

*А.О. Юрчук, к.т.н., М.В. Кіндрачук, д.т.н., О.В. Тісов, к.т.н.  
(Національний авіаційний університет, Україна)*

## **Матеріали на основі заліза для адитивних технологій виробництва**

*Евтектичні сплави на основі аустенітної сталі 12Х18Н10Т набули широкого застосування під час ремонту вузлів тертя гарячої частини ГТД. Високотемпературна пластична матриця в поєднанні з широкою номенклатурою зміцнювальних фаз дозволяє створювати матеріали з наперед заданими властивостями для конкретних умов експлуатації. Високі ливарні властивості цих сплавів дозволили наплавляти покриття досить суттєвої товщини – понад 1 мм. З огляду на їх низьку температурну чутливість, нанесення сплавів у кілька шарів не знижує властивості і не погіршує мікроструктуру. Це відкриває нові можливості для використання сплавів у адитивних технологіях виробництва.*

Евтектичні матеріали як природні мікро- та нанокомпозити завжди були предметом уваги інженерів. Вони мають вузький діапазон температур твердіння і спонтанне формування різних структурних схем, що контролюються швидкістю охолодження. Пластична матриця зміцнена твердими частинками або ламелями, утвореними карбідами або інтерметалідами. Багато чудових інструментальних та зносостійких матеріалів - це евтектика, або спечені матеріали з псевдо-евтектичною структурою. Хороші ливарні властивості роблять їх також перспективними для виробництва добавок. Зазвичай груба мікроструктура, що утворюється під час затвердіння, сприяє низькій в'язкості матеріалу. Швидкі швидкості охолодження можуть допомогти подолати цей ярлик. В якості матеріалу для виготовлення сталевих деталей найчастіше використовується сталь тип 316, аналогом якої є сталь 12Х18Н10Т

Нержавіюча сталь 316 є одним з найбільш широко використовуваних матеріалів у адитивному виробництві. Застосовується для багатьох видів матеріалів і навіть для гібридних композитів [1]. Хромонікелеві нержавіючі сталі застосовуються методом шарового осадження для відновлення тріщин на металевих конструкціях [2]. Як конструкційні, так і інструментальні сталі можуть бути використані для адитивного виробництва, якщо вони стабільні в обраних умовах методу осадження [3]. Більшість з них, особливо з нержавіючих сталей, не потребують спеціального екранування, а повітряне охолодження створює потрібну мікроструктуру. Процеси адитивного виробництва з використанням металевих матеріалів – це плавлення порошкоподібного матеріалу або дроту, що складається з цільового матеріалу. [4]. Композиційний шар-зв'язка [5] дозволяє зв'язувати сталь практично з будь-якими матеріалами: інша сталь, титан, нікелеві сплави. Отже, сталь може бути використана для виготовлення шаруватих композитів на основі металу.

Сучасні методи виготовлення не можуть повністю виключити коливання параметрів процесу. Для евтектичних матеріалів варіації концентрації евтектики мають життєво важливе значення. З цієї точки зору, фазові діаграми є необхідними для виготовлення виробів та задалегідь

визначених корисних областей для контролю мікроструктури виробленого матеріалу [1, 6].

Сталі широко використовуються для створення композиційних поєднань матрично-наповненого типу, зміцнених частинками SiC, NbC, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. У системах Fe-Ti та Fe-Mn може утворюватися декілька карбідів. [6]

Для нанесення покриттів адитивними технологіями було використано евтектичні наплавочні матеріали наведеного в табл. 1 складу.

Таблиця 1.

Склад порошкових матеріалів									
Назва	Fe	C	B	Cr	Ni	Ti	V	Матриця	Зміцнювальні фази
ВТН	Основа	-	1,4	15,4	7,7	3,2	8,1	Сталь	TiB <sub>2</sub> + VC
ХТН	Основа	1,9	2,6	20,5	8,6	2,5	-	12Х18Н9Т	(Ti, Cr)B <sub>2</sub>

Завдяки особливостям процесу кристалізації, евтектичні сплави також можуть використовуватись як матеріал для 3Д друку металевих виробів. Для зміцнення і відновлення деталей типу ножів для гарячого різання металу, що піддаються ударним навантаженням найбільш прийнятні порошки сплавів системи I2X18H9T-TiB<sub>2</sub>-VC додатково леговані міддю. Для зміцнення роликів опор, що працюють в умовах зношування при впливі агресивних середовищ і високих температур рекомендовані порошкові матеріали системи I2X18H9T – TiB<sub>2</sub> – CrB<sub>2</sub> додатково леговані Al і Si.

