

УДК 621.771.252:669.045.001.8

Е. В. Парусов, к. т. н., с. н. с.; О. Б. Сичков, д. т. н., проф.; С. І. Губенко, д. т. н., проф.; І. М. Чуйко, к. т. н.

АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ОХОЛОДЖЕННЯ БУНТОВОГО ПРОКАТУ НА ЛІНІЇ СТЕЛМОР ВАТ «ММЗ»

У роботі проведено аналіз технологічних особливостей охолодження бунтового прокату в умовах ВАТ «Молдавський металургійний завод» (ВАТ «ММЗ»).

Сьогодні в умовах ВАТ «ММЗ» засвоєні унікальні технології виготовлення високоефективних видів бунтового прокату зі сталі, мікролегованої бором. Розробка раціональних режимів деформаційно-термічної обробки дозволила забезпечити виготовлення металопродукції нового покоління для метизної промисловості, зокрема бунтового прокату з низьковуглецевих і низьколегованих марок сталей, який піддається волочінню зі ступенями деформації 97,9...98,8 % без застосування пом'якшувальної термічної обробки, а також бунтового прокату з високовуглецевих марок сталей, призначеного для виготовлення сталевих арматурних канатів, дротяної арматури, металокорду, пружин тощо, здатного витримувати сумарний ступінь деформації до ~95 %.

Ключові слова: бунтовий прокат, технологія виготовлення, деформаційно-термічна обробка, мікролегування бором.

Вступ. Світове виробництво бунтового прокату (катанки) становить ~10...12 % від загального обсягу прокатної продукції, що пояснюється широким сортаментом і призначенням металовиробів, які виготовляють: пружини, металокорд, канати, дротяна арматура, голки, струни, фібра, кріпильні вироби, електроди та ін.

Традиційно одним з головних завдань під час виробництва бунтового прокату було зниження втрат металу в окаліні в процесі його охолодження. Водночас у більшості випадків успішне досягнення вищевказаного завдання призводило до погіршення структури та комплексу механічних властивостей готової металопродукції.

Процеси, що відбуваються під час охолодження металу після гарячої деформації, пов'язані з особливостями структурного стану деформованого аустеніту, який формується в процесі багаторазової високотемпературної деформації й дозволяє управляти як процесами зміцнення, так і знеміцнення вуглецевих сталей [1, 2, 3]. Це пов'язано зі специфікою застосовуваних режимів регульованого охолодження прокату в процесі деформаційно-термічної обробки і ґрунтується на фундаментальних положеннях фазових і структурних перетворень сталі.

Способи охолодження бунтового прокату, які застосовують сьогодні можна розділити на такі групи: охолодження водою в провідних трубах; двостадійне охолодження; охолодження у ванні з підігрітою водою й поверхнево активними речовинами; охолодження у воді і псевдозрідженому шарі; інші способи охолодження [4 – 10].

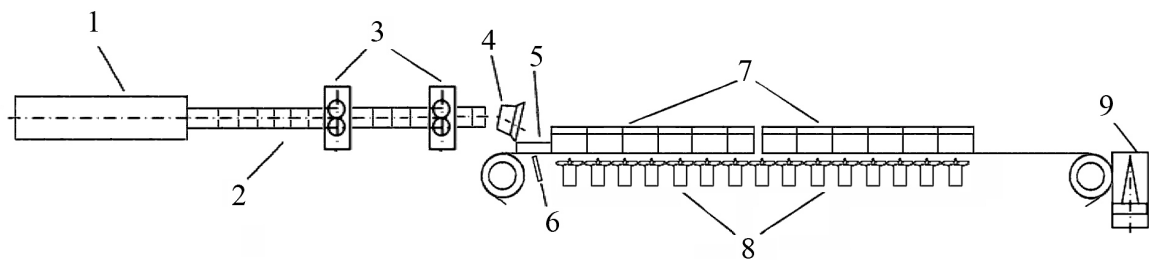
Найширше застосування в металургійній практиці отримав спосіб охолодження прокату, розроблений у 1962 році компаніями «Steel companies of Canada» (Канада) і «Morgan Construction Company» (США) [11]. Такий спосіб охолодження називають стелмор-процес, а технологічну ділянку охолодження бунтового прокату – лінією двостадійного водоповітряного охолодження Стелмор [11].

