

- микротвердость исследуемых образцов после обработки импульсным лазером повышается на 1,5 раза.

Список литературы: 1. Петров С.В., Коржик В.Н., Горбань, Демидов В.Д., Новоселов А.В. Газотермические покрытия для упрочнения тяжело нагруженных деталей мощных дизелей. // Упрочняющие технологии и покрытия. (Научно-технический и производственный журнал) 2005 №6, 20-29с. 2. Завьялов А.С., Теплухин Г.Н., Габеев К.В. Условия и механизм образования бесструктурного мартенсита (гарденита). Металловедение и термическая обработка металлов.- №10.-1979.-11-12с. 3. Крапошин В. С. Термическая обработка стали и сплавов с применением лазерного луча и прочих прогрессивных видов нагрева. Итоги науки и техники. Металловедение и термическая обработка. – М.- Т21; 1987.- 144с. 4. Попов А.А., Попова Л.Е. Изотермические и термокинетические диаграммы распада охлажденного аустенита. Справочник термиста. –М.: МашГиз, 1961.-480 с. 5. Леонтьев П.А, Н.Т. Чеканов, М.Г. Хан Лазерная поверхностная обработка металлов и сплавов. –М., «Металлургия», 1986.- 144с. 6. Коваленко В.С., Головкин Л.Ф., Меркулов Г.В., Упрочнение деталей лучом лазера. Техника, 1981.-131с. 7. Малов М. А.. Краткий справочник металлиста, Машиностроение, 1976. –767с. 8. Алексеев В.П. и др., Двигатели внутреннего сгорания, МАШГИЗ, Ленинград, 1960.-452с.

Сдано в редакцию 25.04.08

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ДРОБЛЕННЯ СТРУЖКИ ПРИ ТОКАРНІЙ ОБРОБЦІ

Шевченко О.В., Беляєва А.Ю. (НТУУ «КПІ», м. Київ, Україна)

In paper questions of simulation of process of the kinematic crushing of a chip at turning are observed. Conditions of effective crushing of a chip at cutting with vibrations of cutter in a direction of axial feed are resulted. Results of research of dynamic model of the feed drive at chip crushing are yielded.

При обробці багатьох матеріалів, особливо таких, як високолеговані сталі і ряд сплавів кольорових металів, стружка має характер довгої безперервної стрічки, чи спіралі. Наявність такої стружки, що одержала назву «зливної», є негативним чинником обробки металів різанням. Намотування і заплутування стружки на деталі і робочі органи верстата утруднює експлуатацію автоматизованого устаткування, перешкоджає використанню промислових роботів і маніпуляторів для міжопераційного транспортування оброблюваної деталі. Наявність зливної стружки є основною причиною травматизму робітників на верстатних операціях [1].

Вказаними факторами пояснюється постійний пошук заходів в напрямку дроблення зливної стружки. В роботі [2] авторами запропонована класифікація способів дроблення стружки, які загалом можна поділити на три основні групи: - попередня підготовка оброблюваного матеріалу, яка проводиться безпосередньо над матеріалом у процесі плавки, чи над заготовкою; - дроблення стружки на верстаті, що передбачає її здрібнювання як в процесі різання, так і під час сходу з різального інструменту; - дроблення стружки за межами верстата, що охоплює заходи щодо її руйнування різними зовнішніми пристроями (млини, ножиці й ін.).

Дроблення стружки на верстаті здійснюється в залежності від характеру взаємодії різального інструменту і оброблюваної деталі [3]. При різанні з постійними

параметрами забезпечується незмінність швидкості різання, подачі і глибини в межах даної технологічної операції. Різання із змінними параметрами передбачає порушення однієї чи декількох із цих умов. Заходи першого з цих видів мають найбільше поширення в силу своєї простоти. Однак можливості дроблення при цьому визначаються не тільки властивостями застосовуваних пристроїв, але і характеристиками самої стружки. При різанні із змінними параметрами найбільш ефективним є спосіб кінематичного дроблення, сутність якого заключається в періодичному перериванні процесу різання завдяки використанню того чи іншого закону руху інструменту відносно оброблюваної деталі. Відомі два основних способи – це дискретний та вібраційний [4].

Дискретний спосіб полягає в періодичному вимиканні подачі на час, достатній для переривання процесу різання. При його використанні не потрібно значних змін конструкції верстата. Дискретний спосіб може бути рекомендований для обробки заготовок діаметром до 200 мм. Недоліком його є необхідність приводити у коливальний рух великі маси (наприклад, супорт токарного верстата).

