

Міністерство освіти і науки України

Луцький національний технічний університет
Факультет митної справи, матеріалів та технологій
Кафедра матеріалознавства

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ЗА СТУПЕНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ «МАГІСТР»

**МЕХАНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ
ХОЛОДНОКАТАНИХ ЛИСТІВ ЗІ СТАЛІ
S280GD/ZN275 ЗАЛЕЖНО ВІД ТОВЩИНИ /
MECHANICAL CHARACTERISTICS OF COLD-
ROLLED SHEETS MADE OF S280GD/ZN275
STEEL DEPENDING ON THICKNESS**

спеціальність 132 Матеріалознавство

освітня програма «Матеріалознавство»

Виконав: здобувач вищої освіти
групи Мм – 21
Монюк Андрій Степанович

(підпис)

Керівник:
к.т.н., доцент
Садова Оксана Леонідівна

(підпис)

Кваліфікаційну роботу
допущено до захисту
«__» _____ 20__ р.
к.т.н., доцент
Гарант освітньої програми:
Мельничук Микола Дмитрович

(підпис)

Луцьк – 2025 року

ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет митної справи, матеріалів та технологій

Кафедра матеріалознавства

Ступінь вищої освіти: магістр

Галузь знань: 13 Механічна інженерія

Спеціальність: 132 Матеріалознавство

Освітня програма: Матеріалознавство

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Імбирович Н.Ю.

“ _____ ” _____ 20__ року

З А В Д А Н Н Я НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

_____ Монюку Андрію Степановичу _____

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Механічні характеристики холоднокатаних листів зі сталі S280GD/ZN275 залежно від товщини

керівник роботи _____ Садова О.Л., к.т.н., доцент _____,

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “05” 06.2025 р. № 282/01-02

2. Строк подання здобувачем вищої освіти кваліфікаційної роботи
«06» грудня 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи хімічний склад сталі S280GD/ZN275, механічні властивості сталі, методика дослідження механічних властивостей матеріалів

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ; Розділ 1. Технічне обґрунтування; 2. Характеристика вихідних матеріалів та методики досліджень; 3. Експериментальна частина; Висновки; Список використаних джерел; Додатки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Слайд 1 – Мета та завдання роботи (1 л. ф. А4);

Слайд 2, 3 – Методики досліджень (1 л. ф. А4);

Слайди 4-9 – Результати досліджень механічних характеристик сталі (7 л. ф. А4);

Слайд 10 – Загальні висновки (1 л. ф. А4);

АНОТАЦІЯ

Монюк А.С. Механічні характеристики холоднокатаних листів зі сталі S280GD/Zn275 залежно від товщини. Рукопис.

Кваліфікаційна робота магістра ОП «Матеріалознавство» спеціальності 132 Матеріалознавство. Луцький національний технічний університет. Луцьк, 2025.

Кваліфікаційна робота бакалавра складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку літератури та додатків. В даній кваліфікаційній роботі досліджено межу міцності на розрив, умовну межу плинності та подовження після розриву зразків сталі S280GD/ZN275 різної товщини (1,0 мм та 1,5 мм) різних виробників (Steel Kosice та KONSORCJUM STALI) залежно від розміщення зразків на листах та визначено їх реальну товщину.

Магістерська робота складається з пояснювальної записки та додатків. Пояснювальна записка містить 40 сторінки, 13 рисунків, 7 таблиць та включає список з 22 літературних джерел. Графічна частина складається з 10 листів формату А4, представлених у додатку А.

Ключові слова: сталь, межа міцності на розрив, умовна межа плинності, подовження після розриву.

					MP 1325.00.00.000 ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробила	Монюк				Механічні характеристики холоднокатаних листів зі сталі S280GD/Zn275 залежно від товщини	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевірив	Садова						3	40
Н. Контр	Мисковець				ЛНТУ, каф. матеріалознавства гр. ПМм-21			
Затв.	Імбірович							

ANNOTATION

Monyuk A.S. Mechanical characteristics of cold-rolled sheets made of S280GD/Zn275 steel depending on thickness. Manuscript.

Master's qualification work of EP "Materials Science" specialty 132 Materials Science. Lutsk National Technical University. Lutsk, 2025.

Master's qualification work consists of an introduction, three chapters, conclusions, list of references and applications.

In this qualification work, the tensile strength, yield strength, and elongation after rupture of S280GD/ZN275 steel samples of different thicknesses (1.0 mm and 1.5 mm) from different manufacturers (Steel Kosice and KONSORCJUM STALI) were investigated, depending on the placement of the samples on the sheets, and their actual thickness was determined.

Master's qualification work consists of explanatory notes and application. The explanatory note contains 40 pages, 13 figures, 7 table and includes a list of 22 references. The graphic part consists of 10 sheets of A4 format, presented in application A.

Keywords: steel, tensile strength, yield strength, elongation after rupture.

					MP 1325.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1 ТЕХНІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ	7
1.1. Огляд природних матриць для формування біокомпозитних матеріалів ..	7
1.2. Класифікація холоднокатаних сталевих листів	9
1.3. Властивості холоднокатаних сталевих листів	10
1.4. Застосування холоднокатаних сталевих листів	14
1.5. Висновки і постановка задач дослідження.....	15
РОЗДІЛ 2 ХАРАКТЕРИСТИКА МАТЕРІАЛІВ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ.....	17
2.1. Характеристика сталі S280GD/ZN275	17
2.2. Методика визначення механічних характеристик листової сталі.....	21
РОЗДІЛ 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА	25
3.1. Дослідження механічних характеристик сталі S280GD/ZN275 різної товщини листів 1,0 мм і 1,5 мм.....	25
3.2. Дослідження механічних характеристик сталі S280GD/ZN275 залежно від положення листа на рулоні	28
3.3. Дослідження механічних характеристик сталі S280GD/ZN275 товщиною 1,5 мм різних виробників	32
ВИСНОВКИ	37
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	38
ДОДАТКИ	

					MP 1325.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

ВСТУП

У сучасному світі, де екологічні виклики набувають глобального масштабу, естетика холоднокатаної сталі є однією з її найпривабливіших рис. Вона використовується в мостобудуванні, оскільки має менш помітні поверхневі дефекти. Крім того, холоднокатана сталь ідеально підходить для завдань, що вимагають більшої точності та довговічності. Цей процес дозволяє виготовляти прутки з чітко визначеними краями та труби з видатною концентричною консистенцією.

Сьогодні холоднокатану сталь можна знайти в різних секторах. Вона використовується в деталях побутової техніки, покрівельних та стінових системах, металевих меблях, аерокосмічних конструкційних елементах, смугах, прутках, брусках, листах, механічних компонентах та в багатьох інших сферах застосування, які неможливо перерахувати. Незважаючи на кіль-ка процесів, що входять до складу холодного прокату, холоднокатана сталь має швидкий час виробництва та може бути швидко доставлена.

Під час виконання кваліфікаційної роботи магістра було використано інструменти штучного інтелекту для редагування та форматування тексту (пошук літературних даних) виключно як допоміжний засіб для пошуку ідей, уточнення формулювань та опрацювання літератури. Усі твердження, висновки та результати дослідження належать автору та ґрунтуються на власному аналізі, а отримані результати від генеративного ШІ були перевірені на достовірність та відповідність академічній доброчесності.

					MP 1325.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

РОЗДІЛ 1

ТЕХНІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

1.1. Огляд природних матриць для формування біокомпозитних матеріалів

Холоднокатані сталеві рулони – це сталеві вироби, що пройшли процес холодного прокату. Холодне прокатування – це виробничий процес, під час якого гарячекатана сталь пропускається через валки за кімнатної температури, стискаючи та формуючи її у тонші та точніші рулони. Під час холодного прокату гарячекатану сталь спочатку травлять, щоб видалити будь-яку окалину або домішки з поверхні. Потім її пропускають через серію валків, які чинять тиск, зменшуючи товщину сталі та покращуючи її поверхневу обробку. Цей процес також підвищує міцність і твердість сталі [1]. Хоча цей метод є більш трудомістким і дорогим, ніж гаряча прокатка, він забезпечує жорсткіші розмірні допуски та вищі характеристики поверхні [2].

Виробництво холоднокатаної сталі базується на технології холодної прокатки, що дозволяє отримати листи з гладкою поверхнею, точними геометричними параметрами та покращеними фізичними властивостями. Процес починається з гарячекатаного рулону, який проходить очищення від окалини – зазвичай методом кислотного травлення. Після цього заготовку прокатують за кімнатної температури через прокатні стани. Така обробка не лише зменшує товщину, а й підвищує міцність і твердість сталі – до 20% порівняно з гарячекатаною. Щоб усунути внутрішні напруження, які виникають під час холодної деформації, листи піддають термічній обробці – рекристалізаційному відпалу. Це повертає сталі пластичність і дозволяє використовувати її для глибокої витяжки, згинання та формування складних деталей. На завершальному етапі застосовується оздоблювальна прокатка (skin-pass), яка покращує площинність, зовнішній вигляд і забезпечує стабільність розмірів. Готові

					MP 1325.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

листи обрізають, формують у рулони або нарізають на листи, після чого проходять контроль якості та пакування [3-6].

Холоднокатана сталь має переваги порівняно з гарячекатаною.

Вища міцність. Холоднокатана сталь може бути до 20% міцнішою за гарячекатану сталь, що робить її більш придатною для використання в умовах високих напружень. Сталь стає міцнішою завдяки зміцненню під дією деформації, коли валки подрібнюють її за кімнатної температури.

Покращена обробка поверхні. Холоднокатана сталь пропонує кращу обробку поверхні, ніж гарячекатана сталь. Вона має менше дефектів поверхні та є більш гладкою, ніж гарячекатана сталь. Це не тільки покращує естетику холоднокатаної сталі, але й робить холоднокатану сталь більш прийнятним матеріалом для певних цілей, таких як будівництво мостів. Деталі та вироби з холоднокатаної сталі часто мають гладку та блискучу поверхню без іржі.

Підвищена точність. Холоднокатана сталь не стискається після формування. Ця особливість дозволяє виготовляти дуже точні компоненти з мінімальною обробкою або взагалі без подальшої обробки.

Більші допуски. Холодна прокатка може досягти точніших допусків, ніж гаряча прокатка. Термін «допуск» у металообробці стосується загальної товщини металу. Холоднокатана сталь часто тонша за гарячекатану сталь без шкоди для міцності. Як результат, холодна прокатка забезпечує точніші допуски, ніж інші методи виробництва сталі.

Легко формується. Холоднокатана сталь може виготовлятися різними способами, включаючи повністю тверду, напівтверду, чверть тверду та поверхнево прокатку. Повністю тверда холодна прокатка часто є кращою за інші варіанти, оскільки вона забезпечує найточніші допуски. За умови правильного виконання повністю тверда холодна прокатка може зменшити товщину сталі до 50%. Інші методи холодної прокатки можуть зменшити товщину сталі, але не так добре, як повністю тверда холодна прокатка [2, 6].