Мета роботи – аналіз технологічних особливостей охолодження бунтового прокату в умовах ВАТ «Молдавський металургійний завод» (ВАТ «ММЗ»).

Матеріали та методики досліджень. У якості матеріалу для досліджень вибрані промислові партії бунтового прокату з низьковуглецевих, низьколегованих (зварювального призначення) і високовуглецевих марок сталі. Методика досліджень полягала в оцінці

якісних показників гарячекатаного прокату і його технологічності на метизному переділі.

Результати досліджень та їх обговорення. Сутність стелмор-процесу полягає в такому (рис. 1): бунтовий прокат, який виходить з останньої чистової кліті дротяного блоку, піддають ступінчастому охолодженню водою від температури кінця прокатки до 750...900 °С (до ~ 550 °С для арматурного прокату в бунтах). Між секціями водяного охолодження відбувається вирівнювання температури по перетину металу, унаслідок чого забезпечується ефект переривчастого охолодження (принцип термоцикування). Після водяного охолодження відбувається розкладка прокату витками на транспортер, а під час подальшого переміщення витків настає друга стадія охолодження – повітряна, де застосовують дуттьові вентиляторні системи. Залежно від марочного сортаменту і призначення прокату швидкість переміщення витків на транспортері може змінюватися в широкому діапазоні швидкостей охолодження від 0,1 до 1,3 м/с [12].



1 – дротяний прокатний блок; 2 – ділянка водяного охолодження; 3 – трайбапарати; 4 – виткоутворювач; 5 – приймальний стіл витків прокату; 6 – пірометр; 7 – ділянка регульованого повітряного охолодження із сітчастим транспортером і теплоізоляційними кришками; 8 – дуттьові повітряні вентилятори (15 шт. потужністю по 15 кВт); 9 – шахта виткозбірника

Рис. 1. Принципова схема ділянки водно-повітряного охолодження бунтового прокату на лінії Стелмор дровового стану 320/150 ВАТ «ММЗ» (до модернізації)

Із метою отримання ефективної мікроструктури й оптимальних механічних властивостей прокату постійно вдосконалюють і створюють різноманітні комбінації вищеперерахованих способів охолодження прокату, серед яких і на лінії Стелмор. Зокрема, під час виробництва прокату зі середньо- і високовуглецевих марок сталі використовують лінію Стелмор із довжиною ділянки повітряного охолодження (транспортера) ~ 70 м, а для низьковуглецевих, легованих і складнолегованих сталей, призначених, зокрема, для виготовлення зварювального дроту, довжина ділянки повітряного охолодження на лінії Стелмор становить ~ 100 м і більше [13].

Конструктивні особливості лінії Стелмор дозволяють реалізовувати різні режими охолодження бунтового прокату:

1. Нормалізацію (охолодження на спокійному повітрі), при цьому всі термоізоляційні кришки над транспортером відчинені, дуттьові вентилятори вимкнені. Такий режим охолодження сприяє формуванню дрібнозернистої структури металу, що забезпечує досягнення оптимальних за міцністю і пластичністю показників для конструкційних марок сталі.

2. Уповільнене охолодження прокату з мінімальною швидкістю на транспортері (усі теплоізоляційні кришки зачинені). Це дозволяє отримати рекристалізовану грубозернисту структуру фериту в металі, для якої властиве зниження показників міцності й підвищення пластичності. Такий спосіб охолодження застосовують для виробництва низьковуглецевих марок сталі і сталей зварювального призначення, що піддаються істотним ступеням деформації ($\geq 90\%$) на метизному переділі, а також для виробництва прокату під холодну висадку і пружинного призначення з легованих марок сталі.

3. Прискорене повітряне охолодження прокату дуттьовими вентиляторами від температур

розкладки прокату на витки (теплоізоляційні кришки відкриті), а після досягнення необхідного температурного інтервалу – охолодження під зачиненими кришками й далі на спокійному повітрі. Зазвичай такий спосіб охолодження застосовують для виготовлення високовуглецевих марок сталі із метою отримання дисперсної перлітної структури, що дозволяє виключити патентування в процесі переробки такого прокату.

