

УДК 621.941

М.В. Кіяновський, професор, д-р техн. наук,**Н.І. Цивінда, доцент***Криворізький технічний університет**вул. XXII партз'їзду, 11, м. Кривий Ріг, Україна, 50027**civinda@mail.ru***ВИБІР МЕТОДІВ ДІАГНОСТИЧНОГО ОЦІНЮВАННЯ РІЗУЧИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ІНСТРУМЕНТУ ДЛЯ ОБРОБКИ МАРГАНЦЕВИХ СТАЛЕЙ**

Аналізуються методи діагностичного оцінювання процесів дослідження зародження дефектів ріжучої кромки, накопичення пошкоджень, розвитку явищ викришування та досягнення аварійних станів за характером зміни динаміки сил різання.

Ключові слова: *процеси різання, стійкість інструменту, діагностика стану інструменту.*

В сучасному машинобудівному виробництві все ширше застосовуються верстати з ЧПК та багатоцільові верстати. За даними багаторічного досвіду експлуатації технологічних систем ріжучий інструмент (РІ) – найбільш слабка ланка [1]. Особливо характерна ця закономірність для марганцевих сталей, де інструмент працює в умовах складних температурно-силових режимів навантаження і апріорній невизначеності змін зовнішніх і внутрішніх взаємодій, обумовлених властивостями цих сталей.

В останній час набуло масового характеру використання РІ з пластинами з кубічного нітриду бору (КНБ). При їх високій вартості та чутливості до змін умов різання стає актуальною задача розробки систем автоматизованого діагностування стану інструментальних пластин.

Марганцеві сталі, особливо сталь 110Г13Л, є основним конструктивним матеріалом для виготовлення більшості робочих органів гірничо-металургійного обладнання (броні дробарок, зуби ковпів екскаваторів та ін.) через надзвичайно високі експлуатаційні (ресурсні) властивості у силових, динамічних процесах взаємодії з надміцною високоабразивною сировиною. Висока міцність, зносостійкість пояснюється збереженням ефектом опору кристалічної решітки (наклепування) від дії попередніх силових контактних впливів на поверхню матеріалу (процеси механічної обробки, робочі процеси в технологічних машинах).

Таким чином позитивні з боку експлуатації властивості матеріалу складають великі труднощі для вибору методу та інструментального забезпечення процесів механічної обробки заготовок із марганцевих сталей. Тривалий час обробка заготовок здійснювалась плазмово-механічним способом, але сучасні санітарно-гігієнічні та екологічні обмеження припиняють можливості використання цього методу. Грубе силове обдирання (а не різання металу) з використанням вольфрамовміщуючих інструментальних матеріалів (групи ВК) збереглося, але цей напрямок не відноситься до перспективних методів.

Практично як машинобудівники, так і розробники інструментальних матеріалів орієнтуються в питаннях вибору методів обробки марганцевих сталей на сучасні композитні матеріали підвищеної стійкості (наприклад, полікристалічні надтверді матеріали (ПНТМ) на основі КНБ та ін.), інструментальні матеріали з багат шаровим покриттям, отриманим за різноманітними технологіями у поєднанні з технологічним обладнанням підвищеної жорсткості.

В реальних технологічних процесах механічної обробки заготовок гірничого та металургійного обладнання зафіксовані наступні показники стійкості рекомендованих для обробки марганцевих сталей інструментальних матеріалів (таблиця 1) [2].

Низька стійкість, а відповідно і ефективність використання дорогих сучасних інструментальних матеріалів пояснюється відсутністю засобів і технологій діагностування процесів різання, відсутністю методів запобігання руйнування інструментальних пластин при обробці важкооброблюваних деталей, що стримує можливості адаптивного керування процесами обробки і збільшення ресурсу інструментальних матеріалів.

