

ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ ТЕОРІЇ ТЕРТЯ ТА ЗНОШУВАННЯ

УДК 681.891

¹В. Є. Панарін, д-р техн. наук., старш. наук. співроб.,

¹М. Є. Свавільний, канд. фіз.-мат. наук, старш. наук. співроб.,

¹А. І. Хомінич, інж. І кат.,

²М. В. Кіндрачук, д-р техн. наук., проф.,

³Є. В. Корбут, канд. техн. наук, доц.

ПОТЕНЦІЙНІ МОЖЛИВОСТІ ЗМІЦНЕННЯ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ КОМПОЗИЦІЙНИМИ ПОКРИТТЯМИ З ВУГЛЕЦЕВИМИ НАНОТРУБКАМИ

¹Інститут металофізики ім. Г.В. Курдюмова НАН України

²Національний авіаційний університет

³Національний технічний університет України «КПІ»

Наведено з літературних даних та проаналізовано фізико-хімічні процеси, що відбуваються на крайці різального інструменту під час роботи. Розглянуто поведінку твердих сплавів та швидкорізальних сталей в умовах різання та домінуючі механізми їх руйнування. Вказано шляхи підвищення ріжучої здатності інструменту та подовження терміну його служби. Одним із перспективних методів вирішення проблеми є створення композиційних покриттів. Ефективним зміцнювачем цих покриттів можуть слугувати вуглецеві нанотрубки. Наведено фотографії експериментально отриманих покриттів з вуглецевих нанотрубок на модельних підкладках, що мають структуру повсті.

Стан проблеми. Технологія обробки металів різанням продовжує залишатись однією з провідних серед різноманітних засобів обробки металів.

Локальні умови роботи крайки різального інструменту дуже складні [1]. У процесі різання на робочій крайці інструменту одночасно протікає цілий ряд фізичних та хімічних процесів з суттєвим проявом між ними синергетичного ефекту [2], тобто їх взаємного підсилювання. Сукупна дія цих процесів призводить до руйнування матеріалу інструменту шляхом його зношування або викришування. Навіть незначне порушення геометрії різальної крайки призводить до швидкого зростання локальної температури матеріалу різця, збільшення сили тертя, механічних напружень, ступеня дефор-

мації і, як наслідок, суттєвого зменшення різальної здатності. Це негативно впливає на геометрію та розміри обробленої деталі: збільшується шорсткість її поверхні, знижується витримка допусків, крім того, зростають енергетичні витрати на обробку, час виконання заданої операції, витрати матеріалу інструменту внаслідок його додаткового переточування. Особливо сильно перелічені негативні явища проявляються при обробці деталей на верстатах-автоматах та за наявності зміцнюючого покриття на інструменті, яке руйнується в процесі переточування. У всіх технічно розвинених країнах безперервно ведуться пошуки ефективних шляхів вирішення проблеми підвищення стійкості різального інструменту в контексті матеріалознавчих аспектів з урахуванням новітніх досягнень в галузі матеріалознавства.

Іншим, не менш важливим напрямком підвищення різальної здатності інструменту та його стійкості є пошук оптимальних умов різання – режимів різання та вплив на цей процес спеціальних мастильно-охолоджуючих рідин, а також використання поверхнево-активних речовин, які викликають ефект Ребіндера. Однак цей напрямок досліджень ми розглядати не будемо, а зосередимося на поведінці матеріалів під час різання.

Перелічимо основні фізичні та хімічні процеси, які мають місце в матеріалі різця та призводять врешті решт до руйнації інструменту:

1. Підвищення температури робочої крайки внаслідок тертя та зрізання шару матеріалу деталі. Локальна температура на крайці може сягати 800 градусів за Цельсієм [3; 4];
2. Зростання сили та коефіцієнта тертя, і, як наслідок, прискорене зношування [5];
3. Виникнення змінних та знакозмінних напружень, які локально можуть перевищувати тимчасову межу міцності (σ_b) [6; 7; 8];
4. Пластична деформація [8; 10; 11];
5. Зростання швидкості та повноти протікання дифузійних процесів [12];
6. Ініціювання хімічних процесів, зокрема окиснення поверхневих шарів [12; 13];
7. Вібрація та коливання, і, відповідно, втомне руйнування [14; 15];
8. Хімічна взаємодія матеріалу різця з матеріалом деталі [14; 16].