Перераховані режими охолодження бунтового прокату на лінії Стелмор засновані на диференціюванні швидкості охолодження й контрольованого керування процесами структуроутворення в сталях.

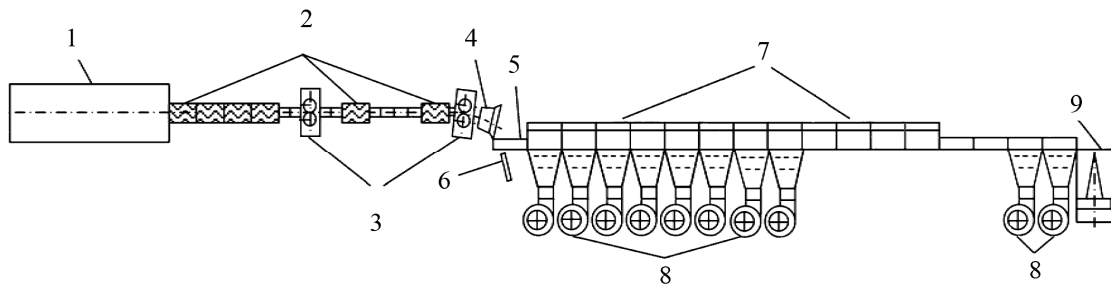
Одним із небагатьох металургійних підприємств, яке сьогодні володіє передовими технологічними процесами виробництва високоефективних видів бунтового прокату, найбільш затребуваних метизною галуззю є ВАТ «ММЗ», який був уведений в експлуатацію в січні 1985 р.

Спочатку підприємство було націлене на виробництво фасонного, арматурного та бунтового прокату рядового призначення зі сталі, виготовленої з металобрухту (основна шихта), який постачають із Молдови та України. Комбінований дрібносоротно-дротяний стан 320/150 ВАТ «ММЗ» проектувався ДП «УКРДІПРОМЕЗ» (м. Дніпропетровськ) за технічним завданням ІЧМ ім. З. І. Некрасова НАН України (м. Дніпропетровськ). Виготовлення і монтаж обладнання, а також пуско-налагоджувальні роботи виконувала компанія «SKET» (Магдебург, НДР).

У якості вихідного підкату для стану 320/150 було передбачено використання безперервнолітої заготовки перерізом 125x125 мм, яку виготовляють із застосуванням електродугової сталеплавильної печі. Проектний дротяний блок був розрахований на швидкість прокатки в чистовій кліті до 80 м/с, а для отримання необхідної мікроструктури й механічних показників використовували регульоване двостадійне охолодження прокату на лінії Стелмор, довжина ділянки повітряного охолодження якої становила ~ 75 м (від виткоутворювача до виткозбірника), довжина ділянки під теплоізоляційними кришками – 40 м.

Із метою освоєння виробництва нового якісного сортаменту сталей і переорієнтування реалізації металопродукції на ринки далекого зарубіжжя (європейські країни, США, країни Південної Америки, Австралії і тощо) необхідно було виключити низку конструкторських недоліків установленого обладнання.

Для підвищення продуктивності прокатного обладнання й можливості виробництва нових високоефективних видів бунтового прокату, що по праву вважають сьогодні металопродукцією нового покоління, на ВАТ «ММЗ» у період з 1997 по 2001 рр. була виконана масштабна реконструкція з модернізацією комбінованого прокатного стану у двонитковий. Це дозволило здійснити одночасну прокатку на сортовій і дротяній лініях. Довжина повітряної ділянки охолодження лінії Стелмор (рис. 2), яка не має на сьогодні аналогів, була збільшена до 147 м, у тому числі під теплоізоляційними кришками – до 120 м; сітчастий транспортер витків був замінений на багатокаскадний роликотий. Робоча швидкість прокатки склала 110 м/с.



