рід – при дослідженні керованого термопластичного поведіння стадії мартенситу).

У 1962 р. ЕПФ було виявлено у сплаві *Ni-Ti*, який отримав назву Nitinol. Найбільш інтенсивний розвиток таких сплавів, вивчення їх властивостей, розробок технічних пристроїв для електроенергетики, побутової та комп'ютерної техніки, медицини спостерігається починаючи з 1988 р.

ЕПФ виникає у випадку термопружної рівноваги між високотемпературною матричною та низькотемпературною мартенситною фазами в сплавах. Для відновлення форми металу необхідно, щоб виконувалися умови: мартенситне перетворення було кристалографічно зворотним, пластична деформація повинна відбуватися без ковзання. В зв'язку з тим, що ЕПФ визначається термопружними мартенситними перетвореннями, важливим є

визначення їх температурних інтервалів при нагріванні та охолодженні.

Схема впливу температури на фазовий склад сплавів наведено на рис. 3.1.

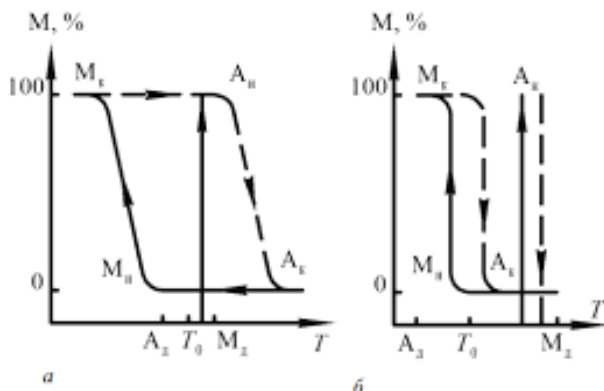


Рис. 3.1. Фазовий склад сплавів з ЕПФ в залежності від температури

З рисунка видно, що при охолодженні сплаву з аустенітного стану початок утворення мартенситу відбувається при температурі M_H . Надалі під час охолодження кількість мартенситу збільшується та повне перетворення $A \rightarrow M$ закінчується при температурі M_K . При нагріванні перетворення $A \rightarrow M$ починається з температури A_H та закінчується при температурі A_K . При повному термоциклі утворюється гістерезисна петля, ширина якої по температурній шкалі $A_K - M_H$ або $A_H - M_K$ може бути різною в залежності від хімічного складу сплавів (відповідно, широкий чи вузький гістерезис). Крім цих температур зазвичай розглядають ще три характерні температури: T_0 , M_D , A_D , де T_0 – температура термодинамічної рівноваги; M_D – температура, нижче якої мартенсит може утворитися не тільки внаслідок охолодження, а й під дією механічного напруження; A_D – температура, вище якої аустеніт може виникнути не тільки під дією температури, але й під впливом механічних напружень. З урахуванням вартості легуючих елементів з наведених сплавів тільки титано-нікелеві сплави та сплави на основі міді є найбільш придатними для практичного використання. Хімічний склад, температури мартенситних перетворень деяких сплавів з ЕПФ наведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Хімічний склад і температури перетворень сплавів з ЕПФ

Сплав	Вміст елементів, %						T _{Ms} , °C	T _{Mf} , °C	ΔT, °C
	Cd	Al	Ni	Zn	Ti	Cu			
Ag-Cd	44-49	-	-	-	-	-	-50	-190	15
Au-Cd	46,5-50	-	-	-	-	-	100	30	15
Cu-Al-Ni	-	14-14,5	3,0-4,5	-	-	-	100	-140	35
Cu-Al-Zn	-	23-28	-	45-47	-	-	40	-190	6
Cu-Zn	-	-	-	38,5-41,5	-	-	-10	-180	10
In-Ti	-	-	-	-	8-23	-	100	60	4
Ni-Al	-	-	-	-	-	-	100	-180	10
Ni-Al	-	-	49-51	-	-	-	100	-50	30
Mn-Cu	-	-	-	-	-	5-35	180	-250	25

Для створення ЕПФ сплави піддають певній термічній обробці. Спосіб обробки залежить від складу сплаву та його призначення, та визначається з урахуванням форми та розміру виробу.

Обробка сплавів Ti-Ni. Для сплавів цієї системи застосовують обробку при проміжних температурах, низькотемпературну обробку та старіння.

Обробка при проміжних температурах полягає в тому, що спочатку за допомогою прокатування або волочіння сплав піддається деформаційному зміцненню. Далі за допомогою відповідної технологічної обробки задається відповідна форма, і вже в такому стані здійснюється термічна обробка шляхом нагрівання при 400-500 °C з наступною витримкою (від декількох хвилин до декількох годин) для запам'ятовування форми. При цьому способі обробки в міру підвищення температури обробки збільшується й зворотна деформація, проте спостерігається закономірність: чим нижча температура обробки, тим більша циклічна довговічність сплаву.

Низькотемпературна обробка полягає в тому, що після витримки при високій температурі сплав швидко охолоджують. Потім заготовкам із нормалізованою структурою надається задана форма та здійснюється обробка для створення ЕПФ шляхом нагрівання до 200-300 °C. Обробка з метою зміни форми здійснюється у рівноважному стані (тобто, після відпалу). Цей спосіб здійснюють при виготовленні виробів складної форми або з сильною кривизною. Характеристики

відновлення форми виробів після цієї обробки досить низькі, у порівнянні з властивостями виробів після обробки при проміжних температурах.

Старіння здійснюється після обробки для отримання твердого розчину при 800-1000 °С. Загартований сплав піддають старінню при ~ 400 °С протягом декількох годин. Цей спосіб є ефективним тільки для сплавів з вмістом нікелю більше 50,5 %. При застосуванні цього способу отримують такі ж сприятливі характеристики відновлення форми, як і після обробки при проміжних температурах.

Сплави з ЕПФ використовують а авіакосмічній, медичній галузях, побутовій техніці, приладо- та спеціальному машинобудуванні як елементи конструкцій та пристроїв, що недосяжні при використанні інших матеріалів, наприклад, з'єднання деталей без зварювання, пайки, клею або різьбових з'єднань.

Розглянемо деякі аспекти застосування сплавів з ЕПФ.

З'єднання труб за допомогою муфт. Для муфт використовується сплав *Ti-Ni-Fe*, температура перетворення якого значно нижче кімнатної (-150 °С). Внутрішній діаметр муфти виготовляється приблизно на 4 % менше, ніж зовнішній діаметр труб, які з'єднуються (рис. 3.2).

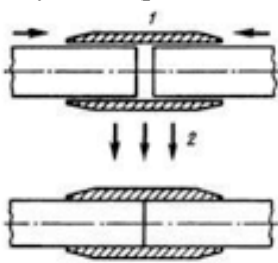


Рис. 3.2. З'єднання труб за допомогою ЕПФ: 1 - введення труб після розширення муфти; 2 - нагрівання

підвищується до кімнатної. Внутрішній діаметр муфти відновлюється до того діаметру, який муфта мала перед розширенням, та відбувається міцне з'єднання труб.

Окрім високої надійності, перевагою цього методу є відсутність високотемпературного нагрівання. Крім того, при необхідності легко здійснити розбирання з'єднання при низькій температурі. Муфти

Перед з'єднанням муфту занурюють в рідке повітря, та витримують при низькій температурі. У такому стані в муфту вводиться дорн та розширюється внутрішній діаметр на 7-8 %. Далі у муфту вводять з двох сторін труби, які необхідно з'єднати; пристрій видаляється для підтримки низької температури, у результаті чого температура муфти

такого типу застосовуються для трубопроводів атомних підводних човнів, надводних кораблів, для ремонту нафтових трубопроводів, причому для цих цілей використовують муфти великого діаметра (до 150 мм). У даний час в цих випадках також застосовують сплав *Cu-Zn-Al*.

Стопори. Для нерухомого з'єднання деталей зазвичай застосовуються заклепки та болти. Проте, якщо це неможливо (наприклад, в герметичній порожнистій конструкції), виконання операцій кріплення викликає труднощів. Стопори зі сплаву з ЕПФ дозволяють у цих випадках здійснити кріплення, використовуючи явище відновлення форми. Стопори виготовляються зі сплаву з ЕПФ, у якого температура кінця зворотного перетворення менше кімнатної, причому в початковому стані стопор має розкритий торець (рис. 3.3). Спочатку стопор занурюють в сухий лід або рідке повітря та охолоджують, після чого випрямляють торці, а стопор вводять в нерухомий отвір для кріплення. При підвищенні температури до кімнатної відбувається відновлення форми, торці стопору розходяться і операція кріплення завершується.

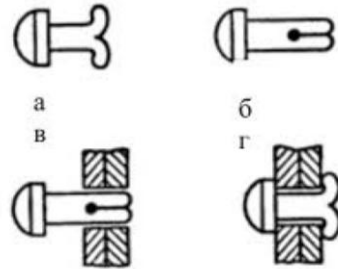


Рис. 3.3. Принципи дії стопора з ЕПФ

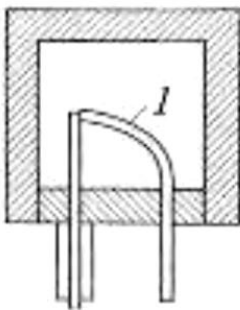


Рис. 3.4. Температурний запобіжник

Температурні запобіжники.

Елементи з ЕПФ можуть одночасно виконувати функції датчиків температури та виконавчих елементів, тому застосування їх в цих цілях є найефективнішим. Так, запобіжники з ЕПФ (рис. 3.4) відрізняються від плавких запобіжників тим, що витягають роз'ємну частину (1 – тонка пластина зі сплаву *Ti-Ni*) з великою силою, тому ефект гасіння дуги є дуже помітним. Ці елементи

використовуються як запобіжники, розраховані на велику потужність або високу напругу.

Механізми підйому вантажу. Приклад використання сплавів з ЕПФ для підняття вантажу наведено на рис. рис. 3.5. Підняття вантажу здійснюється прямим пропусканням струму по спіралі 1, яка виготовлена зі сплаву з ЕПФ. Сплави на титано-нікелевій основі мають кращі властивості, а сплави на мідній – найкращі економічні переваги. Тому в таких галузях техніки, де потрібна висока надійність при великому числі циклів роботи, наприклад, для виконавчих механізмів та перемикачів, застосовують сплави *Ti-Ni*. Там, де число циклів обмежене (наприклад, одним циклом), як у температурних запобіжників або у пристроїв безпеки, що діють тільки в аварійних випадках (наприклад, при пожежі), можна застосовувати сплави на мідній основі, як більш дешеві. Конкретний вибір сплавів визначається з урахуванням різних обставин – призначення, робочого середовища, можливості виготовлення, вартості тощо.

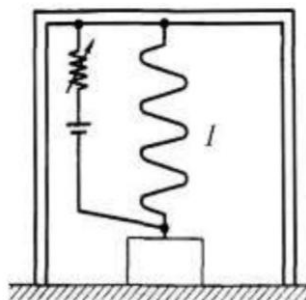


Рис. 3.5. Механізм підйому вантажу з застосуванням сплаву з ЕПФ

4 РЕКОМЕНДАЦІ ЩОДО ПРОВЕДЕННЯ РОБОТИ ТА СКЛАДАННЯ ЗВІТУ

4.1 Навести хімічний склад та температури перетворень основних сплавів з ЕПФ.

4.2 Навести приклади використання сплавів з ЕПФ для різних потреб.

4.3 Визначити ЕПФ для зразка з листової ситалі сплаву *Cu-Al-Ni* (чи *Cu-Al-Zn*) шириною 10 мм:

– зігнути зразок по його широкій стороні на 180 °;

– приєднати термопару (мідь-константову), кінці якої з'єднуються з пірометром.

– за допомогою пальника нагріти зразок у місці згину;

- за допомогою пірометра зафіксувати температуру початку та кінця повного розгинання зразка;
- зафіксувати відносну деформацію зразка у градусах.
- оформити звіт по роботі.

5 КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

- 5.1 Яке явище носить назву ЕПФ?
- 5.2 У чому полягає суть ефекту пам'яті форми?
- 5.3 Наведіть приклади сплавів з ЕПФ.
- 5.4 Дайте оцінку сплавам з ЕПФ з точки зору доцільності використання, можливості виготовлення, вартості.
- 5.3. У яких галузях використовують сплави з ЕПФ?

ПРОВІДНИКОВІ, НАПІВПРОВІДНИКОВІ МАТЕРІАЛИ ТА ЇХ ВЛАСТИВОСТІ

Методичні вказівки до лабораторної роботи № 4

МЕТА РОБОТИ – ознайомитися з провідниковими, напівпровідниковими матеріалами, їх властивостями та застосуванням.

1 ВКАЗІВКИ З САМОПІДГОТОВКИ ДО РОБОТИ

1.1 Завдання для самостійної підготовки

Вивчити: класифікацію провідникових та напівпровідникових матеріалів, знати вплив температури на провідність; класифікацію діелектричних матеріалів (пластмас, кераміки, скла, гумових матеріалів, клеїв та герметиків).

Скласти звіт по роботі:

- навести визначення провідників, напівпровідників та діелектриків;
- навести ряд провідності хімічних елементів, класифікацію та галузь застосування напівпровідників;
- привести класифікацію полімерних матеріалів, кераміки, електротехнічного скла, гуми та клеїв.
- галузь застосування матеріалів, що вивчаються

1.2 Питання для самопідготовки

1.2.1 Як впливає температура на провідність?

1.2.2 За якою ознакою поділяються провідникові, напівпровідникові матеріали?

1.2.3. Де використовуються провідникові та напівпровідникові матеріали?

1.3 Рекомендована література

1. Прикладне матеріалознавство: підручник для вищих навчальних закладів III-IV ступенів акредитації / Авт. колектив: Сушко О.В., Посвятенко Е.К., Кюрчев С.В., Лодяков С.І. – Мелітополь: ТОВ «Forward press», 2019. – 352 с.: іл.

2. Сушко О.В., Кюрчев С.В. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів: Навчальний посібник. – Мелітополь: ТОВ «Видавничий будинок ММД», 2010. – 232 с.: іл.

2 ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

2.1 Програма роботи

2.1.1 Вивчити:

- класифікацію провідникових матеріалів у залежності від питомого електричного опору.
 - вплив температури на провідність.
 - напівпровідникові матеріали: прості і складні. Галузь їх застосування.
 - галузь застосування провідникових матеріалів.
- Скласти звіт про роботу.*

2.2 Оснащення робочого місця

2.2.1 Методичні вказівки до лабораторних робіт.

2.2.2 Конспект лекцій.

2.2.3 Література та довідки.

3 ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Усі провідникові матеріали поділяються на три групи за величиною забороненої зони, яка обумовлена питомим електричним опором: провідники, напівпровідники та діелектрики.

Провідниками називаються матеріали, які мають питомий електричний опір 10^{-8} - 10^{-5} Ом·м і при нагріванні збільшують лінійні розміри.

Напівпровідниками називаються матеріали, які мають питомий електричний опір 10^{-5} - 10^8 Ом·м і при нагріванні зменшують лінійні розміри.

Діелектриками називаються матеріали, які мають питомий електричний опір 10^8 - 10^{16} Ом·м і використовуються як ізолятори.

3.1 Провідники

Провідність провідників визначається електронною будовою металів. Кращу провідність мають: Cu, Ag, Au, Al, Na. Найвища провідність у Na, у якого енергія початку руху електронів дорівнює 10^{-9} еВ. Трохи менша електропровідність у Fe, Ni та Cr.

Основним недоліком провідників є вплив температури на електричний опір. Для технічних металів та їх сплавів вплив температури нагрівання на електричний опір визначається за формулою:

$$\rho_T = \rho_0 (1 + \alpha_p T),$$

де ρ_T – питомий опір при температурі за Кельвіном,

ρ_0 – питомий опір при 0 °К,

T – температура за Кельвіном;

α_p – температурний коефіцієнт електричного опору, що визначається як $\alpha_p = (\Delta \rho_T / \Delta T) 1 / \rho_0$.

Температурний коефіцієнт електричного опору α_p для всіх металів, за винятком феромагнітних, дорівнює 0,004 1/°С, а для феромагнетиків, наприклад заліза, $\alpha_p = 0,006$ 1/°С.

До металів високої провідності відносяться: Cu, Al, Fe. Тому при великих перерізах дротів застосовуються біметалічні дроти, у яких сталевий дріт покритий міддю. До надпровідників відносяться метали, які мають найвищу за Кельвіном температуру переходу. Одним із найкращих елементів є *ніобій* (Nb), який має температуру переходу 9,17 °К. Тому основними надпровідниковими матеріалами є сплави на основі ніобію (Nb). Найбільш розповсюдженим є сплав 65БТ (ГОСТ 10994-84), який складається з 22,0 - 26,0 % Ti, 63,0 - 68,0 % Nb, 8,5 - 11,5 % Zr і має критичну температурою переходу 9,7 °К (або сплав 35БТ).

3.2 Напівпровідники

До простих напівпровідникових матеріалів відносяться 12 елементів таблиці Менделєєва: бор, вуглець (алмаз), кремній, германій, олово, фосфор, миш'як, сурма, сірка, селен, телур, йод.

Найбільше поширення одержали: метал германій (Ge) і металоїд (Si), які мають ґратки алмазу, а також алмаз у вигляді монокристалів, селен та тверді розчини кремнію і германію у вигляді полікристалів.

Питомий електричний опір напівпровідникових матеріалів залежить від ширини забороненої зони, тобто рухливості носіїв і складає (при 20 °С) у германію – 0,6 Ом·м, у кремнію – $2,4 \cdot 10^3$ Ом·м, а в алмазу – 10^8 Ом·м.

Напівпровідникові матеріали бувають прості і складні, *n-типу* та *p-типу*. Тип провідності визначається відхиленням від стехіометричного складу. Так, при надлишку металу буде електронна провідність, де переважають донорні домішки (або *n-типу*), а при надлишку металоїду – дірочна провідність, з перевагою акцепторних домішок (або *p-типу*).

До складних напівпровідникових матеріалів відносяться з'єднання, які утворені елементами III и V груп ($A^{III}B^V$): фосфід і арсенід галію та індію, антимонід індію та ін., а також їх тверді розчини. Кристалічні ґратки таких напівпровідникових матеріалів – типу *сфалериту*. Перспективними є напівпровідникові з'єднання з широкою зоною: нітриди алюмінію і галію (Al, Ga).

Широко поширені напівпровідникові матеріали, які утворюються при взаємодії елементів другої групи – цинку, кадмію і ртуті з *халькогенами* – сіркою, селеном та телуrom ($A^{II}B^{VI}$). Ширина забороненої зони таких з'єднань: від 3,6 еВ для Zn до нуля – для HgTe, які мають напівметалеві властивості.

