

СТАНДАРТИЗАЦІЯ, МЕТРОЛОГІЯ ТА КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ ПРАКТИКУМ



Ю.В. Яворський

М.В. Карпецъ

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

СТАНДАРТИЗАЦІЯ, МЕТРОЛОГІЯ ТА КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ ПРАКТИКУМ

Навчальний посібник

Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
як навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра
за освітньою програмою «Інжиніринг та комп'ютерне моделювання в матеріалознавстві»
спеціальності 132 Матеріалознавство

Укладачі: Ю.В. Яворський, М.В. Карпець

Електронне мережне навчальне видання

Київ
КПІ ім. Ігоря Сікорського
2022

Рецензент *Лютий Р. В.*, к.т.н, доц., кафедра ливарного виробництва, НН ІМЗ ім. Є.О. Патона, КПІ ім. Ігоря Сікорського.

Відповідальний редактор *Бобіна М. М.*, к.т.н, доц., кафедра фізичного матеріалознавства та термічної обробки, НН ІМЗ ім. Є.О. Патона, КПІ ім. Ігоря Сікорського.

*Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
(протокол № 3 від 01.12.2022 р.)
за поданням Вченої ради НН Інституту матеріалознавства та зварювання ім. Є.О. Патона
(протокол № 9/22 від 31.10.2022 р.)*

Стандартизація, метрологія та контроль якості продукції невід’ємно пов’язані між собою, а тому їх вивчення дає повніше уявлення про важливість кожного з цих напрямків діяльності, які впливають на всі аспекти нашого життя та є фундаментом для підвищення ефективності виробництва та випуску конкурентоспроможної продукції.

Посібник «Стандартизація, метрологія та контроль якості продукції» написаний у відповідності до програми (силабусу) дисципліни «Стандартизація, метрологія та контроль якості продукції» для студентів інженерних, технічних та технологічних напрямів підготовки і спеціальностей вищих навчальних закладів України III–IV рівнів акредитації. Крім студентів матеріалознавчих спеціальностей, посібник буде корисний для аспірантів, наукових працівників фізичних факультетів університетів і фахівців інших технічних спеціальностей, які у своїй діяльності зв’язані з вибором матеріалів, тощо.

Реєстр. № НП 22/23–263 Обсяг 3,2 авт. арк.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
проспект Перемоги 37, м. Київ, 03056
<https://kpi.ua>
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру видавців, виготовлювачів
і розповсюджувачів видавничої продукції ДК № 5354 від 25.05.2017 р.

ПЕРЕДМОВА

Метрологія, стандартизація та контроль якості продукції невід’ємно пов’язані між собою, а тому їх вивчення дає повніше уявлення про важливість кожного з цих напрямків діяльності, які впливають на всі аспекти нашого життя та є фундаментом для підвищення ефективності виробництва та випуску конкурентоспроможної продукції.

Цикл практичних робіт з дисципліни “Стандартизація, метрологія та контроль якості продукції” спрямований на формування у студентів умінь практичного використання засвоєного теоретичного матеріалу. А саме: основних метрологічних правил, вимог та норм взаємозамінності та технічних вимірювань, діючої державної та міжнародної нормативно– технічної документації для контролю та управління якістю в матеріалознавстві, технічних засобів вимірювань властивостей матеріалів, перевіряння якості, систем контролю якості, аналізу та регулюванню точності і стабільності технологічних процесів виробництва та обробки матеріалів.

На практичних заняттях обов’язковим є самостійне виконання індивідуальних завдань.

Перед кожним практичним заняттям студент повинен опрацювати теоретичний матеріал до заняття за конспектом лекцій, рекомендованою літературою та теоретичними відомостями, що викладені у методичних вказівках. Під час підготовки студент із наведеного у методичному посібнику списку літератури обирає ті видання, що є наявними у бібліотеці або мережі інтернет та більш доступні йому за рівнем викладання.

Звіт за кожне практичне заняття повинен відповідати змісту, що наведений у методичних вказівках і складається з розв’язку відповідного індивідуального завдання і оформлюється згідно із прийнятими вимогами. Звіт з виконаної роботи виконується на аркушах паперу формату А4 (210*297мм) або споживчого формату, що близький до формату А4. Усі записи виконуються чорнилом або пастою одного кольору, на одній стороні аркуша. Необхідні графічні побудови виконуються олівцем на одній стороні аркуша.

Заповнені аркуші звіту брошуруються в загальній обкладинці з титульним аркушем. На титульному аркуші вказується позначення звіту згідно до вимог. Викладач, приймаючи звіт з виконаної роботи, з’ясовує ступінь розуміння студентом суті роботи, засвоєння теоретичного матеріалу і ставить відповідну оцінку.

Практична робота № 1

МЕТОДИ ВИЯВЛЕННЯ ТА ВИМІРЮВАННЯ ВЕЛИЧИНИ ЗЕРНА В СТАЛЯХ ТА СПЛАВАХ

Мета роботи: вивчити діючі стандарти (ГОСТ 5639, ASTM E 112, M101) з методиками виявлення зерен металевих матеріалів, набутти уміння визначення розміру (номера) зерна металів та сплавів за їх мікроструктурою.

Обладнання та матеріали:

1. ГОСТ 5639–82 2003
2. Оптичні мікроскопи типу МІМ 7 або “Neophot–21”.

Теоретичні відомості

Одним з основних параметрів, впливаючих на властивості металевих матеріалів, є величина зерна. Серед існуючих методів контролю величини зерна слід виділити 2 методи – метод оцінки розмірів зерна по характеру зламу (дрібнозеренний та крупнозеренний) та металографічні методи. Найбільш поширеним видом оцінки є металографічний метод, який дозволяє кількісно оцінити розмір зерна. Металографічним методом знаходять: розмір зерна, схильність зерна до росту та кінетику росту зерна.

Під час роботи використовують наступні основні терміни:

Зерна металів – окремі кристали полікристалічного конгломерату, розділені між собою суміжними поверхнями, які називаються межами або границями зерен.

Розмір зерна – середня величина випадкових перетинів перерізів зерен в площині металографічного шліфа.

Однорідна структура – структура, яка відповідає одному із еталонів шкали. Така структура оцінюється одним номером.

Різнозерниста структура – структура, яка містить зерна, розмір яких відрізняється від основного, відповідно еталону шкали, більш ніж на один номер, або займає на шліфі площу, більше 10%.

Еталон – коло діаметром 79,8 мм зі схематичною сіткою, що відповідає площі на шліфі 0,5 мм².

Методи виявлення меж або границь зерен – метод травлення, цементації, оксидування, сітки фериту або цементиту, сітки перліту, вакуумного термічного травлення.

Порядок виконання роботи

1. Кожен з студентів отримує по копії стандарту ГОСТ 5639–82 та по металографічному зразку різних марок сталей та сплавів (або фотознімків мікроструктур з вказаним типом або маркою сталі або сплаву та збільшенням, при якому сфотографована мікроструктура).
2. Підібрати металографічний травник для виявлення мікроструктури та протравити шліф.
3. Зробити металографічний знімок.
4. Визначити номер та розмір зерна за допомогою стандартних методик.
5. Співставити отримані результати.

Вимоги до оформлення індивідуального протоколу роботи

Необхідно представити мікроструктуру сплаву або металу з графічним зображенням виконання операцій підрахунку загальної кількості зерен в полі шліфа, розрахунків середньої площі зерна та середнього розміру або діаметру зерна (в мікрометрах) згідно з вимогами стандарту ГОСТ 5639–82.

Результати представляють у вигляді таблиць 1.1 та 1.2.

Таблиця 1.1 – Результати підрахунку кількості зерен на шліфі при збільшенні 100

№ та марка зразка	Кількість зерен		Загальна кількість зерен на площі 0,5 мм ² (при x100)	Кількість зерен на 1 мм ²	Середня площа зерна <i>a</i> , мм ²	Середній діаметр зерна, мкм
	В межах фігури	За межами фігури				

Таблиця 1.2 – Розрахунок середнього умовного діаметру зерна методом підрахунку перетинів меж зерен (при збільшенні 100 та довжині відрізків 60 мм)

Кількість відрізків довжиною 0,6 мм	Загальна довжина відрізків, мм	Кількість перетинів меж зерен кожним відрізком					Загальна кількість перетинів	Середн. умовн. діам. зерна, мкм
		1	2	3	4	5		

У висновках до роботи необхідно пояснити причини можливих розходжень в результатах визначення середнього діаметру зерна при використанні різних методик (методом підрахунку зерен та методом підрахунку перетинів меж зерен).

Контрольні запитання

1. Для яких сталей для виявлення мікроструктури звичайно використовують метод окисдування ?
2. В чому суть метода сікучих для визначення розміру зерна?
3. Яка найменша кількість зерен в полі зору на площині діаметром 79,8 мм допускається стандартом при обчисленні розмірів зерна?
4. Яка кількість вимірювань необхідна за стандартом для обчислення розмірів зерна на одному шліфі?

Практична робота № 2

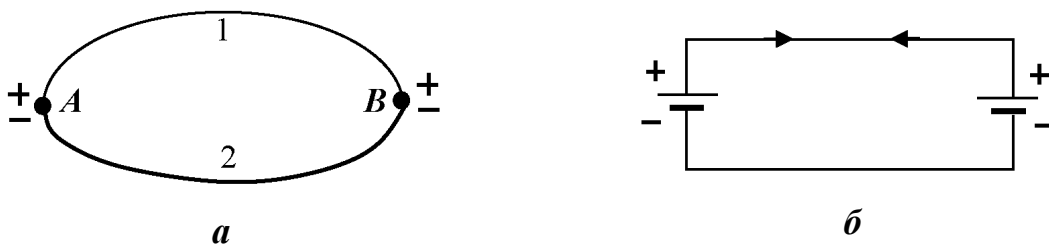
ТИПИ ТА МАРКУВАННЯ ТЕРМОПАР. ПОБУДОВА ГРАФІКУ
ГРАДУЮВАННЯ ТЕРМОПАРИ

Мета роботи: вивчення існуючих типів термопар, їх маркування. Ознайомлення з методом градуювання термопар типу хромель–алюмель та знаходження похибок вимірювання температури.

Обладнання та матеріали: термопара типу “К” (хромель–алюмель), термометр, колба з водою, електроплитка, електричний багатофункціональний тестер–мультиметр (типу UT–55 з можливістю підключення термопар та виміру температури).

Теоретичні відомості

Термопара представляє собою два провідники з різним хімічним складом (I і II), які сполучаються своїми кінцями (рис. 2.1, а). Точки з'єднання провідників називають спаями (А і В). Якщо температури в цих точках–спаях не однакові (наприклад, $T_A > T_B$), то в ланцюгу термопар виникне струм (термострум) – явище Зеебека.



а – електрична схема термопар; б – напрямок електричних потенціалів при однаковій температурі спаїв

Рисунок 2.1 – Схема термопар

Досвід свідчить, що пов'язана зі струмом термо ЕРС є пропорційна різниці температур “гарячого” (А) та “холодного” (В) спаїв.

$$\varepsilon = \alpha (T_A - T_B), \quad (2.1)$$

де α – питома термо ЕРС, яка залежить від властивостей металів, з яких вироблена термопара. Наприклад, для термопар залізо–константан

$$\alpha = 5,3 \times 10^{-5} \text{ В/К.}$$

Виникнення термоструму при $T_A \neq T_B$ обумовлене відмінністю в значеннях різниць контактних потенціалів (РКП) в спаях A та B . РКП в кожному із спаїв знаходиться за відношенням

$$\Delta\phi = \phi_1 - \phi_2 = -\frac{A_1 + A_2}{e} + \frac{kT}{e} \ln \frac{n_1}{n_2}, \quad (2.2)$$

де A_1 та A_2 – робота виходу електрона відповідно із металів I та II;

e – заряд електрона; k – стала Больцмана;

n_1, n_2 – концентрації електронів в металах I та II.

При однакових температурах спаїв їх РКП однакові, але протилежні за напрямом. ЕРС, яка дорівнює алгебраїчній сумі стрибків потенціалів в термопарному ланцюгу в цьому випадку нульова, так як присутні два однакових джерела струму, з'єднаних однаковими полюсами (рис. 2.1, б).

Якщо $T_A \neq T_B$, то

$$|\Delta\phi_A| \neq |\Delta\phi_B|,$$

$$\varepsilon = \Delta\phi_A - \Delta\phi_B = \frac{k}{e} \ln \frac{n_1}{n_2} (T_A - T_B),$$

що корелює з формулою (2.1), у випадку

$$\frac{k}{e} \ln \frac{n_1}{n_2} = \alpha.$$

Використовують термопари звичайно для вимірювання високих або низьких температур. Для цього “гарячий” спай поміщують у середовище, температуру T якого необхідно контролювати ($T_A = T$), а “холодний” спай – в середовище з відомою температурою $T_B = T_0$ (наприклад, лід який плавиться). Вимірявши термо ЕРС (термострум) та знаючи α , по формулі (2.1) легко обчислити T . При вимірюваннях зручно мати відповідним чином попередньо проградувану термопару. В цьому випадку не потрібно знати α . Вимірюючи ЕРС та T безпосередньо по графіку $\varepsilon = f(\Delta T = T - T_0)$ знаходять ΔT , та відповідно і T . Мета цієї лабораторної роботи полягає також в тому, щоб отримати градууювальну криву. Градування термопари проводять по тій самій схемі (рис. 2.2), що і вимірювання температури. Різниця лише в тому, що “гарячий” спай розташований в середовищі, температуру якого можна змінювати та виміряти незалежним від термопари способом (звичайним термометром).

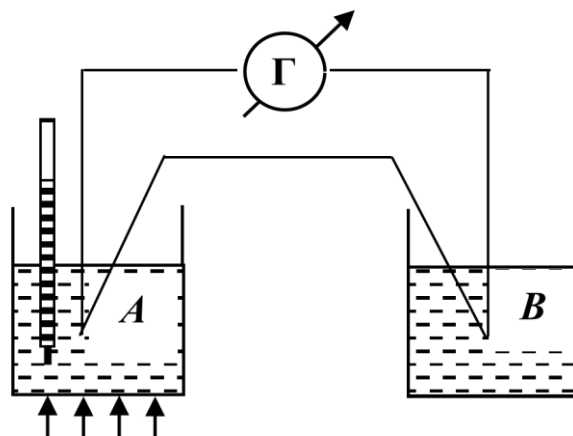


Рисунок 2.2 – Схема градування термопар

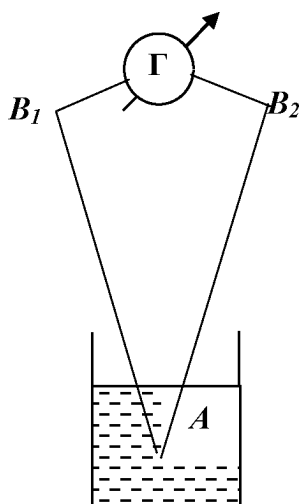


Рисунок 2.3 – Схема "гарячого" та "холодного" спайів термопар

Примітка: Досить часто "холодний" спай залишають при температурі навколишнього повітря (особливо при вимірах температури у виробничих умовах). В цьому випадку не потрібно його спеціально створювати. Роль такого спаю виконує будь-який з контактів (B_1 або B_2) провідника термопар (рис. 2.3) з вимірювальним приладом.

Типи, позначення та характеристики термопар, які використовуються в науково-дослідних та промислових установах, наведено в таблиці 2.1.

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитись з типом, конструкцією та маркуванням сучасних термопар в залежності від їх хімічного складу та призначення (залежність термо ЕРС термопар типу "К" від температури представлено в додатку А).
2. "Гарячий" спай термопар (він разом з термометром знаходиться в пробірці з рідиною) опустити в колбу з водою, яка знаходиться на електроплитці.
3. Кінці термопар (термопара типу хромель-алюмель аналогічна, як на рисунку 2.3) приєднати безпосередньо до контактів тестера (червоний провід к "+").
4. Виміряти та записати температуру "холодного" спаю – кімнатну температуру (T_0). Результати всіх вимірювань занести в таблиці 2.2.
5. Ввімкнути плитку в електромережу та довести воду в колбі до кипіння.

6. Виміряти температуру “гарячого” спаю та за допомогою тестера виміряти термо ЕРС (ϵ).