					MP 1325.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

Холоднокатані листи можна виготовляти одним із двох основних методів:

– різка рулонів на спеціальних різальних верстатах або за допомогою комбінованого різання з подальшим випрямленням, пакуванням та маркуванням готових листів.

– обробка гарячекатаних листів на переверсних станах холодної прокатки. У цьому випадку як сировина використовуються гарячекатані рулони, нарізані на листи. Ці листи обробляються на лініях травлення, а потім, ще в холодному стані, деформуються валками для отримання тонших холоднокатаних листів.

1.2. Класифікація холоднокатаних сталевих листів

Холоднокатана сталь класифікується за кількома ознаками: геометричними параметрами, якістю поверхні, типом кромки та призначенням. Це дозволяє точно підібрати матеріал для конкретних виробничих або будівельних потреб.

Основні категорії холоднокатаної сталі:

За геометричними параметрами:

– за товщиною: тонколистова (до 3 мм), середньолистова (3...5 мм), товстолистова (понад 5 мм);

– за шириною: вузька (до 500 мм), широка (понад 500 мм);

– за довжиною: рулонна або листова.

За площинністю:

– нормальна площинність: стандартна якість для більшості застосувань;

– покращена площинність: для високоточних виробів, де важлива мінімальна деформація;

За характером кромки:

					MP 1325.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

- обрізна кромка: після додаткової обробки, має рівні краї.
- необрізна кромка: з природними краями після прокатки.

За призначенням і якістю:

- сталь загального призначення: для конструкцій, меблів, упаковки;
- сталь глибокої витяжки: для штампування складних форм (наприклад, автомобільні панелі);
- сталь надглибокої витяжки: для виробів з високими вимогами до пластичності;
- сталь з покращеною поверхнею: для декоративного або зовнішнього використання;
- електротехнічна сталь: для двигунів, трансформаторів.

За хімічним складом:

- вуглецева сталь: найпоширеніша, з різним вмістом вуглецю;
- легована сталь: з додаванням хрому, нікелю, марганцю тощо – для підвищення корозійної стійкості, міцності або термостійкості.

Ці категорії дозволяють виробникам точно обрати потрібний тип сталі залежно від вимог до міцності, гнучкості, зовнішнього вигляду чи технології обробки [7-9].

1.3. Властивості холоднокатаних сталевих листів

Холоднокатана сталь виготовляється шляхом обробки гарячекатаної сталі за кімнатної температури, що надає їй чудових фізичних та естетичних властивостей. Ключові властивості холоднокатаної сталі включають високу міцність, чудова обробка поверхні та точні розміри [2].

Фізичні та механічні властивості холоднокатаних сталевих листів:

Вища міцність і твердість: Додаткове прокатка за кімнатної температури (зміцнення) збільшує міцність сталі до 20 % порівняно з гарячекатаною сталлю. Це робить її більш стійкою до деформації та розриву під дією розтягу.

					MP 1325.00.000 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Більш жорсткі допуски: Холоднокатана сталь не стискається під час охолодження, що дозволяє виготовляти компоненти з дуже точними розмірами та однорідною формою.

Більша формувальна здатність: Незважаючи на підвищену міцність і твердість, деякі марки холоднокатаної сталі можна згинати та формувати у складні деталі. Певні марки, відомі як «якість витяжки», мають підвищену пластичність для процедур глибокої витяжки.

Низькі внутрішні напруження: процес холодної прокатки може створювати внутрішні напруги. Однак їх можна зняти шляхом подальшої обробки, такої як відпал.

Властивості поверхні холоднокатаних листів:

Чудова обробка поверхні: Холоднокатана сталь має більш гладку, яскравішу та чистішу поверхню, ніж гарячекатана сталь, яка має шорстку, лускату поверхню внаслідок обробки за високих температур.

Краща адгезія покриття: відсутність поверхневих дефектів та окалини робить холоднокатану сталь ідеальною основою для покриттів, фарбування або гальванічного покриття. Це особливо важливо для застосувань, де важлива естетика.

Корозійна стійкість: Хоча холоднокатана сталь за своєю суттю не є стійкою до корозії, її гладенька та чистіша поверхня допомагає запобігти накопиченню вологи, надаючи їй кращу стійкість до іржі, ніж гарячекатана сталь. Захисні покриття, такі як цинкування, можуть ще більше посилити цю властивість [6-10].

Недоліки холоднокатаної сталі.

Вища вартість виробництва. Холоднокатана сталь проходить більше технологічних етапів, ніж гарячекатана: очищення, прокатка за кімнатної температури, термічна обробка, оздоблювальна прокатка, контроль якості. Це потребує додаткових енергетичних і трудових ресурсів, що підвищує кінцеву вартість продукції.

					MP 1325.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

Низька оброблюваність. Через підвищену твердість холоднокатана сталь гірше піддається механічній обробці – згинанню, штампуванню, свердлінню. Без попереднього відпалу вона може тріскатися або деформуватися при зварюванні чи формуванні складних деталей.

Внутрішні напруження. Процес холодної прокатки створює внутрішні залишкові напруження, які можуть призвести до викривлення або нестабільності форми при подальшій обробці. Для зняття цих напружень потрібна додаткова термічна обробка (відпал), що знову ж таки збільшує витрати.

Обмеження за товщиною. Холоднокатана сталь зазвичай виготовляється в тонких листах (до 3 мм). Для товстих конструкційних елементів вона не підходить, і доводиться використовувати гарячекатану сталь.

Менша стійкість до корозії без покриття. Хоча поверхня холоднокатаної сталі гладка, сама сталь не має підвищеної корозійної стійкості. Без додаткового захисного покриття (цинк, фарба, полімер) вона швидко піддається дії вологи та агресивного середовища.

Обмеження в умовах експлуатації. Через високу жорсткість і низьку ударну в'язкість холоднокатана сталь менш ефективна в умовах динамічного навантаження, вібрацій або низьких температур, де потрібна пластичність і енергопоглинання [3, 4, 6].

Оцинкована низьковуглецева сталь марок DX51D і DX52D застосовується для згинання, профілювання та витягання, а також зі сталей S220GD, S250GD, S280GD, S320GD і S350GD для будівництва та конструювання. Механічні властивості даних марок сталей подано в таблиці 1.1. На ці марки сталі допускається наносити всі види захисних складів відповідно до ДСТУ EN 10346. Але споживачеві варто враховувати, що під впливом кисню й вологи, які знаходяться в повітрі, сполуки цинку окислюються. Тому при тривалому зберіганні «оцинковка» частково може втрачати свої декоративні властивості [3].

					MP 1325.00.000 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.1 – Механічні властивості сталей

Марка сталі відповідно до EN 10027	Тимчасовий опір, Rm, МПа	Межа плинності, Rp 0.2, МПа	Мінімальне відносне подовження, A80, %
DX51D	270...500	–	22
DX52D	270...420	140-300	26
S220GD	не менш ніж 300	не менш ніж 220	20
S250GD	не менш ніж 330	не менш ніж 250	19
S280GD	не менш ніж 360	не менш ніж 280	18
S320GD	не менш ніж 390	не менш ніж 320	17
S350GD	не менш ніж 420	не менш ніж 350	16

Металопрокат, отриманий методом гарячого цинкування, характеризується: здатністю покриття до самовідновлення після незначних механічних пошкоджень; високою антикорозійною стійкістю і фізичною міцністю; декоративністю і легковажністю; довговічністю. На загальну вагу оцинкованої сталі, а також на її антикорозійну стійкість та здатність чинити опір стиранню безпосередньо впливає товщина захисного шару. Тому цей параметр строго регламентується і відбивається в маркуванні [3]. Класи цинкового покриття відповідно до ДСТУ EN 10346 подано в таблиці 1.2.

Марки DX51D-DX57D використовуються для виготовлення виробів методами холодної обробки: DX51D – для згинання та профілювання; DX52D – для витягання; DX53D – для глибокого витягання; DX54D – спеціальна сталь для глибокого витягання; DX55D – спеціальна сталь для глибокого витягання (при цьому використовується тільки з покриттям AS); DX56D – для особливо глибокого витягання; DX57D – для надглибокого витягання.

Основний напрямок використання сталей S220GD-S550GD – виробництво гнутих профілів (z-, c-, сигма-, п-подібний профіль та ін.) для легких сталевих тонкостінних конструкцій (ЛСТК). Це можуть бути несучі

					MP 1325.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

профнастили, прогони покрівель та стін при будівництві та реконструкції житлових, виробничих, торгових та складських об'єктів. Вироби з цих сталей можуть бути використані в якості основних несучих конструкцій.

Таблиця 1.2 – Класи цинкового покриття відповідно до ДСТУ EN 10346

Позначення	Мінімальна загальна маса покриття з двох боків, г/м ²		Теоретичні рекомендовані значення товщини покриття на од. поверхні, мкм	Інтервал товщин, мкм	Щільність, г/см ³
	По трьох точках	По одній точці			
Z100	100	85	7	5-12	7,1
Z140	140	120	10	7-15	
Z200	200	170	14	10-20	
Z225	225	195	16	11-22	
Z275	275	235	20	15-27	
Z350	350	300	25	19-33	
Z450	450	385	32	24-42	
Z600	600	510	42	32-55	

1.4. Застосування холоднокатаних сталевих листів

Холоднокатана сталь – це матеріал, який відіграє ключову роль у багатьох галузях промисловості завдяки своїй високій міцності, точності та естетичному вигляду. Її застосування охоплює широкий спектр сфер – від автомобілебудування до побутової техніки, від будівництва до аерокосмічної галузі.

У виробництві автомобілів холоднокатана сталь використовується для створення кузовних панелей, які не лише формують зовнішній вигляд машини,

а й забезпечують її структурну цілісність. Крім того, вона входить до складу шасі та інших несучих елементів, де важлива точність і витривалість.

У будівельній сфері холоднокатані сталі застосовуються для виготовлення балок, колон і стійок – основних конструкційних елементів будівель. Вона також використовується в покрівельних та облицювальних системах, а також для створення дверей, рам і перегородок, де важлива довговічність і естетика.

Холоднокатана сталь є незамінною у виробництві побутової техніки: її можна знайти в холодильниках, пральних машинах, духовках, посудомийках і водонагрівачах. Вона також використовується для кухонного начиння – наприклад, лопатей вентилятора чи корпусів каструль. У сфері електроніки вона входить до складу комп'ютерних компонентів і картотек.

У промисловому обладнанні холоднокатана сталь служить матеріалом для виготовлення шестерень, болтів, підшипників та інших точних механічних деталей. У медичній галузі вона використовується для створення корпусів та елементів медичних пристроїв, де важлива стерильність і точність. А в аерокосмічній промисловості – для конструкцій літаків та інших високотехнологічних компонентів.

