

Біфуркація технічних систем – прототипів нових інструментальних матеріалів

Е.К. Посвятенко¹, Н.І. Посвятенко¹, О.В. Мозговий²

1 – Національний транспортний університет, Київ, Україна

2 – Вінницький національний педагогічний університет, Вінниця, Україна

***Анотація:** Діяльність у галузі технологій відбувається за законами синергетики. Винахідництво є складовою технічних систем. Ключовим питанням при створенні винаходу є пошук прототипу. Від правильності визначення прототипу залежить ефективність винаходу. Якщо відома система, що вичерпала свої корисні властивості, то виникає необхідність у її удосконаленні. Настання такої межі слід вважати точкою біфуркації системи. Саму ж систему тоді доцільно брати за прототип винаходу. Метою дослідження є вплив законів синергетики на створення нового технічного рішення. Основною ідеєю є пошук допустимих значень властивостей матеріалів як точок біфуркації і визначення на базі цього прототипу винаходу. Прототипом для винайдення твердих сплавів служить швидкорізальна сталь, для алмазного інструменту – тверді сплави, для комбінованого алмазно-твердосплавного матеріалу (Славутич) – крупні монокристали природних алмазів, для матеріалу із захисними покриттями – традиційний інструментальний матеріал. Таким чином, пошук прототипу відомого технічного рішення для винаходу з позиції законів синергетики – це визначення точки біфуркації системи.*

Ключові слова: синергетика; точки біфуркації; прототип винаходу; інструмент; інструментальний матеріал.

До інструментальних матеріалів висуваються такі основні вимоги: висока стійкість проти зношування, яка визначається твердістю; висока міцність, що гарантує достатній опір механічному руйнуванню; висока теплостійкість – здатність працювати за високих температур у зоні різання; низька інтенсивність адгезії у зоні контакту інструменту з виробом; висока технологічність – властивість, що забезпечує оптимальні умови виготовлення інструментів; оптимальна економічність, тобто мінімальна вартість на одиницю продукції [1–3].

Народженням сталі як високоефективного та якісного інструментального матеріалу слід вважати 1722 р., коли була опублікована стаття відомого французького вченого Р. Реомюра “L’art de convertir le Forgé en Acier” (“Мистецтво перетворювати коване залізо в сталь”). Вчений зумів розгадати таємницю давніх сталеплавильників Месопотамії, Китаю та Індії, яка полягала в оптимальному вмісті вуглецю у сталі. За даними сучасної науки вміст вуглецю у сталі, як залізовуглецевому сплаві, не повинен перевищувати 2,14%, а в іншому залізовуглецевому сплаві – чавуні – знаходитись в межах 2,14–6,67%. Реомюр показав, що виготовити якісну середньо- та високовуглецеву сталь, що добре термозміцнюється, можна шляхом сумісного плавлення в одній печі низьковуглецевої сталі (криці) та чавуну.

Таким чином, Р. Реомюр уперше у науці і практиці поєднав у єдиному новому технічному рішенні відомі властивості маловуглецевої сталі – високу пластичність, і чавуну – твердість, отримавши якісну інструментальну сталь. Тим самим, науково була визначена ключова роль вуглецю у сталі. Точками біфуркації у відомих матеріалах були – низька міцність маловуглецевої сталі (криці) і крихкість чавуну.

Раніше інших матеріалів для виготовлення різальних інструментів почали застосовувати вуглецеві інструментальні сталі марок У7, У7А...У13, У13А. Крім заліза і вуглецю, ці сталі містять 0,2–0,4% марганцю. Інструменти з вуглецевих сталей мають достатню твердість при кімнатній температурі, але теплостійкість їх невелика, тому що при порівняно не високих температурах (200–250 °С) їх твердість різко зменшується.

Леговані інструментальні сталі за своїм хімічним складом відрізняються від вуглецевих підвищеним вмістом кремнію або марганцю, або наявністю одного чи декількох легуючих елементів: хрому, нікелю, вольфраму, ванадію, кобальту, молібдену. Для різальних інструментів використовуються низьколеговані сталі марок 9ХФ, 11ХФ, 13Х, В2Ф, ХВ4, ХВСГ, ХВГ, 9ХС та ін. Ці сталі мають більш високі технологічні властивості – кращу загартовуваність та прогартовуваність, меншу схильність до короблення, але їх теплостійкість не перевищує 300 °С. Тому вони, як і вуглецеві інструментальні сталі, використовуються для

виготовлення ручних, дереворізальних інструментів (напилків, пилок, ножівок) або машинних інструментів, призначених для оброблення з низькими швидкостями різання (дрібні свердла, мітчики, плашки, протяжки, розвертки). Точками біфуркації тут служать низька теплостійкість матеріалу.