Таблиця 2.1 – Характеристики термопар

Тип термопар	Позначення за міжнародною класифікацією	Матеріал позитивного термоелектроду	Матеріал негативного термоелектроду	Коефіцієнт термо ЕРС мкВ/°C (в інтервалі температури)	Робочі температури, °C	Максимальна температура короточасного застосування, °C
ТЖК	J	Залізо (Fe)	Сплав константан (45%Cu+45% Ni, Mn, Fe)	50–64 (0–800)	Від –200 до +750	900
ТХА	K	Сплав хромель (90,5%Ni+9,5%Cr)	Сплав алломель (94,5 %Ni+5,5 % Al,Si,Mn,Co)	35–42 (0–1300)	Від –200 до +1200	1300
ТМК	T	Мідь (Cu)	Сплав константан (45%Cu+45% Ni, Mn, Fe)	40–60 (0–400)	Від –200 до +350	400
ТХК _H	E	Сплав хромель (90,5%Ni+9,5%Cr)	Сплав константан (45%Cu+45% Ni, Mn, Fe)	59–81 (0–600)	Від –200 до +700	900
ТХК	L	Сплав хромель (90,5%Ni+9,5%Cr)	Сплав копель (56%Cu+44%Ni)	64–88 (0–600)	Від –200 до +600	800
ТНН	N	Сплав нікросіл (83,49%Ni+13,7%Cr +1,2%Si+0,15%Fe+ +0,05%C+0,01 %Mg)	Сплав нісіл (94,98%Ni+0,02%Cr+ +4,2%Si+0,15%Fe+ +0,05%C+ +0,05 %Mg)	26–36 (0–1300)	Від –270 до +1300	1300
ТПП13	R	Сплав платина–родій (87%Pt+13%Rh)	Платина (Pt)	10–14 (600–1600)	Від 0 до +1300	1600
ТПП10	S	Сплав платина–родій (87%Pt+13%Rh)	Платина (Pt)	10–14 (600–1600)	Від 0 до +1300	1600
ТПР	B	Сплав платина–родій (70%Pt+30%Rh)	Сплав платина–родій (94 %Pt+6 %Rh)	10–14 (1000–1800)	Від 600 до 1700	1800
ТВР	A–1 A–2 A–3	Сплав вольфрам–реній (95%W+5%Re)	Сплав вольфрам–реній (80%W+20%Re)	14–7 (1300–2500)	До +2200 До +1800 До +1800	2500
ТСС	I	Сплав сільд (NiCrCo9–0,9)	Сплав сілін (NiCo2,4)	–	Від 0 до +800	900

7. Вимкнути плитку. Слідкуючи за температурою “гарячого” спаю, провести 6–7 вимірювань ЕРС (п. 6) при інших температурах – приблизно через кожні 10°C.

Примітка: За час проведення вимірювань температура води, тобто “гарячого” спаю, зменшиться. В таблицю слід записати температуру, яка відповідає закінченню вимірювань.

8. По отриманим даним нанести точки на графік $\epsilon = f(\Delta T)$, не креслячи поки лінії самого графіка.

9. За формулою

$$\alpha = \frac{\sum \varepsilon_i \Delta T_i}{\sum \Delta T_i^2},$$

яка витікає із метода найменших квадратів, обчислити коефіцієнт α , співпадаючий з тангенсом кута нахилу прямої $\varepsilon = f(\Delta T)$, до осі абсцис.

10. Згідно з даними п. 8 побудувати графік $\varepsilon = f(\Delta T)$. Це і є градувальний графік, який можна використовувати при вимірюванні температури даною термопарою.

У висновках до роботи необхідно порівняти отримані результати (табл. 2.2) з табличними даними для термопар типу хромель–алюмель (Додаток А) та пояснити можливі причини розходжень.

Таблиця 2.2 – Результати вимірювань

№, п/п	T_0	T_i	ε_i	ΔT_i	ΔT_i^2	$\varepsilon_i \Delta T_i$
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
Сума						

Контрольні запитання

1. Поясніть термін робота виходу електрону з металу.
2. Що таке термопара?
3. Де застосовуються термопари?
4. Різниця контактних потенціалів (РКП): а) суть явища; б) закони Вольта; в) величина РКП.
5. Явище Зеебека: а) суть явища; б) пояснення явища.
6. Основні типи термопар (будова, градування, використання).
7. Переваги термопар у порівнянні з термометрами.
8. Чим викликана дифузійна складова термоелектрорушійної сили?

Практична робота № 3

СТАНДАРТНЕ МАРКУВАННЯ СТАЛЕЙ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ЇХ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ ЗГІДНО ДСТУ ТА ГОСТ

Мета роботи: вивчити принципи позначення машинобудівних сталей та сплавів на основі заліза згідно стандартів ДСТУ та ГОСТ.

Обладнання та матеріали: індивідуальні завдання у вигляді варіантів різних марок сталей. Перелік типів марок сталей згідно з додатком Б.

Теоретичні відомості

Єдиної світової системи маркування сталей не існує. В Україні це стандарти ДСТУ. В США використовують декілька систем – AISI, ASTM, UNS. В Європі – DIN, ECISS, EN. В країнах СНД – стандарти колишнього СРСР. Згідно з цими стандартами маркування сталі залежить від її металургійної якості, призначення та хімічного складу. Так наприклад для опису характеристик різного роду сталей в Україні згідно стандартів ДСТУ та ГОСТ використовують стандарти, які вказані в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Стандарти на виробництво сталей

Найменування класу сталі	Відповідний стандарт
Вуглецева сталь звичайної якості	ДСТУ 2651, ГОСТ 380–2005
Виливки зі сталі	ДСТУ8781:2018, ГОСТ 977–88
Сталь конструкційна	ГОСТ 1414–75
Вуглецева якісна конструкційна сталь	ДСТУ 7809, ГОСТ 1050–88
Інструментальна вуглецева сталь	ГОСТ 1435–99, ГОСТ 1435–90
Іменування автоматних сталей	ГОСТ 1414
Сталь низьковуглецева якісна	ГОСТ 9045–93, ГОСТ 9045–80
Сталь конструкційна низьколегована	ГОСТ 9281–2014, ГОСТ 19281–89
Ливарні конструкційні сталі	ДСТУ 8781, ГОСТ 977
Прокат калібрований	ГОСТ 1051–73
Сталь гарячекатана для армування залізобетонних конструкцій	ГОСТ 5781–82
Прокат із легованої конструкційної сталі	ДСТУ 7806, ГОСТ 4543–2016
Прутки та смуги з інструментальної легованої сталі	ДСТУ 3833, ГОСТ 5950–2000
Сталі будівельні	ДСТУ 8539, ГОСТ 27772
Нержавіючі стандартні сталі	ГОСТ 5632
Сталі високолеговані та сплави корозійно–стійкі, жаростійкі та жароміцні. Марки.	ГОСТ 5632–2014, ГОСТ 5632–72
Прокат тонколистової спеціального призначення із конструкційної легованої високоякісної сталі	ГОСТ 11268–76

Визначення та класифікація сталей

Металургійна якість – залежить від чистоти по домішкам (S та P) та неметалевим вкрапленням.

За металургійній якості сталі діляться на :

- *сталі звичайної якості* ($S < 0,055\%$ – $0,060\%$, $P < 0,05\%$);
- *якісну сталь* ($S < 0,03\%$, $P < 0,03\%$);
- *високоякісну сталь* ($S < 0,025\%$, $P < 0,025\%$);
- *особливо високоякісну сталь* ($S < 0,015\%$, $P < 0,015\%$) з обмеженням по кількості неметалевих включень на одиниці площі металографічного шліфа.

Металургійна якість сталі визначає алгоритм подальшої розшифрування марки сталі.

За призначенням сталі діляться на:

- конструкційні,
- інструментальні (вуглецеві та леговані),
- сталі з особливими властивостями.

За хімічним складом сталі діляться на вуглецеві та леговані.

За вмістом вуглецю сталі поділяються на:

- мало–вуглецеві ($< 0,25\% \text{ C}$);
- середньо–вуглецеві ($0,25\text{--}0,6\% \text{ C}$);
- високо вуглецеві ($> 0,6\% \text{ C}$).

Маркування сталей звичайної якості

Сталі звичайної якості використовують для виготовлення не відповідальних конструкційних деталей корпусів та панелей.

Структура маркування сталі звичайної якості:

- Ст – сталь звичайної якості;
- цифра після “Ст” вказує на порядковий умовний номер в залежності від ДСТУ та ГОСТ;
- “Г” – легування сталі марганцем до 1,5%;
- Останні дві літери вказують на ступінь розкислення сталі: ”кп” – кипляча, “пс” – напів спокійна, “сп” – спокійна.

Приклади маркування: Ст0, Ст1кп, Ст1пс, Ст1сп, Ст2кп, Ст2пс, Ст2сп, Ст3кп, Ст3пс, Ст3сп, Ст3Гпс, Ст3Гсп, Ст4кп, Ст4пс, Ст4сп, Ст5пс, Ст5сп, Ст5Гпс, Стбпс, Стбсп.

Маркування якісної сталі

Якісні сталі мають найбільш широке застосування. Якісні сталі маркують за вмістом вуглецю та легувальних елементів. В таблиці 3.1 представлено літери в маркуванні та хімічні елементи які їм відповідають.

Таблиця 3.1 – Маркування легованих сталей

Літера у маркуванні	Хімічний елемент чи особливості
А	Автоматна (на початку марки)
	Азот (всередині марки)
	Високоякісна (в кінці марки)
Б	Ніобій
В	Вольфрам
Ви	Вісмут
Г	Марганець
Гл	Галій
Д	Мідь
Е	Селен
К	Кобальт
Кд	Кадмій
Л	Берилій (всередині марки)
	Ливарна (в кінці марки)
М	Молібден
Н	Нікель
П	Фосфор
Р	Вольфрам – рапідна (на початку марки)
	Бор (всередині марки)
С	Кремній
Т	Титан
У	Вуглецева інструментальна (на початку марки)
Ф	Ванадій
Х	Хром
Ц	Цирконій
Ч	Церій
Ш	Манган
Ю	Алюміній

Якісну конструкційну сталь маркують за вмістом вуглецю, вказуючи соті долі %. *Приклади маркування:* Сталь 8кп – сталь якісна конструкційна з вмістом вуглецю 0,08%, кипляча. Сталь 80 – сталь якісна конструкційна з вмістом вуглецю 0,8%.

Якісну інструментальну сталь маркують за вмістом вуглецю, вказуючи десяті долі %. Вуглецева (нелегована) інструментальна сталь додатково містить літеру «У» перед цифрою. *Приклади маркування:* сталь У8 – сталь

якісна інструментальна з 0,8% С.

Іноді важко розрізнити за призначенням леговані сталі зі схожими марками. Як правило, вміст вуглецю в інструментальних сталях не перевищує 1,3%. Такі сталі легують хромом. *Наприклад*, Сталі 11Х та 13Х – мають вміст хрому до 1% , вуглецю 1.1% та 1,3% відповідно.

В деяких марках легованих інструментальних сталей кількість вуглецю не вказують (до 1%) – це ознака інструментальної сталі. *Наприклад*, сталь Х – до 1% хрому та до 1% вуглецю (якісна інструментальна сталь).

Вміст легувальних домішок в якісних легованих сталях (конструкційних та інструментальних) вказують за допомогою російських літер (які вказують на відповідні хімічні елементи) та числом (в % за вмістом). Якщо числа немає – вміст елемента до 1 %.

Маркування високоякісної сталі

Для виготовлення відповідальних деталей, які працюють в жорстких умовах експлуатації використовують високоякісні сталі. На високу якість вказує літера «А» на кінці марки або висока сумарна кількість легувальних елементів (більше 8–10%). Якщо в марці сталі багато букв, які позначають легувальні елементи (до 1%), то ця сталь також відноситься до якісних.

Приклади маркування високоякісних сталей:

Сталь 12ГН2МФАЮ – економно легована сталь;

Сталь 90Х4М4Ф2В6Л – 0,9%С, 4%Cr, 4%Mo, 2%V, 6%W, ливарна;

Сталь 18Х2Н4ВА – високоякісна конструкційна, 0,18%С, 2%Cr, 4%Ni, W–1%;

Сталь Р18К5Ф2 – високоякісна швидкорізальна інструментальна 1%С, 18%W, 5%Co, 2%V;

Сталь 9Х18 – високоякісна інструментальна, 0,9%С, 18%Cr;

Виняток: ШХ15 (вміст хрому вказано в десятих %) – 1,5% Cr.

Маркування особливо високоякісної сталі

Після позначення хімічного складу через тире вказують тип виплавки: ВИ, ВИП, СШ, ВДП, ВД, ЭШП, Ш, ЭЛП, ПДП, ОДП. Кожна з яких означає:

ВИ (ВИП) – переплав в вакуумних індукційних печах;

Ш (ЭШП) – електрошлаковий переплав;

ВД (ВДП) – переплав в вакуумних дугових печах;

ШД – вакуумно–дуговий переплав сталі після електрошлакового переплава;

ОДП – звичайна дугове плавлення;

ПДП – плазово–дугове плавлення;

СШ – рафінування сталі рідким синтетичним шлаком;

ЭЛП – метод електронно–променевої плавки.

Приклади маркування особливо високоякісних сталей:

Сталь 01Х25–ВИ – особливо високоякісна з 0,01%С та 25% Cr, переплав в вакуумних індукційних печах;

Сталь 30ХГС–ІІІ – особливо високоякісна середньо легована сталь, з вмістом 0,30% вуглецю и от 0,8 до 1,5% хрому, марганцю и кремнію, електрошлаковий переплав.

Маркування автоматних сталей

Використовують для виготовлення гвинтів, гайок, шпильокзі сталі з підвищеною крихкістю (легованої 0,3% кремнію та 0,16% фосфору). Маркують літерою А на початку марки. Можуть бути леговані селеном (АЕ), кальцієм (АЦ) або свинцем (АС).

Приклади маркування автоматних сталей:

Сталь А11 – автоматна сталь з 0,11%С;

Сталь АСЦ30ХМ – автоматна сталь, легована Рb та Са, 0,3% С, Cr та Мо по 1%.

Застосування сталей

Деякі конструкційні сталі:

СтЗпс, СтЗкп – гнуті профілі з листів товщиною 1– 9 мм, кутові профілі.

Ст5пс, Ст5сп – болти, гайки, тяги;

Сталь 08кп, Сталь 10 – холодна штамповка;

Сталь 30, Сталь 35 – диски, вали;

Сталь 40, Сталь 45 – шатуни, розподільчі вали, коліна;

Сталь 50, Сталь 55 – зубчаті колеса;

Сталь 60, Сталь 70, Сталь 80 – шпинделі, пружинні кільця;

Сталь 10ХСНД, Сталь 09Г2СЮ, Сталь 09Г2,09Г2С – для деталей відповідальних зварних конструкцій;

Сталь 15Х, Сталь 15ХФ – вали під цементацию;

Сталь 18ХГТ, Сталь 20ХГР – зубчаті колеса муфти під цементацию;

Сталь 40Х, Сталь 45Х, Сталь 50Х – черв'ячні пари;

Сталь 60С2, Сталь 60С2А, Сталь 65Г – ресори;

Сталь 50ХФА, Сталь 50ХГФА – пружини та ресори.

Деякі інструментальні сталі:

У7, У7А – молотки, кувалди, кусачки;

У8,У8А,У8Г,У8ГА,У9 – інструмент;

У10,У10А,У11,У11А – штампи холодної штамповки;

У13, У13А – інструмент;

Х, 9Х18 – інструменти для вимірювань;
 ХВГ, Х12М, Х12Ф1 – валки;
 4Х5В2ФС, 4Х5МФС – штампи для пресу;
 5ХНВ, 5ХГСНВ – молотові, висадочні штампи;
 3Х12В12Ф, 2Х12В8К10 – форми для лиття;
 Х6ВФ, 9Х5ВФ – полотна для пилок;
 Р12, Р6М5, Р9 – свердла, фрези;
 Р18, Р14Ф4 – мітчики, плашки.

Порядок виконання роботи

1. Кожен з студентів отримує індивідуальне завдання з переліком 6 різних марок сталей (Додаток Б).
2. Визначити тип та призначення сталі, її хімічний склад та галузі застосування.
3. Результати роботи представити у вигляді таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Оформлення результатів

Марка сплаву	Хімічний склад, легувальні елементи	Метод отримання чи обробки та область застосування

Контрольні запитання

1. Як сталі діляться за призначенням?
2. Як класифікують сталі за хімічним складом?
3. Як класифікують сталі за вмістом вуглецю?
4. За яким принципом маркують якісну сталь?
5. За яким принципом маркують конструкційну сталь?

Практична робота № 4

СТАНДАРТНЕ МАРКУВАННЯ СТАЛЕЙ ЗГІДНО СИСТЕМ AISI, ASTM TA UNS

Мета роботи: вивчити принципи позначення машинобудівних сталей та сплавів на основі заліза за стандартами AISI, ASTM TA UNS.

Обладнання та матеріали: індивідуальні завдання у вигляді варіантів різних марок сталей. Перелік типів марок сталей згідно з додатком В.

Теоретичні відомості

Єдиної світової системи маркування сталей не існує. В Україні це стандарти ДСТУ. В США використовують декілька систем – AISI, ASTM, UNS. В Європі – DIN, ECISS, EN, ISO. В країнах СНД – стандарти колишнього СРСР. Про використання стандартів ДСТУ та ГОСТ, які широко використовуються українськими підприємствами ви ознайомились у попередній роботі. Проте у зв'язку із євроінтеграцією та виходом України на світовий ринок торгівлі металопродукції виникає необхідність знання стандартів країн партнерів.

Маркування сталей за євро стандартами

Для опису характеристик різного роду сталей за євро стандартами використовують стандарти, які вказані в таблиці 4.1.

Відповідно до частини 1 євро стандарту EN 10027 і його української версії ДСТУ EN 10027, за порядком присвоєння найменувань, сталі диференціюються на 2 групи [1].

Група 1 об'єднує сталі, марки яких залежать від їх призначення, а також фізичних або механічних властивостей. Марки складаються з однієї або більше букв, які фіксують призначення сталі, і наступних цифр, що описують її властивості. Після цифр, можуть бути присутніми символи, що визначають стан поставки і призначення продукту. Для прикладу, маркування S355J0 означає конструкційну сталь з мінімальною межею плинності 355 Н/мм² і роботою руйнування при ударі 27 Дж, виміряною при температурі 0°C.

