

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»  
Факультет гірничо-металургійний  
Кафедра металургії матеріалознавства та організації виробництва

«Допущено до захисту»  
Гарант ОПП

Володимир ПАШИНСЬКИЙ

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня магістра

за підсумками виконання  
освітньо-професійної програми  
«Інноваційна діяльність в матеріалознавстві»  
за спеціальністю 132 Матеріалознавство

**на тему** «Удосконалення макроструктури та комплексу  
механічних властивостей товарних слябів марки S235J2 та S355J2  
виплавлених у ДСПА-1 на ПАТ «Запоріжсталь» за рахунок оптимізації  
технологічних процесів виробництва»

Керівник роботи

Володимир ПАШИНСЬКИЙ

Консультант від  
бази практики

Вадим Лобов

*Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей,  
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело*

Здобувач

Олександра ЛІОЛЬКО

Підсумкова оцінка за атестацію			
--------------------------------	--	--	--

Голова ЕК

Віктор КОЛЕСНИК

Кам'янське, 2024

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

Факультет	Гірничо-металургійний
Кафедра	Металургії, матеріалознавства та організації виробництва
Ступінь вищої освіти	магістр
Спеціальність	132 Матеріалознавство
ОПП	Інноваційна діяльність у матеріалознавстві

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант ОПП

Володимир ПАШИНСЬКИЙ

«05» грудня 2023 р.



**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА**

***Ліоцько Олександрі Олександрівни***

1. Тема роботи «Удосконалення макроструктури та комплексу механічних властивостей товарних слябів марки S235J2 та S355J2 виплавлених у ДСПА-1 на ПАТ «Запоріжсталь» за рахунок оптимізації технологічних процесів виробництва»

керівник роботи Пашинський Володимир Вікторович, професор, доктор технічних наук

затверджені наказом Університету від 29.08. 2023 р. №137.1/29.08.2023

2. Термін подання роботи 08.01.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи Навчальна література, державні та міжнародні стандарти, методична література з спеціальних дисциплін та дипломування, науково-дослідницькі роботи з тематики кваліфікаційної роботи, літературні джерела, технологічні інструкції, дані ПАТ «Запоріжсталь» м.Запоріжжя, результати власних експериментів та досліджень тощо

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань) Анотація. Зміст. Вступ. 1. Аналіз питання та постановка задачі дослідження (літературний огляд, недоліки існуючих процесів та матеріалів, сучасні тенденції). 2. Матеріал та методика досліджень (марки та характеристики матеріалів, характеристика відібраних зразків, режими їх обробки (при наявності), методики визначення характеристик матеріалів та обробки даних). 3. Отримані результати та їх аналіз 4. Практичні рекомендації із застосування отриманих результатів. Економічна оцінка запропонованих рішень. 5. Заходи з промислової безпеки та захисту навколишнього середовища (при потребі). Висновки. Перелік використаних джерел. Додатки.

5. Перелік графічного (демонстраційного) матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Презентація з вказанням результатів аналізу

питання, задач дослідження, матеріалів та методики дослідження, опису отриманих результатів, економічна оцінка, промислова безпека та захист середовища, висновки

6. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи, що стосуються їх

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта
1 - 4	<i>Пашинський В.В. професор, доктор технічних наук</i>

7. Дата видачі завдання 05.12.2023

#### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи
1	Розділ 1. Аналіз питання та постановка задачі дослідження	25.12.2023 – 28.12.2023
2	Розділ 2. Матеріали та методика досліджень	25.12.2023 – 28.12.2023
3	Розділ 3. Отримані результати та їх аналіз	28.12.2023 – 02.01.2024
4	Розділ 4. Практичні рекомендації із застосування отриманих результатів. Заходи з промислової безпеки та захисту навколишнього середовища. Економічна оцінка запропонованих рішень	03.01.2024 – 07.01.2024
5	Висновки, перелік посилань, вступ, зміст, реферат	07.01.2024 – 08.01.2024
6	Подання завершеної роботи. Перевірка на академічний плагіат	08.01.2024 – 10.01.2024
7	Остаточне оформлення роботи, презентаційного матеріалу, автореферату	10.01.2024 – 16.01.2024
8	Рецензування завершеної роботи. Захист	16.01.2024 – 24.01.2024

Здобувач

*Олександра ЛІОЛЬКО*

Керівник роботи



*Володимир ПАШИНСЬКИЙ*

## РЕФЕРАТ

Тема роботи: «Удосконалення макроструктури та комплексу механічних властивостей товарних слябів марки S235J2 та S355J2 виплавлених у ДСПА-1 на ПАТ «Запоріжсталь» за рахунок оптимізації технологічних процесів виробництва»

Робота містить 142 стор., 23 мал., 4 табл., 13 слайдів.

Викладення змісту роботи: Наведена у магістерській дисертації робота спрямована на використання результатів дослідження макро та мікроструктури при відпрацюванні технології виготовлення товарних слябів, вироблених із злитків низьковуглецевої марки сталі S235J2 та S355 для ЄС-активів в умовах ПАТ "Запоріжсталь".

Об'єкт і предмет дослідження. Об'єктом дослідження виступає технологія виробництва сталі марки S235J2 та S355J2, предметом дослідження – була досліджена мікроструктура темплетів товарних слябів на забрудненість неметалевими включеннями, відпрацювання технології одержання заданого хімічного складу у готовій сталі для отримання стабільного комплексу механічних властивостей згідно з EN 10025-2019

Мета і завдання роботи. Визнання вимог до макроструктури та комплексу механічних властивостей товарних слябів та технології формування заданих параметрів в умовах ПАТ «Запоріжсталь», розробка методики дослідження макро та мікроструктури слябів при відпрацюванні технології виготовлення товарних слябів із злитків сталі марки S235, S355, отримання даних щодо параметрів макроструктури слябів, виготовлених за запропонованою схемою та розробка рекомендацій щодо підвищення їх якості у повній відповідності з EN 10025-2019 за розширенням продуктової лінійки та отриманням додаткового прибутку комбінату Запоріжсталь за рахунок освоєння цієї технології .

Методи дослідження. У роботі використовувалися наступні методи: аналіз літературного огляду світових практик, аналіз технічних можливостей ПАТ «Запоріжсталь», поточних статистичних даних механічних властивостей сталі S235, S355. З метою виділення напрямків роботи та проведення промислових експериментів на базі виявлених закономірностей та виділення основних напрямків у роботі магістранта щодо вивчення макро та мікроструктури темплетів, відібраних від товарних слябів.

Результати дослідження. Розроблено технологію виробництва товарних слябів марки S235J2 та S355J2 з механічними властивостями у повній відповідності з EN 10025-2019.

Область застосування. Виробництво першосортних катаних слябів для подальшої переробки відповідно до "STEEL GRADES DIRECTORY TDC 01/2022" Customers: Ferriera Valsider SpA; Metinvest Tramestal SpA (ERBU) Виробник: PJSC Iron&Steel Works Zaporizhstal

Стислі висновки. У ході освоєння виробництва катаних слябів сталі марки S235J2 та S355J2, при проведенні експериментальної частини та аналізу здобутих механічних властивостей були визначені основні параметри технології (які були закріплені у регламенті виробництва сталі марки S235J2 та S355J2),

А) обмежений хімічний склад сталі: С – н.б. 0,18%, Мп – н.б. 1,60%, S – н.б. 0,025%, Р – н.б. 0,025%;

Б) у шихту плавки застосовують тільки обороту обрізь та чугун з мінімальним потоковим вмістом сірки 0,025-0,030%, а також у завалку та доведення застосовують тільки металургійне вапно замість вапняка для забезпечення низького вмісту сірки в готовій сталі  $S \leq 0,025$  %;

В) проведено випробування нових видів шлакоутворюючих та утеплювальних зліткових сумішей для забезпечення зниження глибини усадкових дефектів, а також покращення якості слябів;

Г) при прокатці товарних слябів для ЄС-активів в обов'язковому порядку здійснювали кантування всіх розкатів на товщині в проміжку 300-400 мм., залежно від товщини замовлення.

За результатами роботи - це відвантаження 71057,61 т товарних слябів початку 2023р. Metinvest Trameal SpA (ERBU) товщиною 150-200мм, із сумарним економічним ефектом 4,973 млн доларів

КЛЮЧОВІ СЛОВА: S235J2 та S355J2, неметалеві включення, товарні сляби, хімічний склад, EN 10025-2019, економічний ефект, мікроструктура, макроструктура, темплети.

## **A B S T R A C T**

The topic of the work: "Improving the macrostructure and set of mechanical properties of S 235J2 and S355J2 commodity slabs melted in DSPA-1 at Zaporizhstal PJSC due to the optimization of production processes"

The work contains 142 pages, 23 figures, 4 tables, 13 slides.

Presentation of the content of the work: The work presented in the master's thesis is aimed at using the results of the macro and microstructure research in the development of the technology for the production of commodity slabs made from ingots of the low-carbon steel grade S 235J2 and S355 for EU assets in the conditions PJSC "Zaporizhstal".

Object and subject of the study. The object of the study is the production technology of S 235J2 and S355J2 steel, the subject of the study was the investigation of the microstructure of commodity slab templates for contamination by non-metallic inclusions, development of the technology of obtaining a given chemical composition in the finished steel to obtain a stable set of mechanical properties according to EN 10025-2019

The purpose and task of the work. Recognition of the requirements for the macrostructure and complex, mechanical properties, commodity slabs and the technology of forming the given parameters in the conditions of PJSC "Zaporizhstal", the development of the methodology for the study of the macro and microstructure of slabs while working out the technology for the production of commodity slabs from S 235, S355 steel ingots, obtaining data on the parameters of the macrostructure of slabs manufactured according to the proposed scheme and developing recommendations for improving their quality in full compliance with EN

10025-2019 for expanding the product line and obtaining additional profit for the Zaporizhstal plant due to the development of this technology.

Research methods. The following methods were used in the work: first of all, it is an analysis of a literary review of world practices. Analysis of the technical capabilities of PJSC "Zaporizhstal" current statistical data on the mechanical properties of steel S235, S355, with the aim of identifying areas of work, carrying out industrial experiments on the basis of discovered patterns and identifying the main areas in the work of a master's student, Studying the macro and microstructure of templates selected from commodity slabs.

Research results. The technology for the production of S 235J2 and S355J2 commercial slabs with mechanical properties in full compliance with EN 10025-2019 has been developed.

Scope. Production of first-class rolled slabs for further processing in accordance with "STEEL GRADES DIRECTORY TDC 01/2022"  
Customers: Ferriera Valsider SpA; Metinvest Trametel SpA (ERBU)  
Manufacturer: PJSC Iron&Steel Works Zaporizhstal

Brief conclusions. In the course of mastering the production of rolled slabs of steel grades

S235J2 and S355J2, during the experimental part and the analysis of the obtained mechanical properties, the main parameters of the technology were determined (which were fixed in the regulations for the production of S 235J2 and S355J2 steel),

A) restrictions on the chemical composition of steel: C – no more 0.18%, Mn - no more 1.60%, S - no more 0.025%, P - no more 0.025%;

B) only reversible cut and cast iron with a minimum flow sulfur content of 0.025-0.030 are used in the smelting charge, and only metallurgical lime is used in filling and proofing instead of limestone to ensure a low sulfur content in the finished steel  $S \leq 0.025\%$ ;

C) testing of new types of slag-forming and insulating slag mixtures was carried out to ensure the reduction of the depth of shrinkage defects, as well as the improvement of the quality of the slabs;

D) when rolling commercial slabs for EU-assets, it is obligatory to perform edging of all rolls with a thickness of 300-400 mm, depending on the thickness of the order.

According to the results of the work, this is the shipment of 71,057.61 tons of commodity slabs at the beginning of 2023. Metinvest Trametel SpA (ERBU) with a thickness of 150-200 mm, with a total economic effect of 4.973 million dollars

KEY WORDS: S235J2 and S355J2, non-metallic inclusions, commercial slabs, chemical composition, EN 10025-2019, economic effect, microstructure, macrostructure, templates.

## ЗМІСТ

	Стор.
Завдання на випускню магістерську роботу	2
РЕФЕРАТ	4
ВСТУП	14
1 АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ДОСЛІДЖЕННЯ	18
1.1 Характеристика сталі для виготовлення товарних слябів	18
1.2 Застосування сталі S235JR у Європейському Союзі	21
1.3 Аналіз виробництва всесвітніх практик	21
1.4 Ризики утворення дефектів за всіма переділами та шляхи їх вирішення різними підприємствами чорної металургії	22
1.5 Ризики при розливанні злитків	25
1.6 Заходи для зниження ризику залишкових дефектів усадкового та підусадкового походження	27
1.7 Вплив технологічних параметрів гарячої прокатки	28
1.8 Застосування режимів обтискання для зливків	31
1.9 Постановка задач дослідження	35
2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ	36
2.1 Матеріали для дослідження, опис відбору зразків	36
2.2 Методики теоретичних/експериментальних досліджень	37
2.3 Аналіз виробництва сталі марки групи типу S355	37
3 РЕЗУЛЬТАТИ ТЕОРЕТИЧНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ	43
3.1 Результати теоретичного дослідження макроструктури темплетів товарних слябів.	43
3.2 Результати теоретичного дослідження мікроструктури темплетів товарних слябів	45
4. ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ	49

4.1	Опис практичного використання результатів досліджень	
4.2	Застосування нових видів шлакоутворювальних та утеплювальних злиточних сумішей	50
4.3	Результати досліджень глибини залягання усадочних дефектів	53
4.4	Результати досліджень мікроструктури темплетів товарних слябів після впровадження рекомендованих заходів	56
5.	ОХОРОНА ПРАЦІ ДОСЛІДНИКА	
5.1	Заходи з промислової безпеки та захисту навколишнього середовища	63
5.1.1	Вимоги безпеки під час виконання роботи	63
5.1.2	Аналіз потенційних небезпек	63
5.1.3	Захист від шкідливих виробничих факторів дослідження	63
5.1.4	Заходи щодо запобігання вибухам	65
5.2	Заходи щодо забезпечення виробничої санітарії та гігієни праці	65
5.3	Заходи забезпечення пожежної безпеки	66
5.4	Охорона праці при проведенні робіт з металографічного дослідження лабораторією металознавства ЦВАПК	66
5.4.1	Вимоги особистої гігієни та санітарних норм	
5.4.2	Вимоги безпеки під час закінчення роботи	68
6.	ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	69
7.	ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ЗАПРОПОНОВАНИХ РІШЕНЬ	70
	ВИСНОВКИ	71
	ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	76

Додаток А. Програма сертифікаційних випробувань товарних катаних слябів із суднобудівної сталі Правил Бюро Верітас

Додаток Б. Методика відбору проб (темплетів) від товарних слябів для ЄС активів, для визначення хімічного складу та дослідження макроструктури

Додаток В. Технічні умови виготовлення товарних слябів для ЄС активів Technical delivery conditions for slabs supply TDC ZS 01/2022 rev.02 dd.14/02/2023 Customers:Ferriera Valsider SpA; Metinvest Trameal SpA (ERBU)Producer:PJSC Iron&Steel Works «Zaporizhstal»

Додаток Г Хімічний аналіз марок сталі S235JR, S355JR

Додаток Д. Норми механічних властивостей для прокату зі сталі марок S235JR, S275JR, S355JR

Додаток Е. Хімічний склад низьковуглецевих марок сталі S235 та S355, які виплавленені у двованному сталеплавильному агрегаті (ДСПА1) ПАТ «Запоріжсталь» у повній відповідності з EN10025-2019 у злитки для заводів Метінвесту в Європі

Додаток Ж. Маркування темплетів та хімічний состав ковшової проби товарних слябів

Додаток К Заходи щодо зниження витратного коефіцієнту металу при виробництві товарних слябів

Додаток Л Фото Макроструктури зразка слябу розміром 245x1500 мм плавки 130412 сталі марки А320-А 340 (дослідження № 37-23)

Додаток М Дослідження макроструктури зразків катаних слябів

Додаток Н Висновки макроструктури

Додаток О Порівняльна характеристика темплетів товарних слябів

Додаток П Протокол дослідження макроструктури

Додаток Р Протокол дослідження хімічного складу

Додаток С Собівартість

Додаток Т Аналіз безпеки виконання робіт

Додаток У Кардинальні правила з охорони праці та промислової безпеки ПАТ «Запоріжсталь»

Додаток Ф Витяг з реєстру ідентифікації небезпек та оцінки ризиків працівників лабораторії металознавства ЦВАПК

Додаток Х Сертифікат RINA

Додаток Ц Сертифікат BUREAU VERITAS

## ВСТУП

ПАТ «Запорізький металургійний комбінат "Запоріжсталь" є підприємством з повним металургійним циклом. На комбінаті розливання сталі здійснюється сифонним способом. Кристалізація злитків спокійних вуглецевих, низьколегованих і заспокоєних марок сталі супроводжується зменшенням його об'єму з утворенням усадочної раковини. Усадочна раковина може мати глибину до  $\frac{1}{2}$  і більше висоти злитка. Глибина усадочної раковини залежить переважно від умов охолодження металу в додатковій частині, які певною мірою характеризуються надходженням теплоти від моменту охолодження рідкого металу і витратою теплоти у вигляді втрат вгору від дзеркала металу. Зменшенню цих втрат сприяє наявність шару сумішей на дзеркалі злитка. Ізоляція дзеркала металу дає змогу зменшити головні обрізки металу в середньому на 2-5 %.

Відносно недавно підприємство почало виробляти катані товарні сляби, які були виплавлені у двованному сталеплавильному агрегаті (ДСПА1) з подальшим розливанням у злитки масою 18,27 т для заводів Метінвесту в Європі.

Відповідно до даних технічного протоколу визначають технічні умови та вимоги до першочергових катаних слябів, виготовлених ПАТ МК «Запоріжсталь» (далі «Виробник» або «Запоріжсталь») і поставляються через канали збуту на підприємства Феррієра Вальсідер, Метінвест Траметал (далі. «Споживачі» і/або ЕС-активи). ЕС-активи є кінцевими споживачами слябів і використовують їх для виробництва гарячекатаних рулонів і листів. Технічний протокол є основним технічним документом, регулюючим поставку слябів.

1. Виробник сертифікований/аттестований за міжнародними стандартами забезпечення якості: ISO 9001:2015 Додатково, процеси та продукція сталеплавильного виробництва

2. Виробники сертифіковані/аттестовані також незалежними органами/організаціями за відповідними стандартами: - Бюро Верітас - Атестація та сертифікація Dedal.

3. Обов'язок Виробника є оновлення вищезазначеної інформації щодо сертифікації/атестації за мірою настання змін.

4. Технологія виробництва: сляби виготовляються за технологією Виробника. Виплавка сталі проводиться в ДСПА-1 з продувкою аргоном. Раптова обробка сталі не проводиться. Дегазація сталі на установці ковшового вакуумування не виробляється. Розливка сталі виробляється в закладниці. Зливки прокочуються на слябі на стані Слябінг 1150. Встановлювані слябі призначені для прокатки листової та рулонної сталі з рекомендованим мінімальним коефіцієнтом обробки

5. Стандартна технологія Споживача представляє собою розділені сляби на більш короткі частини і пережаті їх у лист або в цільному вигляді – в рулон на гарячепрокатному стані.

6. Марки сталі та їх хімічні склади встановлені діючою редакцією КАТАЛОГА МАРОК СТАЛИ TDC 01/2022 (далі «Каталог»), який є невід'ємною частиною цього Технічного протоколу.

7. Вага і кількість Максимальна вага слябу: - шириною 1000-1160 мм – 11 т - шириною 1170-1360 мм – 12,8 т - шириною 1370-1500 мм – 15,5 т

8. Маса розрахункова. Фактична маса буде залежати від фактичного РКМ і залежати від уточнення при виробництві слябів.

9. Якість слябів. Загальні положення: Виробник гарантує - сляби, що постачаються не володіють аномальною радіоактивністю.

10. Якість поверхні. Стан поверхні слябів повинен контролюватися Виробником відповідно до встановлених внутрішніх процедур. Сляби повинні постачатися без будь-яких видимих дефектів поверхні, таких як, наприклад, тріщини, рванини, газові бульбашки,

полості, вм'ятини, включення шлаку, окалина, пористість, рубці від зачищення та ін., які можуть негативно впливати на якість поверхні та/або внутрішня якість гарячекатаного прокату.

11. Внутрішня якість. Сляби повинні постачатися без внутрішніх розслоїв, несплошностей, грубих включень.

12. Обов'язковою вимогою клієнта для виробництва товарних слябів була видача протоколу якості або за сірчаними відбитками або проведення макроаналізу

Дослідження макроструктури під час виробництва товарних слябів зі сталі марки S355 за умов ПАТ «Запоріжсталь» проводиться разом із ПРАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ». Так як на підприємстві ПАТ «Запоріжсталь» відсутня макротемплетна лабораторія. Разом з колегами на ПРАТ «Камет-Сталь» були проведені досвідчені напрацювання щодо проведення макро аналізу з зразків темплетів. Були визначені оптимальні розміри темплетів для проведення випробувань згідно з існуючими розмірами ванн, а також обрана температура та час травлення.

Додатково узгодили свою роботу із представниками сертифікаційного аудиту. Оскільки така технологічна схема виробництва використовувалася вперше, на підставі «загальних вимог NR480 DT R05 E» була розроблена та узгоджена з Бюро Верітас програма сертифікаційних випробувань, (додаток 1) туди ж увійшла методика відбору темплетів від товарних слябів для дослідження макроструктури згідно з вимогами ASTM E 381-2020 та ДСТУ 8966-2019

Дана методика дозволила розробити порядок дій на всьому технологічному ланцюжку починаючи від технологів технічного управління на етапі написання плану робіт та технологічної документації, в цеху гарячої прокатки де безпосередньо відбувається відбір проб (для правильної взаємодії між персоналом), було вказано

розміри зразків, підготовлено наочну схему - зразки і як їх відрізати для макроструктури для зручності та правильної роботи з колегами на ПРАТ «Камет-сталь». Доопрацьовано структуру складання звіту з досліджень згідно з рекомендаціями сертифікаційного центру Бюро Верітас (Додаток 6)

Додатково організовано контроль за проведенням мікроструктури в умовах ПАТ "Запоріжсталь".

Після відбору темплетів на комбінаті ПАТ «Запоріжсталь» їх відправляють до ПРАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ» для дослідження на макроструктуру згідно з КАТАЛОГОМ МАРОК СТАЛІ TDC 01/2022.

Як бачимо, з вимог технічного протоколу європейських активів Рівень відповідності вимогам EN 10025-2019 для марок сталі S235, S355 виробництва ПАТ «Запоріжсталь», складає 63-69%. З метою повного забезпечення всіх механічних властивостей, освоєння виробництва товарних слябів для ЕС активів і отримання додаткових прибутків за рахунок продажу високомаржинального продукту першого сорту сталі марки S235, S355 на Європейських ринках і пропонується провести роботу.

## **1. АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ДОСЛІДЖЕННЯ**

Магістерська робота присвячена освоєнню нового виду продукції – виготовлення катаних товарних слябів з низьковуглецевої марки сталі S235 та S355 в умовах ПАТ «Металургійного комбінату "Запоріжсталь", які виплавленені у двованному сталеплавильному агрегаті (ДСПА1) у повній відповідності з EN10025-2019 з подальшим розливанням у злитки масою 18,27 т, для заводів Метінвесту в Європі. Відповідно до марочника вимог клієнтів Фіррера Вальсідер та Траметал (Італія) "STEEL GRADES DIRECTORY TDC 01/2022" Customers: Ferriera Valsider SpA; Metinvest Trametal SpA (ERBU) Виробник: PJSC Iron&Steel Works «Zaporizhstal»

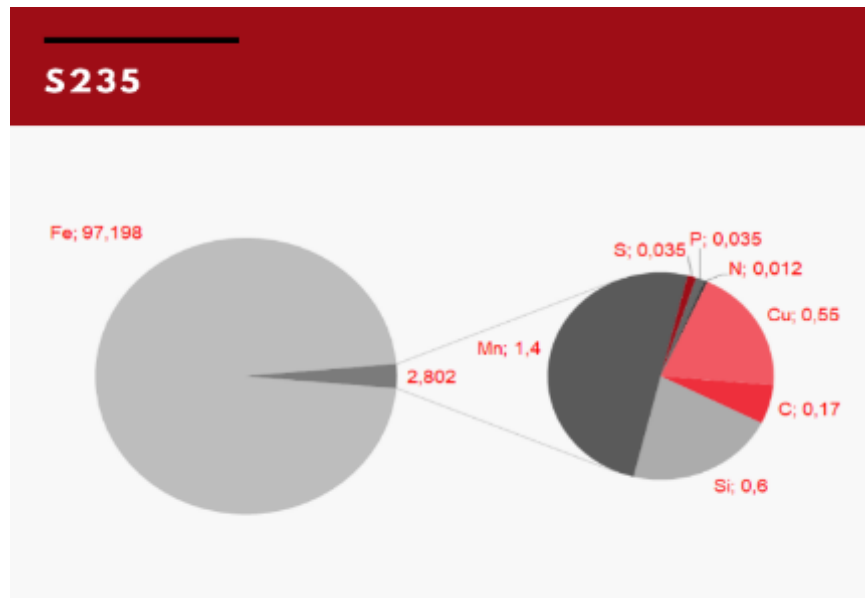
Основна мета роботи – визнання вимог до макроструктури та комплексу механічних властивостей товарних слябів та технології формування заданих параметрів в умовах ПАТ «Запоріжсталь», розробка методик дослідження макро- та мікроструктури слябів при відпрацюванні технології виготовлення товарних слябів із злітків сталі марки S235, S355 та розробка рекомендацій щодо підвищення їх якості у повній відповідності з EN 10025-2019.

### **1.1 Характеристика сталі для виготовлення товарних слябів**

Сталь S235 – залізовуглецевий сплав, що відноситься до групи нелегованих. Згідно з EN 10025-2 та його українським аналогом ДСТУ EN 10025-2 маркування вказує на те, що це конструкційна сталь і при товщині прокату не більше 16 мм її мінімальна межа плинності становить 235 МПа. Характеризується універсальними технологічними та експлуатаційними властивостями. Масово застосовується для виробництва фасонного та листового прокату та іншої продукції для виготовлення металоконструкцій та деталей обладнання

промислового та сільського призначення. Досить гарна пластичність також зумовлює широке застосування сталі у трубному виробництві.

Сталь S235JR – низьковуглецевий сплав. Для покращення фізико-механічних властивостей до її складу введено незначні спеціальні добавки: кремній та марганець, їх сумарна частка не перевищує 2%



Мал.1.1 Приблизний хімічний склад сталі марки S235 [36]

Фізико-механічні властивості. Сталь ідеально зварюється за допомогою будь-якого виду дугового і газового зварювання. Однак, якщо товщина виробів більше 20 мм, тріщиностійкість зони теплового впливу може знизитися. S235JR досить стійкий до помірної вологості. А цементація значно підвищує міцність і зносостійкість поверхневих шарів.

Мінімальна межа плинності  $R_{eH}$  235 МПа.

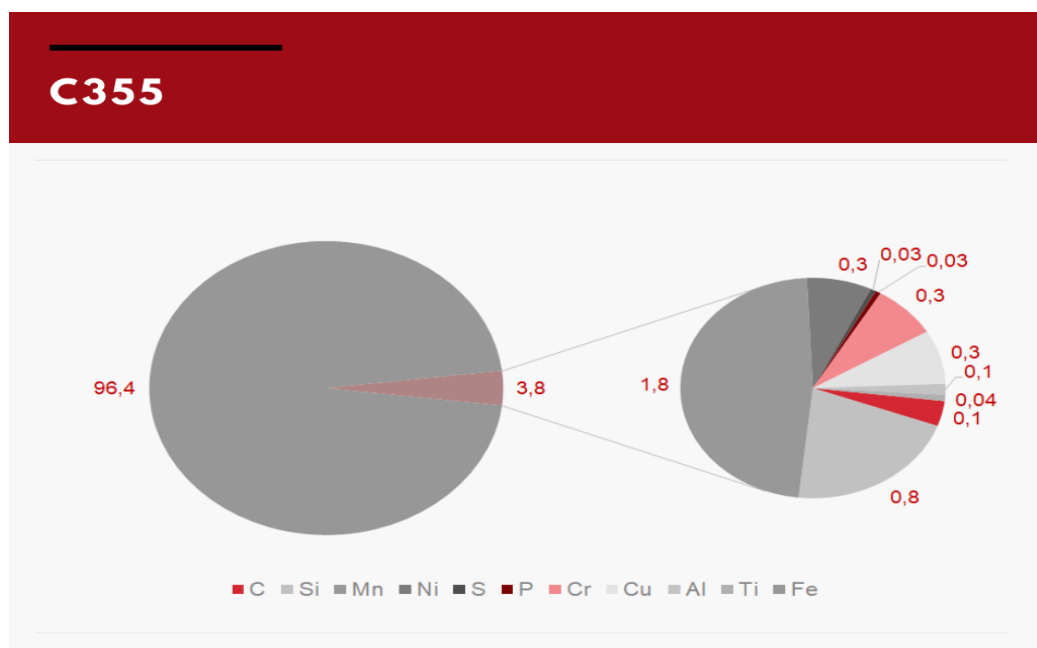
Робота удару при температурі 20°C не менше 27 Дж

Тимчасовий опір розриву  $R_m$ , 360...510 МПа

Відносне подовження, не менше 26 %.

Сталь С355 – мікролегована конструкційна сталь підвищеної міцності. Буква «С» в маркуванні сталі говорить про те, що сталь призначена для будівельних конструкцій, а цифри 355 позначають мінімальну межу плинності в Н/мм<sup>2</sup>. Сталь С355 може піддаватися термічній обробці для покращення механічних властивостей. Широко використовується для виробництва листового металу, широких і фасонних виробів і гнутих профілів.

Хімічні властивості. Сталь має низький вміст вуглецю і легуючих елементів і, крім звичайних розкислювачів (марганцю і кремнію), містить нікель, хром, мідь, алюміній і титан. Постійні технічні домішки сірки і фосфору не перевищують 0,025%. Залежно від способу плавлення сталі масова частка азоту може коливатися від 0,08 до 0,01 %, також допускається наявність слідів ванадію (до 0,12 %) і ніобію (до 0,06 %) у пробі ковша (Мал. 1.2)



Мал. 1.2. Приблизний хімічний склад сплаву С355 [36]

Фізико-механічні властивості сталі С355. Конструкційна сталь С355 характеризується відносно високою міцністю і має високу межу плинності з хорошим подовженням і хорошою ударною міцністю. Крім

того, вона більш пластична і морозостійка порівняно зі сталями С235 і С255. С355 відмінно зварюється при всіх видах зварювання і має хорошу стійкість до появи структур, що загартовуються, в зоні термічного впливу і механічного старіння. Застосовуючи термічну і термомеханічну обробку, можна підвищити якість прокату з цієї сталі.

Враховуючи вартість і поліпшені механічні властивості сталі, С355 широко використовується для виготовлення зварних металоконструкцій різного інженерного і побутового призначення, що піддаються вібраційним, динамічним і рухомим навантаженням. Найпоширенішими є: опорні та мостові конструкції, кожуха димоходів, вертикальні резервуари, перехідні опори для ліній електромереж, балки і ферми, колони. Не рекомендується використовувати сталь для створення вторинних конструкцій. [36]

Аналоги сталі С355 в міжнародній практиці:

- Євросоюз – Q345, S355K2, S355M
- КНР – L03453
- Країни СНД – 09Г2, 15ГФ, 17ГС
- США – Grade 50, K02306.

