О.М. Смірнов, д-р техн. наук, проф., зав. відділу, e-mail: stalevoz@i.ua, <https://orcid.org/0000-0001-5247-3908>

А.В. Нарівський, чл.-кор. НАН України, д-р техн. наук, директор, e-mail: opprs@ptima.kiev.ua, <https://orcid.org/0000-0002-1596-6401>

О.П. Верзілов, канд. техн. наук, ст. наук. співр., e-mail: verzilovalex@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0463-5006>

Ю.О. Смірнов, канд. екон. наук, доц., пров. інженер, e-mail: smirnoff.yuriy@gmail.com

А.Ю. Семенко, канд. техн. наук, наук. співр., e-mail: semenko.au@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0448-1636>

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України (Київ, Україна)

Сучасні технологічні побудови для виробництва прокату з міді та її сплавів на базі концепції мікро-металургійних заводів

Показано причини низької ефективності металургійних заводів з обробки кольорових металів (ОКМ), слабкі сторони технологічних побудов на базі концепції металургійних міні-заводів і конкурентні переваги виробництва на базі концепції мікро-заводів. Розглянуто процеси зменшення виробничих потужностей у нових заводах кольорової металургії.

Детально розглянуто процеси «Conform» та «UPCAST» з точки зору їх технологічної побудови, переваг та можливостей використання цих процесів в умовах вітчизняного виробництва міді.

В статті відзначено, що різке зниження внутрішнього споживання продукції з міді та її сплавів, обумовлене кризою минулого століття, спровокувало зниження ломозбору і, як наслідок, зниження спреду на лом, підвищило ціни на внутрішньому ринку металобрухту в Україні і Росії практично до світових. Це в свою чергу обумовило тенденцію суттєвого зниження прибутковості міні-заводів. Галузі промисловості, що динамічно розвиваються, постійно підвищують вимоги до якості прокату з міді та її сплавів. Така тенденція змушує виробників віддавати перевагу міді електролітичного рафінування в якості сировини.

Сформовані тенденції зростання цін на мідний брухт, зростаючі вимоги до якості продукції з боку споживачів, доступність обладнання китайських виробників для нових технологічних побудов і зниження обсягів споживання створюють передумови для будівництва ефективних мікро-металургійних заводів з обсягами виробництва 3–5 тис. тонн на рік, орієнтованих на регіонального споживача, і використовують в якості сировини або загальнодоступну катодну мідь, або литу заготовку, що виробляється на установках «UPCAST». Такі побудови мають порівняно із заводами ОКМ на порядок менші накладні витрати, коротший технологічний ланцюг, що визначає малий термін виробництва і більш високі показники якості продукції, що випускається.

Ключові слова: мікро-металургійний завод, обробка кольорових металів, мідь, прокат, «Conform», «UPCAST».

Економічна криза кінця двохтисячних – початку десятих років нинішнього сторіччя поставила на грань банкрутства багато металургійних заводів з обробки кольорових металів (ОКМ) Росії і України. Ці заводи здебільшого створювалися за часів колишнього СРСР і були розраховані на випуск прокату обсягом 100–200 тис. т на рік. На ці ж обсяги планувалася і вся інфраструктура: енергопостачання, водооборот, газоочистка, будівлі, споруди та власні виробничі площі.

Поєднане з низкою інших кризових явищ зниження обсягів виробництва в 5–7 разів і більше спричинило істотне зростання накладних витрат в структурі собівартості продукції. Основне технологічне обладнання заводів здебільшого тривалий час не модернізувалося, що в свою чергу не дозволяє в даний час випускати продукцію світового рівня, яка повною мірою відповідає сучасним стандартам якості [1, 2]. Крім того, високий рівень плінності кадрів і відсутність наступності поколінь спричинив появу внутрішніх проблем при виробництві продукції, в якій якість і вироб-

ничі показники багато в чому визначаються рівнем кваліфікації виконавців. Модернізація обладнання, виконана, наприклад, на Бахмутському, Кольчугінському і Ревдінському заводах ОКМ не змогла надати вирішального впливу в даному питанні. Більш радикальні зміни в технологічній побудові, виконані на Кіровському (комплекс з виробництва особливотонких радіаторних стрічок) і Каменськ-Уральському заводах (комплекси з виробництва латунних прутків методом зворотного пресування і комплекс з виробництва мідних шин методом «Conform») деякою мірою стабілізували їх положення на ринку кольорового металопрокату (рис. 1).