До групи 2 входять сталі, марки яких визначаються хімічним складом. Дана група розділена на підгрупи за призначенням і вмістом легувальних елементів. Так, 13CrMo4–5 – нелегована сталь із середнім вмістом 0,13% вуглецю, 1% хрому, 0,5% молібдену і більше 1% марганцю.

Таблиця 4.1 – Стандарти на виробництво сталей

Найменування класу сталі	Відповідний стандарт
Визначення і класифікація марок сталі	EN 10020:2000
Вироби сталеві. Загальні технічні вимоги постачання	EN 10021:2006
Сталь. Системи позначання. Частина 1. Назви сталі. Основні символи	EN 10027–1
Сталь. Системи позначання. Частина 2. Система нумерації	EN 10027–2
Визначення сталевих виробів	EN 10079:2007
Вироби плоскі холоднокатані з низьковуглецевої сталі для холодного штампування. Технічні умови постачання	EN 10130
Вироби плоскі холоднокатані без покриву з низьковуглецевої сталі з високою границею плинності для холодного формозмінювання. Допуски на розміри та форму	EN 10131
Штаба вузька холоднокатана без покриву з низьковуглецевої сталі для холодного формозмінювання. Технічні умови постачання	EN 10139
Штаба вузька холоднокатана. Допуски на розміри та форму	EN 10140
Вироби металеві. Види документів контролю	EN 10204:2004
Сталь. Визначення підвищення границі плинності в результаті термічної обробки [Показник прожарювання – гартування]	EN 10325
Сталь і сталеві вироби. Розташування і підготовка проб і випробних зразків для механічних випробувань	EN ISO 377
Матеріали металеві. Випробовування на розтяг. Частина 1. Метод випробовування за кімнатної температури	EN ISO 6892–1:2009
Сталь і чавун. Відбирання і готування проб для визначення хімічного складу	EN ISO 14284, ISO 14284:1996
Матеріали металеві. Лист і штаба. Визначення коефіцієнта пластичної деформації	ISO 10113
Матеріали металеві. Лист і штаба. Визначення показника деформаційного зміцнення під час розтягання	ISO 10275

Крім базового маркування, сталі за європейськими стандартами мають порядкові номери. Порядок їх присвоєння визначається євро стандартом EN 10027–2 і українським ДСТУ EN 10027–2 (рис. 4.1). Порядковий номер сталі представляється у вигляді «1. XX XXXX», де «1» демонструє приналежність матеріалу до сталей, наступні дві цифри – номер групи сталей, а чотири останні – порядковий номер сталі у групі. За номером групи можна чітко визначити тип тієї чи іншої сталі.

Для присвоєння нових номерів сталі з 4 значним порядковим номером необхідно переконатися, що перші дві цифри порядкового номера повністю заповнені (наприклад, 1.xx99) перед виділенням двох останніх цифр порядкового номера (наприклад, 1.xx9901).

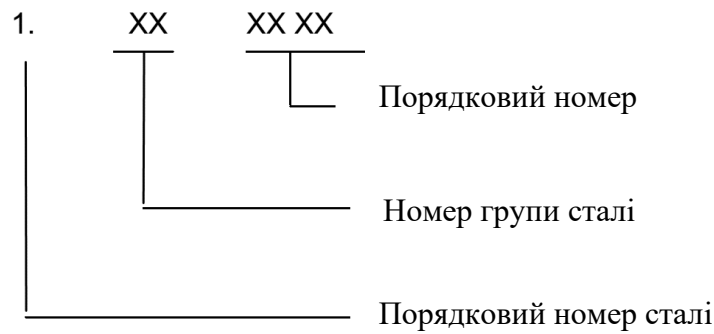


Рисунок 4.1 – Структура маркування сталей (EN 10027-2)

Маркування сталей за американськими стандартами

США застосовується відразу кілька систем маркування металів і сплавів, ці системи пов'язані з різними відомствами зі стандартизації. Найбільш відомі: AISI – Американський інститут чавуну і сталі, ACI – Американський інститут лиття, ANSI – Американський національний інститут стандартизації, AMS – Специфікація аерокосмічних матеріалів, ASME – Американське товариство інженерів–механіків, ASTN1 – Американське товариство випробування матеріалів, AWS – Американське товариство зварників, SAE – Товариство інженерів–автомобілістів. Позначки, які використовуються організаціями, є наслідком історії їх роботи, а також розвитку різних галузей промисловості [1].

Згідно вищеперерахованих стандартів сталі поділяються на дві великі групи: low alloy – слабо леговані (менше 10% легувальних елементів) та high alloy – високолеговані (більше 10% легувальних елементів) сталі (рис. 4.2).

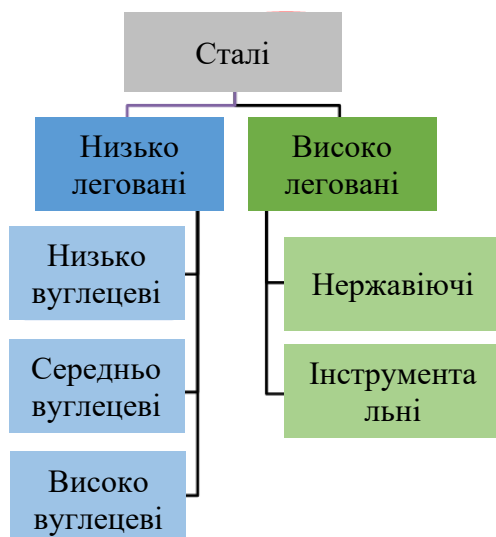


Рисунок 4.2 – Класифікація сталей згідно американських стандартів

Відповідно слабо леговані сталі поділяються на:

- низьковуглецеві сталі («Low carbon» – $<0,25 \text{ мас.}\% \text{ C}$);
- середньо вуглецеві сталі («Medium carbon» – $0,25\text{--}0,55 \text{ мас.}\% \text{ C}$);
- ВИСОКО вуглецеві сталі («High carbon» – від 0,6 до $1,4 \text{ мас.}\% \text{ C}$);

А високолеговані поділяються на:

- нержавіючі сталі («Stainless steels» – $> 11 \text{ мас.}\% \text{ Cr}$);
- інструментальні сталі («Tool steels» – від 0,75 до $1,4 \text{ мас.}\% \text{ C}$).

Слабо леговані сталі

Прості вуглецеві сталі («Plain low-carbon steels») – дуже низький вміст легувальних елементів і невелика кількість Mn. Найбільш поширеною маркою сталі є низьковуглецева сталь – найбільша кількість виробленої продукції, низька вартість. Не піддається термічній обробці; холодна обробка необхідна для підвищення міцності; хороша зварюваність і оброблюваність.

Високоміцні низьколеговані сталі («High strength, low alloy steels», HSLA) – легувальні елементи (наприклад, Cu, V, Ni і Mo) до 10 мас.%; мають більш високу міцність і можуть піддаватися термічній обробці.

Хімічний склад та властивості низьковуглецевих сталей представлені у таблиці 4.2 та таблиці 4.3 відповідно.

Таблиця 4.2 – Хімічний склад деяких низьковуглецевих сталей

Маркування		Хімічний склад, мас. %		
AISI/SAE або ASTM	UNS	C	Mn	Інші
Прості низьковуглецеві сталі				
1010	G10100	0,10	0,45	
1020	G10200	0,20	0,45	
A36	K02600	0,29	1,00	0,20 Cu (min)
A516 Grade 70	K02700	0,31	1,00	0,25 Si
Високоміцні низьколеговані сталі				
A440	K12810	0,28	1,35	0,30 Si (max), 0,20 Cu (min)
A633 Grade E	K12002	0,22	1,35	0,30 Si, 0,08 V, 0,02 N, 0,03 Nb
A656 Grade 1	K11804	0,18	1,60	0,60 Si, 0,1 V, 0,20 Al, 0,015 N
Американським інститутом заліза і сталі (AISI), Товариством автомобільних інженерів (SAE), Американським товариством з випробувань і матеріалів (ASTM), Єдиній системі нумерації (UNS).				

Середньо вуглецеві сталі («Medium carbon steels»). Вміст вуглецю в діапазоні 0,3 – 0,6%. Можна термічно обробити – аустенізуючий відпал, гартування та відпуск. Найчастіше використовується в загартованому стані. Термічно оброблені сплави міцніші, але мають більш низьку пластичність. Середні вуглецеві сталі мають низьку прожарюваність. Додавання Cr, Ni, Mo покращує теплові характеристики. Типові області застосування – залізничні колеса і колії, зубчасті передачі, колінчасті вали. Хімічний склад деяких середньо вуглецевих сталей представлені у таблиці 4.4.

Таблиця 4.3 – Властивості та використання деяких низьковуглецевих сталей

AISI/SAE або ASTM	Міцність на розтяг, МПа	Міцність текучості, МПа	Пластичність 1 % вид. на 50 мм	Типове використання
Прості низьковуглецеві сталі				
1010	325	180	28	автомобільні панелі, цвяхи та дрiт
1020	380	210	25	труба; конструкційна та листова сталь
A36	400	220	23	Конструкційні (мости та будівлі)
A516 Grade 70	485	260	21	Посудини під тиском з низьким тиском
Високоміцні низьколеговані сталі				
A440	435	290	21	Конструкції, які скріплені болтами або заклепками
A633 Grade E	520	380	23	Конструкції, що використовуються при низьких температурах
A656 Grade 1	655	552	15	Рами вантажних і залізничних вагонів

Таблиця 4.4 – Хімічний склад деяких середньо вуглецевих сталей

AISI/SAE або ASTM	UNS	Хімічний склад, мас.% легувальних елементів на додаток до C			
		Ni	Cr	Mo	Інші
10xx, Plain carbon	G10xx0				
11xx, Free machining	G11xx0				0,05–0,33 S
12xx, Free machining	G12xx0				0,10–0,35 S, 0,04–0,12 P
13xx	G13xx0				1,60–1,90 Mn
40xx	G40xx0			0,20–0,30	
41xx	G41xx0		0,80–1,10	0,15–0,25	
43xx	G43xx0	1,65–2,00	0,40–0,90	0,20–0,30	
46xx	G46xx0	0,70–2,00		0,15–0,30	
48xx	G48xx0	3,25–3,75		0,20–0,30	
51xx	G51xx0		0,70–1,10		
61xx	G61xx0		0,50–1,10		0,10–0,15 V
86xx	G86xx0	0,40–0,70	0,40–0,60	0,15–0,25	
92xx	G92xx0				1,80–2,20 Si

Високо вуглецеві сталі («High carbon steels»). Вміст вуглецю 0,6 – 1,4% С. Високий вміст С забезпечує високу твердість і міцність. Використовується в загартованому та відпущеному стані. Сильні карбідоутворювачі, такі як Cr, V, W, додають як легувальні елементи до карбідів цих металів. Використовується як інструментальна та штампова сталь завдяки високій твердості та зносостійкості. Хімічний склад та використання деяких високо вуглецевих сталей представлені у таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Хімічний склад та використання деяких високо вуглецевих сталей

AISI	UNS	Хімічний склад, мас.%						Типове використання
		C	Cr	Ni	Mo	W	V	
M1	T11301	0,85	3,75	0,30 max	8,70	1,75	1,20	Свердла, пилки, токарні та стругальні інструменти
A2	T30102	1,0	5,15	0,30 max	1,15	–	0,35	Вибійні штампи, штампи тиснення
D2	T30402	1,5	12	0,30 max	0,95	–	1,10 max	Стовові прилади
O1	T31501	0,95	0,50	0,30 max	–	0,50	0,30 max	Ножиці, ріжучі інструменти
S1	T41901	0,50	1,40	0,30 max	0,50 max	2,25	0,25	Труборізи, свердла для бетону
W1	T72301	1,10	0,15 max	0,20 max	0,10 max	0,15 max	0,10 max	Ковальські інструменти

Маркування сталей за AISI

Зокрема, в маркуванні AISI, вуглецеві і леговані сталі, як правило, позначаються за допомогою 4-х цифр. Перші дві цифри вказують номер групи сталей, дві наступні – середній вміст вуглецю, помножений на 100. Найменування різних груп сплавів представлені в таблиці 4.6. Легують елементи у вагових відсотках, XX означає вміст вуглецю. Крім цифр, в марках сталей можуть бути букви. Притому, букви В і L, що свідчать про легування відповідно бором (0,0005–0,03%) або свинцем (0,15–0,35%), ставляться між 2-ю і 3-ю цифрою марки, наприклад, 51В60, 15L48. Тоді як букви М і Е ставлять на початку позначення, якщо сталь призначена для виготовлення невідповідального сортового прокату (М) або ж отримана в електропечі (Е). Водночас, в кінці марочної формули може бути літера Н, що свідчить про те, що характерною властивістю цієї сталі є прогартовуваність.

Таблиця 4.6 – Чотиризначна система нумерації сплавів

Марка сталі	Хімічний склад сталі
10xx	Звичайні вуглецеві сталі
11xx	Проста вуглецева сталь з високим вмістом сірки та низьким вмістом фосфору
12xx	Проста вуглецева сталь з високим вмістом сірки та фосфору
13xx	1,75 марганцю
23xx	3,50 нікель (серія видалена в 1959 році)
25xx	5,00 нікель (серія видалена в 1959 році)
31xx	1,25 нікель і 0,60 хром (серія видалена в 1964 році)
33xx	3,50 нікель і 1,50 хром (серія видалена в 1964 році)
40xx	0,20 – 0,25 Молібден
41xx	0,50 – 0,95 хрому і 0,12 – 0,30 молібден
43xx	1,83 нікель, 0,50 – 0,80 хром і 0,25 молібден
44xx	0,53 молібдену
46xx	0,85 або 1,83 нікель і 0,23 молібден
47xx	1,05 нікель, 0,45 хром і 0,20 – 0,35 молібден
48xx	3,50 нікель і 0,25 молібден
50xx	0,40 хром
51xx	0,80–1,00 хром
5xxxx	1,04 вуглець і 1,03 або 1,45 хром
61xx	0,60 або 0,95 хрому і 0,13–0,15 ванадію
86xx	0,55 нікель, 0,50 хром і 0,20 молібден
87xx	0,55 нікель, 0,50 хром і 0,25 молібден
88xx	0,55 нікель, 0,50 хром і 0,35 молібден
92xx	2,00 кремній

Марки стандартних *корозійностійких сталей за AISI* включають три цифри і далі, у ряді випадків, одну, дві або більше букв. Перша з цифр визначає клас сталі: так, марки аустенітних корозійностійких сталей починаються з цифр 2XX і 3XX, тоді як феритні і мартенситні сталі визначаються за формулою 4XX. Звернемо увагу, що останні дві цифри – на відміну від вуглецевих і легованих сталей – ніяк не пов'язані з хімічним складом, а просто вказують на порядковий номер сталі у групі. Деякі приклади марок корозійно стійких сталей, їх властивості та використання представлені в таблиці 4.7.

Маркування сталей за ASTM

Маркування за нормами ASTM включає літеру А (тобто мова йде про чорний метал), порядковий номер нормативного документа ASTM (стандарту), і власне формулювання марки [1]. Зазвичай в рамках ASTM присутня американська система фізичних величин, якщо ж в стандарті – метрична система позначень, після його номера вводиться буква М. Стандарти ASTM найчастіше визначають не тільки хімічний склад сталі, але і повний спектр вимог до продукції. Для вказівки власне марок і їх хімічного складу, можуть використовуватися, як позначення ASTM (коли хімічний склад і маркування визначаються безпосередньо в стандарті), так і запозичені в інших систем, скажімо, з AISI – для прутків, дроту, з АСІ – для виливків із корозійностійких сталей. Приклади маркування низьковуглецевих сталей представлені в таблицях 4.2 та 4.3.

Таблиця 4.7 – Хімічний склад, властивості та використання деяких корозійно стійких сталей

Маркування		Хім. склад, мас. %	Стан	Механічні властивості			Типове використання
AISI	UNS			Міцність на розтяг, МПа	Міцність текучості, МПа	Пластичні сть 1 % вид. на 50 мм	
Феритні							
409	S40900	0.08 C, 9.0 Cr, 1.0 Mn, 0.5 Ni, 0.75 Ti	Відпал	380	205	20	Автомобільні вихлопні компоненти, баки для сільськогосподарських розпилювачів
446	S44600	0.2 C, 25.0 Cr, 1.5 Mn	Відпал	515	275	20	Клапани (високотемпературні), скляні форми, камери згоряння
Аустенітні							
304	S30400	0.08 C, 17.0 Cr, 9.0 Ni, 2.0 Mn	Відпал	515	205	40	Хімічне та харчове обладнання, кріогенні посудини
316L	S31603	0.03 C, 17.0 Cr, 12.0 Mo, 12.0 Ni, 2.0 Mn	Відпал	485	170	40	Зварювальні конструкції
Мартенситні							
410	S41000	0.15 C, 12.5 Cr, 1.0 Mn	Відпал	485	275	20	Ножі, столові прибори, деталі реактивного двигуна
			Гарт., відпуск	842	620	12	
440A	S44002	0.70 C, 17.0 Cr, 0.75 Mo, 1.0 Mn	Відпал	725	415	20	Столові прилади, підшипники, хірургічні інструменти
			Гарт., відпуск	1790	1650	5	
Загартовані							
17–7PH	S17700	0.09 C, 7.0 Cr, 7.0 Ni, 1.0 Al, 1.0 Mn	Гарт.	1450	1310	1–6	Пружини, ножі, посудини під тиском

Маркування сталей за UNS

UNS – це універсальна система маркування металів і сплавів [1]. Вона була розроблена в 1975 році для уніфікації різних систем маркування в США. В UNS, марки сталей включають букви, що показують групу сталі, і п'ять цифр. За принципами UNS, найпростіше класифікувати сталі з системи AISI. Так, для конструкційних і легованих сталей, що входять в групу G, перші чотири цифри формули – це найменування в AISI, остання ж цифра замінює букви, що зустрічаються в AISI. Зокрема, літерам В і L, що вказують на легування бором або свинцем, відповідають цифри 1 і 4, а букві Е (продукт виплавлено в електропечі) – цифра 6. Марки корозійностійких AISI–сталей починаються буквою S, включають позначення сталі за AISI (перші три цифри) і два додаткових цифрових значення, що відповідають додатковим буквам в AISI. Приклади маркування різних сталей представлені в таблицях 4.2, 4.4, 4.5 та 4.7.

