

ОСВОЄННЯ ВИРОБНИЦТВА НОВИХ ВИСОКОЛЕГОВАНИХ ІНСТРУМЕНТАЛЬНИХ СТАЛЕЙ, ВИГОТОВЛЕНИХ МЕТОДОМ ПОРОШКОВОЇ МЕТАЛУРГІЇ

С.Г. Кійко, І.М. Логозинський, О.Г. Федьков, С.М. Карпунін, В.В. Мільчев, В.М. Ген

ПрАТ «Електрометалургійний завод «Дніпроспецсталь».
69008, м. Запоріжжя, Південне шосе, 81. E-mail: info@dss.com.ua

Розроблено, освоєно та впроваджено технологію виплавки, розпилення, компактування, деформаційного переділу, термічної та ад'юстажної обробки нових порошкових високолегованих інструментальних сталей марок Р3М3Ф4-МП, Р7М7Ф7К11-МП, Р14М3Ф5К11-МП, 140Х5М4Ф4-МП, 110Х8М2ФС-МП, Х14МФ9-МП, Х18МФ3С-МП, 8Х8МФ3-МП. Якість сортової металопродукції нових порошкових сталей відповідає вимогам ТУ ДСС 005-13 та технічних протоколів. Бібліогр. 2, табл. 2, рис. 3.

Ключові слова: інструментальні сталі, розпилення, розплав, металевий порошок, деформаційний переділ, мікроструктура, карбідна неоднорідність

Вступ. Розвиток виробництва нових найпрогресивніших інструментальних сталей, що забезпечують максимально можливу стійкість інструментів різного призначення, є актуальним завданням.

Розпилення інертним газом є найпоширенішим процесом одержання металевих порошків з особливими вимогами до якості, такими як сферична форма, висока сипкість, висока чистота, низький вміст кисню і структура, що утворилася внаслідок швидкого затвердіння. Як правило, ці спеціальні характеристики неможливо отримати іншими виробничими методами.

Застосування методу порошкової металургії для інструментальних сталей з розпорошених порошків можна розглядати як принципово новий засіб впливу на литу структуру складнолегованих сталей.

Збільшення обсягів споживання порошкових сталей і пуск нових потужностей з їх виробництва у світі визначив необхідність оперативного освоєння виробництва нових порошкових швидкорізальних та штампових сталей з високими службовими характеристиками. Одним із найбільших виробників прокату і поковок із порошкових інструментальних сталей є ПрАТ «Дніпроспецсталь», яке до 2000 р. спеціалізувалося в основному на випуску металопродукції із шести порошкових швидкорізальних сталей у профілях діаметром до 150 мм за ГОСТ 28393–89 [1].

Наявність на підприємстві унікального обладнання дозволила організувати в Україні виплавку порошкових сталей зі складною схемою легування, виробництво яких за традиційною технологією (відкрите дугове виплавлення) викликає великі труднощі або взагалі неможливо.

Основними легуючими елементами швидкорізальних і штампових сталей є хром, вольфрам, мо-

лібден, ванадій. Крім них деякі сталі легують кобальтом. Залежно від призначення штампові сталі можуть легувати кремнієм, марганцем. Важливим компонентом цих сталей є вуглець, вміст якого змінюється від 0,4 до 2,7 %.

Структура порошкової сталі відрізняється більш дрібним аустенітним зерном, рівномірним розподілом дрібнодисперсних (до 2...3 мкм) карбідів, що забезпечує їй вищі технологічні та службові властивості [2], технологічна пластичність порошкових сталей у кілька разів перевищує пластичність сталі, виготовленої традиційним способом, особливо важливо при гарячому деформаційному переділі.

Перевага порошкових сталей: підвищена стійкість виготовленого із такої сталі інструмента (до 3-х разів); суттєво менший вплив масштабного фактора на міцність та в'язкість порошкової сталі, а, отже, і більш високий рівень механічних властивостей при значному зниженні їхньої анізотропії у заготовках великого перерізу порівняно з металом традиційного виробництва; значне зменшення впливу термообробки на зміну геометричних розмірів інструмента, покращується шліфування сталі; у вихідних порошкових виробках (пресовках) не існує проблем донної і головної частини зливка, явищ ліквіації та наявності залишків ледебуритної евтектики у мікроструктурі, характерній для інструментальної сталі, виготовленої традиційним способом.

