

Облікова картка ДіР



I. Загальні відомості

Державний обліковий номер: 0226U003068

Державний реєстраційний номер: 0123U100374

Особливі позначки: відкрита

Дата реєстрації: 16-03-2026

II. Етап виконання ДіР

Номер етапу: 1

Назва етапу: Підвищення механічних властивостей сталевого прокату конструкційного призначення формуванням нерівновісних структурних станів термічною та термомодеформаційною обробками

Початок етапу: 01.2023

Закінчення етапу: 12.2025

Вид звітнього документа: Остаточний звіт

III. Відомості про виконавця ДіР

Повне найменування юридичної особи (або ПІБ фізичної особи): Державний вищий навчальний заклад "Приазовський державний технічний університет"

Код за ЄДРПОУ: 02070812

Місцезнаходження: вул. Університетська, Маріуполь, 87555, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

Розмір організації: Понад 250 співробітників

Телефон: 380984840533

IV. Відомості про співвиконавців ДіР

V. Відомості про замовника ДіР

Повне найменування юридичної особи (або ПІБ фізичної особи): Міністерство освіти і науки України

Код за ЄДРПОУ: 38621185

Місцезнаходження: проспект Берестейський, Київ, 01135, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Кабінет Міністрів України

Ідентифікатор ROR:

Розмір організації:

Телефон: 380444813221

VI. Джерела, напрями та обсяги фінансування ДіР

Підстава для проведення ДіР: 34 - Договір (замовлення) з міністерством, іншим центральним органом виконавчої влади, академією наук (головним розпорядником бюджетних коштів на проведення ДіР)

Напрямок фінансування: 2.2 - Прикладні наукові дослідження і науково-технічні (експериментальні) розробки

Джерела фінансування

7713 - Кошти загального фонду державного бюджету

Код програмної класифікації видатків і кредитування (КПКВК): 220 1040

Фактичний обсяг фінансування (тис. грн.): 2859.100

VII. Відомості про ДіР

Назва роботи українською:

Підвищення механічних властивостей сталевого прокату конструкційного призначення формуванням нерівновісних структурних станів термічною та термодеоформаційною обробками

Назва роботи англійською:

Increasing the mechanical properties of rolled steel for structural purposes by the formation of non-equilibrium structural states by heat treatment and thermo-mechanical treatment

Реферат українською:

Механізм структуроутворення та формування властивостей в SLM-друкованих біомедичних сплавах при деформаційно-термічній обробці. Розробка технологічних рішень для підвищення ефективності виробництва товстостілового прокату з конструкційних сталей через впровадження ресурсозбережних режимів термічної та термодеоформаційної обробки. Оптична та електронна (сканувальна, трансмісійна) мікроскопія, енерго-дисперсійна спектроскопія, рентгеноструктурний аналіз, методи EBSD та EPMA, механічні випробування, наноіндентування, комп'ютерне термодинамічне моделювання. В роботі досліджено вплив параметрів техпроцесу на властивості плоского прокату; встановлено, що використання слябів товщиною 300 мм для листів 25–40 мм (API 5L X70) забезпечує високий ступінь обтиску, подрібнення зерна та стабілізацію властивостей по перетину: пластичність зростає до 26–28%, низькотемпературна в'язкість – у 1,5–1,8 раза, показник DWTT – у 1,6–2,1 раза. Оптимізовано режими термомеханічної контрольованої прокатки (ТМКП) з прискореним охолодженням (ПО) для низьковуглецевих мікролегованих сталей. Це формує дрібнозернисту феритно-бейнітну структуру з мартенситно-аустенітними комплексами, що відповідає вимогам X70 ($\sigma_{0,2}$ =540–580 МПа, σ_B =630–660 МПа, DWTT – 80%). Застосування ТМКП + ПО дозволяє переводити сталі категорії S355N до рівня S500QL1 з покращенням в'язкості при –40...–60 °C та замінювати традиційне пічне гартування високоміцних сталей S690QL комбінованою обробкою з відпуском. Це забезпечує стабільні показники ($\sigma_{0,2}$ = 740 МПа, σ_B = 830 МПа) при економії природного газу до 300 м³/т. Оптимізована нормалізаційна прокатка з міжпрокатними паузами стабілізує властивості плит товщиною до 100 мм (235–355 МПа) без додаткової нормалізації в печі. Для TRIP-assisted сталей доведено перевагу процесу Quenching and Partitioning (Q&P) над ізотермічним гартуванням: міцність вища на ~50 МПа, в'язкість – у 1,4–2 рази завдяки збільшенню об'ємної частки залишкового аустеніту та дисперсності мікроструктури.