Відповідність символів AISI та UNS

Співвідношення між маркуванням сталей за американськими системами AISI та UNS представлено у таблиці 4.8.

Таблиця 4.8 – Відповідність символів AISI та UNS

AISI	XXXL	XXXS	XXXN	XXXLN	XXXF	XXXSe	XXXB	XXXH	XXXCu
UNS	XXX01	XXX08	XXX51	XXX53	XXX20	XXX23	XXX15	XXX09	XXX30

Порядок виконання роботи

1. Кожен з студентів отримує індивідуальне завдання з переліком 6 різних марок сталей (Додаток В).
2. Визначити тип та призначення сталі, її хімічний склад та галузі застосування. Результати роботи представити у вигляді таблиці 4.9.

Таблиця 4.9 – Оформлення результатів

Марка сплаву AISI	Марка сплаву UNS	Вид обробки	Хімічний склад, легувальні елементи	Область застосування

Контрольні запитання

1. Як сталі діляться за вмістом легувальних елементів?
2. Як класифікують сталі за вмістом вуглецю?
3. За яким принципом маркують сталі згідно європейській системи?
4. За яким принципом маркують сталі згідно системи AISI?
5. За яким принципом маркують сталі згідно системи UNS?
6. За яким принципом маркують сталі згідно системи ASTM?

Практична робота № 5

СТАТИСТИЧНА ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ БАГАТОКРАТНИХ ВИМІРЮВАНЬ

Мета роботи: провести статистичну обробку експериментальних даних багатократних вимірювань фізико–механічних властивостей металів та сплавів шляхом визначення довірчого інтервалу.

Обладнання та матеріали: таблиця коефіцієнтів Стюдента [2] (Додаток Г).

Індивідуальні завдання у вигляді таблиць з результатами багатократних вимірювань мікротвердості та міцності сталей та сплавів за різних температур (Додаток Д).

Порядок виконання роботи

1. Кожному студенту одержати у викладача індивідуальні завдання (Додаток Д) у вигляді таблиць з результатами вимірювань фізико–механічних властивостей сталей та сплавів.

2. Провести статистичну обробку отриманих результатів та побудувати довірчий інтервал на графіку залежності вказаних властивостей (параметр x) від температури випробувань (параметру y).

Механізм проведення розрахунків представлений у розділі «Хід роботи» а приклад у розділі «Обробка результатів експерименту». Вихідні дані для прикладу приведені в таблиці 5.1. У представленому прикладі проведено 6 випробувань при інших постійних факторах [3].

Хід роботи

1. Обчислюємо вибіркове середнє значення за формулою

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^N y_i}{N}$$

де N – кількість випробувань.

2. Величина стандартного відхилення (дисперсія) визначається по формулі

$$S = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2}.$$

3. Середня величина стандартного відхилення розраховується по формулі

$$\bar{S} = \frac{S}{\sqrt{N}}.$$

Таблиця 5.1 – Експериментальні дані для обробки [3]

x	y _i
1,5	0
	0,6
	0,48
	0,3
	0,3
	0,3
1	0,7
	0,3
	0,78
	1,04
	0,3
	0,3
0,7	1,41
	0,7
	1,04
	0,84
	1,36
	0,78
0,5	1,92
	1,81
	1,88
	1,71
	1,9
	2,02
0,15	2,68
	2,46
	2,45
	2,37
	3,05
	2,73
0,05	3,6
	3,61
	3,78
	3,34
	3,58
	3,48

4. Границі довірчого інтервалу, у яких укладене шукане значення y визначаються по формулі $(\bar{y} - \Delta y)$, $(\bar{y} + \Delta y)$, де $\Delta y = \bar{S} \cdot t$, а t , у свою чергу, критерій точності за стандартною таблицею коефіцієнтів (Ст'юдента), що

вибирається в залежності від імовірності і точності бажаного результату і кількості вимірів. У нашому випадку приймаємо 2,57.

5. Оцінка вірогідності отриманих результатів виробляється шляхом порівняння їх із границями довірчого інтервалу. Достовірними вважаються дані, що лежать усередині згаданого інтервалу, тобто $(\bar{y} - \Delta y) < y_i < (\bar{y} + \Delta y)$.

6. Достовірні значення усереднюють і знову перераховується довірчий інтервал.

7. Після всіх розрахунків будується графік залежності $\bar{y} = \bar{y}(x)$ з нанесення довірчого інтервалу.

Обробка результатів експерименту

Перше наближення.

$$1. \bar{y}(1,5) = \frac{0 + 0,6 + 0,48 + 0,3 + 0,3 + 0,3}{6} = 0,33;$$

$$\bar{y}(1) = \frac{0,7 + 0,3 + 0,78 + 1,04 + 0,3 + 0,3}{6} = 0,57;$$

$$\bar{y}(0,7) = \frac{1,41 + 0,7 + 1,04 + 0,84 + 1,36 + 0,78}{6} = 1,022;$$

$$\bar{y}(0,5) = \frac{1,92 + 1,81 + 1,88 + 1,71 + 1,9 + 2,02}{6} = 1,873;$$

$$\bar{y}(0,15) = \frac{2,68 + 2,46 + 2,45 + 2,37 + 3,05 + 2,73}{6} = 2,623$$

$$\bar{y}(0,05) = \frac{3,6 + 3,61 + 3,78 + 3,34 + 3,58 + 3,48}{6} = 3,565.$$

$$2. S(1,5) = \sqrt{\frac{1}{6-1} [(0-0,33)^2 + (0,6-0,33)^2 + (0,48-0,33)^2 + (0,3-0,33)^2 + (0,3-0,33)^2 + (0,3-0,33)^2]} = 0,2035$$

$$S(1) = \sqrt{\frac{1}{6-1} [(0,7-0,57)^2 + (0,3-0,57)^2 + (0,78-0,57)^2 + (1,04-0,57)^2 + (0,3-0,57)^2 + (0,3-0,57)^2]} = 0,3164$$

$$S(0,7) = \sqrt{\frac{1}{6-1}[(1,41-1,022)^2 + (0,7-1,022)^2 + (1,04-1,022)^2 + (0,84-1,022)^2 + (1,36-1,022)^2 + (0,78-1,022)^2]} = 0,3035$$

$$S(0,5) = \sqrt{\frac{1}{6-1}[(1,92-1,873)^2 + (1,81-1,873)^2 + (1,88-1,873)^2 + (1,71-1,873)^2 + (1,9-1,873)^2 + (2,02-1,873)^2]} = 0,105$$

$$S(0,15) = \sqrt{\frac{1}{6-1}[(2,68-2,623)^2 + (2,46-2,623)^2 + (2,45-2,623)^2 + (2,37-2,623)^2 + (3,05-2,623)^2 + (2,73-2,623)^2]} = 0,252$$

$$S(0,05) = \sqrt{\frac{1}{6-1}[(3,6-3,565)^2 + (3,61-3,565)^2 + (3,78-3,565)^2 + (3,34-3,565)^2 + (3,58-3,565)^2 + (3,48-3,565)^2]} = 0,1467$$

$$3. \bar{S}(1,5) = \frac{0,2035}{\sqrt{6}} = 0,0831;$$

$$\bar{S}(1) = \frac{0,3164}{\sqrt{6}} = 0,1292;$$

$$\bar{S}(0,7) = \frac{0,3035}{\sqrt{6}} = 0,1239;$$

$$\bar{S}(0,5) = \frac{0,105}{\sqrt{6}} = 0,0429;$$

$$\bar{S}(0,15) = \frac{0,252}{\sqrt{6}} = 0,1029;$$

$$\bar{S}(0,05) = \frac{0,1467}{\sqrt{6}} = 0,0599.$$

$$4. \Delta y(1,5) = 0,0831 \cdot 2,57 = 0,2135 \Rightarrow (0,1165; 0,5435);$$

$$\Delta y(1) = 0,1292 \cdot 2,57 = 0,3320 \Rightarrow (0,238; 0,902);$$

$$\Delta y(0,7) = 0,1239 \cdot 2,57 = 0,3184 \Rightarrow (0,7033; 1,34);$$

$$\Delta y(0,15) = 0,1029 \cdot 2,57 = 0,2644 \Rightarrow (2,3589; 2,8877);$$

$$\Delta y(0,05) = 0,0599 \cdot 2,57 = 0,1539 \Rightarrow (3,4111; 3,7189).$$

Результати розрахунків по всім даним у ході першого наближення зведені в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Зведена таблиця результатів розрахунків у ході першого наближення

x	y	S	$\bar{S}$	t	Δy	$(\bar{y} - \Delta y, \bar{y} + \Delta y)$
1,5	0,33	0,20347	0,083066239	2,57	0,21348	(0,1165; 0,5435)
1	0,57	0,316417	0,129176881	2,57	0,331985	(0,238; 0,902)
0,7	1,021667	0,303474	0,123892875	2,57	0,318405	(0,7033; 1,34)
0,5	1,873333	0,105008	0,04286931	2,57	0,110174	(1,7632; 1,9835)
0,15	2,623333	0,252005	0,102880729	2,57	0,264403	(2,3589; 2,8877)
0,05	3,565	0,146663	0,05987487	2,57	0,153878	(3,4111; 3,7189)

5. У таблиці 5.3 приведені дані експерименту, які визнані достовірними.

Таблиця 5.3 – Достовірні дані експерименту [3]

x	y _i
1, 5	0,48
	0,3
	0,3
	0,3
1	0,7
	0,3
	0,78
	0,3
0,7	0,3
	1,41
	1,04
	0,84
0,5	0,78
	1,92
	1,81
	1,88
	1,9

Продовження таблиці 5.3

x	y _i
0,15	2,68
	2,46
	2,45
	2,37
	2,73
0,05	3,6
	3,61
	3,58
	3,48

6. Усереднюємо достовірні значення і знову перераховуємо довірчий інтервал за схемою 1 – *друге наближення*.

$$1. \bar{y}(1,5) = \frac{0,48 + 0,3 + 0,3 + 0,3}{4} = 0,345;$$

$$\bar{y}(1) = \frac{0,7 + 0,3 + 0,3 + 0,3 + 0,78}{5} = 0,476;$$

$$\bar{y}(0,7) = \frac{1,41 + 1,04 + 0,84 + 0,78}{4} = 1,0175;$$

$$\bar{y}(0,5) = \frac{1,92 + 1,81 + 1,88 + 1,9}{4} = 1,8775;$$

$$\bar{y}(0,15) = \frac{2,68 + 2,46 + 2,45 + 2,37 + 2,73}{5} = 2,538;$$

$$\bar{y}(0,05) = \frac{3,6 + 3,61 + 3,58 + 3,48}{4} = 3,5675.$$

$$2. S(1,5) = \sqrt{\frac{1}{4-1}[(0,48-0,345)^2 + (0,3-0,345)^2 + (0,3-0,345)^2 + (0,3-0,345)^2]} = 0,09;$$

$$S(1) = \sqrt{\frac{1}{5-1}[(0,7-0,476)^2 + (0,3-0,476)^2 + (0,78-0,476)^2 + (0,3-0,476)^2 + (0,3-0,476)^2]} = 0,2427$$

$$S(0,7) = \sqrt{\frac{1}{4-1}[(0,7-1,022)^2 + (1,04-1,022)^2 + (0,84-1,022)^2 + (0,78-1,022)^2]} = 0,2843$$

$$S(0,5) = \sqrt{\frac{1}{4-1}[(1,92-1,873)^2 + (1,81-1,873)^2 + (1,88-1,873)^2 + (1,9-1,873)^2]} = 0,0479$$

$$S(0,15) = \sqrt{\frac{1}{5-1}[(2,68-2,623)^2 + (2,46-2,623)^2 + (2,45-2,623)^2 + (2,37-2,623)^2 + (2,73-2,623)^2]} = 0,184$$

$$S(0,05) = \sqrt{\frac{1}{4-1}[(3,6-3,565)^2 + (3,61-3,565)^2 + (3,58-3,565)^2 + (3,48-3,565)^2]} = 0,0597.$$

$$3. \bar{S}(1,5) = \frac{0,09}{\sqrt{4}} = 0,045;$$

$$\bar{S}(1) = \frac{0,2427}{\sqrt{5}} = 0,1085;$$

$$\bar{S}(0,7) = \frac{0,2843}{\sqrt{4}} = 0,1421;$$

$$\bar{S}(0,5) = \frac{0,0479}{\sqrt{4}} = 0,0239;$$

$$\bar{S}(0,15) = \frac{0,184}{\sqrt{5}} = 0,0823;$$

$$\bar{S}(0,05) = \frac{0,0597}{\sqrt{4}} = 0,0298.$$

$$4. \Delta y(1,5) = 0,045 \cdot 2,57 = 0,11565 \Rightarrow (0,2294; 0,4607);$$

$$\Delta y(1) = 0,1085 \cdot 2,57 = 0,2789 \Rightarrow (0,1971; 0,7549);$$

$$\Delta y(0,7) = 0,1421 \cdot 2,57 = 0,3653 \Rightarrow (0,6522; 1,3828);$$

$$\Delta y(0,5) = 0,0239 \cdot 2,57 = 0,0615 \Rightarrow (1,816; 1,939);$$

$$\Delta y(0,15) = 0,0823 \cdot 2,57 = 0,1809 \Rightarrow (2,3571; 2,7189);$$

$$\Delta y(0,05) = 0,0298 \cdot 2,57 = 0,0767 \Rightarrow (3,4908; 3,6442).$$

Результати розрахунків зведені в таблицю 5.4.

Таблиця 5.4 – Зведена таблиця результатів розрахунків у ході другого наближення.

x	y	S	$\bar{S}$	t	Δy	$(\bar{y} - \Delta y, \bar{y} + \Delta y)$
1,5	0,345	0,09	0,045	2,57	0,11565	(0,2294; 0,4607)
1	0,4760	0,2427	0,1085	2,57	0,2789	(0,1971; 0,7549)
0,7	1,0175	0,2843	0,1421	2,57	0,3653	(0,6522; 1,3828)
0,5	1,8775	0,0479	0,0239	2,5700	0,0615	(1,816; 1,939)
0,15	2,5380	0,1574	0,0704	2,5700	0,1809	(2,3571; 2,7189)
0,05	3,5675	0,0597	0,0298	2,5700	0,0767	(3,4908; 3,6442)

7. Приклад графіку залежності $\bar{y} = \bar{y}(x)$ з нанесенням довірчих інтервалів представлений на рисунку 5.1.

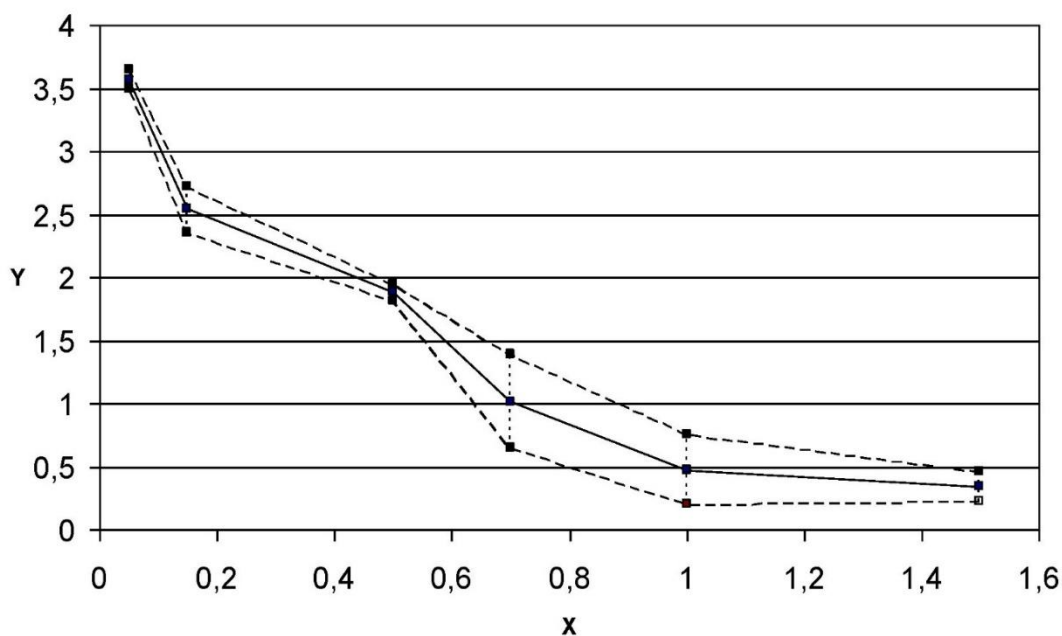


Рисунок 5.1 – Графік залежності $\bar{y} = \bar{y}(x)$ з нанесенням довірчих інтервалів

Вимоги до оформлення індивідуального протоколу роботи

Необхідно представити результати обчислень середньоарифметичного значення результатів вимірювань згідно з наданим завданням, дисперсії та довірчого інтервалу, а також графік залежності з нанесеним довірчим інтервалом.