1 – дротяний прокатний блок; 2 – ділянка водяного охолодження; 3 – трайбапарати; 4 – виткоутворювач; 5 – приймальний стіл витків прокату; 6 – пірометр; 7 – ділянка регульованого повітряного охолодження з роликівним транспортером і теплоізоляційними кришками; 8 – дуттьові повітряні вентилятори (6 шт. потужністю 160 кВт і 4 шт. по 55 кВт); 9 – шахта виткозбірника

Рис. 2. Принципова схема ділянки водно-повітряного охолодження бунтового прокату на лінії Стелмор дротового стану 320/150 ВАТ «ММЗ» після модернізації

Модернізація лінії Стелмор ВАТ «ММЗ» була зумовлена тим, що на той момент не було забезпечено виробництво бунтового прокату, який відповідав би контрактним вимогам споживачів, а також європейських та міжнародних стандартів. Аналіз літературних джерел, зокрема роботи [15], дозволив сформулювати мету та завдання щодо поліпшення якості бунтового прокату за рахунок удосконалення проектного обладнання, а також можливості регульованого управління режимами деформаційно-термічної обробки прокату в потоці безперервного дротового стану 320/150.

У результаті проведених заходів в умовах ВАТ «ММЗ» була введена в експлуатацію нова лінія двостадійного водо-повітряного охолодження, яка дозволила виконувати регульоване охолодження бунтового прокату різних марок сталі в широкому діапазоні швидкостей охолодження від 0,1 до 30 °С/с [16 – 23].

Охолодження бунтового прокату на модернізованій дротяній лінії (див. рис. 2) має такі особливості:

- водяне форсуночне охолодження прокату з ділянками для вирівнювання його температури по перетину;
- можливість реалізації охолодження витків прокату з різними швидкостями;
- замість сітчастого транспортера й ділянки від виткоукладчика до шахти виткозбірника довжиною 75 м встановлено роликівний каскадний транспортер довжиною 147 м, який складається з 14 зон із регульованими приводами, що забезпечує переміщення витків прокату зі швидкістю 0,1 до 1,3 м/с;
- довжина ділянки повітряного охолодження під теплоізоляційними кришками збільшена майже в три рази (на відміну від попередньої конструкції) і становить ~ 120 м;
- замість 15 дуттьових вентиляторів (див. рис. 1) потужністю по 15 кВт кожний встановлені 6 блоків струмінного охолодження потужністю по 160 кВт зі швидкістю обертання до 1500 хв⁻¹ і регульованою частотою, а також 4 дуттьових вентилятори потужністю по 55 кВт, які спочатку були встановлені перед шахтою виткозбірника, а згодом для підвищення охолоджувальної здатності металу два з них перенесені на початок лінії (див. рис. 2).

Відмінною особливістю вентиляційних систем на модернізованій лінії Стелмор є наявність соплових панелей, що забезпечують диференційовану подачу повітря по ширині транспортера, що дозволяє звести до мінімуму розбіг механічних властивостей по довжині витка прокату. Недосконалість вентиляційних систем, які не забезпечують необхідного охолодження металу по ширині транспортера, зумовлює неоднорідність формування мікроструктури та механічних властивостей прокату. Такий ефект досить часто

спостерігають на практиці під час охолодження бунтового прокату на лінії Стелмор [24].

Розробка раціональних режимів деформаційно-термічної обробки дозволила забезпечити виготовлення металопродукції нового покоління для метизної промисловості [3, 6, 19], зокрема бунтового прокату (уповільнене охолодження) з низьковуглецевих і низьколегованих марок сталей, який піддають волочінню зі ступенями деформації 97,9...98,8 % без застосування пом'якшувальної термічної обробки, а також бунтового прокату (висока швидкість охолодження) із високовуглецевих марок сталей, призначеного для виготовлення сталевих арматурних канатів, дротяної арматури, металокорду, пружин тощо, здатного витримувати сумарну ступінь деформації до ~ 95 % [6, 21, 25, 26].

Необхідно зазначити, що така металопродукція користується підвищеним попитом на національних і світових ринках збуту порівняно з бунтовим прокатом звичайної якості. Виробництво й переробка металопродукату підвищеної деформованості дозволяє істотно поліпшити техніко-економічні показники як самих металургійних підприємств (за рахунок підвищення ціни реалізації), так і метизних підприємств (за рахунок виключення додаткової термічної обробки й можливості застосування механічного способу видалення поверхневої окалини, замість кислотного травлення, яке традиційно використовують).