Гарні термо- та фотоелектричні властивості мають з'єднання $A^{IV}B^{VI}$, халькогеніди свинцю, телуриди германію та олова, які є надпровідниковими матеріалами при низьких температурах. Застосовується також карбід кремнію (Si) з широкою забороненою зоною і пов'язаною з цим високою межею робочої температури. Карбід кремнію кристалізується в декількох модифікаціях: у кубічній типу *сфалериту* (β SiC) або гексагональній типу *вюрциту* (α SiC), які відрізняються кількістю шарів і упакуванням.

Великий клас складають потрійні напівпровідникові матеріали. Це повно-валентні з'єднання зі структурою сфалериту і *халькопіриту*, у яких число електронів на один атом дорівнює 4, наприклад $ZnSi_2$, $CdGaAs_2$, $CuAl_2$, $AgGaSe_2$ та ін. Застосування: з монокристалів германію, кремнію, арсеніду галію, фосфідів індію і галію виготовляють діоди, транзистори, тиристоры, тензодатчики, інтегральні схеми та ін. З карбїду кремнію, арсенїду галїю та ін. виготовляють світлодіоди для оптичної електронїки.

ФотоЕРС (електрорушїйна сила), що з'являється в *n-p*-переходах при освїтлюванні, використовується у сонячних батареях (кремній, арсенїд галїю, антимонїд алюмінію та ін.).

Зміну провідності напівпровідників при освїтлюванні використовують у фоторезисторах, фотоприймачах іонїзуючого

випромінювання. Стимульована струмом генерація світла на p - n – переходах у напівпровідниках використовується в оптичних квантових генераторах, які працюють на арсенідах галію, індію, або на фосфіді галію.

Напівпровідникові матеріали поширені в техніці прямого перетворення теплової енергії в електричну. До таких напівпровідникових матеріалів відносяться телуриди і селеніди вісмуту та сурми.

4 РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ ТА ОФОРМЛЕННЯ ЗВІТУ

- 4.1 Привести визначення провідників, напівпровідників та діелектриків.
- 4.2 Визначити вплив температури на провідність.
- 4.3 Привести ряд провідності хімічних елементів.
- 4.4 Привести класифікацію напівпровідників та галузь їх застосування.

5 КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

- 5.1 Що таке провідники, напівпровідники?
- 5.2 Як впливає температура на провідність?
- 5.3 Які матеріали є основними провідниковими?
- 5.4 Які хімічні елементи є напівпровідниковими матеріалами?
- 5.5 Які сполучення хімічних елементів різних груп таблиці Менделєєва утворюють складні напівпровідникові матеріали?
- 5.6 Де використовуються напівпровідникові матеріали?

ДІЕЛЕКТРИЧНІ МАТЕРІАЛИ, ЇХ ВЛАСТИВОСТІ ТА ЗАСТОСУВАННЯ

Методичні вказівки до лабораторної роботи № 5

МЕТА РОБОТИ – вивчити діелектричні матеріали, їх класифікацію, властивості і застосування.

1 ВКАЗІВКИ З САМОПІДГОТОВКИ ДО РОБОТИ

1.1 Завдання для самостійної підготовки

Вивчити:

– класифікацію діелектричних матеріалів: пластмас, кераміки, скла, гумових матеріалів, клеїв та герметиків;

Ознайомитись з:

– класифікацією полімерних матеріалів, кераміки, електротехнічного скла, гуми та клеїв.

Скласти звіт по роботі.

2. Питання для самопідготовки

2.1 Які матеріали називаються діелектриками? Як вони класифікуються?

2.2 Як класифікується кераміка?

2.3 Де використовують кераміку?

2.4 Яке існує скло і де застосовується?

2.5 Що таке гума, як її одержують і де вона застосовується?

2.6 Які клеї застосовуються для герметизації електронної апаратури?

1.3 Рекомендована література

1. Прикладне матеріалознавство: підручник для вищих навчальних закладів III-IV ступенів акредитації / Авт. колектив: Сушко О.В., Посвятенко Е.К., Кюрчев С.В., Лодяков С.І. – Мелітополь: ТОВ «Forward press», 2019. – 352 с.: іл.

2. Сушко О.В., Кюрчев С.В. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів: Навчальний посібник. – Мелітополь: ТОВ «Видавничий будинок ММД», 2010. – 232 с.: іл.

2 ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

2.1 Програма роботи

Вивчити:

- полімерні матеріали, їх класифікацію, властивості та галузь застосування;
- керамічні матеріали, їх класифікацію, властивості та галузь застосування;
- матеріали зі скла, їх класифікацію, властивості та галузь застосування;
- гумові матеріали, їх властивості та галузь застосування;
- герметики і клеї, їх властивості та галузь застосування.

Скласти звіт по роботі.

2.2 Оснащення робочого місця

2.2.1 Методичні вказівки до лабораторних робіт.

2.2.2 Конспект лекцій.

2.2.3 Лабораторний стенд.

2.2.4 Література та довідки.

3 ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Діелектричні матеріали – це матеріали, які мають питомий електричний опір 10^8 - 10^{16} Ом·м. До них відносяться: пластмаси, кераміка, скло, гума, клеї та герметики.

3.1 Пластмаси

Пластичними масами (або пластмасами) називаються композиційні матеріали на основі полімерів. До складу пластмас входять: полімери, наповнювачі, стабілізатори, пластифікатори, отверджувачі та барвники.

Усі пластмаси за способом вторинної переробки поділяються на термопластичні (термопласти) і терморективні (реактопласти).

3.1.1 Термопластичні полімери і пластмаси

До них відносяться: поліетилен, поліаміди, фторопласти, полістирол, полівінілхлорид та органічне скло (акрилопласт). Їх міцність становить 100 - 1000 кг/см². До недоліків цих полімерів можна віднести: невисоку теплостійкість, нестабільність властивостей та схильність до повзучості.

Поліетилен – неполярний кристалічний полімер, який працює при температурах $-60+60$ °С та має високі діелектричні властивості при частотах від 10^9 Гц. Застосовується як ізолятор проводів, кабелів, які мають напругу до 10 кВ.

Поліаміди – полярний кристалічний полімер, який працює при температурах $45+150$ °С (критична температура становить $180-250$ °С), мають велику міцність, твердість та в'язкість, мають низький коефіцієнт тертя, тобто антифрикційні властивості та зносостійкість. Мають тільки один недолік – поглинання води. Це: капрон, нейлон, перлон, тетарон, неон. Застосовуються як антифрикційні матеріали.

Фторопласти – вуглецево-фтористі полімери. Серед них є тверді полімери та каучуки. Найбільш розповсюдженим є фторопласт 4 – неполярний кристалічний полімер з робочою температурою – $250+250$ °С (із критичною температурою 327 °С). Це гарний антифрикційний матеріал. Одним з представників фторопластів є тефлон.

Полістирол – неполярний аморфний полімер з робочою температурою $-60 +60$ °С. Буває технічним або харчовим. Він прозорий та безбарвний. Є гарним височастотним діелектриком.

Полівінілхлорид – полярний аморфний полімер з робочою температурою $0 + 40$ °С у чистому виді або з пластифікатором – $-40+60$ °С. Без пластифікатора він називається вініпластом, а з пластифікатором – пластиком. Він непрозорий, дешевий, хімічно стійкий, міцний та зносостійкий; не горить, добре зварюється, має електричну міцність. Це – штучна шкіра, ізоляційна стрічка і т.п.

Органічне скло – полярний аморфний полімер з робочою температурою $-180 + 80$ °С, безбарвний і прозорий. Добре розчиняється в діхлоретані.

3.1.2 Терморективні полімери

До терморективних полімерів відносяться: фенолоформальдегідні, епоксидні, поліефірні і кремнійорганічні.

Фенолоформальдегідні полімери бувають резольні та наволачні. Резольні твердіють тільки при нагріванні, а наволачні – при нагріванні у наявності отверджувача. Температура твердіння становить $160-200$ °С при тиску $130-1300$ кгс/см². Випускаються у виді прес-порошків (наприклад: фенопласт 03-010-02). Вони стабільні за розмірами, хімічно стійки. До недоліків відносяться: крихкість, непрозорість,

темний колір. Наповнені реактопласти поділяються на прес-порошки і компаунди, волокніти та шаруваті пластики (бавовняна тканина, просочена фенол-формальдегідною смолою називається текстолітом; папір просочений фенол-формальдегідною смолою зветься гетинаксом; азбестова тканина, просочена фенолоформальдегідною смолою – азботекстоліт).

Епоксидні полімери бувають рідкі та тверді. Найбільш розповсюдженим є рідкі епоксиди марки ЭД-5. Отверджувачами є аміни та луи. Епоксидні полімери і суміші (компаунди) застосовуються для герметизації електронної апаратури, заливання ізоляції, покриттів на металах, клеїв.

Полефірні полімери – рідкі речовини, що твердіють без тиску при 60 °С; прозорі, добре зчіплюються зі скловолокном, однак, добре горять і мають низьку теплостійкість.

Кремнійорганичні полімери (силікони) виробляються у виді розчинів, рідких сумішей і твердих гранул з температурою твердіння 200-250 °С. Застосовуються як лаки, клеї, склопластики і т.д.

3.2 Кераміка

Керамікою називаються матеріали, які одержують спіканням порошоків мінеральних речовин. Спікання робиться при відпалюванні кераміки.

Кераміка ізотропна, має гарні електричні властивості, але дуже крихка. У залежності від призначення кераміку поділяють на установочну, конденсаторну, п'єзоелектричну, вакуумну та феромагнітну.

Установочна кераміка має гарні ізоляційні властивості та міцність. Вона йде на виготовлення ізоляторів, колодкових плат, котушок і інших виробів, задача яких надати каркасну ізоляцію. Для нормальних частот струму установочна кераміка застосовується у вигляді електрофарфору (30 % Al_2O_3), корундо-мулітової кераміки КМ-1 (63 % Al_2O_3), ультрафарфору (80 % Al_2O_3), алюмінію оксиду (99 % Al_2O_3). Для високих частот струму ізолятори виготовляються зі стеатиту (на основі тальку).

Конденсаторна кераміка призначена для виготовлення конденсаторів високої і низької напруги. Основні матеріали: ультрафарфор, стеатит, стаїнатна кераміка (на основі Al_2O_3). Але

кращою є кераміка на основі Ti_2O . Це – тиконіди (Т-60,Т-80,Т-150) та термоконди (Т-20,Т-40) з добавками соди і ZnO_2 . Цифри показують діелектричну проникність. Прогресивною конденсаторною керамікою є сегнетокераміка та вариконди.

П'єзоелектрична кераміка (або п'єзоелектрики) – це матеріали, в яких під дією механічної енергії виникає поляризація – так званий прямий п'єзоэффект. П'єзоелектрична кераміка являє собою поляризовані матеріали (сегнетоелектрики).

У залежності від хімічного складу промислові п'єзокерамічні матеріали поділяють на типи А, Б, В. До першого типу (тип А) відносяться матеріали на основі титанату барію ($BaTiO_3$) – марки ТБ-1. Відомий ряд твердих розчинів титанату барію-кальцію ($(Ba, Ca)TiO_3$). Одним з оптимальних матеріалів цього типу є матеріал марки ТБК-3, що містить титанат барію, титанат кальцію і карбонат кобальту. Добавки карбонату кобальту зменшують діелектричні втрати в електричних полях великої напруженості, однак знижують температуру фазового переходу (T_K) і, як наслідок, мають низькі робочі температури, що обмежує галузь їх застосування. До другого типу п'єзокерамічних матеріалів (типу Б) відносяться тверді розчини титанату-цирконату свинцю (марок ЦТС). Вони одержали широке поширення через високі робочі температури – 180-250 °С. Збільшення концентрації титанату свинцю підвищує робочу температуру до 410 °С (у ЦТС-21), але погіршує п'єзоелектричні властивості. До третього типу (тип В) відносяться тверді розчини ніобату свинцю-барію (НБС-1).

За призначенням п'єзоелектрична кераміка поділяється на чотири класи:

1 клас – матеріали для виготовлення високочутливих випромінювачів та приймачів різних температурних категорій;

2 клас – матеріали для виготовлення п'єзоелементів, які експлуатуються у режимі прийому та випромінювання сильних електричних і магнітних полів;

3 клас – матеріали для виготовлення п'єзоелементів з підвищеною стабільністю частотних характеристик у заданому інтервалі температур;

4 клас – матеріали з високими робочими температурами (понад 250 °С).

Найбільш поширено п'єзокераміку використовують для пристроїв генерації та прийому ультразвуку, датчиків тиску, прискорення та вібрації.

Вакуумна кераміка має велику щільність, малі діелектричні втрати, гарні термомеханічні властивості. У вакуумній техніці використовують вироби з корунду, стеатиту та форстериту.

Феромагнітна (феритова) кераміка являє собою з'єднання подвійних окислів заліза з двовалентними металами типу $Me_2O \cdot Fe_2O_3$ або $MeO \cdot Fe_2O_3$. Феромагнітна кераміка має високу магнітну проникність, гарні діелектричні властивості. Виготовляються різноманітні сполуки феритової кераміки у залежності від її призначення, які містять NiO, CaO, MnO, MgO, CaO і інші двовалентні метали. Магнітні властивості виявляються в керамічних виробках лише до визначеної температури (точки Кюрі).

Феритова кераміка застосовується для виготовлення різноманітних виробів: контурних котушок, магнітних екранів, ізоляторів, які застосовуються усередині вакуумних приладів, п'єзоелектричних перетворювачів та конденсаторів низької частоти. Ферити магній-марганцевого складу (з робочою частотою 500-20000 МГц) використовують для запам'ятовуючих пристроїв електронно-розрахункових машин. Магнітотверді ферити (барієвий ферит – $Ba \cdot 6Fe_2O_3$) застосовують для виготовлення постійних магнітів.

3.3 Скло

Скло – макроскопічно однорідна аморфна речовина, яку одержують при твердінні сплаву оксидів. Склоутворюючими оксидами є SiO_2 , Al_2O_3 , B_2O_3 , P_2O_5 . Електричне скло характеризується низькими діелектричними втратами через добавки CaO, PbO, BaO.

У залежності від основних склоутворюючих компонентів розрізняють такі види скла: *оксидні* – силікатні (SiO_2), алюмінісилікатні (Al_2O_3 , SiO_2), боросилікатні (B_2O_5 , SiO_2), фосфорованадатні (P_2O_5 , V_2O_5), силікотитанатні (SiO_2 , TiO_2), силікоцирконатні (SiO_2 , ZrO_2); *халькогенідні* – халькогеніди миш'яку, сурми, талію та ін. (As_2S_2 , As_2Se_3 , As_2Te_3 , Sb_2Se_3 , Tl_2Se); *галогенідні* – фторберилатні (BeF_2). Халькогенідне скло та скло, яке містить V_2O_5 може бути як діелектриком, так і напівпровідником з електронною або змішаною провідністю.

Ситали – це склокристалічні матеріали, отримані за допомогою контрольованої кристалізації. Найважливішими кристалами – сирцями для одержання ситалів є: β -сподумен ($\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2$), рутил (αTiO_2), β -евкрипіт ($\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$), кордиерит ($2\text{VgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3$). Застосовуються в основному у виді емалей для металів. Серед різноманіття ситалів виділяються фотоситали, які застосовуються для плат друкованих схем, сітчастих екранів і запам'ятовуючих електронних трубок. Особлива властивість ситалів (пропускати ультрафіолетові промені) дозволила застосовувати їх для вікон астрофізичних приладів замість кварцового оптичного скла.

Плівкове та лускате скло. Це високоякісні конструкційні матеріали, які мають високу механічну міцність (до 1000 МПа), велику пластичність, гарні електричні і термічні властивості. Плівкове скло одержують розтягуванням звичайного листового скла до товщини від 5 до 100 мкм. Лускате скло одержують розламуванням – здрібнюванням найтоншого плівкового скла на невеликі лусочки товщиною 1-5 мкм і менш із подальшим спіканням. Плівкове скло використовують як електроізоляційний папір для високочастотних конденсаторів.

3.4 Гумові матеріали

Гумовими матеріалами називають продукти переробки натурального каучуку (НК, високомолекулярної хімічної сполуки вуглецю і водню лінійної структури) або штучного синтетичного каучуку (СК, отриманого зі спирту і нафти) з вулканізатором.

У результаті перероблення цих матеріалів між молекулами утворюються поперечні зв'язки, що забезпечують еластичність, міцність і інші властивості. Суміш каучуку з вулканізатором утворюють сиру гуму, а після закінчення вулканізації – гуму. Вулканізаторами є сірка і металевий натрій. У м'яких сортах гуми утримується до 3 % сірки від ваги каучуку, а у твердих (ебоніт) – 25-32 % сірки. Прискорювачами вулканізації є органічні речовини: каптакс, окис свинцю або свинцевий глет. Наповнювачі – крейда, тальк, барій – які знижують вартість гуми. Використовуються в електротехніці як матеріали з гарними діелектричними властивостями.

3.5 Клеї та герметики

Найбільш широке застосування одержали клеї типу БФ і епоксидні. Клеї типу БФ представляють собою спиртові розчини фенолоформальдегіднополівинилбутиральних смол, є універсальними і застосовуються для склеювання різних матеріалів (металів, пластмас, кераміки, скла, деревини та ін.).

Епоксидні смоли також забезпечують високу міцність з'єднань різних матеріалів при склеюванні – до 65 МПа (650 кг/см²) при зрушенні.

4 РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ ТА ОФОРМЛЕННЯ ЗВІТУ

4.1 Привести визначення полімерних матеріалів, їх застосування.

4.2 Привести визначення термопластів та реактопластів.

4.3 Привести класифікацію кераміки та галузь застосування.

4.4 Привести класифікацію електротехнічного скла та галузь його застосування.

4.5 Привести визначення гуми, клеї для герметизації електронної апаратури.

5 КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

5.1 Які матеріали називаються діелектриками? Як вони класифікуються?

5.2 Які бувають полімерні матеріали?

5.3 Які матеріали відносяться до термопластів, реактопластів?

5.4 Де застосовуються полімерні матеріали?

5.5 Як класифікується кераміка? Де застосовуються керамічні матеріали?

5.6 Яке буває скло і де застосовується?

5.7 Що таке гума, як її одержують і де вона застосовується?

5.8 Які клеї застосовуються для герметизації електронної апаратури?

СТРУКТУРА, СКЛАД І ВЛАСТИВОСТІ ПЛАСТМАС

Методичні вказівки до лабораторної роботи № 6

МЕТА РОБОТИ – вивчити структуру, склад, властивості та галузь застосування пластмас.

1 ВКАЗІВКИ З САМОПІДГОТОВКИ ДО РОБОТИ

1.1 Завдання для самостійної підготовки

Вивчити:

– загальні положення про пластмаси; їх позитивні і негативні властивості;

– структуру і склад пластмас; сортамент пластмас.

Ознайомитись:

– з класифікацією пластмас за хімічним складом і складом основної групи.

– термопластичними та термореактивними пластмасами; властивостями та галуззю застосування пластмас.

Скласти звіт по роботі:

– навести визначення пластмас;

– навести позитивні та негативні властивості пластмас;

– навести склад пластмас;

– дати складові складних пластмас;

– зробити висновки по роботі.