Покриття з евтектичних порошкових сплавів на залізній основі мають в 1,5...1,9 разів кращу шліфованість, ніж аналоги на нікелевій основі. Зносостійкість зміцнених деталей зростає в 3...5 разів. Плазмовому наплавленню і наплавленню СВЧ піддавалися вали насосів ГК6, 2Х9, 3К6, що працюють у корозійно-активному середовищі в умовах тертя без змащення (сталь 12Х18Н9Т); ножі для гарячого різання металу НШГ-50, НШГ-52, що працюють при підвищених температурах (сталь 5ХНВ, рис. 1); ролики і роликові опори в печах термічної лінії КМ-45-МІ, що працюють на тертя і знос при високих температурах (сталь 5ХНВ). Висока техніко-економічна ефективність використання таких покриттів досягається в результаті збільшення терміну служби деталей, можливості їхнього кількарізового відновлення, економії дефіцитних сталей, зменшення поточних ремонтів і простою устаткування, тощо.



Рис. 1. Ножі для гарячого різання металів

З цих матеріалів можна виготовляти гальмівні накладки і диски гальмівних пристроїв для середніх умов тертя (короткочасна температура до 400 °С, тривала — до 250 °С, тиск до 1,5 МПа

Дискретна лазерна обробка наплавлених покриттів дозволяє підвищити адгезію до основи до 400-450 МПа, пористість знижується до 0,5-1%, а зносостійкість порівняно з неоплавленими лазером покриттів зростає майже вдвічі.

В результаті дослідно-промислових випробувань встановлена можливість застосування ЕП для підвищення довговічності ріжучих елементів (ножі КПИ-2,4 і ІКМ-5) кормо-подрібнюючих машин у 1,7...2 рази у порівнянні з серійними процесами гартування СВЧ (сталь 65Г).

**Висновки.** Аустенітна сталь 12Х18Н10Т є широко використовуваною для виготовлення деталей адитивними методами. Вона гарно поєднується з різними карбідами, утворюючи природні композити евтектичного типу (з внутрішнім жорстким каркасом). В промисловості накопичено значний досвід використання таких композитів, нанесених різноманітними методами для відновлення і зміцнення широкої номенклатури деталей. Наразі використання цих матеріалів для новітніх технологій 3Д друку є актуальним і потребує подальших досліджень, однак їх перспективи є безсумнівними.

### Список літератури

1. C. Zhang, F. Chen, Z. Huang, M. Jia, G. Chen, Y. Ye, Y. Lin, W. Liu B. Chen, Q. Shen, L. Zhang, E. J. Lavernia, Additive manufacturing of functionally graded materials: a review, *Mat. Sci. & Eng. A* 764 (2019) 138209, <https://doi.org/10.1016/j.msea.2019.138209> .
2. A. Yadav, A. Srivastav, A. Singh, M.D. Mushtaque, S.A. Khan, Harish Kumar, P.K. Arora Investigation on the materials used in additive manufacturing: a study, *Mater. Today: Proc.* (Article in press), <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.10.975> .
3. M Bhuvanesh Kumar, P Sathiya Methods and materials for additive manufacturing: a critical review on advancements and challenges *Thin Wall. Struct.* (Article in press), <https://doi.org/10.1016/j.tws.2020.107228> .
4. Tuan D. Ngo, A. Kashania, G. Imbalzano, Kate T.Q. Nguyen, D. Hui, *Composites Part B* 143 (2018) 172–196, <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.02.012> .
5. M. Ansari, E. Jabari, E. Toyserkani, Opportunities and challenges in additive manufacturing of functionally graded metallic materials via powder-fed laser directed energy deposition: a review, *J. Mater. Proc. Tech.* 294 (2021) 117117, <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2021.117117> .
6. N. Li, S. Huang, G. Zhang R. Qin, W. Liu, H. Xiong, G. Shi, J. Blackburn, Progress in Additive Manufacturing on New Materials, *J. Mat. Sci. Technol.* 35 (2) (2019) 242-269, <https://doi.org/10.1016/j.jmst.2018.09.002> .