Сьогодні в умовах ВАТ «ММЗ» засвоєні унікальні технології виготовлення високоефективних видів бунтового прокату зі сталі, мікролегованої бором [27]:

1. Із низьковуглецевих, низько- і легованих марок сталей (SAE 1006...1008, Св-08Г2С, Св-08ГНМ, Св-08Г1НМА, Св-08ХГ2СМФ, Св-10ХГ2СМФ, Св-10НМА і ін.) і для виробництва дроту для холодної висадки. Досягнуто максимально можливі пластичні показники, які забезпечують гарну технологічність переробки на кордовому переділі без застосування додаткової термічної обробки (рекристалізаційного відпалу) з окремого нагріву.

2. Із високовуглецевих марок сталі 72D...С86D (EN 16120-2:2011) діаметром 5,5...14,0 мм, серед яких і леговані ванадієм і/або хромом і призначені, зокрема, для переробки в стабілізовані арматурні канати діаметром 9,3...18,0 мм різних класів міцності (1670...1860 МПа) і холоднодеформовану дротяну арматуру для попередньо напружених залізобетонних конструкцій.

Промислове впровадження розроблених режимів деформаційно-термічної обробки дозволило забезпечити пряме волочіння бунтового прокату з високовуглецевих марок сталей на кордовому переділі без застосування патентування. У цьому випадку дисперсність перліту й однорідність його розподілу по перетину прокату відіграє головну роль. Структура сорбітоподібного перліту (міжпластинкова відстань менше 0,2 мкм) дозволяє досягати високих ступенів сумарного відносного обтиснення під час виробництва дроту. У зв'язку з постійною модернізацією парку волочильного обладнання й відповідно підвищення швидкостей волочіння потреба у високоякісному прокаті зростає з року в рік.

Забезпечення класів міцності готових виробів у діапазоні 1670...1860 МПа досягають за тимчасового опору розриву бунтового прокату у стані поставки не менше 1150 МПа, що на практиці є досить важкоздійснюваним завданням, особливо з ростом номінального діаметра прокату. Незважаючи на наявні труднощі, шляхом комплексного фундаментального підходу до розв'язання проблеми, заснованого на раціональному виборі хімічного складу, технології розливання рідкої сталі й можливості регульованого управління параметрами деформаційно-термічної обробки, досягнуті якісні показники металопродукату, які відповідають рівню кращих світових виробників (ArcelorMittal Hamburg, FnSteel, Ovako).

Незважаючи на досягнуті науково-технічні і практичні результати, подальшим стратегічним планом розвитку ВАТ «ММЗ» передбачено модернізацію електросталеплавильного цеху, яка дозволить розпочати освоєння нових перспективних марок і видів металопродукату. Основний напрямок модернізації полягає в можливості виробництва безперервнолітої заготовки більшого перетину (150×150...180×180 мм) і

можливості використання технології багаторівневого електромагнітного перемішування металу з максимальним скороченням або повним виключенням стовбчастої дендритної литої структури.

Важливим є й подальше вдосконалення лінії Стелмор, що дозволить розробити нові вдосконалені режими регульованого охолодження із застосуванням повної ізотермічної витримки витків прокату на роликівому транспортері. Це буде сприяти реалізації таких видів потокової термічної обробки, як рекристалізаційний відпал і патентування, що забезпечить формування ексклюзивного комплексу (мікроструктура, механічні властивості) властивостей бунтового прокату.

Висновки

Ґрунтуючись на позитивному практичному досвіді виробництва високоефективних видів бунтового прокату в умовах ВАТ «ММЗ» та беручи до уваги склад технологічного обладнання, можна стверджувати, що для підвищення якісних показників бунтового прокату, що виготовляється на металургійних підприємствах України, необхідно провести такі заходи:

- провести монтаж сучасних установок електромагнітного перемішування на ділянці кристалізації безперервнолитої заготовки (у кристалізаторі, у зонах вторинного й остаточного охолодження), із метою зниження впливу дендритної литої структури на якість готового металопрокату;

- виключити, за необхідності, стадію водяного охолодження, що дозволить домогтися рівномірності розподілу структурних складників по перетину прокату, що особливо важливо для прокату великих діаметрів;

- провести заміну повітряних дуттєвих вентиляційних систем на більш потужні із можливістю диференційованого розподілу повітряних потоків через 6...8 індивідуальних каналів по ширині транспортера лінії Стелмор;

- забезпечити герметизацію тунелю повітряного охолодження над роликівим транспортером під теплоізоляційними кришками для виключення підсмоктування повітря;

- провести монтаж в робочому тунелі під теплоізоляційними кришками додаткових електронагрівачів і циркуляційних вентиляторів із метою реалізації режиму ізотермічного розпаду аустеніту в процесі безперервного охолодження прокату.