Мета даної роботи – аналіз сучасних теорій руйнування і міцності різального інструменту та розроблення принципів формування

композиційних покриттів, зміцнених вуглецевими нанотрубками.

Фактори, що впливають на стійкість різального інструменту. Розглянемо більш детально сумісну дію перелічених вище процесів на деградацію властивостей матеріалів різальних інструментів.

1. Підвищення температури матеріалу різального інструменту, особливо на різальній крайці, одночасно з виникненням локальних градієнтів механічних напружень та пластичної деформації призводить до ініціювання та зростання дифузійних процесів. Треба підкреслити, що час протікання ініційованих дифузійних процесів відносно невеликий (хвилини, або їх частки) тому вони протікають частково і неповно, як це могло б мати місце, наприклад, при тривалому відпалі. Але, з іншого боку, виникає синергетичний ефект підсилення сумісної дії, що, в свою чергу, прискорює дифузійні процеси оскільки всі матеріали для різального інструменту є гетерогенними, то має місце деградація їх вихідної структури. В різних матеріалах це проявляється по різному, але загальним є підвищення рухомості меж зерен, коалесценція твердих часток, розпад твердих розчинів, збільшення пластичної деформації, утворення нових фаз. Усе це змінює (як правило, погіршує) вихідні властивості інструменту. Звідси витікає важлива умова збереження вихідних властивостей інструменту: його термодинамічний стан повинен бути якомога більш стабільним, тобто максимально наближеним до рівноважного. Якраз підвищення термодинамічної стабільності структури добиваються розробники, наприклад, складнолегованих інструментальних сталей, які можна використовувати в якості різального інструменту при відносно невеликих температурах – до початку розпаду мартенситу. Більш термодинамічно стабільними є тверді сплави, наприклад, на основі карбіду вольфраму з кобальтовою зв'язкою, оскільки кобальт з карбідом вольфраму утворює квазібінарну систему Co-WC евтектичного типу. І хоча структура сильно заевтектичних сплавів, таких як BK8, BK6, BK3, має в своєму складі вироджену евтектику – твердий розчин на основі кобальту, що кристалізується на поверхні первинних кристалів WC, вона досить стабільна при наближенні до високих температур. Існування виродженої евтектики в цій системі використовується, наприклад, при високотемпературному відпалі пресовок з порошків кобальту та карбіду вольфраму.

Високі температури призводять не лише до деградації структури, а й до зменшення міцності різального інструменту. У різних матеріалах високотемпературна міцність забезпечується різними механізмами, але завжди є важливим чинником успішної роботи різального інструменту. Здебільшого використовують тугоплавкі фази та процеси формування, які є найбільш рівноважними, наприклад, реакція евтектичної кристалізації, яка дозволяє зберігати механічні властивості до температур $\sim 0,9T_{пл}$. Перспективними, з огляду високотемпературної міцності, є штучно створювані композиційні матеріали, в яких контрольовано регулюється міжфазна взаємодія. Такі матеріали можуть за високих температурах досить довго зберігати вихідні властивості.

