

УДК 621.91.01

Пристапа С.О.

Луцький національний технічний університет

ХАРАКТЕРИСТИКА ОБРОБЛЮВАНOSTІ МЕТАЛІВ РІЗАННЯМ В КОНТЕКСТІ ОПТИМІЗАЦІЇ ЕНЕРГОВИТРАТ В ПРОЦЕСІ МЕХАНІЧНОГО ОБРОБЛЕННЯ

Покращення оброблюваності матеріалів в умовах сучасного машинобудування є актуальною науковою проблемою. Проте в літературі поняття оброблюваності не має чіткого визначення. До критеріїв оброблюваності відноситься значна кількість показників, але найбільш розповсюдженою оцінкою оброблюваності металу є оцінка за швидкістю різання. Для визначення оброблюваності матеріалів використовується також показник опору деформації. Вирішення проблеми покращення оброблення зводиться до встановлення технологічних умов, що будуть оптимальними для всіх елементів системи різання: оброблюваного матеріалу, ріжучого інструменту та жорсткості їх взаємодії. В статті проведений аналіз відомих підходів до визначення оброблюваності матеріалів різанням, розглянуті методи покращення оброблюваності та запропоновано новий енергетичний метод визначення оброблюваності матеріалів.

Оброблюваність матеріалів, швидкість різання, енергетичний критерій.

Постановка задачі. Однією з важливих технологічних властивостей, яка характеризує сукупність якостей матеріалу, є його оброблюваність, тобто здатність матеріалу піддаватись механічному обробленню. Ця властивість має значний вплив на стійкість ріжучого інструменту, і, відповідно, обмежує граничну продуктивність оброблення. Таким чином дослідження технологічних можливостей щодо покращення оброблюваності матеріалів є актуальною науково-практичною задачею.

Аналіз досліджень та публікацій. В роботах [1,3,4], що присвячені проблематиці різання матеріалів, відсутнє чітке визначення поняття оброблюваності матеріалу. Різні дослідники розуміють під цим терміном різні величини і використовують різні оцінки оброблюваності. Для отримання якісних оцінок оброблюваності використовуються абсолютні значення показників. А для отримання кількісних оцінок – відносні, приведені величини показників оброблюваності. Також існує ряд тлумачень даної властивості, які у своєму контексті мають відмінні параметри. Наприклад, виробничники оцінюють оброблюваність кількістю деталей, виготовлених за одиницю часу, вартістю оброблення, тощо. Науковці оцінюють дану властивість в контексті проведення технологічних операцій механічного оброблення (для пластичних матеріалів ефективними є технологічні операції токарного оброблення, а для твердих – шліфування). Однак оброблюваність матеріалів, незважаючи на технологічні методи оброблення, повинна нести в собі характеристики самого матеріалу[2].

Виклад основного матеріалу дослідження. Оброблюваність матеріалів може оцінюватись і порівнюватись за однакових умов випробувань за стійкістю інструменту, граничною швидкістю зняття припуску, силою різання або споживаною потужністю, шорсткістю обробленої поверхні та іншим параметрам якості обробленої деталі, типом, формою і характером деформації стружки тощо. Велика кількість критеріїв, що використовуються, різноманітних за своєю природою, обумовлено прагненням оцінити особливості процесу різання в залежності від зміни хімічного складу, фізико механічних властивостей і структурного стану оброблюваного матеріалу.

До показників або критеріїв оброблюваності відносяться: інтенсивність пластичного деформування шару, що зрізується; сила, швидкість та потужність різання з врахуванням жорсткості обладнання; рівень економічно доцільних швидкостей оброблення; якість обробленої поверхні.

Найбільш розповсюдженою оцінкою оброблюваності металу є оцінка за швидкістю різання, за допомогою якої забезпечується заданий період стійкості ріжучого інструменту. Ідея оцінки оброблюваності різноманітних матеріалів через їх швидкість різання довгий час переважала серед інших емпіричних підходів. Багато робіт [3,4] було присвячено вивченню впливу легуючих елементів, характеристик міцності і пластичності, коефіцієнта тепло провідності тощо, на величину раціональної швидкості оброблення.

На практиці для кількісної оцінки допустимої швидкості різання v_T використовують різноманітні експериментальні залежності, що пов'язують допустиму швидкість v_T з різноманітними фізико-механічними властивостями матеріалу, наприклад з їх твердістю (HB, HRC, H_{100}), межею текучості σ_T тимчасовим опором σ_B , дійсною межею міцності S_B і коефіцієнтом теплопровідності λ . Такі емпіричні залежності мають вигляд:

$$v_{T1} = \frac{C_1}{(HB)^{n_1}}; v_{T2} = \frac{C_2}{(HRC)^{n_2}}; v_{T3} = \frac{C_3}{(H_{100})^{n_3}}; v_{T4} = \frac{C_4}{\sigma_B^{n_4}} \quad (1)$$

$$v_T = \frac{C_5}{\prod_{i=1}^k (1 + j_i E_i)}, \quad (2)$$

де $C_1, \dots, C_5, n_1, \dots, n_4$ — сталі, що залежать від виду оброблюваного матеріалу і умов механічного оброблення; E_1, \dots, E_k — відсоткове співвідношення різних легуючих елементів, j_1, \dots, j_k — інтенсивність впливу відповідних легуючих елементів на швидкість різання.