## **1.2. Застосування сталі S235JR у Європейському Союзі**

S235JR це сталь для масового використання у Європейському Союзі. [36]

З 2007 року в Україні запроваджено гармонізований європейський стандарт ДСТУ EN 10025. Цей бренд все частіше використовують вітчизняні виробники у виробництві будівельних металоконструкцій, деталей промислового обладнання та іншої продукції загального призначення. Сталь С235 постачається металургійними підприємствами у вигляді двотаврових балок; кути і швелери; круги, шестигранники та інші профілі в брусках; смуга і листовий метал; напівфабрикати для подальшого виробництва

плоского та сортового прокату. Доступність і універсальність в обробці призвели до широкого використання S235JR для виготовлення водяних камер і резервуарів, закладних деталей, шайб і напрямних, шайб і кронштейнів. [36]

Аналоги сталі S235JR в міжнародній практиці: KHP Q235B, Індія IS226, Країни СНД Ст3сп, США A252, M17, Японія SM400, SS400

### **1.3. Аналіз виробництва всесвітніх практик**

На сьогоднішній день безперервне лиття сталі є найбільш ефективною ресурсо- та енергозберігаючою технологією кінцевої стадії. Більше 35% всієї продукції виробляється в Україні. Сталь розливається безперервно і з кожним роком ця кількість збільшується за рахунок будівництва нових і переобладнання старих цехів безперервного розливу. В сучасних умовах відбувається активне впровадження українських виробників Сталь на світовому ринку потребує відповідної сертифікації металопродукції, що відповідає міжнародним стандартам за своїми якісними характеристиками. Це досягається завдяки наявності необхідного обладнання на підприємствах чорної металургії України і особливо у виробництві сталі. та високоефективні технологічні процеси плавки та лиття сталі та також використання високотехнологічних і більш економічних матеріалів. Сучасна технологія виробництва сталі передбачає попереднє розкислення при вивантаженні металу зі сталеплавильної установки в ковш. [36]

### **1.4. Ризики утворення дефектів за всіма переділами та шляхи їх вирішення різними підприємствами чорної металургії**

Для розкислення сталі використовується сирий алюміній, феросиліцій, силікокальцій. Феросиліцій пропонується як альтернатива використанню комплексного розкислювача у вигляді

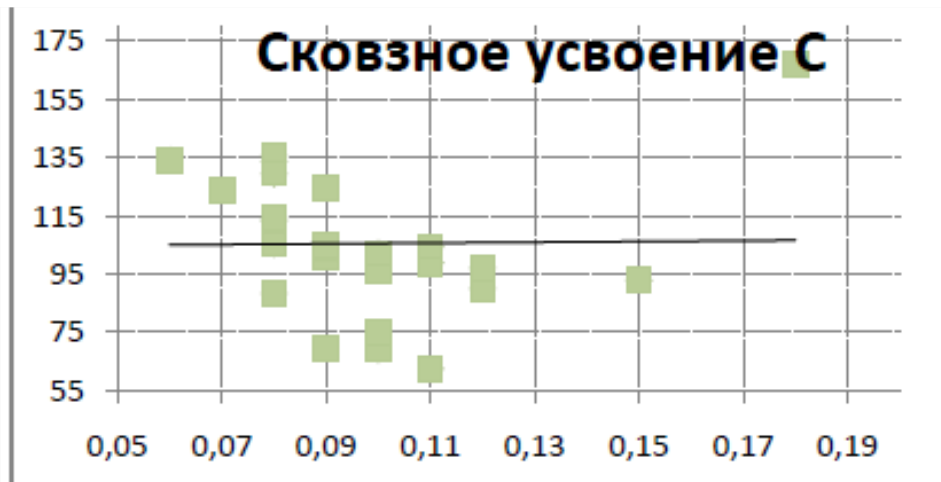
карбіду кремнію (SiC) з певною фракцією та хімічним складом. Запропонована технологія розкислення базується на високій спорідненості карбіду кремнію до кисню та активності комплексного розкислювача. (SiC) близька до активності алюмінію і значно вища, ніж у кремнію і вуглецю. В даний час за наявності печей-ковшів остаточне розкислення також може бути досягнуто SiC шляхом розкислення шлаку в ковші. Це частково усуває алюміній. Більш висока засвоюваність кремнію і марганцю пов'язана з фізико-хімічними процесами, що відбуваються при засвоєнні металом карбіду кремнію, в результаті яких більше знижується активність кисню, ніж при використанні феросиліцію і відповідно втрати кремнію і марганцю за цих умов нижчі. За даними дослідних плавок з карбідом у випадку металургійного кремнію (SiC) зрозуміло, що ступінь асиміляції елементів Si, C, Mn при виділенні металу залежить від вмісту вуглецю – тим більше, чим вищий вміст вуглецю, тим вищий ступінь засвоєння елементів. Аналіз досягнутих результатів (при порівнянних початкових умовах: маса розплаву, час обробки, споживана потужність, початковий хімічний склад металу, витрата розкислювача) показав наступне: [14]

- засвоєння кремнію від випуску до початку переробки плавки в УКП, різниці між тестовими та порівняльними плавками практично немає (31,4% і 30,6%, відповідно);

- наскрізне засвоєння вуглецю, кремнію та марганцю вище в експерименті – 96,3%; 44,1% і 92,6% проти 87,4%; 38,0% і 88,0% для порівняльних значень, відповідно (Мал. 1.3);

- ступінь десульфурації та ступінь використання вапна для видалення сірки також вище в дослідних плавках – 76,4% і 7,1% проти 72,8% і 6,3% в дослідних плавках. порівняльний. Дещо кращий ступінь десульфурації в дослідних плавках пояснюється тим, що для порівняння розплави антрациту (АС) і УСМА (АШ) використовували

для науглецювання металу, що приносить додаткову кількість сірки і золи, що погіршує продуктивність процесу рафінування металу. Послідовне засвоєння елементів експериментальних розплавів з використанням карбиду. Металургійний кремній вище, ніж у порівняних розплавах Феросиліцій FS65 і FS45. [11]



Мал. 1.3 Діаграма наскрізного засвоєння (з використанням SiC)

Економічний ефект від використання карбиду кремнію замість феросиліцію ФС65 і ФС45 при виплавці сталі марки СтЗсп, розливої на МНЛЗ з відкритим струменем, значно вищий. Враховуючи відсутність у карбіді кремнію шкідливих домішок, присутніх у феросиліцію (кольорові метали, неметалічні включення, розчинені гази), а також при його використанні в технології післяпичної обробки сталі на промисловому комплексі, слід очікувати поліпшення якісних показників механічних властивостей, вмісту неметалевих включень і газів у готовому прокаті і, як наслідок, зниження собівартості виробництва деяких марок сталі, що не потребують додаткової обробки в формі вакуумної дегазації. Фактори, що впливають на розкислення сталі і утворення неметалевих включень. Автори робіт [2-16] пропонують провести аналіз розкислювачів при виплавці товарних слябів, провести заміну вапняку на вапно.

### 1.5. Ризики при розливанні злитків

Підвищення якості металу є найважливішою проблемою виробництва. Актуальність проблеми зумовлена постійним посиленням вимог споживачів до якості металу. За сучасними уявленнями вирішальний вплив має абсолютний вміст включень у металі, а також їх склад, форма, розподіл і деформацію при прокатці.

Теорія і практика розкислення, а також десульфурзації значно розширили уявлення про поведінку кисню, сірки, оксидних і сульфідних включень. Також виявлено можливість зміни складу і морфології включень шляхом їх модифікації з додаванням різноманітних елементів – модифікаторів. [21]

Проблема усунення або зменшення шкідливого впливу включень та довговічність сталей для різних виробів і для кожного конкретного середовища є однією з найскладніших у металургії. Тому проблему якості слід багато в чому вирішувати шляхом оптимізації складу і структурних компонентів сталевих систем - включення, тобто найвищих експлуатаційних характеристик сталі.

Ендогенні неметалічні включення утворюються при взаємодії компонентів сталі з розчиненими в ній киснем, сіркою і азотом.

Екзогенні неметалічні включення - це продукти ерозії вогнетривів, частинки шлаку, включення феросплавів, руди тощо, які не встигли спливати на поверхню рідкого металу або розчинитися. [19]

Особливо якість високовуглецевої сталі для металокарду визначається її чистотою від неметалічних включень. У цьому випадку важливі розмір, форма, склад (відсутність включень, збагачених  $Al_2O_3$ ). Результати розрахунків показують, що активність  $Al_2O_3$  має пікоподібний характер і що при низькій основності активність оксиду алюмінію менша, ніж при високій основності.

$CaO$  негативно впливає на видалення глинозему, оскільки не утворює міцних зв'язків. Крім того, високоосновний шлак перешкоджає

видаленню неметалевих включень завдяки наявності в ньому сірки, яка є поверхнево-активним елементом і концентрується на межі метал-шлак і є перешкодою для неметалевих включень.

Розкислення в порядку зростання температури плавлення продуктів розкислення. При такій послідовності присадок розкислювачів утворилися неметалеві включення з низькою температурою плавлення. Ці рідкорухливі включення можуть виступати в ролі центрів зародження неметалевих включень при присадці наступних порцій розкислювача.

Послідовність присадки розкислювачів у порядку зростання спорідненості до кисню також сприяє утворенню легкоплавких сумішей оксидів. Це відбувається за рахунок відновлення компонентів неметалевих включень розкислювачем. При використанні феромарганця необхідно віддавати невелику кількість феросиліцію, а кількість розкислювача повинна бути збільшена. У цьому випадку неметалічні включення, що утворюються, будуть мати змішаний склад. Феромарганець використовувати небажано, тому що для отримання сприятливих неметалевих включень необхідно одночасно віддавати феросиліцій. Тому силікомарганець має переваги в порівнянні з феромарганцем з точки зору неметалічних включень, що утворюються. Для глибокого розкислення можна запровадити невелику кількість алюмінію. Перед введенням алюмінію вміст кисню буде низьким (оскільки більшість кисню пов'язана силікомарганцем і феросиліцієм) і тому включення  $Al_2O_3$ , що утворюються, будуть малих розмірів.  $Al_2O_3$  переважно буде перебувати на зовнішній частині включення, за рахунок чого включення буде мати низьку змочуваність, що сприяє його видаленню з металу. [20]

Для сприятливого складу неметалевих включень пропонується така схема розкислення: Першим вводиться силікомарганець, другим феросиліцій та останнім вводиться у невеликих кількостях алюміній. В

результаті неметалеві включення матимуть змішаний склад типу  $MnO - SiO_2 - Al_2O_3$ . Автори робіт [17-24] пропонують провести мікро аналіз темплетів при виплавці товарних слябів та визначити бали неметалічних включень.

### **1.6. Заходи для зниження ризику залишкових дефектів усадкового та підусадкового походження**

Застосування шлакоутворюючих сумішей при виплавці сталі S235 і S355 значно сприяє випуску високоякісної продукції.

Шлакоутворююча суміш являє собою дрібнодисперсну багатокомпонентну систему, яка дозволяє виконувати ряд важливих функцій: захист сталі від вторинного окислення, теплоізоляція поверхні металу, кристалізатор, поглинання неметалевих речовин, що спливають зі сталі включення, мастило між оболонкою зливка і кристалізатором, рівномірний потік тепла між заготовкою і формою, формування і захист сталевого меніска. [26]

Щоб шлакоутворюючих сумішей добре виконувала перераховані вище функції, вона повинна мати необхідні технологічні характеристики: в'язкість, температуру затвердіння, кількість кристалічної фази затверділого шлаку, поверхневого натягу та ін.

Регулювання технічних властивостей здійснюється шляхом зміни хімічного складу шлакоутворюючих сумішей. В'язкість і температуру початку затвердіння визначають в лабораторних умовах.

При виборі компонентного складу шлакоутворюючих сумішей слід звернути на це увагу на основі таких критеріїв:

- забезпечення необхідних фізико-хімічних властивостей готових шлакоутворюючих сумішей і їх розплави;
- зменшення витрат на придбання та підготовку сировини (подрібнення, сушіння, подрібнення) та на виробництво суміші;
- використання відомих компонентів, які використовуються для їх виготовлення.

До вихідних матеріалів для виробництва шлакоутворюючих сумішей пред'являються наступні вимоги:

- забезпечення більш рівномірного плавлення вихідних матеріалів. Щоб досягти цього, матеріали повинні мати близькі одна до одної температури плавлення.
- необхідний хімічний склад повинен відповідати кількості використовуваних матеріалів, в сировину має входити мінімальний вміст забруднюючих речовин, таких як леткий фторид або кварц.

Залежно від агрегатного стану шлакоутворюючі суміші поділяють на порошкоподібні та гранульовані. Порошкові суміші готуються дуже легко. Подрібнення вихідних компонентів у млинах різного типу з подальшим змішуванням у спеціальних міксерах. Виробництво гранул, крім помелу включають процес гранулювання суміші, апарати-гранулятори. Незважаючи на безсумнівні переваги використання гранульованих шлакоутворюючих сумішей, їх виробництво приблизно в 1,5 рази дорожче звичайних порошкових сумішей. [29]

Таким чином, створюється шлакоутворююча суміш високої якості та необхідного базового технологічного рівня властивості. Необхідно підібрати вихідні матеріали, які відповідають ряду вищевказаних вимог. [30]

Поєднання фізико-хімічних властивостей шлакоутворюючих сумішей, що відповідає умовам лиття згідно з авторами робіт [25-30] досягається шляхом підбора співвідношення обраних вихідних компонентів суміші в комбінації з лабораторними дослідженнями властивостей отриманих ШУС та їх промисловими випробуваннями.

### **1.7. Вплив технологічних параметрів гарячої прокатки**

Дослідження процесу деформації безперервно литих злитків на стадії неповної кристалізації.

Проведення експериментальних досліджень процесу деформування безперервно литі злитки на стадії неповної кристалізації, вимагає правильний вибір матеріалів для моделювання кожного з компонентів злитків, а саме: кристалізована складова (тверда частина) і компонент (рідина-тверда частина).

При цьому, як показала практика, поділ процесів прокатки заготовки з безперервною температурою, підхід, при якому досягається тепловий режим, є виправданим подібності за рахунок виконання рівності співвідношень напруги струму в і-ї точки перетину ( $\sigma_i$ ) до поточної напруги в точці, прилеглої до внутрішньої межі кристалізованої складової ( $\sigma_{с. вн. м}$ ) натурної (індекс «н») смуги і фізична модель (індекс "м"), тобто: [31]

$$\left( \frac{\sigma_{с. н. зр.}}{\sigma_{с. вн. зр.}} \right)_м = \left( \frac{\sigma_{с. н. зр.}}{\sigma_{мод}} \right)_н \quad (1.1)$$

З урахуванням вищезазначеного, виконано розрахунки за співвідношенням (1.1) стосовно умов розливання блюма 335x400 мм (табл. 1)

Таблиця 1. – Розподіл температури та напруги течії в натурному неперервнолитою блюмі зі сталі 09Г2С [33]

$t_{нов}, ^\circ\text{C}$	$t_{сол}, ^\circ\text{C}$	$\Delta t, ^\circ\text{C}$	$\theta_{ст}$	$\varepsilon, \%$	$\bar{U} \times 10^{-3}, 1/\text{с}$	$\sigma_{с. н. зр.}, \text{Н/мм}^2$	$\sigma_{с. вн. зр.}, \text{Н/мм}^2$	$\frac{\sigma_{с. н. зр.}}{\sigma_{с. вн. зр.}}$
775	1463	688	0,470	0,3-1,2	4,25	$\frac{39,17 \div 53,53}{46,4}$	$\frac{0,5 \div 1,9}{1,0}$	46,4
925	1463	538	0,368	0,3-1,2	4,25	$\frac{23,45 \div 32,04}{27,7}$	$\frac{0,5 \div 1,9}{1,0}$	27,7
1250	1463	213	0,146	0,3-1,2	4,25	$\frac{9,79 \div 13,38}{11,6}$	$\frac{0,5 \div 1,9}{1,0}$	11,6

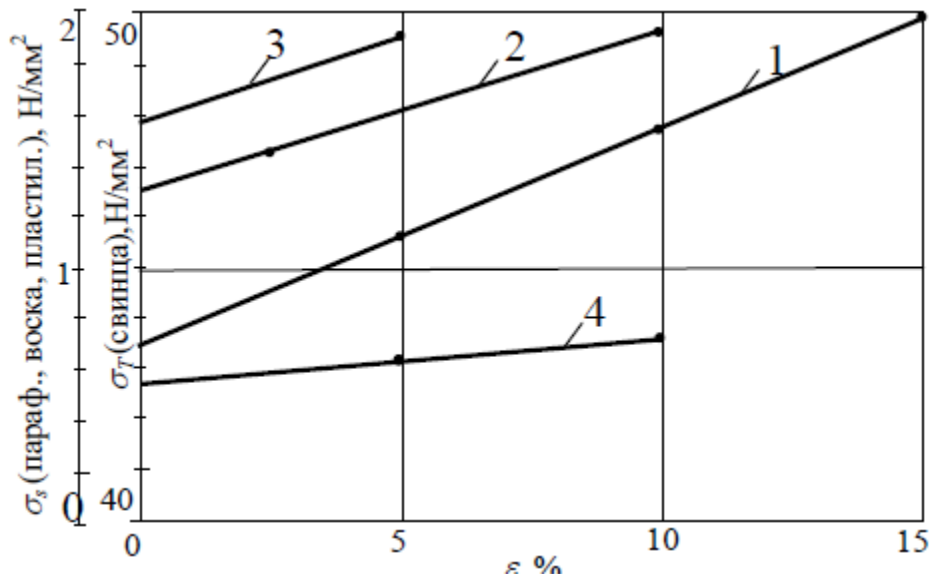
З наведених даних можна зробити припущення про те, що межа плинності матеріалу, що імітує внутрішню рідко-тверду складову повинна забезпечувати виконання співвідношення:

$$\left( \frac{\sigma_{\text{с.н.гр.}}}{\sigma_{\text{с.вн.гр.}}} \right)_{\text{м}} = \left( \frac{\sigma_{\text{с.н.гр.}}}{\sigma_{\text{мод}}} \right)_{\text{л}} \quad [33]$$

Це буде відповідати одному з граничних значень, що виникають у реальних умовах, а саме: напруги плинності матеріалу осьової складової  $\sigma_{\text{мод}}$  не перевищуватимуть межу плинності матеріалу на межі фронту кристалізації  $\sigma_{\text{с. вн. м}}$ , тобто, відбувається процес деформації осьової складової. В іншому випадку внутрішня межа моделі буде деформована, імітація кристалізованої частини блюму. Метою роботи було визначення залежності  $\sigma_{\text{с}} = f(\varepsilon)$  для різних моделюючих матеріалів, що використовуються в обробці металів.

Для проведення експерименту готували по три зразки кожного матеріалу для ліплення (свинець, віск, парафін, пластилін), розміри 20x20x20 мм. Випробування проводили на лабораторному пресі кафедри машинобудування ДонНТУ. Для вимірювання сили використовували месдозу мембранного типу з застосуванням напівпровідникових резисторів. Для визначення ступеня деформації (переміщення) використовувався рівномічна балка, на якій була зібрана мостова схема з напівпровідникових кремнієвих датчиків. Для реєстрації даних використовувався осцилограф Н145. В результаті обробки даних отримано залежність граничної зміни плинності

моделюючих матеріалів від ступеня деформації (мал.1.4).



- свинець; 2- віск; 3 - парафін; 4 - пластилін

Мал. 1.4 Залежність межі плинності від ступеня деформації [33]

Аналіз наведених даних показує, що для кожного матеріалу спостерігається різна протяжність прямолінійної ділянки залежності  $\sigma_s = f(\varepsilon)$ . Найбільше значення характерне для свинцю ( $\varepsilon=15\%$ ), а найменше – для парафіну ( $\varepsilon < 5\%$ ). З точки зору забезпечення виконання відносин  $\frac{\sigma_{S \text{ н.гр}}}{\sigma_{S \text{ вн.г}}}$  у моделі найдоцільніше використовувати віск як наявність внутрішнього імітатора. Поєднання свинцю і воску дозволяє досягти моделі відносин  $\frac{\sigma_{S \text{ н.гр}}}{\sigma_{S \text{ вн.г}}} \approx 24,2\%$  (зі ступенем деформації  $\varepsilon = 5\%$ ), що є прийнятним дуже близько до природних умов.

### 1.8. Застосування режимів обтискання для зливків

Дослідження формування безперервного лиття з циклічним характером зміни тиску

Світове споживання прутків безперервного лиття продовжує постійно зростати, що характеризує ефективність інноваційних технологічних рішень, які використовуються в МЛЗ для підвищення їх якості. Перспективи подальшого розвитку процесів безперервного

лиття заготовок пов'язані з використанням як традиційних підходів до реалізації технології на сучасних МБЛЗ, так і впровадженням незначних конструкторсько-технологічних доопрацювань у поєднанні з підвищенням рівня автоматизації роботи обладнання безперервного лиття металів. Подальше підвищення вимог до якості безперервного лиття, як на макро-, так і на мікрорівні, у зв'язку з необхідністю мінімізації наступних видів обробки, визначає основні напрями розвитку технології безперервного лиття.

Однак наявність осьової пористості та сегрегації, сильна хімічна неоднорідність можуть зробити метал непридатним для подальшого використання у виробі машинобудування. Одним із шляхів усунення цих недоліків є використання методу «м'якого» пресування безперервнолитої заготовки в кінці циклу затвердіння, за наявності рідкої та твердої фаз. Суть цього способу полягає в тому, що безперервнолитою заготовкою піддається додатковому стисненню (на кілька міліметрів) у нижній частині в місці установки витягуючих правильних машин [2].

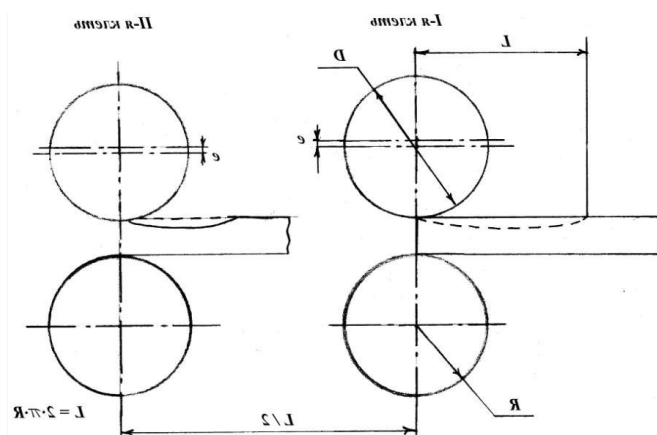
У рамках подальшого розвитку класичної схеми деформування безперервнолитої заготовки можна виділити наступні основні напрямки вдосконалення, які присутні у виробництві як блюмів, так і сортових заготовок:

- Зміна форми поперечного перерізу безперервнолитою блюма.
- Поліпшення форми робочого інструменту, тобто обтискні ролики або рулони.
- Зміна напрямку прикладання зовнішнього деформаційного впливу, а саме з вертикального на горизонтальний, або використання комбінованої схеми.
- Використання пресів або ковальських установок на лінії машин безперервного лиття.

Щодо питання оптимізації параметрів процесу деформування безперервнолитої заготовки, то в більшості досліджень чітко стверджується, що вони в основному визначаються фізико-геометричним станом зливка в передбачуваній зоні реалізації процесу. При цьому, основне значення надається вмісту твердої фази осьової рідинно-твердої складової – лиття, яке характеризується ступенем загартування.

Враховуючи досвід клинової прокатки, що дає змогу підвищити ступінь обтиску в 1,6 рази, пропонується здійснювати циклічне деформування (мал.1.5) безперервнолитого зливка, процес проводити за два етапи.

Перший етап - заготовка опресовується в валках першої кліти, які встановлені в підшипниках з «позитивним» ексцентриситетом. Поверхня заготовки виходить з циклічно повторювальними вершинами (має вигляд «стоячої хвилі»), тобто є максимальний виступ і, відповідно, мінімальна западина. Такий тип поверхні заготовки забезпечується точним налаштуванням першої кліти. [35]



Мал. 1.5 – Пропонована схема циклічної деформації заготівлі: R - радіус валків; D – діаметр валків; e – ексцентриситет верхнього валка; L - Довжина кола валка;  $L/2$  - відстань між першою та другою кліттю [35]

Для отримання прямокутної заготовки з гладкою поверхнею призначена друга стадія деформації. Специфіка другого етапу полягає в тому, що робота другої кліти повинна бути строго синхронізована з роботою першої кліти, тобто «негативний» ексцентриситет валкової установки повинен бути відрегульований так, щоб максимальний виступ заготовки потрапляв в межі максимальне стиснення і навпаки. Така синхронізація дозволить згладити виступи на заготовці під час стиснення у другій кліті. [32]

Планові лабораторні дослідження, що моделюють процес циклічного деформування безперервнолитої заготовки, передбачають вивчення особливостей зміни форми залежно від співвідношень між величинами: ексцентриситетом верхнього валка -  $e$  і діаметром валків -  $D$ , висотою деформованої заготовки -  $H$  і діаметра валків -  $D$ , обтиснення –  $\Delta h$  і висоти деформованої заготовки –  $H$ . При підготовці до проведення експериментальних досліджень планується модернізувати опори підшипників валків лабораторного прокатного стану, щоб забезпечити наявність ексцентриситету при обертанні валків (циклічна деформація).

У цих статтях [ 31-35] розглядаються застосування обтискань на злитках при виробництві товарних слябів.

### **1.9. Постановка задач дослідження**

Як видно з літературного огляду, в наданих матеріалах є вже великі практики та напрацювання про загальні принципи формування структури та властивостей слябової заготівлі, але параметри процесів повинні визначатися щоразу для конкретних умов виробництва.

Так як на ПАТ "Металургійному комбінаті «Запоріжсталь» відсутня МНЛЗ і розлив здійснюється сифонним способом у виливниці з подальшою прокаткою зі злитків у сляби. Тому, необхідно проведення додаткових досліджень щодо проведення робіт з видачі рекомендацій з мікро- та макродосліджень з метою подальшого коригування технологічного процесу для підвищення якості товарних слябів та проходження сертифікації даної лінійки нового продукту.

З метою зниження сірки згідно з технічним протоколом клієнта, треба провести дослідження щодо введення чистого вапна замість вапняку, що дозволить знизити сірку в готовому товарному слябі. А також додатково провести аналіз з відбором проб темплетів на макроаналіз з метою виявлення дефектів з подальшою мінімізацією вмісту неметалевих включень, аналіз розливання заспокоєного сортаменту, якість утеплювальних сумішей, а також режими прокату та обтискання на тонколистовому стані Слябінг 1150.

## **2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ**

Розробка нового виробу включає, насамперед, первинні теоретичні розрахунки на основі літературних даних (Додаток А), розробку орієнтовного плану дій та експериментальну частину для відпрацювання нової технології безпосередньо на виробництві.

Проведення дослідів починається з вивчення впливу кожного технологічного фактора, потім поєднання кількох факторів з метою розробки експериментальної технологічної схеми виробництва.

### **2.1 Матеріали для дослідження, опис відбору зразків**

Матеріали для механічних досліджень та хімічний склад сталі взяті з електронних систем ПАТ «Запоріжсталь». У Додатку Г наведені дані щодо хімічного складу марок сталі S235JR та S355JR. У Додатку Д наведені дані щодо норм механічних властивостей для прокату зі сталі марок S235JR, S275JR, S355JR.

На початкових етапах розробки за основу береться технологія, що забезпечує максимальний вихід відповідного продукту (Додаток Б, В), оскільки незабезпечення основних характеристик тягне за собою значні витрати через необхідність перезамовлення металу та реалізації невідповідного прокату.

Вимоги споживача, недотримання термінів виконання замовлень, утворення значних обсягів незавершеного виробництва (що погіршує техніко-економічні показники цеху).

Після освоєння технології, аналізу та оцінки даних щодо механічних властивостей, проводяться роботи з удосконалення технології виробництва з метою економії енергоресурсів без шкоди для якості.

Тому всі роботи з освоєння виробництва товарних сталевих слябів із забезпеченням їх механічних властивостей розділили на декілька етапів.

## **2.2 Методики теоретичних/експериментальних досліджень**

Дослідження макроструктури слябів під час виробництва товарних слябів із сталі марки S355 проводилося спільно з ПРАТ «Камет-Сталь» і ПАТ «Запоріжсталь». Була відпрацьована технологія проведення макроаналізу. Розроблена схема відбору проб і порядок взаємодій між підприємствами для подальшої злагодженої роботи під час проведення макроаналізу в умовах лабораторії ПРАТ «Камет-сталь».

Оскільки така технологічна схема виробництва використовувалася вперше, на підставі «загальних вимог NR480 DT R05 E» була розроблена та узгоджена з Бюро Верітас програма сертифікаційних випробувань, туди ж увійшла методика відбору темплетів від товарних слябів для дослідження макроструктури згідно з вимогами ASTM E 381-2020 та ДСТУ 8975- 2019

Після відбору темплетів на комбінаті ПАТ «Запоріжсталь» їх відправляють до ПРАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ» для дослідження та макроструктури згідно з КАТАЛОГОМ МАРОК СТАЛІ TDC 01/2022. Додатково організовано контроль за проведенням мікроструктури в умовах ПАТ «Запоріжсталь».

### **2.3 Аналіз виробництва сталі марки групи типу S355**

За хімічним складом. За період 10.11.2022 р. - 18.12.2022 р. виплавлено 29 ковшів сталі групи марки S355 . Хімічний склад низьковуглецевих марок сталі S235 та S355, які виплавлені у двованному сталеплавильному агрегаті (ДСПА1) ПАТ «Запоріжсталь» у повній відповідності з EN10025-2019 у злитки для заводів Метінвесту в Європі наведено в Додатку Е), зокрема:

- - S355J0 - 7 ковшів або 24,14% (фактичний вміст сірки 0,028-0,030% за вимоги не більше 0,025%).

- - S355J2 - 22 ковші або 75,86%, тобто отримано вміст сірки і фосфору менше 0,025%. При цьому з них відповідають:
  - - S355J2 - 4 ковші (13,79% від загальної виплавки і 18,19% від усіх отриманих S355J2) - не отримано додаткові вимоги за вмістом вуглецю (фактично отримано 0,18-0,19% за вимоги для A320 - 0,14-0,16% та A340 - 0,15-0,17%).
  - - A320 - 7 ковшів (24,14% від загальної виплавки і 31,82% від усіх отриманих S355J2);
  - - A340 - 11 ковшів (37,93% від загальної виплавки і 50,00% від усіх отриманих S355J2).

За вмістом сірки: середній вміст по всьому масиву становив 0,024% (мінімальний 0,017%, максимальний 0,030%).

За вмістом фосфору: середній вміст по всьому масиву становив 0,020% (мінімальний 0,016%, максимальний 0,024%).

При цьому всі аналізовані 29 плавок розділивши на два масиви з

Витрата вапна, т			Флюси в доведення (вапно+вапняк), т			Вміст сірки, %			Вміст фосфору, %			Т чавуну, °С
Σ	min	max	Σ	min	max	S розплав	S ковш.	S чавун	P розплав	P ковш.	P чавун	
15,81	12,95	20,4	3,31	3,0	3,31	0,027	0,019	0,017	0,035	0,020	0,045	1349

100% завалкою вапна і 100% завалкою вапняку ми отримали такі результати, занесені до таблиці 2.1

Таблиця 2.1 Плавки зі 100% завалкою вапна

Таблиця 2.2 Плавки зі 100% завалкою вапняку

Витрата вапняку, т			Флюси в доведення (вапно+вапняк), т			Вміст сірки, %			Вміст фосфору, %		
Σ	min	max	Σ	min	max	S розплав	S ковш.	S чавун	P розплав	P ковш.	P чавуна
17,19	14,15	26,35	4,36	1,5	8,0	0,031	0,024	0,023	0,032	0,020	0,043

Аналіз обох масивів плавок показує:

- за вмістом сірки: на плавках зі 100% завалкою вапна вміст сірки по розплаву становив 0,027% проти 0,031% на плавках зі 100% завалкою вапняку, тобто нижче на 0,004%;
- за ковшовою пробою на плавках зі 100% завалкою вапна вміст сірки за ковшовою пробою становив 0,019% проти 0,024% на плавках зі 100% завалкою вапняку, тобто нижчий на 0,005%;
- ступінь десульфурації 29,63% і 22,58% відповідно;
- - за вмістом фосфору: на плавках зі 100% завалкою вапна вміст фосфору по розплаву становив 0,035% проти 0,032% на плавках зі 100% завалкою вапняку, тобто вищий на 0,003%;
- за ковшевою пробою за обома масивами вміст фосфору однаковий і становив 0,020%;
- ступінь дефосфорації 42,86% і 37,50% відповідно;

Слід зазначити, що обидва масиви плавок мають відмінності в якості рідкого чавуну, що надійшов. Так, по масиву зі 100% завалкою вапна вміст сірки і температура рідкого чавуну становили в середньому 0,017% і 1349,3<sup>0</sup> С за 0,023% і 1317,5<sup>0</sup> С відповідно на плавках зі 100% завалкою вапняку, тобто, вміст сірки нижчий на 0,006%, а температура вища на 31,8<sup>0</sup> С.

