

УДК 621.771

Огинський Йосип Кузьмич, завідувач кафедри, доктор технічних наук  
Таратута Костянтин Васильович, доцент, кандидат технічних наук

## СУМІЩЕНІ ТА КОМБІНОВАНІ ПРОЦЕСИ У МЕТАЛУРГІЇ Й МЕТАЛОСПОЖИВНИХ ГАЛУЗЯХ

*Запорізька державна інженерна академія*

Виконано аналіз існуючих суміщених і комбінованих процесів. Відмічено недостатню вивченість технологічних особливостей базових і суміщених процесів. Технологічні розробки практично завжди супроводжуються створенням додаткового обладнання, де необхідною умовою є додаткові відомості про рівень технології. Підтверджено перспективність розвитку напрямку. Необхідною умовою створення нових технологій є розвиток теоретичних основ базових галузей знань.

Ключові слова: суміщені та комбіновані процеси, прокатка, волочіння, пресування, гнуття, валкове розливання-прокатка

*Постановка проблеми.* Суміщення процесів є досить поширеним виробничим методом у металургії, а також галузях, де споживають і перероблюють метал. Кожна розробка пов'язана з потребою створення нових технологічних і проектно-конструкторських вирішень (щонайменше, у частині створення додаткового обладнання). Недолік випробуваних вирішень спричинює необхідність розвитку та створення нових наукових підходів і вказує на актуальність роботи у цих напрямках.

*Аналіз останніх досліджень і публікацій.* У світовій металургії масове поширення отримало суміщення процесів безперервного розливання та наступної прокатки [1,2]. Для металургійних виробництв на стадії прокатки створено та мають розвиток нові технічні вирішення, що є властивими, переважно для цього переділу [3-11]. Метизні та машинобудівні підприємства все більше використовують суміщення процесів кування, пресування, волочіння, гнуття та ін. [12-17]. Разом із досить традиційним суміщенням процесів виникають нові або розвиваються відомі, що набувають поширення з появою нових технічних можливостей, прикладом є розвиток процесу валкового розливання-прокатки [17-21].

*Формулювання мети дослідження.* Метою та завданням роботи є аналіз існуючих найбільш ефективних методів і прийомів суміщення процесів, оцінка трудомісткості їх реалізації, а також перспективність застосування.

*Викладення головного матеріалу дослідження.* Нині немає єдиної та досить визнаної класифікації принципів суміщення процесів. Однією з причин є те, що у різних випадках виникає індивідуальна потреба в оцінних критеріях. Наприклад, у роботі [2] вказується, що головною ознакою суміщених металургійних проце-

сів є збереження та використання високої температури металу за рахунок внутрішньої теплоти попередніх переділів і наявність у системі як мінімум двох процесів. Автор роботи [5] використовує поняття «інтегральні процеси», які включають суміщені, комбіновані та суміщено-комбіновані процеси. Одночасно суміщений процес характеризується розподілом базових процесів за часом або простором, комбіновані процеси характеризуються зосередженням, наприклад, в одному осередку деформації декількох схем вантаження металу. В іншому разі може здійснюватися оцінка за термінами окупності, технічної здійсненності, економічної доцільності або іншими критеріями. Класифікувати також можна за технологічними ознаками. Підприємство з неповним металургійним циклом (наприклад, включає тільки прокатний переділ) не підпадає під узагальнену класифікацію комбінатів з повним циклом. В той же час для всіх випадків створення суміщених процесів можна застосувати таку характеристику як ефективність. Вона не є абсолютною але в усякому разі досить показова та завжди містить елементи практичної корисності та доцільності, завдяки яким суміщення процесів набуло свого поширення.