2. Процес тертя не можна відокремити від процесу різання оскільки вони ініціюють і супроводжують одне одного, але поведінка матеріалів окремо при терті відрізняється від поведінки окремо при різанні. При сумісній дії, ті чинники, які впливають на процес тертя відіграють важливу роль і при різанні. До них відносяться в першу чергу процеси зношування, налипання (перенос одного матеріалу на інший при терті) та ковзання, який характеризується коефіцієнтом тертя. Закономірності побудови зносостійкого матеріалу в загальних рисах відомі. Це гетерогенність і регулярність структури з поєднанням в одному матеріалі фаз з різними властивостями, здатність до утворення оптимальних вторинних структур. Налипання, як правило, відбувається за визначених параметрів тертя однофазних та пластичних матеріалів з низькою міцністю. Такий випадок може мати місце коли неправильно підібрано матеріал інструменту при різанні м'якого або в'язкого матеріалу. Коефіцієнт тертя бажано мати якомога менший, оскільки легке ковзання (з малими витратами енергії на переміщення матеріалу) запобігає налипанню, зменшує енергетичні витрати на обробку різанням, зменшує шорсткість поверхні деталі. На сьогоднішній день не існує матеріалу різального інструменту, у який би свідомо, при створенні, закладався низький коефіцієнт тертя при одночасній високій стійкості до зносу. Це пояснюється складністю вирішення питання одночасного поєднання перелічених вище властивостей з низьким коефіцієнтом тертя (як правило, останній не контролюється). Контрольоване утворення захисних оксидних плівок (так зване «третє тіло»), які виконують роль твердого мастила і зменшують коефіцієнт тертя, поширено при розробці триботехнічних

матеріалів, але не використовується при розробці різальних матеріалів, оскільки оксидні плівки не утримуються в зазорі і видаляються разом зі стружкою із зони різання.

3. Виникнення напружень першого роду (що врівноважуються в межах габаритів тіла) та другого (врівноважуються в межах зерна) в різальному інструменті має різну природу. Проникнення різця в деталь супроводжується пластичною деформацією матеріалу деталі та пружною деформацією матеріалу різця. Напруження першого роду врівноважуються в межах різальної пластини або її обмеженої зони. Напруження другого роду врівноважуються завжди в межах зерна матеріалу різця. Картина розподілу пружних деформацій всередині матеріалу різця дуже складна. Сильні градієнти напружень виникають в різних точках матеріалу різця через нерівномірність деформацій та теплових полів. В свою чергу існування градієнтів напружень підсилює дифузійну рухомість атомів і, таким чином, впливає на деградацію вихідної структури матеріалу різця.

Знакозмінні напруження, які виникають при різанні, збільшують втому матеріалу різця і при їх локальному накопиченні вище короткочасної межі міцності можуть призвести до появи та подальшого розповсюдження тріщини. Матеріал різця починає кришитися, якщо має недостатньо високу втомну міцність. Межа втомної міцності нижча за межу тимчасової міцності і визначається рядом чинників, основним серед яких, є заходи по гальмуванню розповсюдження втомної мікротріщини. Ефективним засобом боротьби з розповсюдженням мікротріщини є створення на її шляху бар'єрів у вигляді частинок іншої фази з високою твердістю. З огляду на це, дисперснозміцнені та композиційні матеріали, що мають в своєму складі фази з високою межею міцності, здатні ефективно підвищувати втомну міцність.

4. У процесі різання деформацію різця треба обмежувати в межах пружною областю (не виходячи за межі закону Гука), тобто необхідно використовувати матеріали з високим модулем Юнга. Але, як правило, високомодульні матеріали мають високу крихкість, тобто починають руйнуватися іноді навіть не досягнувши межі пропорційності. Збільшення частки пластичної деформації матеріалу різця для можливості релаксації напружень зменшує його твердість, що, в свою чергу, негативно відбивається на різальній здатності. Знову ж таки, вирішити таке протиріччя можна завдяки реалізації

принципу побудови композиційного матеріалу, тобто поєднання м'якої металевої матриці з твердими, високопружними зміцнюючими волокнами. В такому матеріалі м'яка матриця передає та перерозподіляє напруження на зміцнюючу складову композиції між її різними областями. При цьому, композиційний матеріал може одночасно мати високу твердість та релаксувати надмірні напруження.