Зазначені параметри якості рідкого чавуну вплинули загалом на перебіг процесу десульфурації плавок обох масивів.

З урахуванням того, що за 100% завалки вапна результат очевидно кращий, подальшу виплавку цього сортаменту слід забезпечити на 100% вапна в завалку.

У грудні 2022 року на стані Слябінг і адьюстажі ЦГП ПАТ "Запоріжсталь" для ЄС активів:

- - вироблено товарних слябів зі сталі марки S355 (JR J0 J2) - 2592,456 тонн, у т.ч. товщиною 220 мм - 1692,691т і 150 мм - 899,765 т;

- - відвантажено товарних слябів зі сталі марки S355 (JR J0 J2) 2063,959 тонн, у т.ч. товщиною 220 мм - 1577,589т і 150 мм - 486,37 т. Оперативний витратний коефіцієнт металу за грудень 2022 року склав:

Таблиця 2.3 Оперативний витратний коефіцієнт металу за грудень 2022 року

Сляби товарні товщиною 200-250мм				
		Задано, т	Придатне, т	ВКМ, т/т
грудень	S355J2	1030,275	795,54	1,295064
	S355J0	293,242	222,615	1,317261

Сляби товарні товщиною 150-170 мм				
		Задано, т	Придатне, т	ВКМ, т
грудень	S355J2	240,903	177,079	1,360427
	S355J0	723,395	534,523	1,353347

У впровадженому порядку на одній дослідній плавці S355J2, прокатаній на товарні сляби 220x1370 мм, виконано оцінку витратного коефіцієнту металу зі зважуванням розкатів злитків перед обрізанням головної і донної обрізки і зважуванням обрізки:

- - маса злитків - 222,9 т (за вхідними вагами у відділення нагрівальних колодязів);
- - маса розкатів злитків, заданих на порізку - 220,512 т;
- - маса товарних слябів - 172,995 т;
- - маса обрізі - 43,935 т.

Втрати металу під час різання машиною вогневого різання розкатів злитків на товарні сляби -3,582т або 16,2кг на 1т розкату до різання.

Витратний коефіцієнт металу (маса злитків/маса товарних слябів)  
склав:  $(222,9/172,995)*1000 = 1288,48$  кг/т.

У Додатку Е наданий хімічний склад низьковуглецевих марок сталі S235 та S355, які виплавленені у двованному сталеплавильному агрегаті (ДСПА1) ПАТ «Запоріжсталь» у повній відповідності з EN10025-2019 з подальшим розливанням у злитки масою 18,27 т, для заводів Метінвесту в Європі.

Додатково проведено порівняльний аналіз хімічного складу продукції у замовника (клієнта) і виробника сталі ПАТ «Запоріжсталь» (мал. 2.1)

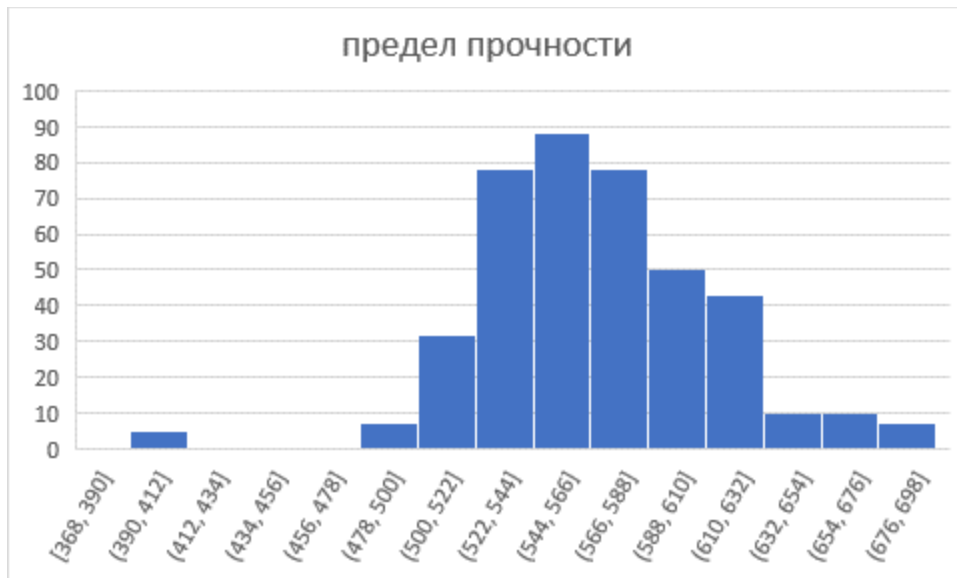
### Report Analisi di Colata

colata form	acciaio int	spessore	larghezza	C	bra C	Si	bra Si	Mn	bra Mn	P	bra P	S	bra S	Al	bra Al	Ni	bra Ni	Cr	bra Cr	Cu	bra Cu
A29/1223981	A340	220	1500	0,17	0,18	0,191	0,213	1,45	1,39	0,021	0,012	0,017	0,015	0,034	0,036	0,01	0,01	0,03	0,03	0,01	0,01
122398	S355J2			0,18		0,191		1,38		0,021				0,034		0,01		0,03		0,01	
A29/121022	S235	225	1260	0,12	0,10	0,013	0,005	0,41	0,373	0,018	0,011	0,023	0,018	0		0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01
121022	S235			0,12		0,013		0,41		0,018		0,023				0,01		0,02		0,01	
A29/122596	A340	220	1500	0,15	0,188	0,199	0,209	1,45	1,38	0,018	0,014	0,025	0,023	0,039	0,035	0,01	0,016	0,02	0,021	0,01	0,01
122596	A340			0,15		0,199		1,45		0,018		0,025				0,01		0,02		0,01	
A29/130197	A340	220	1500	0,17	0,189	0,223	0,239	1,6	1,65	0,021	0,012	0,022	0,01	0,07	0,087	0,02	0,02	0,04	0,04	0,02	0,015
130197	A340			0,17		0,223		1,6		0,021		0,022				0,02		0,04		0,02	
A29/130447	A340	250	1500	0,17	0,195	0,192	0,18	1,58	1,45	0,019	0,011	0,02	0,018	0,07	0,064	0,01	0,016	0,04	0,042	0,01	0,008
130447	A340			0,17		0,192		1,58		0,019		0,02				0,01		0,04		0,01	
A29/1224121	A340	220	1500	0,17	0,207	0,185	0,203	1,52	1,51	0,022	0,012	0,02	0,011	0,02	0,013	0,01	0,01	0,03	0,02	0,01	0,01
122412	S355J2			0,19		0,185		1,5		0,022		0,02		0,02		0,01		0,03		0,01	
A29/1226251	A340	220	1500	0,17	0,201	0,217	0,225	1,6	1,61	0,023	0,014	0,028	0,022	0,034	0,032	0,02	0,023	0,05	0,054	0,01	0,014
122625	S355J0			0,17		0,217		1,6		0,023		0,028		0,034		0,02		0,05		0,01	
A29/130054	A340	220	1500	0,16	0,18	0,25	0,25	1,6	1,64	0,019	0,012	0,017	0,012	0,049	0,05	0,02	0,019	0,03	0,036	0,02	0,01
130054	B100			0,16		0,25		1,6		0,019		0,017				0,02		0,03		0,02	
A29/130214	B100	245	1500	0,11	0,138	0,027	0,029	0,8	0,77	0,014	0,009	0,016	0,012	0,036	0,039	0,01	0,014	0,04	0,039	0,01	0,008
130214	B100			0,11		0,027		0,8		0,014		0,016				0,01		0,04		0,01	
A29/130256	B100	245	1500	0,13	0,149	0,03	0,03	0,77	0,75	0,013	0,008	0,017	0,012	0,043	0,049	0,03	0,037	0,05	0,046	0,01	0,008
130256	B100			0,13		0,03		0,77		0,013		0,017				0,03		0,05		0,01	
A29/130171	B100	245	1500	0,12	0,158	0,03	0,03	0,77	0,75	0,014	0,009	0,02	0,016	0,059	0,059	0,01	0,014	0,05	0,052	0,01	0,007
130171	B100			0,12		0,03		0,77		0,014		0,02				0,01		0,05		0,01	

Выделеное зеленым цветом это наша ковшевая проба

Мал. 2.1 Порівняльний аналіз хімічного складу продукції у замовника (клієнта) і виробника сталі ПАТ «Запоріжсталь»

Були проаналізовані дані щодо механічних властивостей сталі, межі міцності і межі плинності. Так як робота проводилася на товарних слябах, механічні властивості визначалися на базі досліджень у замовника (клієнта) в Італії, нижче подано дані механічних випробувань ФЕРРЕРА Італія (мал 2.2 і мал. 2.3)



Мал. 2.2 Дані межі міцності сталі марок S235JR, S275JR, S355JR, отримані на базі досліджень у замовника ФЕРРЕРА Італія



Мал. 2.3 Дані межі плинності сталі марок S235JR, S275JR, S355JR, отримані на базі досліджень у замовника ФЕРРЕРА Італія.

Як видно з малюнків 2.2 і 2.3, отримані дані в повному обсязі відповідають нормам механічних властивостей прокату згідно EN 10025:2019.

### **3. РЕЗУЛЬТАТИ ТЕОРЕТИЧНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ**

#### **3.1 Результати теоретичного дослідження макроструктури темплетів товарних слябів**

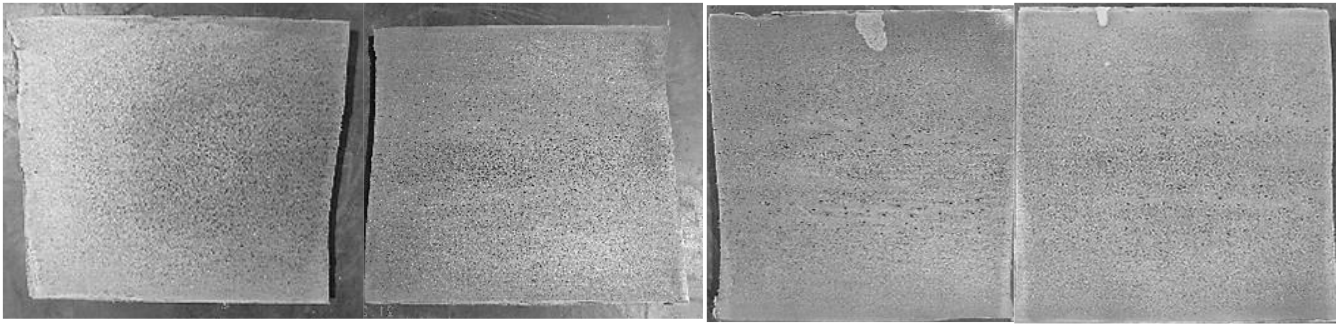
Методика відбору проб (темплетів) від товарних слябів для визначення хімічного складу та дослідження макроструктури наведена у Додатку Б.

Згідно затвердженої методики були відібрані проби для дослідження макроструктури на ПРАТ «Камет-Сталь» згідно з Каталогом марок сталі TDC 01/2022. Маркування темплетів та хімічний состав ковшевої проби товарних слябів надано в Додатку Ж.

Макроструктура зразків слябів наведена у Додатку Л, дослідження макроструктури наведено у Додатку М.

За результатами дослідження темплетів товарних слябів (рис. 3.1) макроструктура досліджуваного зразка сляба характеризується такими дефектами, що нормуються: центральна пористість і точкова неоднорідність на рівні 2,5 і 3,0 балу відповідно; подсадочна ліквіація – 2,0 балу та підкіркові бульбашки – 2,0 балу.

Макроструктура слябу характерна для головної частини зливка і відрізняється від вимог ДСТУ 8975. -2019, її особливість полягає в нетиповості зовнішнього вигляду дефектів (дефекти мають довгасту форму і витягнуті у бік вузьких граней), що пов'язано з особливостями формування сляба при гарячій прокатці і розкату прямокутного перерізу з відношенням ширини до товщини приблизно 1:7. Слід зазначити, що викатка із зливка, а не з безперервнолитих слябів.



Мал. 3.1 – Макроструктура товарного слябу

З шести проаналізованих плит за результатами дослідження макроструктури відзначено:

- на 1 (16,7%) плиті макроструктура відповідає вимогам ДСТУ 8975-2019 - всі нормовані дефекти в допустимих межах (0-5 балів)
- (33,3%) сляби виявили недопустимі дефекти (відповідно до вимог ДСТУ 8975-2019), а саме, розкочені кірки та домішки (неметалічні включення) глибиною від 10 до 11 мм, які в свою чергу, можуть бути пов'язані з захоплення елементами рідкого металу ізоляційної вставки з наступним неповним видаленням ізольованої зони злитка;
- на 1 (16,7%) слябі, крім недопустимих дефектів (згідно вимог ДСТУ 8975-2019), а саме, розкочування кірки та домішок (неметалічних вкраплень), також відзначено підусадочні виділення - 1,0 бала, що свідчить про те, що навіть візуальна оцінка якості зрізу не завжди виявляє дефект;
- на 1 (16,7%) плиті, крім недопустимих дефектів (згідно вимог ДСТУ 8975-2019), а саме, скоринки та домішок (неметалічних вкраплень), також виявлено тріщину глибиною до 20 мм, можливою причиною тріщини є залишки сердечника.
- Подальше зниження стандарту обрізки головки до рівня менше 12-13%, як показали дослідження макроструктури, може

призвести до ризику отримання більш грубого забруднення, а також до ризику залишкових дефектів усадкового та підусадкового походження, збільшення втрат при додатковому обрізанні через дефект «стрижня».

### **3.2 Результати теоретичного дослідження мікроструктури темплетів товарних слябів**

Дослідження мікроструктури слябів проводилося в умовах лабораторії металознавства ПАТ «Запоріжсталь».

За результатами дослідження забрудненість металу неметалевими включеннями типу сульфідів відповідає 4-5 балам шкали ДСТУ 8966-2019 (рис. 3.1 і рис. 3.2).

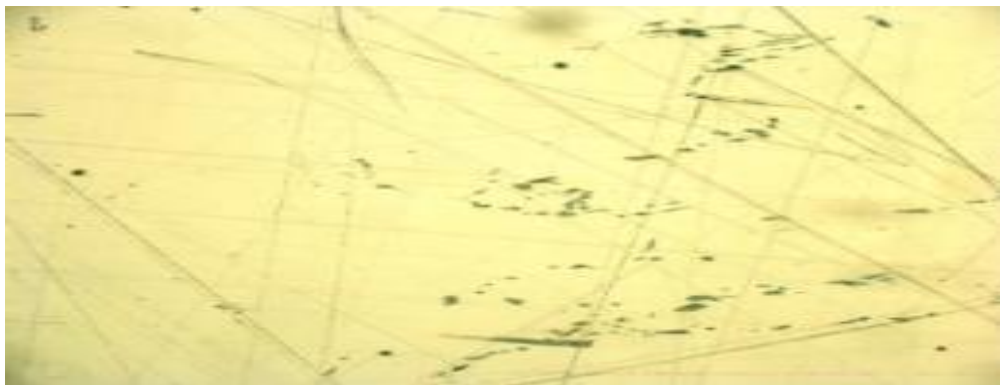


Рис. 3.1 Мікроструктура зразка товарного сляба



Рис. 3.2 Мікроструктура зразка товарного сляба

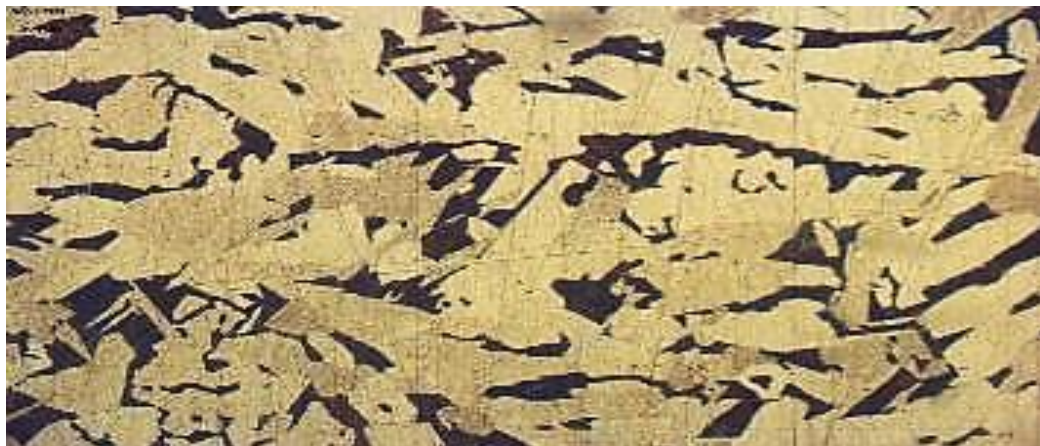
До сульфідів належать пластичні, непрозорі в темному полі зору, витягнуті за напрямком волокна, окремі включення чи групи включень, зазвичай подвійного сульфїду заліза та марганцю.

Також була розглянута мікроструктура зразків товарних слябів після травлення. Травлення темплетів товарних слябів здійснювалось в розчині 4% азотної кислоти в спирті. Результати досліджень наведені нижче на мал. 3.3, мал 3.4, мал. 3.5.



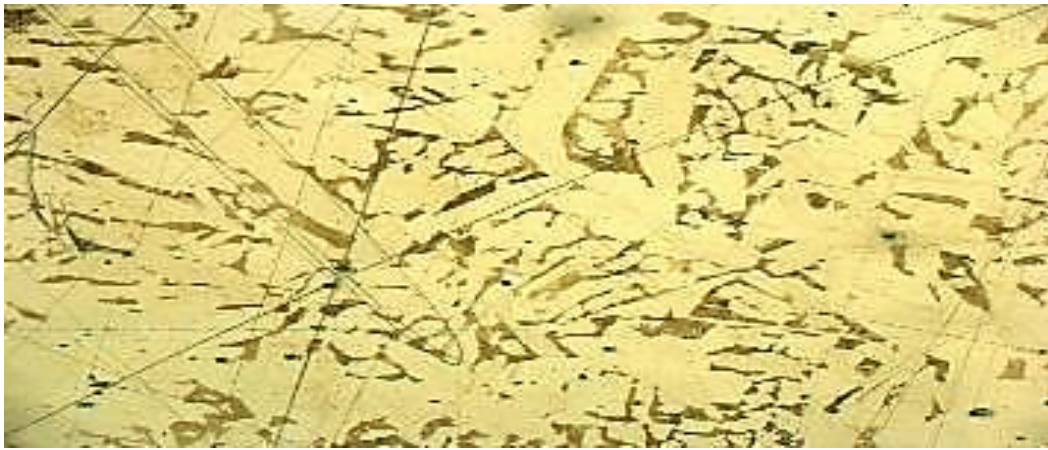
Мал. 3.3 Мікроструктура зразка товарного сляба після травлення

Мікроструктура зразка товарного сляба складається з перліту та фериту у вигляді голок (відманштетова структура 4 бали шкали згідно нормативної документації )



Мал. 3.4 Мікроструктура зразка товарного сляба після травлення

Мікроструктура зразка товарного сляба складається з фериту та перліту, зерно №1, №2 шкали згідно нормативної документації.



Мал. 3.5 Мікроструктура зразка товарного сляба після травлення

Мікроструктура зразка товарного сляба складається фериту та перліту, зерно №2, №3 шкали, видманштеттова структура 2 бала шкали згідно нормативної документації

Також в досліджених зразках товарних слябів мікроструктура складається з сульфідів 3, 4, 5 бала за шкалою та оксидів строчкових 2, 3 бала за шкалою

Сульфідні включення трапляються практично у всіх сталях і сплавах, що містять сірку і легувальні елементи. Вони утворюються під час кристалізації сталі та подальшого охолодження. Багато легувальних елементів, таких як Mn, Al, Cr, Ti тощо, утворюють сульфіди: FeS, MnS, TiS, CrS тощо. Однак найпоширенішими є сульфіди марганцю, що містять домішки заліза, алюмінію і кисню. Домішки MnS можуть знижувати пластичність сталі.

Оксидні включення можуть складатися з FeO, MnO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> та інших або їхніх сполук. Кількість оксидних включень залежить переважно від залишкового вмісту кисню в металі до розкислення і від видалення з металу продуктів розкислення.

Неметалеві включення є одним з основних структурних компонентів сталі, які впливають на її якість і якість готової продукції. Неметалеві включення є природним технічним продуктом різних

фізико-хімічних процесів, що відбуваються під час виплавки сталі (продукти реакції розкислення сталі, продукти реакції взаємодії металу з вогнетривами, шлак тощо). Основна маса цих продуктів спостерігається в металі у вигляді твердих частинок, які мають певні хімічні та фізичні властивості, що взаємопов'язані з хімічним складом і кристалічною структурою речовини, яка їх утворює.

Неметалеві включення впливають на технологічні та механічні властивості металу, тобто на надійність і довговічність деталей машин і механізмів. Ступінь негативного впливу включень на властивості металу (деталі) залежить від їх природи (оксиди, сульфіди, силікати), розміру, форми, розташування і ряду інших факторів. Тому велика увага приділяється зниженню загальної забрудненості сталі неметалевими включеннями, а також управлінню їх природою, генезисом і механізмом впливу.

Процес утворення і виділення неметалевих включень триває в міру охолодження сталі аж до її затвердіння. Утворення включень особливо яскраво проявляється під час кристалізації на межі затвердіння внаслідок зниження розчинності домішок під час переходу з рідкого стану в твердий, і головним чином унаслідок ліквідації домішок у прикордонному шарі. Утворення неметалевих включень під час кристалізації може бути зупинено глибоким розкисненням сталі, коли в ній залишається мінімальна кількість розчиненого кисню, а також раціональною організацією режимів розливання та затвердіння сталі.

На підставі проведених досліджень було видано рекомендації та проваджені заходи щодо покращення якості товарних слябів а саме: за результатами досліджень на комбінаті ПАТ «Запоріжсталь» розроблено та впроваджено низку заходів щодо покращення якості товарних слябів.

## **4. ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ**

### **4.1 Опис практичного використання результатів досліджень**

Результати дослідження макроструктури та мікроструктури товарних слябів після впровадження рекомендованих заходів.

Спільно з колегами на ПРАТ «Камет-Сталь» та згідно з рекомендаціями Бюро Верітас була розроблена методика відбору темплетів від товарних слябів для дослідження макроструктури згідно з вимогами ASTM E 381-2020 та ДСТУ 8966- 2019.

Дана методика дозволила розробити порядок дій на всьому технологічному ланцюжку починаючи від технологів технічного управління на етапі написання плану робіт та технологічної документації, в цеху гарячої прокатки де безпосередньо відбувається відбір проб (для правильної взаємодії між персоналом), було вказано розміри зразків, підготовлено наочну схему - зразки і як їх відрізати для макроструктури для зручності та правильної роботи з колегами на ПРАТ «Камет-сталь». Доопрацьовано структуру складання звіту з досліджень згідно з рекомендаціями сертифікаційного центру Бюро Верітас (Додаток П)

Додатково організовано контроль за проведенням мікроструктури в умовах ПАТ "Запоріжсталь".

ПАТ «Запоріжсталь» впровадив ряд заходів щодо зниження витратного коефіцієнту метала при виробництві товарних слябів (Додаток К) та досягнення цільових показників хімічного складу низьковуглецевих маркоок сталі S235 та S355, спеціально розроблених для першосортних катаних слябів:

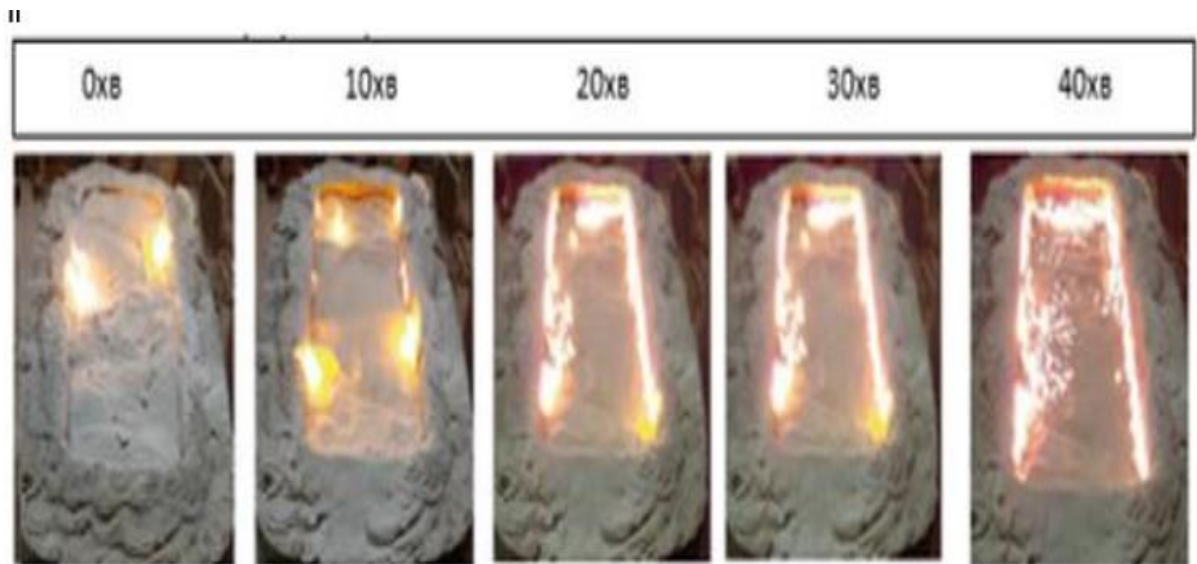
- використання набору розкислювачів FeMn+SiMn+Al, застосування в шихтовці плавки тільки оборотної обрізи та чавуну з мінімальним поточним вмістом сірки 0,025-0,030 %;
- у завалці і доведенні застосування тільки металургійного вапна замість вапняку для забезпечення низького вмісту сірки в готовій сталі  $S \leq 0,025$  %;
- при прокатці першосортних товарних слябів для ЕС-активів Метінвесту в обов'язковому порядку здійснювали кантування всіх розкатів на товщині у проміжку 300-400 мм., в залежності від товщини замовлення.

#### **4.2 Застосування нових видів шлакоутворювальних та утеплювальних злиточних сумішей**

Якісна теплоізоляція головної частини злитка дає змогу зменшити головне обрізання сляба, що відповідно впливає на якість металу і збільшення виходу придатного металу під час прокатки злитків у сляб. Збільшення виходу придатного металу зменшує собівартість готового металопрокату.

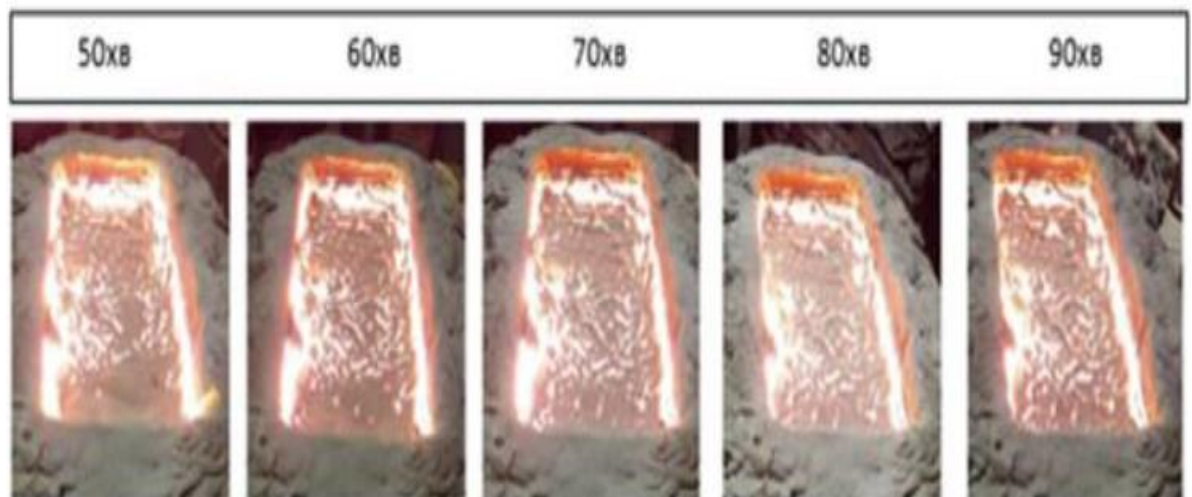
Проведено випробування нових видів шлакоутворювальних та утеплювальних злиткових сумішей для забезпечення зниження глибини усадкових дефектів, а також покращення якості слябів.

Під час сифонного розливання спокійних вуглецевих, низьколегованих і заспокоєних марок сталі з метою теплоізоляції головної частини злитка одразу ж після виливання злитків одного піддону проводять присадку теплоізоляційних сумішей на дзеркало металу (мал 4.1, мал 4.2).



Мал. 4.1 Присадка теплоізоляційних сумішей на дзеркало металу, час витримки після розливання від 0 хв до 40 хв.

Збільшення часу витримки составів після розливання до 60-90хв.



Мал. 4.2 Присадка теплоізоляційних сумішей на дзеркало металу, час витримки після розливання від 50 хв до 90 хв.

При проведенні випробування опитної суміші марки «СП2(К)» в порівнянні з сумішшю марки «СК-В4-У1»:

- спостерігається зменшення часу теплоізоляції головної частини зливків;
- витрати суміші в 1,33 разів більше, ніж по діючої технології;
- середня глибина залягання усадкових дефектів на 3,2 - 6,9% більше, ніж на зливках з теплоізоляцією головної частини по діючої технології.

Виходячи з отриманих даних подальше випробування та застосування суміші марки «СП2(К)» є недоцільним.

При проведенні випробування опитної суміші марки «ПГС-1» в порівнянні з сумішшю марки «СК-В4-У1»:

- витрати суміші та тривалість проплавлення суміші відповідають рівню діючої технології.
- середня глибина залягання усадкових дефектів на 0,8 - 4 % менше, ніж на зливках з теплоізоляцією головної частини по діючої технології.

Виходячи з отриманих даних, будуть проведені промислові випробування суміші марки «ПГС-1» з ціллю набору більшого масиву плавок для оцінки економічної ефективності, а також забезпечення застосування технології розливання зі збільшенням витрат утеплювальних сумішей.



Мал. 4.3 Зовнішній вигляд осьової частини сляба після розпуску із застосуванням теплоізолюючої суміші «СК-В4-У1»



Мал.4.4 Зовнішній вигляд осьової частини сляба після розпуску із застосуванням теплоізолюючої суміші «СП2(К)»



Мал. 4.5 Зовнішній вигляд осьової частини сляба після розпуску із застосуванням теплоізолюючої суміші «ПГС-1»

### 4.3 Результати досліджень глибини залягання усадочних дефектів

На дослідних і зливках, відлитих за чинною технологією, проводили відбір тимплетів по осі сляба, відповідно до головної частини зливка, з метою визначення фактичної глибини усадочної раковини.

За результатами дослідження встановлено, що середня глибина залягання усадочних дефектів:

1. При використанні суміші "СП2(К)" на дослідних зливках складала:
  - а) 12,1 % (+ 3,2 %) проти 8,9 % на зливках сталі марки 09Г2С, відлитих за чинною технологією;
  - б) 16,8 % (+6,9 %) проти 9,9 % на зливках марки S235JR, відлитих за чинною технологією;

в) 16,0 % (+6,9 %) проти 9,1 % на злитках сталі марки 20, відлитих за чинною технологією.

2. При використанні суміші "ПГС-1" на дослідних злитках становила:

а) 5,9 % (- 4,0 %) проти 9,9 % на злитках сталі марки S235JR, відлитих за діючою технологією;

б) 8,3 % (- 0,8 %) проти 9,1 % на злитках сталі марки 20, відлитих за чинною технологією.

Результати дослідження глибини залягання усадочних дефектів приведені в таблиці 4.