Створенню суміщених процесів (чи операцій) можуть сприяти різні передумови: зниження енергетичних витрат і матеріалоємності, скорочення виробничих площин, створення можливості автоматизації й ефективного управління, підвищення якості продукції та ін. Деякі передумови мають досить об'єктивні (однозначні) оцінні характеристики, інші є складніше прогнозованими, до зазначених можна відносити, наприклад, зниження енергетичних витрат. Так, якщо процес прокатки доповнити операцією пресування, то загальна та питома витрата елек-

троенергії зростатиме, оскільки процес пресування є енергоємнішим порівняно з іншими видами обробки металів тиском. Проте, в цілому, такий метод може виявитися технологічнішим. У такому разі оцінку оптимізації слід здійснювати за комплексним критерієм.

Суміщення процесів безперервного розливання та наступної прокатки, особливості технології та технологічного обладнання, що отримало у світовій металургії масового поширення, достатньо висвітлено в науково-технічній літературі. З цієї причини названу тему автори не порушують досить глибоко. Менш поширеними та відомими у вузькому колі фахівців є суміщення процесів на завершальному етапі металургійної переробки. Вони можуть бути поданими наступними головними групами: прокатка-волочіння, прокатка-пресування, прокатка-кування, прокатка-гнуття, прокатка-штампування, прокатка-розподілення, валкове розливання-прокатка [12-21]. Основою кожної групи є прокатка, другий процес у парі є залежним, але в усякому разі такі процеси мають деформаційну основу. Методом з найменш вираженою деформаційною основою, є прокатка-розподілення [8,9] (мається на увазі прохід, в якому відбувається первинне розподілення). У частині визначення технологічних ознак і віднесення методів до тієї або іншої групи також є відсутньою єдність думок. Один і той же метод, наприклад, прокатка-волочіння різними авторами характеризується по-своєму, або спричинює появу альтернативного терміну «волочіння-прокатка».

Створено декілька груп суміщених процесів на основі прокатки з різною формою її застосування. Досить велику групу засновано на використанні резерву сил, що тягнуть і/або заштовхують у системі «валок-метал» [3-12], або, щонайменше, бути альтернативним методом [8,9]. Автор роботи [3] досліджує процеси подовжнього розподілу неповідним ділильним інструментом, деформацію через матрицю, а також забезпечення роботи системи «осередок деформації-валкова арматура». У роботах [8,9] також досліджено процеси подовжнього розподілу повідним (валками) і неповідним ділильним інструментом. Процес прокатки-розподілу набув широкого поширення, проте внаслідок своєї неповної технологічності його застосовують тільки у виробництві арматури, переважно, малих розмірів. Застосовність же його для інших профілів є обмеженою, але роботи у цьому напрямі зберігають свою перспективу. У роботі [4] досліджено закономірності силової й енергетичної взаємодії робочих клітей комплексу «повідна кліть - непо-

відна кліть», переважно під час прокатки двота-врових балок. Подібні розробки у більш ранній період часу було виконано для стану «250-6» ПАТ «АлселорМіталл» (Кривий Ріг), де реалізовано процес прокатки у чотиривалковому модулі, створеному парою повідних горизонтальних і парою неповідних вертикальних валків [6]. У рамках цієї ж роботи на стані «250-6» реалізовано схему безкалібрової прокатки. У інших роботах досліджено питання прокатки-гнуття у гарячому стані [10], прокатки-волочіння, переважно, у холодному стані [12]. Для цілей прокатки-волочіння розроблено технологію та технологічне обґрунтування конструкції прокатно-волочильної кліті. Виконані розробки є такими, що принципово відрізняються від іншого процесу з такою ж назвою [11].

Процес валкового розливання-прокатки (існує і інший термін «беззливкова прокатка») є одним з найбільш перспективних напрямів у металургії та галузях з переробки металу. Він вміщує низку позитивних якостей: менші енергоємність і матеріалоемність обладнання, екологічність, менші виробничі площини, а також нижча собівартість. Процес динамічно розвивається, для його реалізації створюються нові технологічні схеми та види обладнання. За оцінками експертів, у світовій індустрії експлуатується близько 600 агрегатів для одержання тонких штаб безпосередньо з розплаву, половина з яких працює у КНР [17]. В той же час, процес продовжує залишатися недостатньо вивченим і розкритим у частині відомостей про комплексний вплив головних технологічних параметрів на властивості металу: змінювання температури рідкого металу під час кристалізації та деформації, взаємозв'язку швидкості обертання валків і протяжності зони кристалізації-деформації, впливу товщини штаби та діаметру валків на закономірності формування зони деформації, виявлення фактичного відносного обтиснення металу та його участі у формуванні властивостей. Є також невивчені питання щодо контактної взаємодії металу з валками, обладнання та ін.