Цей матеріал також широко використовується у виробництві металевих меблів – столів, стільців, полиць – завдяки своїй міцності та здатності зберігати форму. Крім того, холоднокатана сталь застосовується в упаковці, особливо для преміальних товарів, де важлива не лише захист, а й презентабельний вигляд [4, 6, 11-13].

1.5. Висновки і постановка задач дослідження

Холоднокатана сталь є результатом високотехнологічної обробки гарячекатаного прокату, яка здійснюється за кімнатної температури з метою досягнення точних геометричних параметрів, покращених механічних

					MP 1325.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

властивостей та естетичної якості поверхні. Завдяки цим характеристикам вона стала незамінним матеріалом у багатьох галузях – від автомобілебудування до побутової техніки, від будівництва до електроніки.

Особливу роль відіграють холоднокатані вироби з покриттям, які поєднують базові переваги холодної прокатки з додатковими функціональними властивостями, такими як корозійна стійкість, електропровідність або декоративна привабливість. До таких виробів належать оцинкована сталь, електрооцинкована, алюмінієво-цинкова, гарячеоцинкована та електролуджена сталь (жерсть). Кожен тип покриття виконує специфічну роль: захист від корозії, покращення адгезії фарб, збереження зовнішнього вигляду або забезпечення безпечного контакту з харчовими продуктами.

Листи сталі S280GD/ZN275 мають ділянки, які погано вирівнюються на розмотувальних лініях, що може вказувати на невідповідність якості сталі, зокрема внаслідок анізотропії, нижчої пластичності сталі, високої пружності або наявності дефектів в матеріалі. Метою роботи є дослідження механічних характеристик сталі S280GD/ZN275 та встановити їх відповідність заявлених виробником.

В магістерській роботі необхідно було вирішити наступні завдання:

- дослідити механічні характеристики сталі S280GD/ZN275 різної товщини листів 1,0 мм і 1,5 мм;
- дослідити механічні характеристики сталі S280GD/ZN275 залежно від положення листа на рулоні;
- дослідити механічні характеристики сталі S280GD/ZN275 товщиною 1,5 мм різних виробників;
- зробити узагальнені висновки щодо якості сталі та відповідності її характеристик заявленим виробниками.

					MP 1325.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

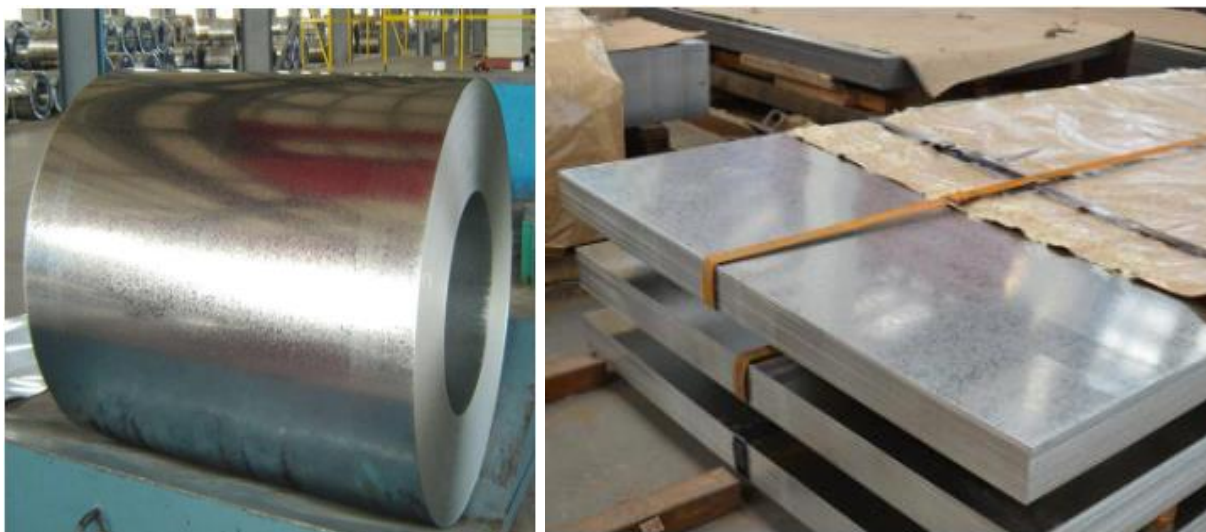
РОЗДІЛ 2

ХАРАКТЕРИСТИКА МАТЕРІАЛІВ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Характеристика сталі S280GD/ZN275

Сталь S280GD/ZN275 – це високоміцна, оцинкована гарячим способом конструкційна сталь, що відповідає стандарту EN 10346, з мінімальною границею текучості 280 МПа, яка використовується для легких сталевих тонкостінних конструкцій та інших будівельних елементів завдяки високій міцності та 275 г/м² цинкового покриття, що забезпечує чудовий захист від корозії [14, 15].

Сталь S280GD/ZN275 поставляється в рулонах (рисунок 2.1) різної ширини та товщини.



а

б

Рисунок 2.1 – Загальний вигляд рулонів (а) та листів (б) зі сталі S280GD/ZN275

«Основний напрямок використання сталей S220GD-S550GD – виробництво гнутих профілів (z-, c-, сигма-, п-подібний профіль та ін.) для легких сталевих тонкостінних конструкцій. Це можуть бути несучі профнастили, прогони покрівель та стін при будівництві та реконструкції

					MP 1325.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

житлових, виробничих, торгових та складських об'єктів. Вироби з цих сталей можуть бути використані в якості основних несучих конструкцій» [15].

Хімічний склад сталі S280GD/ZN275 наведено в таблиці 2.1 [16].

Таблиця 2.1 – Хімічний склад сталі S280GD/ZN275

Хімічний елемент	C	Si	Mn	P	S
Вміст, %	0,2	0,6	1,7	0,1	0,045

Механічні властивості сталі S280GD/ZN275 подано в таблиці 2.2 [16].

Таблиця 2.2 – Механічні характеристики сталі S280GD/ZN275

Міцність на розтяг, МПа	360
Границя плинності 0,2%, МПа	280
Мінімальне видовження (Lo=80 мм), %	18

Щільність цинкового покриття сталі може варіюватися від 100 г/м² до 350 г/м² залежно від застосування, що забезпечує антикорозійні властивості. Діапазон товщини зазвичай становить від 0,30 мм до 3,0 мм, але може відхилятися від цього діапазону залежно від вимог конструкції. Залежно від естетичних та функціональних вимог поверхня може мати як гладке, так і текстуроване покриття.

Переваги сталі S280GD:

- довговічність (цинкове покриття дозволяє матеріалу довше зберігати свої властивості в несприятливих умовах зовнішнього середовища);
- універсальність (досить хороший баланс міцності та пластичності дозволяє легко обробляти його для гнуття та формування);
- сталий розвиток (повністю придатний для переробки протягом завершення життєвого циклу, тому екологічно відповідальний);

– економічно ефективний (витрати на технічне обслуговування та ремонт ще більше зменшуються завдяки додатковому захисту).

Властивості оцинкованої сталевого листа:

– стійкість до корозії (оцинковані сталеві рулони покриті цинком, що забезпечує їм чудову стійкість до корозії та іржі навіть у сумнівному середовищі);

– довговічність (цинкове покриття забезпечує довговічність, роблячи його дуже міцним та придатним для використання на відкритому повітрі та в промислових умовах);

– варіанти товщини (має численні варіанти товщини для задоволення різних вимог та структурних проблем);

– естетика (яскраве, гладке покриття, яке додає зовнішнього вигляду та може використовуватись як у функціональних, так і в декоративних цілях);

– висока здатність до деформування (добре гнучкий, тому його можна легко зігнути або різати відповідно до потреб та дизайну) [17].

Основні етапи виробничого процесу S280GD. Спочатку плавлять залізну руду та вуглець за високої температури близько 1500°C для отримання рідкої сталі. Це основа всього виробничого процесу. Далі рідка сталь надходить у ливарне обладнання, де вона поступово охолоджується та твердне у заготовку, яка стає основним матеріалом для наступного етапу обробки. Після цього сталь піддають гарячому прокатуванню: заготовку нагрівають приблизно до 1100°C та прокатують на прокатному стані до потрібної товщини. Цей процес закладає міцну основу для подальшої обробки сталі. Гарячекатану сталь швидко охолоджують і знову прокатують за кімнатної температури, щоб забезпечити гладку поверхню сталі та точність розміру. Далі сталь піддають відпалу: холоднокатану сталь нагрівають до температури 700-900°C та відпалюють для покращення пластичності сталі та зменшення внутрішніх напружень. Завершальною

					MP 1325.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

операцією є оцинкування: сталь покривається шаром цинку при температурі близько 450°C за допомогою процесу гарячого цинкування, що ефективно покращує її стійкість до корозії та забезпечує довговічність [18].

Процес гарячого цинкування загалом вважається одним із найкращих способів запобігання іржі та корозії сталі та значного подовження терміну її служби. Згідно з галузевими специфікаціями, цей процес зазвичай забезпечує цинкове покриття на сталі товщиною від 50 до 150 мікрон, залежно від розміру сталі, її складу та тривалості занурення. Деякі дослідження показують, що оцинкована сталь потребує мінімального догляду та може прослужити від 50 до 100 років у сільській та міській місцевості. Натомість, вона забезпечує захист протягом 20-50 років у високоагресивних промислових або морських умовах.

Фактори, що впливають на структуру та якість цинкового покриття, включають температуру, час занурення та металургійну структуру основного матеріалу. Температура цинкової ванни зазвичай підтримується на рівні від 438°C до 460°C для належного зчеплення. Процедури попередньої обробки, такі як травлення та флюсування, також видаляють забруднення на поверхні, допомагаючи отримати рівномірне покриття. Після нанесення покриття сталь швидко охолоджують, вивішуючи на повітрі, або загартовують у воді, щоб закріпити її у захисному шарі.

Гаряче цинкування – це екологічний процес. У деяких звітах стверджується, що приблизно 30 відсотків цинку, що виробляється у світі, використовується для цинкування і повністю підлягає переробці. Цинкування захищає і, отже, не потребує обслуговування чи заміни, що знижує витрати, включаючи негативний вплив інженерії на навколишнє середовище, у майбутньому. Тому оцинкована сталь є кращою для виготовлення несучих балок та покрівлі в будівництві, захисних огорожень та мостів у транспорті, а також вітряків та каркасів сонячних панелей в енергетиці [17].