Дисперсність мікроструктури порошкових частинок обумовлена високими швидкостями охолодження крапель рідкого металу в інтервалі температур кристалізації ($1 \cdot 10^5 \dots 3 \cdot 10^3$ град/с). Мікроструктура частинок порошку не має дефектів, властивих структурі зливка. Мікроструктури час-

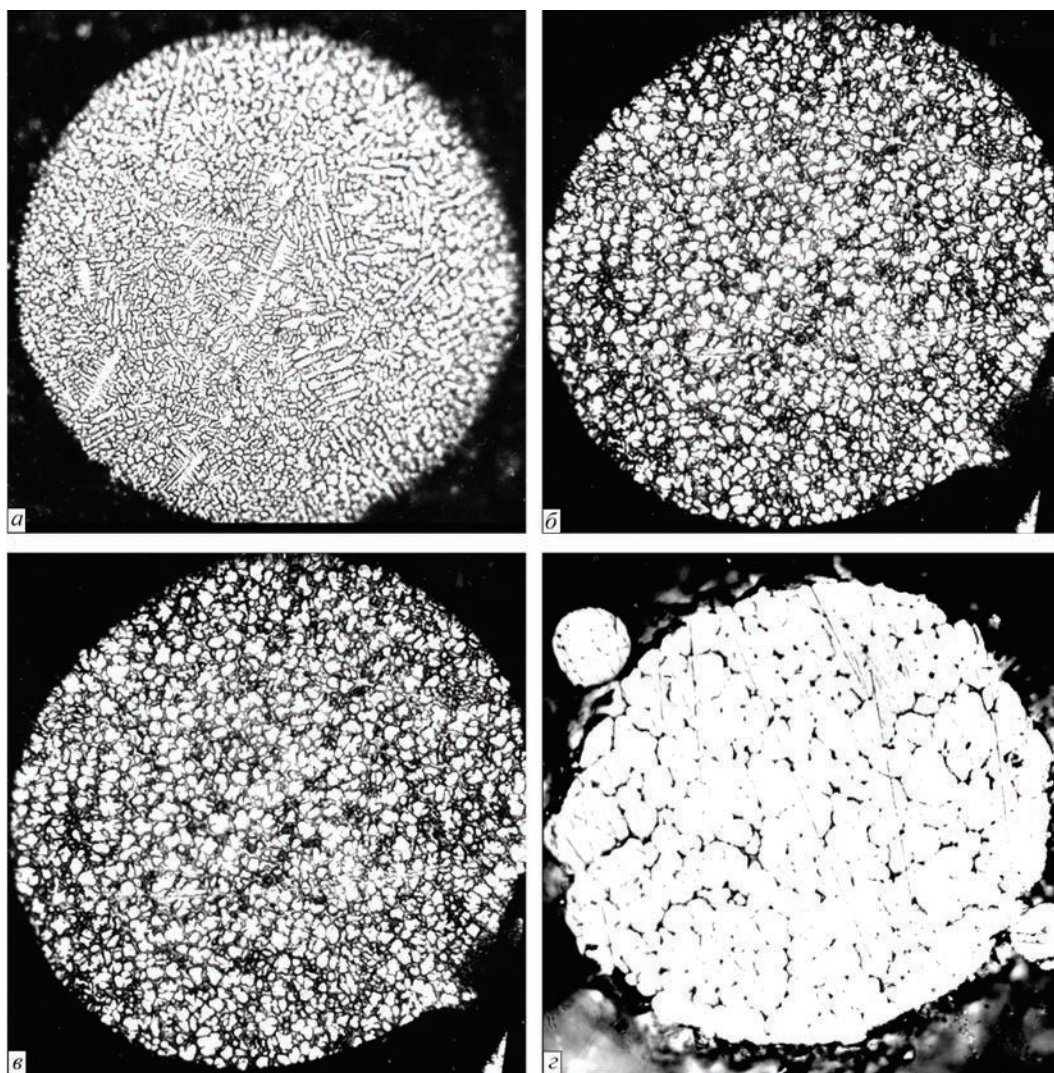


Рис. 1. Мікроструктури частинок сталей: *а* — швидкорізальна сталь Р6М7Ф6К10-МП (ASP2060) (аналог Р7М7Ф7К11-МП); *б* — штампова сталь для холодного деформування 17Х5В3МФ5С2-МП (ДІ-90МП); *в* — корозійностійка сталь з підвищеною зносостійкістю Х18МФ6-МП (440-РМ); *з* — штампова сталь для гарячого деформування 38В3М4-МП, $\times 315$

тинок деяких марок сталей, виготовлених методом порошкової металургії, представлені на рис. 1.