У висновках до роботи необхідно пояснити можливі причини флуктуації розмаху побудованого довірчого інтервалу для кожної групи експериментальних даних.

Контрольні запитання

1. Що характеризує дисперсія?
2. Які існують методи знаходження грубих похибок?
3. Що характеризує вірогідність та достовірність отриманих результатів?
4. Які види похибок можна виключити шляхом статистичної обробки експериментальних результатів вимірювань?

Практична робота № 6

СИСТЕМА ОДИНИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ПРОМИСЛОВОЇ ПРОДУКЦІЇ

Мета: вивчення номенклатури показників якості промислової продукції. Набуття навичок класифікації і визначення одиничних показників якості продукції.

Обладнання та матеріали: нормативні документи на прилади і обладнання, персональний комп'ютер.

Основні теоретичні положення

Якість продукції – сукупність властивостей і характеристик продукції або послуги, які надають їм здатність задовольняти обумовлені або передбачувані потреби (ISO 8402–86 Якість. Словник).

Кожен показник якості, як кількісна характеристика однієї із властивостей об'єкта, який повинен відображати здатність цього об'єкта задовольняти суспільні потреби в конкретних умовах [4]. Таким чином, під час формування (введення) будь-якого показника якості необхідно враховувати наступні *компоненти якості*:

- суспільна потреба;
- конкретні умови;
- об'єкт;
- ступінь задоволення потреби.

Показник якості повинен давати відповідь на питання: якою мірою даний об'єкт (явище) має властивість (здатність) задовольняти суспільну потребу (інтерес, цінність). Номенклатура показників якості: для того щоб оцінити рівень якості, необхідно використовувати відповідну номенклатуру показників.

Показники якості поділяються на такі групи [4]:

1) *Показники призначення* характеризують властивості продукції (послуг), що визначають основні функції, для виконання яких вона призначена, і що обумовлюють область її застосування.

Група поділена на чотири підгрупи:

- класифікаційні показники;
- показники функціональні і технічної ефективності;
- конструктивні показники;
- показники складу і структури.

2) *Показники надійності* характеризують властивості безвідмовності,

довговічності, ремонтпридатності і зберігання.

Група поділена на чотири підгрупи:

- показники безвідмовності;
- показники довговічності;
- показники ремонтпридатності;
- показники зберігання.

3) *Показники технологічності* характеризують сукупність властивостей конструкції продукції, що визначає її пристосованість до досягнення оптимальних витрат під час виробництва, експлуатації і ремонту для заданих показників якості продукції, обсягу її випуску умов виконання робіт.

4) *Показники уніфікації* характеризує ступінь використання в продукції стандартизованих виробів і рівень уніфікації складових частин виробів.

5) *Патентно–правові показники* характеризують патентний захист і патентну чистоту продукції, вони важливі для визначення її конкуренто–спроможності.

6) *Ергономічні показники* характеризують систему «людина – виріб» (або «Людина–машина») з позицій людини, як би дають їй «людський вимір», і враховують комплекс гігієнічних, антропометричних, фізіологічних і психологічних властивостей людини, що проявляються у виробничих і побутових процесах.

Група поділяється на наступні підгрупи :

- антропометричні;
- гігієнічні;
- фізіологічні та психофізичні;
- психологічні.

Гігієнічні показники визначають відповідність виробу гігієнічним умовам життєдіяльності і працездатність людини. Сюди відносять показники рівнів: освітленості, температури, вологості, тиску і т. д.

7) *Естетичні показники* характеризують інформаційну виразність, раціональність форми, цілісність композиції, досконалість виробничого виконання.

Ця група включає наступні підгрупи показників:

- інформаційної виразності;
- раціональної форми;
- цілісності композиції;
- досконалості виробничого виконання і стабільність товарного ряду.

Показники інформаційної виразності визначають здатність виробу виражати своєю формою естетичне уявлення і культурні норми, що склалися

в суспільстві. У цю підгрупу входять показники: знаковості, оригінальності; стильової відповідності; відповідності моді.

Показники цілісності композиції визначають єдність частин і цілого, ефективність використання професійно–художніх засобів, для створення повноцінного композиційного рішення, обмежений взаємозв'язок елементів форми виробу і його узгодженість з ансамблем інших виробів.

8) *Показники транспортабельності* – характеризують властивості продукції, до переміщенням в просторі, що не супроводжується її використанням або споживанням. До показників транспортабельності відносяться:

- середня трудомісткість підготовки одиниці продукції до транспортування;
- середня вартість пакування продукції;
- середня вартість перевезення одиниці продукції на один кілометр шляху;
- середня тривалість розвантаження продукції тощо.

9) *Екологічні показники* характеризують рівень шкідливих впливів на навколишнє середовище, що виникають під час споживання продукції або її експлуатації.

10) *Показники безпеки* характеризують властивості продукції, що обумовлюють безпеку людини під час споживання чи використання продукції. До цієї групи відносять:

- ймовірність безпечної роботи людини протягом певного часу;
- час спрацювання захисних пристроїв опору ізоляції струмопровідних частин.

11) *Економічні показники* характеризують витрати на розроблення, виготовлення, експлуатацію або споживання продукції.

Характеристики показників якості

Основними характеристиками показників якості є кількісна і якісна характеристика. Показники якості мають розмірність або можуть бути безрозмірними [4]. Кількісною характеристикою показника якості є їх розмір, який потрібно відрізнити від значення – вираження розміру в певних одиницях. Якісною характеристикою показника якості є розмірність. Якщо показник якості є безрозмірним, то кількісною характеристикою є бал. Значення показників якості можуть бути, як абсолютними, так і відносними. Абсолютні значення мають розмірність, а відносні – безрозмірні.

Показники якості поділяються на одиничні і комплексні. Одиничні показники відносяться до однієї з властивостей продукції, що визначають якість, а комплексні – відразу до декількох.

Порядок виконання роботи

1. Отримати від викладача назву об'єкту експертизи із заданого переліку (табл.6.1).

Таблиця 6.1 – Типові об'єкти експертизи [4]

№	Лабораторне устаткування	Побутовий прилад
1	Електропіч для термічної обробки	Монітор
2	металів на повітрі	Мобільний телефон
3	Електропіч для термічної обробки	Пральна машина
4	металів в вакуумі	Калькулятор
5	Металографічний мікроскоп	Телевізор
6	Електронний мікроскоп	Аудіо плеєр
7	Мікротвердомір	Пилосос
8	Профілометр	Піч СВЧ
9	Товщиномір ультразвуковий	Шуруповерт
10	Мікрометр	Електронні ваги
11	Вольтметр цифровий	Перфоратор
12	Насос вакуумний механічний	Шліфувальна машинка

2. Сформулювати одиничні показники якості.
3. Визначити міри показників якості (в одиницях фізичних величин або у безрозмірних одиницях, балах).
4. Результати оформити у вигляді таблиці 6.2 і зробити висновки.

Таблиця 6.2 – Оформлення результатів

Номер показника	Одиничні показники якості	Міри

У висновках до роботи потрібно пояснити, яким чином обрані конкретні одиничні показники якості та які з них визначають основні функції продукції.

Контрольні запитання

1. Які існують основні ряди показників якості продукції?
2. Чому показники призначення продукції важливіші, ніж економічні показники?
3. Яким чином встановлюються безрозмірні показники якості продукції?

Практична робота № 7

МАРКУВАННЯ АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ ЗГІДНО ЄВРОПЕЙСЬКИХ ТА УКРАЇНСЬКИХ СТАНДАРТІВ

Мета роботи: вивчити принципи позначення алюмінієвих сплавів згідно з системами з державною та міжнародною системи з стандартизації.

Обладнання та матеріали: індивідуальні завдання у вигляді варіантів різних марок сплавів.

Основні теоретичні положення

Єдиної світової системи маркування алюмінієвих сплавів не існує. В Україні це стандарти ДСТУ, ГОСТ, ISO. В США використовують декілька систем – AISI. В Європі – EN, ISO. В країнах СНД – стандарти колишнього СРСР, тобто ГОСТ. Згідно з цими стандартами маркування залежить від її металургійної якості, призначення та хімічного складу. Так наприклад для опису характеристик різного роду сплавів на основі алюмінію в Україні дуже широко використовують стандарти ГОСТ, які вказані в таблиці 7.1.

Таблиця 7.1 – Стандарти на виробництво алюмінієвих сплавів

Найменування стандарту	Номер стандарту
Алюміній та сплави алюмінієві деформовані. Марки	ГОСТ 4784–97
Алюмінієві сплави деформуються в чушках. Технічні умови	ГОСТ 1131–76
Алюміній первинний. Методи спектрального аналізу	ГОСТ 3221
Профілі пресовані з алюмінію та алюмінієвих сплавів. Технічні умови	ГОСТ 8617–84
Шини пресовані електротехнічного призначення з алюмінію та алюмінієвих сплавів. Технічні умови	ГОСТ 15176–89
Плити з алюмінію та алюмінієвих сплавів. Технічні умови	ГОСТ 17232–99
Труби холоднодеформовані з алюмінію та алюмінієвих сплавів. Технічні умови	ГОСТ 18475–82
Труби пресовані з алюмінію та алюмінієвих сплавів. Технічні умови	ГОСТ 18482–79
Прутки пресовані з алюмінію та алюмінієвих сплавів. Технічні умови	ГОСТ 21488–97
Профілі пресовані з алюмінієвих сплавів для світлопрозорих конструкцій, що захищають. Технічні умови	ГОСТ 22233–2001
Труби бурильні з алюмінієвих сплавів. Технічні умови	ГОСТ 23786–79

Алюмінієві сплави в залежності від методу отримання поділяють на [5]:

- деформівні алюмінієві сплави, що не піддають термічній обробці;
- деформівні алюмінієві сплави, що піддають термічній обробці;
- кувальні алюмінієві сплави;

– ливарні алюмінієві сплави.

В таблиці 7.2 [5] представлено маркування, хімічний склад та використання деяких алюмінієвих сплавів.

Таблиця 7.2 – Маркування, хімічний склад та використання деяких алюмінієвих сплавів

Марка сплаву	Хімічний склад, середній вміст компонентів, %						Механічні властивості		Галузь використання
	Cu	Mg	Zn	Mn	Si	інші	σ _в , МПа	δ, %	
Сплави, що не зміцнюються термічною обробкою									
АМц	–	–	–	1,4		0,06 Ti	130	23	Цистерни, баки, корпуси човнів, посуд.
АМг3	–	3,5	–	0,5	0,065		190	15	
АМг5	–	5	–	0,6			270	18	
Сплави, що зміцнюються термічною обробкою									
Д1	4,3	0,6	–	0,6	0,8		410	15	Деталі літаків
Д16	4,3	1,6	–	0,6	0,5		520	11	
Високоміцні деформовані сплави									
В95	1,7	2,4	6,0	0,4	0,5	–	580	8	Деталі літаків, ракет
В96	2,5	2,8	8,0	0,4	–	0,22 Cr	670	7	
Кувальні сплави									
АК– 6	2,3	0,6	–	0,9			420	13	Поршні д.в.з.
Жароміцні сплави									
АК4–1	2,2	0,6		1,2	0,35	1Fe, 1Ni, 0,1Ti.	430	13	Деталі літаків, ракет.
Ливарні сплави									
АК12					11		180	5	Корпуси електродвигунів, поршні д.в.з.
АЛ 4		0,2		0,4	9,5		180	2	
АЛ8		10					350	10	
АЛ 9		0,3			7		180	2	
Високоміцні ливарні сплави									
АМ4,5 Кд	4,5	–	–	0,6	–	0,2 Ti, 0,1Cd.	490	6	Деталі літаків, ракет
ВАЛ12	1	3	6	0,5		0,15Ti, 0,15Zr.	560	6	Деталі літаків, ракет
Жароміцні ливарні сплави									
АЛ1	4,2	1,5				2 Ni,	260	0,6	Поршні дизелів, деталі д.в.з.
АЛ20	4	0,9		0,22	1,7	0,2Cr, 1,4Fe, 0,1Ti.	300	0,8	
САП						Al +20% Al ₂ O ₃	450	1,7	Лопатки турбін, компресорні диски

Деформівні алюмінієві сплави, що не піддають термічній обробці. До цих сплавів відносять сплави типу Al – Mn (група АМц) і Al – Mg (група АМг). Ці сплави добре оброблюються тиском, добре зварюються і мають високу корозійну стійкість. Підвищення міцності їх досягаються нагартовкою.

Деформівні алюмінієві сплави, що піддають термічній обробці. До таких сплавів відносять дюралюміни, які є складними сплавами системи Al – Cu – Mg або Al – Mg – Zn – Cu. Дюралюміни мають знижену корозійну стійкість, для підвищення якої до складу сплаву вводять марганець. При старінні дюралюмінів утворюються фази типу Al_2CuMg (S – фаза), або Al_2Mg_3Zn (Т – фаза) та інші.

Дюралюміни піддають гартуванню (температура нагріву $500 \pm 5^\circ\text{C}$) і природньому старінню, якому передуює 2 – 3 годинний інкубаційний період, впродовж якого сплав зберігає високу пластичність. Максимальна міцність досягається після 4 – 5 діб витримки. Високоміцними деформівними сплавами є сплави, які крім міді та магнію вміщують цинк (сплави В95, В96 мають $\sigma_b = 650$ МПа). Ці сплави звичайно піддають гартуванню та штучному старінню.

Кувальні алюмінієві сплави. Поковки та штамповки з алюмінієвих сплавів АКУ – 1, АК6, АК8 та інші виробляють при температурі 380...450 °С. Поковки піддають гартуванню від 500...575 °С і старінню при 150 – 165 °С на протязі 6...15 годин. Введені до складу сплаву Ni, Fe, Ti підвищує температуру рекристалізації і жароміцність сплавів до 300 °С.

Ливарні алюмінієві сплави. Типовими ливарними алюмінієвими сплавами є сплави системи Al–Si – силуміни (10...13% Si). Діаграма стану системи Al – Si евтектичного типу. Легування Cu, Mg, Zn сприяє підвищенню міцності, особливо після гартування та старіння; Ti, Zr, В подрібнюють зерно та підвищують дисперсність евтектичних складових; Mn підвищує корозійну стійкість; Ni, Fe підвищують жароміцність ливарних алюмінієвих сплавів.

Маркування алюмінієвих сплавів згідно світових стандартів

Згідно європейським та американським стандартам (табл. 7.3) алюмінієві сплави поділяються на дві великі категорії: ковани та литі. Ковані піддаються механічній обробці з різними режимами. Крім того багато сплавів піддаються термічній обробці: гартування та старіння.

Система Алюмінієвої асоціації найбільш відома в Сполучених Штатах. Їхня система ідентифікації сплавів використовує різні номенклатури для кованих і литих сплавів, але для спрощення поділяє сплави на сімейства.

Для *деформівні алюмінієвих сплавів* використовується чотиризначна система для створення списку сімейств деформованих композицій наступним чином:

Таблиця 7.3 – Міжнародні стандарти на виробництво алюмінієвих сплавів

Найменування стандарту	Номер стандарту
Алюміній та алюмінієві сплави – хімічний склад.	EN 573–3:2019
Алюміній та алюмінієві сплави – хімічний склад.	ISO 209:2007
Алюміній та алюмінієві сплави – листи, балки	EN 485–2
Алюміній та алюмінієві сплави – металопрокат	EN 541
Алюміній та алюмінієві сплави – отримано волочінням, специфікації	EN 570
Алюміній та алюмінієві сплави – хімічний склад та форма кованих виробів	EN 573–2
Алюміній та алюмінієві сплави – кування: механічні властивості	EN 586–2
Алюміній та алюмінієві сплави – холоднокатані труби	EN 754–2
Алюміній та алюмінієві сплави – екстрадовані труби	EN 755–2
Алюміній та алюмінієві сплави – дріт	EN 1301–2
Алюміній та алюмінієві сплави – литі вироби, хім. склад., властивості	EN 1706:2020

1xxx: контрольований нелегований склад, що використовується переважно в електротехнічній та хімічній промисловості;

2xxx: сплави, в яких мідь є основним легувальним елементом, хоча можуть бути вказані інші елементи, зокрема магній. Сплави серії 2xxx широко використовуються в літаках, де цінується їх висока міцність (межа плинності до 455 МПа);

3xxx: сплави, в яких марганець є основним легувальним елементом, використовуються як сплави загального призначення для архітектурних застосувань та різних виробів;

4xxx: сплави, в яких кремній є основним легувальним елементом, які використовуються у зварювальних стрижнях і паяльних листах;

5xxx: сплави, в яких магній є основним легувальним елементом, які використовуються в корпусах човнів, трапах та інших продуктах, які піддаються впливу морського середовища;

6xxx: сплави, в яких магній і кремній є основними легувальними елементами, які зазвичай використовуються для архітектурної екструзії та автомобільних компонентів;

7xxx: сплави, в яких цинк є основним легувальним елементом (хоча можуть бути вказані інші елементи, такі як мідь, магній, хром і цирконій), які використовуються в конструкційних компонентах літаків та інших високоміцних застосуваннях. Серія 7xxx є найміцнішими алюмінієвими сплавами з можливими межами плинності ≥ 500 МПа.