					MP 1325.00.000 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Хоча міцність та корозійна стійкість S280GD перевершують аналогічні продукти, його виробничий процес подібний до S250GD, що забезпечує вищу економічну ефективність. Сталь S280GD не тільки має чудову міцність, але й добру пластичність, її можна ефективно згинати та штампувати в холодному стані. Порівняно з іншими марками сталі, її легше формувати та вона менш схильна до розтріскування, що допомагає заощадити кошти та час у виробництві. Сталь S280GD має добру зварюваність і може зварюватися безпосередньо без складної попередньої обробки. Порівняно з іншими сталями, S280GD демонструє більш стабільні результати під час зварювання, зменшує труднощі обробки та підходить для високоточних деталей на замовлення [18].

2.2. Методика визначення механічних характеристик листової сталі

Механічні характеристики сталевих листів визначали за стандартною методикою ДСТУ ISO 6892-1:2019.

Методика випробування металевих матеріалів на розтяг за кімнатної температури відповідно до ДСТУ ISO 6892-1:2019 передбачає визначення основних механічних характеристик матеріалу, таких як границя пропорційності, границя текучості, межа міцності, відносне подовження після розриву та звуження перерізу. Для проведення випробування готують стандартні зразки (рисунок 2.2) встановленої форми та розмірів, які повинні мати рівномірний переріз у зоні випробування та бути вільними від дефектів. Перед початком випробування проводять точні вимірювання початкових розмірів зразка, включаючи довжину та площу поперечного перерізу, а також позначають базову довжину для визначення деформації.

Зазвичай зразок виготовляють з головками, ширина яких перевищує ширину робочої частини зразка. Перехід від робочої частини завдовжки L_c до головок має бути виконано радіусом не менше ніж 20 мм. Ширина головок

					MP 1325.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

має бути $\geq 1,2b_0$, де b_0 – початкова ширина. За угодою сторін зразки може бути також виконано у вигляді смуги з паралельними сторонами. У разі виробів завширшки не більше ніж 20 мм ширина зразка може дорівнювати ширині виробу.

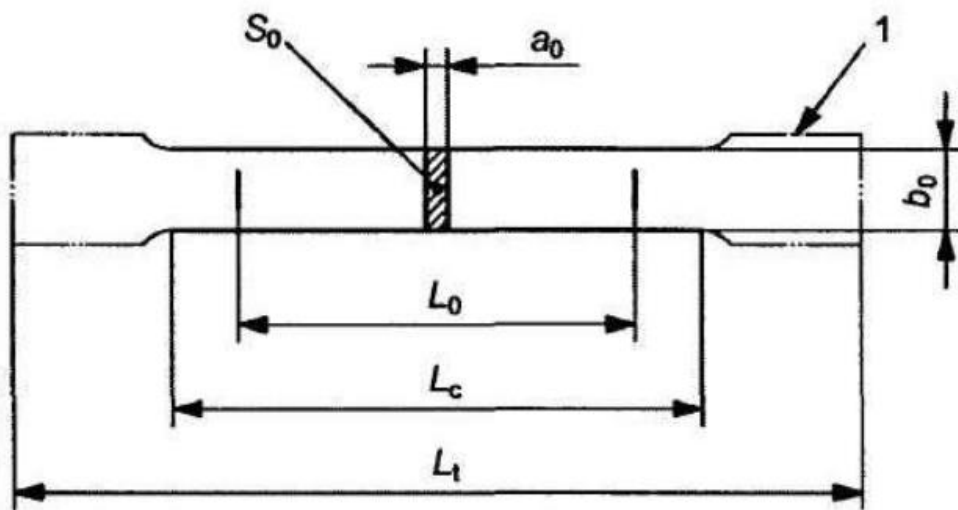


Рисунок 2.2 – Ескіз зразка для дослідження механічних характеристик:

a_0 – початкова товщина плоского зразка або товщина стінки труби;

b_0 – початкова ширина робочої частини плоского зразка;

L_c – довжина робочої частини;

L_0 – початкова розрахункова довжина;

L_t – загальна довжина зразка;

S_0 – початкова площа поперечного перерізу робочої частини зразка;

1 – головки для захватів

Випробування здійснюється за кімнатної температури, яка повинна становити приблизно $23\text{ }^\circ\text{C}$ із допустимим відхиленням $\pm 10\text{ }^\circ\text{C}$. Зразок встановлюють у захвати універсальної випробувальної машини, яка має бути оснащена каліброваними датчиками сили та деформації. Важливо забезпечити правильне встановлення зразка без перекосів, щоб уникнути додаткових напружень. Навантаження прикладається з контрольованою

					MP 1325.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

швидкістю відповідно до одного з двох методів, визначених стандартом: метод А, що базується на контролі швидкості деформації, або метод В, що базується на контролі швидкості зміни напруження. Вибір методу залежить від вимог до точності визначення границі текучості.

Під час випробування реєструється діаграма «напруження–деформація» (рисунок 2.3), за якою визначаються характерні точки: початок текучості, межа міцності та момент руйнування.

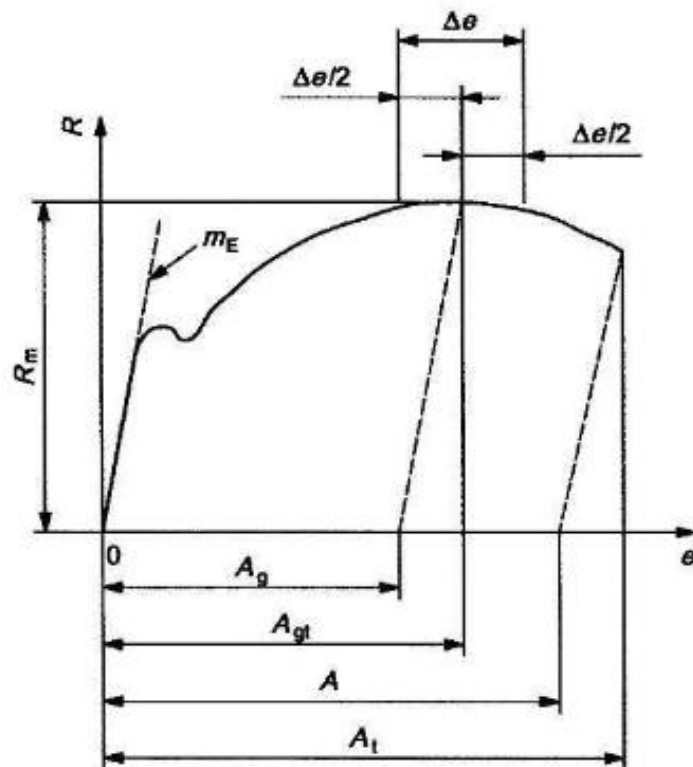


Рисунок 2.3 – Зображення діаграми розтягу:

A – відносне видовження після розриву, отримане за показаннями екстензометра або безпосередньо виміряне на зразку;

A_g – відносна пластична деформація за максимального зусилля;

A_{gt} – відносна сумарна деформація за максимального зусилля;

A_t – відносна сумарна деформація при розриві;

e – відносна деформація;

m_E – нахил пружної ділянки кривої напруження – відносна деформація;

R – напруження;

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

R_m – границя міцності;

Δe – горизонтальна ділянка

Після розриву зразка проводять вимірювання залишкових розмірів, зокрема довжини та площі поперечного перерізу, що дозволяє обчислити відносне подовження та звуження. Результати випробування оформлюються у протоколі, який містить дані про зразок, умови проведення, отримані характеристики та діаграму розтягування. Стандарт також встановлює вимоги до точності вимірювань, калібрування обладнання та допустимі похибки, що забезпечує повторюваність і достовірність результатів.

Для досліджень механічних характеристик сталевих листів різної товщини та встановлення їх відповідності заявленим зразки вирізали з різних точок листа (рисунок 2.4).

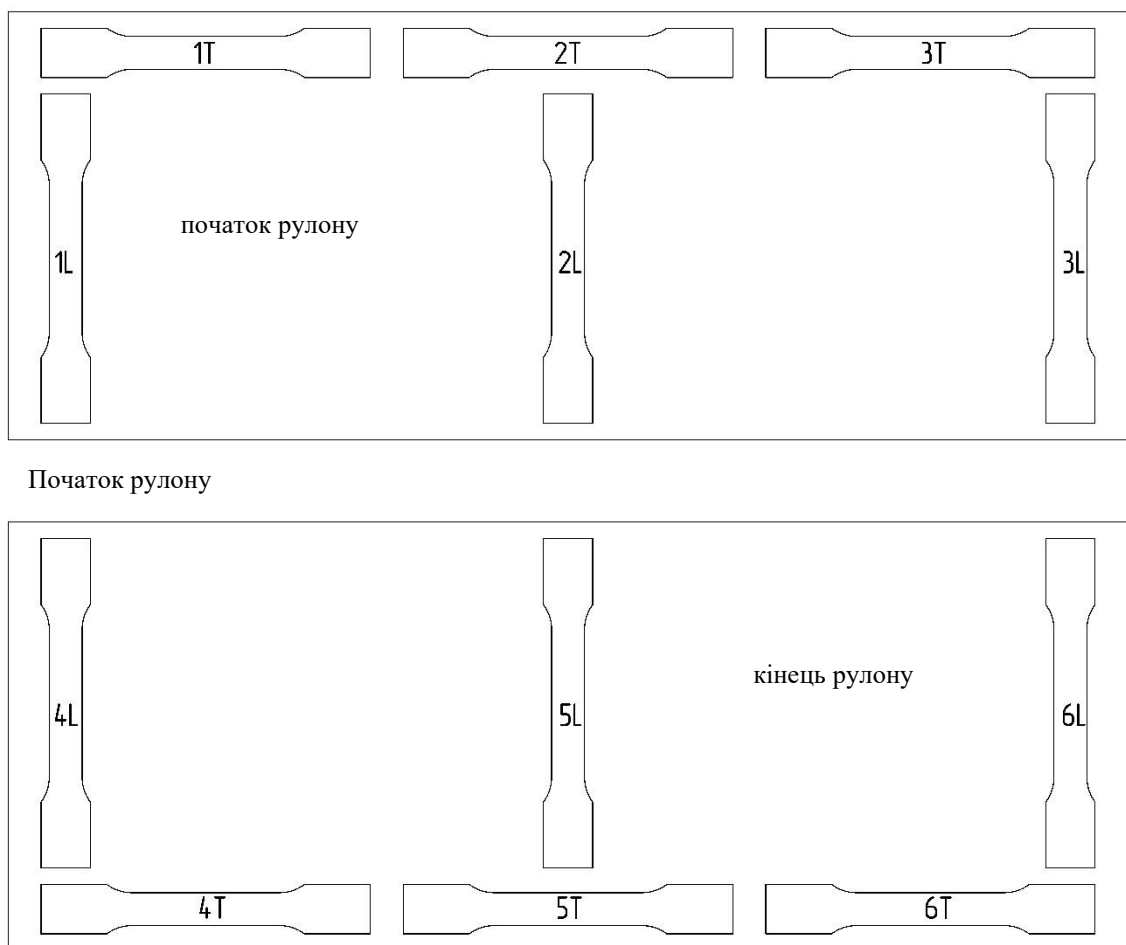


Рисунок 2.4 – Загальний вигляд розміщення зразків на рулоні

РОЗДІЛ 3

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1. Дослідження механічних характеристик сталі S280GD/ZN275 різної товщини листів 1,0 мм і 1,5 мм

Встановлено, реальна товщина листа, який заявлений 1 мм, становить 0,97 мм (таблиця 3.1). Товщина є однаковою для всіх зразків, які вирізали з різних положень на листі (рисунок 2.4). У випадку використання рулону товщиною 1,5 мм виявлено, що товщина листа є різною та знаходиться в межах 1,46...1,48 мм. Коливання товщини листа сталі може також впливати на механічні характеристики виробів сталі, зокрема тонші ділянки можуть мати менший опір навантаженню. Зміна товщини листа рулону ускладнює вирівнювання листа, може спричинити локальні дефекти або неточності в геометрії та впливає на рівномірність деформування, особливо під час штампування [19-21].