Водночас, завдяки прогресу в розвитку сучасних технологічних побудов, вдалося довести до промислового застосування таку технологію, як відливання трубної заготовки розміром Ø38 мм і товщиною стінки 2,5 мм з міді методом «UPCAST» (2010 р.). Фірмами «Каламарі», «Раутомед» і деякими китайськими виробниками проведені успішні роботи з лиття методом

Рис. 1. Діаграма зміни обсягів випуску прокату кольорових металів на деяких заводах ОКМ

«UPCAST» більшості низьколегованих мідних сплавів і латуней. Більшість китайських виробників обладнання змогли втілити ці рішення в металі, завдяки чому на ринку металургійного устаткування стали доступні порівняно дешеві машини, які реалізують останні досягнення інженерної думки.

Необхідно відзначити, що незважаючи на колосальний резерв виробничих потужностей на існуючих заводах ОКМ, нещодавно створений Дімітровградський металургійний завод (2012 р.) порівняно швидко вийшов на обсяги виробництва 300 т/міс., переважно за рахунок використання технологічного ланцюжка «UPCAST» – «Conform».

Рис. 2. Загальна схема (а) та фотографія (б) процесу «Conform»

Розглянемо більш детально кожну технологію окремо.

Виготовлення мідної заготовки методом «Conform». Процес «Conform» (рис. 2) використовує одне пресове колесо з канавкою, яка виконана по колу, для круглої заготовки, що приймається (або заготовки іншої форми для кожного окремого випадку). Оскільки площа контакту в канавці істотно більша, ніж площа контакту з притискаючим «башмаком», обертання колеса подає заготовку в зону деформації, де формується достатній тиск і температура для початку процесу пресування.

Пресова матриця утримується в поворотному «башмаку» в камері пресування. Поглиблення для матрицетримача розташоване таким чином, щоб по-

тік металу з жолоба колеса, відбившись від упору, потрапив якраз в камеру пресування [3]. Матрицетримач гарантує правильну установку інструмента і дозволяє проводити попередню збірку інструмента для його швидкої заміни. Матрицетримач призначено для широкій номенклатури продукції (таблиця).

Виготовлення мідної заготовки методом «UPCAST». Найсучаснішим методом отримання трубною заготовки сьогодні є метод витягування з розплаву, який розроблено у 2010 р. фінською фірмою «UPCAST OY». Він отримав назву «UPCAST». Приклади виробів у порівнянні наведено на рис. 3.

Способом «UPCAST» виготовляють сьогодні дріт-яну заготовку діаметром 8–30 мм для виробництва

Характеристики машин «Conform» китайських виробників

Параметр	Значення			
Діаметр екструзійного колеса, мм	250	300	350	400
Діаметр заготовки, мм	8	12,5	16–17	20
Площа перетину продукції, мм ²	2,5–50	5–250	(20–30)–1000	(75–100)–2000
Максимальна ширина продукції, мм	18	40	80–100	150–170
Максимальний діаметр продукції, мм	14	25	50	80–90
Продуктивність, т/міс.	60	200	400	700
Допуск на розмір, мм	± 0,02	± 0,03	± 0,05	± 0,10

Рис. 3. Структура труби: а – традиційна; б – відлита за технологією «UPCAST»

дроту з безкисневої міді (рис. 4). За рахунок подрібнення зерна в литій структурі заготовка добре обробляється тиском в холодному стані [4].

Розвиток технологічних побудов, як реакція на кризу в кінці минулого століття, дало поштовх технологічним побудовам на базі концепції міні-заводів, які використовують регіональний ресурс мідного брухту [4]. Основою таких побудов стала сучасна технологія вогневого рафінування фірми «Ла Фарга Лакамбра», яка дозволяє з брухту з вмістом міді 98–99 % отримувати рідкий метал з вмістом міді та кисню на рівні 99,96 %. Печі, що працюють за цією технологією, бу-

ли побудовані в місті Бахмут на ТОВ «Артемівський завод з обробки кольорових металів» (120 т, 2002 р.), місті Нальчик на БАТ «Завод з обробки кольорових металів» (100 т і 40 т, 2000 р.), місті Старий Оскол на ТОВ «Оскольський завод кольорових металів» (80 т, 2013 р.) та ін. Значний попит на мідний брухт порівняно з міддю (LME), якою торгують на Лондонській біржі, а так само низькі капітальні та експлуатаційні витрати забезпечили цим побудовам досить високу ефективність протягом тривалого часу.