8xxx: Сплави, що характеризують різні склади. Сплави серії 8xxx можуть

містити значну кількість олова, літію та/або заліза.

9xxx: зарезервовано для майбутнього використання.

До сплавів алюмінію, що піддаються термічній обробці (зміцнюваних при осадженні), належать сплави 2xxx, 6xxx, 7xxx та деякі сплави 8xxx. Різні комбінації легувальних добавок та механічні властивості кувальних алюмінієвих сплавів наведені в таблиці 7.4.

Таблиця 7.4 – Склад та механічні властивості деяких кувальних алюмінієвих сплавів згідно міжнародної асоціації алюмінієвих сплавів

Марка	Хімічний склад сплаву	Метод зміцнення	Діапазон міцності на розрив, МПа
1xxx	Al	Холодна обробка	70–175
2xxx	Al–Cu–Mg (1–2.5% Cu)	Гаряча обробка	170–310
2xxx	Al–Cu–Mg–Si (3–6% Cu)	Heat treat	380–520
3xxx	Al–Mn–Mg	Холодна обробка	140–280
4xxx	Al–Si	Холодна обробка (більш.)	105–350
5xxx	Al–Mg (1–2.5% Mg)	Холодна обробка	140–280
5xxx	Al–Mg–Mn (3–6% Mg)	Холодна обробка	280–380
6xxx	Al–Mg–Si	Гаряча обробка	150–380
7xxx	Al–Zn–Mg	Гаряча обробка	380–520
7xxx	Al–Zn–Mg–Cu	Гаряча обробка	520–620
8xxx	Al–Li–Cu–Mg	Гаряча обробка	280–560

Ливарні алюмінієві сплави описуються тризначною системою, за якою слідує десяткове значення. Десятковий 0,0 у всіх випадках відноситься до меж ливарних сплавів. Десяткові цифри 0,1 і 0,2 стосуються композицій злитків, які після плавлення та обробки повинні мати хімічний склад, що відповідає вимогам специфікації лиття. Різні комбінації легувальних добавок та механічні властивості ливарних алюмінієвих сплавів наведені в таблиці 7.5.

До сімейства ливарних сплавів належать:

1xx.x: контрольовані нелеговані композиції, особливо для виробництва роторів;

2xx.x: сплави, в яких мідь є основним легувальним елементом. Можуть бути присутні інші легувальні елементи;

3xx.x: Сплави, в яких кремній є основним легувальним елементом. Вказуються інші легувальні елементи, такі як мідь і магній. Серія 3xx.x включає майже 90% усіх вироблених фасонних виливків;

4xx.x: сплави, в яких кремній є основним легувальним елементом;

5xx.x: сплави, в яких магній є основним легувальним елементом;

6xx.x: не використовується;

7xx.x: сплави, в яких цинк є основним легувальним елементом. Можуть бути присутні інші легувальні елементи, такі як мідь і магній;

8xx.x: Сплави, в яких олово є основним легувальним елементом;

9xx.x: не використовується.

Таблиця 7.5 – Склад та механічні властивості деяких ливарних алюмінієвих сплавів

Система сплавів (позначення АА)	Діапазон міцності на розрив, МПа
Термообробні та ливарні сплави (різні відпуски)	
Al–Cu (201–206)	353–167
Al–Cu–Ni–Mg (242)	186–221
Al–Cu–Si (295)	110–221
Al–Si–Cu (319)	186–248
Al–Si–Cu–Mg (355, 5% Si, 1.25% Cu, 0.5% Mg)	159 269
Al–Si–Mg (356, 357)	159 345
Al–Si–Cu–Mg (390, 17% Si, 4.5% Cu, 0.6% Mg)	179–276
Al–Zn (712, 713)	241
Сплави, що не піддаються термічній обробці, литі під тиском	
Al–Si (413, 443, F temper)	228–296
Al–Mg (513, 515, 518, F temper)	276 310
Литі сплави, що не піддаються термічній обробці	
Al–Sn (850, 851, 852, T5 temper)	138–221

До термообробних ливарних сплавів належать серії 2xx, 3xx та 7xx.

Для короткого опису виду обробки алюмінієвих сплавів використовують наступні позначення:

F – виготовлений;

O – відпалений;

H – загартований;

T – термічно оброблений;

T4 – оброблений розчином;

T6 – оброблений розчином та після старіння.

Алюмінієві сплави економічні в багатьох сферах застосування. Вони використовуються в автомобільній, аерокосмічній промисловості, у будівництві машин, приладів і конструкцій, як кухонне начиння, як кришки для корпусів електронного обладнання, як посудини під тиском для криогенних застосувань та в незліченних інших областях.

Порядок виконання роботи

1. Кожен з студентів отримує індивідуальне завдання з переліком різних марок алюмінієвих сплавів (Додаток Е).
2. Визначити тип та призначення сплавів, їх хімічний склад та галузі застосування.
3. Результати роботи представити у вигляді таблиці 7.6.

Таблиця 7.6 – Оформлення результатів

Марка сплаву	Хімічний склад, легувальні елементи	Область застосування

Контрольні запитання

1. Проведіть класифікацію алюмінієві сплави за вмістом легувальних елементів згідно Українських та світових стандартів.
2. Як класифікують алюмінієві сплави в залежності від методу отримання згідно стандартів EN?
3. Як класифікують алюмінієві сплави в залежності від методу отримання згідно стандартів ГОСТ та ДСТУ?
4. Які позначення використовують для опису методів обробки алюмінієвих сплавів за міжнародними стандартами?
5. Перерахуйте стандарти ДСТУ та EN, які використовуються при виготовленні металопрокату з алюмінієвих сплавів.

Практична робота № 8

КЛАСИФІКАЦІЯ ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ ТА МАРКУВАННЯ ЗГІДНО ЄВРОСТАНДАРТІВ

Мета роботи: вивчити діючі стандарти маркування полімерних матеріалів, набути уміння розрізняти класи полімерних матеріалів згідно можливості їхньої переробки.

Обладнання та матеріали: індивідуальні завдання у вигляді варіантів різних марок полімерних матеріалів, стандарти їх маркування.

Основні теоретичні положення

З розвитком науково–технічного прогресу полімерні матеріали все більше використовуються для виготовлення як різних відповідальних деталей (деталі корпусів літальних апаратів, підшипників ковзання, лако–фарбові покриття тощо), так речей повсякденного користування (упаковки, дитячі іграшки, чохла смартфонів та ін.). Проте після завершення терміну експлуатації не всі полімерні матеріали можуть перероблятися та повторно використовуватись. Тому виникає гостра необхідність вивчення позначень полімерних матеріалів та усвідомлення необхідності сортування використаних полімерів усіма користувачами споживчого світу. А спеціалісти в області матеріалознавства, окрім цього, зобов'язані бути ознайомлені з методами їх обробки та утилізації.

Полімер – це органічна сполука, природна або синтетична, з високою молекулярною масою, що складається з повторюваних структурних одиниць мономерів. Наприклад: поліпропілен – це ланцюжок із мономерів пропілену.

Часто не спеціалісти в області матеріалознавства називають всі полімери «пластиком». Проте таке твердження є хибним тому, що пластик є тільки частинним випадком полімерних матеріалів. Адже згідно *впливу високої температури на властивості полімерних матеріалів* вони поділяються на: термопластичні та термореактивні. І «пластик» належить до першого класу.

Термопластичні полімери – полімерні матеріали, здатні оборотно переходити при нагріванні у високо еластичний або в'язко–текучий стан. Тобто при нагріванні та охолодженні хімічні зв'язки між мономерами не руйнуються.

За нормальної температури термопласти перебувають у твердому стані. При підвищенні температури вони переходять у високо еластичний і далі – в'язко–текучий стан, що забезпечує можливість формування їх різними методами. Ці переходи оборотні і можуть повторюватися багаторазово, що дозволяє, зокрема, переробляти побутові та виробничі відходи з термопластів на нові вироби.

Переробка термопластів виробу не супроводжується незворотною хімічною реакцією.

Термореактивні полімери – це матеріали із сітчастою структурою. Вони стають жорсткими безпосередньо в процесі їх виготовлення, залишаються в такому стані і не розм'якшуються при нагріванні. В процесі нагрівання до високої температури таких полімерів зв'язок між мономерами руйнується, і при охолодженні такі полімери будуть мати абсолютно відмінні механічні властивості. В зв'язку із цим більшість термореактивних полімерів не піддаються повторній переробці.

У відповідності до *структури* полімери поділяються на: аморфні та кристалічні (рис. 8.1). Проте в реальних полімерних матеріалах дуже часто зустрічається поєднання і аморфної складової і кристалічної.

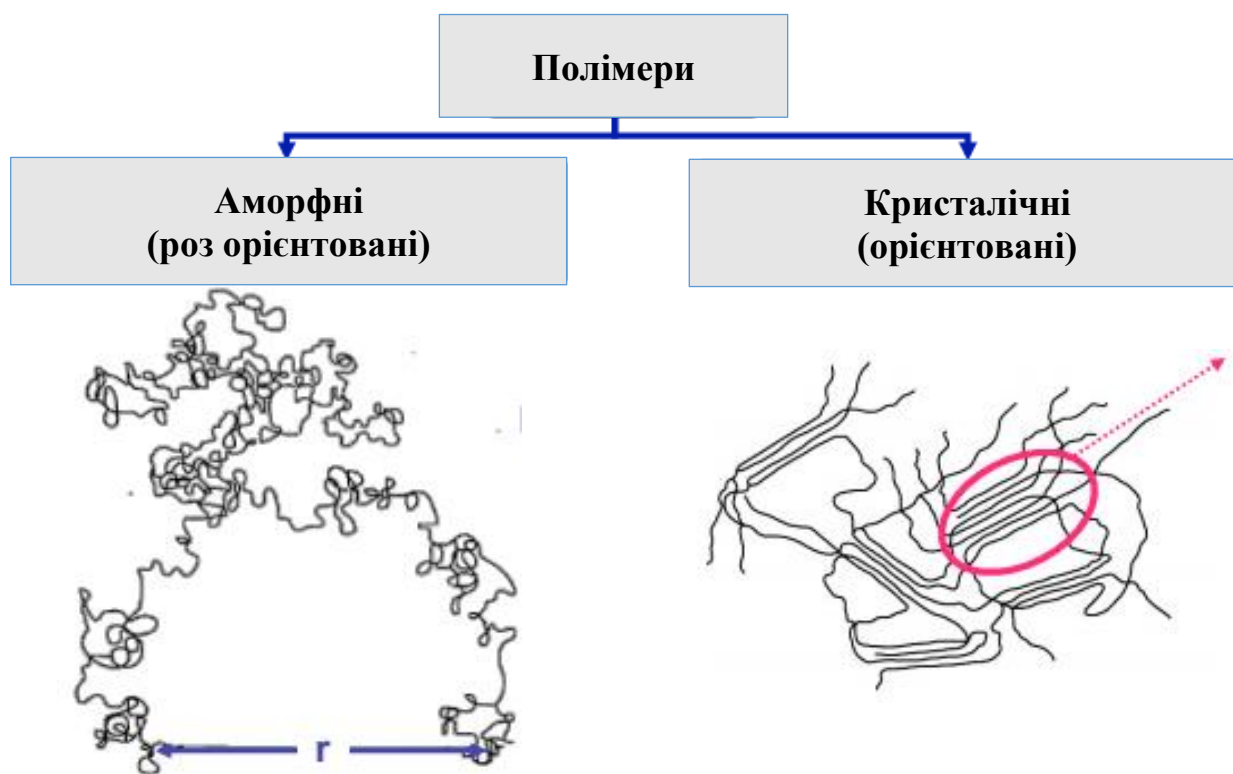


Рисунок 8.1 – Класифікація полімерів за структурою

З точки зору *молекулярної структури* полімери поділяються на: лінійні, розгалужені та сітчасті (рис. 8.2).

Згідно з використанням полімери поділяються на:

- *Еластomers*. Це матеріали з дуже низьким модулем пружності і високою розтяжністю;
- *Пластмаси*. Це полімери, в яких при застосуванні великих навантажень вони необоротно деформуються;
- *Волокна*. Мають високий модуль пружності та низьку пластичність;
- *Покриття*. Як правило рідкі речовини, які наносяться на поверхні інших

матеріалів;

- *Клеї*. Речовини, які поєднують високу адгезію та високу когезію.

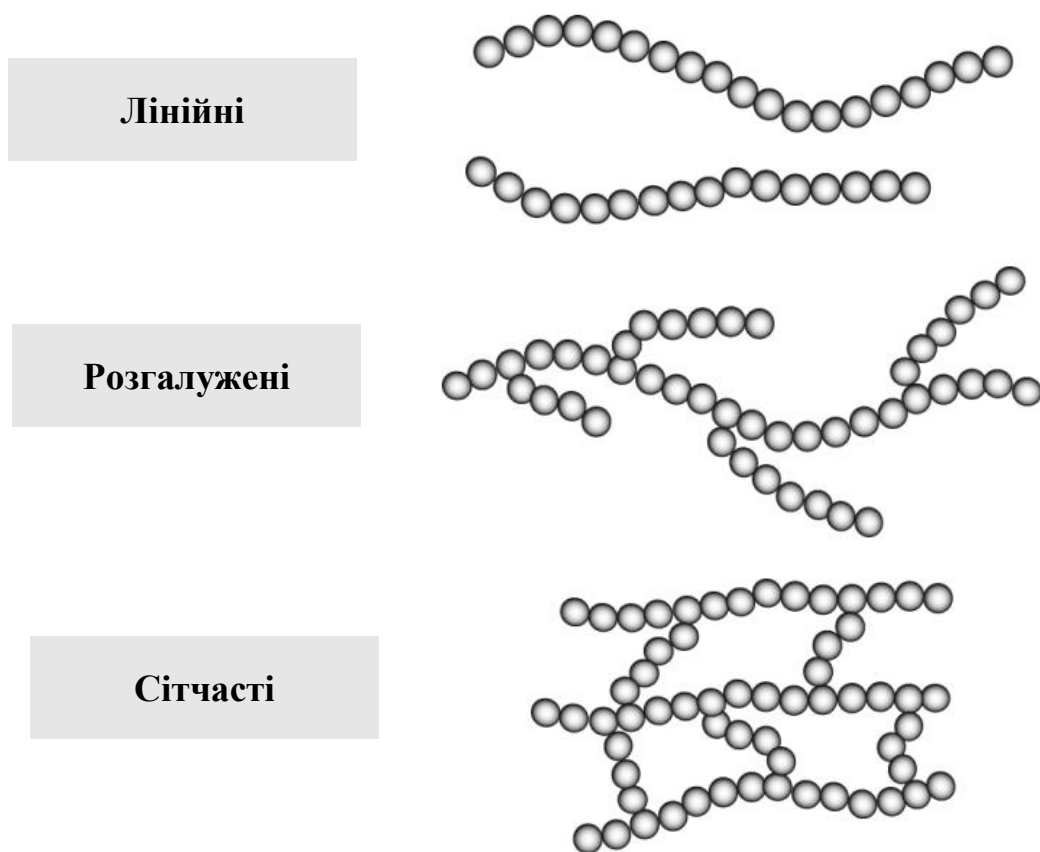


Рисунок 8.2 – Класифікація полімерів за молекулярною структурою

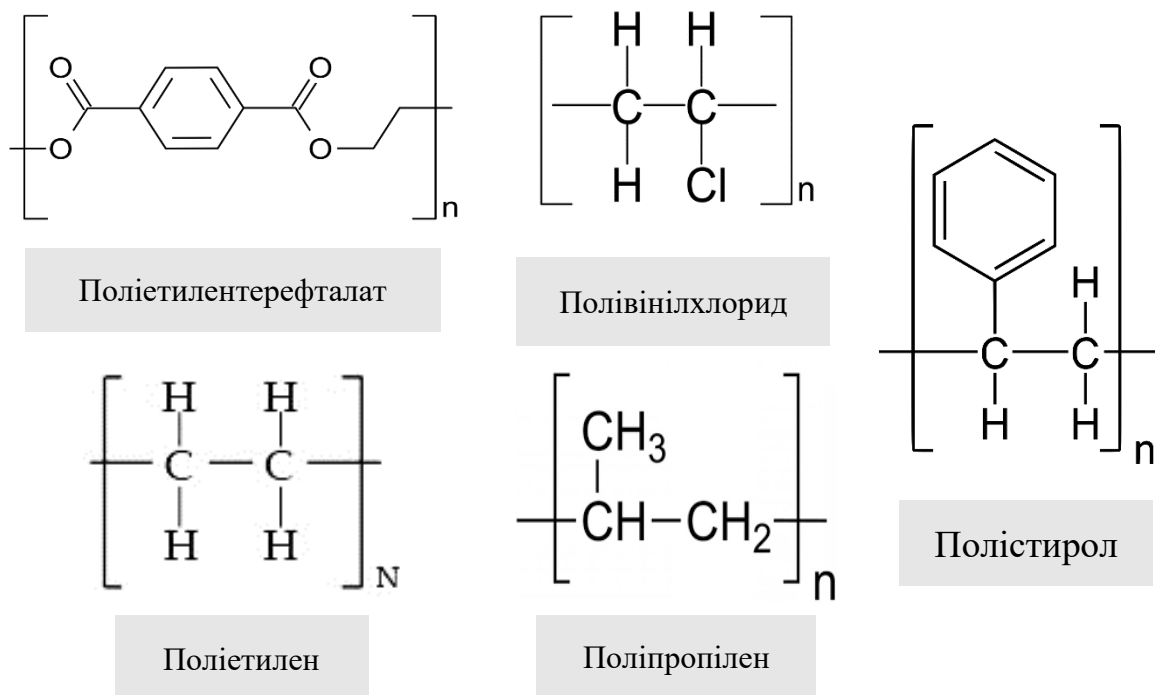


Рисунок 8.3 – Схематичне зображення формул деяких полімерів

Згідно *походження* полімери поділяють на: природні та синтетичні.