Завдяки проведенню на ПрАТ «ДНПРО-СПЕЦСТАЛЬ» науково-дослідних робіт за останні роки освоєно виробництво восьми нових для підприємства швидкорізальних і штампових порошкових марок сталей: Р3М3Ф4-МП, Р7М-7Ф7К11-МП, Р14М3Ф5К11-МП, 140Х5М4Ф4-МП, 110Х8М2ФС-МП, Х14МФ9-МП, Х18МФ3С-МП, 8Х8МФ3-МП. Хімічний склад нових марок сталей представлений у табл. 1.

Технологічна схема отримання пресовок передбачає: виплавку сталі в індукційній печі, розпилення розплаву азотом високої чистоти, заповнення порошком металевих капсул (використовується робоча фракція порошку до 800 мкм), вакуумування, заповнення капсул з порошком азотом, герметизацію, холодне гідростатичне та гаряче газостатичне пресування, деформаційний переділ пресовок (рис. 2).

Відпрацювання та освоєння технології виплавки та розпилення нових порошкових марок сталей у цеху порошкової металургії (ЦПМ) здійснювали на промислових плавках.

Освоєння нових порошкових марок сталей включає наступні етапи: відпрацювання технології виплавки, розпилення сталі, компактування порошку; розробку режимів нагрівання та деформації пресовок на кувальних агрегатах і прокатних станах; розробку режимів термічної та ад'юстажної обробки проміжних заготовок і сорту.

У зв'язку з відсутністю стандартних зразків (еталонів) марок сталей, що освоюються, для визначення хімічного складу спектральним методом легування перших дослідних плавок виробляли за розрахунком. При варіюванні температури металу в тиглі визначали оптимальні температури, що забезпечують стабільний процес виплавки та розпилення.

Таблиця 1. Хімічний склад освоєних марок сталей, виготовлених методом порошкової металургії, мас. %

Марка сталі		C	Si	Mn	P	S
Повне позначення	Аналог за ГОСТ					
ASP 2005	РЗМЗФ4-МП	1,45...1,55	не більше 0,40	не більше 0,45	не більше 0,030	не більше 0,030
DPM 60 (1.3292)	Р7М7Ф7К11-МП	2,20...2,40	—»—	не більше 0,70	не більше 0,050	—»—
GPM A60M	Р14МЗФ5К11-МП	1,90...2,10	0,20...0,40	0,30...0,70	не більше 0,030	—»—
DPM V4E	140Х5М4Ф4-МП	1,35...1,45	0,30...0,50	0,30...0,50	—»—	—»—
CPM 3V	8Х8МФ3-МП	0,75...0,85	0,30...0,60	0,30...0,60	—»—	—»—
K340-PM	110Х8М2ФС-МП	1,00...1,20	0,30...0,50	0,70...1,10	—»—	—»—
Z-420V PM	Х14МФ9-МП	2,20...2,40	0,30...0,60	0,30...0,60	—»—	—»—
DPM X818	Х18МФ3С-МП	1,65...1,75	0,20...0,40	0,70...0,90	—»—	—»—

Продовження табл. 1

Марка сталі		Cr	W	Mo	V	Co
Повне позначення	Аналог за ГОСТ					
ASP 2005	РЗМЗФ4-МП	3,80...4,20	2,35...2,65	2,35...2,65	3,80...4,20	не більше 0,50
DPM 60 (1.3292)	Р7М7Ф7К11-МП	3,50...4,50	6,70...7,30	6,70...7,30	6,30...6,70	10,0...11,0
GPM A60M	Р14МЗФ5К11-МП	3,50...4,10	13,60...15,00	2,30...2,70	4,90...5,30	10,60...11,40
DPM V4E	140Х5М4Ф4-МП	4,40...5,00	не більше 0,50	3,30...3,70	3,50...3,90	не більше 0,50
CPM 3V	8Х8МФ3-МП	7,25...7,75	—»—	1,20...1,40	2,50...3,00	—»—
K340-PM	110Х8М2ФС-МП	8,00...8,60	—»—	1,90...2,30	0,35...0,65	—»—
Z-420V PM	Х14МФ9-МП	13,50...14,50	не більше 0,30	0,90...1,10	8,80...9,20	—»—
DPM X818	Х18МФ3С-МП	17,50...18,50	не більше 0,20	—»—	2,85...3,15	—»—