Реферат англійською:

Research Objective: development of technological solutions to increase the efficiency of heavy plate production from structural steels through the implementation of resource-saving thermal and thermodeformational processing modes. Research Methods: optical and electron (scanning, transmission) microscopy, energy-dispersive spectroscopy, X-ray diffraction analysis, EBSD and EPMA methods, mechanical testing, nanoindentation, and computer thermodynamic modeling. Main Results: The study examines the influence of manufacturing process parameters on the properties of flat products. It was established that using 300 mm thick slabs for 25–40 mm plates (API 5L X70) ensures a high reduction ratio, grain refinement, and stabilization of properties across the cross-section: plasticity increases to 26–28%, low-temperature toughness – by 1.5–1.8 times, and the DWTT index – by 1.6–2.1 times. The modes of thermomechanical controlled processing (TMCP) with accelerated cooling (AcC) for low-carbon microalloyed steels were optimized. This forms a fine-grained ferrite-bainite structure with martensite-austenite complexes, meeting X70 requirements (YTS=540–580 MPa, UTS=630–660 MPa, DWTT – 80%). The application of TMCP + AcC allows upgrading S355N category steels to the S500QL1 level with improved toughness at –40...–60 °C and replacing traditional furnace quenching of S690QL high-strength steels with a combined treatment and tempering. This ensures stable performance (YTS=740 MPa, UTS= 830 MPa) while saving up to 300 m³/ton of natural gas. Optimized normalizing rolling with inter-pass pauses stabilizes the properties of

plates up to 100 mm thick (235-355 MPa) without additional furnace normalization. For TRIP-assisted steels, the advantage of the Quenching and Partitioning (Q&P) process over isothermal quenching was proven: strength is ~50 MPa higher, and toughness increases by 1.4-2 times due to a higher volume fraction of retained austenite and microstructure refinement.

Індекс УДК: 533.7, 539.216; 539.22; 538.91Ф405; 548; 620.18 , 533.9.004.14; 621.039.6 , 621.341.572

Коди тематичних рубрик: 29.17.15.07, 29.19.04, 29.27.51

Керівники роботи

Власне Прізвище Ім'я По-батькові: Сілі Іван Іванович

Науковий ступінь: к. т. н.

Вчене звання: доц.

Ідентифікатор ORCID ID:

Додаткова інформація:

VIII. Наукова (науково-технічна) продукція (НТП)

Назва НТП українською: Технологія виробництва товстолистового прокату з конструкційних сталей із застосуванням ресурсозбережних режимів ТМКП, прискореного охолодження та Q&P-процесу; оптимізовані режими термодформаційної обробки низьковуглецевих мікролегованих сталей (класів X70, S355N, S500QL1, S690QL) та TRIP-assisted сталей; методика стабілізації механічних властивостей плит товщиною до 100 мм шляхом нормалізаційної прокатки з міжпрокатними паузами.

Назва НТП англійською: Manufacturing technology for heavy plate production from structural steels using resource-saving TMCP modes, accelerated cooling, and the Q&P process; optimized thermodeformational processing modes for low-carbon microalloyed steels (grades X70, S355N, S500QL1, S690QL) and TRIP-assisted steels; methodology for stabilizing the mechanical properties of plates up to 100 mm thick through normalizing rolling with inter-pass pauses.

НТП, яку передбачалося створити: Створено

Причини, через які НТП не було створено:

Отримані результати: Матеріали, Аналітичні матеріали

Галузь застосування: Секція С – переробна промисловість, розділ 24 – металургійне виробництво, розділ 28 – виробництво машин і устаткування

Реєстраційний номер картки технології:

Опис НТП: Розроблена технологія базується на впровадженні енергоефективних режимів ТМКП з прискореним охолодженням та процесу Q&P. Використання товстих слябів (300 мм) при прокатці листів API 5L X70 забезпечує подрібнення зерна та підвищення показника DWTT у 1,6-2,1 раза. Оптимізовані режими термодформаційної обробки дозволяють переводити сталі категорії S355N до рівня S500QL1 та замінювати пічне гартування сталей S690QL комбінованою обробкою з відпуском, що забезпечує міцність пв п 740 МПа при економії газу до 300 м3/т. Запропонована нормалізаційна прокатка з контрольованими паузами стабілізує властивості плит товщиною до 100 мм без додаткової термічної обробки. Для TRIP-assisted сталей реалізовано перевагу Q&P-процесу, що підвищує ударну в'язкість у 1,4-2 рази за рахунок керування часткою залишкового аустеніту. Продукція характеризується покращеним комплексом міцності, пластичності та холодостійкості при зниженні собівартості виробництва.

Соціально-економічна спрямованість НТП: Створення принципово нової продукції (матеріалів, технологій тощо) для забезпечення експортного потенціалу та заміщенню імпорту, Поліпшення стану навколишнього середовища, Економія матеріалів

Вплив НТП на довкілля:

Впровадження НТП: Не впроваджено

Практична реалізація НТП

Початок етапу: 06.2026

Закінчення етапу: 12.2027

Споживачі продукції: Підприємства машинобудівної та металургійної галузей промисловості України.