1.2 Питання для самопідготовки

1.2.1 Поняття про пластмаси.

1.2.2 Позитивні і негативні сторони пластмас.

1.2.3 Основні складові пластмас.

1.2.4 Ознаки класифікації пластмас.

1.2.5 Галузь застосування пластмас

1.3 Рекомендована література

1. Прикладне матеріалознавство: підручник для вищих навчальних закладів III-IV ступенів акредитації / Авт. колектив: Сушко О.В., Посвятенко Е.К., Кюрчев С.В., Лодяков С.І. – Мелітополь: ТОВ «Forward press», 2019. – 352 с. : іл.

2. Сушко О.В., Кюрчев С.В. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів: Навчальний посібник. –Мелітополь: ТОВ «Видавничий будинок ММД», 2010. – 232 с.: іл.

2 ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

2.1 Програма роботи

- описати позитивні і негативні властивості пластмас;
- навести коротко класифікацію пластмас, їх сортамент;
- визначити твердість зразків пластмас.

Скласти звіт про роботу.

2.2 Оснащення робочого місця

2.2.1 Планшет зі структурами і складом пластмас.

2.2.2 Зразки для випробувань пластмас.

2.2.3 Твердомір ХП-50/250.

2.2.4 Штангенциркуль з точністю до 0,05 мм, мікрометр з точністю до 0,01 мм.

3 ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

3.1 Загальні положення про пластмаси

Пластмасами називають неметалеві композиційні матеріали на основі природних або синтетичних високомолекулярних з'єднань (полімерів). Ці полімери називають *смолами*, молекули яких складаються з великої кількості ланок, зв'язаних у ланцюг. У практиці використовують кілька тисяч пластмас.

Усі пластмаси поділяють на *прості і складні*. Прості – це полімери без наповнювачів, складні – з наповнювачами.

Позитивні властивості пластмас: невелика щільність (0,94-2,3г/см³); високі діелектричні властивості; стійкість проти корозії; низька теплопровідність; гарні антифрикційні і фрикційні властивості; високі технологічні властивості (виготовлення виробів без знімання стружки);

Недоліки пластмас: розм'якшуються і деформуються при нагріванні, при низьких температурах стають крихкими; теплостійкість не перевищує 120 °С; мають схильність до набрякання; змінюють властивості під дією атмосферних, температурних і хімічних факторів (старіють).

3.2 Структура і склад пластмас

Велика частина пластмас знаходиться в аморфному стані.

За хімічним складом розрізняють пластмаси: фенолоформальдегідні, епоксидні, стирольні, поліуретанові, ефірні і т.д.

За складом основної групи полімери поділяють на 3 групи: органічні, елементоорганічні і неорганічні. Органічні – ланцюг яких має атоми вуглецю, які зв'язані з воднем і киснем (смоли і каучуки). Елементоорганічні – ланцюг, крім атомів вуглецю і водню, має атоми інших елементів (наприклад, кремнію, титану, алюмінію). Неорганічні – ланцюг не має вуглецю та органічних бічних радикалів. Основою таких полімерів є оксиди кремнію, титану, кальцію (наприклад, силкатне скло, азбест, слюда).

Наповнювачі (40-70 %) – порошкові, волокнисті, шаруваті, газові. У свою чергу, наповнювачі бувають органічні (дерев'яне борошно, целюлоза) і мінеральні (тальк, цемент, слюдяне борошно, мелений кварц, графіт). Наповнювачі додають для підвищення механічних і одержання спеціальних властивостей, а також для зниження вартості.

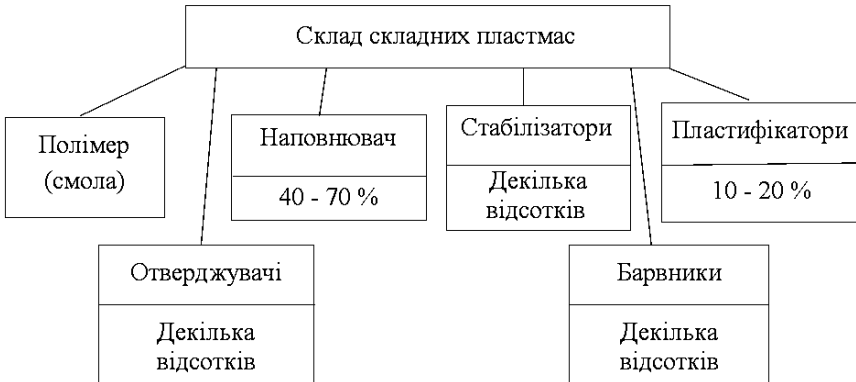


Рис. 6.1. Склад складних пластмас

Пластифікатори (10-20 %) – слабколетучі низькомолекулярні речовини (гліцерин, касторова олія, парафінова олія й ін.), що додають для підвищення пластичності (зменшення крихкості) і еластичності.

Стабілізатори (декілька %) – речовини, що гальмують руйнування (старіння) полімерів під дією світла, підвищеної

температури та інших факторів. До них відносяться сажа, з'єднання олова, свинцю та ін.

Каталізатори (отверджувачі) (декілька %) – речовини, що прискорюють або сповільнюють старіння пластмас. Їх уводять тільки в термореактивні пластмаси. Це уротропін, сірка, органічні перекуси.

Барвники – охра, крон, сурик.

3.3 Сортамент пластмас

На рисунку 6.2 наведений сортамент пластмас.

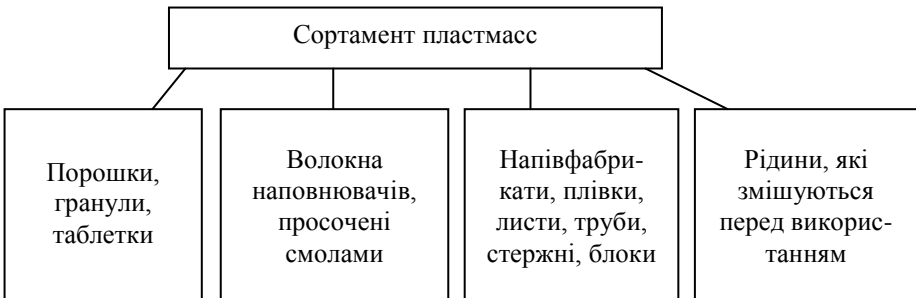


Рис. 6.2. Сортамент пластмас

3.4 Термопластичні і термореактивні пластмаси

У залежності від поведінки при нагріванні пластмаси бувають термопластичні і термореактивні. Термопластичні при багаторазовому нагріванні та охолодженні розм'якають, плавляться і знову твердіють. Термореактивні при повторному нагріванні не розплавляються.

3.4.1 Термопластичні пластмаси

Поліетилен – білий, жирний на дотик, злегка просвічується, легко ріжеться ножом, щільність 0,92 - 0,96 г/см³. Теплостійкість 120°C, морозостійкість – до -70°C. Виготовляють деталі арматури і сантехніки, труби, стрижні, аркуші, плівку, водонепроникний одяг, морські канати, ізоляцію кабелів зв'язку, тару (баки, сулії).

Поліпропілен – (-15°C +140°C). Діелектрик, водо- і хімічно стійкий матеріал – деталі автомобілів, корпуси насосів, електроізоляційні деталі, плівки, труби для гарячої води, ємності для збереження агресивних речовин.

Вініпласт, інакше, полівінілхлорид (поліхлорвініл ПХВ). Аморфний, непрозорий, без пластифікатора, називається вініпласт (0 +40°C), із пластифікатором – пластикат (-40°C +60°C). Стійкий до лугів, кислоти, бензину і мастил, тендітний. Труби, посуд для збереження хімікатів, складні корпусні деталі, штучна шкіра для автопромисловості, ущільнення насосів і компресорів, оболонки електрокабелів, липка ізоляційна стрічка.

Полістирол – діелектрик, стійкий проти лугів, кислот, спиртів, горючий (0 + 95°C). Виливки радіо- і телеапаратури, ливарні моделі, бачки, рамки для фотостат-кування, ізоляційні плівки, стирофлекс – основа магнітних стрічок, електроізолятори високої частоти, упакування, поліграфічні шрифти.

Фторопласти. Фторопласт 3, (+210°C), напівпрозорий, рогоподібний матеріал, хімічно стійкий. Деталі насосів, лічильників, арматура, клапани, мембрани, діафрагми, низькочастотні діелектрики. Фторопласт 4 – пухнатиий порошок для холодного пресування, не розчиняється в будь якому розчиннику (не поступається золоту і платині), (-190°C +250°C). Непальний, негігроскопічний, діелектрик; має низький коефіцієнт тертя, невелику твердість. Ущільнювальні прокладки, хімічно стійкі труби, крани, електро- і радіотехнічні вироби (ізолюючі плівки, диски, кільця), мембрани, фільтри, плівки.

Поліакрилати (органічне скло), замітник звичайного силікатного скла, еластичне, більш прозоре і легке, пропускає ультрафіолетові промені. Має високі діелектричні властивості, оливо-, бензо-, водостійке, стійке проти лугів, солей, але розчиняється у вуглеводнях; набухає в спиртах, малотермостійке (+80°C), недостатньо тверде. Скло для літаків, автомашин і вагонів, оптична і годинникова промисловість, світлотехніка, посуд, люстри, труби, ємності, оглядове скло апаратів.

Полікарбонати – полімерні ефіри, вуглекислоти і діфеноли (-100°C +130°C). Атмосферно- і водостійкі, стійкі проти кислот, солей, розкислювачів, мастил, вуглеводнів. Руйнуються лугами, бензолом, ацетоном. Шестірні, деталі підшипників, авто- і радіодеталі, плівки, деталі електроапаратури.

Поліамідні смоли (капрон, енант). Рідкотекучі, здатні кристалізуватися; висока стійкість проти стирання, низький коефіцієнт тертя. Капрон стійкий проти кислот, лугів, розчинників; міцний на розтягання, твердий, еластичний. Деталі вузлів тертя

(замінник кольорових металів і сплавів), плівки, волокна, корд, тканини, сітки, канати.

3.4.2 Термореактивні пластмаси

Пластмаси з порошковими наповнювачами. Як наповнювачі використовують деревне борошно, мелений азбест, кварцове борошно, тальк, діатоміт, мелений шлак, графіт і ін. Пластмаси з порошковими наповнювачами поставляють у виді прес-порошків, що легко пресувати в таблетки.

Пластмаси з волокнистими наповнювачами. Наповнювачами є бавовняна целюлоза, азбестові і скляні волокна, текстильний дріб'язок або обрізки тканини. Волокніт – фенолоформальдегідна основа з наповнювачем з бавовняної целюлози. Удароміцний, крупноволокнистий (кришки, маховики, ручки верстатів і інструментів, різьбові пробки, шківи, шестірні, ролики транспортерів). Скловолокніт – наповнювач: скловолокно, або скляний дріб'язок. Склофанера, хімічно стійкі труби і резервуари, залізничні цистерни, електрощити, деталі електро- і радіоапаратури, кузови автомобілів, човнів. Азбоволокніт – наповнювач: азбоволокно, мелений кварц та кремнійорганічна смола. Деталі електротехнічного устаткування і приладів.

Пластмаси із шаруватими наповнювачами. Текстоліт – наповнювач: бавовняна тканина (бязь, міткаль, штапельна полотнина, батист, шифон) + фенол-формальдегідна смола (+60 °С +155 °С) – аркуші, плити, стержні, труби, шестірні, вкладиші підшипників, антифрикційні, електроізоляційні матеріали, панелі. Склотекстоліт – наповнювач: склотканина + смоли: фенолоформальдегідні, кремнійорганічні, поліефірні, епоксидні і т.д. – аркуші, плити. Азботекстоліт – азбестова тканина, азбокартон + фенолоформальдегідна смола – аркуші, плити товщиною до 60 мм, деталі гальмових пристроїв, фрикційні диски, деталі механізмів зчеплення, прокладки. Гетинакс – аркуші паперу + резольна смола, спресовані при температурі 150-160°С і тиску 110-160 кг/см² (- 50 +70 °С) – аркуші, плити до 50 мм, стержні і трубки, електропанелі, деталі трансформаторів, радіо- і телефонні деталі.

Деревно-шаруваті пластики (ДСП) – аркуші деревного шпона, просочені і склеєні резольними фенолоформальдегідними смолами при температурі 150°С і тиску 50 кг/см² – аркуші і плити товщиною до

60 мм, вальці текстильних машин, вкладиші підшипників, деталі високовольтної апаратури, зубчасті колеса в хімічному машинобудуванні.

Газонаповнені полімерні матеріали. Пінопласти – матеріали з ізованими порами. Поропласти (губки) – матеріали зі сполученими порами.

Одержують спінюванням вихідного матеріалу газами, що виділяються при термічному розкладанні спеціальних речовин (порофорів), уведених заздалегідь у композицію. Звукоізоляційний, теплоізоляційний матеріал, для сидінь і спинок м'яких меблів, для плавзасобів.

3.5 Визначення твердості пластмас

Твердість вимірюють вдавлюванням сталеві кульки діаметром 5 мм у матеріал, який випробують. Зразок повинен мати форму бруска або пластини товщиною не менше ніж 5 мм та шириною не менш 15 мм, поверхня його має бути гладкою.

Для матеріалів, які мають невелику твердість, значення сили, прикладеної до індентора твердоміра дорівнює 0,49 кН, для твердих пластмас – 2,5 кН. При попередньому навантаженні зразок розміщують на столику твердоміра, обертають штурвал за ходом годинникової стрілки, притискуючи зразок до упору доти, доки не згасне сигнальна лампочка. Після цього прикладають повне навантаження (термін витримування зразка під навантаженням – 1 хв.). Визначають глибину вдавлювання кульки по індикатору твердоміра і знімають попереднє навантаження.

Твердість пластмаси визначається за формулою:

$$HB = \frac{P}{\pi Dh},$$

де P – навантаження, яке прикладається до кульки;

D – діаметр кульки, мм;

h – глибина відбитка кульки, мм.

Для пружних матеріалів, крім твердості, розраховують число пружності Π , яке визначають відношенням пружної деформації до залишкової, %:

$$\dot{\epsilon} = \frac{h - h_0}{h} 100,$$

Крім глибини відбитка h , вимірної безпосередньо після зняття навантаження, повторно вимірюють залишкову глибину відбитка h_0 (що зберігається після 2-3 хв.).

4 РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ ТА ОФОРМЛЕННЯ ЗВІТУ

4.1 Дати визначення пластмас, описати позитивні і негативні властивості пластмас.

4.2 Привести склад пластмас, сортамент.

4.3 Привести перелік термопластичних і термореактивних пластмас, галузь їх застосування.

4.4 Провести випробування зразків пластмас на твердість та розрахувати число пружності. Результати занести у протокол (табл. 6.1)

Таблиця 6.1 – Протокол випробувань пластмас на твердість

Навантаження P , кН	Діаметр кульки D ,мм	Глибина відбитка h ,мм	Твердість, НВ	Залишкова деформація, h_0 , мм	Число пружності, P , %

4.5 Зробити висновки по роботі.

5 КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

5.1 Що таке пластмаса? Чим відрізняються прості та складні пластмаси?

5.2 Що собою являють наповнювачі?

5.3 Які достоїнства і недоліки пластмас?

5.4 Чим відрізняються термопластичні і термореактивні пластмаси?

5.5 У чому полягає старіння полімерів?

5.6 Що таке пластифікатори, стабілізатори, каталізатори?

5.7 Як випробують пластмаси на твердість?

ПЕРЕРОБКА ПЛАСТМАС У ВИРОБИ

Методичні вказівки до лабораторної роботи № 7

МЕТА РОБОТИ – вивчити основні способи перероблення пластмас у виробі у в'язкотекучому, високоеластичному, рідкому та твердому станах.

1 ВКАЗІВКИ З САМОПІДГОТОВКИ ДО РОБОТИ

1.1 Завдання для самостійної підготовки

Вивчити:

- переробку пластмас у в'язкотекучому та високоеластичному станах;
- виробництво деталей з рідких полімерів; виготовлення деталей з пластмас у твердому стані;
- зварювання та склеювання пластмас.

Ознайомитись:

- із термомеханічною кривою аморфного полімеру;
- основним обладнанням для отримання деталей з пластмас.

Скласти звіт по роботі:

- навести основні способи переробки пластмас у в'язкотекучому та високоеластичному станах; виробництва деталей з рідких полімерів; виготовлення деталей з пластмас у твердому стані; зварювання та склеювання пластмас.
- зробити висновок по роботі.

1.2. Питання для самопідготовки

1.2.1 Основні засоби переробки пластмас у виробі у в'язкотекучому стані: гаряче пресування, лиття під тиском, витискування

1.2.2 Переробка пластмас у високоеластичному стані: пневматичне та вакуумне формування, штампування

1.2.3 Виробництво деталей з рідких полімерів: контактне формування, вихрове напilenня, відцентрове лиття, лиття без тиску.

1.2.4 Виготовлення деталей у твердому стані.

1.2.5 Зварювання та склеювання пластмас.

1.3 Рекомендована література

1. Прикладне матеріалознавство: підручник для вищих навчальних закладів III-IV ступенів акредитації / Авт. колектив: Сушко О.В., Посвятенко Е.К., Кюрчев С.В., Лодяков С.І. – Мелітополь: ТОВ «Forward press», 2019. – 352 с.: іл.

2. Сушко О.В., Кюрчев С.В. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів: Навчальний посібник. – Мелітополь: ТОВ «Видавничий будинок ММД», 2010. – 232 с.: іл.

3. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство / А.С. Опальчук та ін. – Ніжин: ТОВ «Видавництво «Аспект-поліграф», 2011. – 792 с.: іл.

2 ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

2.1 Програма роботи

Вивчити способи:

– переробки пластмас у в'язкотекучому та високоеластичному станах.

– виробництва деталей з рідких полімерів, виготовлення деталей з пластмас у твердому стані.

– зварювання та склеювання пластмас.

Набути практичних навичок пресування пластмасових виробів.

2.2 Оснащення робочого місця

2.2.1 Планшет з класифікацією основних способів перероблення пластмас у вироби.

2.2.2 Піч лабораторна, прес гідравлічний.

2.2.3 Прес-форма, кошик мірний, секундомір.

2.2.4 Порошок чи гранули термопластичної або терморективної пластмаси.

3 ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Полімери (основа пластмаси) можуть знаходитися в двох агрегатних станах: твердому – аморфному або кристалічному і рідкому – в'язкотекучому. При нагріванні до визначених температур вони розкладаються, минаючи пароподібний стан.

З термомеханічної кривої (рис. 7.1) видно, що аморфні полімери при температурі T_c переходять зі скловидного стану у високо-

еластичне і потім при температурі T_m – у в'язкотекуче; T_x – температура початку хімічного розкладання.