Таблиця 4. Результати досліджень глибини залягання усадочних дефектів

№ п/п	Марка сталі	Суміш	Базовий/ опитний	Середня глибина залягання усадочних дефектів (після розпуску), %	Головна обріз по НД, %
1	09Г2С	СК-В4-УІ	базовий	8,9	10 - 11
СП2(К)		опитний		12,1	
ПГС-1		опитний		-	
2	S235JR	СК-В4-УІ	базовий	9,9	8 - 13
СП2(К)		опитний		16,8	
ПГС-1		опитний		5,9	
3	20	СК-В4-УІ	базовий	9,1	не менше 17
СП2(К)		опитний		16,0	
ПГС-1		опитний		8,3	

Під час проведених випробувань дослідної суміші марки "СП2(К)" порівняно з сумішшю марки "СК-В4-УІ":

- спостерігається зменшення часу теплоізоляції головної частини злитків;
- витрата суміші в 1,33 раза більша, ніж за чинною технологією;
- середня глибина залягання усадкових дефектів на 3,2-6,9 % більша, ніж на зливках із теплоізоляцією головної частини за чинною технологією.

Виходячи з отриманих даних подальше випробування і застосування суміші марки "СП2(К)" є недоцільним.

Під час проведення випробування дослідної суміші марки "ПГС-1" у порівнянні з сумішшю марки "СК-В4-УИ":

- витрата суміші та тривалість проплавлення суміші відповідають рівню чинної технології.
- середня глибина залягання усадкових дефектів на 0,8-4 % менша, ніж на зливках із теплоізоляцією головної частини за чинною технологією

Виконано обрізку головного обрізу на розкатах №9 і №10 за місцем закінчення дефектів, згідно з УЗК, для визначення наявності несучільностей - за результатами обрізки дефектів усадкового походження не відмічено (головна обрізь на розкатах складала близько 11% і 13% відповідно).

#### 4.4 Результати досліджень мікроструктури темплетів товарних слябів після впровадження рекомендованих заходів

За результатами дослідження макроструктури темплетів товарних слябів встановлено такі дефекти (Додаток М, Н), що нормуються:

- центральна пористість і точкова неоднорідність на рівні 1,0 і 1,5 балу відповідно;
- подсадочна ліквіація – 1,0 балу;
- підкіркові бульбашки – 1,0 балу.

Слід зазначити, що макроструктура слябу характерна для головної частини зливка і її особливість полягає в не типовості зовнішнього вигляду дефектів (дефекти мають довгасту форму і витягнуті у бік вузьких граней), що пов'язано з особливостями формування сляба при гарячій прокатці і розкату прямокутного перерізу з відношенням ширини до товщини приблизно 1:7. Слід зазначити, що викатка із зливка, а не з безперервнолитих слябів.

За результатами досліджень мікроструктури темплетів товарних слябів після впровадження рекомендованих заходів знизилась забрудненість металу неметалевими включеннями типу сульфідів з 5-ти балов до 3-х балів шкали ДСТУ 8966-2019 (мал. 4.6, мал 4.7).



Мал. 4.6 Мікроструктура товарного слябу після впровадження рекомендованих заходів



Мал. 4.7 Мікроструктура товарного слябу після впровадження рекомендованих заходів



PRIVATE JOINT STOCK  
COMPANY  
"KAMET-STEEL"

**PrJSC "KAMET-STEEL"** **REPORT**  
**TESTING LABORATORY** **OF**  
**PRODUCT QUALITY**  
**OF THE TESTING SHOP OF PRODUCT**  
**QUALITY MANAGEMENT**

**Certificate of Attestation**

**No. 26416904-26/4-10 –ВЛ**

**Valid until 06.08.2022 with confirmation  
of extension for the period of hostilities**

**Letter No. 10 dated 05.08.2022 STC**

for Metrology, Testing and Research"

Donniychermet

**No. 42 – 23**

**dd 09.10.2023**

**Description of activity** : study of macrostructure.

**Object of study** : samples of rolled slab with a section of 150 x  
1370 mm

heat No. 130802, steel grade – A 320.

Letter No. 2008981 dated  
07.04.2023.

**Customer** : PJSC "Zaporizhstal".

**Sampling point:**

The samples were taken from the slab in cross section and represent separate fragments of the slab (5 parts), which as a whole represents the complete cross section of the profile. Legend No. 1 - surface on the left side; 2 - 1/2 width (left); 3 – middle part; 4 - 1/2 width (right); 5 - surface on the right side;

**Macrostructure detection method:**

Etching technique in accordance with DSTU 8975-2019 "Steel. Methods for testing and evaluation of macrostructure" (an analogue of GOST 10243 "Steel. Methods for testing and evaluation of macrostructure") (ASTM E381-17 Standard Practice for Macroetching Bars, Billets, Blooms, and Forgings to Control Macrostructure).

**Specimen preparation:**

Mechanical treatment on a planer, consisting of peeling (roughing pass) followed by a finishing pass. The surface must be flat, smooth, without surface hardening and metal burn-through. The prepared surface is subjected to degreasing.

**Equipment, reagents and etching modes:**

Etching bath; flushing (neutralization) bath, equipped with suction boards and connected to the exhaust ventilation system. The etching bath is heated by steam (connected to a steam pipeline). The etching process itself is carried out in a metal-plastic bath.

Reagent - 50% (1:1) aqueous solution of hydrochloric acid (HCl). Hydrochloric acid according to DSTU 2904-94 (GOST 877), hydrogen chloride concentration 30% (allowed by agreement). Etching temperature 70°C. The etching time of the template is 60 minutes until a clear macrostructure is revealed.

**Method for assessing the macrostructure:** classified defects according to the method of comparison (correlation) of the natural appearance of freshly etched templates with photo standards of the

scales of the DSTU 8975-2019 standard "Steel. Methods for testing and evaluation of macrostructure" Annex Б, taking into account the descriptive part of the characteristics of defects in Annex B; Not classified defects according to DSTU 8975-2019, Appendix Г2, according to ASTM E381-17, Appendix II.

**Regulatory documents and SME:**

DSTU 8975:2019 "Steel. Methods for testing and evaluation of macrostructure" Annexes A, Б, B, Г2.

ASTM E381-17 "Standard Practice for Macro-Etching Bars, Billets, Blooms, and Forgings to Control Macrostructure." Annex Plate II.

DSTU 2904-94 (GOST 877) Industrial hydrochloric acid.

SME: measuring ruler (measurement range from 0 to 500 mm, division value – 1.0 mm),

verification passport is valid until 19.12.2023;

thermometer (measurement range from 0 to 100°C, division value 1°C ),

verification passport is valid until 23.12.2023.

A photo of the macrostructure of the studied macrotemplate is attached. Annex 1.

**1 The results of the evaluation of classified defects of the macrostructure (according to DSTU 8975) are shown in table 1.**

Table 1 – The results of the evaluation of classified defects of the macrostructure

Heat No.	Grade of steel	Evaluation of standardised macrostructure defects, points									
		Central porosity	Point imperfection	General speckle segregation	Marginal speckle segregation	Square segregation	Pipe segregation	Skin holes	Inter crystalline cracks	Layer-by-layer crystallization	Ghost lines
130802	A320	2	2.5	0	0	0	1.0	1.0	0	0	0

**2 Results of evaluation of non-classified defects of the macrostructure (according to DSTU 8975) Annex Г2 и ASTM E 381-17, Plate II.**

Table 2 - Characteristics of the macrostructure in relation to the presence or absence of non-classified defects

Heat No.	Grade of steel	Ungraded Series				
		Flute Cracks	Speckle segregation - Gassy	Bult Tears	Splash	Flakes
130802	A320	Not observed	Not observed	Not observed	Not observed	Not observed

### 3 CONCLUSION

3.1 From the results of the macrostructure evaluation given in Tables 1 and 2, it can be seen that the macrostructure of the studied slab sample is characterized by the following normalized (classified) defects: centre porosity and point imperfection are at a level of 2.0 and 2.5 points respectively; pipe segregation - 1.0 points skin holes - 1,0 points macrostructural defects not classified according to ASTM E 381-

17, (Plate II) such as flute cracks, speckle segregation-gassy, butt tears, splash, flakes were not found in the studied section.

3.2 It should be noted that the macrostructure of the slab is typical for the head part of the ingot and its feature lies in the atypical appearance of defects (defects have an elongated shape and are elongated towards narrow edges), which is associated with the features of the formation of a rolled slab of rectangular cross section with a width-to-thickness ratio of approximately 1:7.

Testing Shop Chief  
of PrJSC "KAMET-STEEL"

Ye.V. Marchishin

IL Tsl Team Leader

V.A. Solodovnik

Leading Engineer

Ju.. Krovets

IL Tsl Etcher

I.D. Lysenko

09.10.2023

## **5. ОХОРОНА ПРАЦІ ДОСЛІДНИКА**

### **5.1 Заходи з промислової безпеки та захисту навколишнього середовища**

#### **5.1.1 Вимоги безпеки під час виконання роботи**

В обов'язковому порядку періодично дослідником проводиться Аналіз Безпеки Виконання Робіт (АБВР), з метою визначення можливості безпечного початку виконання робіт в цеху або дільниці, а також при виконанні лабораторних досліджень. Обов'язково виконуються кардинальні правила (Додаток Т)

При виконанні дослідницьких робіт на дільницях і в лабораторії дослідник зобов'язаний використовувати належну за нормою чистий, справний спецодяг, спецвзуття, засоби індивідуального захисту (каска захисна, рукавички трикотажні, окуляри захисні, вкладиші протишумові).

#### **5.1.2 Аналіз потенційних небезпек**

На дільницях стану основними потенційно небезпечними виробничими факторами є: надлишкове тепло, теплові випромінювання, шум, вібрація, електричний струм, статична електрика, частини (шматки) металу та окалини, що відлітають, пересування електромостових кранів і транспортних візків, частини механізмів клітей, що обертаються, рух смуги та листів по лінії стану, пересування рулонів по конвеєрах. Крім цього, необхідно передбачити заходи безпеки під час експлуатації та ремонтів основного і допоміжного обладнання - прокатного стану, агрегатів різного призначення.

#### **5.1.3 Захист від шкідливих виробничих факторів дослідника**

Основними джерелами виділень тепла в прокатному цеху є нагрівальні пристрої, метал, що прокатується і готові прокатні вироби.

Заходи щодо боротьби з тепловим випромінюванням і надлишковим теплом зводяться до зменшення або повного усунення випромінювання і створення необхідних умов віддачі тепла організмом.

Велику увагу приділено створенню сприятливих умов роботи машиністів мостових електрокранів, стіни і підлогу кабіни кранів надійно ізолювано, у кабінах кранів встановлено кондиціонери, вікна кабіни захищають склом із повітряними прошарками між шарами скла.

У прокатних цехах під час нагрівання металу, його прокатки виділяються шкідливі речовини: металевий пил, пари металів і різних речовин. Під час гарячої прокатки листової сталі в повітрі станових прольотів міститься пил у вигляді роздробленої окалини. У відділеннях нагрівальних печей виділяються продукти згоряння палива тощо. Тому розробка заходів захисту від шкідливих речовин у виробничих приміщеннях прокатних цехів є важливим завданням.

Основним методом захисту від шкідливих виділень є влаштування витяжної та приточної вентиляції.

У прокатному цеху широко використовують енергію електричного струму для приводу клітей і допоміжного обладнання. Тому питання захисту від ураження електричним струмом у проекті прокатного цеху посідають велике місце.

У прокатних цехах найчастіше трапляються такі причини ураження електричним струмом: безпосереднє зіткнення з відкритими струмопровідними частинами та кабелями

Безпека від ураження електричним струмом у прокатному цеху забезпечується виконанням таких заходів:

- відкриті частини електричних пристроїв, що перебувають під напругою (кабелі, дроти, шини, контролери та апарати) надійно обгороджені;

- рубильники захищені від мимовільного увімкнення під дією сили ваги рухомих їх частин;

Розвиток прокатного виробництва пов'язаний зі збільшенням потужності та продуктивності основного й допоміжного обладнання, що досягається підвищенням швидкості машин. Однак високі швидкості призводять до різкого збільшення динамічних зусиль, порушенням стійкості технологічного процесу обробки металу і підвищення шуму та вібрацій. Останні впливають на організм людини і негативно впливають на продуктивність роботи.

Послаблення рівня шуму може бути досягнуто наступними заходами:

- для персоналу влаштовують звукоізолюючі кабінки з оглядовими вікнами.

- для захисту від шумових навантажень на організм людини робітниками використовуються спеціальні вставки "беруші" та протишумні навушники.

#### **5.1.4 Заходи щодо запобігання вибухам**

У нагрівальних пристроях прокатного цеху як паливо застосовують коксовий, природний, коксодоменний газ. У зв'язку з цим питанню запобігання вибухам у прокатних цехах приділяють велику увагу.

Відділення нагрівальних печей обладнані системами природної та ізолюваної штучної вентиляції, що забезпечують не менш як шестиразовий повітрообмін, а також автоматичну аварійну вентиляцію.

## **5.2.Заходи щодо забезпечення виробничої санітарії та гігієни праці**

Метеоумови в робочій зоні приміщення визначаються ГОСТ 12.1.005-88 "Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря в робочій зоні".

Відповідно до нього відносна вологість повітря приймається в межах 35-60% при температурі 18-20 0С; рух повітря має становити 0,1-0,2 м/с. Температура повітря в цеху має бути не більше ніж на 5 0С вищою за температуру зовнішнього повітря і не повинна перевищувати 28 0С. У холодну пору вологість не повинна перевищувати - 75%, а в літню - 60%. У зимовий період часу швидкість руху повітря не має перевищувати 0,2-0,3 м/с, у літній 0,3-1 м/с.

Для створення нормальних метеоумов у робочій зоні приміщення здійснюють такі заходи:

- зменшують тепловиділення застосуванням аерації цеху;
- кондиціонуванням робочих місць.

Для аварійних ситуацій або проведення аварійних робіт у зоні методичних печей маєтсья в наявності шафа з кисневоізолюючими протигазами. Цей запас замінюється раз на 10 днів.

## **5.3. Заходи забезпечення пожежної безпеки**

Пожежна безпека забезпечується системою запобігання пожежам, системою пожежного захисту та заходами організаційного характеру.

До основних умов запобігання пожежам належать: запобігання утворенню горючого середовища та появі джерел запалювання.

Для попередження робітників і службовців підприємства встановлені такі сигнали: "увага всім", "повітряна тривога", "відбій повітряної

тривоги", "радіаційна небезпека", "хімічна тривога". Усі дії, які розпочинаються при отриманні таких сигналів, здійснюються відповідно до інструкцій з цивільної оборони

#### **5.4. Охорона праці при проведенні робіт з металографічного дослідження лабораторією металознавства ЦВАПК**

Робочим місцем працівників лабораторії металознавства є наступні приміщення: кімната оптичної мікроскопії, кімнати травління макро- та мікрошліфів.

У лабораторії в постійній експлуатації є наступне обладнання: інверсійний оптичний мікроскоп Olympus, мікротвердомір Лесо, макроскоп Лесо, офісна техніка (комп'ютери, принтери).

До основних видів робіт, які виконують працівники лабораторії, відносяться: приймання та розмітка зразків металу, таврування зразків за допомогою ручного слюсарного інструменту, доставка зразків до ділянок хімічної лабораторії та контрольної лабораторії ЦВАПК, травління зразків у кислотних розчинах, дослідження мікроструктури зразків на оптичному мікроскопі, дослідження макроструктури поверхонь зразків на макроскопі, вимірювання твердості на мікротвердомірі, робота на комп'ютері

##### **5.4.1. Вимоги особистої гігієни та санітарних норм**

Для запобігання різним захворюванням необхідно дотримуватися

правил особистої гігієни. Не дозволяється витирати руки використаним обтиральним матеріалом.

У разі застосування розчинників (бензину, гасу, скипидару), фарб, лаків з метою запобігання шкідливому впливу на шкіру та попередження шкірних захворювань, необхідно застосовувати засоби індивідуального захисту.

Під час роботи у запилених місцях необхідно користуватися респіратором.

Перелік небезпечних та шкідливих виробничих факторів, що впливають на працівника лабораторії металознавства.

Результати ідентифікації небезпек та оцінки ризиків на робочих місцях працівника лабораторії наведено у Додатку Ф: - рівні всіх ризиків належать до категорії прийнятних (П).

Усі працівники лабораторії металознавства, а також усі відвідувачі лабораторії мають бути ознайомлені з «Реєстром ідентифікації небезпек та оцінки ризиків лабораторії металознавства ЦВАПК під розпис. Виписки з реєстрів ідентифікації небезпек та оцінки ризиків працівників лабораторії металознавства ЦВАПК (див. Додаток Ф) та реєстру виробничого травматизму ЦВАПК додаються (див. додаток Ф).

#### **5.4.2 Вимоги безпеки під час закінчення роботи**

Після закінчення роботи в цехах дослідник повинен:

- попередити робочий персонал ділянки цеху про закінчення проведення роботи;
- про всі порушення з охорони праці, виявлених в процесі роботи, негайно повідомити керівнику і старшому майстру, або майстру виробничої ділянки;
- забезпечити виконання вимог виробничої санітарії і особистої гігієни.

## 6. ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Під час виробництва сталі марки S 235, S 355 присутні всі шкідливі викиди, характерні для прокатного виробництва.

– природній газ (ГДК=0,5%);

– підвищена запиленість повітря робочої зони (ГДК = 4,0мг/м<sup>3</sup>);

- У відділеннях нагрівальних печей виділяються продукти згоряння палива пари металів і різних речовин.

Під час гарячої прокатки листової сталі в повітрі станових прольотів міститься пил у вигляді роздробленої окалини

Освоєння нової марки сталі S 235 S 355 призвело тільки до підвищення викидів диоксиду вуглецю в атмосферу за рахунок більш тривалого режиму ообробки . У прольоті цеху для видалення газів, пилу і парів води передбачена природна витяжна вентиляція з верхньої зони. З верхньої зони приміщення, у робочу зону стану, а також у приміщення маслопідвалів подають повітря за допомогою механічної та природної вентиляції. Подальше впровадження заходів дозволило знизити вплив цього шкідливого фактору на навколишнє середовище.

## **7. ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ЗАПРОПАНОВАНИХ РІШЕНЬ**

Результати проведеної роботи – це освоєння нового виду продукції в умовах ПАТ "Запоріжсталь" у повній відповідності з EN10025-2019 - виготовлення катаних товарних слябів з низьковуглецевих марок сталі S235JR (A120, A160, A180) та S355JR (A320, A340) товщиною 150-200 мм і масою 18.27 т , а також їх відвантаження на ЄС-активи Метінвесту. Це, в свою чергу, 71057,61 т із сумарним економічним ефектом 4,973 млн доларів. Додаток С

В даний час технологія впроваджена у виробництво ПАТ«Запоріжсталь» та отриман сертифікат 06.09.2023 р. у BUREAU VERITAS та RINA на виробництво товарних слябів. Наявність сертифікатів на товарні сляби підтверджують на ПАТ«Запоріжсталь» якісну технологію виробництва та ефективний управлінський менеджмент згідно з ISO 9001:2015.

## ВИСНОВКИ

Дана магістерська робота присвячена освоєнню нового виду продукції – виготовлення катаних товарних слябів з низьковуглецевої марки сталі S 235 та S355 для ЄС-активів в умовах ПАТ "Запоріжсталь" які були виплавленені у двованному сталеплавильному агрегаті (ДСПА1) у повній відповідності з EN10025-2019 з подальшим розливанням у злитки масою 18,27т., для заводів Метінвесту в Європі. відповідно до марочника вимог клієнтів Фіррера Вальсідер та Траметал (Італія)"STEEL GRADES DIRECTORY TDC 01/2022" Customers: Ferriera Valsider SpA; Metinvest Trametal SpA (ERBU) Виробник: PJSC Iron&Steel Works «Zaporizhstal»

Основна мета роботи – визнання вимог до макроструктури та комплексу, механічних властивостей, товарних слябів та технології формування заданих параметрів в умовах ПАТ "Запоріжсталь, розробка методики дослідження макро та мікроструктури слябів при відпрацюванні технології виготовлення товарних слябів із злітків сталі марки S 235, S355, отримання даних щодо параметрів макроструктури слябів, виготовлених за запропонованою схемою та розробка рекомендацій щодо підвищення їх якості у повній відповідності з EN 10025-2019 за розширення продуктової лінійки та отримання додаткового прибутку комбінату Запоріжсталь за рахунок освоєння цієї технології .

Проведені дослідження дозволяють зробити наступні висновки:

Спочатку роботи провели літературний пошук та порівняння технологій виготовлення катаних товарних слябів марки сталі S235J та S355J2 на різних підприємствах. Відокремлено основні технологічні чинники – це, насамперед, обмеження хімічного складу сталі за основними зміцнювальними елементами, вибір оптимальної технології та досвід передових світових практик.

Оскільки на сьогодні здебільшого виплавка та розливання сталі виробляється в конвертарах та розливається в машинах безперервного лиття, перед комбінатом постало не просте завдання.

У складних умовах для України з метою виготовлення якісної литої заготовки і завантаження для виробничих потужностей підприємств ЄС-активів, ПАТ «Запоріжсталь» освоїв виплавку в двохванному сталеплавильному агрегаті (ДСПА1) з подальшим розливанням у злитки та додатковою обробкою на тонколистовому стані якісної литої заготовки із забезпеченням необхідних параметрів, які не поступаються за якістю товарним злиткам, а також провели експериментальну роботу з вивчення впливу цих чинників в умовах комбінату "Запоріжсталь". Також розробили рекомендації згідно з вимогами ISO 9001:2015. для подальшого регламентування виробництва першосортних катаних товарних слябів.

Щоб оцінити вплив різних технологій виготовлення катаних товарних слябів в умовах комбінату «Запоріжсталь» був проаналізований масив даних по хімічним та механічним властивостям сталей та проведена оцінка впливу технологічних чинників, проведено аналіз технології сталеплавильного переділу, зроблено аналіз хімічного складу ковшової проби.

Додатково було проаналізовано застосування шлакоутворювальних матеріалів: відібрали проби самих матеріалів і темплети від вироблених злитків проаналізовано технологію шихтування плавок, а також у завалювання та доведення.

Необхідно зазначити, що на підприємстві ПАТ "Запоріжсталь" відсутня макротемплетна лабораторія, а згідно з технічним протоколом клієнта - проведення макроаналізу це обов'язкова умова.

На підставі металографічних досліджень було виявлено низку невідповідностей щодо забрудненості металу неметалевими включеннями.

Було проаналізовано переділ цеху гарячої прокатки, тут необхідно зазначити, що на підприємстві раніше не виготовляли товстолистого прокату і товарних слябів. Тобто, допущення, визначенні в аналізі стану питання повністю підтвердилися аналізом технологічного ланцюгу виробництва.

В ході освоєння виробництва катаних слябів сталі марки S235JR та S355JR, при проведенні експериментальної частини та аналізу здобутих властивостей були надані рекомендації згідно макро- та мікро досліджень визначені основні параметри технології (які були закріплені у регламенті виробництва сталі марки S235JR та S355JR),

А) обмежень хімічний склад сталі: С – н.б. 0,18%, Мп – н.б. 1,60%, S – н.б. 0,025%, Р – н.б. 0,025%;

Б) використання набору розкислювачів FeMn+SiMn+Al

В) у шихтівку плавки застосовують тільки оборотну обрізь та чавун з мінімальним потоковим вмістом сірки 0,025-0,030, а також у завалку та доведення застосовують тільки металургійне вапно замість вапняка для забезпечення низького вмісту сірки в готовій сталі  $S \leq 0,025$  %;

Г) проведено випробування нових видів шлакоутворювальних та утеплювальних зліткових сумішей для забезпечення зниження глибини усадкових дефектів, а також покращення якості слябів;

Д) при прокатці товарних слябів для ЄС-активів Метінвесту в обов'язковому порядку здійснювали кантування всіх розкатів на товщині в проміжку 300-400 мм., залежно від товщини замовлення.

Впровадження цих заходів дозволило:

- зменшити вміст сірки у товарних слябах до 0,014-0,025% проти  $S = 0,029-0,035$ % за поточною технологією;

- знизити забрудненість металу неметалевими включеннями типу сульфідів з 5-ти балов до 3-х балів шкали ДСТУ 8966-2019. Впровадження цих заходів дозволило:

- зменшити РКМ головної частини слябу до 12% проти 15-17% за чинною технологією.

- знизити відсоток зачистки за поверхневими дефектами як до кантування при прийманні, так і після кантування при прийманні і склав 9,5% і 9,7% проти 13,9% і 19,5%, зниження на 4,4% і 9,8 %.

- знизити частку слябів із наявністю грубої вкатої окалини з 7,7% до 0,8%, зниження на 6,9% або 9,6 раз.

Дослідження макроструктури слябів під час виробництва товарних слябів із сталі марки S355 за умов ПАТ «Запоріжсталь» проводилося разом із підприємством ПРАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ». Оскільки така технологічна схема виробництва використовувалася вперше, на підставі «загальних вимог NR480 DT R05 E» була розроблена та узгоджена з Бюро Верітас програма сертифікаційних випробувань, туди ж увійшла методика відбору темплетів від товарних слябів для дослідження макроструктури згідно з вимогами ASTM E 381-2020 та ДСТУ 8975- 2019

Після відбору темплетів на комбінаті ПАТ «Запоріжсталь» їх відправляють до ПРАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ» для дослідження та макроструктури згідно з КАТАЛОГОМ МАРОК СТАЛІ TDC 01/2022. Додатково організовано контроль за проведенням мікроструктури в умовах ПАТ «Запоріжсталь».

Результати роботи – це відвантаження товарних слябів початку 2023г. із сталі марок S235 ( A120, A160, A180,)таS355 (A320, A340) товщиною 150-200мм. 71057,61т із сумарним економічним ефектом 4,973 млн доларів.

В даний час технологія впроваджена у виробництво ПАТ«Запоріжсталь»та отримано сертифікат 06.09.2023 р. у BUREAU VERITAS та RINA на виробництво товарних слябів. Наявність сертифікатів на товарні сляби для судносталі підтверджують на комбінаті якісної технології виробництва та ефективний управлінський менеджмент згідно з ISO 9001:2015.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Ефимов В.А. М Разливка и кристаллизация стали., «Металлургия», 1976. 552 с.
2. Гудцов Н.Т., Стальной слиток. «Металлургия», 1952. 335 с.
3. Колосов М.И., Кульбацкий А.П., Разливка стали., «Металлургия», 1957. 212 с.
4. Атлас микроструктур неметаллических включений. – Запорожье: Днепропетровский металлург, 2012. – 167 с.
5. Бигеев А.М., Бигеев В.А. Металлургия стали. Теория и технология плавки стали. Учебник для вузов, 3-е изд. перераб. и доп. Магнитогорск: МГТУ, 2000. 544 с.
6. Клімов Ю.В., Аніщенко Н.Ф. та ін Спеціалізовані суміші для сифонного розливання сталі/
7. Шабловський В.А., – Сталь. – 2009. – № 6. – с. 21-24.
8. Паляничка В.А., Гордієнко М.С., Ісаєв Н.І. та ін. Поліпшення якості сталі при розливанні. Металург, 1984 № 9, с. 20 - 21.
9. Смирнов Ю.Д., Охрімович Б.П., Колясніков М.П.. Підвищення виходу придатного із зливків вуглецевої та легованої сталей. Металург, 1977 № 4, с.18 - 20.
10. Баптизманський В.І, Рудой Л.С., Ісаєв Є.І. та ін.; Розливання і кристалізація сталі: Навч. Посібник с іл. - К.: Вища шк; 1993. – 267 с
11. Хасін Г.А., Філатов С.К, Покровський А.Б. та ін. Застосування теплоізолюючих матеріалів при розливанні якісної сталі. Металург, 1980 № 12, с. 23 - 24.
12. Данилов А.М., Давидюк В.М. та ін. Розливання сталі під теплоізолюючими матеріалами. - Сталь, 1967, № 9, с.803.
13. Krauss G. Steels: Processing, Structure, and Performance (Second Edition) : monograph. 5th ed. Evergreen, Colorado : BOOK CHAPTER, 2015. 265 p.

14. Iaska A., Szkodo M. Manufacturing Parameters, Materials, and Welds Properties of Butt Friction Stir Welded Joints—Overview. *Materials* (Basel). 2020. Vol. 13, no. 21.

15. Sorger G. et al Microstructure and fatigue properties of friction stir welded high-strength steel plates /. *Science and Technology of Welding and Joining*. 2017. Vol. 23, no. 5. P. 380–386.

16. Szala M. et al Abrasion Resistance of S235, S355, C45, AISI 304 and Hardox 500 Steels with Usage of Garnet, Corundum and Carborundum Abrasives /. *Advances in Science and Technology*. 2019. No. 19. P. 151–161

17. Mazurek B., Mamala J. Development of a design concept for a prototype transport device using the Design Thinking method. *MATEC Web of Conferences : International scientific conference, Science and Technology Park, Technologiczna 2, Street, 45-839 Opole, 25 June 2021. Poland., 2021. P. 338.*

18. RETENTION OF MECHANICAL PROPERTIES IN STEEL ALLOYS AFTER PROCESSING AND IN THE PRESENCE OF STRESS CONCENTRATION SITES : patent EP3971314 United States : 21206702.9. No. US201762527400P ; applied on 18.02.2022 ; published on 18.10.2022, Bulletin no. EP18824168.1.

19. Kumar S. \* et al Development of Si-Mn Alloyed Spring Steels Suitable for Elastic Rail Clip (ERC) Application /. *International Journal of Metallurgical Engineering*. 2015. Vol. 4, no. 1. P. 1–5.

20. Gong M. et al. Evolution of Austenite Grain Size in Continuously Cast Slab during Hot-Core Heavy Reduction Rolling Process Based on Hot Compression Tests / [www.steel-research.de](http://www.steel-research.de). 2018. Vol. 89, no. 1. P. 11.

21. Kozasu i., Harabuchi K., Masui A. *Steelmaking Technology for the Last 100 Years: Toward Highly Efficient Mass Production Systems for High Quality Steels*. *ISIJ International*,. 2015. Vol. 55, no. 1. P. 36–66.

22. Kumar S. et al. Reduction in steel defects by improved steelmaking in a Twin-Hearth furnace / Steel Times International. 2011. P. 29.

23. Solidification Macrostructure of Ingots and Continuously Cast Slabs Treated with Rare Earth Metal\* / Y. NURI et al. Transactions ISIJ,. 2020. Vol. 2, no. 22. P. 409.

24. Zhul'ev S. I., Zyuban N. EFFECT OF PROCESS PARAMETERS IN THE CASTING OF LARGE FORGING INGOTS ON THE FORMATION OF THE OPTIMUM STRUCTURE IN THE AXIAL ZONE. Metallurgist,. 2023. Vol. 45, Nos. P. 11–12.

25. Ботников С.А.Разработка комплексной технологии получения стали высокой чистоты в условиях современных сталеплавильных цехов: дис, доктор наук:16.02.21.2021.Мариуполь 364 с.