Таблиця 1 – Порівняльна таблиця стійкості інструменту при токарній обробці конусних броней Ø2200 мм зі сталі 110Г13Л на токарно-карусельному верстаті мод. 1540

Напаяний різець з пластинами	Напаяний різець ВК8	Різець зі змінною
Швидкість різання $V=6-8$ м/хв	12–16	70–120
Число обертів заготовки $n=0,5-1$ об/хв	1,5–2	10–18
Подача на 1 оберт $S=1,5-2$ мм/об	2–3	0,4–0,6
Глибина різання $t=2-6$ мм	4–8	3–6
Основний час $T_o=31$ год	23	9,3
Стійкість ріжучої кромки	50–60	100–120

Зношення та руйнування ріжучого інструмента представляє собою складний процес, що залежить від великої кількості факторів. Саме процес зношення та його величина визначає стійкість інструменту, його надійність лише для сталих умов різання. Аналіз фізичних основ настання граничного стану інструменту, взаємозв'язок швидкості зношування робочих елементів інструменту з параметрами режиму різання вимагає: 1) оцінки та обґрунтування залежностей стійкості та величин зношення для стаціонарних процесів, 2) вибору методів діагностичної оцінки ознак розвитку дефектів ріжучої кромки для нестационарних процесів різання. В останньому випадку контроль, діагностика та прогнозування зношення інструментальної пластини без перерви робочого циклу виготовлення деталі є методом запобігання руйнуванню інструментальних пластин.

Розробці систем автоматизованого діагностування, методів оцінки стану інструментів і діагностування процесів різання присвячені дослідження провідних вчених України, СНД і країн за кордоном. Існуючі методи активного контролю стану ріжучого інструменту можна розділити на прямі та непрямі, що представлені на рисунку 1.



Рисунок 1 – Методи вимірювання зношування та контролю стану ріжучого інструменту

Прямі методи вимірювання передбачають безпосереднє вимірювання параметрів зношування, при цьому контролюється зношування (по лунці, що утвориться на передній поверхні), відстані від ріжучої кромки до центра лунки, глибина лунки, ширина стрічки зношування по задній поверхні, зменшення обсягу або маси інструмента, розмірне зношування ріжучої кромки, розкидання розмірів деталей у партії тощо. Зазначені параметри можуть бути визначені радіоактивними, оптико-телевізійними, лазерними, електромеханічними, ультразвуковими або пневматичними методами.

Останні розробки із застосуванням систем технічного зору для реєстрації зображень зон зношування дозволяють отримати комплекс первинних образів – зображень ріжучої частини та профілів зношених поверхонь, які є вихідним матеріалом для формування наборів ознак станів різців, але при цьому реєструється лише узагальнена зона зношення складної форми, що потребує автоматизованої класифікації форми цієї зони, розпізнавання її дефектів. З приведених публікацій видно, що такі системи найбільш доцільні при прецизійній обробці. Застосування таких систем вимагає модернізації верстата, інтегрування верстатних систем контролю із системами ЧПК.

Використання термічних методів для прогнозування температури і обумовленого нею зношення інструментів з різних матеріалів при чистовому точінні мають такі недоліки, як відсутність діагностичної інформації про процес різання, відсутність засобів ідентифікації факторів, що спричиняє зародження дефектів спрацювання чи руйнування ріжучої кромки інструменту, а відповідно і запобігання розвитку цих дефектів.

Непрямі методи виміру зношування та контролю стану ріжучого інструменту спрямовані на використання фізичних явищ, що супроводжують процеси різання і зношування інструменту. Крім механічного способу вимірювання існує ряд інших способів (пневматичних, оптичних, індуктивних, ємнісних, фотоелектричних, електронних) для визначення розмірних характеристик заготовки, які можуть використовуватися і для непрямих вимірів параметрів зношування інструменту.

Аналіз структури інструментальних матеріалів за допомогою електронної мікроскопії дозволяє класифікувати їх, як дисперсно зміцнені та вдосконалювати технологію отримання інструментальних матеріалів. Вплив зовнішнього середовища на окислювальні процеси в зоні різання пластинами з КНБ, що вивчаються за допомогою мікрорентгеноспектрального аналізу дозволяє визначити етапи обробки та кількість нанесених на пластину шарів [3].

З непрямих методів, що застосовуються у виробництві і задовольняють за швидкістю і точністю визначення зношення інструменту сьогодні можуть бути рекомендовані способи, основані на використанні акустоелектричних ефектів параметрів термо-ЕДС і електричної провідності. Але вони не дають повної інформації про процеси, що протікають при чорновій обробці марганцевих сталей, або не в повній мірі розкривають свої потенціальні можливості, тому їх використання доцільно при чистовій та прецизійній обробці. Точність параметрів зношування, що вимірюються цими методами невисока, так як вона залежить від похибок при виготовленні елементів системи обробки, похибок, викликаних пружними деформаціями в системі обробки, похибок внаслідок температурних деформацій тощо.