Носіями пластичної деформації кристалічного тіла є дислокації – лінійні дефекти кристалічної структури. При різанні генерування дислокацій на поверхні різальної крайки, як одного з можливих джерел Франка-Ріда, дуже інтенсивне. Їх велика щільність і швидкість пересування, яка підсилюється існуванням градієнтів напружень, мала енергія активації можуть призводити до виникнення суттєвої пластичної деформації матеріалу різального інструменту. Це явище недопустиме, оскільки призводить до втрати геометричних розмірів різального інструменту.

5. Дифузійне переміщення атомів, ініційоване високими температурами, градієнтами напружень, пластичною деформацією призводить до деградації вихідної структури матеріалу різця. Це проявляється в підвищенні рухомості меж зерен, розвитку процесу коалесценції зміцнюючих часток, зміні фазового складу – появі більш або менш термодинамічно стійких фаз, перерозподілу легуючих елементів, ініціаціювання процесів хімічної взаємодії – окисненню, нітридізації, виникненню перемінного складу твердих розчинів і таке інше. У результаті таких структурно-фазових змін вихідні властивості матеріалу різця починають змінюватися, як правило, погіршуються. Запобігти протіканню дифузійних процесів практично неможливо, можливо лише в різному ступені їх обмежити. Для кожного різального матеріалу існують конкретні заходи гальмування дифузійних процесів, виходячи з їх структури, фазового складу, співвідношення розмірів атомів, їх природи тощо. Але загальним напрямком є досягнення якомога більшої термодинамічної рівноваги між фазами, що утворюють матеріал різця. Зрозуміло, що в термодинамічно нерівноважних системах дифузійні процеси ініціюються при менших енергетичних витратах – мають малий енергетичний бар'єр і протікають більш інтенсивно та повно. За умов існуючих технологічних процесів виготовлення різальних інструментів досягти достатньо повної термодинамічної рівноваги в матеріалі інструменту практично неможливо. Тому в кожному конкретному випадку добиваються певного компромісу між ступенем

термодинамічної рівноваги матеріалу та умов його виготовлення з урахуванням результатів подальшої роботи інструменту в конкретних умовах різання.

6. Окиснення переважно металевої компоненти матеріалу інструменту є основним процесом хімічної взаємодії з оточуючим середовищем під час різання. Воно має як позитивну, так і негативну тенденції. Виникнення тонкої плівки окислів з великою адгезійною міцністю призводить до поверхневого зміцнення металу, підвищення його різальної здатності та зносостійкості. Проте надмірне окиснення, з перевищенням оптимальної товщини окисної плівки та зниженням адгезії, зменшує ці показники і сприяє підвищеній виробі ріжучої крайки. Оскільки на практиці регулювати процес утворення оптимальної окисної плівки неможливо, окиснення можна вважати небажаним процесом.

7. Вібрація та коливання інструменту під час різання призводить до появи знакоперемінних напружень, їх поширенню вглиб матеріалу від різальної крайки та накопиченню, що сприяє виникненню втомних тріщин. Тому бажано, щоб матеріал різця мав якомога більші пружні характеристики та здатність до опору виникненню, а також блокуванню розповсюдження мікротріщин. З цієї точки зору композиційні матеріали мають хорошу перспективу застосування, оскільки сама їхня природа створення задовольняє таким вимогам. Одним з вирішальних чинників композиції, але важким у реалізації, є регульована взаємодія компонентів на міжфазній межі [17; 18]. Сформувані оптимальну за складом та розмірами зону на межі розділу фаз найбільш ефективно можна використовуючи дифузійні процеси, що відбуваються при відпалі. Але запевнити таку взаємодію треба з урахуванням утворення термодинамічно рівноважних станів, відповідно до п.5.

8. Хімічна взаємодія матеріалів різця і деталі з утворенням нових сполук можлива за умови протікання розвинених дифузійних процесів або механічного легування в процесі різання. Як правило, процеси хімічної взаємодії або не мають місця при різанні, або їх виникнення не призводить до суттєвої втрати різальної здатності, через що ними можна знехтувати.