Згідно *хімічного складу* найрозповсюдженіші полімери поділяються на (рис. 8.3): поліетилентерефталат, поліетилен, полівінілхлорид, поліпропілен, полістирол та ін.

Єдиної світової системи маркування полімерних матеріалів не існує. Проте найпоширенішими є стандарти які вказані в таблиці 8.1.

Таблиця 8.1 – Стандарти на виробництво алюмінієвих сплавів

Найменування стандарту	Номер стандарту
Сировина полімерна вторинна. Порядок збирання, зберігання та перероблення відходів.	ДСТУ 2731–94
Пакування та маркування. Терміни та визначення.	ДСТУ 2887–94
Тара і транспортування. Терміни та визначення.	ДСТУ 2890–94
Тара і пакування спожиткові. Маркування. Загальні умови.	ДСТУ 4260:2003
Загальна ідентифікація та маркування пластмасових виробів	ISO 11469:2016
Ідентифікаційні коди смоли (RIC), що складаються з рівностороннього трикутника, ідентифікаційного номера смоли та скорочені назви полімерних матеріалів.	ASTM D7611
Пластмаси — Символи та скорочені терміни	ISO 1043 (ГОСТ 33366)
Каучуки та латекси. Номенклатура	ISO 1629
Термопластичні еластомери	ISO 18064
Загальне визначення та маркування продуктів з полімерів	ISO 11469
Екологічні маркувальні знаки та декларації. Основні положення.	ISO 14020
Екологічні маркувальні знаки та декларації. Екологічні позначення етикеток I типу. Принципи та процедури.	ISO 14024
Екологічні етикетки та декларації. Екологічні позначення етикеток II типу	ISO 14021
Екологічні етикетки та декларації. Екологічні позначення етикеток III типу	ISO/TR 14025

Ідентифікаційна система, у відповідності з Директивою 94/62/ЄС, установлює використання такої короткої нумерації перероблюваних матеріалів [6]:

- від 1 до 19 – для полімерів;
- 20 до 39 – для паперу і картону;
- від 40 до 49 – для металів;
- від 50 до 59 – для деревини;
- від 60 до 69 – для текстилю;
- від 70 до 79 – для скла.

Крім того, ідентифікаційна система може використовувати скорочені назви матеріалів, наприклад, HDPE – поліетилен високої щільності (ПЕВЩ). Матеріали



Рисунок 8.4 – Скорочене маркування полімерних

можуть бути ідентифіковані системою нумерації або скороченням назви (рис. 8.4). Ідентифікаційні знаки можуть поміщуватись у центрі або нижче графічної маркування, яка свідчить про повторно використану або відновлювану природу упаковки. В центрі знаку ставиться номер про який було згадано в попередньому абзаці. Під знаком вказується скорочена назва матеріалу (аббревіатура) англійською мовою.

Сьогодні використовують близько 70 різних полімерів, на основі яких виготовляють сотні різноманітних матеріалів. Найпоширеніші полімери та сфери їх застосування наведено в таблиці 8.2. Позначення наведені згідно стандарту ASTM D7611. При позначенні використовувались різні кольори, зелений відповідає можливості повторної переробки, червоний – її відсутність.

Таблиця 8.2 – Найпоширеніші полімери, їх позначення та сфери застосування

Назва полімеру	Позначення	Застосування
Поліетилентерефталат		Виготовлення тари для напоїв: мінеральної води, фруктових соків тощо, блістерної упаковки, поліестерного волокна
Поліетилен високої густини		Виготовлення пляшок, фляг, напівжорсткої упаковки. Вважається безпечним для зберігання харчових продуктів
Полівінілхлорид		Виготовлення труб, садових меблів, покриття для полу, віконних профілів, жалюзі, ізоляційної стрічки, тари для мийних засобів. Непридатний для харчових продуктів

Продовження таблиці 8.2

Назва полімеру	Позначення	Застосування
Поліетилен низької густини		Виготовлення брезенту, пакетів для сміття, плівки та гнучкої упаковки. Вважається безпечним для зберігання харчових продуктів
Поліпропілен		Виготовлення обладнання та бамперів для автомобілів, іграшок, труб для водопроводів, упаковки для харчових продуктів. Вважається безпечним для зберігання харчових продуктів
Полістирол		Виготовлення плит для теплоізоляції будівель, піно матеріалів, харчової упаковки, іграшок, ручок тощо. Небезпечний у разі горіння
Інші		Виготовлення різних пластикових комбінацій
АБС-пластик		Побутова техніка та її складові

Згідно стандарту ISO 11469:2016 ми можемо визначити загальну ідентифікацію та маркування пластмасових виробів. Приклад: акрилонітріл-бутадієн-стирольний полімер «АБС».

Згідно ISO 1043, ISO 1629, ISO 18064 «Пластмаси – Символи та скорочені терміни» маркування полімерних матеріалів відбувається за частинами (рис.8.5), а саме [7]:

ISO 1043 Частина 1: Основні полімери та їх особливі характеристики;

ISO 1043 Частина 2: Наповнювачі та армуючі матеріали;

ISO 1043 Частина 3: Пластифікатори;

ISO 1043 Частина 4: Антипірени.

Наприклад згідно стандарту ISO 1043, полімер «PA-GF50-P(ELO)FR(52)» –

це поліетилен, армований скловолокном з пластифікатором у вигляді епоксидної лляної олії та антипіреном – червоний фосфор.



Рисунок 8.5 – Структура маркування згідно стандартів ISO 1043

З 2011 року в зв'язку з затвердженням постанови Кабінету Міністрів України від 18.05.2011 №529 “Технічний регламент з екологічного маркування” розпочато застосування екологічного маркування є він об'єктом державного регулювання [8].

Відповідність продукції встановленим екологічним критеріям підтверджується сертифікатом екологічного маркування ISO 14024.

Згідно вимог цього технічного регламенту, об'єктам господарювання на території України забороняється застосовувати нечітке або помилкове екологічне маркування, або екологічне маркування, яке можна неправильно зрозуміти, а також такі неперевірені написи, як «екологічно чистий», «екологічно безпечний», «екологічно сприятливий» тощо.

Екологічна сертифікація дозволяє провести комплексну оцінку продукції по її поліпшеним показникам безпеки та якості на всіх етапах життєвого циклу.

Право застосування екологічного маркування надається на підставі екологічного сертифікату.

Порядок виконання роботи

1. Кожен студент отримує індивідуальне завдання з переліком різних марок алюмінієвих сплавів (Додаток Ж).
2. Визначити тип та призначення полімерного матеріалу, марка якого зображена на рисунку у завданні згідно стандартів ISO 11469 та ASTM D7611. Результати аналізу представити у вигляді таблиці 8.3.

Таблиця 8.3 – Оформлення результатів

Марка полімеру	Повна назва полімеру	Хімічна формула	Область застосування

3. Розшифрувати марку полімерного матеріалу, вказаного в завданні згідно стандарту ISO 1043. Результати аналізу представити у вигляді таблиці 8.4.

Таблиця 8.4 – Оформлення результатів

Марка полімеру	Розшифрування згідно частини стандарту ISO 1043			
	Частина 1	Частина 2	Частина 3	Частина 4

Контрольні запитання

1. Що таке полімер?
2. Як полімери класифікуються за структурою?
3. Проведіть класифікацію полімерів за молекулярною структурою.
4. Як класифікують полімери за впливом високої температури?
5. Як поділяються полімери згідно їхнього використання?
6. Зарисуйте хімічні формули: поліетилентерефталату, поліетилену, полівінілхлориду, поліпропілену, полістиролу.
7. Які із полімерів підлягають повторній переробці?

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Марки сталей [Електронний ресурс] / Метінвест. Режим доступу: <https://metinvestholding.com/ua/products/steel-grades>.
2. Chester Ismay. Introduction to Statistics and Data Science [Електронний ресурс] / Chester Ismay, Albert Y. Kim, Arend M. Kuyper, Elizabeth Tipton, and Kaitlyn G. Fitzgerald. – Northwestern | Statistics, 2020. – Chapter 12. Режим доступу: https://courses.edx.org/c4x/UTAustinX/UT.7.01x/asset/Chapter_12.pdf.
3. І.Ф.Скіцько. Обробка результатів фізичних вимірювань. [Електронний ресурс]: навч. посіб. / І.Ф.Скіцько, О.І.Скіцько; КПП ім. Ігоря Сікорського. – Київ: КПП ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 88 с. Режим доступу: https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/25320/1/Obrobka_rezult._fizych._vymiriuvan.pdf.
4. Практичне вивчення метрології, стандартизації і контролю якості / Івано–Франківський національний технічний університет нафти і газу, 2019. – 95 ст. Режим доступу: <https://studfile.net/preview/10036270/page:2/>.
5. О.І.Дудка. Матеріалознавство: методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з матеріалознавства для студентів механічних та машинобудівних спеціальностей [Текст] / Уклад.: О.І.Дудка, К.М. Гриненко, С.М. Чернега, В.М. Писаренко, М.В. Карпець. – Київ: НТУУ «КПІ», 2013. – 68 с.
6. Маркування полімерних матеріалів / Студопедія. Режим доступу: https://studopedia.com.ua/1_45301_markuvannya-polimernih-materialiv.html
7. Plastic Part Marking – Overview Codes and Standards / Find out about plastics – 2020. Режим доступу: <https://www.findoutaboutplastics.com/2020/12/plastic-part-marking-overview-codes-and.html>.
8. Екологічне маркування – стандарти ISO 14024 та ISO 14025 / СЕРТИФІКАТ «Зроблено в Україні», 2018. <https://certificant.org/uk/ekologichne-markuvannya-standarti-iso-14024-ta-iso-14025/>.

ДОДАТОК А

Таблиця переводу значень виміру температури

Таблиця А.1 – Таблиця переводу значень виміру температури хромель–алюмель термопарою
(град. Цельсію) в абсолютні мілівольти

T, °C	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	°C	На 1°С сер. значення, мВ
	Мілівольти											
	0	–0,39	–0,77	–1,14	–1,50	–1,86	–	–	–	–	–	0,0370
0	0	0,40	0,80	1,20	1,61	2,02	2,43	2,85	3,26	3,68	0	0,0405
100	4,10	4,51	4,92	5,33	5,73	6,13	6,53	6,93	7,33	7,73	100	0,0405
200	8ДЗ	8,53	8,93	9,34	9,74	10, 15	10,56	10,97	11,38	11,80	200	0,0405
300	12,21	12,62	13,04	13,45	13,87	14,30	14,72	15,14	15,56	15,99	300	0,0415
400	16,40	16,83	17,25	17,67	18,09	18,51	18,94	19,37	19,79	20,22	400	0,0425
500	20,65	21,08	21,50	21,93	22,35	22,78	23,21	23,63	24,06	24,49	500	0,0430
600	24,91	25,33	25,76	26,19	26,61	27,04	27,46	27,88	28,30	28,73	600	0,0430
700	29,15	29,57	29,99	30,41	30,83	31,24	31,66	32,08	32,49	32,90	700	0,0415
800	33,32	33,72	34,13	34,55	34,95	35,36	35,76	36,17	36,57	36,97	800	0,0415
900	37,37	37,77	38,17	38,57	38,97	39,36	29,76	40,15	40,54	40,93	900	0,0395
1000	41,32	41,71	42,09	42,48	42,88	43,26	43,64	44,02	44,40	44,78	1000	0,0390
1100	45,16	45,54	45,91	46,29	46,66	47,03	47,40	47,77	48,14	48,50	1100	0,0370
1200	48,87	49,23	49,59	49,95	50,31	50,67	51,02	51,38	51,73	52,08	1200	0,0360
1300	52,43											

ДОДАТОК Б

Індивідуальні завдання до практичної роботи №3

Варіант 1	Варіант 11
Ст3Гпс	Сталь 35
20ХР	10ХСНД
12ХГНФАЮ	18ХГТ
2Х13В8К10	3Х12В12Ф
Р6М5	Р14Ф4
14Х17Н2	У9А
Варіант 2	Варіант 12
Ст5пс	Ст1кп
60С2Н2А	20Х
15Г2АФДпс	75ХСМФ
У10А	16Г2АФ
Р9К10	40ХНМА
10Х18Н9Л	Р6М5К5
Варіант 3	Варіант 13
Ст6пс	10кп
20ХГР	18Х2Н4МА
14ХГНСФР	У8ГА
8Х4В4Ф	20Х
Р9М4	3Х2В8Ф
12Х18Н12БЛ	Р9М4К8
Варіант 4	Варіант 14
Ст5сп	20Г
50ХГА	15ХГН2ТА
12ХГ2СМФ	У11
4Х5В4ФСМ	9ХС
Р12М3	5ХНМ
31Х19Н9МВБТ	Р6М5Ф3
Варіант 5	Варіант 15
Ст3кп	5Г
70С2ХА	14Х2Н3МА
12ГН2МФАЮ	У11А
Х12Ф1	ХГС
Р18К5Ф2	5ХНСВ
10Х18Н3ГЗД2Л	Р18Ф2К8М

Варіант 6	Варіант 16
Ст3Гсп	Ст5кп
70С3А	15Х
12Г2АМФ	У13
6Х2С	12Х1
Р10К5Ф5	4Х5В2ФС
130Г14ХМФАЛ	Р12М3Ф2К8
Варіант 7	Варіант 17
Ст6пс	25ХГТ
65ГС	У13А
15ХСНД	9ХВГ
9ХВФ	5Х3В3МФС
Р12Ф4К5	30ХМА
15Х18Н22В6М2	20Х
Варіант 8	Варіант 18
Ст2пс	18ХГ
35ХМ	15Н2М
16Г2АФД	33ХС
7ХГ2ВМ	34ХН1МА
Р10М4Ф3К10	50ХГ
09Х16Н4БЛ	14Г2
Варіант 9	Варіант 19
Ст4кп	15ХА
50ХГФА	18ХГТ
18Г2АФДпс	40ХС
У13А	34ХН3МА
Р18Ф2К8М	55ХГР
10Х17Н10Г4МБЛ	ІХ15
Варіант 10	Варіант 20
Ст4сп	12ХН2
12Х5МА	25ХГМ
12ХГН2МБАЮ	15ХГН2ТА
6ХС	30ХМА
Р15Ф2К5	50ХГФА
08Х17Н34В5Т3Ю2Р	95Х18

ДОДАТОК В

Індивідуальні завдання до практичної роботи №4

Варіант 1	Варіант 11
1010	A516
G13200	G48450
M1	A2
T72301	T31501
409	446
S4100	S30400
Варіант 2	Варіант 12
A36	A440
G40300	G51450
D2	O1
T31501	T30402
304	316L
S31603	S40900
Варіант 3	Варіант 13
A633	A656
G43300	G86300
S1	W1
T72301	T41901
410	440A
S44600	S17700
Варіант 4	Варіант 14
G10100	G10200
K12810	K12002
T11301	T30402
D2	O1
17-7PH	17-7PH
S44600	S40900
Варіант 5	Варіант 15
1010	A516
G13200	G48450
M1	A2
T72301	T31501
409	446
S4100	S30400

Варіант 6		Варіант 16	
G10100		G10200	
K12810		K12002	
T11301		T30402	
D2		O1	
17-7PH		17-7PH	
S44600		S40900	
Варіант 7		Варіант 17	
A36		A440	
G40300		G51450	
D2		O1	
T31501		T30402	
304		316L	
S31603		S40900	
Варіант 8		Варіант 18	
A633		A656	
G43300		G86300	
S1		W1	
T72301		T41901	
410		440A	
S44600		S17700	
Варіант 9		Варіант 19	
A36		A440	
G40300		G51450	
D2		O1	
T31501		T30402	
304		316L	
S31603		S40900	
Варіант 10		Варіант 20	
G10100		G10200	
K12810		K12002	
T11301		T30402	
D2		O1	
17-7PH		17-7PH	
S44600		S40900	