Можливо використання лазерних датчиків для непрямого вимірювання зношування або довжини інструмента, тому що вони відносяться до класу датчиків вищої якості, точності та надійності параметрів заготовки, що вимірюються. Але виконані в ІНМ ім.Бакуля НАН України дослідження показали, що в діапазоні швидкостей різання, які використовуються на практиці, на зношення інструменту, оснащеного ПНТМ на основі КНБ, впливає хімічна взаємодія інструментального матеріалу з оброблюваним і елементами довколишнього середовища в зоні різання. У випадку чорнкової обробки марганцевих сталей в зоні різання утворюється щільна газова хмара, що затрудняє введення безпосередньо в зону різання променя лазера.

Метод контролю процесів механічної обробки на основі аналізу дифузійних процесів та газоутворення в зоні обробки дозволяє теоретично визначити доцільні методи і засоби контролю, які основані на реєстрації концентрації газів, але вони не дають оптимальної можливості визначити час заданої ступені зношення, сколювання чи поломки пластини для заміни РІ.

Одним з найбільш відомих непрямих способів контролю стану ріжучого інструменту є спосіб, заснований на вимірі сил різання та крутного моменту. Сила різання є найбільш інформативним параметром, що характеризує безпосередню взаємодію ріжучого інструменту та деталі. Справа в тому, що вже давно було помічено зростання складових сил різання з ростом фаски зношування інструмента по задній поверхні. Такий метод вимірювання є одним з найбільш простих для контролю стану ріжучого інструменту в процесі різання. До переваг даного способу контролю варто віднести його простоту, невисоку вартість, доступність інформативного параметра, відсутність істотної модернізації устаткування. Істотний недолік способу полягає в тому, що датчики, що стежать за величиною крутного моменту та потужністю електродвигуна, недостатньо ефективні, нечутливі до малих змін сил різання, тому що зміна крутного моменту та потужності відбувається недостатньо швидко.

Вібраційний метод, заснований на реєстрації характеристик вібрації інструмента в процесі обробки пропонує розкласти віброакустичний сигнал на низькочастотні та високочастотні складові, за співвідношенням яких судитимуть про зношування інструмента.

Судити про переваги та недоліки даного методу складно, тому що в різних джерелах приводяться самі різні дані по розподіл спектру вібрацій та, відповідно, пропонується використати різні технології застосування методу для діагностування стану ріжучого інструменту. Наприклад в [4] встановлена залежність амплітуди коливань (рисунок 2) від величини зношування ріжучої кромки інструменту, що є досить інформативною ознакою для діагностики стану ріжучого інструменту.

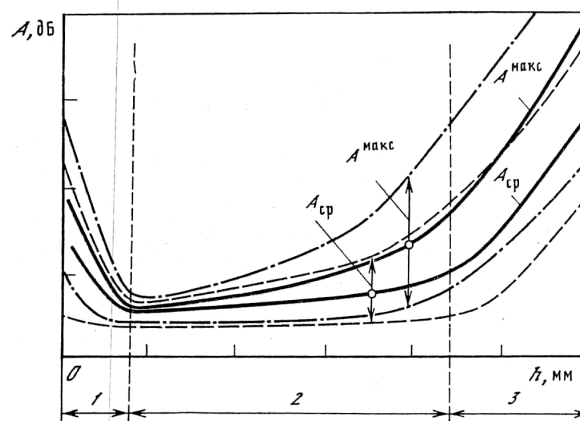


Рисунок 2 – Графік залежності амплітуди звукових коливань від величини зношення ріжучої кромки інструменту

Найбільш інформативною виявляється діагностична ознака (A^{MAKC}). Ще однією діагностичною ознакою є відносна акустична енергія:

$$W = \frac{A^2 N}{v}, \quad (1)$$

де A – максимальна амплітуда коливань; N – число акустичних імпульсів в одиницю часу; v – швидкість різання.