26. ZHANG LI, Journal of Iron and Steel Research, International July 2006. Volume 13, Issue 4, , Pages 1-8[https://doi.org/10.1016/S1006-706X\(06\)60067-8](https://doi.org/10.1016/S1006-706X(06)60067-8)(date of acces:01.01.2024)

27. ZHANG LI, Indirect Methods of Detecting and Evaluating Inclusions in Steel—A Reviewournal of Iron and Steel Research, International July 2006. Volume 13, Issue 4, , Pages 1-8[https://doi.org/10.1016/S1006-706X\(06\)60067-8](https://doi.org/10.1016/S1006-706X(06)60067-8)(date of acces:01.10.2023)

28. ZHANG LI, Three-dimensional characterization of typical inclusions in steel by X-ray Micro-CT A Reviewournal of Iron and Steel Research, International Volume 9, Issue 3, May–June 2020, Pages 3686-3698 (date of acces:01.10.2023)

29. GUN LI Interaction of MnS inclusion behaviors and macrosegregation during solidification by multi-phase modelling A Reviewournal of Iron and Steel Research, International Volume 297, November 2021, 117243(date of acces:01.12.2023)

<https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2021.117243> (date of access:01.11.2023)

30. Gulvir Singh, Improving the energy efficiency and process scrap in grooved hot rolling of SAE 52100 steel billets The CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology (CIRP-JMST) Volume 41, April 2023, Pages 55-68 <https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2022.11.014> (date of access:01.11.2023)

31. Chun M.S Optimization of the amount of edging to increase rolling yields in a plate mill Journal of Materials Processing Technology Volume 104, Issues 1–2, 18 August 2000, Pages 11- [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(00\)00558-6](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(00)00558-6) (date of access:01.12.2023)

32. Ståhlberg U. Overlap at the back and front end in slab ingot rolling International Journal of Mechanical Sciences Volume 23, Issue 4, 1981, Pages 243-252 [https://doi.org/10.1016/0020-7403\(81\)90049-7](https://doi.org/10.1016/0020-7403(81)90049-7) (date of access:01.12.2023)

33. Аніщенко Н.Ф. Производство стали и проката марки S355 для изготовления металлоконструкций. Металл и литье Украины. 2012. №2-3 (284). С. 225-226

34. Якин М. та ін. Освоение разливки стали марки 09Г2С в условиях мартеновского цеха ПАО "ММК им. Ильича" / Металл и литье Украины. 2012. Т. 2, № 3. С. 33–34

35. Шабловський В.А., Черкаєв Є.М., Олекса Р.П. та ін. Дослідження властивостей теплоізолюючих сумішей на основі винесення золи /– Метали та лиття України. – 1997. – №1. – с. 36-38.

36. Запорізький металургійний комбінат «Запоріжсталь» <https://zaporizhstal.com/> ( дата звернення 10.11.23).

37. Technical delivery conditions for slabs supply TDC ZS 01/2022 rev.02 dd.14/02/2023 Customers:Ferriera Valsider SpA; Metinvest Trameal SpA ( ERBU) Producer:PJSC Iron&Steel Works «Zaporizhstal»

38. ДСТУ 8966:2019 Сталь. Металографічні методи визначення неметалевих включень чинний від 2001-05-05. Вид. офіц. Київ: УкрНДНЦ, 2002. 29 с.

39. ГОСТ 5640 визначення структурно – вільного цементиту, перліту, полосчатости; чинний від 1968. 09 с.

40. ДСТУ 4061 ЗАГОТОВКИ БЕЗПЕРЕРВНОЛИТІ. Метод оцінювання макроструктури чинний від 2001-05-05. Вид. офіц. Київ: УкрНДНЦ, 2002. 29 с. ASTM E-381 Методы оценки макроструктуры чинний від 2020- 10-02. 7 с.

41. ASTM E-340 Standard Practice for Macroetching Metals and Alloys чинний від 2015-10-07.. 11 с.

42. ISO 4968 Macrographic examination by sulphur print макроструктури чинний від 2021-01-01. 36 с.

43. ДСТУ 8975-2019 СТАЛЬ Методи випробування та оцінювання макроструктури від 2021-01-01. Вид. офіц. Київ: УкрНДНЦ, 2021. 29 с.

44. ДСТУ EN ISO 14284:2019. Сталь, чавун та сплави. Відбирання та готування проб для визначення хімічного складу чинний від 2019-01-01. 32 с.

45. 1. Закон України «Про охорону праці». Київ. 1992. 91 с.

46. 2. «Положення про систему управління охороною праці в ПАТ «Запоріжсталь». Запорожжє. 2022. 180 с.

47. 3. НПАОП 0.00-4.15-98 «Положення про розробку інструкцій з охорони праці». Київ. 1998. 69 с.

48. 4. НПАОП 0.00-4.12-05 «Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці». Київ. 2005. 73 с.

49. ТИ 226-СТ.М-02-06.Выплавка стали в двухванной печи ПАО «Запорожсталь». Запорожье. 2006. 37с.

50. ТИ 226-СТ.М-06-2016.Подготовка к разливке. Разливка стали ПАО «Запорожсталь». Запорожье. 2016. 83 с.

51. ТИ 226-П.ОЗ-ГЛ-01-2023. Производство слябов на стане слябинг 1150 и горячекатаных полос на непрерывном тонколистовом стане горячей прокатки 1680. ПАО «Запорожсталь». Запорожье. 2022. 254с.

## Додаток А

### ПРОГРАМА

#### сертифікаційних випробувань товарних катаних слябів із суднобудівної сталі Правил Бюро Верітас

Продукція: товарні катанні сляби

Марки сталі, розміри слябів :

А, В, D, Е, АН, ДН, ЕН 150 – 220 x 1000 – 1500 x 5500 – 9500mm.

Обсяг випробувань:

1. Марки сталі: Д, Е та ЄП.
2. Кількість плавок: три плавки.
3. Спосіб розливання - розлив у виливниці.
4. Кількість слябів: по 2 сляби на кожен марку сталі (1 мінімальної товщини, 1 максимальної товщини).  
Мінімальна товщина слябу 150 мм, максимальна товщина 220мм.

Методи відбору проб від готової продукції:

1. Відбір проб відповідно до Додатка А. Схема відбору проб.

Види та перелік випробувань:

1. Хімічний аналіз відповідно до Додатка В. Перелік ДСТУ для проведення хімічного аналізу сталі (слябів).
2. Оцінка макроструктури методом травлення у 50%-му водному розчині соляної кислоти згідно з ДСТУ 8975-2019.

Критерії оцінки результатів :

1. Відповідність хімічного складу сталей марок А, В, D, Е (протоколи випробувань) вимогам, зазначеним у табл. 1. Розділ 3 розділ 2 NR 216.
2. Відповідність хімічного складу сталей марок АН, ДН, ЕН (протоколи випробувань) вимогам, зазначеним у табл. 2. Розділ 3 розділ 2 NR 216
3. С відповідність результатів оцінки макроструктури вимогам, зазначеним у розділі 11 ASTM E 381-17 (Додаток С)

Примітка: Обсяг та види випробувань можуть уточнюватися в процесі аудиту за взаємним узгодженням.

## Продовження Додатку А

### Програма сертифікаційних випробувань товарного прокату з судобудівної сталі згідно з Правилами бюро Верітас



**PROGRAM**  
of certification testing of commercial rolled slabs from shipbuilding steel according to  
the Rules of Bureau Veritas

Products: commercial rolled slabs

Steel grades, slab dimensions:

A, B, D, E, AH, DH, EH 150 – 250 x 1000 – 1500 x 5500 - 9500mm.

Scope of testing:

1. Steel grade: D, E & EH.
2. Number of heats: three heats.
3. Casting method - casting into molds.
4. Number of slabs: 2 slabs for each steel grade (1 - minimum thickness, 1 - maximum thickness).  
The minimum thickness of the slab is 150 mm, the maximum thickness is 250 mm.

Methods for sampling from finished products:

1. Sampling in accordance with Annex A. Sampling diagram

Types and list of tests:

1. Chemical analysis in accordance with Annex B. List of DSTU for chemical analysis of steel (slabs).
2. Evaluation of the macrostructure by pickling in a 50% aqueous solution of hydrochloric acid according to DSTU 8975-2019.

Criteria for evaluating the results:

1. Compliance of the chemical composition of steel grades A, B, D, E (test reports) with the requirements specified in table 1. Chapter 3 section 2 NR 216.
2. Compliance of the chemical composition of steel grades AH, DH, EH (test reports) with the requirements specified in table 2. Chapter 3 section 2 NR 216.

## Додаток Б

### Методика відбору проб (темплетів) від товарних слябів для ЄС активів, для визначення хімічного складу та дослідження макроструктури.

1. Контроль макроструктури та хімічного аналізу слябів повинен проводитись за одним із наступних варіантів:

1.1 Вибірковим контролем (за наявності вимоги замовника), з періодичністю та у порядку, погодженому зі споживачем.

1.2 Раз на квартал обов'язковим контролем макроструктури кожної групи марок сталі, з якої виробляється товарний сляб.

1.3 Хімічний склад призначається на основі аналізу ковшової проби після виплавки та розливання плавки із призначенням «товарний сляб».

У разі, якщо за порушення технології виплавки та розливання або на вимогу замовника необхідно виконати додатковий хімічний аналіз, зразки для визначення хімічного складу відбираються відповідно до ДСТУ EN ISO 14284:2019.

Для підготовки зразка для аналізу у вигляді монолітного шматка або стружки від точки на половині відстані між середньою та зовнішньою лінією краєм слябу вирізають проміжний зразок відповідного розміру. Проміжний зразок шириною 50 мм (темплет) відбирається або з лівого або з правого боку від осі прокатки згідно зі схемою 1.

2. Кількість проб і місце відбору їх за довжиною та перерізом гуркату зливка вказуються в стандартах та технічних умовах на конкретні види продукції.

За відсутності таких зазначених проб для контролю макроструктури відбираються (на заводах-постачальниках металу) від заготовок, що відповідає найбільш забрудненим частинам зливка (головної частини) і відбирається згідно зі схемою 2.

## **Продовження Додатку Б**

Рекомендується проводити відбір зразків від першого або останнього зливка при розливанні повноцінної висоти.

3. Поперечні темплети вирізуються перпендикулярно осі прокатки, після обрізки нормативного головного обрізу та за відсутності візуально визначних дефектів на зрізі. Поперечний темплет ділитися на рівні 5 частин, при цьому повинна бути в обов'язковому порядку дотримана черговість частин по ширині гуркоту при їх маркуванні. Для виключення переплутування темплетів, маркування темплетів проводиться після розмітки до вирізки. Розміри темплетів, що вирізуються, вказані на схемі 2.

Темплети повинні відповідати наступним параметрам:

- різнотовщинність за перерізом темплету – не більше 5,0 мм;
- Глибина від вогневого різання (глибина сліду від різачка) - не більше 10,0 мм.
- Відсутність на поверхні та зрізу видимих дефектів.

4. На кожному з п'яти темплетів вказується: № по порядку темплету (№1, №2, №3, №4 та №5, початок маркування починається з боку тавра), а також вказується номер плавки.

У разі відбору темплету для визначення хімічного складу темплет маркується номером плавки та номером слябу згідно з ідентифікацією.

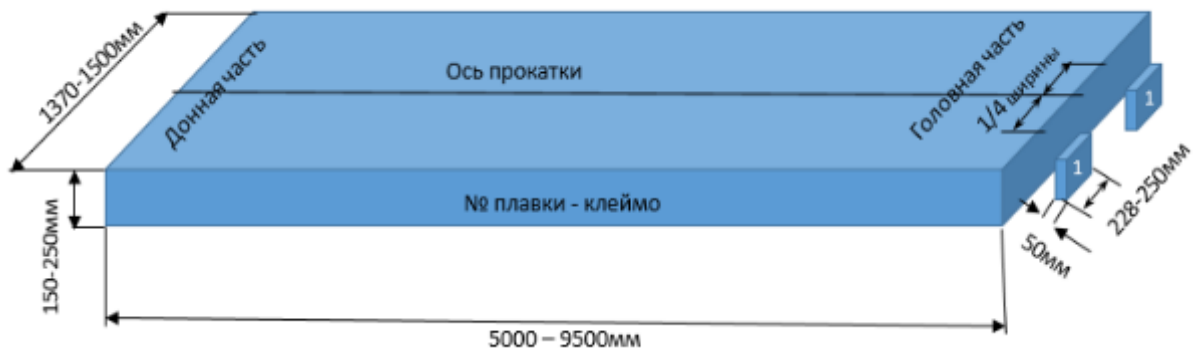
5. Розмітка та вирізка темплетів проводиться працівниками ад'юстажу ЦДП, номери розкочування в плавці від яких потрібно відібрати темплети призначає ВТК КК.

6. При поділі партії однієї плавки на кілька розмірів (товщина або ширина), проби відбираються від заготовок з мінімальним перетином. Позитивні результати контролю поширюються попри всі партії даної плавки меншого перерізу.

## Продовження Додатку Б

7. Маркування на пробах і зразках, що вирізуються з них, повинно відповідати маркуванню контрольованих заготовок.

8. Забороняється після вирізки зразків – темплетів виробляти їхнє охолодження водою або піддавати іншому примусовому



охолодженню.

Схема 1. Схема відбору зразків для хімічного аналізу

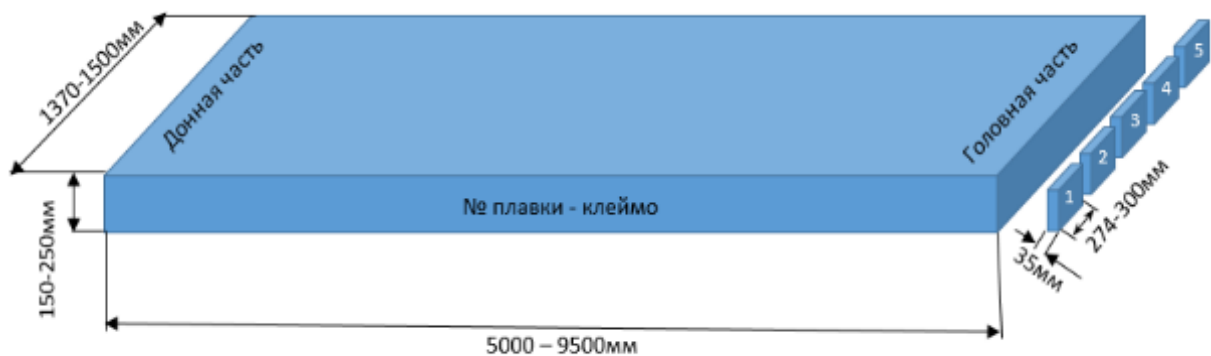


Схема 2. Схема відбору зразків для макроструктури

9. Після вирізки темплетів, їх маркування та охолодження, темплети передаються працівниками ад'юстажу ЦГП до ЦВАПК для подальшої передачі їх на дослідження макроструктури на ПРАТ «Камет-Сталь». Дослідження хімічного складу виконується ЦВАПК ПАТ «Запоріжсталь».

10. Результати досліджень макроструктури з ПРАТ «Камет-Сталь» передаються до ЦВАПК та відділу технічного контролю для внесення до сертифікатів якості та подальшого зберігання.

## Додаток В

# Технічні умови виготовлення товарних слябів для ЄС активів Technical delivery conditions for slabs supply TDC ZS 01/2022 rev.02 dd.14/02/2023 Customers: Ferriera Valsider SpA; Metinvest Trameal SpA (ERBU) Producer: PJSC Iron&Steel Works «Zaporizhstal»



### 1. General provisions

The present Technical Delivery Conditions for Slabs Supply (hereinafter Technical Protocol) outlines the technical terms and conditions for prime rolled slabs produced by PJSC Zaporizhstal Iron&Steel Works (hereinafter referred as Producer and/or Zaporizhstal) and supplied, via Sales Channel, to Metinvest Trameal SpA / Ferriera Valsider SpA (hereinafter referred as Customers and/or ERBU).

ERBU are the end-consumers of the slabs and use them for hot rolled coils and plates production.

The Technical Protocol is the primary technical specification document for slabs supply.

### 2. Quality assurance

All Producer's conticast slabs manufacturing process routes are certified according to the following international quality assurance standards:  
ISO 9001:2015

Additionally, the Producer's steelmaking manufacturing processes and products are certified by the following independent bodies/entities according to the following standards:

- Bureau Veritas
- Dedal Attestation & Certification

It's Producer's responsibility to keep updated the abovementioned information about certifications upon any relevant change.

### 3. Manufacturing process

The slabs are produced according to the Producer's technology.

Steel is made by the oxygen process in tandem furnace with argon-oxygen mixture blowing. No out-of-furnace treatment is carried out, no vacuum degassing is carried out. The steel is cast into the moulds. The lingots are rolled into slabs at the slabbing Mill – 1150.

The delivered slabs are to be used for rolling into plates and coils with recommended minimum reduction ratio 3:1. The standard Consumers' technology consists of slab cutting to length and rolling them to plates or, without cutting, to coils at the hot rolling mill.

### 4. Steel grade and chemistry

The steel grades (chemical compositions) are specified in the STEEL GRADE DIRECTORY TDC 01/2019 (hereinafter Directory), which is the integral part of the

### 1. Общие положения

Данные Технические Условия Поставки Слябов (далее «Технический Протокол») определяют технические условия и требования к первосортным канатым слябам, произведенным ПАО МК Запорожсталь (далее «Производитель» или «Запорожсталь») и поставляемым через каналы сбыта на предприятия Ферриера Вальсидер, Метинвест Трამетал (далее «Потребители» и/или ЕС-активы).

ЕС-активы являются конечными потребителями слябов и используют их для производства горячекатанного рулона и листа.

Технический Протокол является основным техническим документом, регулирующим поставку слябов.

### 2. Обеспечение качества

Все составляющие процесса производства слябов Производителя сертифицированы/аттестованы по следующим международным стандартам обеспечения качества:  
ISO 9001:2015

Дополнительно, процессы и продукция сталеплавильного производства Производителя сертифицированы/аттестованы следующими независимыми органами/организациями по соответствующим стандартам:

- Bureau Veritas
- Dedal Attestation & Certification

Обязанностью Производителя является обновление вышеуказанной информации о сертификации/аттестации по мере наступления изменений.

### 3. Технология производства

Слябы изготавливаются по технологии Производителя. Выплавка стали производится в ДСПА-1 с продувкой аргоном. Внепечная обработка стали не производится. Дегазация стали на установке ковшевого вакуумирования не производится. Разливка стали производится в изложницы. Слитки прокатываются на слябы на стане слябинг 1150.

Поставляемые слябы предназначены для прокатки листовой и рулонной стали с рекомендуемым минимальным коэффициентом обжатия 3:1. Стандартная технология Потребителя представляет собой разделение слябов на более короткие части и пережат их в лист или в цельном виде – в рулон на горячепрокатном стане.

### 4. Марки стали и их химические составы

Марки стали и их химические составы установлены действующей редакцией КАТАЛОГА МАРОК СТАЛИ TDC 01/2022 (далее «Каталог»), который является

## Продовження Додатку В



Customers can apply a different (from the Directory) steel grade codes for the slabs with non-compliance accepted under the conditions of the §9.

Потребители могут присваивать наименования марок стали, отличные от перечисленных в Каталоге, для слабов с отклонениями, принятых согласно условиям §9.

### 5. Size and weight

#### 5.1 Available slabs dimensions

Thickness: 150-250mm

Width: 1000-1500mm

Length: minimum 4000mm

The target length of the slabs is specified in the purchase order. The slabs shorter than target length but not shorter than 4000mm are shipped under an "overrolling" specification.

### 5. Размеры и вес

#### 5.1 Имеющиеся размеры слабов

Толщина: 150-250mm

Ширина: 1000-1500mm

Длина: мин 4000mm

Целевая длина слэба устанавливается при выдаче заказов. Слябы длиной менее установленной в заказе (но не менее 4000mm) отгружаются по резервной спецификации.

#### 5.2. Slabs dimensions tolerances

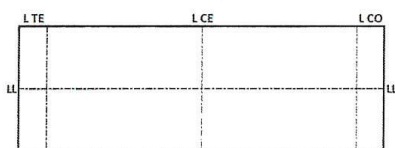
Thickness: +/- 5 mm

Length: +/- 100 mm (aim +/-75 mm), unless it is stated otherwise in the purchase order.

Width:

– for slabs for plates rolling (according to the Directory) +/- 20 mm

– for slabs for coils rolling: -0/+30mm, the tolerance shall be met on three measuring points (L TE – L CE – L CA; the lines L TE and L CA lay at 50mm distance from the head and tail edges of slab) on the slabs upper surface as shown below:



#### 5.2 Тolerансы размеров слабов

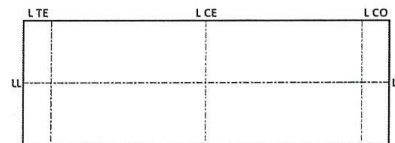
Толщина: +/-5 мм

Длина: +/-100 мм (целевой +/-75 мм), если иное не установлено в заказе

Ширина:

- для слабов для прокатки листа (согласно Каталогу): +/-20 мм

- для слабов для прокатки рулона: -0/+30мм, толеранс должен быть соблюден для каждого из трех измерений ширины (L TE – L CE – L CO; линии L TE и L CO расположены на расстоянии 50мм от головного и хвостового торца слэба соответственно), выполненных на верхней поверхности слэба как показано на рисунке:



#### 5.3. Shape tolerances

See Annex 1 – NOT VALID (see §10)

#### 5.3 Тolerансы формы

См. Приложение 1

#### 5.4. Weight and quantity

Max slab weight:

- For width 1000-1160mm – 11t
- For width 1170-1360mm – 12,8t
- For width 1370-1500mm – 15,5t

#### 5.4 Вес и количество

Максимальный вес слэба:

- шириной 1000-1160 мм – 11 т
- шириной 1170-1360 мм – 12,8 т
- шириной 1370-1500 мм – 15,5т

The quantity tolerance is -10%/+10% per each ordered item.

Толеранс по количеству -10%/+10% по каждой заказной позиции.

### 6. Slabs quality

#### 6.1. General recommendations

Producer ensures that all delivered slabs are free of abnormal radioactivity.

### 6. Качество слэбов

#### 6.1. Общие положения

Производитель гарантирует, что поставляемые слэбы не обладают аномальной радиоактивностью.

#### 6.2. Surface quality

The surface condition of the slabs shall be checked by the Producer according to the valid internal practices. Slabs shall be supplied free of any visible surface defects like cracks, blisters, cavities, depressions, slag inclusions, porosity, scarring ridges etc., which can affect

#### 6.2. Качество поверхности

Состояние поверхности слэбов должно контролироваться производителем согласно установленным внутренним процедурам. Слябы должны поставляться без каких-либо видимых дефектов поверхности как, например,

## Продовження Додатку В

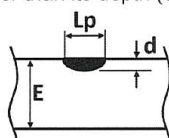


the surface and/or internal quality of the hot rolled products.

The notches, fins and burrs formed on the end faces and/or on the edges of the slabs during torch cutting and/or flame scarfing shall be removed.

The defects shall be removed by hand scarfing (manual flame torches) through conditioning in accordance with the following requirements – see the scheme below:

- the max allowed spot scarfing depth (d) is 8% of slab's thickness (E);
- in case the defects appear in the same place on the two opposite surfaces the allowed depth of the spot scarfing (d) is reduced by 50%
- the width of the spot scarfed area (Lp) shall be at least 6 times greater than its depth (d).



The conditioning (scarfing) over 20% of each slab surface shall be agreed with the Customer.

The final surface inspection will ensure that the slabs are free from any injurious defects that could result in a plate or coil surface defect.

All slabs will be suitable for direct charging into the Customer's reheating furnace (whole or cut to length) and for rolling without further surface conditioning at Consumer's site.

### 6.3. Internal quality

All slabs will be supplied free from piping, internal laminations, segregations, rough inclusions.

### 7. Slabs identification

All slabs will be identified with:

- cast number
- slab number
- slab dimensions (mm)
- slab weight (kg)
- steel grade code (according to the Directory)
- purchase specification number (XX)

The abovementioned data are to be reported on the long face of the slab by weather resistant painting

### 8. Documentation

8.1. Inspection Certificate according to the EN 10204 - 3.1 shall be provided and shall contain the following data:

- heat and slab number

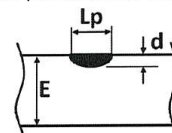
4

трещины, рванины, газовые пузыри, полости, вмятины, включения шлака, окалина, пористость, рубцы от зачистки и т.п., которые могут негативно повлиять на качество поверхности и/или внутреннее качество горячекатаного проката.

Грат, оплой, заусенцы, образованные на торцах и/или ребрах сляба в результате огневой резки и/или зачистки, должны быть удалены.

Дефекты подлежат удалению путем ручной зачистки с соблюдением следующих требований – см схему ниже:

- максимально допустимая глубина зачистки ограниченной области (d) 8% от толщины сляба (E);
- в случае наличия дефекта на одном и том же участке на противоположных широких гранях сляба допустимая глубина зачистки уменьшается вдвое;
- ширина области зачистки (Lp) должна быть как минимум в шесть раз больше ее глубины (d)



Зачистка более 20% площади на сторону поверхности подлежит согласованию с Потребителем.

Окончательный осмотр поверхности должен гарантировать отсутствие на слябе повреждений, которые могут привести к образованию дефектов на поверхности листового или рулонного проката. Все слябы должны быть пригодны к посадку в нагревательную печь и прокатке, в целом и/или резаном виде, без дополнительной обработки поверхности у Потребителя.

### 6.3 Внутреннее качество

Слябы должны поставляться без внутренних расслоев, несплошностей, грубых включений.

### 7. Идентификация слябов

Слябы должны идентифицироваться следующими параметрами:

- номер плавки
- номер сляба
- размеры сляба в мм
- вес сляба в кг
- код марки стали (согласно Каталогу)
- номер закупочной спецификации (в формате XX)

Вышеуказанные параметры должны быть нанесены на длинную грань слябов атмосферно-устойчивой краской.

### 8. Документация

8.1. На слябы выпускается инспекционный сертификат в соответствии с требованиями EN 10204 -3.1, содержащий следующие данные:

- номер плавки и номер сляба

## Продовження Додатку В



- Producer's order number
- steel grade according to the Customers' order
- slab dimensions
- slab weight
- manufacturing process
- chemical composition and Ceq1 and Ceq2 values

The standard chemical composition reported in the inspection certificate includes:

Element	Digits after the decimal point
C, Mn, Cu, Ni, Cr, Si	2
P, S, Al, V, Ti, Nb, As, N, Mo	3
B	4

Other elements can be analysed and certified subject to a separate agreement.

Ceq1 and Ceq2 values are calculated according to the formulas:

$$Ceq1 = C + Mn/6$$

$$Ceq2 = C + Mn/6 + (Cr + V + Mo)/5 + (Ni + Cu)/15$$

The inspection certificates are sent directly to the Customers' competent offices via Sales channels.

### 8.2. Electronic certificate

The electronic file (MS Excel) structured according to the Annex 2 containing the data of each slab for each transport unit shall be provided to the Customers' competent offices via Sales channels.

### 9. Other supply conditions

#### 9.1. Derogations/concessions

Supply of the slabs not conforming to this Technical Protocol conditions or other requirements agreed in advance shall be agreed with Customers prior to shipment.

The derogation notice and the acceptance request shall be submitted to the ERBU Raw Material Procurement office: [erbu-slabs@metinvestholding.com](mailto:erbu-slabs@metinvestholding.com)

#### 9.2. Traceability

It is Customers' responsibility to ensure full traceability of individual slabs throughout the manufacturing processes in order to support any eventual defect/fault investigation and claim processing.

- номер заказа Производителя
- марка стали по заказу
- размеры сляба
- вес сляба
- процесс производства
- химический состав и значения Ceq1 и Ceq2

Стандартный химический состав, отражаемый в инспекционном сертификате, включает:

Элемент	Кол-во десятичных знаков
C, Mn, Cu, Ni, Cr, Si	2
P, S, Al, V, Ti, Nb, As, N, Mo	3
B	4

Анализ и сертификация содержания других элементов подлежит особому согласованию.

Значения Ceq1 и Ceq2 рассчитываются по формулам:

$$Ceq1 = C + Mn/6$$

$$Ceq2 = C + Mn/6 + (Cr + V + Mo)/5 + (Ni + Cu)/15$$

Инспекционные сертификаты высылаются напрямую компетентным службам Потребителей через каналы сбыта.

### 8.2. Электронные сертификаты

Электронные файлы (MS Excel), сформированные согласно Приложению 2 и содержащие данные о каждом слябе для каждой отгрузочной партии должны быть предоставлены Потребителям через каналы сбыта.

### 9. Прочие условия поставки

#### 9.1. Согласование отклонений

Поставка слябов с отклонениями от требований настоящего Технического Протокола и иных предварительно согласованных требований подлежит согласованию с Потребителем до отгрузки. Сообщение об отклонении и запрос на согласование направляется в Службу обеспечения слябами ЕС-активов: [erbu-slabs@metinvestholding.com](mailto:erbu-slabs@metinvestholding.com).

#### 9.2. Прослеживаемость

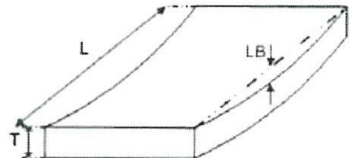
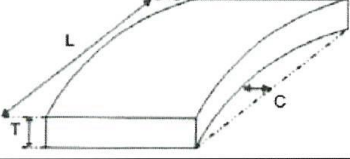
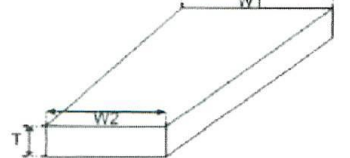
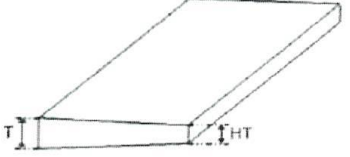
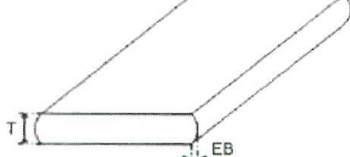
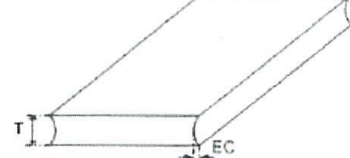
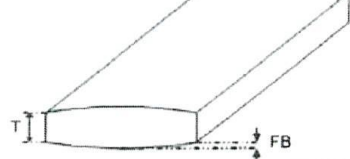
Потребители должны обеспечить полную прослеживаемость каждого сляба в рамках своего производственного цикла в целях расследования возможных нарушений/дефектов и претензий.

# Продовження Додатку В



ANNEX 1  
SHAPE TOLERANCES

ПРИЛОЖЕНИЕ 1  
ТОЛЕРАНСЫ ФОРМЫ

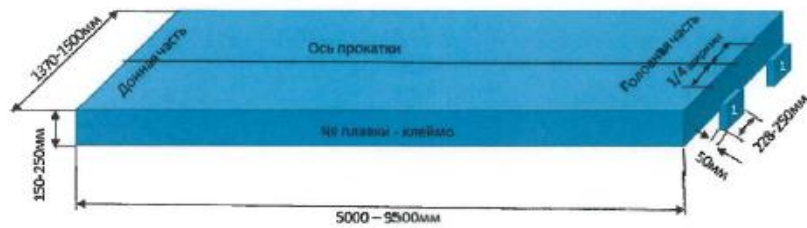
<p>LONG BOW/BEND ПРОГИБ ПО ДЛИНЕ</p>		<p>LB = max 10mm/m</p>
<p>CAMBER СЕРПОВИДНОСТЬ</p>		<p>C = max 5 mm/m</p>
<p>TAPER КОНУСНОСТЬ</p>		<p>W1-W2 = max 10mm</p>
<p>WEDGE КЛИНОВИДНОСТЬ ПО ШИРИНЕ</p>		<p>HT-T = max 5 mm</p>
<p>EDGE BULGE ВЫПУСКЛОСТЬ УЗКОЙ ГРАНИ</p>		<p>EB = max 10mm На сторону / per side</p>
<p>EDGE CONCAVITY ВОГНУТОСТЬ УЗКОЙ ГРАНИ</p>		<p>EC = max 10 mm На сторону / per side</p>
<p>FACE BULGE ВЫПУСКЛОСТЬ ПО ТОЛЩИНЕ</p>		<p>FB = max 5 mm</p>

## Продовження Додатку В

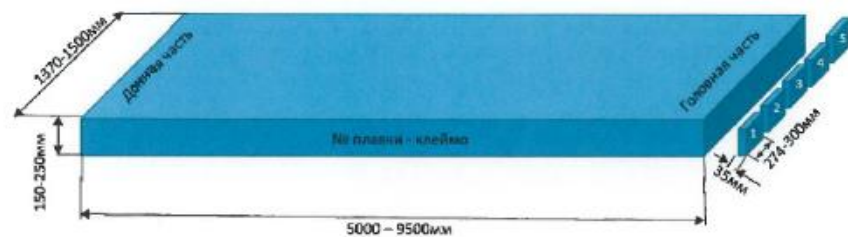


FACE CONCAVITY ВОГНУТОСТЬ ПО ТОЛЩИНЕ		FC = max 5mm
TRAPEZOID ТРАПЕЦИЕВИДНОСТЬ		TZ = max 10mm На сторону / per side
SQUARENESS ПРЯМОУГОЛЬНОСТЬ		S = max 0.01W
STOP CUT DEVIATION СТУПЕНЧАТОСТЬ РЕЗА		SC = max 10 mm

8. It is forbidden after cutting samples - templates to cool them with water or subject them to other forced cooling.



Scheme 1. Sampling scheme for chemical analysis



Scheme 2. Sampling scheme for macrostructure

9. After cutting out the templates, marking them and cooling down, the templates are transferred by the adjustage workers of HRS to the Center for testing and certification of the plant's products for their further transfer to the study of the macrostructure at PrJSC "Kamet-Stal". The study of the chemical composition is carried out by the Center for testing and certification of the plant's products of PJSC "Zaporizhstal".