Головними методами вивчення процесу продовжують залишатися математичне та фізичне моделювання. Сучасні програмні засоби на сьогодні є недостатньо адаптованими для вирішення задачі валкового розливання-прокатки, оскільки у них беруть участь параметри, які недостатньо вивчені, та можуть бути одержаними тільки експериментально. Необхідність виконання експериментальних досліджень виникає і під час перевірки одержаних теоретичних залежностей, наприклад, енергосилових параметрів,

у першу чергу, сили та моменту прокатки. Процес є перспективним і одночасно наукоємним, що створює певні складнощі на шляху до його розвитку, необхідні нові наукові знання та технічні вирішення.

Наукову основу створення суміщених процесів складають праці вітчизняних і зарубіжних вчених. У цей час разом з базовими знаннями необхідними стають відомості зі суміжних галузей знань: матеріалознавства, фізики твердого тіла, трибології та ін. У суміщених процесах, основу яких складає прокатка, порушуються питання трибології та фізики твердого тіла із завданням з'ясування можливості здійснення нового технологічного вирішення. Суміщення процесів створює додаткові складнощі під час формулювання граничних умов, а також оцінки в цілому знову створеного технологічного об'єкту. Ситуація посилюється тим, що кожен з поєднаних процесів є недостатньо дослідженим, суміщення процесів створює нові, додаткові невирішені задачі. Зокрема, в теорії прокатки існують положення, що є суперечливими, які будучи застосованими до новостворюваних процесів сприяють створенню додаткових неточних висновків і вирішень. Наприклад, у роботі [3] вважається, що під час прокатки, окрім основних функцій, стає можливим виконання додаткових таких як деформація у неповідній клітці, подовжній розподіл неповідним ділильним інструментом, деформація через матрицю, за рахунок використання прихованих можливостей осередку деформації.

Автор роботи [3], справедливо відмічаючи нереалізовані можливості прокатної клітки у частині додаткової деформації, одночасно в частині фізичного обґрунтування припускає серйозну неточність через те, що приховані можливості зводять до «повнішого використання сил тертя у осередку деформації», тобто, наділяє їх функціями, які для них невластиві. Силам тертя надається роль втягуючих або заштовхуючих (активних) сил, тоді як вони є реактивними за визначенням [24], в результаті виникає термін «резервні сили тертя», який не узгоджується з принципами механіки. Проте, зазначений термін закріпився у науково-технічній літературі. Для терміну «резервні сили тертя» є своя історія виникнення: він зародився на етапі створення основ теорії прокатки, зокрема, цьому посприяло затвердження І.М. Павлова під час пояснення кінематичної картини на контакті металу з валком і природи утворення випередження. І.М. Павлов висловлював думку, що випередження є наслідком надлишкових сил тертя [22, с. 388]:

«...близько половини сили тертя, що розвивається, виявляється зайвою та повинна витрачатися якимсь іншим чином. Детальний аналіз питання показує, що надлишкове тертя витрачається на створення збільшеної порівняно зі швидкістю валків швидкості виходу металу з валків, що дає відповідну величину випередження». Думку, яка не узгоджується із затвердженням І.М. Павлова, висловлює автор роботи [23, с. 88]: «...ніяких надлишкових сил, необхідних для створення зони випередження, не створюються, тобто у процесі прокатки відсутні всякі резервні сили тертя». Окрім роботи [23], є і інші [6], де роль тертя під час прокатки оцінюють з позицій механіки, що виключає поняття «резервні сили тертя». Стандарт [24] своїм визначенням виключає яке-небудь подвійне тлумачення сили тертя: «сила тертя» є силою опору за відносним переміщенням одного тіла на поверхні іншого за дії зовнішньої сили, тангенціально спрямованої до загальної межі між двома цими тілами».