При виборі засобів методів діагностики потрібно звернути увагу [4] на залежності зношення інструмента і відповідним змінам сили різання, причому в кожному конкретному випадку величина цієї зміни різна. Огинаюча послідовних значень амплітуди коливань сили різання буде повністю ідентична кривій зношування, як це показано на рисунку 3.

Таким чином, якщо побудувати огинаючу амплітудних значень коливань сили різання, то по точці її перегину можна судити про момент настання граничного зношування.

Тобто, безупинно вимірюючи силу різання або відносні віброприскорення між інструментом і заготовкою на частоті обертання заготовки або інструмента, можна, побудувавши огинаючу їхніх амплітудних значень і знайшовши точку її перегину, визначити момент настання граничного зношування інструмента.

Другий спосіб вібродіагностики РІ також базується на аналізі сигналу, що характеризує відносні коливання між інструментом і заготовкою. Процес різання завжди супроводжується змушеними коливаннями, викликаними, зокрема, для багатолезової обробки, наприклад фрезерування, входженням зубів інструмента в заготовку. При цьому експериментально показано, що поки лезо інструмента є гострозаточеним, змушені коливання викликані його входженням у заготовку, близькі до гармонічних. Однак, по мірі зношування зуба профіль гармоніки спотворюється, тому що сигнал стає полігармонійним, що стає суттєвою діагностичною ознакою зміни стану ріжучої кромки.

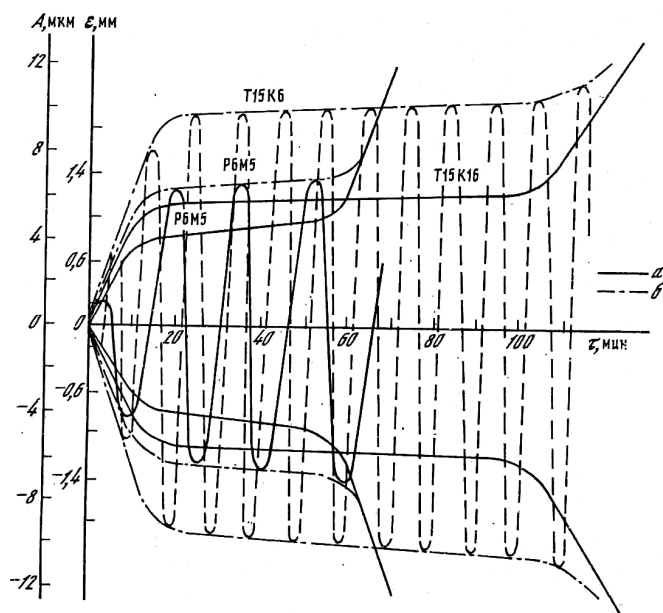


Рисунок 3 – Огинаюча відносних віброприскорень між інструментом та заготовкою та криві зношування: а – криві зношування, б – огинаючі

Таким чином з вище перерахованих методів контролю найбільш перспективним є віброакустичний метод, який заснований на реєстрації пружних коливань, що виникають у зоні обробки. В процесі різання джерелом коливань є пластична деформація, руйнування та тертя, причому дві останніх найбільш вагомі. По мірі росту зношення збільшуються сили різання, збільшується нестабільність обробки та площа контактуючих поверхонь, що приводить до росту амплітуди коливань та росту їх кількості в одиницю часу. Цим пояснюється наявність кореляційного зв'язку між параметрами коливань та величиною зношення. Таким чином, він має великі переваги для діагностування дефектів ріжучої кромки, що починають розвиватися задовго до виникнення аварійних ситуацій і практично відразу ж починають впливати на вібрацію та шум технологічної системи.

Для вибору найбільш інформативних методів діагностування процесів обробки марганцевих сталей обґрунтовано використання інформаційних технологій, що вирішують питання ідентифікації

дефектів і прогнозу їхнього розвитку на базі неруйнуючих методів контролю та функціонального діагностування. Серед інформаційних технологій функціональної діагностики процесів різання переважними є ті, які будуються на вимірі величини сигналів в контрольних точках і порівнянні їх із граничними значеннями; на частотних технологіях виділення з вимірюваного сигналу складових у певних частотних діапазонах і подальший енергетичний аналіз виділених складових; на спектральних технологіях, які засновані на вузькополосному спектральному аналізі сигналів.