Закінчення табл. 1

Марка сталі		Ni	Cu	N	O	Al	Ti
Повне позначення	Аналог за ГОСТ						
ASP 2005	РЗМЗФ4-МП	не більше 0,75		не більше 0,08	не більше 0,015	не більше 0,035	не більше 0,03
DPM 60 (1.3292)	Р7М7Ф7К11-МП	не більше 0,40	не більше 0,30	—»—	—»—	—»—	—»—
GPM A60M	Р14МЗФ5К11-МП	не більше 0,75		—»—	—»—	—»—	—»—
DPM V4E	140Х5М4Ф4-МП	—»—		не більше 0,15	не більше 0,020	—»—	—»—
CPM 3V	8Х8МФ3-МП	—»—		—»—	—»—	—»—	—»—
K340-PM	110Х8М2ФС-МП	—»—		—»—	—»—	—»—	—»—
Z-420V PM	Х14МФ9-МП	—»—		—»—	—»—	—»—	—»—
DPM X818	Х18МФ3С-МП	не більше 0,40	не більше 0,30	не більше 0,20	—»—	—»—	—»—

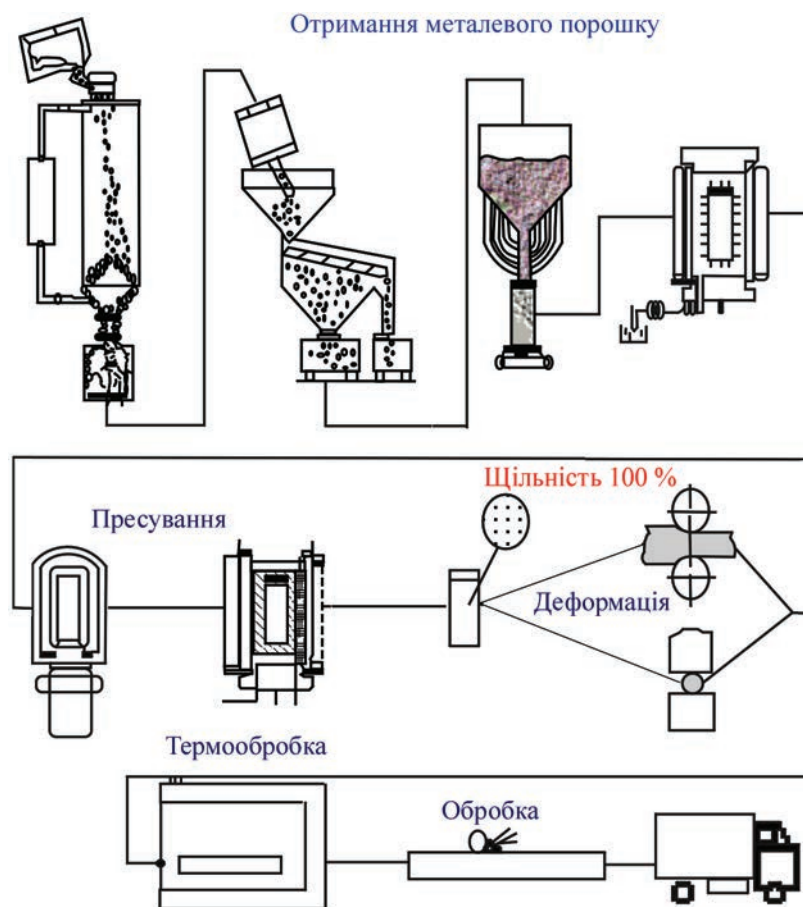


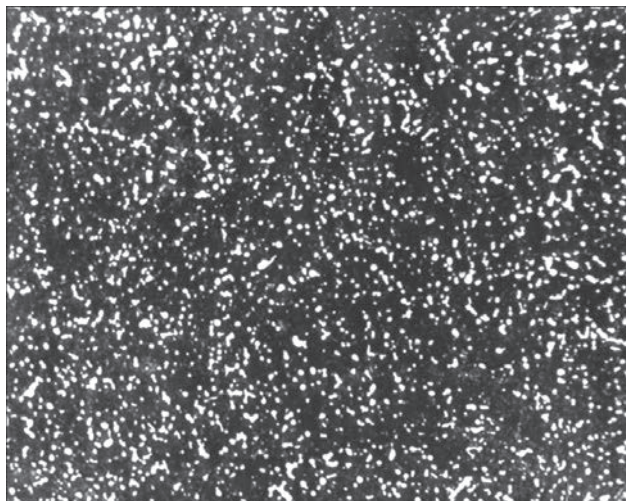
Рис. 2. Схема виробництва продукції із порошкових сталей

У процесі відпрацювання режимів плавлення та розпилення відбирали проби для виготовлення еталонів та коригування хімічного складу.