Питання пластичного тертя під час прокатки заслуговують на окремий і досить глибокий розгляд. Тертя лежить в основі процесу прокатки та необхідною умовою успішного вирішення теоретичної або прикладної задачі прокатки є вдалий вибір і використання наявних наукових досягнень в області пластичного тертя. Процес прокатки, будучи побудованим на терті, є залежним від нього незалежно від призначення, форми калібру або кількості валків, що його створюють. Загальні закономірності пластичного тертя, які придатні для вирішення досить широкого класу задач теорії прокатки, не виявлено, про що свідчить відмінність поглядів з окремих питань, дискусійність і прямо протилежні точки зору. Існують різні точки зору на природу зовнішнього тертя під час прокатки, по-різному сприймається застосовність законів і моделей тертя. Єдність думок з питань контактної взаємодії не досягнута, більше того, обговорення іноді носить гострий дискусійний характер. На думку одного з авторів дискусії: «...у розумінні пластичного тертя все ще можливі сильні відмінності». Відсутність єдності думок щодо головних положень пластичного тертя ускладнює вирішення задач, призводить до неоднозначності в оцінках їх результатів.

Дуже важливим чинником під час створення нових видів обладнання для суміщених і комбінованих процесів є визначення енергосилових параметрів. Сказане відноситься до всіх видів обробки металів тиском, а також процесів і операцій, що відносять до них. Існуючі підходи до визначення названих параметрів потребують се-

рйозного перегляду. Визначення енергосилових параметрів прокатки є нелегкою задачею навіть для порівняно простих випадків, для складних процесів досить глибоких теоретичних вирішень не створено. Недолік теорії компенсується досягненнями практики, основу яких складає експериментальний матеріал. Ще більшою проблемною стає ситуація для випадків створення суміщених процесів, де показники незнання підсумовуються. Причина відсутності досить надійних методів визначення енергосилових параметрів, зокрема, полягає і в тому, що не створено єдині концептуальні підходи до оцінки пластичного тертя.

У разі суміщення процесів потребою стає визначення часових і кінематичних параметрів. Значною мірою це відноситься, наприклад, до безперервної прокатки. У частині теорії кінематичної взаємодії металу з інструментом за низкою положень не створено закінчених вирішень, про що свідчить відмінність поглядів з окремих питань, дискусійність і прямо протилежні точки зору. Однією з причин слугує неоднозначність

думок з питань пластичного тертя, про що сказано вище.

Слід безумовно погодитися з автором роботи [3] у частині його твердження, що суміщені методи обробки металів тиском значною мірою знаходяться на початковому етапі розробки та далеко не всі можливості у технічному і технологічному плані досліджено та застосовано на практиці. У теоретичному плані суміщені методи є мало вивченими, а нечисленні матеріали ускладнюють їх промислове використання.

*Висновки.* Виконано аналіз існуючих найбільш відомих методів і прийомів суміщення процесів, підтверджена перспективність розвитку на пряму. Відмічено недостатню вивченість технологічних особливостей базових і поєднаних процесів. Технологічні розробки практично завжди супроводжуються створенням додаткового обладнання, де також необхідні додаткові відомості про рівень технології. Необхідною умовою створення нових технологій є розвиток теоретичних основ базових галузей знань.