Серед методів діагностування ступеню зношування та технічного стану ріжучої кромки інструменту найбільш відповідними є методи діагностування та прогнозування за періодичними вимірами вібрації державки інструменту в напрямку дії тангенціальної сили різання. Більшість дефектів починають впливати на вібрацію і шум заздалегідь до настання передаварійної ситуації. Вони можуть виявитися на будь-якому етапі життєвого циклу інструменту, деталі і за короткий строк розвинути до аварійно небезпечних значень.

Віброакустичний сигнал залежить від різноманітних динамічних явищ, характерних для процесу різання. До них відносяться: динамічна взаємодія зусиль різання та тертя із пружною системою верстата; процеси взаємодії нерівностей у фрикційному контакті граней інструмента зі стружкою та з поверхнею різання; процесів пружного і пластичного деформування матеріалу; швидкоплинні процеси крихкого руйнування; ударні процеси, що є присутніми при переривчастому різанні та автоколиваннях тощо. Всі ці та деякі інші процеси є джерелами пружних хвиль, що мають різну інтенсивність та частотний спектр. Ця система хвиль, поширюючись по пружній системі верстата зі швидкістю звуку, відбиваючись від обмежуючих поверхонь і поступово загасаючи, утворює результуючу хвилю, що, досягаючи якої-небудь поверхні верстата, викликає її зсув. Прискорення цих зсувів може бути зафіксовано акселерометром, а зміна звукового тиску навколишнього середовища, яка викликана коливаннями поверхонь, мікрофоном.

Збільшення зношування приводить не тільки до зміни геометрії ріжучого інструменту, а і параметрів інших процесів, що впливають на віброакустичний сигнал. Збільшуються пластичні деформації стружки, що знімається з поверхні різання; змінюється геометрія мікронерівностей у фрикційному контакті; зменшується швидкість ковзання стружки по передній поверхні інструмента; змінюються умови для утворення наросту на інструменті, температура в зоні різання і характеристики матеріалів. Через вплив цих змін на віброакустичний сигнал і випадкове протікання самого процесу зношування ріжучого інструменту параметри віброакустичного сигналу є випадковими функціями зношування інструмента, що пояснює наявність істотного розкиду миттєвих значень амплітуди [4].

Для розпізнавання динаміки процесів різання, стану ріжучої кромки інструменту рекомендовано за результатами досліджень використовувати в методах віброакустичного контролю наступні залежності: амплітуди коливань від зношення ріжучого інструменту; амплітуди коливань інструменту від сили різання; профілю гармоніки коливань від ступеню зношення ріжучого інструменту.

Таким чином застосування віброакустичного методу дозволяє вирішити питання, що пов'язані зі зношуванням інструмента, його геометрією та фізико-механічними властивостями, оброблюваністю матеріалу заготовок та якістю оброблюваної поверхні, оптимізацією режимів різання та умов експлуатації ріжучого інструменту. Інформація про хід протікання процесу різання, що отримана віброакустичним методом, може бути використана для адаптивного керування верстатом.

Бібліографічний список

1. Деревянченко А.Г. Методы и системы контроля состояний инструментов для чистовой обработки с использованием технического зрения / А.Г. Деревянченко, В.А. Власенко, И.А. Тищенко. — Одесса, 1999. — 87 с.
2. Цывинда Н.И. Определение методов механической обработки деталей горного оборудования из высокомарганцовистых сталей / Н.И. Цывинда // Сборник материалов IV Всероссийской конференции-семинара «Научно-техническое творчество: проблемы и перспективы». Часть 1. Машиностроение и современные технологии. — Сызрань, 2009. — Вып. 4. — С. 167–175.
3. Клименко С.А. К вопросу об износе инструмента из кубического нитрида бора / С.А. Клименко, Ю.А. Муковоз, В.А. Ляшко [и др.] // Сверхтвердые материалы. — Кривой Рог, 1988. — Вып.2. — С. 42–45.
4. Нахапетян Е.Г. Контроль и диагностирование автоматического оборудования / Е.Г. Нахапетян. — М.: Наука, 1990. — 156 с.

Поступила в редакцию 08.04.2010 г.