Низьке завантаження виробничих потужностей у споживачів брухту в останнє десятиліття призвело до істотного зниження вартості на мідь порівняно з LME з 3000 \$/т у 2004 р., до 800 \$/т у 2015 р. в Україні і до рівня 500–600 \$/т в Росії. Перспективи заготівлі брухту в Україні можуть бути оцінені шляхом аналізу ретроспективи споживання виробів з міді та її сплавів з урахуванням приблизного середньозваженого терміну служби в 18–20 років [4]. Таким чином, можливо, цим можна пояснити сформовану тенденцію падіння обсягів заготівлі брухту (рис. 5) і спрогнозувати стабілізацію ломоутворення на рівні 40–50 тис. т/рік.

Різке зниження внутрішнього споживання продукції з міді та її сплавів, обумовлене кризою минулого століття, спровокувало зниження ломозбору і, як наслідок, зниження спреду на лом, підвищило ціни на

Рис. 4. Відливання мідної заготовки методом «UPCAST»: 1 – завантажувальна установка; 2 – плавильна піч; 3 – жолоб; 4 – піч витримки; 5 – пристрій для витягання; 6 – пульт управління; 7 – регулятор швидкості намотування

Рис. 5. Динаміка утворення лому та відходів міді і її сплавів в Україні

внутрішньому ринку металобрухту в Україні і Росії практично до світових. Ця тенденція суттєво знизила прибутковість міні-заводів [6, 7].

Водночас галузі промисловості, що динамічно розвиваються, постійно підвищують вимоги до якості прокату з міді та її сплавів. Так, мідні шини, що йдуть для виготовлення гідрогенераторів гідроелектростанцій (ГЕС) в даний час виготовляють виключно з безкисневої міді, з фактичним вмістом міді 99,995–99,997 %, що забезпечує високу електропровідність таких шин на рівні 58,5 МСм і більше. Електротехнічна промисловість має тенденцію до збільшення застосування струмопровідних жил з підвищеною гнучкістю та діаметром окремого дроту 0,2 мм і менше, що можливо виготовити знову ж з безкисневої міді. Для виробництва кондиціонерів і радіаторів останнім часом стали використовувати трубки з товщиною стінки менше 0,3 мм з підвищеними вимогами до герметичності матеріалу. Зазначені тенденції змушують виробників віддавати перевагу міді електролітичного рафінування в якості сировини.

Висновки

Таким чином, сформовані тенденції зростання цін на мідний брухт, зростаючі вимоги до якості продукції з боку споживачів, доступність обладнання китайських виробників для нових технологічних побудов і зниження обсягів споживання створюють передумови для будівництва ефективних мікро-металургійних заводів з обсягами виробництва 3–5 тис. тонн на рік, орієнтованих на регіонального споживача, і використовують в якості сировини або загальнодоступну катодну мідь, або литу заготовку, що виробляється на установках «UPCAST». Такі побудови мають порівняно із заводами ОКМ на порядок менші накладні витрати, коротший технологічний ланцюг, що визначає малий термін виробництва і більш високі показники якості продукції, що випускається.

ЛІТЕРАТУРА

1. Савенков Ю.Д., Дубоделов В.И., Шпаковский В.А., Кожанов В.А., Штепан Е.В. Рафинированная медь Украины. Донецк: Издательство, 2008. 176 с.
2. Райков Ю.Н., Ашихмин Г.В., Полухин В.П., Гуляев А.С. Медные сплавы. Марки, свойства, применение: Справочник / под общей ред. Ю.Н. Райкова. М.: ОАО «Институт Цветметобработка», 2011. 456 с.
3. Горохов Ю.В., Шеркунов В.Г., Довженко Н.Н. и др. Основы проектирования непрерывного прессования металлов: монография. Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2013. 224 с.
4. Райков Ю.Н., Кручер Г.Н. Мировая медная промышленность. Компании, технологии, оборудование: Справочник. М.: ОАО «Институт Цветметобработка», 2012. 256 с.
5. Смирнов А.Н., Шутов И.В., Спиридонов Д.В., Куберский С.В. Конкурентоспособность микро металлургических заводов: Технологические аспекты. Сб. науч. тр. Алчевск: ДГТУ. 2011. Вып. 34. С. 112–121.
6. Кожанов В.А., Чернобаев В.М., Попов В.А. Обновление и перспективы развития металлургии вторичных цветных металлов Украины. *Рынок вторичных металлов*. 2006. № 4. С. 44–48.
7. Смірнов О.М., Верзілов О.П., Смірнов Ю.О. Металургійні міні-заводи: конкурентоспроможність та перспективи розвитку. *Метал та лиття України*. 2020. № 2. С. 34–40. DOI: <https://doi.org/10.15407/steelcast2020.02.034>