Сутність процесу *вібраційного різання* полягає в тому, що на прийняту для даної операції кінематичну схему накладається додатковий направлений вібраційний рух інструменту відносно заготовки [4]. Фізичними основами процесу вібраційного різання є періодична зміна режимів різання та перемінне циклічне навантаження оброблюваного матеріалу та різального інструменту. При правильному виборі напрямку коливань, їх частоти та амплітуди вібраційне різання дозволяє надійно і ефективно дробити стружку. При цьому параметри вібраційного різання при дробленні стружки визначаються режимами різання, але не залежать від оброблюваного матеріалу, що обумовлюється миттєвим перериванням процесу різання. Таким чином, вібраційне різання забезпечує ефективне дроблення стружки без проведення попередніх експериментів щодо підбору геометрії інструментів, режимів різання, тощо. Разом з тим, вібраційне різання має і деякі недоліки. Примусове створення вібрацій в процесі різання може призводити до зниження точності та якості оброблюваної поверхні, а у деяких випадках і до зниження стійкості різального інструменту внаслідок вібраційного впливу на нього. Тому, при використанні вібраційного різання доцільно перш за все домагатися надійного дроблення стружки при збереженні стійкості інструменту на рівні звичайного різання. Позитивний ефект, що отримується за рахунок дроблення стружки, може виправдати часткове зниження інших показників процесу різання.

Вібраційну обробку розподіляють за частотами коливань на такі діапазони: - низькочастотний з частотами коливань до 200 Гц, що використовується для дроблення стружки; - високочастотний з частотами коливань в діапазоні від 200 до 15 000 Гц та ультразвуковий з частотою 15 000 Гц та вище, що сприяють якісній зміні механізму стружкоутворення та використовуються для поліпшення оброблюваності матеріалів [4].

Вібрації в кожному з діапазонів можуть бути лінійними, кутовими чи комбінованими (лінійно-кутовими) [2]. У випадку лінійних коливань різальний інструмент здійснює прямолінійні коливання відносно заготовки паралельно координатним осям, а саме, паралельно напрямкам осьової і радіальної подачі інструменту та паралельно вектору швидкості різання. Кутові коливання, враховуючи малий діапазон переміщення різального інструменту, за своїм впливом на процес різання наближаються до лінійних.

При різанні з *тангенціальними вібраціями* інструмент відносно заготовки окрім основного руху різання та руху подачі здійснює коливання в напрямку швидкості різання, а саме, дотично до оброблюваної поверхні. Основними особливостями такого різання є: 1)

практично незмінні розміри поздовжнього та поперечного перерізів зрізу; 2) коливання за один цикл у великих межах швидкостей різання, при цьому їх значення можуть суттєво перевищувати швидкості, з якими виконується звичайне різання; 3) мікропрофіль обробленої поверхні в цьому випадку мало відрізняється від профілю поверхні, отриманої звичайним різанням. Однак для надійного дроблення стружки на операціях з поздовжньою подачею тангенціальні вібрації вимагають більших амплітуд коливань різального інструменту. Даний вид коливань доцільніше використовувати для покращення оброблюваності матеріалів за рахунок періодичної зміни швидкості різання [4].

При *різанні з радіальними вібраціями* інструмент відносно заготовки здійснює коливальні рухи в напрямку поперечної подачі. Для надійного дроблення стружки радіальними вібраціями при поздовжньому точінні необхідно забезпечити більші амплітуди коливань по відношенню до амплітуд осьових вібрацій. Збільшені амплітуди радіальних коливань підвищують висоту мікронерівностей обробленої поверхні по відношенню до обробки з осьовими вібраціями, тому перевагу треба віддавати дробленню стружки з осьовими вібраціями. Однак, різання з радіальними вібраціями є досить ефективним на операціях з поперечною подачею.

Найбільш ефективно дроблення стружки здійснюється при різанні з *осьовими вібраціями*. При цьому різальний інструмент відносно заготовки окрім основного руху зі швидкістю різання та руху вздовж осі заготовки зі швидкістю подачі S здійснює ще і коливальний рух в напрямку осьової подачі.