У 1861р. англійський інженер Роберт Мушет винайшов самогартівну інструментальну сталь, леговану вольфрамом (5%), марганцем (1,5%) і хромом (1,5%), що стала предтечею швидкорізальних сталей. У 1898 – 1900 рр. американський винахідник Фредерік Тейлор запатентував склад та спосіб термічної обробки швидкорізальної сталі з оптимальним вмістом легуючих елементів: вольфрам – 18%; хром – 5,47%; ванадій – 0,29%; марганець – 0,11%; кремній – 0,043% при вмісті вуглецю – 0,67%. Термічна обробка – нагрівання до температури понад 900 °С з наступним охолодженням у воді. Червоність сталі – 600 °С, допустимі швидкості різання – 13...30 м/хв, тобто у 5 разів вищі, ніж ті, що допускає вуглецева інструментальна сталь [2]. Тут також точкою біфуркації є низька теплостійкість матеріалу.

Широке використання швидкорізальних сталей для виготовлення складно-профільних інструментів обумовлюється поєднанням високих значень твердості (до 68 HRC) і теплостійкості (550–650 °С) при високому рівні крихкої міцності і в'язкості. Ці сталі одержали найбільш широке поширення при виготовленні складно-профільних різальних інструментів і у тих випадках, де застосування твердосплавного інструмента обмежується його малою міцністю. Крім того, швидкорізальні сталі досить технологічні, тому що добре обробляються тиском і різанням у відпаленому стані.

У 1927 р. фірма “Krupp” (Німеччина) уперше застосувала новий інструментальний матеріал торгової марки “Widia”. Цей матеріал принципово відрізняється від сталі тим, що, по-перше, зовсім не містить у собі заліза і вуглецю, а, по-друге, не є литим, а спеченим. Тверді сплави (так їх називають у процесах обробки і у матеріалознавстві) є композиційними матеріалами, де наповнювачем слугують тверді карбіди (WC, TiC, TaC), а зв'язуючою речовиною – м'який кобальт (Co). Матеріал має надзвичайно високі твердість (87–91 HRA) і у залежності від марки теплостійкість (700–1100 °С). Тверді сплави є незамінними при високих швидкостях різання (500 м/хв) і високій твердості оброблюваного матеріалу. Тобто, цей матеріал є основним у високошвидкісних процесах [2].

Вичерпанням абразивних властивостей твердого сплаву (це точка біфуркації) і міцності та розмірів промислових алмазів (це дві точки біфуркації) скористались винахідники нового матеріалу “Славутич”. Авторам (Бакуль В.М. та ін.) удалось поєднати в цьому композиційному матеріалі позитивні властивості металокерамічного твердого сплаву марки ВК (матриця) та алмазу дрібних фракцій (наповнювач). При цьому була вирішена серйозна проблема, яка полягала у наступному. Твердий сплав мав температуру спікання біля 1300 °С і час спікання – приблизно 24 години. Алмаз же згорав на повітрі при температурі 800 °С. Винахідники знайшли матеріал та технологію “вуалізації” зерен алмазу, що не давав останньому знову перетворюватись у графіт, навіть, при температурі 1300 °С протягом доби при сумісному перебуванні у графітовій прес-формі. Таким чином, була вирішена проблема використання дрібних алмазів (наприклад, фракції 500/630) у глибокому бурінні на нафту і газ. Залишки матеріалу “Славутич” після використання у бурових долотах йшли на виготовлення правлячого інструменту для абразивних кругів. Отже, новизна й корисність нового композиційного матеріалу були безсумнівними.

Інструментальна промисловість випускає також синтетичні надтверді матеріали (НТМ) на основі алмазу (АС) і кубічного нітриду бору (КНБ). Перший має найвищу твердість серед відомих матеріалів (до 100 ГПа за Кнуппом), допускає температури до 900 °С. Проте цей інструментальний матеріал має відносно малі розміри і досить низьку міцність на згинання ($\sigma_{zg} \leq 0,9$ ГПа). Другий також має приблизно таку ж міцність на згинання, проте допускає температури різання до 1200 °С. Твердість матеріалів на основі КНБ сягає 30–40 одиниць за Кнуппом. Таке поєднання характеристик НТМ створило нішу для їх використання при чистовій лезовій обробці [3].