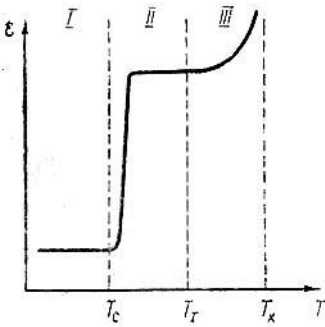


Рис. 7. 1. Термомеханічна крива аморфного полімеру

I - III – зони відповідно скловидного, високоеластичного та в'язкотекучого станів

Виходячи з такої залежності деформації і фізичного стану полімерів від температури, пластмаси переробляють у вироби різними способами у в'язкотекучому, високоеластичному, рідкому і твердому станах, а також роблять зварювання і склеювання.

3.1 Переробка пластмас у в'язкотекучому стані

До основних засобів переробки пластмас у вироби у в'язкотекучому стані відносяться: гаряче пресування, пресування аркушів і плит, лиття під тиском, видавлювання.

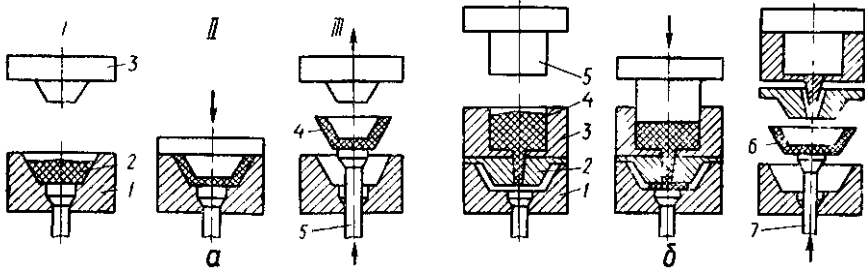
Гаряче пресування звичайно застосовують для виготовлення деталей з термореактивних пластмас з порошковими або волокнистими наповнювачами. Гаряче пресування підрозділяють на пряме і литтєве.

Пряме пресування здійснюється звичайно в закритих прес-формах на гідропресах; тиск на прес-матеріали 2 (рис. 7.2, а), розміщені в матриці 1, передається через пуансон 3. При цьому здійснюється власне процес пресування й твердіння пластмаси. Потім пуансон 3 піднімається у вихідне верхнє положення, прес-форма розкривається і готова деталь 4 видаляється за допомогою виштовхувача 5.

При *литтєвому пресуванні* прес-матеріал 4 (рис. 7.2, б) завантажують не в матрицю 1 прес-форми, а в завантажувальну камеру 3, що обігривається, де він переходить у в'язкотекучий стан і потім під тиском пуансона 5 перетікає через пуансон 2 у матрицю 1 прес-форми. Після витримки протягом часу, необхідного для твердіння прес-матеріалу, прес-форма розкривається при піднятті

пуансону 5, завантажувальної камери 3 і пуансону 2 і деталь 6 видаляється з форми за допомогою виштовхувача 7.

Литвеве пресування дозволяє одержувати складні за формою деталі, часто з глибокими отворами і різьбленням, зі складною металевою арматурою.



I – завантаження прес матеріалу; II – пресування; III – витяг деталі

Рис. 7.2. Схема прямого (а) і литцевого (б) пресування

Пресування аркушів і плит здійснюється на багатоповерхових гідравлічних пресах між плитами, які обігрівуються звичайно парою та охолоджуються водою. Вихідним матеріалом служать пакети листового наповнювача (паперу, тканини та ін.), просоченого фенолоформальдегідною смолою. Так одержують гетинакс, текстоліт, азботекстоліт, деревинно-шаруватий пластик, що потім переробляють у деталі обробкою різанням.

Лиття під тиском здійснюється на спеціальних автоматичних литцевих машинах і застосовується, головним чином, для переробки термопластів: поліетилену, вініпласту, полістиролу, поліамідів і ін.

При литті під тиском (рис. 7. 3) термопласт у вигляді гранул або порошку з бункера 7 подається дозатором 8 у циліндр 5 з електронагрівачем 4. Плунжер 6 переміщує дозу матеріалу в зону нагрівання, матеріал плавиться і через сопло 3 надходить у порожнину 2 прес-форми 1. Після витримки в кілька секунд для затвердіння матеріалу (цьому сприяє охолодження прес-форми водою) плунжер 6 повертається у вихідне положення, форма розкривається і виріб за допомогою виштовхувача видаляється. Лиття під тиском характеризується високою продуктивністю: процес одержання виробів триває 5-20 с. Вони мають чисту поверхню, точні розміри і не

вимагають додаткової механічної обробки. Литтям під тиском одержують вироби складної форми з різною товщиною стінок, глибокими отворами з різьбленням, ребрами жорсткості масою від декількох грамів до 1 кг.

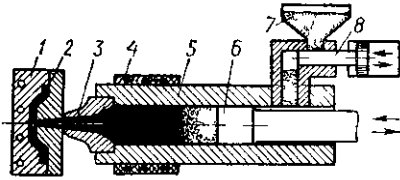


Рис. 7.3. Схема лиття під тиском

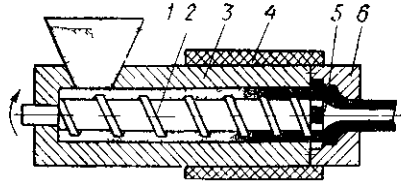
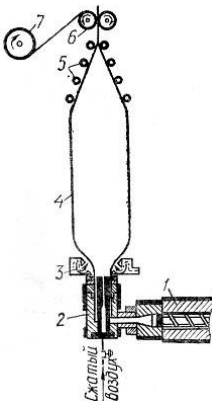


Рис. 7.4. Схема безперервного видавлювання

Видавлювання, або екструзія, застосовується для одержання труб, прутків і профілів різного перетину, плівок, стрічок, нанесення ізоляції на проводи і т. ін.

Видавлювання здійснюють на спеціальних черв'ячних машинах – екструдерах (рис. 7. 4). Гранульований або порошкоподібний термопласт із бункера 1 надходить у робочий циліндр 3, переміщується черв'яком 2 у зону нагрівача 4, переходить у в'язкотекучий стан і потім безперервно видавлюється через калібрований отвір у голівці 6. Для утворення отвору є оправка 5. Отриманий виріб проходить водяну ванну, потім у залежності від форми і розмірів перетину змотується або розрізається на шматки визначеної довжини.



- 1 – екструдер;
- 2 – голівка екструдера;
- 3 – охолоджуючий пристрій;
- 4 – рукав;
- 5 – напрямні валики;
- 6 – захоплюючі валики;
- 7 – барабан

Рис. 7.5 – Схема виготовлення плівки способом роздмування

Різновидом екструзії термопластів є видавлювання аркушів і плівок. При виробництві плівок труба, що екструдидується, роздувається стисненим повітрям у рукав 4 (рис. 7.5) визначеного розміру і після обтискання валками 6 намотується у вигляді подвійної плоскої стрічки на барабан 7. Товщина плівки визначається ступенем роздмухування і витяжки рукава й регулюється швидкістю обертання валків 6. Цим способом одержують плівку товщиною до 40 мкм.

3.2 Переробка пластмас у високоеластичному стані

У високоеластичному стані переробляють термопласти (целулоїд, оргскло, вініпласт і ін.) методом формування з метою одержання з них великогабаритних виробів.

Пневматичне формування являє собою процес, при якому листову заготовку 3 (рис. 7.6, а) за допомогою опорного 2 і притисного 4 кілець з гумовими прокладками закріплюють на матриці 1 і нагрівають спеціальним нагрівачем до заданої температури. Потім, опустивши колектор 5, подають у нього стиснуте до 1-2,5 МПа повітря, що і формує виріб, притискаючи заготовку 3 до поверхні порожнини матриці 1.

Вакуумне формування застосовують для одержання виробів за формою тіл обертання малої глибини. У цьому процесі (рис. 7.6, б) формування виробу здійснюється за рахунок атмосферного тиску в зв'язку з розрідженням, яке утворюється у порожнині між заготовкою 3 і поверхнею матриці 1 при відкачці повітря з порожнини 6. Вакуумне формування відрізняється простотою обладнання і технологічного процесу, однак невеликий перепад тиску обмежує застосування цього способу для одержання простої форми з листової заготовки товщиною до 2 мм.

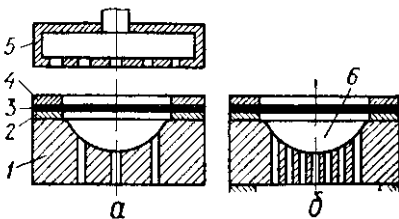
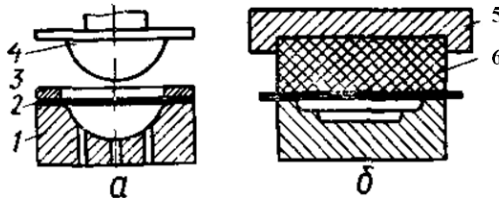


Рис. 7. 6. Схема пневматичного і вакуумного формування

Штампування являє собою формування виробів з нагрітих листових термопластів у формах-штампах при двосторонньому контакті матеріалу з формою, тобто з пуансоном і матрицею. Цей спосіб переробки пластмас

застосовують для одержання неглибоких виробів типу козирків, стекло освітлювальних пристроїв і т. ін.

Деталі штампів можуть бути виготовлені як з металів, так і неметалів (текстоліту, деревно-шаруватих пластиків, дерева). Штампування термопластів може виконуватися в штампах із твердим і еластичним пуансоном і зрозумілі зі схем, приведених на рис. 7.7.



1 – матриця; 2 – заготовка; 3 – притискне кільце; 4 – твердий пуансон;
5 – обойма; 6 – еластичний (гумовий) пуансон

Рис. 7.7. Схема штампування твердим а) і еластичним б) пуансонами

3.3 Виробництво деталей з рідких полімерів

До основних способів виготовлення деталей зі склопластиків відносяться: контактне формування, вихрове напилення, відцентрове лиття і лиття без тиску.

Контактне формування застосовується для виготовлення зі склопластиків великогабаритних деталей (корпусів човнів і суден, кузовів автомобілів і т.п.). Формування здійснюють за допомогою дерев'яних, гіпсових, цементних та металевих форм.

Форма для виготовлення великогабаритних деталей зі склопластику звичайно є негативною, тобто її робочі поверхні відповідають зовнішній поверхні деталі. На робочу поверхню форми спочатку наносять розділовий шар (нітролак, полівініловий спирт), а потім шар поліефірної смоли, що згодом утворять поліровану поверхню виробу. Після деякої витримки на шар укладають і наковчують гумовим валиком шар склотканини або скловати. Під тиском ролика смола, що знаходиться під шаром склонаповнювача, просочується і добре його насичує. Число шарів наповнювача визначається необхідною товщиною готової деталі. Після витримки

протягом 10-12 годин при кімнатній температурі деталь твердіє і видаляється з форми.

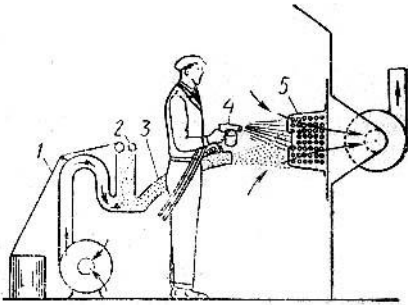


Рис. 7.8. Вихрове напilenня

Вихрове напilenня. При цьому способі скляне волокно 1 (рис. 7. 8) рубається пристроєм 2 і потоком повітря подається по шлангу 3 на поверхню перфорованої форми 5. Одночасно пульверизатором 4 наносять поліефірну смолу з додаванням отверджувача.

Намотуванням одержують склопластикові труби, намотуючи на оправку просочене смолою скловолокно, склострічку або склотканину. Намотування здійснюється на токарних верстатах.

Відцентровим литтям одержують порожні деталі у вигляді тіл обертання товщиною до 15 мм, діаметром до 1 м і висотою до 3 м, а також труби з товщиною стінки 5-7 мм, діаметром 75-120 мм і довжиною до 6 м. Для цього в обертову циліндричну форму завантажуються скловолокнистий наповнювач і сполучне. Форма має пристрої, що обігріваються. Деталі і труби, які одержують цим способом, відрізняються гарною щільністю, мають гладкі зовнішні і внутрішні поверхні.

Лиття без тиску здійснюється шляхом заливання твердіючих при кімнатній температурі або наступному нагріванні смол у холодні або гарячі форми. Таким способом одержують деталі технологічної оснастки, наприклад шаблони, пуансони і матриці прес-форм із поліефірних і епоксидних смол.

3.4 Виготовлення деталей із пластмас у твердому стані

Велике число деталей виготовляють з пластмас у твердому стані: аркуші, плити, труби, профілі різного перетину. Для цього застосовують розділове штампування й обробку різанням.

Розділове штампування включає операції: вирубка, пробивання, обрізку, зачищення. Найбільше застосування з них одержали вирубка і пробивання.

Обробка різанням. Пластмаси піддаються усім видам обробки різанням, що виконують на звичайних металорізальних або деревообробних верстатах. Однак особливості будови і фізико-механічні їх властивості вимагають дотримання деяких вимог до технології обробки і конструкції різального інструмента. Його необхідно ретельно заточувати, передні і задні поверхні полірувати, а іноді хромувати й доводити пастами

Через можливе вологовбирання і набрякання при обробці реактопластів з волокнистими і шаруватими наповнювачами охолоджуючі рідини не застосовуються.

Точіння пластмасових деталей здійснюється на звичайних металорізальних верстатах. Для точіння термопластів застосовують різці з інструментальної вуглецевої або швидкорізальної сталі

При точінні термопластів звичайно застосовують охолодження емульсією або водою, при точінні реактопластів (гетинаксу, текстолітів, волокнітів) — стисненим повітрям.

Фрезерування, свердлення виконується на металообробних верстатах. Для охолодження інструменту застосовують стиснене повітря (деякі термопласти допускають застосування емульсії).

Свердлення отворів, особливо глибоких, у деталях із пластмас викликає певні труднощі. Тому операції свердління бажано виключати, а при необхідності їхнього виконання – правильно вибирати конструкцію свердла, його матеріал і геометричні параметри, режими обробки, змащення й охолодження зони різання. Охолодження звичайно забезпечується стисненим повітрям, а при свердлінні фенопластів і склопластиків можливе застосування СОЖ (водний розчин емульсолу).

Шліфування деталей з термопластів проводять сукняними і фланелевими кругами, термореактивні пластмаси – абразивними кругами з м'якою зв'язкою, наждаковими полотнищами або папером.

Полірування пластмас роблять на полірувальних верстатах сукняними, бавовняними або байковими кругами Дрібні деталі полірують у галтувальних барабанах.

3.5 Зварювання і склеювання пластмас

Зварювання застосовують для одержання нероз'ємних з'єднань деталей з термопластів; склеювати можна пластмаси між собою, а також іншими матеріалами (металами, деревом, тканинами й ін.).

Зварювання пластмас здійснюють, застосовуючи теплоносій (нагрітий газ або інструмент) або нагрів СВЧ, ультразвуком, тертям.

Зварювання газовим теплоносієм застосовують при виготовленні труб, корпусів, апаратів, ванн і інших ємностей з листового вініласту, полістиролу, поліетилену й інших термопластів. Таке зварювання може здійснюватися із застосуванням присадочного матеріалу і без нього. У якості теплоносія використовують повітря, вуглекислий газ, азот. Газ нагрівають у спеціальних зварювальних пістолетах.

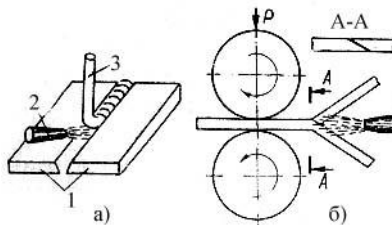


Рис. 7.9. Схема зварювання газовим теплоносієм з присадочним а) і без присадочного б) матеріалу

Зварювання нагрітим інструментом застосовують для з'єднання труб і прутків встик, а також листових і плівкових матеріалів внапусток. При цьому способі джерелом нагрівання деталей, що зварюються, служить нагрітий інструмент (пластина, клин, паяльник), що передає тепло при контакті з матеріалом і розігріває його до в'язкотекучого стану. Після видалення інструмента поверхні деталей, що зварюються, стискають, чим і забезпечують їхнє зварювання

Зварювання тертям пластмас, як і металів, засноване на використанні тепла для розігріву торцевих поверхонь деталей, що зварюються, яке виділяється при їхньому терті. Зварювання труб, прутків здійснюють на спеціальних установках, але можливе застосування для цієї мети і токарних верстатів.

Зварювання з нагріванням СВЧ засноване на використанні тепла, що виділяється за рахунок діелектричних втрат у зоні височастотного електричного поля. Зварювання з нагріванням СВЧ забезпечують міцність і герметичність швів, високу продуктивність і економічність процесу

Ультразвукове зварювання пластмас, у принципі, мало відрізняється від ультразвукового зварювання металів і здійснюється за допомогою магніострикційного вібратора. При зварюванні ультразвуком матеріал нагрівається тільки в зоні контактуючих поверхонь, що виключає перегрів. Важливою перевагою цього виду зварювання є і те, що його можна здійснити у важкодоступних місцях.

Склеювання пластмас. Технологічний процес склеювання пластмас визначається їхньою хімічною структурою, фізико-механічними властивостями, а також властивостями клеїв

Деталі з термопластів склеюють переважно розчинниками, наприклад оргскло і вініпласт – діхлоретаном, полістирол – бензолом або розчином цих матеріалів у відповідних розчинниках.

Склеювання поліетилену, поліпропілену, фторопласта і деяких інших пластиків утруднено і вимагає попередньої обробки поверхонь, що склеюються, розчинами різних реагентів. Після такої обробки їх склеюють поліуретановими або фенолоформальдегідними клеями.

Для склеювання деталей з реактопластів застосовують клеї на основі фенолоформальдегідних, поліуретанових, поліефірних, епоксидних і інших смол.

Технологічний процес склеювання деталей складається з підготовки їхніх поверхонь (пригону, очистки) до склеювання і безпосереднього склеювання: нанесення клею, витримки для видалення розчинника, складання деталей і витримки під пресом без нагрівання або з нагріванням.

4 РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ ТА ОФОРМЛЕННЯ ЗВІТУ

4.1 Навести схему основних способів переробки пластмас у виробі.

4.2 Визначити повний час витримки T виробів з поліетилену (або полістиролу) та прес-порошку (наприклад, К-15-2, К-17-2 або К-18-2) у формі за формулою:

$$T = \tau S,$$

де τ – питомий час витримки у формі, хв./мм. Для полістиролу та поліетилену $\tau = 1-2$ хв./мм; для прес-порошків – $1-1,2$ хв./мм [3].

S – товщина стінки виробу, мм.

Оптимальні параметри режиму пресування становлять: температура пресування $t = 140-160$ °С – для поліетилену; $t = 170-220$ °С – для полістиролу; $t = 180-200$ °С – для прес-порошків.

Тиск пресування $p = 10-25$ МПа [3].

4.3 Розрахувати необхідний манометричний тиск пресування p_m :

$$p_m = pS_g/S_{пл}$$

де S_g – площа перерізу виробу, перпендикулярного до напрямку прикладання зусилля пресування, м²;

$S_{пл}$ – площа поперечного перерізу плунжеру преса, м².