При різанні без вібрацій відстань $a(t)$ між траєкторіями вершини різця на двох сусідніх обертах деталі постійна і дорівнює осьовій подачі S . При різанні з осьовими вібраціями ця відстань перемінна і залежить як від подачі, так і від амплітуди коливань A , фазового кута ωt та зсуву фаз у вигляді [2]:

$$a(t) = S + A \cdot \sin \omega t - A \cdot \sin(\omega t - 2\pi \omega / \omega_d), \quad (1)$$

де ω - кругова частота коливальних рухів інструменту; ω_d - кутова швидкість деталі. Відношення ω / ω_d може бути представлене сумою цілої частини k , яка є цілим числом хвиль, що вкладаються в один оберт деталі, та дробної частини q , а саме: $\omega / \omega_d = k + q$. Очевидно, що взаємне положення синусоїд коливань визначається тільки дробною частиною відношення ω / ω_d . Зокрема, при $q = 0$ збільшення амплітуди A коливань інструменту не забезпечує дроблення стружки внаслідок цілого числа хвиль коливань, що вкладаються в один оберт деталі і залишають постійною величину $a(t)$ при кожному наступному оберті деталі (обробка за слідом). Тому треба враховувати, що для забезпечення дроблення стружки відношення ω / ω_d не повинно бути цілим числом.

Різання з осьовими вібраціями впливає на зміну площі зрізу, яка пропорційна $a(t)$, та підвищує шорсткість обробленої поверхні по відношенню до різання з рівномірною подачею. Тому, різання з осьовими вібраціями використовують для чорнових та напівчистових операцій, до яких не пред'являються жорсткі вимоги стосовно якості обробленої поверхні.

При різанні з вібраціями можлива обробка у двох режимах — безперервне та перервне різання. Процес перервного різання, що здійснюється за рахунок зміни швидкостей за один період коливань, складається з двох частин — різання та відсутності різання. За будь-яких режимів різання та вібрацій відрив інструменту настає в той момент, коли швидкість руху інструменту відносно оброблюваної поверхні деталі дорівнює нулю.

Колівальні рухи інструмента з метою дроблення стружки під час токарної обробки можуть бути забезпечені спеціальними різцетримачами з пружними напрямними, що встановлюють в інструментальній (револьверній) головці верстата та забезпечують коливальний рух різця від спеціального приводу. Пружні елементи

виконують функцію напрямних чи шарнірів та з'єднують корпус різцетримача з віджимною частиною з різцем. Привод подач, як складова частина верстата, повинен забезпечити створення необхідного тягового зусилля для переміщення робочого органу як зі швидкістю робочих подач, так і під час прискорених переміщень на холостому ході. В сучасних верстатах з ЧПК основним є привод подач з замкнутою системою керування, що складається з високомоментного двигуна, пасової (зубчастої) передачі, передачі гвинт-гайка кочення та датчика зворотного зв'язку, встановленого на гвинті.

Динамічна модель приводу подач спрощено може бути представлена у вигляді три-масової системи, що складається з приведених мас та моментів інерції таких складових, як ротор двигуна приводу, повзун супорту та різцетримач (рис. 1).

Система диференціальних рівнянь руху системи приводу подач можна представити у такому вигляді:

$$\begin{cases} J_3 \cdot \ddot{\varphi}_3 + h_{23}(\dot{\varphi}_2 - \dot{\varphi}_3) + c_{23}(\varphi_2 - \varphi_3) = M_{\text{дв}} \\ m_2 \cdot \ddot{x}_2 + h_{x12}(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) + c_{x12}(x_1 - x_2) - h_{23} \frac{2\pi\eta}{t_6}(\dot{\varphi}_2 - \dot{\varphi}_3) - c_{23} \frac{2\pi\eta}{t_6}(\varphi_2 - \varphi_3) = -F_{TP} \\ m_1 \cdot \ddot{x}_1 - h_{x12}(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) - c_{x12}(x_1 - x_2) = -P_x(t), \end{cases} \quad (2)$$

де J_3 , m_2 , m_1 - приведений момент інерції ротора двигуна, маса супорту та маса різцетримача відповідно; φ_2 та φ_3 - кут повороту ходового гвинта та приведений до нього кут повороту ротора двигуна приводу подачі; h_{23} , c_{23} - сумарні приведені коефіцієнти крутильного демпфірування і крутильної жорсткості приводу подачі; h_{x12} , c_{x12} - сумарні приведені коефіцієнти демпфірування і жорсткості різцетримача в напрямку подачі; $M_{\text{дв}}$ - момент двигуна приводу подачі; F_{TP} - сумарна сила тертя в напрямних повзуна супорта, гвинтовій передачі, підшипниках та ущільненнях; $P_x(t)$ - осьова складова сили різання (в напрямку подачі); t_6 - крок ходового гвинта.