Робота з освоєння нових порошкових марок сталей включала також режими нагрівання та деформації пресовок у ковальсько-пресовому (КПЦ), прокатному та ковальському цехах. Відповідальною операцією у процесі освоєння порошкових марок сталей є термічна й ад'юстажна обробки.

Для відпалу проміжних заготовок і готового сорту порошкових сталей, що освоюються, задіяли термічні засоби всіх передільних цехів підприємства: КПЦ, прокатного, термічного, ковальського, калібрувального.

Порошкова металопродукція, що поставляється заводом ПрАТ «Дніпрспецсталь», характеризується високими показниками якості мікроструктури як у відпаленому стані, так і після остаточної термічної обробки (загартування + відпустка). Після відпалу структура порошкових сталей є сорбітоподібним перлітом з рівномірно розподіленими дрібнодисперсними карбідами, що свідчить про застосування оптимізованих режимів відпалу. Структура порошкових швидкорізальних сталей після гарту характеризується дрібним зерном аустеніту, відсутністю різнозернистості, укрупнених карбідів, що свідчить про застосування вдосконалених технологій деформаційного переділу. Після остаточної термічної обробки (загартування + відпустка) порошкові швидкорізальні сталі набувають структури дрібнокристалічного мартенситу з рівномірним розподілом карбідних фаз типу Me_6C і MeC розміром до 2...3 мкм. Після вибіркового травлення у структурі сталей виразно виявляються карбіди W і Mo типу Me_6C і карбіди

Рис. 3. Мікроструктура швидкорізальної сталі РЗМЗФ4-МП після загартування і відпустки, $\times 200$

Таблиця 2. Неметалеві вclusions у метали нових марок сталей, виготовлених методом порошкової металургії

Марка сталі	Оцінка HB ASTM E 45 (метод A), середній бал						
	Кількість партій, шт.	A		B		C	
		тонкі	товсті	тонкі	товсті	тонкі	товсті
P3M3Ф4-МП	6	0,5	0	1,0	0,33	0,5	0,17
P7M7Ф7K11-МП	5	0,3	—»—	0,8	0,17	0,6	0,17
P14M3Ф5K11-МП	4	0,25	—»—	0,88	0,13	0,75	0,13
140X5M4Ф4-МП	8	0,38	0,6	0,94	0,19	0,5	0,19
8X8MФ3-МП	14	0,5	0,04	1,0	0,61	0,82	0,71
110X8M2ФC-МП	16	0,28	0,03	0,82	0,46	0,79	0,34
X14MФ9-МП	4	0,63	0,25	0,88	0,25	0,83	0,58
X18MФ3C-МП	20	0,33	0	0,93	0,32	0,80	0,37
ТУ ДСС 005–2013, Технічні протоколи	—	2,0	1,5	2,0	1,5	2,0	1,5

Закінчення табл. 2

Марка сталі	Оцінка HB ASTM E 45 (метод A), середній бал				HB по DIN 50602 (метод K)
	Кількість партій, шт.	D		Сума балів	K0
		тонкі	товсті		
P3M3Ф4-МП	6	1,0	1,0	4,5	3,3
P7M7Ф7K11-МП	5	—»—	0,9	3,94	3,0
P14M3Ф5K11-МП	4	—»—	1,0	4,14	—
140X5M4Ф4-МП	8	—»—	0,56	4,36	—
8X8MФ3-МП	14	0,96	0,75	5,39	—
110X8M2ФC-МП	16	1,0	0,63	4,35	—
X14MФ9-МП	4	1,0	1,0	5,42	3,9
X18MФ3C-МП	20	1,0	0,83	4,58	—
ТУ ДСС 005–2013, Технічні протоколи	—	2,0	1,5	14,0	K0 ≤ 10

ванадію типу MeC розміром до 1...2 мкм, що виділилися при відпустці. Зображення мікроструктури наведено на рис. 3.