У світовій практиці металообробки все більше застосування знаходять різальні інструменти з покриттями різальної частини. Тонкі "плівочні" покриття товщиною 2–10 мкм наносять на поверхню готового інструменту із сталей, твердих сплавів і кераміки з метою поліпшення експлуатаційних характеристик інструментів [4, 5].

Традиційні зносостійкі покриття із нітридів та карбідів титану наносять на інструмент методами фізичного (PVD), хімічного (CVD) та термодифузійного (ТДН) насичення. У промислово розвинених країнах випуск твердосплавних різальних частин з покриттями становить 60–90% від їх загального випуску, а виробництво інструментів із швидкорізальної сталі з покриттями складає близько 70% усіх типів інструментів.

Твердість і міцність інструментального матеріалу – це властивості антагоністи, тобто чим вище твердість матеріалу, тим нижче його міцність. Тому набір цих властивостей і визначає область та умови раціонального використання інструментальних матеріалів для інструментів.

При обробці з малими і середніми швидкостями різання у комбінації із середніми та великими перетинами зрізу переваги мають інструменти із швидкорізальної сталі.

На сьогодні найпоширенішим інструментальним матеріалом є швидкорізальна сталь, з якої виготовляється до 60% інструментів, із твердих сплавів близько 30%, а із інших груп матеріалів – близько 10% лезового інструмента.

Ідея створення ідеального інструментального матеріалу полягає у розробці композиційного матеріалу, у якого високі значення твердості, теплостійкості, фізико-хімічної інертності поверхневих шарів сполучались би з достатнім значенням міцності від згинання, ударної в'язкості, границі витривалості серцевини. Тенденції до цього уже зараз спостерігаються у світовій практиці виробництва інструментальних матеріалів.

Отже винахідництво є творчим процесом у експериментальних галузях діяльності людини, насамперед у техніці. Тому у випадках, коли розвиток техніки вимагає нових раніше невідомих рішень, діяльність винахідника відбувається за законами синергетики [6]. У всіх випадках пошук прототипів відомої системи слід вважати біфуркацією цієї системи.

Список літератури

1. V.A. Shalomeev, E.I. Tsvirko, Yu.N. Vnukov, D.A. Morozov [New magnesium alloy with promote properties for automobile construction](#) // Metallurgical and mining industry. 2014. №1. PP. 54–61.
2. Історична спорідненість розвитку прикладних технічних наук: монографія / Е.К. Посвятенко, О.Є. Тверитникова, Н.І. Посвятенко, Т.В. Мельник. Харків: НТУ "ХП", 2017. 224 с.
3. Основи теорії різання матеріалів: підручник для вищ. навч. закладів / під ред. М.П. Мазура. Львів: Новий Світ-2000, 2010. 422 с.
4. Методологічні основи наукових досліджень: підручник для студентів техніч. спец. / Н.І. Посвятенко, О.Є. Тверитникова, Е.К. Посвятенко, Ю.Є. Демідова. Харків: "Факт", 2022. 320 с.
5. Chapter 10. Cutting Superhard Materials by Jet Methods (on Functional Approach) / A. Salenko, V. Shchetynin, G. Gabuzian, E. Lashko, Mohamed R.F. Budar, S. Klimenko, A. Potapov // Recent Advances in Engineering Materials and Metallurgy. – London: IntechOpen, 2020. – P. 169–189.
6. Ilya Prigogine and Isabelle Stengers Order out of Chaos: Man's New Dialogue with Nature. Verso, London, 2017. 349 p.

Bifurcation of technical systems – prototypes of new instrumental materials

E. Posviatenko, N. Posviatenko, O. Mozgoviy

Abstract: Activities in the field of technology take place according to the laws of synergy. Invention is a component of technical systems. The key issue when creating an invention is the search for a prototype. The effectiveness of the invention depends on the correct definition of the prototype. If a known system has exhausted its useful properties, it becomes necessary to improve it. The occurrence of such a limit should be considered the bifurcation point of the system. It is appropriate to take the system itself as a prototype of the invention. The purpose of the study is the influence of the laws of synergy on the creation of a new technical solution. The main idea is to search for permissible values of material properties as bifurcation points and to determine them on the basis of this prototype of the invention. The prototype for the invention of hard alloys is high-speed steel, for diamond tools - hard alloys, for combined diamond-hard alloy material (Slavutich) - large single crystals of natural diamonds, for material with protective coatings - traditional tool material. Thus, searching for a prototype of a known technical solution for an invention from the point of view of the laws of synergy is the determination of the bifurcation point of the system.

Keywords: synergy; bifurcation points; invention prototype; tool; tool material.