Таблиця 3.1 – Товщина зразка залежно від розміщення на листі

Положення зразка на рулоні	Реальна товщина листа (1,0 мм), мм	Реальна товщина листа (1,5 мм), мм
1L	0,97	1,46
1T	0,97	1,48
2L	0,97	1,48
2T	0,97	1,48
3L	0,97	1,46
3T	0,97	1,46

Межу міцності на розрив зразків, вирізаних із листів сталі товщиною 1,0 мм та 1,5 мм у шести різних положеннях 1L, 1T, 2L, 2T, 3L, 3T подано на рисунку 3.1. Межа міцності на розрив зразків, вирізаних з листа товщиною

1 мм, становить 422...449 МПа (рисунок 3.1). Межа міцності на розрив зразків, вирізаних з листа товщиною 1,5 мм, становить 437...453 МПа.

Отже, лист сталі товщиною 1,5 мм має вищу межу міцності на розрив, особливо в позиціях зразків 3L і 3T, де значення сягають до 460 МПа. Похибки на графіку для листа сталі сталі 1,5 мм вказують на варіативність значень, який виникає через неоднорідність матеріалу, коливання товщини чи локальні дефекти. Тому лист зі сталі товщиною 1,5 мм має менш однорідні властивості залежно від положення зразка порівняно із листом сталі 1 мм.

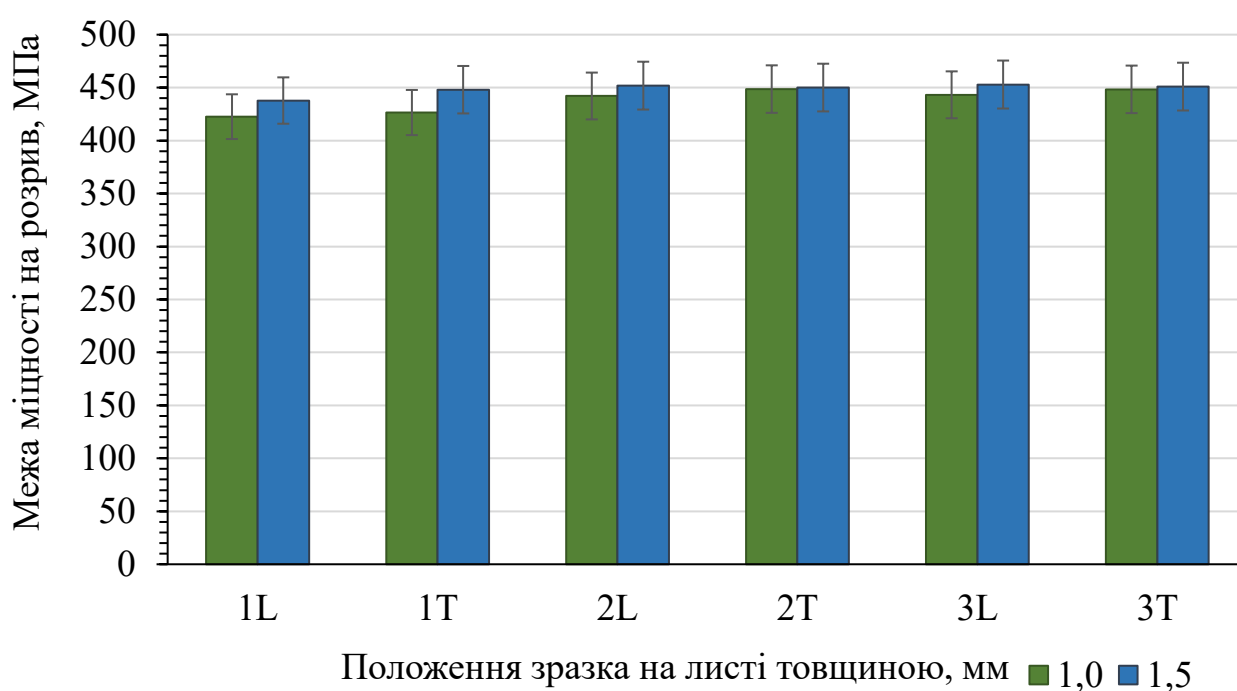


Рисунок 3.1 – Межа міцності на розрив сталі S280GD/ZN275 залежно від товщини листа та розміщення зразків на листі

Умовну межу плинності зразків, вирізаних із листів сталі товщиною 1,0 мм та 1,5 мм у шести різних положеннях 1L, 1T, 2L, 2T, 3L, 3T подано на рисунку 3.2.

Умовна межа плинності зразків, вирізаних з листа товщиною 1 мм, становить 297...320 МПа, а зразків, вирізаних з листа товщиною 1,5 мм, становить 318...339 МПа. Розхід значень отриманих результатів є більшим

також для сталевих листів товщиною 1,5 мм. Встановлено, що сталевий лист товщиною 1,5 мм має вищу межу плинності, тобто більший опір початку деформації, тоді як лист сталі товщиною 1,0 мм є більш пластичним, що може бути перевагою для штампування.

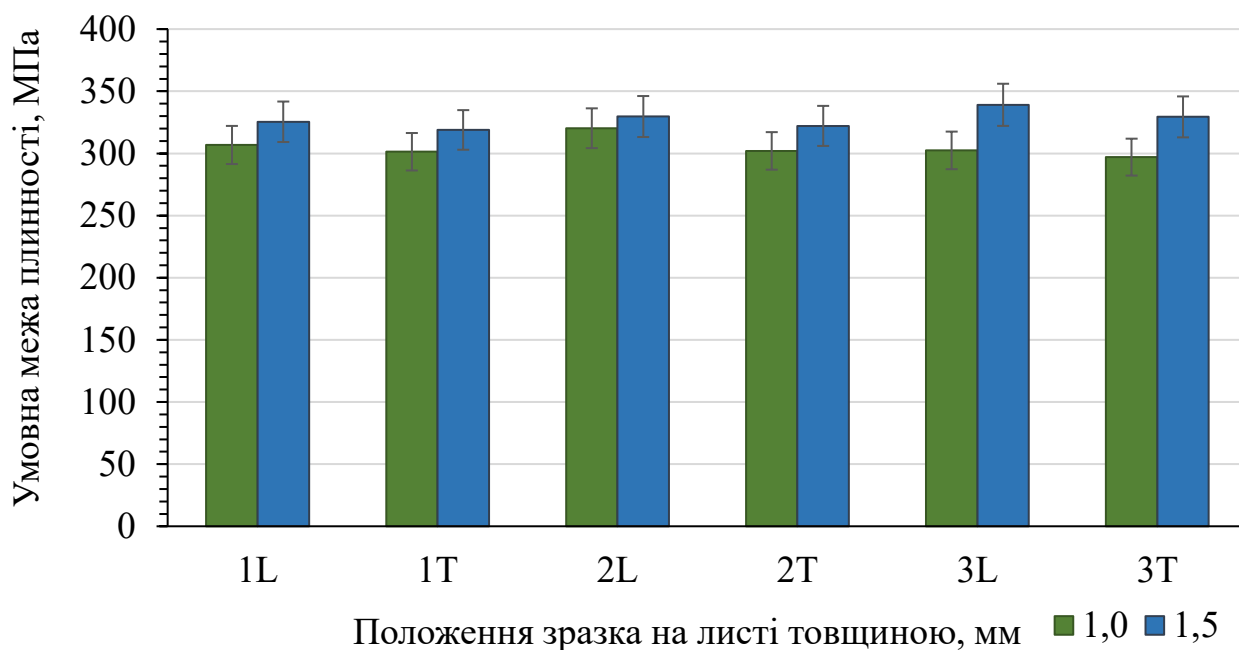


Рисунок 3.2 – Умовна межа плинності сталі S280GD/ZN275 залежно від розміщення зразків на листі

Подовження після розриву зразків, вирізаних із листів сталі товщиною 1,0 мм та 1,5 мм у шести різних положеннях 1L, 1T, 2L, 2T, 3L, 3T подано на рисунку 3.3. Подовження після розриву зразків, вирізаних з листа товщиною 1,0 мм, становить 29,5...32,5% (рисунку 3.3), що є більше 18%, отже, вказує на високу пластичність та хорошу деформівну здатність листа сталі.

Для листа сталі товщиною 1,5 мм отримані результати подовження після розриву є нижчими та більш варіативними (від 6% до 28%, залежно від положення), що вказує на неоднорідність матеріалу та можливу наявність локальних дефектів. Подовження після розриву зразка, вирізаного з листа товщиною 1,5 мм з положення 1L, становить 6%, а з положення 3L – 17,2%, що не відповідає вимогам. Імовірно в даних ділянках є брак, що впливає на

деформівну здатність матеріалу та не дозволяє вирівняти лист, оскільки межа міцності на розрив та умовна межа текучості для цих зразків є підвищеною. Решта зразків, вирізаних з листа сталі товщиною 1,5 мм відповідають вимогам (19,0...25,5%).