4.4 Підігріти прес-форму на 20-25°С вище від визначеної температури пресування, засипати необхідну кількість прес-матеріалу, користуючись мірним кошиком та поставити форму у піч на 5-7 хвилин. Провести пресування виробу на пресі, точно витримуючи необхідний манометричний тиск та повний час витримки.

4.5 Видалити виріб з прес-форми, очистити форму від решток прес-матеріалу. Оцінити якість виробу (точність розмірів, суцільність структури, наявність чи відсутність облою). Зробити висновки по роботі, обґрунтувавши вибір температури, тиску пресування та часу витримки при пресуванні.

5 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

5.1 Як здійснюють пряме, литвеве пресування та лиття під тиском пластмас?

5.2 Що таке екструзія?

5.3 Що являють собою процеси пневматичного та вакуумного формування?

5.4 Які пластмаси піддають контактному формуванню, вихровому напиленню?

5.5 Які особливості обробки пластмас у твердому стані?

5.6 Які існують способи зварювання та склеювання пластмас?

ГУМИ. КЛАСИФІКАЦІЯ ТА ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ВИРОБІВ

Методичні вказівки до лабораторної роботи № 8

МЕТА РОБОТИ – ознайомитись з класифікацією гум; технологією виготовлення гумових виробів методом пресування; обладнання, пристрої, інструмент; набути навичок вулканізації гуми.

1 ВКАЗІВКИ З САМОПІДГОТОВКИ ДО РОБОТИ

1.1 Завдання для самостійної підготовки

Ознайомитися:

- з компонентами, які входять до складу гум; їх класифікацією за призначенням;
- з технологією виробництва гумових виробів: пластикацією каучуку; приготуванням суміші, їх формуванням; складанням гумових виробів та вулканізацією.

1.2 Питання для самопідготовки

1.2.1 Склад та властивості гуми.

1.2.2 Пластифікація каучуку. Приготування суміші для отримання виробів.

1.2.3 Сутність: каландрування, шприцювання, формування, лиття під тиском, конвекції.

1.2.3 Використання виробів з гуми.

1.3 Рекомендована література

1. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство / А.С. Опальчук та ін. / за ред. А.С. Опальчука. – Ніжин: ТОВ «Видавництво «Аспект-поліграф», 2011. – 792 с.: іл.

2. Прикладне матеріалознавство: підручник для вищих навчальних закладів III-IV ступенів акредитації / Авт. колектив: Сушко О.В., Посвятенко Е.К., Кюрчев С.В., Лодяков С.І. – Мелітополь: ТОВ «Forward press», 2019. – 352 с.: іл.

2 ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

2.1 Програма роботи

Навести:

- коротку характеристику гуми, її складу, різновидів та властивостей;
 - класифікацію гуми за призначенням;
 - провести вулканізацію сирої гуми, визначивши температуру вулканізації за допомогою термопари та визначивши час вулканізації.
 - провести випробування гум на пружні властивості.
- Скласти звіт по роботі, зробити висновки.*

2.2 Оснащення робочого місця

2.2.1 Зразки сирої гуми.

2.2.2 Вулканізатор.

2.2.3 Термопара.

2.2.4 Годинник.

3 ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Гумою називається продукт вулканізації каучуку сіркою або іншою речовиною. Серед конструкційних матеріалів тільки гума відзначається еластичністю. Тобто здатністю до великих зворотних деформацій (200-800%) у широкому інтервалі температур. Гумові вироби, крім еластичності, характеризуються достатньо великою міцністю, корозійною стійкістю та зносостійкістю. Вони газо- та водонепроникні, мають добрі електроізоляційні властивості і можуть також, залежно від складу, бути електропровідними. До інших спеціальних властивостей гуми належать тепло-, бензо-, оливо- та морозостійкість, здатність поглинати вібрацію, стійкість до радіації.

Вироби з гуми відіграють важливу роль в усіх галузях техніки, в медицині та побуті.

Найважливішим компонентом гуми є натуральний або синтетичний каучук, від якого залежать основні властивості гумового матеріалу. *Натуральний каучук* отримують з соку каучуконосних рослин (наприклад, гевеї). *Синтетичний каучук* – речовина, за властивостями близька до натурального. Його отримують синтезом простих органічних речовин, так званих каучукогенів (стирол, бутілен, бутадієн та ін.) і полімеризацією їх у каучукоподібний продукт. Сировиною для виробництва каучукогенів є нафтопродукти, природний газ, деревина тощо.

Вулканізатори (сірка, селен, натрій та ін.) додаються в кількості 1-5 %. Внаслідок певних хімічних реакцій вулканізатора з каучуком

утворюється високоеластична гума. Головним вулканізатором є сірка. Змінюючи її кількість у складі гумової суміші, отримують гуму, яка має різні властивості: додаючи 2-8 % сірки – м'яку гуму; при 12-20 % – напівтверду, а при 25-50 % – тверду гуму (ебоніт). Вулканізацію можна активізувати оксидами магнію, свинцю, цинку та ін.

Зміцнювачі – дрібнодисперсні порошки сажі, оксиду кремнію або оксиду цинку – додають для підвищення міцності, твердості та стійкості гумових виробів. Для відповідальних гумових виробів (шини, шланги високого тиску, привідні паси та ін.) використовують волокнисті зміцнювачі з синтетичних волокон або металевого дроту, покритого латунню, щоб підвищити зчеплення дроту з полімером.

Пластифікатори (парафін, каніфоль, стеаринова кислота, рослинні олії) сприяють рівномірному розподілу компонентів у суміші, полегшують формування виробів і підвищують їх морозостійкість.

Барвники (мінеральні та органічні) надають гумовим виробам бажаного кольору.

Сукупність технічних властивостей гумових матеріалів дає змогу застосовувати їх для амортизації та демпфірування, хімічного захисту деталей машин, трубопроводів, шлангів, ущільнення і герметизації в повітряному та рідких середовищах, для покришок і камер коліс літаків та автотранспорту тощо. Номенклатура гумових виробів налічує понад 40000 найменувань.

3.1 Класифікація гум за призначенням

За призначенням гуми поділяються на гуми загального та спеціального призначення (спеціальні).

Гуми загального призначення. До цієї групи належать натуральний каучук (НК) і три види синтетичних канчуків, які відрізняються речовинами, що додаються для полімеризації:

- СКБ (синтетичний каучук бутадієновий);
- СКС (синтетичний каучук бутадієнстирольний) – найбільш розповсюджена гума загального призначення;
- СКИ (синтетичний каучук ізопреновий).

Гуми загального призначення можуть працювати у повітрі, воді, слабких розчинах кислот та лугів в інтервалі температур від -35 до 130 °С. З них виробляють шини, ремні, конвеєрні стрічки, різні

гумотехнічні вироби (ущільнювачі, вібро- та звукоізолятори, протиударні та силові деталі тощо).

Гуми спеціального призначення. Спеціальні гуми підрозділяються на мастилобензостійкі та стійкі до гідравлічних рідин, тепло- та морозостійкі, світлоозоностійкі, зносостійкі, електротехнічні. Потрібних властивостей досягають додаванням до канчуків тих чи інших речовин. Не зупиняючись на складі гум цього виду і конкретних марках, коротко охарактеризуємо їх властивості.

Мастилобензостійкі та стійкі до гідравлічних рідин гуми (СКН, БАК різних марок) надійно працюють в середовищах палива, мастила, гідравлічних рідин; вібростійкі, не втрачають своєї еластичності до -35 – 60 °С залежно від марки. З них виготовляють мастилобензостійкі вироби (манжети, ущільнювальні прокладки, рукави тощо), ущільнення для з'єднань гідравлічних систем, діафрагм, насосів.

Теплостійкі та морозостійкі гуми працюють у достатньо широкому інтервалі температур. Так, резину СКТ використовують в умовах експлуатації від -60 до 250 °С, СКТФВ – від -100 до 300-400 °С.

Світлоозоностійкі гуми застосовують для діафрагм, шлангів, ущільнювачів. Вони стійкі проти окиснення та не руйнуються в атмосфері протягом кількох років.

Зносостійкі гуми поєднують високі механічні характеристики (σ_b до 60 МПа) з морозостійкістю (до -75 °С) і достатньою теплостійкістю (до 130 °С). Їх використовують для автомобільних шин, конвеєрних стрічок, захисту труб та жолобів для транспортування абразивних матеріалів.

Електротехнічні гуми підрозділяються на електроізоляційні та електропровідні. Електроізоляційні використовують для ізоляції струмопровідних жил проводів і кабелів, для спеціальних рукавичок, взуття. Електропровідні застосовують для екранованих кабелів.

3.2 Процес виробництва виробів з гуми

Процес виробництва виробів з гуми складається з операцій: пластифікація каучуку; виготовлення гумової суміші (сирої гуми); перероблення її у напівфабрикати й вироби; вулканізація.

Пластифікація каучуку проводиться з метою одержання необхідної пластичності та однорідності маси. Для цього розрізаний на шматки каучук пропускають декілька разів через вальці (15-20 хв.),

нагріті до 40-50 °С, завдяки чому каучук набуває пластичності та стає готовим до наступного змішування.

Приготування суміші складається зі змішування каучуку з інгредієнтами за допомогою спеціальних змішувальних вальців, при цьому каучук набуває пластичності та однорідності. Одночасно послідовно вводять інгредієнти (таким чином отримують сиру гумову суміш у вигляді аркушів).

Складність виготовлення гумових сумішей полягає в тому, що дуже щільну речовину (каучук) змішати з порошкоподібними та рідкими компонентами. В результаті одержують сиру гуму – однорідну пластичну і малопружну масу.

Далі йде отримання напівфабрикатів або виробів: отримують формові вироби, одержувані шляхом пресування та вулканізації у формах або отримують неформові вироби, виготовлені методом склеювання та подальшої вулканізації.

Для одержання формових виробів сиру суміш поміщають у форму та піддають дії тепла та тиску, у результаті чого одержують вироби, які точно відповідають конфігурації та розмірам робочої порожнини форми.

При виготовленні неформових виробів гумову суміш спочатку переробляють на черв'ячних пресах, потім виконують здвоєння (дублювання) аркушів гуми та прогумованої тканини; здійснюють рубання заготовок з листової гуми, вирізають круглі та фасонні заготовки та склеюють.

Основними видами перероблення гумової суміші є: каландрування (формування листової гуми на багатовалкових машинах – каландрах); шприцювання (безперервне витискання гумових профілів); пресування (формування виробів складної конфігурації у підігрітій прес-формі); прогумовування тканини на каландрах.

Вулканізація – завершальна операція при виготовленні гумових виробів. Під час вулканізації вулканізуючі речовини вступають в реакцію з лінійними молекулами каучуку і утворюють просторову молекулу гуми. Вулканізація може бути *гарячою та холодною*.

Гарячу вулканізацію проводять в автоклавах, котлах або у прес-формах при температурі 130-150 °С і тиску 1-2 МПа. При холодній вулканізації виріб на певний час занурюють у розчин хлористої сірки у сірковуглеці або чотири хлористому вуглеці з метою насичення його

сіркою. Холодна вулканізація застосовується лише при виготовленні тонкостінних виробів.

Внаслідок вулканізації виріб стає міцнішим, пружним, підвищується його стійкість до теплоти та хімічного впливу.

3.3 Використання виробів з гуми

Вироби з гуми широко використовуються для потреб господарського комплексу завдяки їх специфічним властивостям. На даний час використовують такі види гуми:

– м'які для пневматичних шин, гумових виробів і деталей промисловості та широкого вжитку з твердістю 35-90 (по Шору);

– жорсткі або ебонітові для електротехнічних деталей, хімічно стійкого обладнання і т. ін.;

– пористі або губчаті, які використовують у виробництві амортизаторів, сидінь та виробів широкого вжитку;

– пастоподібні гуми для герметизації та ущільнення.

Гумові деталі, які використовуються в машинобудуванні, поділяють за призначенням на наступні групи:

ущільнювачі – контактні та безконтактні, рухомі та нерухомі, монолітні і пористі, суцільні та з порожнинами, каркасні та касетні, односторонні та двосторонні, радіальні та торцеві та ін.;

вібро-, звукоізоляційні та протиударні – гумові та гумово-металеві, рівно частотні та нерівно частотні, зварні та складені, віброізоляційні та протиударні;

силові – шестерні, корпуси насосів, деталі муфт, гумово-металеві шарніри, деталі приводів та ін.;

опори ковзання – гумово-металеві підшипники, гумові та гумово-металеві підп'ятники, а також окремі гумово-металеві сегменти підшипників;

гнучкі труби транспортування рідин та газів – сільфони, з'єднувальні муфти, патрубки, труби, з'єднувальна арматура та ін.;

протизношувальні – протекторні кільця, котки, асфальтохідні башмаки;

фрикційні деталі та інструменти – охоплюють велику групу гумових виробів, представниками якої є шліфувальні диски та фрикційні колеса;

несилові та захисні – килими, ручки, педалі, «гармошки», муфти та ін.;

декоративні – смуги, шнури, різні профілі.

Представниками гумовотканинних виробів є напірні рукави для палива, масла, води, розчинників кислот, лугів і газів, які можуть бути й гнучкими трубопроводами повітряних гальм. Для збільшення міцності та стійкості змінанню рукава армують металевим дротом. Гумовотканинні приводні ремені бувають плоскими та клиноподібними. Останні виготовляють з кордовим шнуром або кордовою тканиною в несучому шарі ременю. Транспортні стрічки застосовують для переміщення вантажів по горизонталі або під невеликим нахилом. Шини бувають пневматичними, у яких амортизаційна здатність забезпечується стисненням повітрям і частково еластичними властивостями шинних матеріалів та масивними або суцільногумовими, у яких використовується тільки еластичність самого гумового матеріалу.

4 РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ ТА ОФОРМЛЕННЯ ЗВІТУ

4.1. Наведіть коротку характеристику гуми, її складу, різновидів та властивостей.

4.2 Наведіть класифікацію гуми за призначенням.

4.3 Коротко опишіть процес виготовлення виробів з гуми.

4.4 Проведіть вулканізацію зразка сирої гуми, визначивши температуру вулканізації за допомогою термометра та визначивши час вулканізації.

4.5 За допомогою динамометра проведіть випробування вулканізованого зразка гуми на пружність, зробіть висновки по роботі.

5 КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

5.1 Що таке гума?

5.2 Які інгредієнти входять до складу гуми?

5.3 Які каучуки використовують для виготовлення гумових виробів?

5.4 Як поділяються гумові вироби за призначенням?

5.5 З яких операцій складається процес виробництва виробів з гуми?

5.6 Які існують види перероблення гумової суміші?

5.7 Що являє собою гаряча та холодна вулканізація?

ВИЗНАЧЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ МЕТАЛЕВИХ ПОРОШКІВ

Методичні вказівки до лабораторної роботи № 9

МЕТА РОБОТИ – ознайомитися з основними властивостями металевих порошків та технологією виготовлення деталей методом порошкової металургії.

1 ВКАЗІВКИ З САМОПІДГОТОВКИ ДО РОБОТИ

1.1 Завдання для самостійної підготовки

Ознайомитися з:

– основними властивостями та технологією виготовлення деталей методом порошкової металургії;

Вивчити:

– будову і роботу обладнання, яке застосовується для виготовлення порошкових виробів;

1.2 Питання для самопідготовки

1.2.1 З яких етапів складається технологічний процес виробництва виробів з порошків?

1.2.2 Основні методи отримання металевих порошків. Вихідні матеріали та технології. Галузь застосування.

1.2.3 Підготовка та складання шихти: змішування порошків, попередня обробка. Пресування порошків

1.2.4 Які види браку існують при пресуванні та спіканні при виготовленні виробів з порошків? Міри з їх запобігання.

1.3 Рекомендована література

1. Прикладне матеріалознавство: підручник для вищих навчальних закладів III-IV ступенів акредитації / Авт. колектив: Сушко О.В., Посвятенко Е.К., Кюрчев С.В., Лодяков С.І. – Мелітополь: ТОВ «Forward press», 2019. – 352 с.: іл.

2. Сушко О.В., Кюрчев С.В. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів: Навчальний посібник. – Мелітополь: ТОВ «Видавничий будинок ММД», 2010. – 232 с.: іл.

2 ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

2.1 Програма роботи

Ознайомитись з:

– технологією виробництва металокерамічних виробів: способами отримання металевих порошків; підготовкою та складанням шихти; пресуванням.

Вивчити:

– класифікацію порошкових матеріалів.

Провести дослідження:

– підготувати порошкову суміш, визначивши густину компактного виробу ρ_k ;

– виготовити виріб, визначивши величину тиску пресування p та розрахувавши контрольний манометричний тиск p_m ;

Скласти звіт по роботі:

– номер, назва та мета роботи;

– навести розрахунки фактичних густини та пористості виробу.

– зробити висновки по роботі, оцінити якість виробу за фактичною пористістю виробу.

2.2 Оснащення робочого місця

2.2.1 Лабораторний прес. Ваги з гирями. Штангенциркуль.

2.2.2 Прес-форма. Змішувач, набори порошків.

2.2.3 Муфельна піч для спікання брикетів (піч для спікання у середовищі аргону).

2.2.4 Балон з аргоном.

3 ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Технологія порошкової металургії заснована на використанні вихідної сировини у вигляді металевих порошків або їх сумішей з неметалевими порошками для виготовлення виробів без розплавлення основного компонента.

3.1 Класифікація порошкових матеріалів

Сучасні порошкові вироби класифікуються за різними ознаками, але основною є використання за призначенням виробів у техніці: конструкційні деталі (пористість 1-3 %); антифрикційні матеріали (пористість 15-35 %); фрикційні матеріали (пористість 15-39 %); пористі матеріали (пористість 28-85 %); електротехнічні вироби

(пористість 15-20 %); тугоплавкі метали - ванадій, титан, ніобій, молібден та ін.; тверді сплави та інструментальні матеріали.

Конструкційні деталі. Найбільш широко (60 %) використовують конструкційні деталі, виготовлені на основі залізних порошків, решта - на основі порошків кольорових металів і сплавів. Такі вироби отримали найбільш широке застосування в автомобіле- та приладобудуванні, сільськогосподарському машинобудуванні. Це втулки, фланці, шестерні, муфти, стрічки, кулачки, зірочки, стакани та ін.

Антифрикційні матеріали (ЖГ-3, БрОГ 9-3) використовуються у вузлах тертя, де необхідно забезпечити низький коефіцієнт тертя та високу зносостійкість. Для виготовлення таких виробів використовують порошки міді та її сплавів, заліза, нікелю, алюмінію, кобальту. Характерною особливістю матеріалів для підшипників ковзання є введення в них різних домішок для управління антифрикційними властивостями та створення підвищеної пористості, яка частково виконує функцію накопичувача оливи.