Перспективні ринки: Україна, Польща, Словаччина.

Характер співробітництва з інвестором

Потрібний обсяг інвестицій, тис. грн.:

Права, що надаються інвестору після завершення роботи:

Наявність бізнес-плану: Ні

Техніко-економічне обґрунтування:

Потенціальний обсяг продажу, тис. грн.:

Очікуваний термін окупності (років): 4

Додаткова інформація:

IX. Бібліографічний опис

- Статті: 1. Zurnadzhy V., Efremenko V., Halfa H., Efremenko B., Azarkhov A., Chabak Y., Zaichuk N. Effect of Austempering Parameters on Microstructure and Tensile/Impact Behaviours of Micro-Alloyed TRIP-Assisted Steel. Materials Science Forum. 2023. Vol. 1098. P. 3–12. Trans Tech Publications, Ltd. <https://doi.org/10.4028/p-xgxbj9 Q4>
2. Zurnadzhy V., Chabak Y., Efremenko V., Efremenko A., Podobova M. Structure and mechanical properties of V, Nb-Added TRIP-assisted steel after Q&P treatment with near Ac3 austenitization. Lecture Notes in Mechanical Engineering. 2024. Springer, P. 346–355 https://doi.org/10.1007/978-3-031-42778-7_32 Q4
3. Zurnadzhy V., Stavrovskaya V., Chabak Y., Petryshynets I., Efremenko B., Wu K., Efremenko V., Brykov M. Enhancing the tensile properties and ductile-brittle transition behavior of the EN S355 grade rolled steel via cost-saving processing routes. Materials, 2024, 17, 1958. <https://doi.org/10.3390/ma17091958 Q2>
4. Zurnadzhy V., Chabak Yu., Petryshynets I., Efremenko A., Sili I., Sagirov R., Efremenko V. Advancing the ductile behaviour of heavy-wall API X70 pipeline steel by a “Slab/Sheet” thickness ratio increase. Manufacturing Technology, 2024, Volume 24 (5). P. 843–854. <https://doi.org/10.21062/mft.2024.090 Q2>
5. Kukhar V., Vasylevskyi O., Malii K., Zurnadzhy V., Efremenko B., Sili I. Development of Manufacturing Process for High-Chromium Steel Large Welding Roll. Defect and Diffusion Forum. 2024. vol. 430, P. 23–29. <https://doi.org/10.4028/p-S55ows Q4>
6. Zurnadzhy V., Chabak Y., Petryshynets I., Efremenko V., Brykov M., Efremenko A., Sagirov R., Kovbasiuk T., Effect of “TMCP/Accelerated Cooling” parameters on the microstructure and mechanical properties of 40 mm thick sheets of X70 steel grade produced from heavy slabs. Kovove Materialy. 2025. vol. 63 (1). P. 1–13. <https://doi.org/10.31577/km.2025.1.1 Q3>
7. Efremenko V.G., Chabak Yu.G., Petryshynets I., Sili I., Kovbasiuk T.M., Efremenko A.V., Brykov M.N., Dabalá M., Franceschi M., Halfa H., Lekatou A.G. Austempering vs. Q&P: Comparative effects on microstructure and mechanical properties of complex-alloyed TRIP-assisted steel, Materials Today Communications. 2025. Vol. 47. 113179, <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2025.113179. Q2>
8. Yuliia Chabak, Vera Stavrovskaya, Bohdan Efremenko, Ivan Sili, Vasily Efremenko, Tao Xia, Michail Brykov. Cost-effective S690QL steel sheet production: TMCP-based accelerated cooling as an alternative to furnace quenching. Metallurgical Research and Technology. 2025. 122 (6). 615. <https://doi.org/10.1051/metal/2025084 Q2>
9. Chabak Yu.G., Sili I.I., Efremenko B.V., Stavrovskaya V.E., Sagirov R.I., Efremenko V.G. Stabilization of low-temperature impact toughness in heavy structural steel plates by adjusting normalizing rolling parameters. Вісник Приазовського державного технічного університету. Серія: Технічні науки. 2025. Вип. 52. С. 93–101. <https://doi.org/10.31498/2225-6733.52.2025.350999> (фахове видання, категорія «Б»)
- Монографії та розділи монографій: 1. Єфременко В. Г., Зурнаджи В. І., Єфременко О. В., Грешта В. Л., Бриков М. М., Чабак Ю. Г. Структура та механічні властивості низьколегованих сталей з проявом TRIP-ефекту : монографія. Дніпро : Приазовський державний технічний університет, Луцьк: Вежа-Друк, 2024. – 196 с. ISBN