10. The results of studies of the macrostructure from "Kamet-Stal" are transferred to the Center for testing and certification of the plant's products and Quality Control Department of the Works Management for inclusion in quality certificates and further storage.

**Додаток Г**  
**Хімічний аналіз марок сталі S235JR, S355JR**

ПП 1820 (530 С) 24.10.22 данные с утв. Каталога																	
Марка стали	C	Mn	Si	S*	P*	Cr	Ni	Cu	N	Al	V	Mo	Ti	Nb	B		
Не более																	
S235JR	0,08-0,13	0,60-1,00	0,15-0,30	0,035	0,035	0,07	0,05	0,07	0,009	0,02-0,07							
A120	0,08-0,12	0,60-0,80	0,15-0,30	0,025	0,025	0,07	0,07	0,07	0,012	0,02-0,07	0,01	0,02	0,005	0,005	0,0005		
A126	0,08-0,12	0,60-0,80	0,15-0,30	0,035	0,035	0,07	0,07	0,07	0,012	0,02-0,07	0,01	0,02	0,005	0,005	0,0005		
A160	0,11-0,14	0,65-0,90	0,15-0,30	0,025	0,025	0,07	0,07	0,07	0,012	0,02-0,07	0,01	0,02	0,005	0,005	0,0005		
A166	0,11-0,14	0,65-0,90	0,15-0,30	0,035	0,035	0,07	0,07	0,07	0,012	0,02-0,07	0,01	0,02	0,005	0,005	0,0005		
A180	0,10-0,13	0,80-1,10	0,15-0,30	0,025	0,025	0,07	0,07	0,07	0,012	0,02-0,07	0,01	0,02	0,005	0,005	0,0005		
A186	0,10-0,13	0,80-1,10	0,15-0,30	0,035	0,035	0,07	0,07	0,07	0,012	0,02-0,07	0,01	0,02	0,005	0,005	0,0005		
ПП 538с от 09.11.22																	
Марка стали	C	Mn	Si	S**	P**	Cr	Ni	Cu	N	Al	V	Mo	Ti	Nb	B	AS	N2
Не более																	
S355J2*	н.б 0,24	н.б 1,70	н.б 0,55	0,045	0,045	0,07	0,05	0,06	0,012	0			0,050		0,05	0,012	0,15
по EN 10025:2004																	
A320	0,14-0,18	1,35-1,60	0,15-0,30	0,025	0,025	0,07	0,07	0,07	0,012	0,02-0,07	0,01	0,02	0,005	0,05	0,0005		0,012
A326	0,14-0,18	1,30-1,60	0,15-0,30	0,035	0,035	0,07	0,07	0,07	0,012	0,02-0,07	0,01	0,02	0,005	0,05	0,0005		0,012
A340	0,15-0,18	1,35-1,60	0,15-0,30	0,025	0,025	0,07	0,07	0,07	0,012	0,02-0,07	0,01	0,02	0,005	0,05	0,0005		0,012
A346	0,15-0,18	1,35-1,60	0,15-0,30	0,035	0,035	0,07	0,07	0,07	0,012	0,02-0,07	0,01	0,02	0,005	0,05	0,0005		0,012

## Додаток Д

## Норми механічних властивостей для прокату зі сталі марок S235JR, S275JR, S355JR

Нормы механических свойств для проката из стали марок 3C-8 (S235JR), 3C-13 (S275JR), S355JR									
Марка	Толщина проката, мм	НД на испытания	Предел текучести $\sigma_T$		Временное сопротивление $\sigma_B$		Относительное удлинение $\delta$ , %		Изгиб до параллельности сторон (а-толщина образца; d-диаметр оправки)
			Н/мм <sup>2</sup>	кгс/мм <sup>2</sup>	Н/мм <sup>2</sup>	кгс/мм <sup>2</sup>	$\delta_4$	$\delta_5$	
			не менее $\geq$		в пределах		не менее $\geq$		
<b>3C-8 (S235JR), 3C-9+12</b>	до 2,0	ТУ 27.1-23365425 621.2007	235	24	360-510	37-52	17	-	d=1,5a
	2,05-2,5		235	24	360-510	37-52	18	-	d=1,5a
	2,6 до 2,99		235	24	360-510	37-52	19	-	d=1,5a
	От 3,0 вкл. до 8,0 вкл.		235	24	340-470	35-48	-	24	d=2a
<b>3C-8 (S235JR+AR), 3C-9+12</b>	до 2,0	EN 10025-2:2004	235	24	360-510	37-52	19	-	d=1a
	2,05-2,5		235	24	360-510	37-52	20	-	d=1a
	2,6 до 2,99		235	24	360-510	37-52	21	-	d=1a
	От 3,0 вкл. до 8,0 вкл.		235	24	360-510	37-52	-	26	d=1,5a (свыше 6,0мм)
<b>3C-13 (S275JR)</b>	до 2,0	ТУ 27.1-23365425 621.2007	275	28	430-580	44-59	14	-	d=2,5a
	2,05-2,5		275	28	430-580	44-59	15	-	d=2,5a
	2,6 до 2,99		275	28	430-580	44-59	16	-	d=2,5a
	От 3,0 вкл. до 8,0 вкл.		275	28	410-560	42-57	-	20	d=3a
<b>3C-13 (S275JR+AR)</b>	до 2,0	EN 10025-2:2004	275	28	430-580	44-59	17	-	d=1a
	2,05-2,5		275	28	430-580	44-59	18	-	d=1a
	2,6 до 2,99		275	28	430-580	44-59	19	-	d=1a
	От 3,0 вкл. до 8,0 вкл.		275	28	410-560	42-57	-	23	d=1,5a (свыше 6,0мм)
<b>S355JR+AR</b>	до 2,0	EN 10025-2:2004	355	36,5	510-680	52-69	16	-	d=1a
	2,05-2,5		355	36,5	510-680	52-69	17	-	d=1a
	2,6 до 2,99		355	36,5	540-680	52-69	18	-	d=1a
	От 3,0 вкл. до 8,0 вкл.		355	36,5	470-630	48-64	-	22	d=1,5a (свыше 6,0мм)

## Додаток Е

**Хімічний склад низьковуглецевих марок сталі S235 та S355, які виплавлені у двованному сталеплавильному агрегаті (ДСПА1) ПАТ «Запоріжсталь» у повній відповідності з EN10025-2019 у злитки для заводів Метінвесту в Європі**

Номер плавки	Дата виплавки	Марка, Факт	Назначение, Факт	Тип слитка, Факт	C, %	Mn, %	Si, %	S, %	P, %	Cr, %	Ni, %	Cu, %	Ti, %	Al, %	Mo, %	Ковш V, %
0122372	10.11.2022	S355J2	УСП.ЭКСП	4А	0,180	1,200	0,171	0,019	0,016	0,02	0,01	0,01	0,001	0,054	0,002	0,005
0122385	11.11.2022	S355J2	УСП.ЭКСП	4А	0,190	1,520	0,173	0,019	0,019	0,02	0,01	0,01	0,001	0,034	0,002	0,006
0122398	12.11.2022	S355J2	УСП.ЭКСП	4А	0,180	1,380	0,191	0,017	0,021	0,03	0,01	0,01	0,001	0,034	0,002	0,006
0122412	13.11.2022	S355J2	УСП.ЭКСП	4А	0,190	1,500	0,185	0,020	0,022	0,03	0,01	0,01	0,001	0,020	0,001	0,005
0122476	18.11.2022	S355J2	УСП.ЭКСП	4А	0,160	1,480	0,187	0,023	0,019	0,02	0,01	0,01	0,001	0,029	0,002	0,005
0122490	19.11.2022	S355J2	УСП.ЭКСП	4А	0,150	1,600	0,241	0,023	0,024	0,03	0,02	0,01	0,001	0,038	0,003	0,006
0122504	20.11.2022	S355JR	УСП.Э.РУЛ	4А	0,140	1,500	0,220	0,030	0,021	0,03	0,01	0,01	0,001	0,032	0,002	0,006
0122522	22.11.2022	S355J2	УСП.ЭКСП	4А	0,140	1,440	0,185	0,021	0,017	0,05	0,01	0,01	0,001	0,047	0,002	0,005
0122533	23.11.2022	S355J2	УСП.ЭКСП	4А	0,150	1,560	0,195	0,021	0,020	0,04	0,01	0,01	0,001	0,028	0,004	0,007
0122545	27.11.2022	S355J2	УСП.ЭКСП	4А	0,170	1,600	0,210	0,018	0,019	0,03	0,01	0,01	0,001	0,057	0,003	0,006
0122558	28.11.2022	S355J2	УСП.ЭКСП	4А	0,140	1,400	0,190	0,023	0,018	0,02	0,01	0,01		0,034	0,002	0,006
0122577	05.12.2022	S355J2	УСП.ЭКСП	4А	0,150	1,450	0,189	0,024	0,018	0,03	0,02	0,01	0,001	0,048	0,003	0,005
0122580	05.12.2022	S355J2	УСП.ЭКСП	4А	0,150	1,500	0,223	0,022	0,017	0,03	0,01	0,01	0,001	0,052	0,002	0,006
0122594	07.12.2022	S355J2	УСП.ЭКСП	4А	0,160	1,590	0,218	0,024	0,020	0,02	0,01	0,01	0,002	0,049	0,003	0,006

## Продовження Додаток Е

Хімічний склад низьковуглецевих маркоок сталі S235 та S355, які виплавленені у двованному сталеплавильному агрегаті (ДСПА1) ПАТ «Запоріжсталь» у повній відповідності з EN10025-2019 у злитки для заводів Метінвесту в Європі

0122596	08.12.2022	S355J2	УСП.ЭКСП	4А	0,150	1,450	0,199	0,025	0,018	0,02	0,01	0,01		0,039	0,002	0,007
0122600	08.12.2022	S355J2	УСП.ЭКСП	4А	0,170	1,590	0,230	0,021	0,021	0,03	0,01	0,01	0,001	0,040	0,002	0,007
0122601	08.12.2022	S355J2	УСП.ЭКСП	4А	0,160	1,500	0,207	0,024	0,022	0,04	0,01	0,01	0,001	0,070	0,003	0,006
0122602	09.12.2022	S355J0	УСП.ЭКСП	4А	0,200	1,580	0,223	0,028	0,021	0,02	0,02	0,02	0,001	0,033	0,002	0,006
0122604	10.12.2022	S355J0	УСП.ЭКСП	4А	0,140	1,400	0,184	0,028	0,023	0,02	0,01	0,01	0,001	0,027	0,002	0,005
0122605	10.12.2022	S355J0	УСП.ЭКСП	4А	0,160	1,430	0,181	0,028	0,024	0,02	0,01	0,01	0,001	0,033	0,002	0,005
0122607	11.12.2022	S355J0	УСП.ЭКСП	4А	0,160	1,360	0,195	0,029	0,021	0,03	0,02	0,01	0,001	0,022	0,002	0,004
0122608	11.12.2022	S355J2	УСП.ЭКСП	4А	0,140	1,430	0,197	0,020	0,020	0,02	0,01	0,01	0,001	0,028	0,002	0,006
0122610	12.12.2022	S355J2	УСП.ЭКСП	4А	0,170	1,520	0,209	0,025	0,022	0,02	0,01	0,02		0,041	0,001	0,003
0122611	12.12.2022	S355J2	УСП.ЭКСП	4А	0,160	1,500	0,205	0,023	0,017	0,02	0,02	0,01	0,001	0,050	0,004	0,004
0122613	13.12.2022	S355J2	УСП.ЭКСП	4А	0,170	1,600	0,213	0,025	0,019	0,03	0,02	0,02	0,001	0,053	0,002	0,006
0122625	15.12.2022	S355J0	УСП.ЭКСП	4А	0,170	1,600	0,217	0,028	0,023	0,05	0,02	0,01	0,001	0,034	0,004	0,006
0122646	17.12.2022	A340	УСП.ЭКСП	4А	0,160	1,570	0,201	0,024	0,020	0,03	0,02	0,02	0,001	0,051	0,003	0,005
0122648	17.12.2022	S355J0	УСП.ЭКСП	4А	0,150	1,350	0,153	0,025	0,020	0,03	0,01	0,01	0,001	0,011	0,002	0,005
0122660	18.12.2022	S355J0	УСП.ЭКСП	4А	0,180	1,590	0,224	0,028	0,018	0,03	0,02	0,02	0,001	0,082	0,003	0,006

## Додаток Ж

## Маркування темплетів та хімічний склад ковшової проби товарних слябів

Таблица 1, маркировка темплетов товарных слябов

№ п/п	№ плавки	сечение, мм	марка	№ сляба при прокатке	Маркировка темплетов
1	0130690	150x1500	B100	1	690 1
2	0130690	150x1500	B100	10	690 10
3	0130716	150x1370	A320	2	716 2
4	0130716	150x1370	A320	5	716 5
5	0130751	252x1500	A340	6	751 6
6	0130751	252x1500	A340	10	751 10

Таблица 2, химический состав ковшевой пробы товарных слябов

	Heat number/sample number	Chemical analysis in percentage									
		C	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Si	Al	Ti
B100	0130690	0,13	0,78	0,013	0,020	0,01	0,01	0,02	0,026	0,040	0,001
A320	0130716	0,17	1,54	0,020	0,017	0,01	0,01	0,03	0,218	0,028	0,001
A340	0130751	0,15	1,58	0,017	0,018	0,02	0,02	0,03	0,217	0,044	0,001

## Додаток К

## Заходи щодо зниження витратного коефіцієнту металу при виробництві товарних слябів

ПУБЛИЧНОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО  
ЗАПОРЖСКИЙ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ КОМБИНАТ  
«ЗАПОРЖСТАЛЬ»

**РАСПОРЯЖЕНИЕ**

№ 13-03 / 2023г. № 57

Касательно нормативной головной обреза  
на товарных слябах сечением 150(±5)х1370-1500мм  
и отбора проб на макро и микроструктуру

Для снижения РКМ при производстве товарных слябов,

**РАСПОРЯЖАЮСЬ:**

1. Начальнику ЦТТ Свиридову С.А.:

1.1 При производстве товарных слябов сечением 150(±5)х1370-1500мм из сталей марок А320, А340, В100 или других в соответствии с КАТАЛОГОМ МАРОК СТАЛИ ТДС 01/2022, обрезку головной обреза выполнять с минимальной величиной 12% от общей длины раската. В случае, если после проведения первого реза отмечены дефекты усадочного происхождения производится дополнительный рез до полного удаления усадочных дефектов с шагом длиной 50-100 мм в зависимости от величины и характера дефекта.

1.2 В случае, если выполняется дополнительный рез по дефектам усадочного происхождения обработка поперечных поровин металла сообщает об этом контролеру ОТК УК для дальнейшей фиксации количества и величине дополнительных резов.

Срок – с 08.03.2023 до 31.03.2023.

1.3 Не реже одного раза в месяц для определения **макроструктуры** и не реже двух раз в месяц для определения **микроструктуры**, от одного сляба с плавки каждой марки стали и сечения, указанных в п.1.1 данного распоряжения, производить отбор проб на макроструктуру и микроструктуру. Отбор темплетов производится после обрезки минимально допустимой величины головной обреза и в случае отсутствия видимых дефектов усадочного происхождения, в случае отсутствия на поверхности сляба и среза трещин, термических пятен и других видимых дефектов производится разметка и вырезка темплетов. Номер сляба и плавки указывает работник ОТК УК участка по производству слябов. Остальной порядок отбора темплетов, согласно утвержденной методологии по отбору темплетов из товарных слябов.

Срок – с 08.03.2023 до 31.05.2023.

2. Начальнику управления контроля качества Кравцу А.В.:

2.1 Обеспечить фиксацию количества и величины дополнительных резов.

Срок – с 08.03.2023 до 31.05.2023.

2.2 Не реже одного раза в месяц для определения **макроструктуры** и не реже двух раз в месяц для определения **микроструктуры**, от одного сляба с плавки каждой марки стали и сечения, указанных в п.1.1 данного распоряжения, производить выбор плавки, номера сляба для испытаний макро и микроструктуры. Размеры темплетов согласно утвержденной методологии по отбору темплетов на товарных слябах.

Срок – с 08.03.2023 до 31.05.2023.

3. Начальнику ЦНАПК Колеснику В.А.:

3.1 Обеспечить передачу отобранных темплетов на исследование **макроструктуры** на ЧАО «Камет-Сталь», а также организовать обратную связь по результатам исследований.

Срок – с 08.03.2023 до 31.06.2023.

3.2 Обеспечить изготовление и испытание отобранных темплетов на исследование **микроструктуры**, с оформлением заключения по результатам исследований.

Срок – с 08.03.2023 до 31.06.2023.

4. Начальнику технического управления Зайцеву И.С.:

4.1 Обеспечить информирование причастного технологического персонала ЦТТ и УК о выходе распоряжения посредством СМС – рассылки.

Срок – в течение 2-х дней с даты издания распоряжения

4.2 По результатам проведенной работы (головная обрезь 12%) подготовить анализ.

Срок – до 10.04.2023.

5. Контроль за исполнением данного распоряжения оставлено за собой.

Директор по технологиям и качеству В.И. Набока

Расширение ЦТТ, УК, ТУ  
Илс.: Мельниченко Е.И.  
тел: 41-71,  
0009240615

## Додаток Л

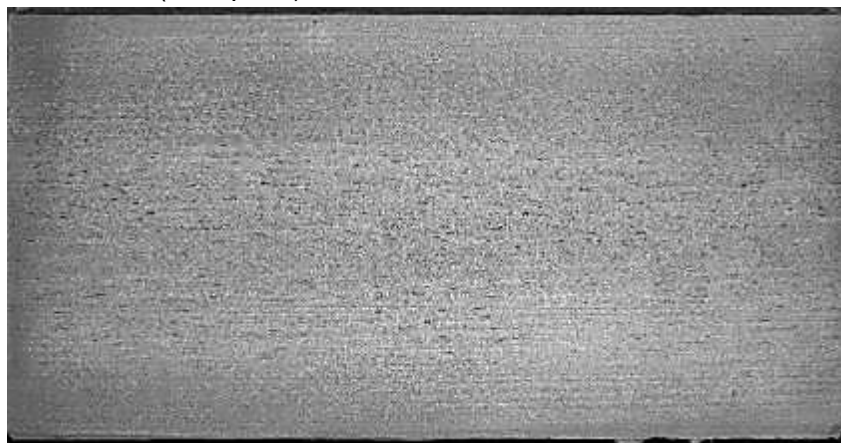
Макроструктура зразка слябу розміром 155x1370мм плавки 130243 сталі марки А320 (дослідження №32-23)



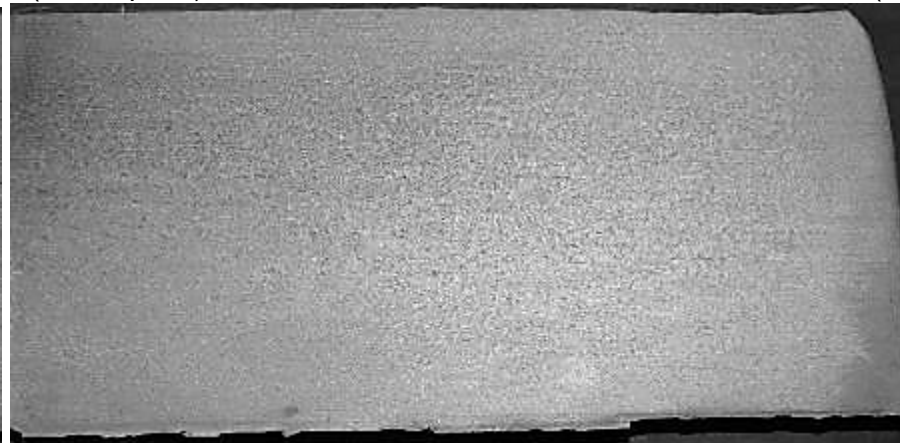
№1 (поверхня)

№2 (1/2 ширини)

№3(центр)



№4 (1/2 ширини)



№5 (поверхня)

## Продовження Додатку Л

Макроструктура зразка слябу розміром 250x1500 мм сталі марки А340 (дослідження № 33-23)



5 (поверхня)

6 (1/2 ширини)

7(центр)

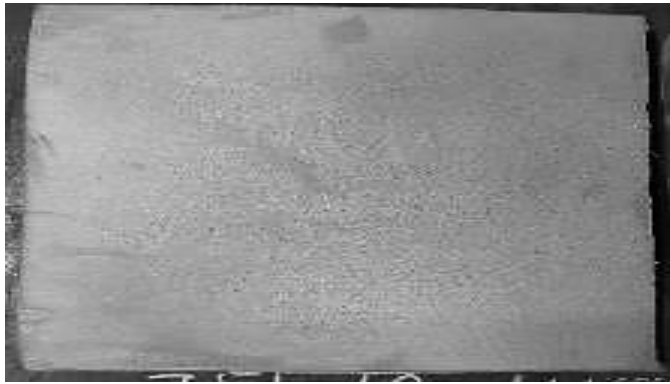


8 (1/2 ширини)

9 (поверхня)

## Продовження Додатку Л

Макроструктура зразка слябу розміром 245x1500 мм плавки 130421 сталі марки В100 (дослідження № 35-23)



№1 (поверхня)



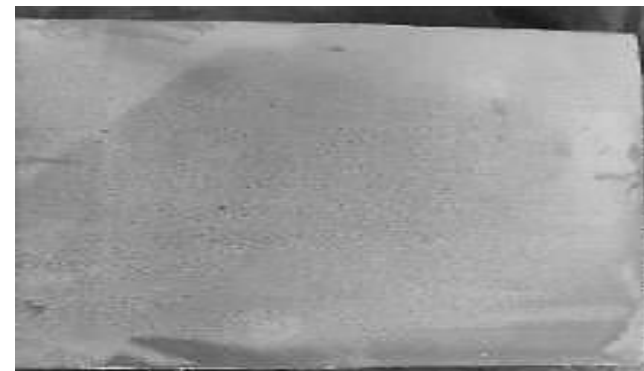
№2 (1/2 ширини)



№3(центр)



№4 (1/2 ширини)



№5 (поверхня)

## Продовження Додатку Л

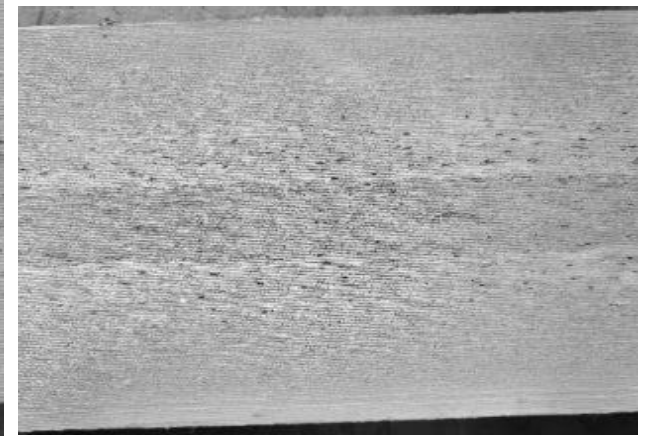
Макроструктура зразка слябу розміром 245x1500 мм плавки 130412 сталі марки В100 (дослідження № 37-23)



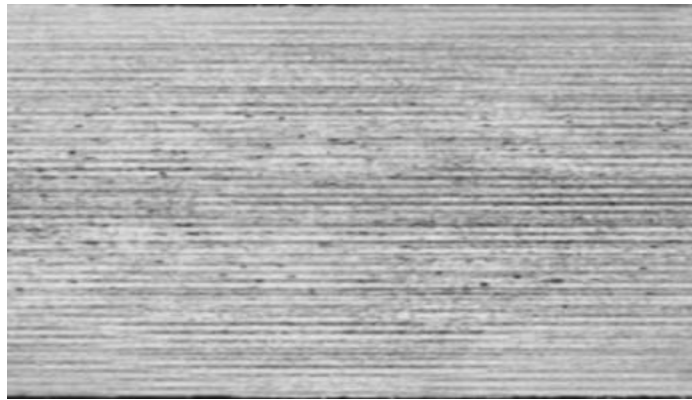
№1 (поверхня)



№2 (1/2 ширини)



№3(центр)



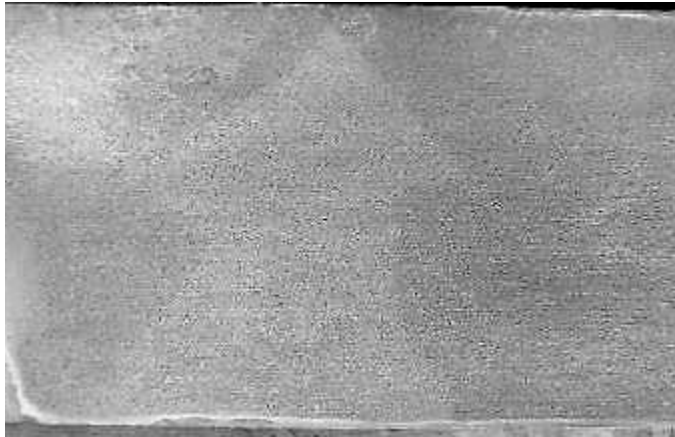
№4 (1/2 ширини)



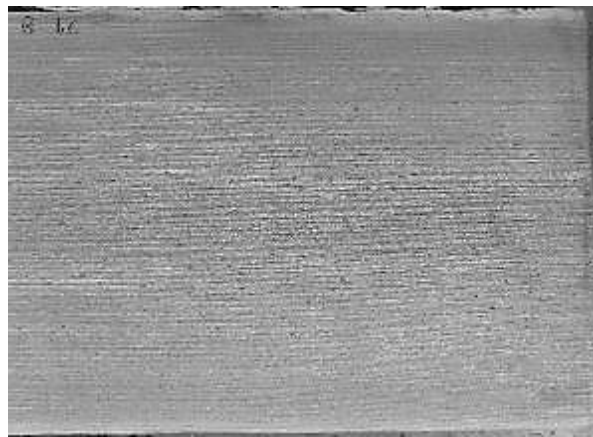
№5 (поверхня)

## Продовження Додатку Л

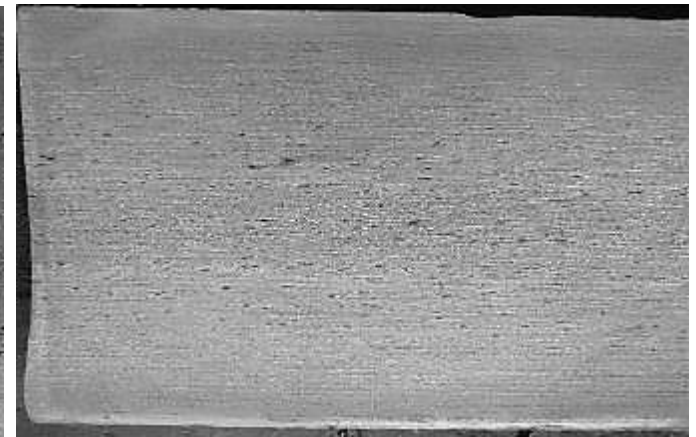
Макроструктура зразка слябу розміром 150x1500 мм плавки 0130556-1 сталі марки В100  
(дослідження № 38-23)



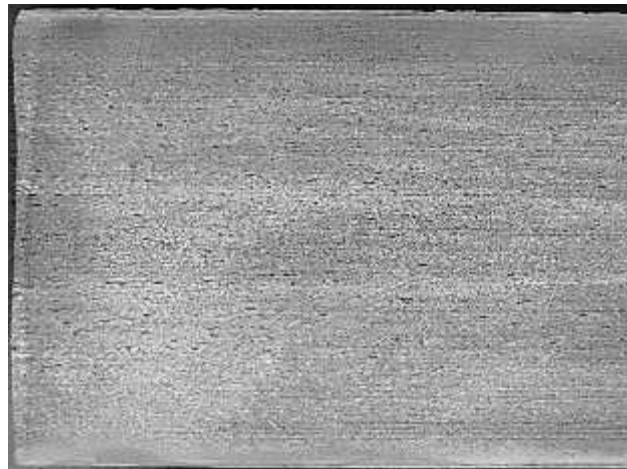
№1 (поверхня)



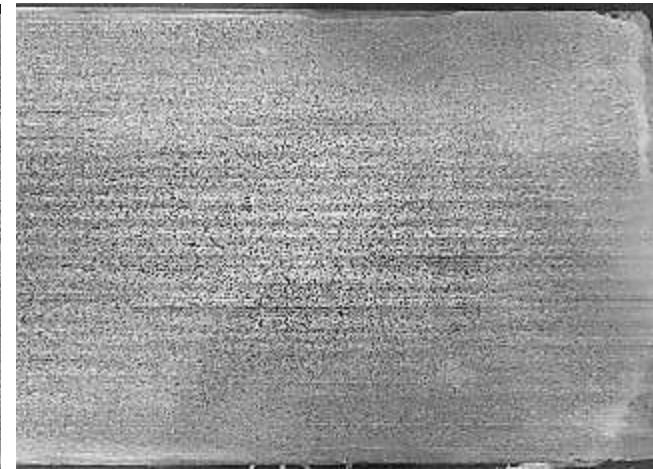
№2 (1/2 ширини)



№3(центр)



№4 (1/2 ширини)



№5 (поверхня)

## Продовження Додатку Л

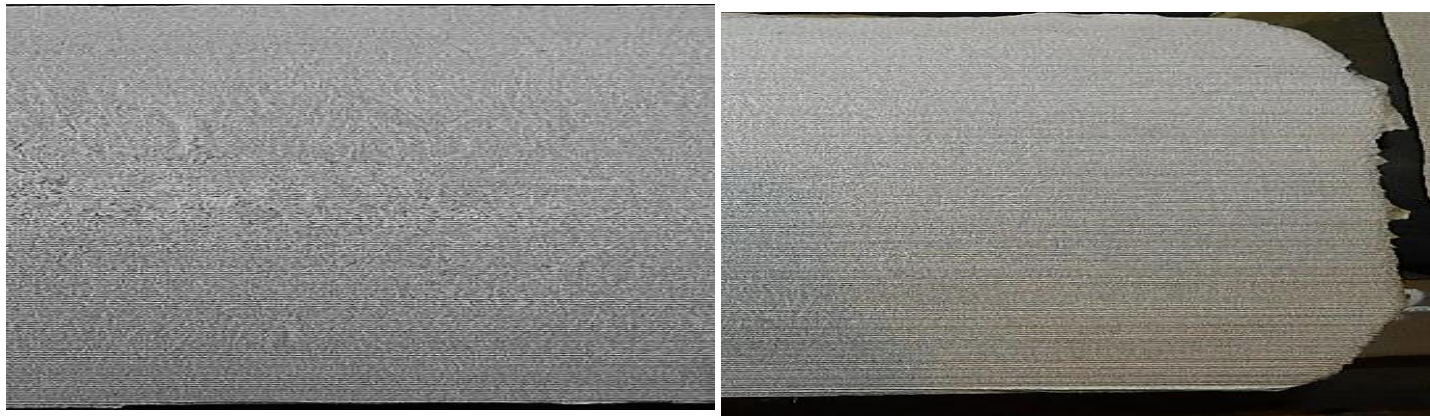
Макроструктура зразка слябу розміром 150x1500 мм плавки 0130556-2 сталі марки S235JR (дослідження 39-23)



№1 (поверхня)

№2 (1/2 ширини)

№3(центр)