Фрикційні матеріали (ФМК-11, МК6-50Л, СМК-83) мають високий коефіцієнт тертя та зносостійкість та призначені для роботи в різноманітних гальмових та трансмісійних вузлах автомобілів, гусеничних машин, верстатів, пресів тощо. трансмісійні вузли забезпечують передачу крутного моменту з одного валу на інші та працюють як у сухих середовищах (сільськогосподарські трактори, штампові преси, літаки), так і в закритих вузлах у середовищі оливи (силові трансмісії тракторів, металорізальні верстати, вантажні автомобілі та ін.).

Фрикційні елементи виготовляють у вигляді дисків, колодок різної конфігурації, секторних накладок, стрічок та ін., які кріпляться до каркасу, що не несе механічні навантаження. У фрикційних металокерамічних матеріалах поєднується металева зв'язуюча матриця, що має необхідні властивості міцності, зносостійкості, пластичності, жароміцності з крихкими наповнювачами, які вводяться для підвищення та стабілізації коефіцієнта тертя і запобігають схоплюванню. Наповнювачі за об'ємом становлять 60-80 % і більше.

Для підвищення коефіцієнта тертя металокерамічних матеріалів на основі заліза вводять тугоплавкі сполуки типу карбідів, силіцидів, нітридів, кремнію та алюмінію. Характерною є обов'язкова присутність міді (10-20 %). такі матеріали рекомендується використовувати для вузлів з важкими умовами роботи, при яких

температура поверхні тертя може досягати 1200-1300 °С (гальмівні пристрої швидкохідних потягів, літаків, багатодискові гальма у промисловому машинобудуванні тощо).

Металокерамічні матеріали на основі міді (бронзи) мають достатньо високий коефіцієнт тертя порівняно з матеріалами на основі заліза, значно менше зношують контактну поверхню сталльної або чавунної деталі. Вони широко використовуються в автомобіле-, тракторобудуванні, металообробних верстатах.

Гальмівні та трансмісійні вузли тертя, які працюють в умовах рідкого змащування, використовуються у муфтах зчеплення, гальмах, фрикційних передачах, синхронізаторах. Їх переваги полягають у плавності включення, великій довговічності та надійності, швидкому охолодженні. Їх коефіцієнт тертя в умовах змащення приблизно у три рази нижчий, ніж при сухому терті, що вимагає для таких систем тертя збільшувати діаметр дисків, їх кількість або підвищувати питоме навантаження на поверхню тертя.

Фрикційні матеріали у масляних середовищах можуть працювати при швидкостях більше 100 м/с. Для цих умов використовують матеріали на основі мідних сплавів. Вони характеризуються високою зносостійкістю в процесі роботи виготовлених із них муфт зчеплення, фрикціонів, гальм. Як правило, в них використовують добавки графіту та свинцю у якості твердого мастила.

Пористі металокерамічні матеріали мають ряд переваг порівняно з паперовими, скляними та мінералокерамічними. Вони мають високу міцність, теплостійкість, допускають багаторазову регенерацію, не засмічують середовище продуктами фільтрів. Такі матеріали отримують з порошоків (20-50 %), волокон (40-60 %) та коміркового матеріалу (більше 70 % пористості).

Однією з найважливіших характеристик фільтрів є їх проникність та здатність пропускати крізь себе рідини і газу, яка зростає зі збільшенням пористості матеріалу та характеризується коефіцієнтом проникності. Порошкові пористі металокерамічні матеріали поділяються на: фільтруючі, капілярно-пористі та із спеціальними механічними властивостями. До фільтруючих належать фільтри, змішувачі, сепаратори, аератори, глушники, пневмоконвейсери і т. п. З капілярно-пористих порошкових матеріалів виготовляють конденсатори, випаровувач, гідро затвори. Пористі

порошкові матеріали зі спеціальними фізичними властивостями застосовують як каталізатори, пластини акумуляторних батарей, антифрикційні матеріали, напівпровідникові матеріали, пористі катоди.

Електротехнічні металокерамічні вироби: магнітом'які (змінні магніти), магнітотверді (постійні магніти) матеріали, електроконтакти, ферити (спечені окисли заліза з окислами інших металів), електродні покриття, електроди електрошлакового зварювання та ін.

Тугоплавкі метали ($T_{пл}W = 3410$ °С; $T_{пл}Ta = 2995$ °С; $T_{пл}Mo = 2625$ °С; $T_{пл}Nb = 2468$ °С) отримують з руд фізико-хімічними методами. Для виготовлення з них металокерамічних твердих сплавів їх порошки піддають хіміко-термічній обробці (цементації) та отримують таким чином порошки карбідів цих металів.

Тверді сплави та інструментальні матеріали виготовляють у вигляді пластинок різної форми та розмірів з порошків карбідів тугоплавких металів шляхом пресування і спікання. Для зв'язки частинок порошку карбідів використовується металевий кобальт, який у цих сплавах утворює м'яку пластичну евтектику. Тверді сплави використовують в основному для виготовлення різальних інструментів, що значно переважають швидкорізальні сталі за твердістю, теплостійкістю, зносостійкістю і т.п.

Крім металокерамічних, для інструменту використовують мінералокераміку, основою якої є технічний глинозем, якій піддається спіканню при 1720-1750 °С. Використовуються такі матеріали для чистової обробки термічно зміцнених металів і сплавів. Якщо в мінералокераміку додати вольфрам, молібден, бор, титан, нікель, то такі матеріали називають *керметами* та використовують для обробки важкооброблюваних сталей і сплавів.

3.2 Технологія виробництва виробів

Основними етапами технології виготовлення виробів методом порошкової металургії є: виробництво та сортування порошків; приготування шихти із порошків різних фракцій і матеріалів; формування виробів; спікання спресованих із порошкової шихти брикетів для надання необхідної міцності; фінішне оброблення виробів (просочення, калібрування, механічне оброблення і т. ін.).

Металеві порошки отримують двома основними методами: фізико-хімічним і механічним. Застосування кожного з цих методів залежить насамперед від стану та властивостей вихідних матеріалів,

які використовуються для отримання порошків. Більш універсальними є фізико-хімічні методи.

Для отримання однорідної механічної суміші змішують металеві порошки, різні за фракціями та властивостями компонентів. Така суміш називається шихтою. Шихту потрібного хімічного та гранульованого складу виготовляють у спеціальних механічних барабанах. З підготовленої шихти формують вироби (брикети) методом пресування. Існують багато способів отримання брикетів: у прес-формах; гаряче пресування, прокатування шихти; мундштучне, гідростатичне, гідравлічне, електромагнітне, вібраційне формування; динамічне формування (вибух).

З метою забезпечення необхідних фізико-хімічних та механічних властивостей спресовані вироби піддаються спіканню. Остаточним обробленням спеклих виробів є оброблення різанням, просочення, калібрування, хіміко-термічне оброблення і т. ін.

Головною перевагою порошкової металургії є те, що вона дозволяє одержати вироби, які неможливо виготовити іншими методами. Наприклад, це підшипники ковзання; інструментальні та жароміцні матеріали на основі тугоплавких карбідів, нітридів, боридів; композитні матеріали з металів і неметалів типу «графіт-бронза»; пористі вироби (фільтри); матеріали з особливими магнітними, електричними та іншими властивостями. Але порошкова металургія – дорогий метод отримання заготовок. Тому економічно доцільно застосовувати цей метод лише при умові масового виробництва.

Найбільш поширеним методом формування порошкових виробів є холодне пресування, яке буває одnobічним (рис. 9.1) та двобічним.

Властивості виробів значною мірою визначаються їх пористістю P (вміст пор у відсотках в об'ємі виробу) та фактичною густиною виробу $\rho_{вир}$. Між цими показниками існує співвідношення:

$$P = (1 - \rho_{вир} / \rho_k) \cdot 100, \%$$

де $\rho_{вир}$ – густина виробу з порошків після спікання, г/см³;

ρ_k – густина компактного (безпористого) виробу, виготовленого з тієї ж суміші порошків, г/см³.

При пресуванні сумішей різнорідних компонентів їх густина (г/см³) визначається за правилом адитивності:

$$\rho_k = (a_1\rho_1 + a_2\rho_2 + a_3\rho_3 + \dots + a_n\rho_n) \cdot 100$$

де a_1, a_2, a_3, a_n – вміст окремих компонентів у суміші, % (за масою);

$\rho_1, \rho_2, \rho_3, \rho_n$ – густина окремих компонентів суміші, г/см³.

Залежно від необхідної пористості (або густини) порошкових матеріалів, яка визначається тиском пресування, можна визначити необхідний тиск ρ (МПа) при пресуванні на одиницю площі поперечного перерізу виробу (перпендикулярного напрямку пресування).

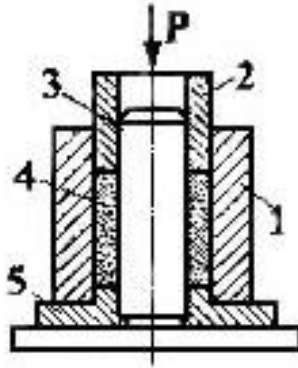


Рис. 9.1. Схема виготовлення втулки холодним однобічним пресуванням:
1 – матриця; 2 – пуансон; 3 – стрижень; 4 – втулка; 5 – підставка

Залежність пористості Π і густини виробів із залізного порошку $\rho_{вир}$ від тиску пресування ρ показано на рисунку 9.2. Зусилля пресування контролюють за манометричним тиском ρ_m у гідравлічній системі преса, який знаходять за формулою:

$$\rho_m = \rho S_e / S_{пл}$$

де ρ – тиск пресування (на одиницю площі поперечного перерізу виробу), МПа;

S_e – площа перерізу виробу, перпендикулярного до напрямку прикладення зусилля пресування, см²;

$S_{пл}$ – площа поперечного перерізу плунжера преса, см²

Необхідну масу порошкової суміші (навіску) Q , яка необхідна для виробництва одного виробу розраховують за формулою:

$$Q = \rho_k V (1 - \Pi / 100) \cdot K$$

де V – об'єм порошкового виробу, см³;

$K = 1,01-1,03$ – коефіцієнт, який враховує втрати маси виробу під час пресування та спікання.

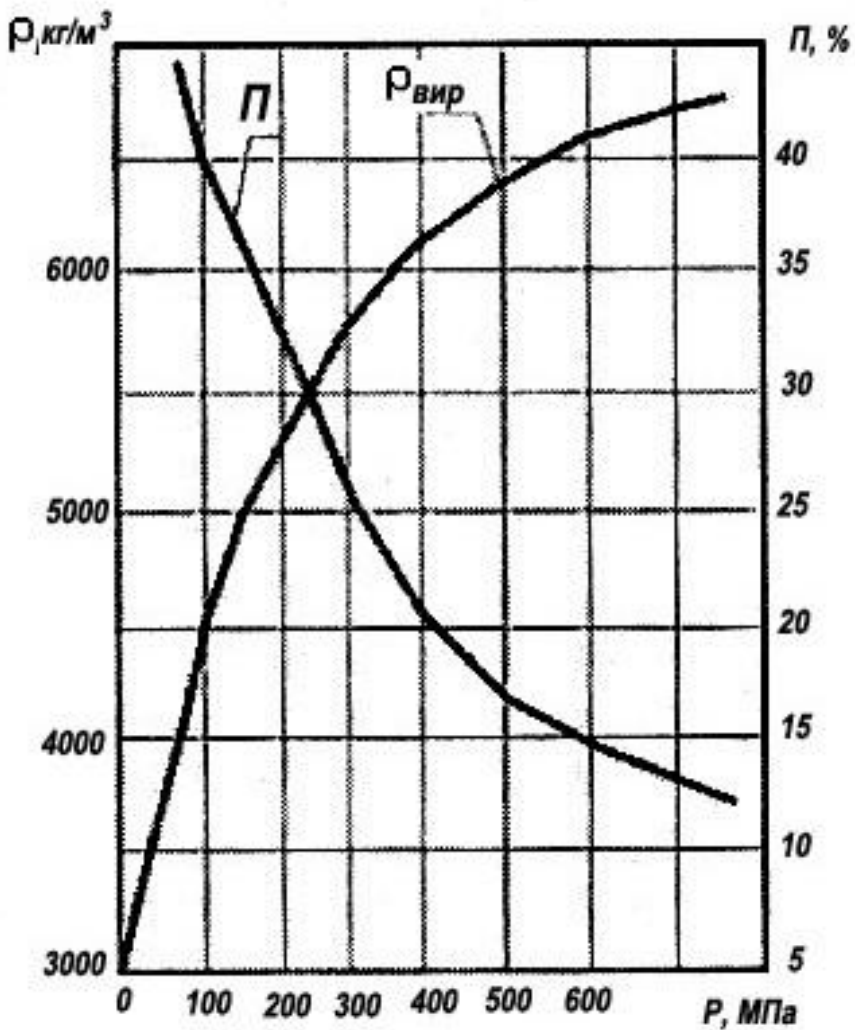


Рис. 9.2 . Залежність пористості Π і густини виробів із залізного порошку $\rho_{\text{вир}}$ від тиску пресування

4 РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ ТА ОФОРМЛЕННЯ ЗВІТУ

4.1. Замалювати кресленик виробу (рис. 9.3), навести склад порошкової суміші (y % за масою) та необхідну пористість виробу за індивідуальним завданням.

4.2. Зважити компоненти суміші згідно індивідуального завдання та змішати їх у змішувачі.

4.3. Визначити густину компактного виробу ρ_k , за креслеником розрахувати об'єм виробу V .

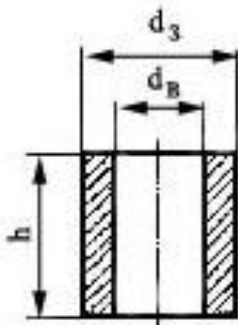


Рис. 9.3 - Втулка

4.4. Розрахувати та зважити масу порошкової суміші Q , враховуючи задану пористість Π .

4.5. За графіком (рис. 9.2) визначити тиск пресування ρ (відповідно до заданої пористості Π) та розрахувати контрольний манометричний тиск ρ_m .

4.6. Відформувати виріб на пресі та провести його спікання.

4.7. Визначити розміри виготовленого виробу d_3 , d_6 , h (рис. 9.3) та його масу (m) і розрахувати фактичну густину за формулою: $\rho_{\text{факт}} = 4m / \pi (d_3^2 - d_6^2) h$.

4.8. Розрахувати пористість отриманого виробу та порівняти її з заданою в індивідуальному завданні.

4.9. Зробити висновки по роботі щодо впливу параметрів пресування і спікання на відповідність заданої та фактичної пористостей отриманого виробу.

5 КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

5.1 В чому суть порошкової металургії?

5.2 Які методи отримання металевих порошків?

5.3 Які існують технологічні етапи виготовлення порошкового виробу?

5.4 Назвіть способи формування виробів з металевих порошків.

5.5 В чому полягає мета спікання виробів після формування?

5.6 Від чого залежить пористість порошкового виробу?

ОСНОВНІ ПРИНЦИПИ КЛАСИФІКАЦІЇ ТА МАРКУВАННЯ СТАЛЕЙ І ЧАВУНІВ В ЗАРУБІЖНИХ КРАЇНАХ

Методичні вказівки до лабораторної роботи № 10

МЕТА РОБОТИ – набуття знань з основних принципів класифікації та маркування сталей і чавунів в інших країнах

1 ВКАЗІВКИ З САМОПІДГОТОВКИ ДО РОБОТИ

1.1 Завдання для самостійної підготовки

Ознайомитись з:

- основними принципами класифікації та маркування сталей у США, Німеччині, Японії, Великій Британії, Італії, Франції, Швеції.
- відповідністю іноземних сталей та чавунів ознакам ДСТ.

Знати:

- принципи маркування вуглецевих сталей та чавунів за кордоном.

1.2 Питання для самопідготовки

1.2.1 Які існують системи класифікації сталей в США, Німеччині, Японії, Великій Британії, Італії, Франції, Швеції?

1.2.2 Як позначаються сірі, ковкі, високоміцні чавуни відповідно до класифікацій в різних закордонних країнах?

1.3 Рекомендована література

1. Прикладне матеріалознавство: підручник для вищих навчальних закладів III-IV ступенів акредитації / Авт. колектив: Сушко О.В., Посвятенко Е.К., Кюрчев С.В., Лодяков С.І. – Мелітополь: ТОВ «Forward press», 2019. – 352 с.: іл.

2. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство/ А.С. Опальчук та ін./за ред. А.С. Опальчука. – Ніжин: ТОВ «Видавництво «Аспект-поліграф», 2011. – 792 с.: іл.

2 ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

2.1 Програма роботи

2.1.1 Навести класифікацію та маркування сталей у США, Німеччині, Японії, Великій Британії, Італії, Франції, Швеції.

2.1.2 Навести маркування сірих, ковких та високоміцних чавунів у зарубіжних країнах.

2.1.3 Вказати марки сталей і чавунів та основне їх застосування у зарубіжних країнах

2.1.4 Скласти і захистити звіт по роботі.

2.2 Оснащення робочого місця

2.2.1 Методичні вказівки. Конспект лекцій.

2.2.2 Металографічний мікроскоп. Колекція мікрошліфів.

2.2.3 Варіанти індивідуальних завдань до лабораторної роботи.

3 ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

На відміну від країн СНД, де діють єдині державні стандарти на металургійну продукцію, в закордонних країнах існує інше маркування сталей і чавунів.

3.1 Принципи маркування сталей

Основні принципи класифікації та маркування сталей у Сполучених Штатах Америки.

Технічні суспільства, асоціації та інститути, члени яких розробляють, виготовляють або купують сталеві вироби, видають стандартні специфікації, які мають наступні позначення:

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 (UNS) класифікації матеріалів була розроблена Американським товариством з випробувань і матеріалів і товариством автомобільних інженерів. Номер UNS означає хімічний склад матеріалу і призначений для кожного хімічного складу металевого сплаву. Позначення сплаву за системою UNS складається з букви і п'яти цифр. Букви 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 і сталі та використовується

дуже поширено. Вуглецеві сталі містять $Mn < 1,65 \%$, $Si < 0,60 \%$ і $Cu < 0,60 \%$. Вони включені в 1xxx групи в SAE-AISI системі та розділені на чотири серії за властивостями. Приклади хімічних складів і призначення вуглецевих сталей за класифікацію SAE - AISI та UNS наведені в таблицях 10.1 та 10.2.