З наведеного вище витікає, що протидіяти такій складній руйнуючій дії перелічених процесів можуть матеріали, що мають цілий набір відповідних властивостей. На сьогоднішній день матеріалів, які б пов-

ною мірою і одночасно ефективно протидіяли такому складному руйнуванню не існує. Тому для кожного матеріалу різального інструменту є оптимальна, але обмежена область його застосування. Оскільки обробка різанням в сучасній технології виготовлення деталей дуже поширена поряд з вдосконаленням традиційних матеріалів, інтенсивно ведуться пошукові роботи зі створення нових різальних матеріалів.

Композиційні покриття зміцнені вуглецевими нанотрубками. Виходячи з наведеного аналізу процесів руйнування матеріалу при різанні можна прогнозувати перспективу використання в якості різального - композиційного покриття, в якому використовуються як зміцнююча складова вуглецеві нанотрубки (ВНТ), а матрицею слугує тугоплавкий метал або сплав. Таке композиційне покриття можна наносити на традиційні матеріали для різального інструменту, які здатні витримувати температури відпалу біля 600 °С впродовж, принаймні, тридцяти хвилин, тобто зберігати вихідні структуру та властивості протягом цього часу. У першу чергу це стосується твердих сплавів та швидкорізальних сталей.

ВНТ досить повно задовольняють вимогам до зміцнюючої компоненти композиційного матеріалу – мають високу нанотвердість, міцність та модуль Юнга [19], тобто здатні ефективно зміцнювати металеву матрицю. Крім того, встановлено, що вони мають низький коефіцієнт тертя та високу зносостійкість [20], що знижує енергетичні витрати при різанні, зменшує висоту рельєфу поверхні, збільшує стійкість форми та вихідну геометрію інструменту, підвищує сталість допуску деталей.

У поперечному перетині ВНТ мають розмір від одиниць до десятків нанометрів, в залежності від того чи одностінні, вони чи багатостінні, а їх довжина може сягати десятків мікрон [21; 22]. За існуючою класифікацією зміцнюючих компонент композиційного матеріалу це відповідає визначенню: одномірні, безперервні та кінцеві за довжиною нитковидні кристали [18]. Композиційні матеріали з таким зміцнювачем можна використовувати в умовах локального нагріву та великого локального навантаження зовнішніми силами. Такі умови виникають при різанні та терті.

Важливим моментом при створенні композиційних покриттів, зміцнених ВНТ, є забезпечення високих значень сили адгезії покриття до підкладки, тобто до твердих сплавів або швидкорізальних сталей. Найбільший ефект адгезійної міцності такого покриття можна очіку-

вати, якщо забезпечити виникнення та подальший ріст ВНТ безпосередньо на поверхні підкладки, закріпивши їх торцями до неї. Умови такого росту можна відтворити, якщо сформувати каталітичні центри для вирощування ВНТ безпосередньо на поверхні підкладки.

В нашій роботі відтворено початкову спробу сформувати ВНТ з дотриманням сформульованих вище вимог на поверхні матеріалу, який використовується при різанні. На рис.1, *а* показано каталітичні нікелеві центри, сформовані на поверхні особливо чистої підкладки з тонкою плівкою оксиду кремнію, яку було отримано за стандартними режимами в умовах дифузійного відпалу. Такі центри слугують місцями дисоціації молекул вуглецьвміщуючих газів з виділенням атомів вуглецю, які, дифундуючи переважно по поверхні каталітичного центру і в його об'ємі, починають утворювати ВНТ (рис.1, *б*), шляхом побудови на його поверхні зародків відповідних угруповань, з яких в подальшому і формуються стінки ВНТ.