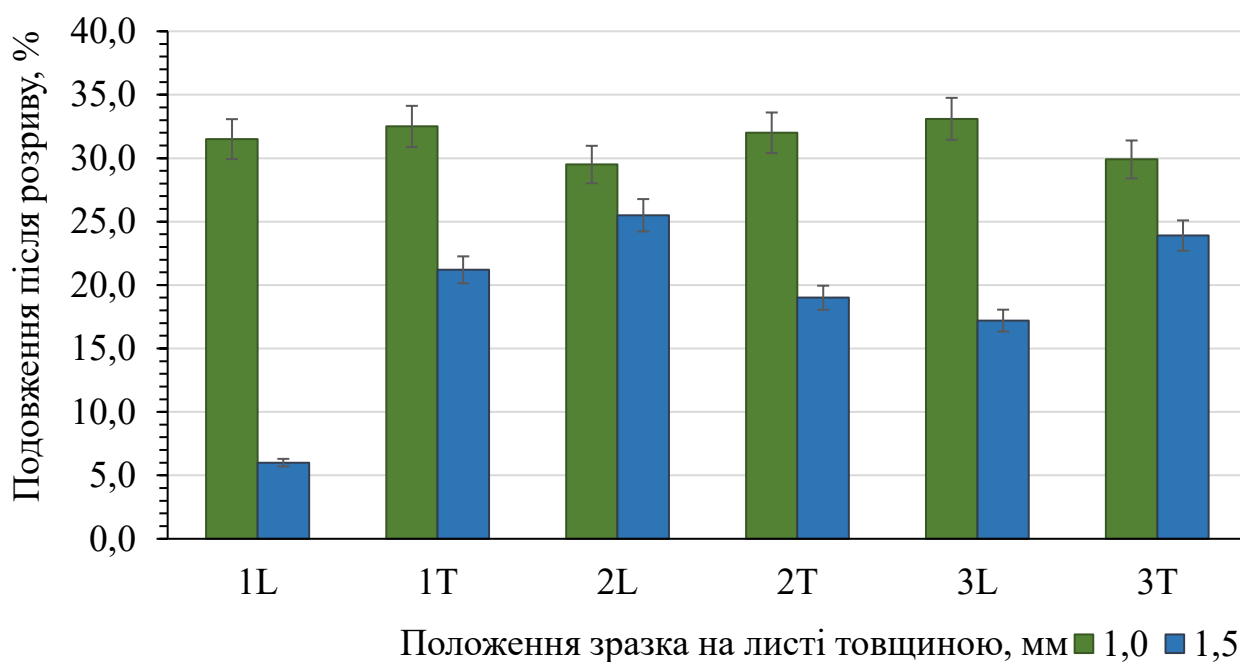


Рисунок 3.3 – Подовження після розриву сталі S280GD/ZN275 залежно від розміщення зразків на листі

Отже, лист сталі товщиною 1,0 мм має стабільнішу та кращу деформівну здатність, тоді як лист сталі більшої товщини (1,5 мм) демонструє більшу варіативність значень і ризик виготовлення виробів з дефектами [19].

3.2. Дослідження механічних характеристик сталі S280GD/ZN275 залежно від положення листа на рулоні

Встановлено, реальна товщина листа, який заявлений 1,5 мм, на початку рулону є більшою (1,46...1,48 мм) (таблиця 3.2), ніж в кінці рулону

(1,45...1,47 мм). Навіть незначне відхилення товщини може впливати на механічні властивості, зокрема міцність, жорсткість і деформівність сталі. Різні ділянки рулону можуть по-різному піддаватись деформації під час штампування та формування, що ускладнює налаштування інструменту та контроль якості.

Таблиця 3.2 – Товщина зразка залежно від вибраних точок розміщення на листі

Положення зразка на рулоні	Реальна товщина листа (1,5 мм), мм	
	Початок рулону	Кінець рулону
1L/4L	1,46	1,46
1T/4T	1,48	1,46
2L/5L	1,48	1,47
2T/5T	1,48	1,48
3L/6L	1,46	1,45
3T/6T	1,46	1,47

Межу міцності на розрив зразків, вирізаних із листів сталі товщиною 1,5 мм у шести різних положеннях 1L, 1T, 2L, 2T, 3L, 3T на початку рулону та у шести різних положеннях 4L, 4T, 5L, 5T, 6L, 6T (рисунок 2.4) в кінці рулону подано на рисунку 3.4.

Межа міцності на розрив зразків, вирізаних з листа товщиною 1,5 мм, на початку рулону становить 437...453 МПа (рисунок 3.4), в кінці рулону – 455...460 МПа. Зростання межі міцності на розрив означає, що матеріал у кінці рулону має меншу пластичність, що може ускладнювати його деформування та штампування. Водночас стабільність межі плинності (318...340 МПа) свідчить, що опір початку деформації залишається

приблизно однаковим, але кінцевий етап руйнування настає при більш високих навантаженнях [20, 21].

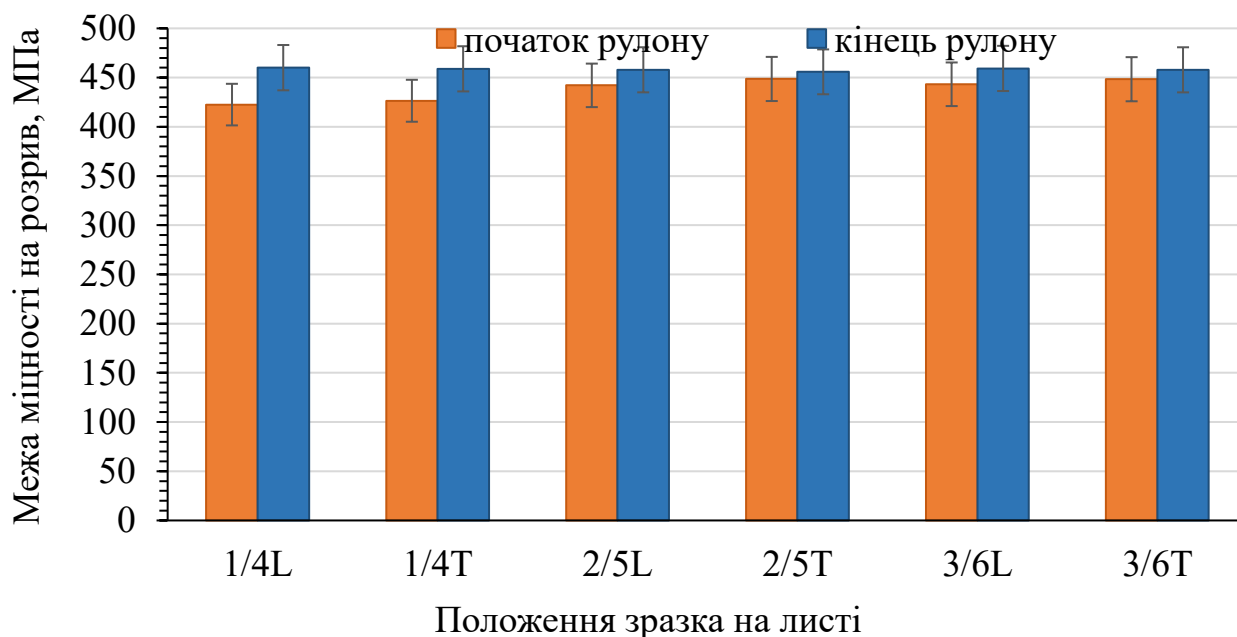


Рисунок 3.4 – Межа міцності на розрив сталі S280GD/ZN275 залежно від розміщення зразків на листі

На початку рулону сталь більш пластична й легше піддається формуванню, тоді як наприкінці рулону вона стає міцнішою, але менш деформівною. Це варто враховувати при виробництві, оскільки різні ділянки рулону можуть вимагати різних режимів штампування та контролю якості.

Умовну межу плинності зразків, вирізаних із листів сталі товщиною 1,5 мм у шести різних положеннях 1L, 1T, 2L, 2T, 3L, 3T на початку рулону та у шести різних положеннях 4L, 4T, 5L, 5T, 6L, 6T (рисунок 2.4) в кінці рулону подано на рисунку 3.5.

Умовна межа плинності зразків, вирізаних з листа товщиною 1,5 мм на початку рулону та з кінця рулону, знаходиться в однакових межах 318...340 МПа (рисунок 3.5). - Незважаючи на коливання товщини листа (1,46–1,48 мм на початку та 1,45–1,47 мм у кінці рулону), межа плинності не змінюється суттєво. Це означає, що опір початку пластичної деформації сталі є рівномірним по всій довжині рулону. - Для процесів штампування та

формування така стабільність важлива, адже вона забезпечує передбачувану поведінку матеріалу під час навантаження. Стабільність показників дозволяє забезпечити якість виробів.

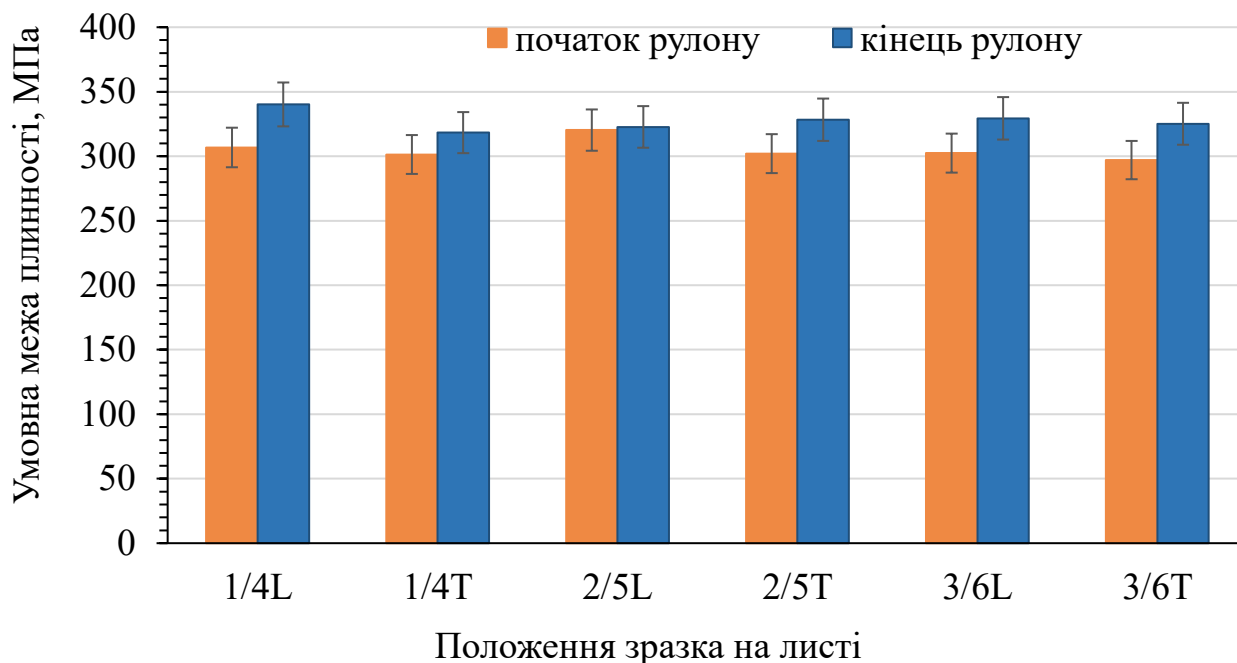


Рисунок 3.5 – Умовна межа плинності сталі S280GD/ZN275 залежно від розміщення зразків на листі

Подовження після розриву зразків, вирізаних із листів сталі товщиною 1,5 мм у шести різних положеннях 1L, 1T, 2L, 2T, 3L, 3T на початку рулону та у шести різних положеннях 4L, 4T, 5L, 5T, 6L, 6T (рисунок 2.4) в кінці рулону подано на рисунку 3.6.