### Бібліографічний список

1. **Минаев, А. А.** Тенденции развития черной металлургии [Текст] / А. А. Минаев, Ю. В. Коновалов // Металл и литье Украины. 1995. – № 11-12. – С. 3-11.
2. **Минаев, А. А.** Совмещенные металлургические процессы [Текст] / А. А. Минаев; монография. – Донецк : ДонНТУ «Унитех», 2008. – 552 с.
3. **Фастыковский, А. Р.** Совмещенные процессы, использующие резервные силы трения в очаге деформации при прокатке [Текст] / А. Р. Фастыковский; монография – Новокузнецк : Изд-во НПК, 2007. – 246 с.
4. **Лохматов, А. П.** Непрерывная прокатка сортовой стали с использованием неприводных рабочих клетей [Текст] / А. П. Лохматов, С. М. Жучков, Л. В. Кулаков и др. – Киев : Наукова думка, 1998. – 242 с.
5. **Сидельников, С. Б.** Комбинированные и совмещенные методы обработки цветных металлов и сплавов [Текст] / С. Б. Сидельников, Н. Н. Довженко, Н. Н. Загиров; монография – М. : МАКС Пресс, 2005. – 343 с. – ISBN 5-317-01437-9.
6. **Огинский, И. К.** Процессы деформации металла на основе многовалковых калибров [Текст] / И. К. Огинский, В. Н. Данченко, А. А. Самсоненко, В. В. Бояркин. – Днепропетровск : Пороги, 2011. – 355 с.
7. **Жучков, С. М.** Анализ условий реализации процесса сортовой прокатки в трехочаговом прокатном модуле [Текст] / С. М. Жучков, А. А. Горбанев, П. В. Токмаков и др. // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском у металургії та машинобудуванні : збірник наукових праць. – Краматорськ, 2004. – С. 520-525.
8. **Клименко, В. М.** Многоручьевая прокатка-разделение [Текст] / В. М. Клименко, С. П. Ефименко, В. Ф. Губайдулин, Г. М. Шульгин. – М. : Металлургия, 1987. – 169 с.
9. **Следнев, В. П.** Спаренная прокатка сортовых профилей [Текст] / В. П. Следнев. – М. : Металлургия, 1988. – 168 с.
10. **Огинский, И. К.** Разработка технологии и оборудования для производства шпунтовых профилей с увеличенной межзамковой базой [Текст] / И. К. Огинский, С. С. Бродский, Э. С. Салацинский и др. // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2006. – № 8-9. – С. 217-218.
11. **Выдрин, В. Н.** Производство листов и ленты способом «прокатка-волочение» [Текст] / В. Н. Выдрин, Л. М. Агеев. – М. : Черметинформация, 1971. – 121 с.
12. **Огинский, И. К.** Прокатка-волочение в трехвалковых калибрах при производстве проволоки и арматурных профилей [Текст] / И. К. Огинский, Г. А. Слупов // Сучасні проблеми металургії. – Дніпропетровськ : Системні технології, 2005. – Т. 8. – С. 353-355.
13. **Сергеев, В. М.** Получение пресс-изделий непрерывным литьем-прессованием [Текст] / В. М. Сергеев, Ю. В. Горохов, В. Г. Шеркунов // Цветные металлы. – 1988. – № 12. – С. 65-67.
14. **Лежнев, С. Н.** Анализ влияния нового совмещенного процесса «равноканальное угловое прессование-волочение» на микроструктуру и свойства деформируемой медной проволоки [Текст] / С. Н. Лежнев // Вестник ЮУрГУ. – Серия «Металлургия». – 2016. – Т. 16, № 1. – С. 59-65.