Модернізація, що не вимагає істотних капітальних вкладень і ґрунтується на проведенні вищеперерахованих заходів, дозволить істотно підвищити якісні показники бунтового прокату, який виготовляють, а також додатково освоїти технології виробництва нових високоефективних видів металопродукції на металургійних підприємствах України.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Разупрочняющая термомеханическая обработка проката из углеродистой стали / В. В. Парусов, А. Б. Сычков, В. А. Луценко, Э. В. Парусов // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2003. – № 6. – С. 54 – 56.

2. Научные и технологические аспекты производства высококачественной катанки / В. В. Парусов, А. Б. Сычков, О. В. Парусов, И. Н. Чуйко // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2010. – № 2. – С. 139 – 145.

3. Освоение технологии производства катанки из стали Св-08ГНМ на Молдавском металлургическом заводе / И. Н. Чуйко, В. В. Парусов, О. В. Парусов [и др.] // *Строительство, материаловедение, машиностроение: Сб. научн. трудов*. – Дн-вск, ПГАСА, 2007. – Вып. 41, ч. 2. – С. 129 – 134.

4. Потемкин К. Д. Термическая обработка и волочение высокопрочной проволоки / К. Д. Потемкин. – М. : *Металлургия*, 1963. – 120 с.

5. Лемпицкий В. В. Прогрессивные способы повышения качества стали / В. В. Лемпицкий, И. Н. Голиков, Н. Ф. Склокин. – М. : «Металлургия», 1968. – 340 с.

6. Парусов В. В. Теоретические и технологические основы производства высокоэффективных видов

катанки / В. В. Парусов, А. Б. Сычков, Э. В. Парусов. – Дн-ск. : «АРТ-ПРЕСС», 2012. – 376 с.

7. Металлургические и металловедческие аспекты производства высокоуглеродистой катанки / А. Б. Сычков, М. А. Жигарев, А. Ю. Столяров и [др.]. – Магн. гос. техн. универ. им. Г. И. Носова, 2014. – 257 с.

8. Парусов В. В. Развитие научных и технологических основ производства катанки для изготовления канатов и металлокорда / В. В. Парусов, А. М. Нестеренко, Р. В. Старов [и др.] // Метизная промышленность XXI века: проблемы и перспективы: Сб. научн. трудов. – Донецк, 2001. – С. 31 – 33.

9. Структура и технологическая пластичность ускоренно охлажденной углеродистой катанки / В. В. Парусов, В. К. Бабич, А. И. Сивак [и др.] // Сталь. – 1982. – № 9. – С. 78 – 80.

10. Микроструктура канатной катанки, сорбитизированной с прокатного нагрева / Г. П. Борисенко, А. А. Горбанев, В. А. Кулеша [и др.] // Сталь. – 1987. – № 10. – С. 84 – 87.

11. Dull T. The Stelmor process for controlled cooling of roll / T. Dull, A. Dove, I. Hitchcock // Wire and Wire Products. – 1964. – V. 39. – P. 1605.

12. Современные требования к качественным показателям катанки различного назначения / Э. В. Парусов, И. Н. Чуйко, Л. В. Сагура [и др.] // XIX Международная научно-практическая конференция «Металлургия: технологии, инновации, качество», 15-16 декабря 2015 г. Российская Федерация, Новокузнецк // Материалы конференции. – 2015. – С. 90 – 96.

13. Сычков А. Б. Развитие устройств и способов для термической обработки катанки / А. Б. Сычков, С. О. Малашкин, М. А. Жигарев // Сталь. – 2015. – № 10. – С. 50 – 54.

14. Непрерывный мелкосортно-проволочный стан Молдавского металлургического завода / Н. А. Богданов, В. В. Медведев, Б. А. Бирюков [и др.] // Металлург. – 1988. – № 6. – С. 60 – 63.

15. Lestani Massimo. Danieli structure control system / Lestani Massimo. – Danieli. – Morgardshammar. – Butrio: Italy, 1995. – 51 p.