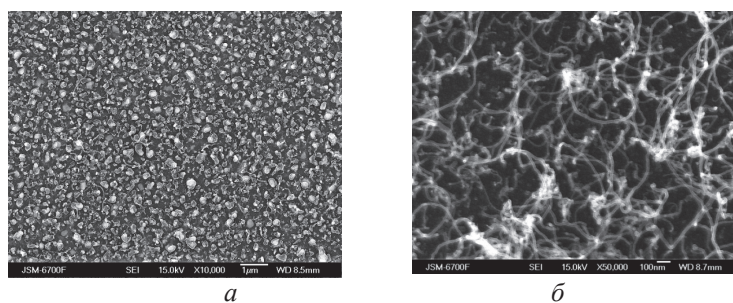


Рис. 1. Формування каталітичних нікелевих центрів на поверхні покриття з оксиду кремнію (*а*) та вирощування на них ВНТ (*б*)

Сформоване, таким чином, покриття з ВНТ, має структуру повсті, тобто хаотично розташованих тонких нитковидних багатопарових трубок вуглецю, торці яких закріплено на нікелевих каталітичних центрах. Відсутність переважної орієнтації ВНТ дозволяє очікувати ізотропії механічних властивостей композиційного покриття також і на поверхні різця, зокрема в напрямку дії сили, що виникає при різанні. Це є важливим чинником, оскільки напрямок дії сили різання змінюється в процесі обробки як в часі (зміна геометрії різальної крайки), так і в залежності від виду різання (форми різальної пластини, її заточування). Наявність анізотропії покриття зменшує область його застосування, тому бажано мати покриття ізотропні за властивостями.

Висновки. Наступним кроком в подальшій розробці композиційного покриття є вирощування ВНТ на поверхні матеріалу різця, а потім заповнення простору між ВНТ металом або сплавом. Такі операції можна здійснювати різними методами, але, при цьому треба мати на увазі, що на межі розділу металу, яким заповнюється простір між ВНТ, і самими ВНТ необхідно створити умови для контрольованої взаємодії. Як вказувалося вище, це найбільш ефективно можна зробити шляхом дифузійного відпалу.

Список літератури

1. Харламов Ю.А. Методы модифицирования поверхностных слоев деталей машин и инструментов // Сучасне машинобудування. 2000. №3–4. –С. 17.
2. ЯкубовФ.Я., Ким В.А. Структурно-энергетические аспекты упрочнения и повышения стойкости режущего инструмента.– Симферополь: Крымское учебно-педагогическое государственное издательство, 2005.– 300 с.
3. Огава Хисао. Условия обработки, влияющие на стойкость режущего инструмента// Puranto enjinia = Plant Eng. 2001. V.33, №1. –Р. 61–65.
4. Beno J., Izol P. Prispevok k modelovaniu poskodzovania reznej hrany pastrojov pri obrobani (Прогнозирование прочности и разрушения режущего инструмента)// Medzinarodna konferencia "Technologia 2001", Bratislava, 11–12 sept., 2001. – Zbornik prednasok.D.2. – Bratislava: Vyd. Sioven. TECHN UNIV. 2001. –Р. 744–747.
5. Касьянов С.В., Егорова М.В. Реализация преимуществ инструментов с поверхностным упрочнением в многоинструментальных операциях // Матер. краткосрочн. науч.-техн. семин. «Новые высокоэффективные режущего инструмента и оснастки для механической обработки деталей». – СПб: О-во «Знание» РСФСР. Ленингр. дом науч.-техн. Инф., 1992. –С. 50–51.
6. Остафьев В.А.. Расчет динамической прочности режущего инструмента. –М.: Машиностроение, 1979. – 169 с.
6. Троценко Е.І. Некоторые особенности роста усталостных трещин на различных стадиях их развития // Проблемы прочности. 2003.–№.6.–С.5–29.
8. Мазур М.П. Аналіз напруженого стану і зношування контактних ділянок різального інструменту // Проблеми трибології. 1998. – №3. –С. 17–21.
9. Лоладзе Т.Н. Прочность и износостойкость режущего инструмента. – М.: Машиностроение, 1982. – 320 с.
10. Теплофизика процессов механической обработки: учеб. пособие / А.В. Якимов, Слободяник, А.В. Усов. – К.: Либідь, 1991. – 240 с.
11. Горелов В.А. Кушнир В.С., Бензин А.С. О влиянии условий тер-

момеханического нагружения на напряжения и деформации режущего лезвия // Матерр. 4 Всерос. науч.-техн. конф., посвящ. 60-летию ОмГТУ «Динамика систем, механизмов и машин», Омск, 12–14 нояб., 2002. – Кн.2. – Омск: Из-во ОмГТУ. 2002. – С. 106–108.