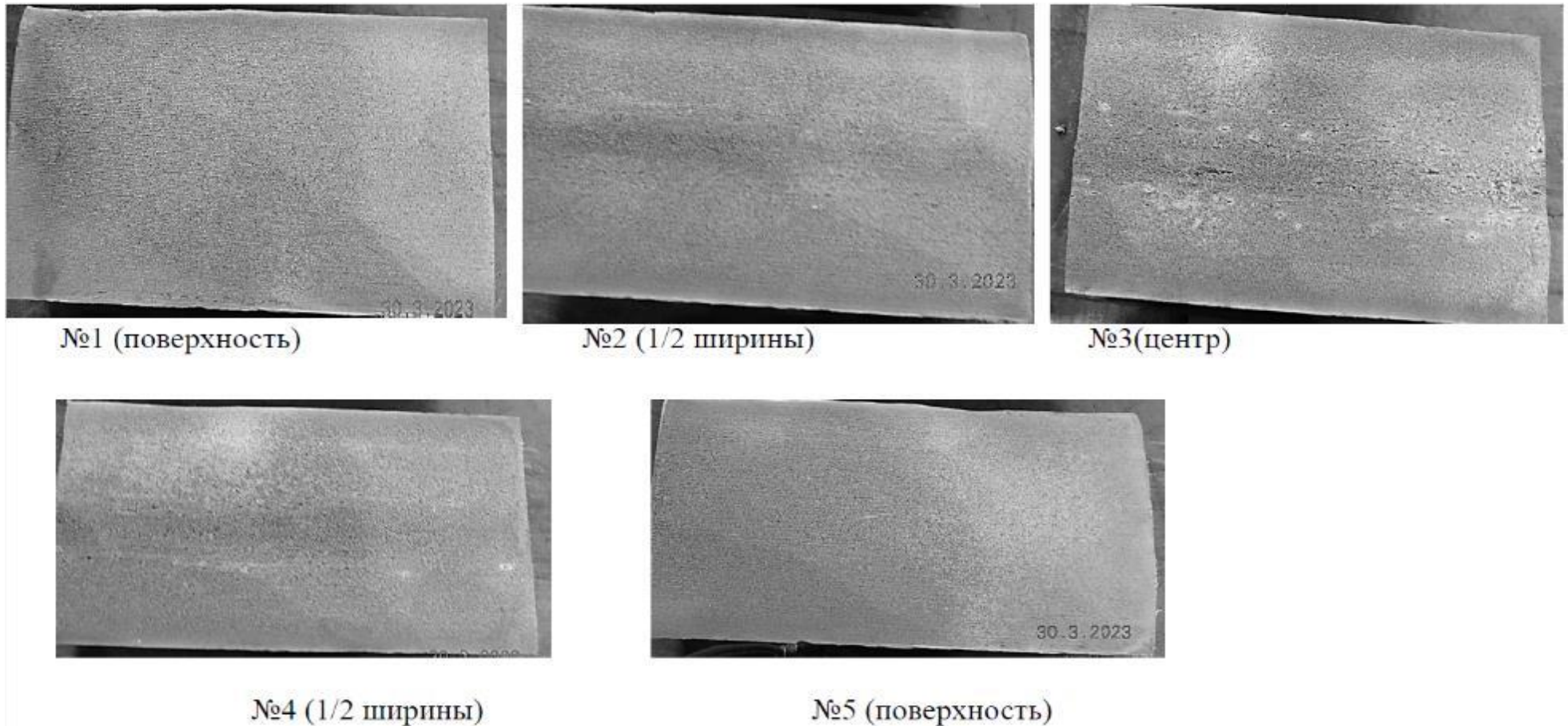


№4 (1/2 ширини)

№5 (поверхня)

## Продовження Додатку Л

Макроструктура зразка слябу розміром 150x1500 мм плавки 130690 сталі марки В100

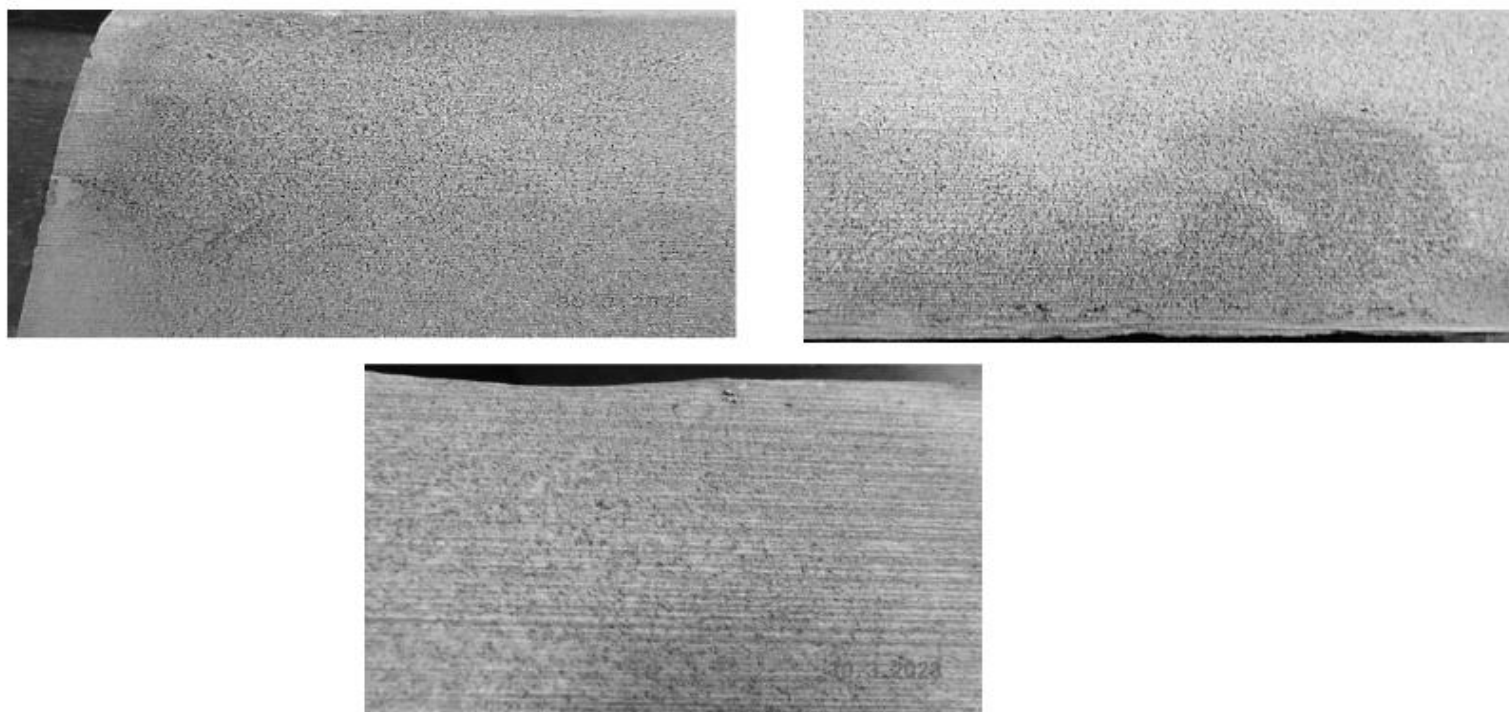


**ЗАПОРІЖСТАЛЬ** Рис. 1 Макроструктура образца сляба сечением 150x1500 мм плавки 130690 стали марки В100 4

## Продовження Додатку Л

### Макроструктура фрагментів зразків слябу розміром 150x1500 мм плавки 130690 сталі марки В100

Рис. 2 Макроструктура фрагментов образцов сляба сечением 150x1500 мм плавки 130690 стали марки В100

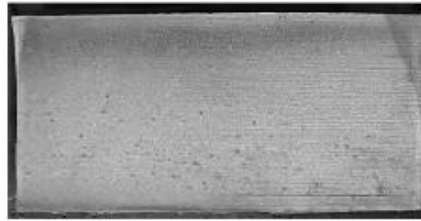


## Продовження Додатку Л

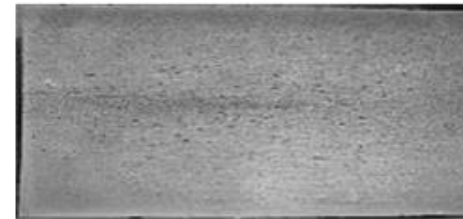
Макроструктура фрагментів зразків слябу розміром 150x1500 мм плавки 130690 сталі марки В100



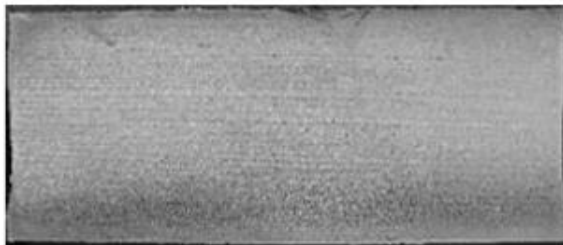
№1 (поверхність)



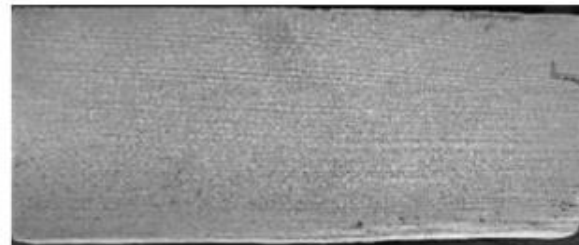
№2 (1/2 ширини)



№3(центр)



№4 (1/2 ширини)



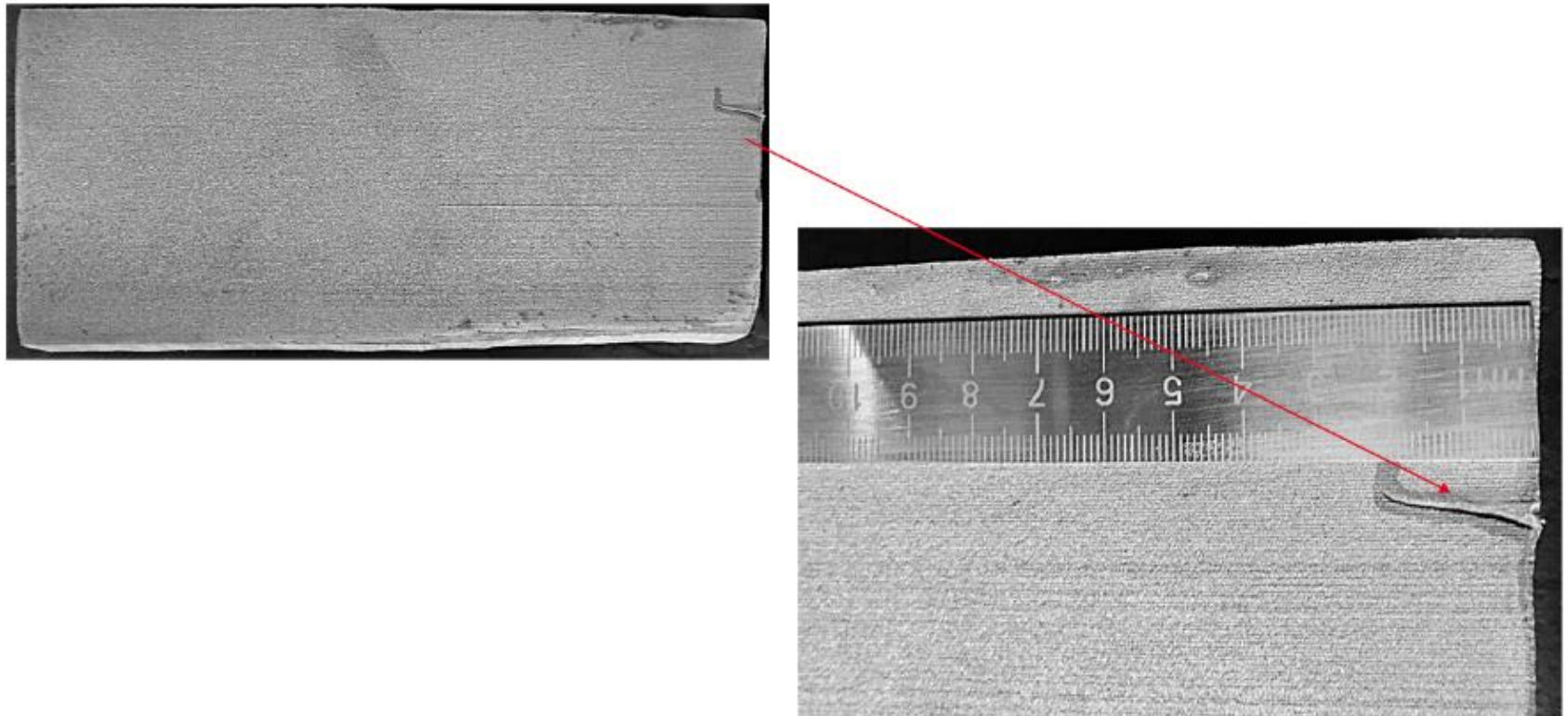
№5 (поверхність)

## Продовження Додатку Л

### Макроструктура фрагментів зразків слябу розміром 150x1500 мм плавки 130690 сталі марки В100

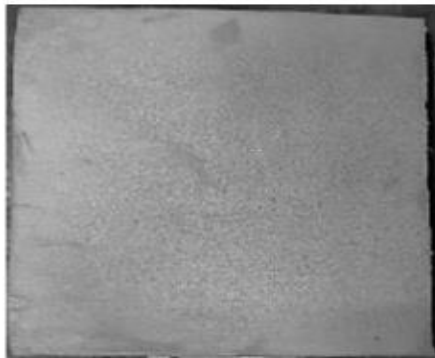
:

Рис. 2 Макроструктура фрагментов образцов сляба сечением 150x1500 мм плавки 130690 стали марки В100



## Продовження Додатку Л

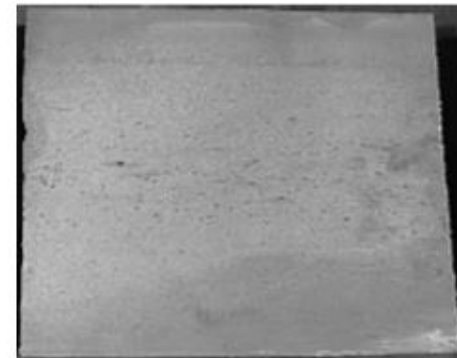
Макроструктура фрагментів зразків слябу розміром 252x1500 мм плавки 0130751 сталі марки А340



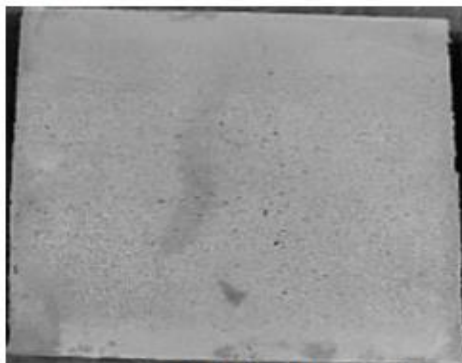
№1 (поверхність)



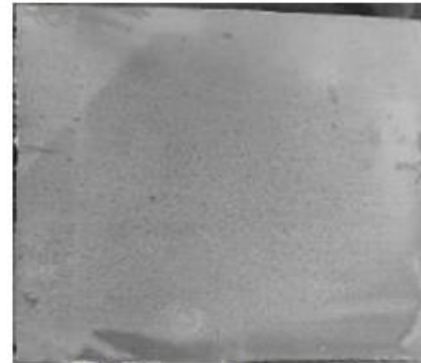
№2 (1/2 ширины)



№3(центр)



№4 (1/2 ширины)



№5 (поверхність)

## Продовження Додатку Л

Макроструктура фрагментів зразків слябу розміром 252x1500 мм плавки 0130751 сталі марки А340

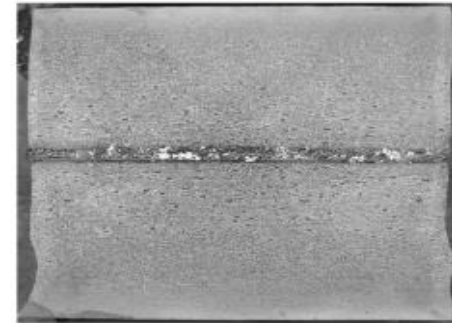
Робота по розпорядженню №57 от 13.03.2023г



№1 (поверхность)



№2 (1/2 ширины)



№3(центр)



№4 (1/2 ширины)



№5 (поверхность)

## Продовження Додатку Л

### Макроструктура фрагментів зразків слябу розміром 252x1500 мм плавки 0130751 сталі марки А340

Рис.2. Макроструктура фрагмента №1 (поверхність, со стороны боковой грани) образца сляба сечением 252x1500 мм плавки 130751 стали марки А340

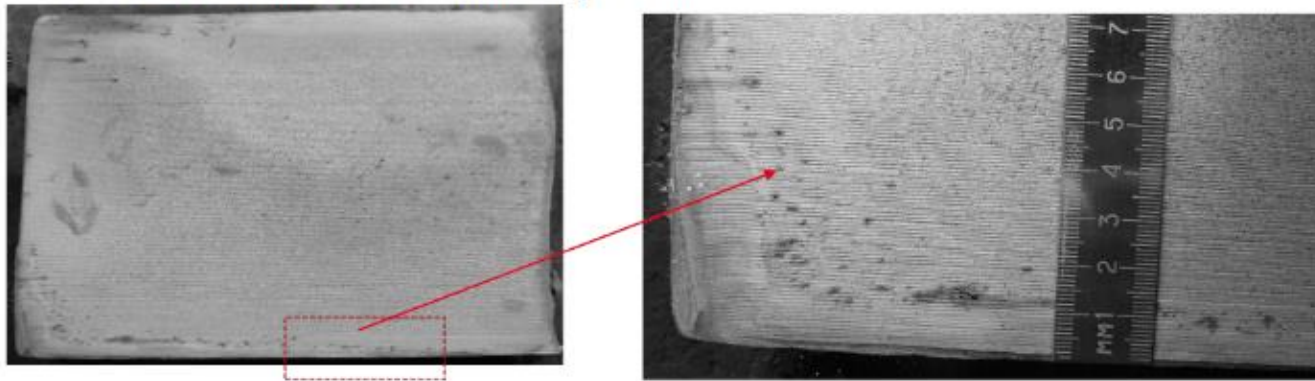
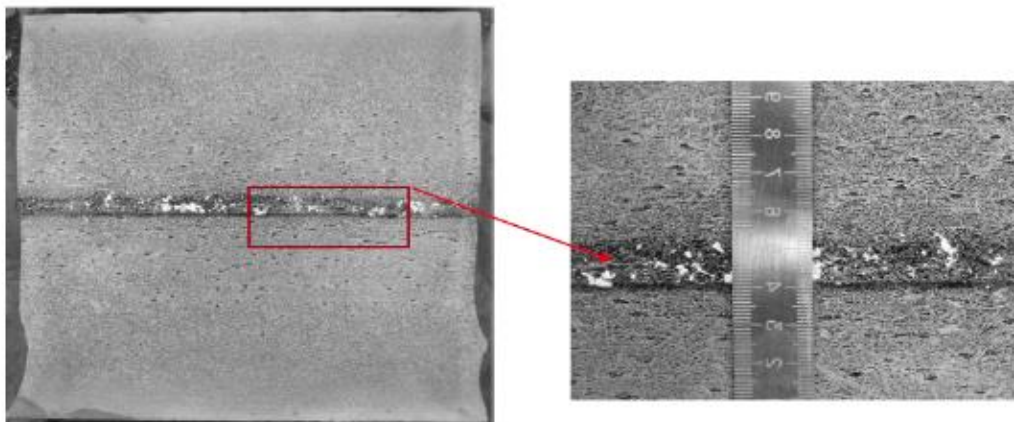


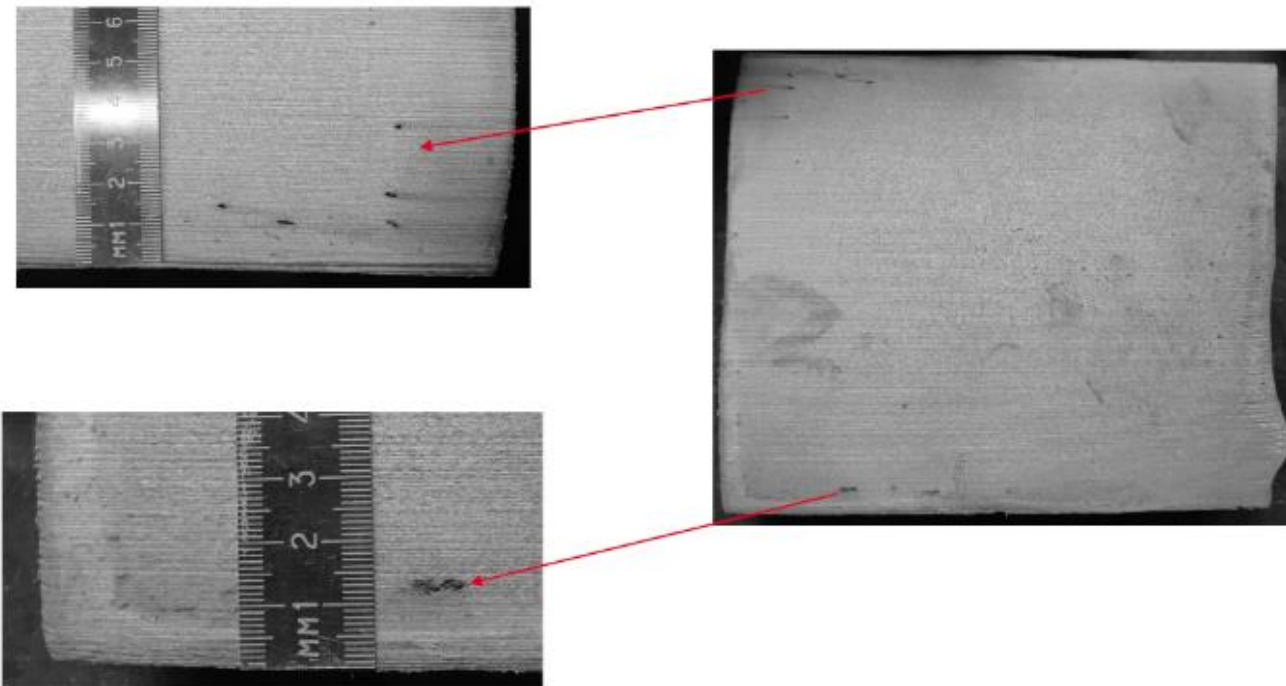
Рис.3. Макроструктура фрагмента №3 (центр) образца сляба сечением 252x1500 мм плавки 130751 стали марки А340



## Продовження Додатку Л

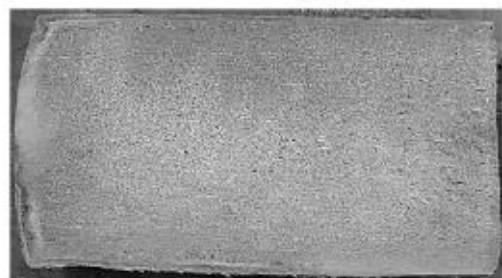
### Макроструктура фрагментів зразків слябу розміром 252x1500 мм плавки 0130751 сталі марки А340

Рис.4. Макроструктура фрагмента №5 (поверхність, со стороны боковой грани) образца сляба сечением 252x1500 мм плавки 130751 стали марки А340

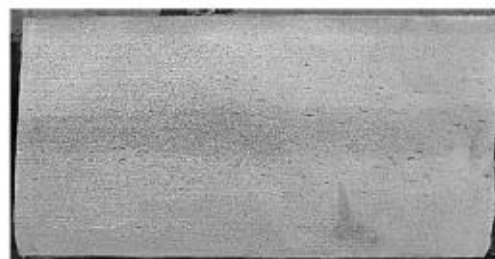


## Продовження Додатку Л

Макроструктура фрагментів зразків слябу розміром 150x1370 мм плавки 0130716 сталі марки А320



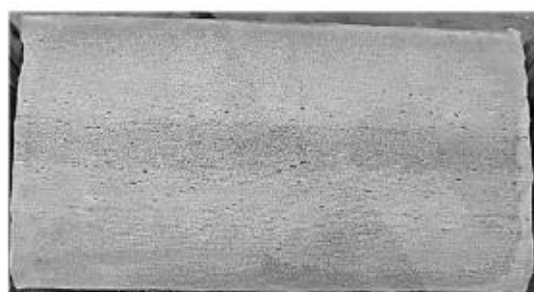
№1 (поверхність)



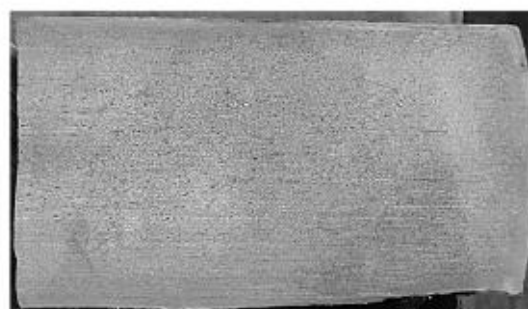
№2 (1/2 ширини)



№3(центр)



№4 (1/2 ширини)



№5 (поверхність)

## Продовження Додатку Л

### Макроструктура фрагментів зразків слябу розміром 150x1370 мм плавки 0130716 сталі марки А320

---

Рис.2. Макроструктура фрагмента образца сляба сечением 150x1370 мм плавки 130716 стали марки А320

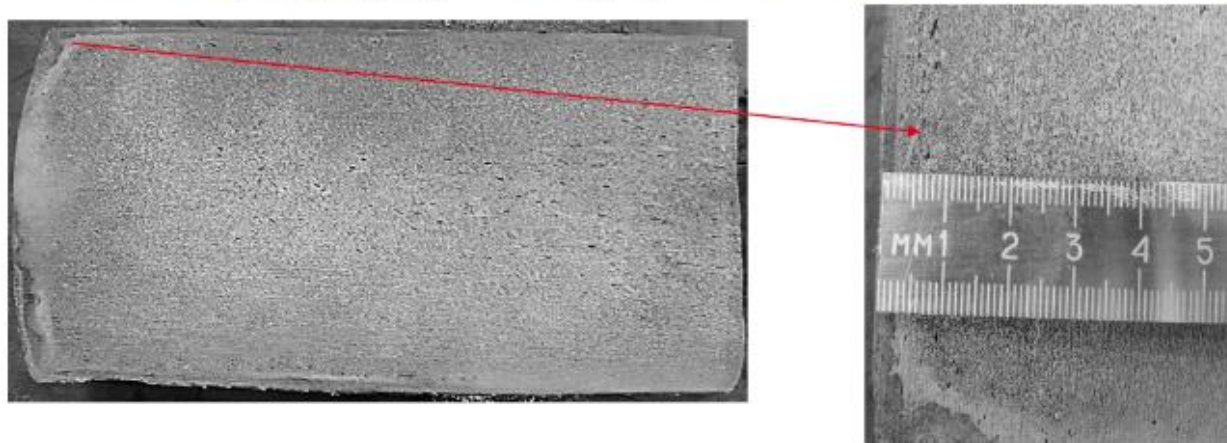
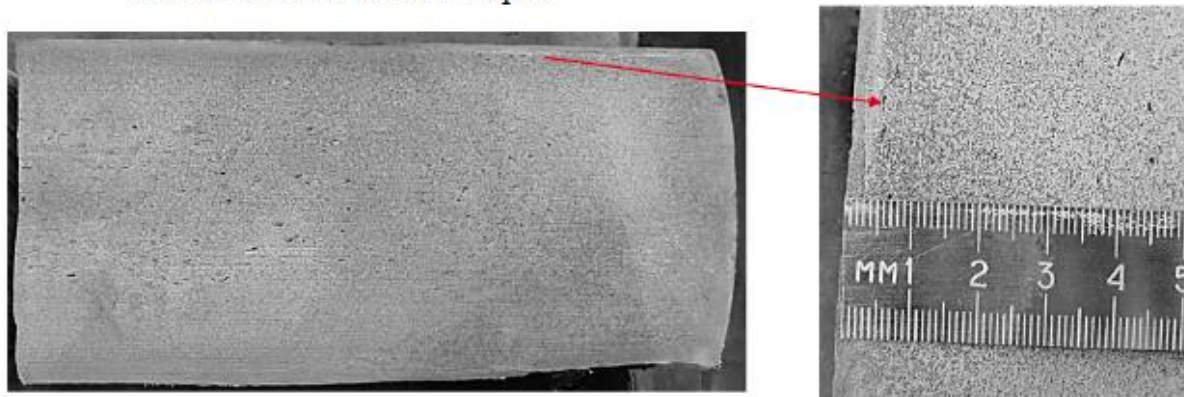
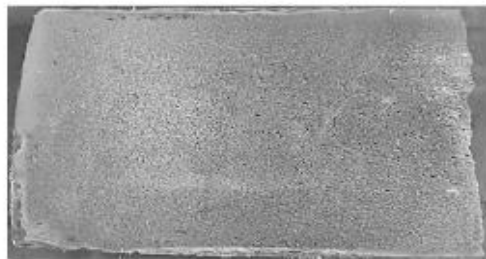


Рис.3. Макроструктура фрагмента образца сляба сечением 150x1370 мм плавки 130716 стали марки

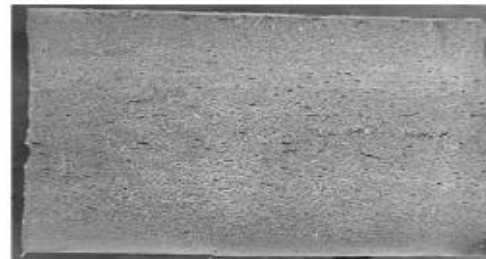


## Продовження Додатку Л

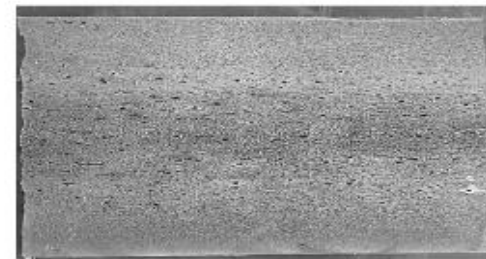
Макроструктура фрагментів зразків слябу розміром 150x1370 мм плавки 0130716 сталі марки А320



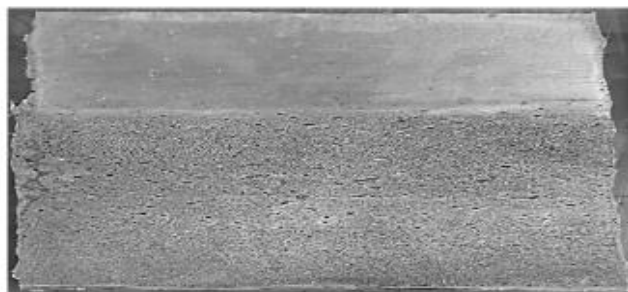
№1 (поверхність)



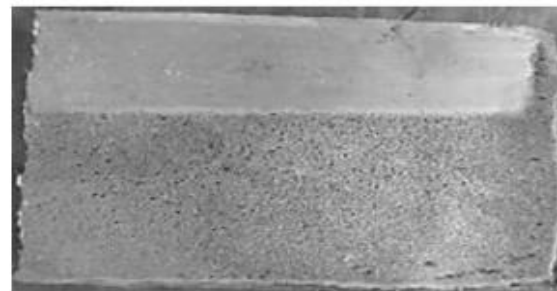
№2 (1/2 ширини)



№3(центр)



№4 (1/2 ширини)



№5 (поверхність)

## Продовження Додатку Л

### Макроструктура фрагментів зразків слябу розміром 150x1370 мм плавки 0130716 сталі марки А320

Рис.2. Макроструктура фрагмента образца сляба сечением 150x1370 мм плавки 130716 стали марки А320