978-966-940-605-7. (9,15 авт. аркушів). [http://search.nbuv.gov.ua/cgi-](http://search.nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?Z21ID=&I21DBN=EC&P21DBN=EC&S21STN=1&S21REF=10&S21FMT=fullwebr&C21COM=S8)

[bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?Z21ID=&I21DBN=EC&P21DBN=EC&S21STN=1&S21REF=10&S21FMT=fullwebr&C21COM=S8](http://search.nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?Z21ID=&I21DBN=EC&P21DBN=EC&S21STN=1&S21REF=10&S21FMT=fullwebr&C21COM=S8)

2. Efremenko B.V., Stavrovskaya V.E., Sili I.I., Chabak, Y.G., Efremenko V.G. Effect of Rolling and Post-Rolling Cooling Strategies on Microstructure and Properties of S355 Structural Steel. In: Engineering Research: Perspectives on Recent Advances, Ed. H.M. Afefy. (2025). Vol. 11, p. 53-93. BP International (Kolkata, India).

<https://doi.org/10.9734/bpi/erpra/v11/6364>. ISBN 978-93-88417-77-8 (Print), ISBN 978-93-88417-44-0 (eBook) (4,50 авт. аркушів)

3. Zurnadzhy V.; Stavrovskaya V.; Chabak Y.; Petryshynets I.; Efremenko B.; Wu K.; Efremenko V.; Brykov M. Enhancing the Tensile Properties and Ductile-Brittle Transition Behavior of the EN S355 Grade Rolled Steel via Cost-Saving Processing Routes. In: Corrosion Behavior and Mechanical Properties of Metallic Materials. Ed. by Xiaogang Li. 2025. MDPI, Basel – Beijing – Wuhan – Barcelona – Belgrade – Novi Sad – Cluj – Manchester. ISBN 978-3-7258-3748-9 (Hbk), ISBN 978-3-7258-3747-2 (PDF). <https://>

4. Чабак Ю.Г., Ставровська В.Є, Єфременко Б.В., Сілі І.І., Єфременко В.Г. Ресурсозбережні технологічні рішення у виробництві товстолистового прокату: монографія. – Дніпро : Приазовський державний технічний університет, Луцьк: Вежа-Друк, 2025. – 135 с. (8,15 авт. аркушів) ISBN 978-966-940-762-7

Патенти: 1. Патент на винахід 128832 Спосіб зміцнювальної термічної обробки сталі. 21D 9/36 (2006.01), C21D 1/78 (2006.01), C21D 1/18 (2006.01), C21D 1/22 (2006.01). Автори: Зурнаджи В.І., Єфременко В.Г., Чабак Ю.Г., Єфременко Б.В., Зайчук Н.П., заявл. у 2022 02943 від 15.08.2022, опубл. 30.10.2024, бюл. № 44

2. Патент на корисну модель № 153385 Спосіб зміцнювальної термічної обробки сталі. 21D 9/36 (2006.01), C21D 1/78 (2006.01), C21D 1/18 (2006.01), C21D 1/22 (2006.01). Автори: Зурнаджи В.І., Єфременко В.Г., Чабак Ю.Г., Єфременко Б.В., Зайчук Н.П.; опубл. 28.06.2023, бюл. № 26/2023

3. Заявка на винахід а2026 00224 від 15.01.2026 «Спосіб термодформаційної обробки плит товщиною 51-100 мм із низьковуглецевої нелегованої сталі». Автори: Єфременко Б.В., Чабак Ю.Г., Сілі І.І., Цветкова О.В., Єфременко В.Г., Ставровська В.Є., Сагіров Р.І.

4. Заявка на корисну модель u2026 00223 від 15.01.2026 «Спосіб термодформаційної обробки плит товщиною 51-100 мм із низьковуглецевої нелегованої сталі» Автори: Єфременко Б.В., Чабак Ю.Г., Сілі І.І., Цветкова О.В., Єфременко В.Г., Джеренова А.В., Олійник І.М.

Х. Заключні відомості

Керівник юридичної особи

Ленцов Ігор Альбертович

к. т. н., доц.

Перелік осіб-виконавців

Єфременко Богдан Васильович

Голинський Михайло Андрійович

(н.с.)

Добряков Костянтин І.

Зурнаджи Вадим Іванович

(к. т. н., доцент)

Ковбасюк Тарас Михайлович

(к. т. н., доцент)

Колосок Едуард Володимирович

(с.д.)

Питльовська Дар'я І.

Чабак Юлія Геннадіївна

(д. т. н., професор)

Відповідальний за підготовку

Сілі Іван Іванович

облікових документів

Телефон

0961500078

Реєстратор

**Керівник відділу УкрІНТЕІ, що є
відповідальним за реєстрацію наукової
діяльності**



Юрченко Тетяна Анатоліївна