Надійшла 07.12.2020

REFERENCES

1. Savenkov, Yu.D., Dubodelov, V.I., Shpakovsky, V.A., Kozhanov, V.A., Shtepan, E.V. (2008). Refined copper of Ukraine. Donetsk: Publishing house, 176 p. [in Russian].
2. Raikov, Yu.N., Ashikhmin, G.V., Polukhin, V.P., Gulyaev, A.S. (2011). Copper alloys. Brands, properties, application: Reference book, under the general ed. by Yu.N. Raikov. Moscow: JSC "Institute Tsvetmetobrabotka", 456 p. [in Russian].
3. Gorokhov, Yu.V., Sherkunov, V.G., Dovzhenko, N.N. et al. (2013). Fundamentals of design of continuous pressing of metals: monograph. Krasnoyarsk: Sib. Feder. University, 224 p. [in Russian].
4. Raikov, Yu.N., Krucher, G.N. (2012). World copper industry. Companies, technologies, equipment: Handbook. Moscow: JSC "Institute Tsvetmetobrabotka", 256 p. [in Russian].
5. Smirnov, A.N., Shutov, I.V., Spiridonov, D.V., Kubersky, S.V. (2011). Competitiveness of micro metallurgical plants: Technological aspects. *Collection of Scientific Works*. Alchevsk: DSTU, iss. 34, pp. 112–121 [in Russian].
6. Kozhanov, V.A., Chernobaev, V.M., Popov, V.A. (2006). Update and prospects for the development of metallurgy of secondary non-ferrous metals of Ukraine. *Secondary Metals Market*, no. 4, pp. 44–48 [in Russian].
7. Smirnov, O.M., Verzilov, O.P., Smirnov, Yu.O. (2020). Metallurgical mini-mills: competitiveness and prospects. *Metal and Casting of Ukraine*, no. 2, pp. 34–40, doi: <https://doi.org/10.15407/steelcast2020.02.034> [in Ukrainian].

Received 07.12.2020

Summary

O.M. Smirnov, Dr. Sci. (Engin.), Professor, Head of the Department,
e-mail: stalevoz@i.ua, <https://orcid.org/0000-0001-5247-3908>

A.V. Narivskiyi, Corresponding Member of the NAS of Ukraine, Dr. Sci. (Engin.),
Director, e-mail: opprs@ptima.kiev.ua, <https://orcid.org/0000-0002-1596-6401>

O.P. Verzilov, PhD (Engin.), Senior Research Scientist,
e-mail: verzilovalex@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0463-5006>

Yu.O. Smirnov, PhD in Economics, Associate Professor, Leading engineer,
e-mail: smirnoff.yuriy@gmail.com

A.Yu. Semenko, PhD (Engin.), Researcher, e-mail: semenko.au@gmail.com,
<https://orcid.org/0000-0002-0448-1636>

*Physico-technological Institute of Metals and Alloys of the NAS of Ukraine
(Kyiv, Ukraine)*

Modern technological constructions for the production of rolled copper and its alloys based on the concept of metallurgical micro-mills

The reasons of low efficiency of metallurgical plants on processing of non-ferrous metals, weaknesses of technological constructions on the basis of the concept of metallurgical mini-plants and competitive advantages of productions on the basis of the concept of micro-plants are shown. The processes of reducing production capacity in new non-ferrous metallurgy plants are considered.

"Conform" and "UPCAST" processes are considered in detail from the point of view of their technological construction, advantages and possibilities of use of these processes in the conditions of domestic production of copper.

The article notes that the sharp decline in domestic consumption of copper and its alloys due to the crisis of the last century provoked a reduction in scrap collection and, consequently, a reduction in scrap spreads, raised domestic prices in scrap metal in Ukraine and Russia almost worldwide. This, in turn, led to a tendency to significantly reduce the profitability of mini-factories. Dynamically developing industries are constantly increasing the requirements for the quality of rolled copper and its alloys. This trend forces manufacturers to prefer copper electrolytic refining as a raw material.

Current trends in copper scrap prices, growing demands for product quality from consumers, the availability of equipment from Chinese manufacturers for new technological constructions and reduced consumption create the preconditions for the construction of efficient micro-metallurgical plants with production of 3–5 thousand tons per year, targeted at the regional consumer and used as raw material or publicly available cathode copper, or cast billet produced in "UPCAST" installations. Such constructions have an order of magnitude lower overhead costs, a shorter technological chain, which determines the short production time and higher quality indicators of the products in comparison with non-ferrous metal processing plants.

Keywords

Micro-metallurgical plant, processing of non-ferrous metals, copper, rolled metal, "Conform", "UPCAST".