Таблиця 10.1

Основні групи вуглецевих сталей за класифікацією SAE-AISI

Позначення	Вміст легуючих елементів, %	Примітка
10xx*	Прості ($Mn < 1,00$)	* Останні дві цифри вказують на середній вміст вуглецю (у сотих відсотка, %)
11xx	Леговані сіркою 0,1 - 0,2	
12xx	Леговані сіркою та фосфором	
15xx	Прості ($Mn = 1,00 - 1,65$)	

Таблиця 10. 2

Хімічний склад та призначення вуглецевих сталей США

Номер UNS	Номер SAE-AISI	Хімічний склад, %				Призначення
		C	Mn	P_{max}	S_{max}	
G10100	1010	0,08-0,13	0,3-0,6	0,04	0,05	Деталі машин, механізмів, верстатів і конструкцій низької міцності
G10200	1020	0,18-0,23	0,3-0,6	0,04	0,05	Деталі конструкцій, що працюють при невисоких напругах
G10300	1030	0,28-0,34	0,6-0,9	0,04	0,05	Автомобільні і транспортні пристрої, машинобудування
G10400	1040	0,37-0,44	0,6-0,9	0,04	0,05	
G10500	1050	0,48-0,55	0,6-0,9	0,04	0,05	Вали, осі, шпинделі, штифти, штирі, болти, гвинти, шурупи
G10600	1060	0,55-0,65	0,6-0,9	0,04	0,05	
G10700	1070	0,65-0,75	0,6-0,9	0,04	0,05	Холоднокатана смуга для пружин і ресор високої розмірної точності і низької шорсткості

Вміст кремнію (табл. 10.2) визначається вимогами замовника і може знаходитися у межах менше 0,10 до 0,060 %.

Сталі можуть вироблятися з добавкою свинцю у кількості від 0,15 до 0,35 %, що позначається літерою L у середині номеру, наприклад 10L45. Сталі можуть вироблятися з добавкою бору в кількості від 0,0005 до 0,003 %, що позначається літерою B у середині номеру, наприклад 10B46.

Німецька класифікація (DIN). Розроблена інститутом Deutsches Institut für Normung. Використовують чисельні або чисельні та літерні ознаки. Приклади сталей надано в таблиці Д1 додатку 1.

Японська класифікація (JIS) розроблена комітетом японських промислових стандартів міністерства міжнародної торгівлі та промисловості. JIS класифікація починається з заголовних літер JIS з наступною буквою, що позначає вид виробу (наприклад, літера G позначає вуглецеві та низьколеговані сталі). JIS позначення даються в таблиці Д1.1 (додаток 1). Наприклад, JIS G3445 STKM11A – низьковуглецева трубна сталь з наступним хімічним складом: $C = 0,12\%$; $Si = 0,35\%$; $Mn = 0,60\%$; $P = 0,040\%$; $S = 0,040\%$.

Класифікація сталей та сплавів у Великій Британії (BS) розроблена британським інститутом стандартів (таблиця Д 1.1 додатку 1). Кожне позначення цієї класифікації включає 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 прописні літери NF розміщені ліворуч від літерно-цифрового коду. Код складається з заголовної букви з наступним рядом цифр і букв (таблиця Д1.1, додаток 1). Наприклад, 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 – заголовні літери UNI, за якими йде цифровий код продукції та абетково-цифрова ідентифікація сплаву (таблиця Д1.1, додаток 1). Наприклад, UNI 5598 3CD5 – низьковуглецева сталь для катанки з наступним

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 слідує чотиризначне число (таблиця Д1.1, додаток 1).

Відповідність ознак вітчизняних (ДСТ, ГОСТ) та іноземних сталей показані також в таблиці Д1.

3.2 Маркування, хімічний склад та застосування іноземних чавунів

Сірі чавуни. Відповідно до класифікації *ASTM* (США) сірі чавуни позначають цифрами 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, які вказують на мінімальну межу міцності на розтяг у «ksi» ($1 \text{ ksi} = 1000 \text{ фунт-сила/дюйм}^2 = 6,8948 \text{ МПа}$).

Класифікація сірих чавунів за *SAE* (США) складається з літери "G" та цифри, ділення якої на 100 дає мінімальну межу міцності на розтяг у «ksi», а за *UNS* (США) – з літери "F" та цифри. Співвідношення між марками сірого чавуну за класифікацією SAE та UNS, в залежності від форми графіту, наступне: G1800 ↔ F10004, G2500 ↔ F10005, G3000 ↔ F10006, G3500 ↔ F10007, G4000 ↔ F10011.

Хімічний склад сірих чавунів змінюється у наступних межах (мас. час., %): $C = 3,0-3,7$; $Si = 1,8-2,8$; $Mn = 0,5 - 1,0$; $S < 0,15$; $P < 0,25$.

У залежності від марки сірі чавуни мають наступне застосування:

G1800 – невідповідальні дрібні виливки;

G2500 – гальмові барабани, диски зчеплення;

G3000 – автомобільні та дизельні блоки та головки блоків циліндрів, поршні;

G3500 – дизельні блоки, гальмові барабани для важких умов роботи, диски зчеплення;

G4000 – виливки дизельних двигунів, циліндри, поршні, гільзи, розподільчі вали.

Ковкі чавуни за класифікацією *ASTM* (США) позначаються такими п'ятизначними цифрами: 32510, 35018, 40010, 45008, 45006, 50005, 60004, 70003, 80002, 90001. Перші три цифри, як що їх розділити на 10, вказують на мінімальну межу текучості в «ksi», а дві

останні – відносне видовження (δ) у %. Наприклад, позначення 50005 вказує на те, що ковкій чавун має межу текучості не менше 50 ksi (345 МПа) та $\delta > 5\%$.

Чавуни марок 32510, 35018, 40010, 45008, 45006, 50005, 60004, 70003, 80002, 90001 застосовують для виготовлення деталей, які працюють в умовах ударних навантажень при нормальних і підвищених температурах.

За системою *SAE (США)* ковкий чавун позначають: М3210, М4504, М5003, М5503, М7002, М8501, де перші дві цифри вказують на мінімальну межу текучості в «ksi», а дві останні – відносне видовження (δ) у %. Наприклад, позначення М5503 вказує на те, що ковкій чавун має межу текучості не менше 55 ksi (379 МПа) та $\delta > 3\%$.

Чавун марки М3210 застосовують для виготовлення низьконавантажених деталей, які добре оброблюються.

М4504 – компресорні розподільчі вали та маточини.

М5003 – деталі редукторів і коробок передач.

М5503 – деталі з покращеною чутливістю до індукційного гартування.

М7002 – важконавантажені деталі, тяги, шатуни, шарніри, хомути.

М8501 – важконавантажені зносостійкі деталі, шестерні.

В *Німеччині*, стандартом *DIN 1692*, ковкі чавуни маркуються наступним чином: GTS 35, GTS 45, GTS 55, GTS 65, GTS 70, де цифри вказують на мінімальну межу міцності на розтяг в кГ/мм^2 .

Французький стандарт *AP-A38811* передбачає наступне маркування: MN 35-10, MN 38-18, MP 50-5, MP 60-3, MP 70-2. Перші дві цифри вказують на мінімальну межу міцності на розтяг в кГ/мм^2 , а дві останні – відносне видовження в %.

Подібне маркування *Британського* стандарту *BS 6681*, у якому, в залежності від структури основи, наведені наступні марки чавунів:

– феритна основа: В 30-06, В 32-10, В 35-12;

– перлітна основа: Р 45-06, Р 50-05, Р 55-04, Р 60-03, Р 65-02.

Високоміцні чавуни. Марки високоміцних чавунів за класифікацією *UNC, ASTM і SAE (США)* та їх співвідношення наведено в таблицях 10.3 і 10.4.

За класифікацією *ASTM* перших дві пари цифр позначають, відповідно, мінімальну межу міцності та текучості в «ksi», а дві останніх – відносне видовження в %. За класифікацією *SAE* перші дві

цифри вказують на мінімальну межу текучості в «ksi», а дві останні – відносне видовження (δ) у %.

Таблиця 10.3

Позначення та співвідношення між марками високоміцних чавунів відповідно систем маркування ASTM і UNC

ASTM	60-40-18	65-45-12	80-55-06	80-60-03	100-70-03	120-90-02
UNC	F32800	F33100	F33800	F34100	F34800	F36820

Таблиця 10.4

Позначення та співвідношення між марками високоміцних чавунів відповідно систем маркування SAE

SAE	D4018	D4512	D5506	D7003
UNC	F32800	F33100	F33800	F34800

В залежності від марки високоміцні чавуни застосовують для наступного виробництва:

- 60-40-18 – деталі, які працюють при постійному тиску при підвищених температурах;
- 65-45-12 та 80-55-06 – загального призначення;
- 80-60-03 – валки для сушіння паперу, які працюють при 230 °С;
- 100-70-03 – найкраще співвідношення між міцністю та зносостійкістю;
- 120-90-02 – зносостійкі деталі, які працюють при високих навантаженнях;
- D 4018 – середньонавантажені деталі з гарною пластичністю;
- D 4512 – середньонавантажені деталі, які потребують середньої оброблюваності;
- D5506 – високонавантажені деталі, які потребують гарної ударної в'язкості;
- D7003 – високонавантажені деталі, які потребують дуже хорошої зносостійкості.

В інших, крім США, іноземних країнах маркування високоміцних чавунів наступне.

В Німеччині, за стандартом *DIN 1693*, високоміцні чавуни маркуються наступним чином: чавуни з феритної основою – GGG40; з феритно-перлітною основою – GGG50, GGG60; з перлітною основою – GGG70, GGG80. Цифри вказують на мінімальну межу міцності на розтяг в кГ/мм^2 .

Французький стандарт *NF A32-201* передбачає наступне маркування: чавуни з феритною основою маркуються, як FGS 38-15, FGS 42-12; з феритно-перлітною основою – FGS 50-7; з перлітною основою – FGS 60-2, FGS 70-2. Перші дві цифри вказують на мінімальну межу міцності на розтяг в кГ/мм^2 , а дві останні – відносне видовження в %.

У *Британському* стандарті *BS 2789*, у залежності від структури основи, наведені наступні марки чавунів: феритна основа – 400/18, 420/12; феритно-перлітна основа – 450/10, 500/7; перлітна основа – 600/3, 700/2, 800/2; мартенситна основа – 900/2.

Цифри в чисельнику вказують на мінімальну межу міцності на розтяг в МПа, в знаменнику – відносне видовження в %.

В *Японії* високоміцні чавуни маркують за стандартом *JIS G5502* наступним чином: FCD 40, FCD 45, FCD 50, FCD 60, FCD 70, де цифри вказують на мінімальну межу міцності на розтяг в кГ/мм^2 .

5 ПІДГОТОВКА ДО РОБОТИ ТА ОФОРМЛЕННЯ ЗВІТУ

5.1 Навести класифікацію сталей у США за різними системами, а також інших закордонних країнах

5.3 Навести класифікацію сірих, ковких та високоміцних чавунів у закордонних країнах.

5.4. Замалювати, розглядаючи під мікроскопом, мікроструктури сталей.

6 КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

6.1 Як класифікують сталі у США за різними системами?

6.2 Яке маркування сталей у США, Німеччині, Японії, Франції, Італії, Великій Британії, Швеції? Галузі застосування сталей.

6.3 Як маркують сірі, ковкі, високоміцні чавуни у зарубіжних країнах?

6.4 Відповідність ознак вітчизняних (ДСТ, ГОСТ) та іноземних сталей

ОСНОВНІ ПРИНЦИПИ КЛАСИФІКАЦІЇ ТА МАРКУВАННЯ ЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ, СПЕЦІАЛЬНИХ ЧАВУНІВ ТА КОЛЬОРОВИХ СПЛАВІВ В ЗАКОРДОННИХ КРАЇНАХ

Методичні вказівки до лабораторної роботи № 11

МЕТА РОБОТИ – набуття знань з основних принципів класифікації та маркування легованих сталей, чавунів та кольорових сплавів в інших країнах

1 ВКАЗІВКИ З САМОПІДГОТОВКИ ДО РОБОТИ

1.1 Завдання для самостійної підготовки

Ознайомитись з:

– основними принципами класифікації легованих сталей, спеціальних чавунів та кольорових сплавів у закордонних країнах;

Знати:

– принципи маркування легованих сталей, спеціальних чавунів та кольорових сплавів у закордонних країнах.

1.2 Питання для самопідготовки

1.2.1 Як маркуються леговані сталі та леговані чавуни у США та Великій Британії?

1.2.2 Як маркуються іноземні кольорові метали та сплави на основі міді, алюмінію, магнію, цинку, свинцю, олова та титану?

1.3 Рекомендована література

1. Прикладне матеріалознавство: підручник для вищих навчальних закладів III-IV ступенів акредитації / Авт. колектив: Сушко О.В., Посвятенко Е.К., Кюрчев С.В., Лодяков С.І. – Мелітополь: ТОВ «Forward press», 2019. – 352 с.: іл.

2. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство / А.С. Опальчук та ін. / за ред. А.С. Опальчука. – Ніжин: ТОВ «Видавництво «Аспект-поліграф», 2011. – 792 с.: іл.

2 ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

2.1 Програма роботи

2.1.1 Ознайомитися з:

- основними принципами класифікації та маркування легованих сталей у США.
- хімічним складом зносостійких, корозійностійких та жаростійких легованих іноземних чавунів.
- принципами маркування іноземних сплавів на основі міді, алюмінію, магнію, цинку та титану.

Скласти та захистити звіт по роботі

2.2 Оснащення робочого місця

2.2.1 Методичні вказівки до лабораторних робіт.

2.2.2 Конспект лекцій, література та довідки.

2.2.3 Металографічний мікроскоп, колекція мікрошліфів.

2.2.4 Варіанти індивідуальних завдань до лабораторної роботи.

3 ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

3.1 Маркування іноземних легованих сталей

Маркування іноземних легованих сталей за класифікацією *SAE* – *AISI* складається з чотиризначного числа та перші дві цифри позначають групи легованих сталей, останні дві цифри – вміст вуглецю (у сотих частках відсотка). Основні групи сталей відповідно до класифікації *SAE* – *AISI* (США) наведені в таблиці 11.1. Відповідність вітчизняних та іноземних сталей наведено у додатку 1.

3.2 Маркування іноземних легованих чавунів

За стандартом *ASTM* (США) та *BS* (Велика Британія) леговані чавуни поділяються на три класи та типи А, В, С, D, Е, F, G. Маркування легованих чавунів за класифікацією *DIN* (Німеччина) позначається набором цифр та літер. Цифра перед літерами позначає вміст вуглецю, літери позначають назву основних легуючих елементів, цифри після літер показує їх вміст. Наприклад, марка 260CrMoNi20 21 2 показує, що середній склад чавуну наступний: *C* ~ 2,6 %; *Cr* ~ 20 %; *Mo* ~ 21 %; *Ni* ~ 2 %.

Таблиця 11.1

Основні групи сталей за класифікацією *SAE – AISI*

Позначення	Назва основних легуючих елементів	Вміст легуючих елементів, %
13xx	Марганцеві	Mn \approx 1,75
23xx	Нікелеві	Ni \approx 3,50
25xx		Ni \approx 5,00
40xx	Молібденові	Mo = 0,20-0,25
44xx		Mo = 0,40-0,52
50xx	Хромисті	Cr = 0,27-0,65
51xx		Cr = 0,27-0,65
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 \approx 1,25; Cr = 0,65-0,80
32xx		Ni \approx 1,75; Cr \approx 1,07
33xx		Ni \approx 3,50; Cr = 1,50-1,57
34xx		Ni \approx 3,00; Cr \approx 0,77
41xx	Хромомолібденові	Cr = 0,50-0,95; Mo = 0,12-0,30
46xx	Нікельмолібденові	Ni = 0,85-1,82; Mo = 0,20-0,25
48xx		Ni \approx 3,50; Mo \approx 0,25
61xx	Хромованадієві	Cr = 0,60-0,95; V = 0,10-0,15
72xx	Вольфрамохромисті	W \approx 1,75; Cr \approx 0,75
92xx	Кремнісмарганцевисті	Si = 1,4-2; Mn = 0,65-0,85; Cr < 0,65
9xx	Високоміцні низьколеговані	Різні типи SAE
xxVxx	Бористі	B – сталь містить бор
xxLxx	Леговані свинцем	L – сталь містить свинець
43xx	Нікель- хром- молібденові	Ni \approx 1,82; Cr = 0,50-0,80; Mo \approx 0,25
43Vxx		Ni \approx 1,82; Cr = 0,50; Mo = 0,12-0,25; V > 0,03
47xx		Ni \approx 1,05; Cr \approx 0,45; Mo = 0,2-0,35
81xx		Ni \approx 0,30; Cr \approx 0,40; Mo \approx 0,12
86xx		Ni \approx 0,55; Cr \approx 0,50; Mo \approx 0,20
87xx		Ni \approx 0,55; Cr \approx 0,50; Mo \approx 0,25
88xx		Ni \approx 0,55; Cr \approx 0,50; Mo \approx 0,35
93xx		Ni \approx 3,25; Cr \approx 1,20; Mo \approx 0,12
94xx		Ni \approx 0,45; Cr \approx 0,40; Mo \approx 0,12
97xx		Ni \approx 0,55; Cr \approx 0,20; Mo \approx 0,20
98xx		Ni \approx 1,00; Cr \approx 0,80; Mo \approx 0,25

Хімічний склад та галузі застосування легованих іноземних чавунів наведено в таблицях 11.2 та Д2 [2].

Таблиця 11.2

Хімічний склад і застосування іноземних легованих чавунів

Описання	Вміст елементів, мас. час. %									Літа основа
	<i>C</i>	<i>Mn</i>	<i>P</i>	<i>S</i>	<i>Si</i>	<i>Ni</i>	<i>Cr</i>	<i>Mo</i>	<i>Cu</i>	
Зносостійкі чавуни										
Низьковуглецеві	2,2-2,8	0,2-0,6	0,15	0,15	1,0-1,6	1,5	1,0	0,5	–	ГП
Високо вуглецеві	2,8-3,6	0,3-2,0	0,3	0,15	0,3-1,0	2,5	3,0	1,0	–	ГП
Ni-Cr	2,5-3,7	1,3	0,3	0,15	0,8	2,7-5,0	1,1-4,0	1,0	–	M + A
Ni-високо Cr	2,5-3,6	1,3	0,1	0,15	1,0-2,2	5-7	7-11	1,0	–	M + A
Cr-Mo	2,5-3,6	0,5-1,5	0,1	0,06	1,0	1,5	11-23	0,5-3,5	1,2	M + A
Високо Cr	2,3-3,0	0,5-1,5	0,1	0,06	1,0	1,5	23-28	1,5	1,2	M
Корозійностійкі чавуни										
Високо Si	0,4 -1,1	1,5	0,15	0,15	14-17	–	5,0	1,0	0,5	Ф
Високо Cr	1,2-4,0	0,3-1,5	0,15	0,15	0,5-3,0	5,0	12-35	4,0	3,0	M + A
Ni-Cr сірий	3	0,5-1,5	0,08	0,12	1,0-2,8	13,5-36	1,5-6,0	1,0	7,5	A
Ni-Cr кулястий	3	0,7-4,5	0,08	0,12	1,0-3,0	18-36	1,0-5,5	1,0-5,5	1,0	A
Жаростійкі чавуни										
Середнє Si	1,6-2,5	0,4-0,8	0,30	0,10	4,0-7,0	–	–	–	–	Ф
Ni-Cr	1,8-3,0	0,4-1,5	0,15	0,15	1,0-2,8	13,5-36	1,8-6,0	1,0	7,5	A
Ni-Cr-Si	1,8-2,6	0,4-1,0	0,10	0,10	5,0-6,0	13-43	1,8-5,5	1,0	7,5	A
Високо Al	1,3-2,0	0,4-1,0	0,15	0,15	1,3-6,0	–	20-25 Al	–	–	Ф
Жаростійкі кулясті чавуни										
Середнє Si	2,8-3,8	0,2-0,6	0,08	0,12	2,5-6,0	1,5	–	2,0	–	Ф
Ni-Cr	3,0	0,7-2,4	0,08	0,12	1,8-5,5	18-36	1,8-3,5	1,0	–	A
Жаростійкі білі чавуни										
Феритні	1-2,5	0,3-1,5	–	–	0,5-2,5	–	30-35	–	–	Ф
Аустенітні	1-2,0	0,3-1,5	–	–	0,5-2,5	10-15	15-30	–	–	A

Примітка: ГП – грубий перліт; М – мартенсит; А – аустеніт; Ф – ферит.