ДОДАТОК Г

Таблиця коефіцієнтів Стюдента

Таблиця Г.1 – Таблиця коефіцієнтів Стюдента [2]

<i>r</i>	75%	80%	85%	90%	95%	97,5%	99%	99,5%	99,75%	99,9%	99,95%
1	1,000	1,376	1,963	3,078	6,314	12,71	31,82	63,66	127,3	318,3	636,6
2	0,816	1,061	1,386	1,886	2,920	4,303	6,965	9,925	14,09	22,33	31,60
3	0,765	0,978	1,250	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841	7,453	10,21	12,92
4	0,741	0,941	1,190	1,533	2,132	2,776	3,747	4,604	5,598	7,173	8,610
5	0,727	0,920	1,156	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032	4,773	5,893	6,869
6	0,718	0,906	1,134	1,440	1,943	2,447	3,143	3,707	4,317	5,208	5,959
7	0,711	0,896	1,119	1,415	1,895	2,365	2,998	3,499	4,029	4,785	5,408
8	0,706	0,889	1,108	1,397	1,860	2,306	2,896	3,355	3,833	4,501	5,041
9	0,703	0,883	1,100	1,383	1,833	2,262	2,821	3,250	3,690	4,297	4,781
10	0,700	0,879	1,093	1,372	1,812	2,228	2,764	3,169	3,581	4,144	4,587
11	0,697	0,876	1,088	1,363	1,796	2,201	2,718	3,106	3,497	4,025	4,437
12	0,695	0,873	1,083	1,356	1,782	2,179	2,681	3,055	3,428	3,930	4,318
13	0,694	0,870	1,079	1,350	1,771	2,160	2,650	3,012	3,372	3,852	4,221
14	0,692	0,868	1,076	1,345	1,761	2,145	2,624	2,977	3,326	3,787	4,140
15	0,691	0,866	1,074	1,341	1,753	2,131	2,602	2,947	3,286	3,733	4,073
16	0,690	0,865	1,071	1,337	1,746	2,120	2,583	2,921	3,252	3,686	4,015
17	0,689	0,863	1,069	1,333	1,740	2,110	2,567	2,898	3,222	3,646	3,965
18	0,688	0,862	1,067	1,330	1,734	2,101	2,552	2,878	3,197	3,610	3,922
19	0,688	0,861	1,066	1,328	1,729	2,093	2,539	2,861	3,174	3,579	3,883
20	0,687	0,860	1,064	1,325	1,725	2,086	2,528	2,845	3,153	3,552	3,850
21	0,686	0,859	1,063	1,323	1,721	2,080	2,518	2,831	3,135	3,527	3,819
22	0,686	0,858	1,061	1,321	1,717	2,074	2,508	2,819	3,119	3,505	3,792
23	0,685	0,858	1,060	1,319	1,714	2,069	2,500	2,807	3,104	3,485	3,767
24	0,685	0,857	1,059	1,318	1,711	2,064	2,492	2,797	3,091	3,467	3,745
25	0,684	0,856	1,058	1,316	1,708	2,060	2,485	2,787	3,078	3,450	3,725
26	0,684	0,856	1,058	1,315	1,706	2,056	2,479	2,779	3,067	3,435	3,707
27	0,684	0,855	1,057	1,314	1,703	2,052	2,473	2,771	3,057	3,421	3,690
28	0,683	0,855	1,056	1,313	1,701	2,048	2,467	2,763	3,047	3,408	3,674
29	0,683	0,854	1,055	1,311	1,699	2,045	2,462	2,756	3,038	3,396	3,659
30	0,683	0,854	1,055	1,310	1,697	2,042	2,457	2,750	3,030	3,385	3,646
40	0,681	0,851	1,050	1,303	1,684	2,021	2,423	2,704	2,971	3,307	3,551
50	0,679	0,849	1,047	1,299	1,676	2,009	2,403	2,678	2,937	3,261	3,496
60	0,679	0,848	1,045	1,296	1,671	2,000	2,390	2,660	2,915	3,232	3,460
80	0,678	0,846	1,043	1,292	1,664	1,990	2,374	2,639	2,887	3,195	3,416
100	0,677	0,845	1,042	1,290	1,660	1,984	2,364	2,626	2,871	3,174	3,390
120	0,677	0,845	1,041	1,289	1,658	1,980	2,358	2,617	2,860	3,160	3,373
∞	0,674	0,842	1,036	1,282	1,645	1,960	2,326	2,576	2,807	3,090	3,291

ДОДАТОК Д

Індивідуальні завдання практичної роботи № 5

Таблиця Д.1 – Експериментальні дані для обробки результатів вимірювання мікротвердості

Вар–т 1		Вар–т 2		Вар–т 3		Вар–т 4	
X (навантаження індентора, г)	y_i (ГПа)	X (навантаження індентора, г)	y_i (ГПа)	X (навантаження індентора, г)	y_i (ГПа)	X (навантаження індентора, г)	y_i (ГПа)
20	3,4	20	7,0	20	5,7	20	24
	3,5		6,8		5,9		22
	3,7		6,5		5,6		25
	3,6		7,3		6,3		26
	3,4		7,2		5,5		19
	2,9		7,1		5,8		23
50	3,4	50	6,9	50	5,6	50	22
	3,3		6,7		5,4		23
	2,8		6,8		5,5		25
	3,7		6,7		5,3		21
	3,2		6,9		5,7		23
	3,6		6,5		5,8		26
100	3,2	100	6,4	100	5,3	100	18
	3,0		6,6		5,4		17
	3,4		6,8		5,5		22
	3,3		6,3		5,7		20
	3,5		5,9		5,0		25
	3,1		6,5		5,9		24
150	3,0	150	6,5	150	5,1	150	22
	2,9		6,0		5,9		22
	3,3		6,1		5,5		23
	3,5		5,7		5,4		19
	3,4		5,9		6,0		26
	3,2		6,0		5,5		23
	3,6		6,7		5,6		22

Таблиця Д.2 – Експериментальні дані для обробки результатів вимірювання міцності

Вар-т 5 Ст.40		Вар-т 6 15X1M1Ф		Вар-т 7 40X13		Вар-т 8 XH77TЮР		Вар-т 9 12X18H9T		Вар-т 10 BT9Л	
$x, ^\circ\text{C}$	y_i $\sigma, \text{ГПа}$	$x, ^\circ\text{C}$	y_i $\sigma, \text{ГПа}$	$x, ^\circ\text{C}$	y_i $\sigma, \text{ГПа}$	$x, ^\circ\text{C}$	y_i $\sigma, \text{ГПа}$	$x, ^\circ\text{C}$	y_i $\sigma, \text{ГПа}$	$x, ^\circ\text{C}$	y_i $\sigma, \text{ГПа}$
20	0,52	20	0,59	20	1,14	20	1,00	20	0,56	20	0,98
	0,50		0,58		1,17		0,99		0,52		0,91
	0,57		0,59		1,14		1,09		0,55		0,95
	0,49		0,47		1,23		0,99		0,54		0,89
	0,51		0,57		1,06		0,89		0,47		0,79
	0,48		0,58		1,13		1,00		0,63		0,92
350	0,50	350	0,55	350	0,90	350		350	0,52	350	0,62
	0,58		0,49		0,95				0,41		0,75
	0,47		0,54		0,89				0,45		0,60
	0,51		0,36		0,79				0,41		0,57
	0,49		0,58		0,88				0,38		0,63
	0,52		0,53		0,89				0,44		0,64
400	0,39	400	0,52	400	0,85	400		400	0,41	400	0,55
	0,30		0,53		0,75				0,38		0,42
	0,37		0,55		0,76				0,39		0,57
	0,41		0,42		0,79				0,43		0,53
	0,36		0,51		0,66				0,33		0,56
	0,38		0,50		0,75				0,38		0,54
500	0,39	500	0,56	500	0,76	500		500	0,39	500	0,71
	0,23		0,47		0,53		0,96		0,26		0,40
	0,28		0,36		0,44		0,82		0,38		0,18
	0,29		0,49		0,55		0,93		0,40		0,38
	0,29		0,47		0,52		0,89		0,39		0,44
	0,35		0,46		0,51		0,92		0,44		0,36
600	0,30	600	0,51	600	0,58	600	0,93	600	0,37	600	0,44
							0,85				
							0,87				
							0,85				
							0,84				
							0,72				
850		850		850		850	0,85	850		850	
							0,32				
							0,22				
							0,34				
							0,36				
							0,35				
							0,34				

Таблиця Д.3 – Експериментальні дані для обробки результатів вимірювання міцності

Вар-т 11 Ст.40		Вар-т 12 15X1M1Ф		Вар-т 13 40X13		Вар-т 14 ХН77ТЮР		Вар-т 15 12Х18Н9Т		Вар-т 16 Ст.10		Вар-т 17 ВТ9Л	
x , °C	y_i σ, ГПа	x , °C	y_i σ, ГПа	x , °C	y_i σ, ГПа	x , °C	y_i σ, ГПа	x , °C	y_i σ, ГПа	x , °C	y_i σ, ГПа	x , °C	y_i σ, ГПа
20	0,57	20	0,65	20	1,14	20	1,05	20	0,78	20	0,41	20	1,90
	0,52		0,58		1,27		0,99		0,82		0,65		0,91
	0,33		0,55		1,41		1,20		0,53		0,43		0,96
	0,49		0,59		1,07		0,96		0,54		0,42		0,80
	0,69		0,35		1,25		0,75		0,45		0,22		0,96
	0,49		0,56		1,13		1,09		0,58		0,48		0,99
350	0,50	350	0,52	350	0,76	350		350	0,62	350	0,40	350	0,72
	0,71		0,63		0,93				0,37		0,59		0,50
	0,49		0,54		0,89				0,45		0,45		0,62
	0,32		0,55		0,87				0,41		0,38		0,63
	0,46		0,35		0,58				0,30		0,38		0,36
	0,52		0,71		0,83				0,44		0,23		0,62
400	0,29	400	0,41	400	0,71	400		400	0,61	400	0,43	400	0,63
	0,40		0,75		0,75				0,30		0,20		0,50
	0,65		0,52		0,76				0,39		0,57		0,59
	0,41		0,34		0,49				0,43		0,35		0,53
	0,51		0,47		0,74				0,37		0,28		0,42
	0,34		0,46		0,87				0,38		0,27		0,54
500	0,42	500	0,51	500	0,81	500		500	0,33	500	0,28	500	0,51
	0,11		0,47		0,53		0,71		0,23		0,16		0,30
	0,28		0,61		0,81		0,92		0,38		0,41		0,38
	0,25		0,42		0,57		0,99		0,54		0,25		0,62
	0,48		0,45		0,56		0,89		0,35		0,52		0,44
	0,30		0,28		0,52		0,92		0,40		0,27		0,38
600	0,26	600	0,44	600	0,45	600	1,16	600	0,37	600	0,22	600	0,39
							0,53						
							0,88						
							0,82						
							0,91						
							1,10						
850		850		850		850	0,85	850		850		850	
							0,32						
							0,29						
							0,34						
							0,46						
							0,35						
							0,30						

Таблиця Д.4 – Експериментальні дані для обробки результатів вимірювання мікротвердості

Вар–т 18		Вар–т 19		Вар–т 20		Вар–т 21	
x , (навантаження індентора, г)	y_i (ГПа)	x , (навантаження індентора, г)	y_i (ГПа)	x , (навантаження індентора, г)	y_i (ГПа)	x , (навантаження індентора, г)	y_i (ГПа)
20	9,4	20	6,0	20	5,7	20	8,2
	9,5		5,8		5,9		9,2
	9,9		5,5		5,6		8,0
	9,6		6,3		6,3		8,1
	9,4		6,2		5,5		8,5
	8,9		6,1		5,8		8,3
50	8,4	50	5,9	50	4,6	50	7,5
	8,3		5,7		4,4		6,4
	7,8		5,8		4,5		7,0
	8,7		4,7		4,3		6,9
	8,2		4,9		4,7		6,9
	8,6		4,5		3,8		6,7
100	7,2	100	4,4	100	3,3	100	5,9
	7,0		4,6		3,4		4,7
	7,4		5,8		3,5		5,1
	7,3		5,3		3,7		5,4
	6,8		3,9		3,0		5,2
	6,1		5,5		3,9		5,3
150	5,0	150	4,5	150	3,1	150	4,0
	4,9		5,0		3,9		5,1
	3,3		5,1		3,5		4,7
	4,5		4,7		3,4		4,5
	4,4		4,9		4,0		4,9
	4,2		5,0		3,5		4,8
	4,6		4,7		3,6		5,4

ДОДАТОК Е

Індивідуальні завдання до практичної роботи №7

Варіант 1	Варіант 11
АК– 6	АМц
5454	7075
A850.0	413.0
Варіант 2	Варіант 12
АК–12	Д16
5456	1100
A360.0	541.0
Варіант 3	Варіант 13
АЛ4	Д1
6061	2011
A712.0	713.0
Варіант 4	Варіант 14
АЛ20	В95
6063	3004
A514.0	520.0
Варіант 5	Варіант 15
САП	ВАЛ12
7050	5086
A413.0	850.0
Варіант 6	Варіант 16
АК– 6	АМц
5454	7075
A850.0	413.0
Варіант 7	Варіант 17
АК–12	Д16
5456	1100
A360.0	541.0
Варіант 8	Варіант 18
АЛ4	Д1
6061	2011
A712.0	713.0
Варіант 9	Варіант 19
АЛ20	В95
6063	3004
A514.0	520.0
Варіант 10	Варіант 20
САП	ВАЛ12
7050	5086
A413.0	850.0

ДОДАТОК Ж

Індивідуальні завдання до практичної роботи №8

Варіант 1	Варіант 11
 PETE PA6-I-GF30FR(52)	 HDPE PVC-AK-P(PPA)FR(61)
Варіант 2	Варіант 12
 HDPE PE-LD-FR(30)	 PETE PE-LD-FR(30)
Варіант 3	Варіант 13
 PVC/V PC-CN-FR(70)	 PP PA-GF50-P(ELO)FR(52)
Варіант 4	Варіант 14
 LDPE PA-GF50-P(ELO)FR(70)	 PVC/V PA6-I-GF30FR(52)
Варіант 5	Варіант 15
 PP PVC-AK-P(PPA)FR(32)	 LDPE PC-CN-FR(70)

Варіант 6	Варіант 16
 PE-LD-FR(30)	 PVC-AK-P(PPA)FR(61)
Варіант 7	Варіант 17
 PA-GF50-P(ELO)FR(52)	 PA6-I-GF30FR(52)
Варіант 8	Варіант 18
 PA6-I-GF30FR(52)	 PA-GF50-P(ELO)FR(52)
Варіант 9	Варіант 19
 PE-LD-FR(30)	 PC-CN-FR(70)
Варіант 10	Варіант 20
 PVC-AK-P(PPA)FR(61)	 PC-CN-FR(70)

ЗМІСТ

Передмова	3
Практична робота № 1. Методи виявлення та вимірювання величини зерна в сталях та сплавах	4
Практична робота № 2. Типи та маркування термопар. побудова графіку градування термопарі	7
Практична робота № 3. Стандартне маркування сталей та визначення їх хімічного складу згідно ДСТУ та ГОСТ	12
Практична робота № 4. Стандартне маркування сталей згідно систем AISI, ASTM та UNS.....	18
Практична робота № 5. Статистична обробка результатів багатократних вимірювань	28
Практична робота № 6. Система одиничних показників якості промислової продукції	37
Практична робота № 7. Маркування алюмінієвих сплавів згідно європейських та українських стандартів	41
Практична робота № 8. Класифікація полімерних матеріалів та маркування згідно євростандартів	48
Перелік посилань	56
ДОДАТОК А. Таблиця переводу значень виміру температури	57
ДОДАТОК Б. Індивідуальні завдання до практичної роботи №3	58
ДОДАТОК В. Індивідуальні завдання до практичної роботи №4.....	60
ДОДАТОК Г. Таблиця коефіцієнтів Стьюдента	62
ДОДАТОК Д. Індивідуальні завдання для лабораторної роботи № 5	63
ДОДАТОК Е. Індивідуальні завдання до практичної роботи №7	67
ДОДАТОК Ж. Індивідуальні завдання до практичної роботи №8	68



Яворський Юрій Васильович

кандидат фізико-математичних наук,
доцент кафедри фізичного матеріалознавства
та термічної обробки НН ІМЗ ім. Є.О. Патона
КПІ ім. Ігоря Сікорського. Навчально-педагогічний
та науковий стаж більше 10 років. Лауреат премій
"Молодий викладач-дослідник 2019-2022 рр",
"Молодий вчений року 2021", стипендіат
стипендії Кабінету міністрів України. Автор понад
60 наукових та 6 навчально-методичних праць,
4 патентів.



Карпець Мирослав Васильович

доктор фізико-математичних наук,
професор кафедри фізичного матеріалознавства
та термічної обробки НН ІМЗ ім. Є.О. Патона
КПІ ім. Ігоря Сікорського. Навчально-педагогічний та
науковий стаж більше 20 років. Лауреат Національної
премії імені Б. Патона за 2021 рік. Автор понад
300 наукових робіт з індексом Хірша 17 та
навчально-методичних праць.