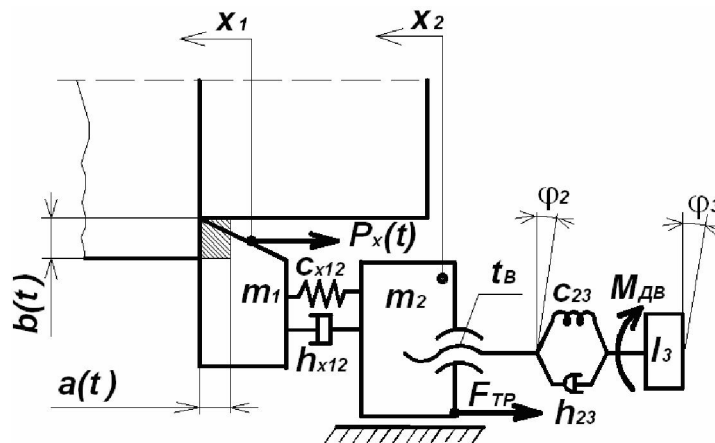


Рис. 1. Модель динамічної системи приводу подач

Сила різання $P(t)$ у розглянутій вище моделі приводу подач, представлена у вигляді: $P(t) = K_{\text{num}} a(t) \cdot b(t)$, де $a(t)$ і $b(t)$ - поточні значення товщини і глибини зрізу, що змінюються в часі, K_{num} - питома сила різання, рівна $K_{\text{num}} = \sigma_0 \cdot \xi$, де σ_0 - умовне напруження, ξ - усадка стружки. Врахування в моделі коливальних рухів різця забезпечується залежністю поточного значення товщини зрізу $a(t)$ від амплітуди, частоти та зсуву фаз коливань у відповідності до виразу (1).

Із аналізу кінематики вібраційного різання витікає, що при осьових вібраціях різця дроблення стружки з мінімальною амплітудою досягається тільки при строго визначеному

співвідношенні між кутовою швидкістю деталі ω_δ та кутовою частотою коливань інструменту ω , а саме:

$$\omega/\omega_\delta = k + 0,5. \quad (3)$$

При цьому амплітуда коливань різця, що забезпечує дроблення стружки, є найменшою і дорівнює: $A = 0,5 \cdot S$ [2]. Проте кінематика процесу різання досліджується з врахуванням припущення про відсутність залишкових пластичних деформацій як на обробленій поверхні, так і у зрізаній стружки, а також із припущенням абсолютної жорсткості технологічної системи верстата.

Моделювання процесу дроблення стружки в напрямку осьової подачі, проведені на математичній моделі приводу подач у вигляді системи диференціальних рівнянь (2), що враховує пружно-демпфіруючі характеристики елементів динамічної системи та за допомогою виразу (1), кінематичні характеристики процесу дроблення стружки і вплив одного із джерел автоколивань при різанні - обробку за слідом.

На рис. 2 наведені результати моделювання процесу дроблення стружки у вигляді графіків залежності поточного значення товщини зрізаного шару $a(t)$ від подачі S , амплітуди коливань різця A та співвідношення частот ω/ω_δ . Графіки розраховані при значеннях $S = 0,1$ мм/об, $A = 0,5$ мм та при співвідношенні $\omega/\omega_\delta = 3,5$ (рис. 2, а), що відповідає умові (3), та довільному співвідношенні ω/ω_δ (рис. 2, б).

Рис. 2,а доводить, що врахування умови (3) забезпечує надійне дроблення стружки при мінімальному значенні амплітуди коливань A різця. Цей висновок підтверджує періодичне пересікання графіком $a(t)$ нульової координати, що означає періодичне переривання процесу різання. На противагу, неврахування умови (3) при всіх інших однакових параметрах моделі не забезпечує нульових значень для $a(t)$ (рис. 2,б), що не гарантує зламу стружки.