15. Сидельников С. Б. Исследование процесса совмещенной прокатки-прессования [Текст] / С. Б. Сидельников, Н. Н. Довженко, С. Ф. Ворошилов // Технология легких сплавов. – 1993. – № 11. – С. 41-44.
16. Тарасов, А. Ф. Развитие комбинированных методов обработки с использованием интенсивного пластического деформирования [Текст] / А. Ф. Тарасов, А. В. Алтухов, О. С. Литвин // Пластическая деформация металлов. – 2017. – С. 282-288. – ISBN 978-966-291-124-8.
17. Georgi-Maschler, T. Maßnahmen zur Produktivitätssteigerung an einer Aluminium-Bandgießanlage [Text] / T. Georgi-Maschler // Proceeding of Aachner Stahlkolloquium. – Aachen, 2013. – Pp. 187-196.
18. Grydin, O. Yu. Experimental Twin-Roll Casting Equipment for Production of Thin Strips [Text] / O. Yu. Grydin, Y. K. Ogins'kyu, V. M. Danchenko // Metallurgical and Mining Industry. – 2010. – No. 5 (2). – Pp. 348-354.
19. Хвист, В. А. Стабилизация положения стальной полосы в валковом кристаллизаторе при получении биметаллического алюминиево-стального композита способом валковой разливки-прокатки [Текст] / В. А. Хвист, А. Ю. Гридин, И. К. Огинский // Сучасні проблеми металургії. – 2012. – № 15. – С. 3-13.
20. Гридин, А. Ю. Оборудование для исследования процесса валковой разливки-прокатки [Текст] / Ю. А. Гридин, И. К. Огинский, М. Шапер // Материалы научно-техн. конф. «Механика машин – основная составляющая прикладной механики». Днепр. – 2017.
21. Гридин, А. Ю. // Технологический литейно-прокатный комплекс для экспериментальных исследований процесса валковой разливки-прокатки [Текст] / Ю. А. Гридин, И. К. Огинский, М. Шапер // Пластическая деформация металлов. – Днепр : Акцент, 2017. – С. 210-220.
22. Павлов, И. М. Теория прокатки [Текст] / И. М. Павлов. – М. : Металлургия, 1950. – 610 с.
23. Санько, Н. М. Зона прилипания и роль ее в процессе прокатки [Текст] / Н. М. Санько. // Обработка металлов давлением; под ред. акад. А. П. Чекмарева. – М. : Металлургия, 1970. – С. 75-89.
24. Трение, изнашивание и смазка. Термины и определения : ГОСТ 27674-88. – [Дата введения 01. 01. 89]. – М. : Государственный комитет СССР по стандартам, 1988. – 20 с.

**Огинский Иосиф Кузьмич**, доктор технических наук, заведующий кафедрой механического оборудования Запорожской государственной инженерной академии, (Запорожье, Украина). E-mail: zgia\_mo@mail.ru

**Таратута Константин Васильевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры механического оборудования Запорожской государственной инженерной академии, (Запорожье, Украина). E-mail:

## СОВМЕЩЕННЫЕ И КОМБИНИРОВАННЫЕ ПРОЦЕССЫ В МЕТАЛЛУРГИИ И МЕТАЛЛОПОТРЕБЛЯЮЩИХ ОТРАСЛЯХ

Выполнен анализ существующих совмещенных и комбинированных процессов. Отмечена недостаточная изученность технологических особенностей базовых и совмещаемых процессов. Технологические разработки практически всегда сопровождаются созданием дополнительного оборудования, где также необходимым условием является дополнительные сведения об уровне технологии. Подтверждена перспективность развития направления. Необходимым условием создания новых технологий является развитие теоретических основ базовых областей знаний.

Ключевые слова: Совмещенные и комбинированные процессы, прокатка, волочение, прессование, гибка, валковая разливка-прокатка

**Oginskyi Joseph**, Doctor of Technical Science, Head of Department of Metallurgical Equipment, Zaporizhzhia state engineering academy (Zaporizhzhia, Ukraine). E-mail: zgia\_mo@mail.ru

**Taratuta Constantine**, Associate Professor of Department of Metallurgical Equipment, Zaporizhzhia state engineering academy (Zaporizhzhia, Ukraine). E-mail:

## JOINT AND COMBINED PROCESSES IN METALLURGY AND METAL-CONSUMING INDUSTRIES

The work analyzes the existing combined and combined processes. Insufficient knowledge of technological features of basic and compatible processes is noted. Technological developments are almost always accompanied by the creation of additional equipment, where additional information on the level of technology is also a prerequisite. Confirmed the prospects for the development of the direction. A prerequisite for the creation of new technologies is the development of the theoretical foundations of the basic fields of knowledge.

Keywords: combined and combined processes, rolling, drawing, pressing, bending, rolling casting-rolling.

Стаття надійшла до редакції 30.03.2018 р.  
Рецензент, проф. О.В. Явтушенко