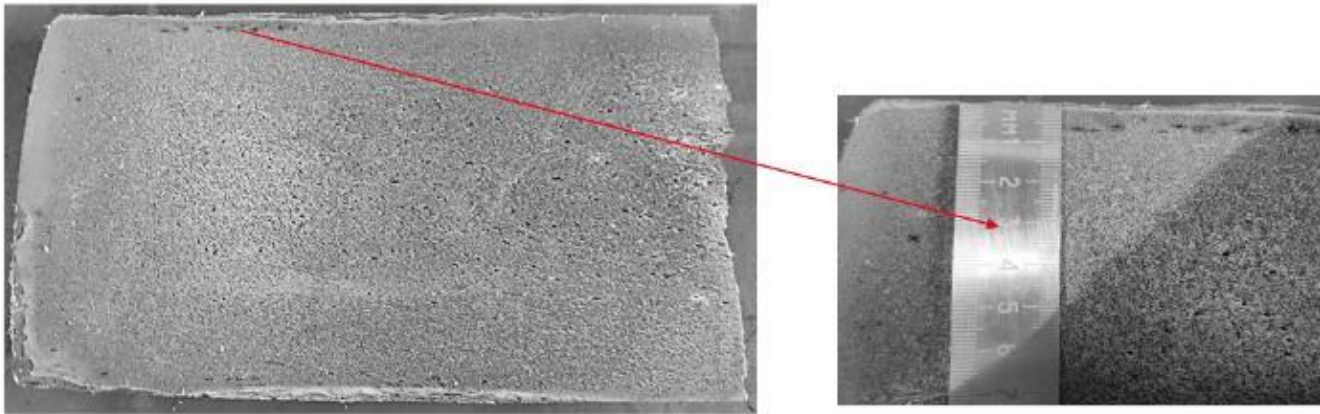
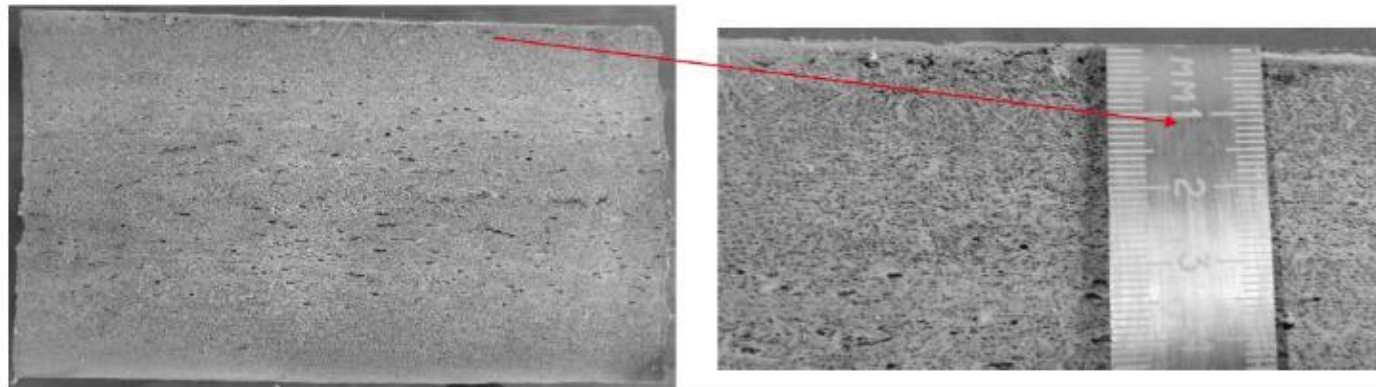


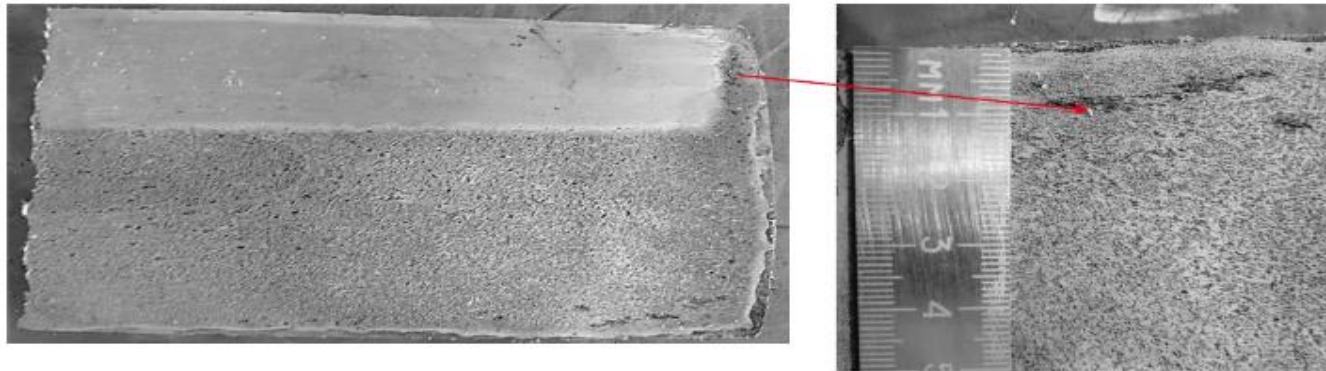
Рис.3. Макроструктура фрагмента №2 (1/2 ширины) образца сляба сечением 150x1370 мм плавки 130716 стали марки А320



## Продовження Додатку Л

**Макроструктура фрагмента №5 (зі сторони бічної грани) зразка слябу розміром 150x1370 мм плавки 0130716 сталі марки А320**

Рис 4. Макроструктура фрагмента №5 (со стороны боковой грани) образца сляба сечением 150x1370 мм плавки 130716 стали марки А320



## Додаток М

### Дослідження макроструктури зразків катаного слябу розміром 150x1500 мм плавки 130690 В100

**ИССЛЕДОВАНИЕ № 46 – 23 от 12.04.2023г**  
**макроструктуры образцов катаного сляба сечением 150 x 1500 мм**  
**плавки 130690 (№ сляба при прокате 10) марки стали В100.**

Образцы отобраны от слябов в поперечном сечении с целью исследования качества макроструктуры. Отобранные образцы представляют собой отдельные фрагменты сляба (5 частей), что в целом представляет полное поперечное сечение профиля  
 Таблица 1 – Характеристика макроструктуры образцов слябов

№ плавки	Марка стали	Оценка нормируемых дефектов макроструктуры, балл										Не Нормируемые дефекты	
		Центр. пористость	Точечная неоднородность	Общая пятнистая ликва-ция	Крае-вая пят-нистая ликва-ция	Ликвацион-ный квад-рат	Под-усадочная ликва-ция	Под-корковые пузы-ри	Меж-крис-таллитные трещины	Послойная кристализа-ция	Светлая полоска (контур)		
130690	В100	2,0	2,0	0	0	0	0,5	0	0	0	0	0	Раскатанные корочки и загрязнения (неметаллические включения).

Из приведенных в таблице данных видно, что макроструктура исследуемого образца сляба характеризуется следующими нормируемыми дефектами: центральная пористость и точечная неоднородность на уровне 2,0 и 2,0 балла соответственно; подусадочная ликвация – 0,5 балла. В соответствии с ДСТУ 8975-2019 методом сравнения со шкалами.- все нормируемые дефекты находятся в допустимых пределах ( 0-5 баллов) Также в при поверхностной зоне по одной из боковых и по широким граням наблюдаются не нормируемые (как правило недопустимые) дефекты макроструктуры типа раскатанные корочки и загрязнения (неметаллические включения) глубиной до 11,0 мм.

## Продовження Додатку М

### Дослідження макроструктури зразків катаного слябу розміром 150x1500 мм плавки 130690 В100

ИССЛЕДОВАНИЕ № 47 – 23 от 12.04.2023г

макроструктуры образцов катаного сляба сечением 150 x 1500 мм

плавки 130690 (№ сляба при прокате 1 ) марки стали В100.

Образцы отобраны от слябов в поперечном сечении с целью исследования качества макроструктуры. Отобранные образцы представляют собой отдельные фрагменты сляба (5 частей), что в целом представляет полное поперечное сечение профиля

Таблица 1 – Характеристика макроструктуры образцов слябов

№ плавки	Марка стали	Оценка нормируемых дефектов макроструктуры, балл										Не Норми-руемые дефек-ты
		Центр. пористость	Точечная неоднородность	Общая пятнистая ликва-ция	Крае-вая пят-нистая ликва-ция	Ликвацонный квад-рат	Под-усадочная ликва-ция	Под-корковые пузы-ри	Меж-крис-таллитные трещины	Послойная кристаллизац-ия	Светлая полоска (контур)	
130690	В100	2,0	2,0	0	0	0	0,5	0	0	0	0	Раскатанные корочки и загрязнения (неметаллические включения). Трещины гл. до 20 мм

Из приведенных в таблице данных видно, что макроструктура исследуемого образца сляба характеризуется следующими нормируемыми дефектами: центральная пористость и точечная неоднородность на уровне 2,0 и 2,0 балла соответственно; подусадочная ликвация – 0,5 балла. В соответствии с ДСТУ 8975-2019 методом сравнения со шкалами.- все нормируемые дефекты находятся в допустимых пределах ( 0-5 баллов) Также в при поверхностной зоне по одной из боковых и по широким граням наблюдаются не нормируемые (как правило недопустимые) дефекты макроструктуры типа раскатанные корочки и загрязнения (неметаллические включения) глубиной до 10,0 мм. По одной из боковых граней наблюдается трещина глубиной до 20 мм.

**ЗАПОРІЖСТАЛЬ**

**Продовження Додатку М**  
**Дослідження макроструктури зразків катаного слябу розміром 252x1500 мм плавки 130751 А340**

Р

**ИССЛЕДОВАНИЕ № 48 – 23 от 13.04.2023г**  
**макроструктуры образцов катаного сляба сечением 252 x 1500 мм**  
**плавки 130751 (№ сляба при прокате 10) марки стали А340.**

Образцы отобраны от слябов в поперечном сечении с целью исследования качества макроструктуры. Отобранные образцы представляют собой отдельные фрагменты сляба (5 частей), что в целом представляет полное поперечное сечение профиля

Таблица 1 – Характеристика макроструктуры образцов слябов

№ плавки	Марка стали	Центр. пористость	Точечная неоднородность	Общая пятнистая ликвация	Краевая пятнистая ликвация	Ликвационный квадрат	Под-усадочная ликвация	Под-корковые пузыри	Меж-кристаллитные трещины	Послойная кристаллизация	Светлая полоска (контур)	Не Нормируемые дефекты
130751	А340	1.5	2.0	0	0	0	0	0	0	0	0	нет

Из приведенных в таблице данных видно, что макроструктура исследуемого образца сляба характеризуется следующими нормируемыми дефектами: центральная пористость и точечная неоднородность на уровне 1,5 и 2,0 балла соответственно. В соответствии с ДСТУ 8975-2019 методом сравнения со шкалами.- все нормируемые дефекты находятся в допустимых пределах (0-5 баллов)

**Продовження Додатку М**  
**Дослідження макроструктури зразків катаного слябу розміром 252x1500 мм плавки 130690 А340**

**ИССЛЕДОВАНИЕ № 49 – 23 от 13.04.2023г**  
**макроструктуры образцов катаного сляба сечением 252 x 1500 мм**  
**плавки 130751 (№ сляба при прокате 6) марки стали А340.**

Образцы отобраны от слябов в поперечном сечении с целью исследования качества макроструктуры. Отобранные образцы представляют собой отдельные фрагменты сляба (5 частей), что в целом представляет полное поперечное сечение профиля

Таблица 1 – Характеристика макроструктуры образцов слябов

№ плавки	Марка стали	Центр. пористость	Точечная неоднородность	Общая пятнистая ликвация	Краевая пятнистая ликвация	Ликвационный квадрат	Подсадочная ликвация	Подкорковые пузыри	Межкристаллитные трещины	Послойная кристаллизация	Светлая полоска (контур)	Не Нормируемые дефекты
130751	А340	Остатки усад-ки	3,0	0	0	0	0	0	0	0	0	Раскатанные корочки и загрязнения (неметаллические включения) гл. до 25 мм.

Из приведенных в таблице данных видно, что макроструктура исследуемого образца сляба характеризуется наличием внутреннего недопустимого дефекта – остатков усадочной раковины в виде грубых шлаковых включений в центральной части сечения; из нормируемых дефектов наблюдается - точечная неоднородность на уровне 3,0 балла. Также в приповерхностной зоне наблюдаются не нормируемые (как правило недопустимые) дефекты макроструктуры типа раскатанные корочки и загрязнения (неметаллические включения) глубиной до 25,0 мм. Единичные растравы по неметаллическим включениям наблюдаются на глубине 30 – 40 мм от поверхности.

## Продовження Додатку М

### Дослідження макроструктури зразків катаного слябу розміром 150x1370 мм плавки 130716 А320

#### ИССЛЕДОВАНИЕ № 50 – 23 от 14.04.2023г

макроструктуры образцов катаного сляба сечением 150 x 1370 мм плавки 130716 (№ сляба при прокате 2) марки стали А320.

Образцы отобраны от слябов в поперечном сечении с целью исследования качества макроструктуры. Отобранные образцы представляют собой отдельные фрагменты сляба (5 частей), что в целом представляет полное поперечное сечение профиля

Таблица 1 – Характеристика макроструктуры образцов слябов

№ плавки	Марка стали	Центр. пористость	Точечная неоднородность	Общая пятнистая ликвация	Краевая пятнистая ликвация	Ликвационный квадрат	Подусадочная ликвация	Подкорковые пузыри	Межкристаллитные трещины	Послойная кристаллизация	Светлая полоска (контур)	Не Нормируемые дефекты
130716	А320	2	2,5	0	0	0	1,0	0	0	0	0	Раскатанные корочки и загрязнения (неметаллические включения)

Из приведенных в таблице данных видно, что макроструктура исследуемого образца сляба характеризуется следующими нормируемыми дефектами: центральная пористость и точечная неоднородность на уровне 2,0 и 2,5 балла соответственно; подусадочная ликвация – 1,0 балла; . В соответствии с ДСТУ 8975-2019 методом сравнения со шкалами. - все нормируемые дефекты находятся в допустимых пределах ( 0-5 баллов). Также наблюдаются не нормируемые (как правило недопустимые) дефекты макроструктуры типа раскатанные корочки и загрязнения (неметаллические включения) глубиной до 10,0 мм.

## Продовження Додатку М

### Дослідження макроструктури зразків катаного слябу розміром 150x1370 мм плавки 130716 А320

#### ИССЛЕДОВАНИЕ № 51 – 23 от 14.04.2023г

макроструктуры образцов катаного сляба сечением 150 x 1370 мм

плавки 130716 (№ сляба при прокате 5) марки стали А320.

Образцы отобраны от слябов в поперечном сечении с целью исследования качества макроструктуры. Отобранные образцы представляют собой отдельные фрагменты сляба (5 частей), что в целом представляет полное поперечное сечение профиля

Таблица 1 – Характеристика макроструктуры образцов слябов

№ плавки	Марка стали	Центр. пористость	Точечная неоднородность	Общая пятнистая ликвация	Краевая пятнистая ликвация	Ликвационный квадрат	Подусадочная ликвация	Подкорковые пузыри	Межкристаллитные трещины	Послойная кристаллизация	Светлая полоска (контур)	Не Нормируемые дефекты
130716	А320	2	2,5	0	0	0	0,5	0	0	0	0	Раскатанные корочки и загрязнения (неметаллические включения)

Из приведенных в таблице данных видно, что макроструктура исследуемого образца сляба характеризуется следующими нормируемыми дефектами: центральная пористость и точечная неоднородность на уровне 2,0 и 2,5 балла соответственно; подусадочная ликвация – 0,5 балла. В соответствии с ДСТУ 8975-2019 методом сравнения со шкалами - все нормируемые дефекты находятся в допустимых пределах (0-5 баллов). Также в приповерхностной зоне практически по всему периметру сляба наблюдаются не нормируемые (как правило недопустимые) дефекты макроструктуры типа раскатанные корочки и загрязнения (неметаллические включения) глубиной до 10,0 мм.

## Додаток Н

### Висновки макроструктури

#### Выводы

Следует отметить, что макроструктура сляба характерна для головной части слитка и её особенность заключается в не типичности внешнего вида дефектов (дефекты имеют продолговатую форму и вытянуты в сторону узких граней), что связано с особенностями формирования раската сляба прямоугольного сечения с отношением ширины к толщине примерно 1:7.

Согласно требований ДСТУ 8975-2019 «Сталь. Методи випробування та оцінювання макроструктури» (аналог ГОСТ 10243 «Сталь. Методы испытаний и оценки макроструктуры»). Оценка нормируемых дефектов макроструктуры в исследовательских целях также осуществлялась в соответствии с ДСТУ 8975-2019 методом сравнения со шкалами.- все нормируемые дефекты находятся в допустимых пределах ( 0-5 баллов) и не превышают 3 бал оценивания. ; Также в приповерхностной зоне практически по всему периметру сляба наблюдаются не нормируемые (как правило недопустимые) дефекты макроструктуры типа раскатанные корочки и загрязнения (неметаллические включения) глубиной от 10,0 мм. до 25 мм., Единичные растравы по неметаллическим включениям наблюдаются на глубине 30 – 40 мм от поверхности. В исследовании №47 обнаружена трещина глубиной до 20 мм. В исследовании №49 присутствуют остатки усадки.

**Додаток О**  
**Порівняльна характеристика темплетів товарних слябів**

**Сравнительная характеристика**

№ п/п	№ плавки	сечение, мм	марка	№ сляба при прокатке	Маркировка темплетов	№ Исследования	Не Норми-руемые дефек-ты	примечание
1	0130690	150x1500	B100	1	690 1	47	Раскатанные корочки и загрязнения (неметаллические включения). Трещины гл. до 20 мм	трещина глубиной до 20 мм.
2	0130690	150x1500	B100	10	690 10	46	Раскатанные корочки и загрязнения (неметаллические включения) гл. до 11 мм	
3	0130716	150x1370	A320	2	716 2	50	Раскатанные корочки и загрязнения (неметаллические включения) гл. до 10 мм	
4	0130716	150x1370	A320	5	716 5	51		
5	0130751	252x1500	A340	6	751 6	49	Раскатанные корочки и загрязне-ния (неметаллические включения) гл. до 25 мм.	Остатки усадки
6	0130751	252x1500	A340	10	751 10	48	нет	



## Додаток Х Сертифікат RINA


**CERTIFICATE OF APPROVAL OF MANUFACTURERS OF  
MATERIALS**

No. FAB001023XY

This is to certify that the manufacture of the product identified below is in compliance with the applicable requirements of the RINA Rules for the Approval of Manufacturers of Materials.

<i>Description</i>	<b>Hull structural steel slabs</b>
<i>Type</i>	<b>Slabs for normal and higher strength hull structural steels</b>
<i>Manufacturer</i>	<b>PJSC "Zaporizhstal"</b>
<i>Place of manufacture</i>	<b>72 Pivdenne Shose Street 69008 Zaporizhzhya UKRAINE</b>
<i>Reference standards</i>	<b>RINA Rules for the approval of manufacturers of materials</b>

Issued in RINA Ukraine Survey Station on September 6, 2023. This Certificate is valid until May 25, 2028



*Andriy Nikitenko*  
RINA Services S.p.A.  
Andriy Nikitenko

This certificate consists of this page and 1 enclosure



## Додаток Ц Сертифікат BV

		Machine & Equipment	Certificate number: 044259112V File number: 06114121312028 Product code: 0000-4
THE BUREAU VERITAS GROUP HAS AUTHORITY FOR THE ISSUANCE OF CERTIFICATES OF APPROVAL IN THE FIELD OF			<a href="http://WWW.BV.COM">WWW.BV.COM</a>
<b>APPROVAL CERTIFICATE for MATERIALS</b>			
This certificate is issued to:			
<b>Public Joint Stock Company "Integrated Iron and Steel Works «Zaporizhstal»</b> ЗАПОРІЗЬКА ІЛІУМ - ІРІУМ			
For the type of product:			
<b>SEMI-FINISHED PRODUCTS</b>			
Slabs intended for rolled products in all grades A, B, C, E AH3200, CH3200 and EH3200			
<b>Representative:</b> Bureau Veritas Bureau for Testing and Welding for the Client Bureau of Zaporizhstal			



## Продовження Додатку П Протокол дослідження мікроструктури

ПАО «ЗАПОРІЖСТАЛЬ»

ЦЕНТР ПО ІСПЫТАНИЯМ И АТТЕСТАЦИИ ПРОДУКЦИИ КОМПАНИА	<b>ИССЛЕДОВАНИЕ</b> <b>№16013</b>	ЛАБОРАТОРИЯ МЕТАЛЛОВЕДЕНИЯ
---	--------------------------------------	-------------------------------

Объект исследования: образцы товарных слэбов

Цель исследования: исследовать микроструктуру.

Получено от УК расп. №57 от 13.03.2023г.

В соответствии с распоряжением №57 от 13.03.2023г «относительно нормативной головной обрези на товарных слэбах сечением 150(±5)×1370-1500мм и отбора проб на микроструктуру» на исследование в ЦИАПК переданы образцы товарных слэбов.

В представленных на исследовании образцах исследовать микроструктуру. Маркировка образцов и результаты исследований приведены в таблицах 1.

Таблица 1. - Маркировка образцов

№ плавки	Марка стали	№ слэба	Размер, мм		Неметаллургические включения бази по шкалам, ДСТУ 8966				
			толщина	ширина	№ образцы				
					6	7	8	9	10
130690	В-100	1	150	1300	С 3-4 ОС 3	С 3-4 ОС 3	С 3-4	С 4-5	С 3-4
130690	В-100	10	150	1500	С 4	С 4	С 3-4	С 3-4 ОС 2	С 3-4 ОС 2
130716	А-320	2	150	1370	С 3 ОС 2	С 3 ОС 3	С 4	С 3	С 3-4
130716	А-320	5	150	1370	С 4 ОС 2	С 4-5 ОС 2	С 4	С 5	С 5
130852	А-320	13	150	1370	С 4-5 ОС 3	С 4-5	С 4-5	С 3-4	С 4-5 ОС 2

130817	A-340	15	150	1500	C 3 OC 3	C 3 OC 2	C 3 OC 3	C 3 OC 2	C 3 OC 3
130820	A-370	3	150	1370	C 4-5 OC 3	C 4 OC 3	C 4-5 OC 2	C 4-5	C 4-5
130827	A-370	8	150	1370	C 4-5	C 4-5	C 4-5	C 5 OC 3	C 4-5 OC 3
130836	A-340	9	252	1500	C 4-5 OC 2	C 4 OC 2	C 4	C 4-5	C 4-5
130836	A-340	12	252	1500	C 5 OC 3	C 4-5 OC 3	C 4-5	C 4-5	C 4-5 OC 3

Примечание:

OC – овалы строчными

C – суффиксы

**Начальник ЦНАПК**

Болоник  
Виктор  
Александрович

Подпись  
инженера-металловеда  
высшей категории

**В.А. Болоник**

**Начальник лаборатории металловедения**

Голышев  
Андрей  
Евгеньевич

Подпись  
инженера-металловеда  
высшей категории

**А.В. Емстафеев**

**Инженер I категории**

Кана  
Николай  
Иванович

Подпись  
инженера I категории

**Н.В. Кана**

24.04.2023г.

# Додаток Р Протокол дослідження хімічного складу

**WBC - Department**  
 Center for testing and certification of products of the Food Chain  
 Report No. 189  
 of chemical analysis of a food sample from the table  
 02496\_1  
 Date of receipt of sample: 20.02.2022  
 Sample test date: 20.02.2022  
 Sample number: 0119419  
 Instrument used: Optima 8000 spectrometer (PerkinElmer) serial number 112098  
 Calibration certificate No. 5.000.77 is valid until 15.02.21  
 Reagent used: analytical grade HNO<sub>3</sub> and H<sub>2</sub>O  
 Standard for the product: analytical grade reagents for the supply of state TMO TMO 0.10011  
 Filter used: 0.45 μm  
 Certificate No.: 0010194208

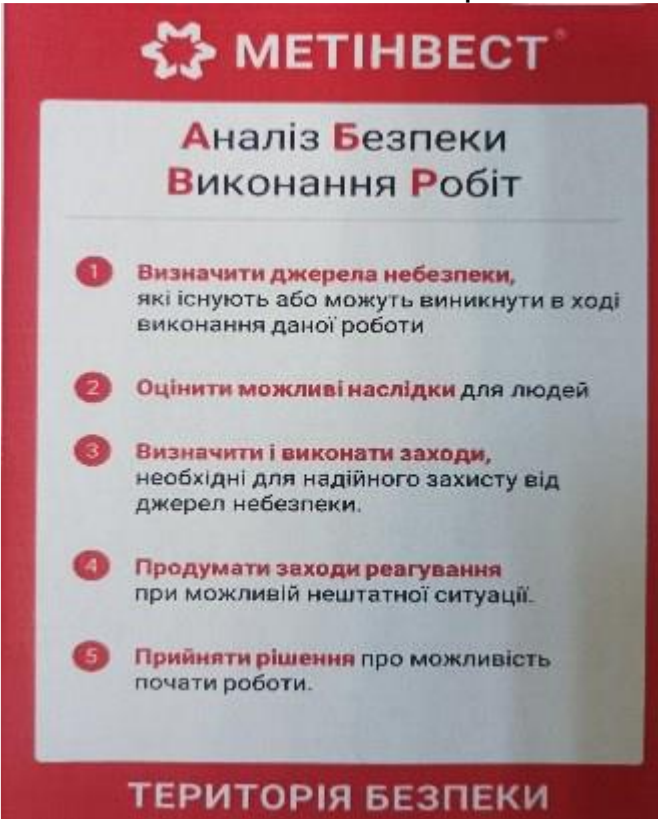
**Test results of chemical analysis**

No. of the sample	The test results of the product														
	C	Ma	F	S	Ca	Mg	Cr	Mn	Zn	Pb	Mo	V	Nb	Li	
0119419	0.1	1.07	0.05	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	
Reference value, mg/kg of dry matter	0.240	0.15-0.18	1.15-1.60	0.020	0.020	0.007	0.007	0.007	0.150-0.24	0.0070	0.0005	0.005	0.0010	0.0005	

Director General of the Laboratory: *[Signature]*  
 Head of the testing department: *[Signature]*  
 O.I. Panchenko  
 A.K. Lashko



Додаток Т  
Аналіз безпеки виконання робіт



**МЕТІНВЕСТ®**

### Аналіз Безпеки Виконання Робіт

- 1** **Визначити джерела небезпеки,** які існують або можуть виникнути в ході виконання даної роботи.
- 2** **Оцінити можливі наслідки** для людей.
- 3** **Визначити і виконати заходи,** необхідні для надійного захисту від джерел небезпеки.
- 4** **Продумати заходи реагування** при можливій нештатній ситуації.
- 5** **Прийняти рішення** про можливість почати роботи.

**ТЕРИТОРІЯ БЕЗПЕКИ**

## Додаток У

### Кардинальні правила з охорони праці та промислової безпеки

#### ПАТ «Запоріжсталь»

# Кардинальні правила

ПАТ «Запоріжсталь»

з охорони праці  
та промислової безпеки

## Дотримання

Кардинальних правил дозволить вам зберегти життя і здоров'я і реалізувати право на безпечну працю.

## ПОРУШЕННЯ

Кардинальних правил, виявлене в ході аналізу події, буде підставою для дисциплінарного стягнення аж до звільнення співробітника.

### ЗАБОРОНЯЄТЬСЯ

- ⊘ Знаходження на території підприємства в стані алкогольного/наркотичного сп'яніння.
- ⊘ Навмисне псування, зняття, виведення з ладу захисних пристроїв і огорожень, а також вхід за захисні огорожі, в позначену небезпечну зону.
- ⊘ Несанкціоноване використання або зняття блокуючих пристроїв (БМП, ключ / жетон-бирка).
- ⊘ Доручення роботи, виконання якої свідомо припускає порушення Кардинальних правил.
- ⊘ Свідоме приховування факту серйозного випадку або виробничої травми.
- ⊘ Виконання робіт на висоті більше 5 метрів від поверхні ґрунту, перекриття або робочого настилу без застосування засобів захисту від падіння з висоти.
- ⊘ Знаходження в газонебезпечних місцях I та II груп та виконання в них газонебезпечних робіт без наряду-допуску і газозахисних апаратів.
- ⊘ Прохід під вагонами, автозчепами, а також через конвеєри, мульдіві потяги, візки та інше подібне обладнання в місцях, не обладнаних перехідними майданчиками.
- ⊘ Виконання робіт в підземних спорудах (тунелях, каналах, колодязях, резервуарах) без наряду-допуску та перевірки стану повітряного середовища на вміст шкідливих речовин.
- ⊘ Очищення (прибирання), усунення несправностей на працюючому обладнанні.

## Додаток Ф

## Витяг з реєстру ідентифікації небезпек та оцінки ризиків працівників лабораторії металознавства ЦВАПК

№ п/п	Операція	Професія	Джерело небезпеки	Небезпека	Умова виникнення	Наслідок безпеки	Існуючий ризик				Категорія ризику
							У	П	ВР	Р	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Рух на роботу та з роботи, рух територією	Керівник, інженер, службовець (секретар)	сходи	Падіння.	Н	травма	5	10	10	500	П
			транспорт	Наїзд.	Н	травма	10	10	10	1000	П
			дорога	Падіння.	Н	травма	5	10	10	500	П
			гладка або слизька поверхня	Падіння.	Н	травма	5	10	20	1000	П
			предмети	Обвалення предметів.	Н	травма	5	10	10	500	П
2		Керівник,	Орг. техніка	Електричний струм.	Н	травма	10	10	20	2000	П

	Робота з документами	інженер, службовець (секретар)		Озон	Н	проф. захворювання	5	10	5	250	П
				Електромагнітне поле	Н	проф. захворювання	5	10	20	1000	П
				Електромагнітне випромінювання.	Н	проф. захворювання	10	10	20	2000	П
3	Користування електро побутовими приладами	Керівник, інженер, службовець (секретар)	побутові прилади	Електричний струм.	Н	травма	5	10	10	500	П
				Пожежа.	А	травма	5	10	10	500	П
4	Робота із пробамі металу	інженер, службовець	Проби металу	Гострі/ріжучі кромки проб металу	Н	травма	5	10	20	1000	П

		(лаборант )									
				Падіння проб металу	Н	травма	5	6	20	600	П
			Інструмент	Падіння інструменту	Н	травма	5	2	20	200	П
5	Підготовка металографічних зразків на пресі PR-32	інженер	прес PR-32	Електричний струм	Н	травма	1	3	20	60	П
					А	травма	5	1	5	25	П
					А	травма	5	1	5	25	П
					Н	травма	1	3	20	60	П
				Стиснене повітря							
				Підвищена температура штампування та деталей преса							

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
6	Зйомка зразків на рентгенівському апараті D/MAX2200	інженер	Рентгенівський апарат D/MAX2200	Електричний струм	Н	травма	5	1	5	25	П
					А	травма	10	1	20	200	П
				Вплив іонізуючого випромінювання	Н	Проф-захворювання	10	1	10	100	П
					А	Проф-захворювання	25	1	20	500	П
				Вплив продуктів іонізації атмосфери	Н	Проф-захворювання	10	3	5	150	П
	Травлення зразків для дослідження	Інженер, службовець	Хімічні речовини	Вплив їдких та агресивних речовин	Н	травма	1	10	10	100	П

ня мікроструктури на оптичних мікроскопах	(лаборант)	Хімічний посуд	гострі кромки (уламки)	А	Травма	5	1	5	25	П
		Установка електролітичного травлення	Електричний струм	Н	травма	5	2	10	100	П
				А	травма	5	1	5	25	П
Робота на оптичних мікроскопах	інженер, службовець (лаборант)	Мікроскопи	Напруга очей	Н	Проф-захворювання	1	20	40	800	П
			Електричний струм	Н	травма	5	3	20	300	П
		А		травма	5	1	5	25	П	
Травлення зразків для дослідження макроструктури	Інженер / службовець (лаборант)	Хімічні речовини	Вплив їдких та агресивних речовин	Н	травма	5	6	40	1200	П
				А	травма	5	1	10	50	П
		електропіч	підвищена температура	Н	травма	5	2	10	100	П

				Електричний струм	Н	травма	5	2	10	100	П
					А	травма	5	1	5	25	П
7	Прибирання робочих місць	інженер	Хімічні речовини	Вплив їдких та агресивних речовин	Н	травма	1	10	5	50	П
		службовець (лаборант)			Н	травма	1	10	10	100	П