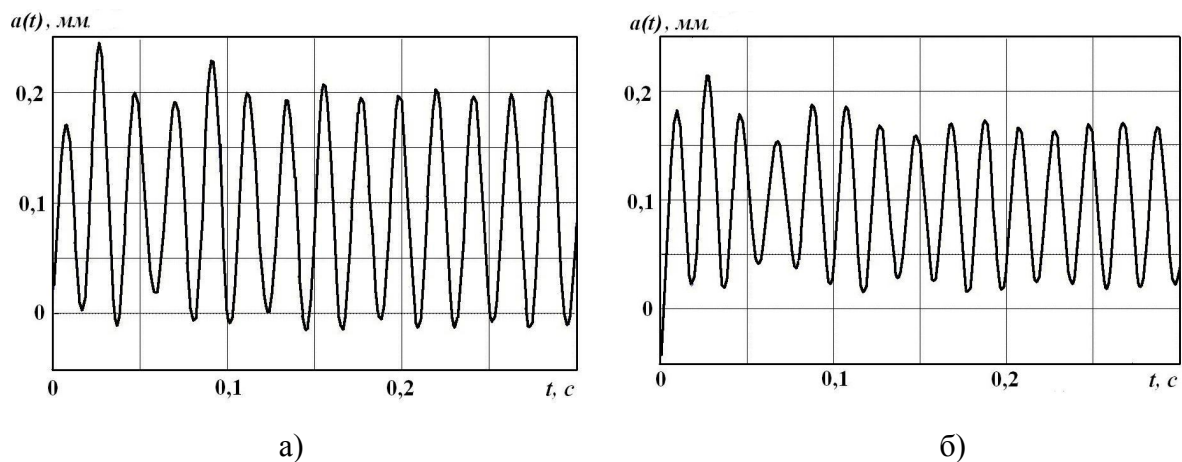


Рис. 2. Результати моделювання процесу дроблення стружки у вигляді графіків поточного значення товщини зрізу $a(t)$ з врахуванням умови (3) для ω/ω_δ (а) та при довільному співвідношенні ω/ω_δ (б)

Таким чином, розроблена математична модель приводу подачі дозволяє моделювати процес дроблення стружки при поздовжньому точінні, забезпечуючи можливість варіювання як кінематичними параметрами процесу, так і пружно-дисипативними характеристиками динамічної системи.

Список литературы: 1. Власов А.Ф. Безопасность при работе на металлорежущих станках. М.: Машиностроение, 1977. 121 с. 2. Вибрационное резание металлов / Н.И. Ахметшин, Э.М. Гоц, Н.Ф. Родиков; Под.ред. К.М. Рагульскаса. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1987. – 80 с.(Б-ка инженера. Вибрационная техника; Вып. 10). 3. Матвеев В.С. Классификация способов превращения сливной стружки из непрерывной в дробленую // Пути интенсификации производственных процессов при механической обработке. Томск, 1979. - с.20-24. 4. Подураев В.Н. Обработка резанием с вибрациями. М.: Машиностроение, 1970. - 352 с. 5. Мансырев И.Г. Способы кинематического дробления стружки при резании // Станки и инструмент. 1976 № 2, - с.32-34.

Сдано в редакцию 27.03.08

УПРОЧНЕНИЕ РЕЖУЩЕГО СТАЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИ ЭФФЕКТИВНЫМИ МЕТОДАМИ

Шматов А. А. (БНТУ, Минск, Беларусь)

A new hardening methods for cutting tools has been developed by thermocycling heat treatment and hidrochemical treatment. The treatment results in improvement of the service life for cutting tools by the factor of 1,6-10,8. The processes are simple and economical efficient.

Введение. Поскольку технический прогресс развивается в направлении снижения себестоимости продукции, а это невозможно без применения высокопроизводительных процессов и использования износостойких инструментов, задача повышения эксплуатационной стойкости стального режущего инструмента остается актуальной.

Острота и насущность вопроса состоит в том, что уже существует множество способов поверхностного и несколько меньше объемного упрочнения, однако эти методы довольно часто не взаимосвязаны между собой и поэтому применение их не всегда эффективно. В последнее время все больше и больше внимания уделяют различным комбинированным способам упрочнения инструмента и деталей машин. Однако подавляющее большинство исследований носит односторонний характер, т.е. в основном комбинируют поверхностные методы упрочнения, не принимая во внимание объемные упрочняющие технологии [1-4 и др.]. При этом комбинируют методы химико-термической, лазерной, ионно-плазменной, ультразвуковой, вибромеханической и прочие виды поверхностных обработок. Напротив, известно незначительное число работ [5-8] по химико-термоциклической обработке (ХТЦО) стального инструмента и изделий, где комбинируют поверхностный метод упрочнения - диффузионное насыщение стали углеродом, бором и др. элементами с объемным – термоциклической термообработкой. Основным недостатком указанных поверхностно-объемных методов упрочнения является их большая трудоемкость из-за длительности и высоких температур проведения процесса.

В данной работе предложены новые экономически и технологически эффективные процессы упрочнения инструмента: для объемного упрочнения – (1) упрочняющая термоциклическая обработка (УТЦО), а для поверхностного упрочнения – (2) низкотемпературная наногидрохимическая обработка (НГХО). При комбинировании этих процессов открываются большие возможности их практического применения.