Подовження після розриву зразків, вирізаних з листа товщиною 1,5 мм на початку рулону та в кінці рулону, є різною та становить 19,0...25,5% (рисунок 3.6) і 20,3...28,5% відповідно. Тому деформівна здатність листа в різних ділянках буде відрізнятись. Варіативність значень подовження після розриву листа свідчить про неоднорідність структури сталі, що може впливати на якість виробів і вимагати корекції технологічних режимів.

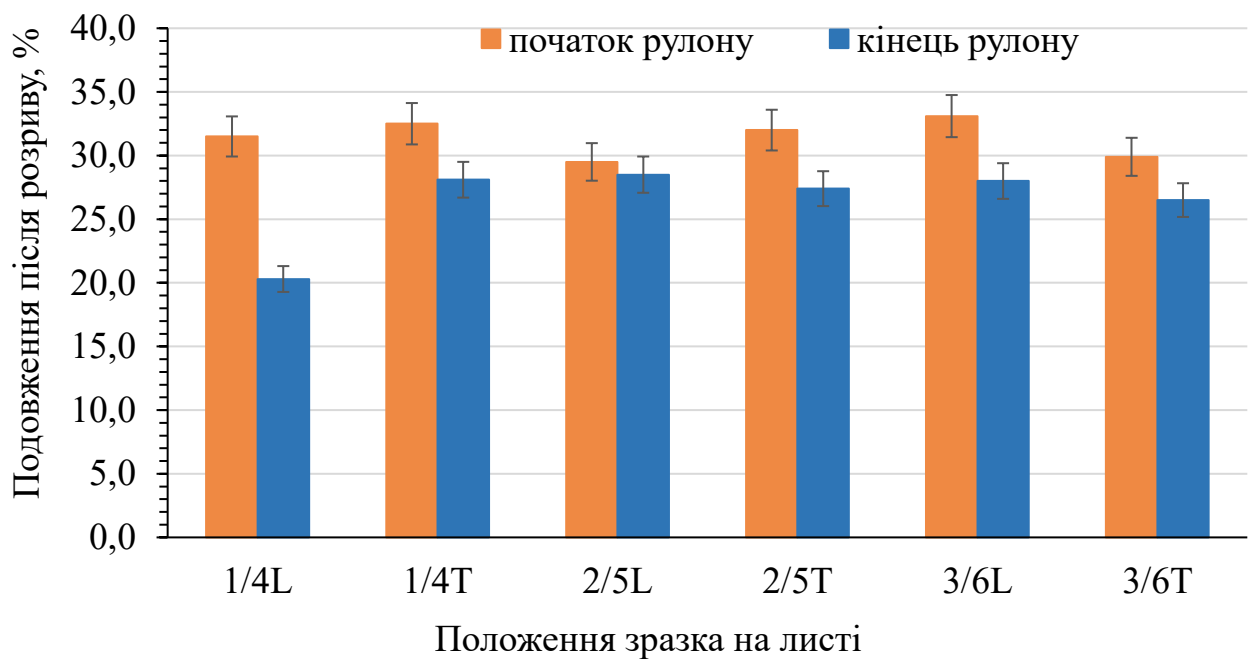


Рисунок 3.6 – Подовження після розриву сталі S280GD/ZN275 залежно від розміщення зразків на листі

Отже, хоча сталь по всьому рулону починає деформуватися при однакових навантаженнях, її деформівна здатність змінюється: на початку рулону вона більш прогнозована, а в кінці – міцніша, але з різним рівнем подовження. Це потрібно враховувати при штампуванні та глибокому витягуванні, щоб уникнути дефектів і забезпечити стабільну якість виробів.

3.3. Дослідження механічних характеристик сталі S280GD/ZN275 товщиною 1,5 мм різних виробників

Встановлено, реальна товщина листа, який заявлений 1,5 мм, виробника Steel Kosice становить 1,46...1,48 мм (таблиця 3.3). Можливими причинами є технологічні особливості прокатки, невелика усадка після охолодження або термообробки. Виробника KONSORCIJUM STALI товщина є стабільною по всьому рулону та відповідає заявленій – 1,5 мм.

Таблиця 3.3 – Товщина зразка залежно від вибраних точок розміщення на листі

Положення зразка на рулоні	Реальна товщина листа (1,5 мм), мм	
	Steel Kosice	KONSORCJUM STALI
1L	1,46	1,50
1T	1,48	1,50
2L	1,48	1,50
2T	1,48	1,50
3L	1,46	1,50
3T	1,46	1,50

Межу міцності на розрив зразків, вирізаних із листів сталі товщиною 1,5 мм у шести різних положеннях 1L, 1T, 2L, 2T, 3L, 3T різних виробників (Steel Kosice, Словацька Республіка та KONSORCJUM STALI, Республіка Польща) подано на рисунку 3.7.

Межа міцності на розрив зразків, вирізаних з листа товщиною 1,5 мм, виробника Steel Kosice становить 437...453 МПа (рисунок 3.7), а виробника KONSORCJUM STALI – 402...412 МПа. Отримані значення межі міцності на розрив сталі виробника Steel Kosice є вищими порівняно із значення межі міцності на розрив сталі виробника KONSORCJUM STALI, що свідчить про більш високу міцність матеріалу, тобто здатність витримувати більші навантаження перед руйнуванням. Сталь виробника KONSORCJUM STALI є менш стійкою до розривних навантажень, що може обмежувати її застосування у конструкціях, де потрібна підвищена міцність [20-22].

Умовну межу плинності зразків, вирізаних із листів сталі товщиною 1,5 мм у шести різних положеннях 1L, 1T, 2L, 2T, 3L, 3T різних виробників (Steel Kosice, Словацька Республіка та KONSORCJUM STALI, Республіка Польща) подано на рисунку 3.8.

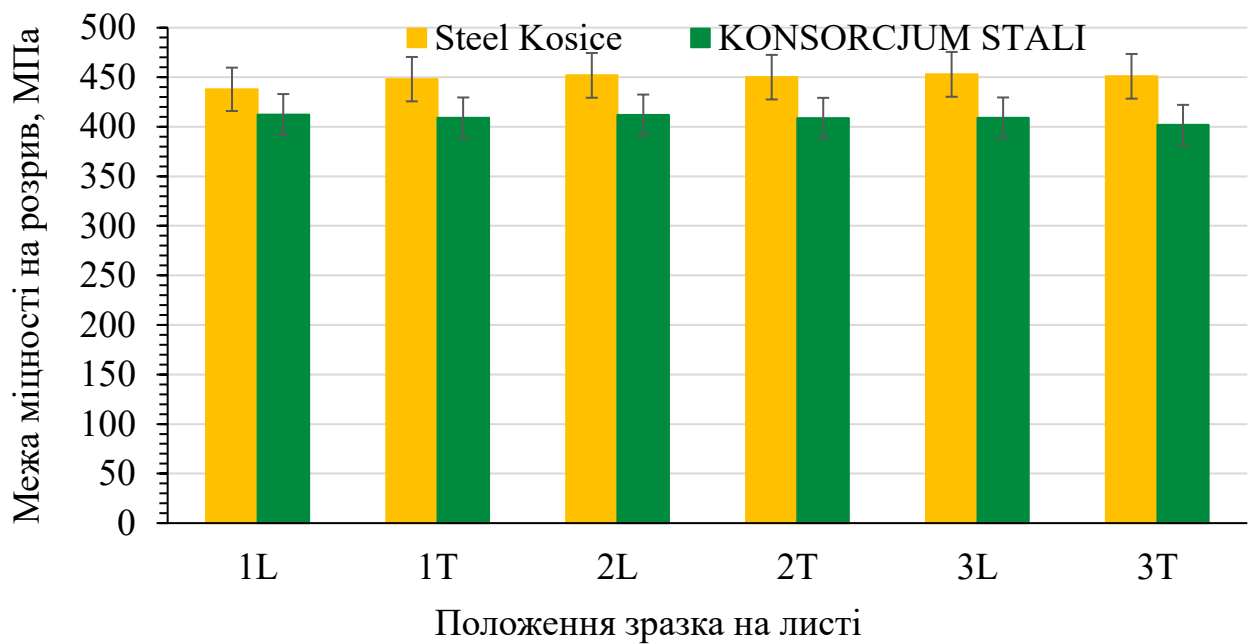


Рисунок 3.7 – Межа міцності на розрив сталі S280GD/ZN275 залежно від розміщення зразків на листі різних виробників

Для тонколистової сталі товщиною 1,5 мм умовна межа плинності є критично важливою, адже визначає здатність матеріалу витримувати навантаження без незворотних деформацій. Умовна межа плинності зразків, вирізаних з листа товщиною 1,5 мм, виробника Steel Kosice становить 318...339 МПа (рисунок 3.8), а виробника KONSORCJUM STALI – 290...336 МПа. Умовна межа плинності сталі виробника Steel Kosice вища, ніж у польського виробника KONSORCJUM STALI, що вказує на вищий опір пластичній деформації та здатність витримувати більші навантаження під час експлуатації. Така сталь краще підходить для конструкцій, де важлива форма та геометрична стабільність. Сталь виробника KONSORCJUM STALI може бути більш пластичною, тобто легше піддаватися формуванню, гнуттю чи штампуванню. У виробництві це може бути перевагою, якщо потрібна технологічність, але у відповідальних конструкціях нижча межа плинності може бути обмеженням.