12. Костецкий Б.И. Трение, смазка и износ в машинах. – К.: Тех.школа, 1978. – 396 с.

13. Крагельский И.В. Трение и износ. – М.: Машиностроение. 1968, – 320 с.

14. Костецкий Б.И. Структура и поверхностная прочность материалов при трении // Проблемы прочности. 1981. – № 3. – С.90–98.

15. Троценко В.Г., Покровский В.В. Циклическая вязкость разрушения металлов и сплавов. Сообщение 1. Методики и материалы исследования и общие закономерности // Проблемы прочности. – 2003, – №1. – С.5–23.

16. Марков Д.П. Условия возникновения и механизмы адгезионно-инициируемых видов катастрофического износа // Вестник машиностроения. 2002. – №6. – С.29–33.

17. Меткалф А.Г. Введение в обзор. – В кн.: Поверхности раздела в металлических композитах/ Под ред. А.Г. Меткалфа. М. «Мир», 1978. Композиционные материалы. Т.1. – 564 с.

18. Композиционные материалы: справочник. Под ред. д.т.н. Д.М. Карпиноса. – К.: Наукова думка. 1985. – 592 с.

19. Новые материалы. Под ред. Ю.С. Карабасова. – М.: МИСИС, 2002, – 736 с.

20. W.X. Chen, et all. Tribological application of carbon nanotubs in a metal-based composite coating and composites. Carbon. 41 (2003), – P.215–222.

21. Laplaze, L. Alvarez, T. Guillard, J.M. Badie, G. Flamant. Carbon nanotubes: dynamics of synthesis processes. Carbon 40 (2002) – P.1621–1634.

22. В.Є.Панарін, М.Є.Свавільний, А.І.Хоминич, М.М.Білий. Вакуумна технологія вирощування вуглецевих наноструктур. МОМ. №2, (2010), – С.27–32.

Панарин В.Е., Свавильный Н.Е., Хоминич А.И., Киндрачук М.В., Корбут Е.В. Потенциальные возможности упрочнения режущего инструмента композиционными покрытиями с углеродными нанотрубками// Проблеми тертя та зношування: наук.-техн. зб. – К.: НАУ, 2011. – Вип. 56. – С.5–16.

Приведены из литературных данных и проанализированы физико-химические процессы, которые происходят на кромке режущего инструмента во время работы. Рассмотрено поведение твердых сплавов и быстрорежущих сталей в условиях резания и доминирующие механизмы их

разрушения. Указаны пути повышения режущей способности инструмента и увеличение его срока службы. Одним из перспективных методов решения проблемы является создание композиционных покрытий. Эффективным упрочнителем этих покрытий могут служить углеродные нанотрубки. Приведены фотографии экспериментально полученных покрытий из углеродных нанотрубок на модельных подложках, которые имеют структуру войлока.

Рис. 1, список лит.: 22 наим.

Panarin V. E., Svavilny N.E., Hominich A.I., Kindrachuk M.V., Korbut E.V.

The potential possibilities to hardening of cutting tool by composite coatings with carbon nanotubs

The literary data of physical and chemical processes which occur on edge of the cutting tool to operating time are analyzed and resulted. The behavior of hard alloys and fast-cutting steels in the conditions of cutting and dominating mechanisms of their destruction is considered. The ways to increase a cutting ability of the tool and increase service life are specified. One of perspective methods for this problem solution is creation the composite coatings. Effective reinforcer to these coatings can serve carbon nanotubs. The photos of experimentally obtained coatings from carbon nanotubs on modeling substrates which have felt structure are resulted.

Стаття надійшла до редакції 12.10.2011