16. Модернизация оборудования и совершенствование технологии для производства качественного проката в условиях Молдавского металлургического завода (ММЗ) / А. Б. Сычков, Н. А. Богданов, В. В. Парусов [и др.] // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2002. – № 8 – 9. – С. 306 – 312.

17. Высокоуглеродистая катанка из стали, микролегированной ванадием / В. В. Парусов, А. Б. Сычков, Э. В. Парусов [и др.] // Металлург. – 2004. – № 12. – С. 63 – 67.

18. Катанка повышенной деформируемости из стали Св-08Г2С / В. В. Парусов, А. Б. Сычков, И. В. Дервянченко [и др.] // Металлург. – 2007. – № 2. – С. 64 – 70.

19. Освоение производства сварочной катанки из легированной стали Св-08ХГСМФА / А. Б. Сычков, В. В. Парусов, М. А. Жигарев [и др.] // Металлург. – 2007. – № 7. – С. 63 – 69.

20. Режим двухстадийного охлаждения катанки из стали 80КРД на линии Стилмор / Э. В. Парусов, В. В. Парусов, М. Ф. Евсюков [и др.] // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2006. – № 3. – С. 64 – 67.

21. Научно-технологические достижения отдела термической обработки металла для машиностроения за 2009-2014 г.г. / Э. В. Парусов, В. В. Парусов, Л. В. Сагура [и др.] // Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии: Сб. научн. тр. ИЧМ. Днепропетровск: «Візіон». – 2014. – Вып. 29 – С. 322 – 328.

22. Разработка режима двухстадийного охлаждения катанки из стали С80D2, микролегированной бором и ванадием / Э. В. Парусов, В. В. Парусов, Л. В. Сагура [и др.] // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2011. – № 3. – С. 53 – 56.

23. Разработка режима термомеханической обработки катанки из стали 85, микролегированной бором, на основе закономерностей превращений аустенита при непрерывном охлаждении / Э. В. Парусов, В. В. Парусов, Л. В. Сагура [и др.] // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2015. – № 3. – С. 54 – 58.

24. Теоретические и технологические основы высокоскоростной прокатки катанки / А. А. Горбанев, С. М. Жучков, В. В. Филиппов [и др.]. – Мн. : Выш. шк. – 2003. – 287 с.

25. Разработка энерго- и ресурсосберегающей технологии производства высокопрочных прядей / Э. В. Парусов, В. В. Парусов, Л. В. Сагура [и др.] // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2015. – № 1. – С. 157 – 160.

26. Разработка технологии производства высокоуглеродистой катанки для ее энерго- и ресурсосберегающей переработки на метизном переделе / Э. В. Парусов, В. В. Парусов, А. Б. Сычков [и др.] // Строительство, материаловедение, машиностроение: Сб. научн. тр. – Днепропетровск. – 2010. – Вып. 53. – С. 146 – 152.

27. Пат. 103113 Украина, МПК С 22 С 38/32, С 22 С 38/54. Сталь для глубокого волочіння / В. В. Парусов, О. В. Парусов, Е. В. Парусов [та інш.]; заявник та власник Інститут чорної металургії ім. З. І. Некрасова Національної академії наук України. – № а201203164; заявл. 19.03.2012; опубл. 10.09.2013, Бюл. № 17.

Парусов Едуард Володимирович – к. т. н., с. н. с., в. о. завідувача відділу термічної обробки металу для машинобудування, tometal@ukr.net.

Інститут чорної металургії ім. З. І. Некрасова Національної академії наук України (ІЧМ НАНУ).

Сичков Олександр Борисович – д. т. н., проф., професор кафедри ливарного виробництва і матеріалознавства, absychkov@mail.ru.

Магнітогорський державний технічний університет ім. Г. І. Носова (МДТУ).

Губенко Світлана Іванівна – д. т. н., проф., професор кафедри матеріалознавства, sigubenko@gmail.com.

ДВНЗ «Національна металургійна академія України» (ДВНЗ «НМетАУ»).

Чуйко Ігор Миколайович – к. т. н., науковий співробітник відділу термічної обробки металу для машинобудування, ichuuko@mail.ru.

Інститут чорної металургії ім. З. І. Некрасова Національної академії наук України (ІЧМ НАНУ).