Велику роботу проведено по підвищенню чистоти сталі від неметалевих включень (НВ). У табл. 2 представлені результати оцінки вмісту НВ у нових порошкових марках сталі. При оцінці по ASTM E 45 (метод A) середній бал за всіма видами НВ не перевищує 1,0 (при нормі 1,5 і 2,0 бали). При оцінці по DIN 50602 сумарний індекс K0 не перевищує 3,9 при нормі 10.

Порошкова металопродукція у вигляді сортового прокату, кованих прутків і смугових профілів поставляється в основному до країн Євросоюзу, Північної Америки. Протягом останніх років від-

бувається активне освоєння ринку азіатських країн, таких як Китай, Південна Корея та Індія.

Висновки

На ПрАТ «Дніпроспецсталь» розроблено, освоєно та впроваджено технологію виплавки, розпилення, компактування, деформаційного переділу, термічної й ад'юстажної обробки нових порошкових високолегованих інструментальних сталей марок: P3M3Ф4-МП, P7M7Ф7K11-МП, P14M3Ф5K11-МП, 140X5M4Ф4-МП, 110X8M2ФC-МП, X14MФ9-МП, X18MФ3C-МП, 8X8MФ3-МП. Якість сортової металопродукції нових порошкових сталей відповідає вимогам ТУ ДСС 005-13, технічних протоколів, що дозволяє задовольнити зростаючий попит споживачів на високоякісні сталі.

Список літератури

1. Кійко Г.В., Ревякін С.В., Тумко О.М., Яценко О.С. (1992) Виробництво порошкових сталей на заводі «Дніпроспец-сталь». *Сталь*, **9**, 86–89.
2. Гіммельфарб А.І., Якименко В.Б., Гіпш Я.Л. та ін. (1981) Організація промислового виробництва швидкорізальної сталі методом порошкової металургії. *Сталь*, **1**, 79–83.

References

1. Kiiko, G.V., Revyakin, S.V., Tumko, O.M., Yatsenko, O.S. (1992) Production of powder steels at Dniprospeetsstal plant. *Stal*, **9**, 86–89 [in Ukrainian].
2. Gimmelfarb, A.I., Yakymenko, V.B., Gipsh, Ya.L. et al. (1981) Establishing of industrial production of high-speed steel by powder metallurgy method. *Stal*, **1**, 79–83 [in Ukrainian].

MASTERING THE PRODUCTION OF NEW HIGH-ALLOY TOOL STEELS, MANUFACTURED BY POWDER METALLURGY METHOD

S.G. Kiyko, I.M. Logozyn'sky, O.G. Fedkov, S.M. Karpunin, V.V. Milchev, V.M. Gen PJSC «Electrometallurgical Plant «Dniprospeetsstal».

81 Pivdenne Highway, 69008, Zaporizhzhya, Ukraine. E-mail: info@dss.com.ua

We developed, mastered and introduced the technology of smelting, dispersion, compacting, deformation processing, heat and adjustment treatment of new powder high-alloy tool steels of the following grades: R3M3F4-MP, R7M-7F7K11-MP, R14M3F5K11-MP, 140Kh5M4F4-MP, 110Kh8M2FSC-MP, Kh14MF9-MP, Kh18MF3S-MP, 8Kh8MF3-MP. The quality of sectional metal products of the new powder steels meets the requirements of TU DSS 005-13 and technical protocols. 2 Ref., 2 Tabl., 3 Fig.

Keywords: tool steels, melt dispersion, metal powder, deformation processing, microstructure, carbide heterogeneity

Отримано 23.12.2024

Отримано у переглянутому вигляді 19.12.2024

Прийнято 23.12.2024

ЧЕСЬКА КОМПАНІЯ SAZ s.r.o. — НАДІЙНА ТЕХНІКА ДЛЯ ЗАЛІЗНИЦІ

Україно-чеське співробітництво

Сімдесятирічний досвід успішної роботи компанії SaZ s.r.o. дав можливість вирішити актуальну проблему – створення ефективного устаткування для зварювання залізничних рейок. У 2023 р. компанією SaZ s.r.o. у тісному співробітництві з Інститутом електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України успішно налагоджено виробництво дводорожних (double-track) рейкозварювальних комплексів WELDERLINER, оснащених мобільними машинами K922-1 для контактного стикового зварювання оплавленням (FBW).

<https://www.saz.cz>