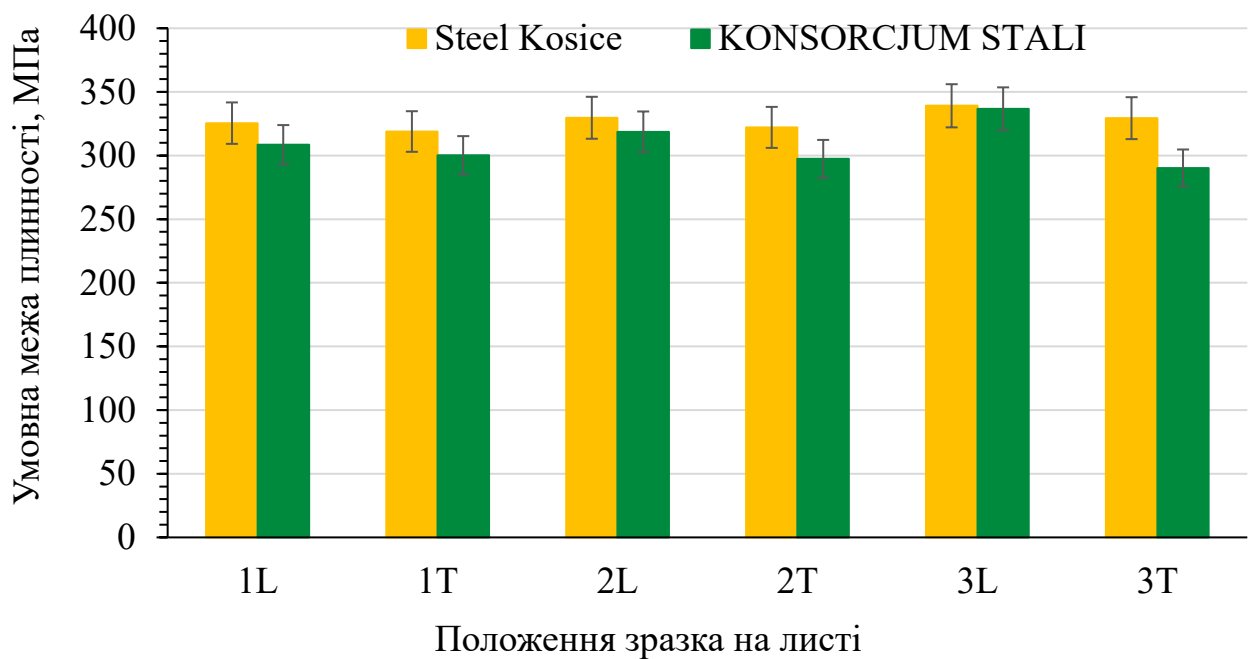


Рисунок 3.8 – Умовна межа плинності сталі S280GD/ZN275 залежно від розміщення зразків на листі різних виробників

Подовження після розриву зразків, вирізаних із листів сталі товщиною 1,5 мм у шести різних положеннях 1L, 1T, 2L, 2T, 3L, 3T різних виробників (Steel Kosice, Словацька Республіка та KONSORCJUM STALI, Республіка Польща) подано на рисунку 3.8.

Подовження після розриву зразків, вирізаних з листа товщиною 1,5 мм, виробника Steel Kosice становить 19,0...25,5% (рисунок 3.9), що відповідає вимогам. Така сталь добре витримує навантаження, але може демонструвати різну поведінку під час формування в окремих ділянках, що потребує уважного контролю у виробництві.

Подовження після розриву сталі виробника KONSORCJUM STALI є більш стабільним 28,4...29,5%, що дозволяє рівномірно вирівняти лист, уникати локальних деформацій та отримати якісні вироби. Високі значення подовження означають, що матеріал може витримати значні деформації без утворення тріщин, що важливо для процесів формування, штампування та виготовлення виробів із тонколистового прокату.

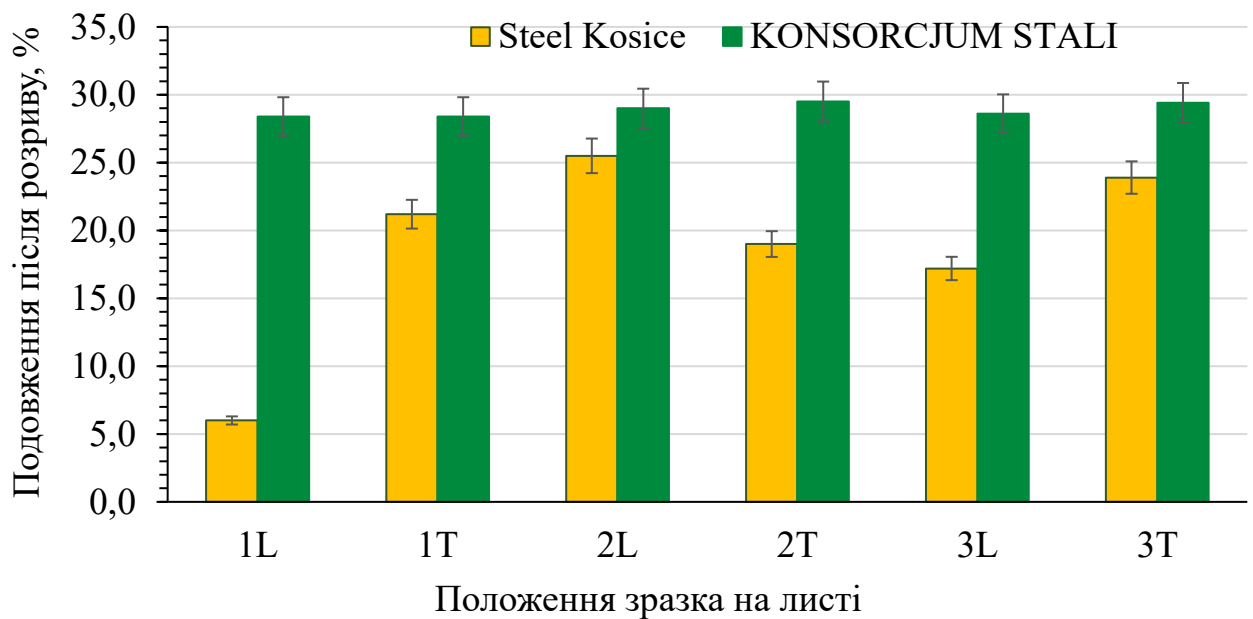


Рисунок 3.9 – Подовження після розриву сталі S280GD/ZN275 залежно від розміщення зразків на листі різних виробників

Перевагою сталі виробника Steel Kosice (Словацька Республіка) є поєднання достатньої пластичності з високою міцністю, що дозволяє її використовувати у більш відповідальних конструкціях, де необхідно забезпечити вищу міцність. Недоліком даної сталі є менш стабільні механічні показники по всьому рулону порівняно зі сталлю виробника KONSORCJUM STALI (Республіка Польща).

ВИСНОВКИ

В магістерській роботі досліджено межу міцності на розрив, умовну межу плинності та подовження після розриву зразків сталі S280GD/ZN275 різної товщини (1,0 мм та 1,5 мм) різних виробників (Steel Kosice та KONSORCJUM STALI) залежно від розміщення зразків на листах та визначено їх реальну товщину.

Листи товщиною 1 мм мають стабільну товщину та високу пластичність (подовження 29,5...32,5%), що забезпечує хороші деформівні властивості і придатність до штампування порівняно з листами товщиною 1,5 мм демонструють, які мають дефекти з низьким подовженням.

На початку рулону товщина листа є трохи більшою, а міцність на розрив нижча, тоді як у кінці рулону товщина зменшується, а міцність зростає. Межа плинності залишається стабільною, проте подовження після розриву значно варіюється, що свідчить про різну деформівну здатність матеріалу в різних ділянках рулону.

Сталь виробника Steel Kosice має трохи меншу фактичну товщину та вищу міцність, але подовження менш стабільне. Сталь виробника KONSORCJUM STALI характеризується точною товщиною, нижчою межею міцності та більш рівномірним подовженням, що забезпечує кращу деформівність і якісне вирівнювання листа. Однак дана сталь має нижчі механічні характеристики, зокрема межу міцності на розрив, що є важливо для експлуатації сталевих виробів. Даній характеристиці краще задовольняє Steel Kosice.

					MP 1325.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://stavianmetal.com/en/cold-rolled-steel-coils/>
2. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://www.metalbook.com/blogs/an-introduction-to-cold-rolled-steel/>
3. Електронний ресурс. Режим доступу: https://metinvest-smc.com/ua/articles/sortament-otsinkovannykh-staley-po-evropeyskim-standartam/?srsrtid=AfmBOoqdwLwE6KBtizZ5ObEPiwr9DS5BIqAbkN_qHmBg0lb1lr7EGfN2
4. ETCN Machining. Властивості холоднокатаної сталі. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://etcnmachining.com/uk/blog/cold-rolled-steel-properties/>
5. Технологія виробництва холоднокатаних листів. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://techtronic.com.ua/list-stalevij-xolodnokatanij-texnologiya-virobnictva>
6. Maxima Metall. Особливості та переваги холоднокатаної сталі. Технологія виробництва холоднокатаних листів. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://www.maxima-metall.com.ua/ua/novyny/osoblivosti-ta-perevagi-kholodnokatanoji-stali>
7. ДСТУ EN 10130:2009. Вироби із низьковуглецевої сталі плоскі холоднокатані для холодного штампування.
8. ДСТУ 8971:2019 "Прокат листовий холоднокатаний. Основні параметри і розміри"
9. ДСТУ 7808:2015: "Прокат листовий для холодного штампування із якісної конструкційної сталі. Технічні умови"
10. ДСТУ EN 10025-2:2022 Вироби гарячекатані з конструкційної сталі.

					MP 1325.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

11. SJ-Профіль. Електронний ресурс. Режим доступу:
sj-profil.com.ua/dlya-chogo-vikoristovuyetsya-xolodnokatana-stal
12. Гарячекатана та холоднокатана сталь та їх відмінності. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://www.teamrapidtooling.com/uk/>
13. Криль Я.А., Геворкян Е.С., Луцак Д.Л. Матеріалознавство. Сталь: класифікація, виробництво, споживання, маркування. – Львів: Новий Світ-2000, 2020. – 267 с.
14. https://www.steelnumber.com/en/steel_composition_eu.php?name_id=606
15. <https://metinvest-smc.com/ua/articles/sortament-otsinkovannykh-staley-po-evropeyskim-standartam/?srsrtid=AfmBOooFAIZOPK6RMqx6wQGgWjQJpg2Ejec8RJuzcD8-qZpWBMNzsfesz>
16. <https://www.jiuzhou-metal.com/galvanized-steel-sheets/Z275.html>
17. <https://alloy-materials.com/s280gd-coil/>
18. <https://steelprogroup.com/galvanized-steel/grades/s280gd/>
19. Механічні властивості та конструкційна міцність матеріалів : підручник / В. В. Холявко, І. А. Владимирський. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка, 2023. – 272 с.
20. *Механічні властивості матеріалу.* – [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
https://uk.wikipedia.org/wiki/Механічні_властивості_матеріалу.
21. RMR Steel. *Advancements in steel plate manufacturing: understanding inclusions and their impact on material properties.* – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.rmrsteel.com/uk/news/advancements-in-steel-plate-manufacturing-understanding-inclusions-and-their-impact-on-material-properties/>.
22. С.П. Панченко, В.Я. Кіба. Конспект лекції з дисципліни “Механічні випробування матеріалів” для здобувачів першого рівня вищої освіти за спеціальністю 132 матеріалознавство [Електронний ресурс] /

					MP 1325.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

Панченко С.П., В.Я. Кіба ; Міністерство освіти і науки України, Нац. тех. ун-т
“Дніпровська політехніка”, 2022. 81с.

					MP 1325.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40