3.3. Маркування іноземних латуней

Маркування іноземних бронз і латуней наведено в таблиці 11.3.

Таблиця 11.3

Маркування та хімічний склад іноземних мідних сплавів

Маркування	Вміст елементів, мас, час, %								
	<i>Cu</i>	<i>Sn</i>	<i>Zn</i>	<i>Pb</i>	<i>Al</i>	<i>Ni</i>	<i>Fe</i>	<i>Mn</i>	<i>Sb</i>
Олов'яні бронзи									
<i>Стандарт DIN1705 (Німеччина)</i>									
G-SnBz14	85-87	13-15	0,5	1	-	1	0,2	-	0,25
G-SnBz12	87-89	11-13	0,5	1	-	1	0,2	-	0,25
G-SnBz10	89-91	9-11	0,5	1	-	1	0,2	-	0,25
Rg10	87-89	9-11	1-3	1,5	-	1	0,3	-	0,35
Rg7	83-85	6-8	3-5	5-7	-	2	0,3	-	0,35
Rg5	84-86	4-6	4-6	4-6	-	2	0,3	-	0,35
<i>Стандарт BS 1400 (Велика Британія)</i>									
GI-C 88/10/4	решта	9,5-10,5	1,5-2,5	1,5	0,01	1,0	-	-	-
G2-C 88/8/4	решта	7,5-8,5	3,5-4,5	1,5	0,01	1,0	-	-	-
G3-C	решта	6,5-7,5	1,5-3,0	0,1-0,5	0,01	5-6	-	0,2	-
LG2-C85/5/5/5	решта	4-6	4-6	4-6	0,01	2,0	-	-	-
LG3-C 86/7/5/2	решта	6-8	3-5	1-3	0,01	2,0	-	-	-
LG4-C 88/7/3/3	решта	6,5-7,5	1,5-3	2,5-4,0	0,01	2,0	-	-	-
LB1C76/9/0/15	решта	8-10	1	13-17	0,01	2,0	-	-	-
LB5-C75/5/0/20	решта	4-6	1	18-23	0,01	2,0	0,15	-	-
<i>Стандарт ASTM B143 (США)</i>									
1A (88-10-2)	86-89	9-11	1-3	0,3	-	1,0	0,15	-	-
1B (88-8-4)	86-89	7,5-9,0	3-5	0,3	-	1,0	0,15	-	-
2A	86-90	5,5-6,5	3-5	1-2	-	1,0	0,25	-	-
2B	85-89	7,5-9,0	2,5-5,0	1,0	-	1,0	0,25	-	-
<i>Стандарт ASTM B144(США)</i>									
3A (88-10-10)	78-82	9-11	≤0,75	8-11	-	≤0,75	0,15	-	0,55
3B (83-7-7-3)	81-85	6,3-7,5	2-4	6-8	-	≤0,5	0,2	-	0,35
3C (85-5-9-1)	83-86	4,5-6,0	≤2	8-10	-	≤0,5	0,2	-	0,3
3D (78-7-15)	75-79	6,3-7,5	≤0,75	13-16	-	≤0,75	0,15	-	0,75
3E (70-5-25)	68,5-73,5	4,5-6,0	≤0,4	22-25	-	≤0,75	0,15	-	0,75
<i>Стандарт ASTM B145(США)</i>									
4A (85-5-5-5)	84-86	4-6	4-6	4-6	-	≤1	0,3	-	-
4B (83-4-6-7)	82-84	3,3-4,3	5-8	5-7	-	≤1	0,3	-	-
5A (81-3-7-9)	78-82	2,3-3,5	7-10	6-8	-	≤1	0,4	-	-
5B(76-3-6-15)	75-77	2-3	12-17	5,3-6,8	-	≤1	0,4	-	-

Свинцеві та свинцево-олов'яні бронзи									
<i>Стандарт DIN 1716 (Німеччина)</i>									
G-PbBz25	69-77	3	3	22-28	-	2,5	0,7	-	0,5
G-SnPbBz5	84-87	9-11	1	4-6	-	1,5	0,3	-	0,4
G-SnPbBz10	78-82	9-11	1	8-11	-	1,5	0,3	-	0,05
G-SnPbBz20	69-77	4-6	3	18-23	-	2,5	0,3	-	0,05
Алюмінієві бронзи									
<i>Стандарт DIN1714 (Німеччина)</i>									
G-AlBz9	88-92	0,3	0,5	0,3	8-11	1,0	1,2	0,5	-
G-FeAlBzF50	83-90	0,3	0,5	0,2	9-11	2,5	2-4	1,0	-
G-NiAlBzF50	78-82	0,3	0,5	0,2	8-10	4-7	4-6	-	-
<i>Стандарт ASTM B148(США)</i>									
9A	≥86	-	-	-	8,5-9,5	2,5	2,5-4,0	-	-
9B	≥86	-	-	-	9-11	-	0,75-1,5	-	-
9C	≥83	-	-	-	10-11,5	≤2,5	3,0-5,0	≤0,5	-
9D	≥78	-	-	-	10-11,5	3-5,5	3,0-5,0	≤3,5	-
Латуні									
<i>Стандарт DIN 1709 (Німеччина)</i>									
G-MS65	63-67	1	-	1-3	0,1	0,5	0,8	0,2	0,1
<i>Стандарт BS 1400 (Велика Британія)</i>									
SCB1-C	70-80	1-3,5	-	2-5	0,01	1	0,75	-	-
HT B3-C	≥55	≤0,2	-	≤0,2	3-6	1,0	1-2,5	≤4	-
<i>Стандарт ASTM B146 (США)</i>									
6A	70-74	0,75-2,0	-	1,5-3,8	-	-	≤0,6	-	-
6B	65-70	≤1,5	-	1,5-3,8	≤0,3	-	≤0,8	-	-
6C	60-65	0,5-1,5	-	0,8-1,7	≤0,3	-	≤0,8	-	-
<i>Стандарт ASTM B147 (США)</i>									
7A	56-62	≤1,5	-	0,5-1,5	≤1,5	-	≤2	≤1,5	-
8A	55-60	≤1,0	-	≤0,4	0,5-1,5	≤0,5	2	≤1,5	-
8B	60-68	≤0,2	-	≤0,2	3-7,5	-	2-4	2,5-5	-
<i>Стандарт ASTM B149 (США)</i>									
10A	53-58	1,5-3,0	-	5-11	-	11-14	≤1,5	≤0,5	-
11B	64-67	4,0-5,5	-	1-2,5	-	24-27	≤1,5	≤1,0	-

Хімічний склад складу міді та мідних сплавів в Україні регламентований спеціальними стандартами. З шести марок міді, передбачених стандартом, тільки дві марки М1 и М1р аналогічні маркам ASTM и EN.

3.4 Маркування іноземних алюмінієвих сплавів

Маркування ливарного іноземного алюмінію та його сплавів, за класифікацією Американського національного інституту стандартів (ANSI) і Асоціації алюмінію (AA), стандарт № H35.1, складається з чотиризначного числа та крапки після третього знаку (XXX.X). Перша цифра показує наступні групи сплавів: **1**(1XX.X) – $Al \geq 99,0 \%$; **2**(2XX.X) – головний легуючий елемент мідь; **3**(3XX.X) – $Si+Cu+Mg$; **4**(4XX.X) – Si ; **5**(5XX.X) – Mg ; **6**(6XX.X) – $Mg+Si$; **7**(7XX.X) – Zn ; **8**(8XX.X) – Sn . Дві наступні цифри в першій групі вказують на мінімальний вміст алюмінію, а в групах 2-8 – на номер сплаву. Цифра після крапки вказує на метод отримання сплаву. 0 (XXX.0) означає вилівок 1 (XXX.1) або 2 (XXX.2) – зливков.

Маркування деформованого іноземного алюмінію та його сплавів, за тією ж класифікацією. Складається з чотиризначного числа (XXXX). Перша цифра показує наступні групи сплавів: **1**(1XXX) – $Al \geq 99,0 \%$; **2**(2XXX) – головний легуючий елемент мідь; **3**(3XXX) – Mn ; **4**(4XXX) – Si ; **5**(5XXX) – Mg ; **6**(6XXX) – $Mg+Si$; **7**(7XXX) – Zn ; **8**(8XXX) – інші елементи. Друга цифра в першій групі вказує на спеціальний контроль домішок, а в групах 2-8 – на номер сплаву. Дві останні цифри в першій групі вказують на мінімальний вміст алюмінію, а в групах 2-8 – на модифікування сплаву (0 – вихідний сплав без модифікування).

Хімічний склад та маркування деяких іноземних алюмінієвих сплавів наведені в додатку 2, табл. Д2.1.

3.5 Маркування іноземних магнієвих сплавів

Магній – найбільш легкий з кольорових технічних металів ($\gamma = 1,75 \text{ г/см}^3$) з температурою плавлення $650 \text{ }^\circ\text{C}$. Технічно чистий магній має низькі механічні властивості, схильний до samozапалювання, має низьку тепло- та електропровідність. До складу магнієвих сплавів входять алюміній, цинк, магній та церій. Хімічний склад та маркування сплавів магнію США наведені в таблиці 11.4.

Таблиця 11.4

Маркування та хімічний склад магнієвих сплавів США

Марка	Вміст елементів, мас. час. %					σ_B , МПа	σ_T , МПа	δ , %	HRB
	Al	Mn	Th	Zn	Zr				
Ливарні сплави									
AZ63A-T6	6,0	0,15	–	3,0	–	275	130	5	73
HK31A-			3,3		0,7	220	105	8	55
HZ32A-T5			3,3	2,1	0,7	185	90	4	57
QH21A-T6			1,0		0,7	275	205	4	–
ZC63A-T6		0,25-0,75		6,0		210	125	4	55-65
ZH62A-T5			1,8	5,7	0,7	240	170	4	70
AS41A-F	4,3	0,35				220	150	4	–
AZ91A-F	9,0	0,13		0,7		230	150	3	63
Деформівні сплави									
AZ10A-F	1,2	0,2		0,4		240	145	10	–
AZ80A-T5	8,5			0,5		380	275	7	82
HM31A-F		1,2	3,0			290	230	10	–
M1A-F		1,2				255	180	12	44
ZC71-F		0,5-1,0		6,5		360	340	5	70-80
ZK21A-F				2,3	0,45	260	195	4	–
AZ31B-	3,0			1,0		290	220	15	73
HK31A- H24			3,0		0,6	255	200	9	68

3.6 Маркування іноземних цинкових, свинцевих та олов'яних сплавів

Цинк – метал з низькою температурою плавлення (419 °С) і високою питомою вагою (7,14 г/см³). Має низьку міцність ($\sigma_e = 150$ МПа) при високій пластичності ($\delta \sim 50$ %), гексагональну кристалічну ґратку.

Залежно від чистоти, цинк ділиться на марки ЦВ (99,99 % Zn); Ц0 (99,96 % Zn); Ц1 (99,94 % Zn); Ц2 (99,9 % Zn); Ц3 (98,7 % Zn); Ц4 (97,5 % Zn). Домішками в технічному цинку є свинець, залізо, кадмій та деякі інші.

Свинець – метал з температурою плавлення 327 °С, питомою вагою 11,34 г/см³, має гранецентровану кристалічну ґратку. Сплави

свинцю використовують для виготовлення виливків шрифтів ручного і машинного набору та оболонок телефонних, морських кабелів та кабелів високої напруги; припоїв (найчастіше всього сплави свинцю та олова). Хімічний склад та маркування іноземних сплавів на основі цинку, свинцю та олова наведено у таблиці 11.5.

Таблица 11.5

Маркування та хімічний склад цинкових, свинцевих і олов'яних сплавів Німеччини

Марка	Вміст елементів, мас. час. %						
	<i>Cu</i>	<i>Sn</i>	<i>Pb</i>	<i>Al</i>	<i>Ni</i>	<i>Fe</i>	<i>Sb</i>
<i>Цинкові сплави. Стандарт DIN 1743</i>							
GD-ZnA14	0,1	0,002	-	3,5-4,3	0,02	0,05	-
GZnA16Cu1	1,2-1,6	0,002		5,6-6,0	-	0,05	-
<i>Свинцеві сплави. Стандарт DIN 1741</i>							
SgPb97	-	-	96-98	-		-	2-4
SgPb59	3-4	24-26	58-60	-	-	-	12-14
SgPb46	2-3	39-41	45-47	-	-	-	11-13
<i>Олов'яні сплави. Стандарт DIN 1742</i>							
SgSn78	3,5-4,5	77-79	0-1,5	-	-	-	16-18
SgSn70	4,0-5,0	69-71	9,5-11,5	-	-	-	14-16
SgSn60	3,5-4,5	59-61	22-24	-	-	-	12-14
SgSn50	3,5-4,5	49-51	32-34	-	-	-	12-14

3.7 Маркування іноземних титанових сплавів

Титан ($t_{\text{плав.}} = 1668 \text{ }^\circ\text{C}$, $\gamma = 4,5 \text{ г/см}^3$) і його сплави не піддаються корозії в атмосфері, кислотах, воді, газах. Технічний титан добре оброблюється тиском, зварюється (в аргоні), але погано оброблюється різанням. Сплави титану широко використовуються в криогенній техніці, авіації, ракетобудуванні для виготовлення корпусів двигунів, балонів для газу, сопел, дисків, лопаток компресорів, деталей кріплення, фіюзеляжів.

У хімічній промисловості з титану та його сплавів виготовляють компресори, клапани, вентиля для роботи в агресивних середовищах. У морському та річному суднобудуванні їх використовують для обшивки морських суден, підводних човнів, виготовлення гребних гвинтів.

Хімічний склад та маркування сплавів титану США наведено в таблиці 11.6.

Таблиця 11.6

Маркування та хімічний склад титанових сплавів США

Марка	UNS	Вміст елементів, мас. час. %									
		<i>Al</i>	<i>Sn</i>	<i>Zr</i>	<i>Mo</i>	<i>Інші</i>	<i>N</i>	<i>C</i>	<i>H</i>	<i>Fe</i>	<i>O</i>
α+β сплав											
Ti-6Al-4V	R56400	6	-	-	-	4V	0,05	0,10	-	0,3	0,2
α-сплави											
Ti-5Al-2,5Sn	R54520	4,0-6,0	2,0-3,0	-	-	-	0,05	0,08	0,02	0,5	0,2
Ti-5Al-2,5Sn-ELI	R54521	4,5-5,75	2,0-3,0	-	-	-	0,035	0,05	0,013	0,25	0,12
β-сплави											
Ti-13V-11Cr-3Al	R58010	2,5-3,5	-	-	-	12,5-4,5 V 10-12Cr	0,05	0,05	0,025	0,35	0,17
Ti-8Mo-8V-2Fe-3Al	R58820	2,6-3,4	-	-	7,5-8,5	7,5-8,5 V	0,05	0,05	0,015	1,6-2,4	0,15
Ti-10V-2Fe-3Al	-	2,5-3,5	-	-	-	9,25-1,75V	0,05	0,05	0,015	1,6-2,5	0,13
Ti -15-3	-	2,5-3,5	2,5-3,5	-	-	14-16 V; 2,5-3,5 Cr	0,03	0,03	0,015	0,30	0,13
Ti -17	-	4,5-5,5	1,6-2,4	1,6-2,4	3,5-4,5	3,5-4,5 Cr	0,05	0,05	0,013	0,25	0,08-0,13

Маркування інструментальних матеріалів за стандартом ISO 513:2004 наведено в таблиці Д 2.2 додатку 2.

5 ПІДГОТОВКА ДО РОБОТИ ТА ОФОРМЛЕННЯ ЗВІТУ

5.1 Навести приклади класифікації легованих сталей у різних країнах.

5.2 Навести приклади класифікації закордонних спеціальних чавунів.

5.3 Навести приклади класифікації закордонних кольорових сплавів на основі міді, алюмінію, магнію, свинцю та титану.

5.4 Навести галузі застосування легованих сталей, спеціальних чавунів та кольорових сплавів у зарубіжних країнах.

6 КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

6.1 Як класифікують леговані сталі у США, Німеччині, Японії, Франції, Італії, Великій Британії, Швеції? Галузь застосування сталей.

6.2 Як маркують зносостійкі, корозійностійкі та жаростійкі леговані іноземних чавуни? Де вони застосовуються?

6.3 Як маркують латуні та бронзи у зарубіжних країнах?

6.4 Як маркують сплави на основі алюмінію у зарубіжних країнах?

6.5 Як маркують сплави на основі магнію, свинцю, олова та титану у зарубіжних країнах?

6.6 Відповідність ознак вітчизняних (ДСТ, ГОСТ) та іноземних сплавів.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Прикладне матеріалознавство: підручник для вищих навчальних закладів III-IV ступенів акредитації / Авт. колектив: Сушко О.В., Посвятенко Е.К., Кюрчев С.В., Лодяков С.І. – Мелітополь: ТОВ «Forward press», 2019. – 352 с.: іл.

2. Сушко О.В., Кюрчев С.В. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів: Навчальний посібник. – Мелітополь: ТОВ «Видавничий будинок ММД», 2010. – 232 с.: іл.

3. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство / А.С. Опальчук та ін. / за ред. А.С. Опальчука. – Ніжин: ТОВ «Видавництво «Аспект-поліграф», 2011. – 792 с.: іл.

4. Конспект лекцій: www.op.tsatu.edu.ua

5. Internet

**Сушко Ольга Вікторівна
Колодій Олександр Сергійович
Коломоєць Віталій Анатолійович**

НОВІ МАТЕРІАЛИ В МАШИНОБУДУВАННІ

**НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ ПОСІБНИК
ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ**

Викладено в авторській редакції

Підписано до друку 23.03.2021. Формат 60x84/16. Папір офсетний.
Гарнітура Times New Roman. Друк офсетний. Ум. друк. арк.
Наклад 30 прим. Зам. №

ТОВ «Видавничий будинок ММД»
72312, м. Мелітополь, вул. К. Маркса, 21
т. (0619) 44-01-43, тел./факс (06192) 6-74-43
e-mail: mmdprin@mail.ru

Надруковано з оригіналу-макету
ПП Вівтоніченко О.В.