Оцінювати оброблюваність різанням матеріалу як його здатність чинити опір пластичній деформації і руйнуванню можна через сконцентроване навантаження — силу різання і напруження, що діють на поверхнях контакту ріжучого інструменту з оброблюваним матеріалом. На оброблюваність різанням впливають швидкість деформації, площа шару матеріалу, що зрізується, зміна геометрії контакту (знос інструменту), жорсткість технологічної системи різання, дія змащувально-охолоджувальної рідини тощо.

Для визначення оброблюваності матеріалів використовується також показник опору деформації, в тому числі його залежність від швидкості і степені деформації з врахуванням процесів зміцнення та відпуску. Оброблюваність різанням конкретного матеріалу являється не стільки особливістю процесу його оброблення, скільки внутрішніми узагальненими властивостями самого матеріалу, його здатність до опору пластичній деформації і руйнуванню в конкретних технологічних умовах. Отже можна стверджувати що оброблюваність різанням — це податливість матеріалу на специфічний вплив ріжучого інструменту. Під специфічністю впливу тут розуміється неоднорідність діючого навантаження по площі дотику інструменту та заготовки, висока швидкість деформації, необхідність вичерпання пластичності оброблюваного матеріалу і доведення його до руйнування.

Ті параметри металу, які визначають його технологічні (деформування, зварюваність тощо) та експлуатаційні (зносостійкість, теплостійкість, опір корозії) властивості впливають і на його оброблюваність різанням. Слід відзначити, що одна окремо взята характеристика матеріалу не може бути оцінкою його оброблюваності.

До основних фізико-хімічних параметрів матеріалу, які впливають на його оброблюваність, відносять:

- тип кристалічної ґратки і міжатомного зв'язку;
- хімічний склад;
- структура, тобто наявність фазових і структурних змін, які спостерігаються на макрорівні;
- субструктура, тобто кількість, дисперсність і розподілення зміцнюваних фаз, вид і щільність дислокацій, їх рухомість, а також величина зерен і блоків, ступінь їх розорієнтування, стан міжзернових і міжблокових границь;
- стійкість зміцнювальних фаз і структури в цілому дії напружень і температури під час процесу різання з супроводжуючими явищами адгезії і дифузії.

Приведений комплекс параметрів визначає властивості міцності і пластичності матеріалу, а також особливості його поведінки в процесі високошвидкісного деформування і руйнування з супутнім проявом різноманітних фізико-хімічних явищ.

Тип кристалічної ґратки металу — це ключ прогнозування його поведінки в умовах різання [4].

Вирішення проблеми покращення оброблення зводиться до встановлення технологічних умов, що будуть оптимальними для всіх елементів системи різання: оброблюваного матеріалу, ріжучого інструменту та жорсткості їх взаємодії.

На оброблюваність різанням як набір взаємопов'язаних його вихідних показників також впливають інші технологічні умови його оброблення. В першу чергу слід звернути увагу на жорсткість технологічної системи різання. Якщо жорсткість системи понижена виникають вібрації, в результаті дії яких, фактична швидкість різання зростає за рахунок накладання швидкості коливального процесу ріжучої кромки інструменту. В залежності від жорсткості системи різання фактична швидкість може зростати на 15...40%, помітно знижуючи стійкість інструменту в процесі різання важкооброблюваних металів, які дуже чутливі до зміни швидкості різання. До можливостей підвищення жорсткості технологічної системи можна віднести схеми зміни кріплення деталі, зменшення вильоту різця, збільшення жорсткості інструменту, застосування пристроїв гасіння вібрацій тощо. Для важкооброблюваних металів необхідно шукати такі поєднання режимних та інших технологічних факторів, які сприяли б покращенню пластичності оброблюваного матеріалу в поєднанні з його нагрівом в зоні різання. Інший напрям — додаткова зовнішня стимуляція (накладання ультразвукових коливань, введення електричного струму тощо).

Фізичний механізм процесу різання металів, який заснований на дислокаційно-енергетичних закономірностях пластичного деформування і руйнування, дає можливість пояснити природу деяких відомих методів покращення оброблюваності, наприклад, нагрівання оброблюваного матеріалу в процесі різання. Цей метод, як правило, призводить до зменшення твердості важкооброблюваних матеріалів. Процес деформування також полегшується за рахунок росту ролі термічної активації подолання дислокаціями бар'єрів, розвиток дифузійних процесів [4].

Будь-який технологічний процес механооброблення можна розглядати, як багатоцільове перетворення одного або декількох видів енергій. Енергія, затрачена на технологічний процес виготовлення деталі у взаємодії з середовищем містить суму перетворень в інші види енергії, що складають в цілому загальну енергію конкретного технологічного процесу. Ця енергія за характером своєї взаємодії може бути поділена на дві різні за величиною частини, одна з яких (корисна) використовується для перетворення властивостей оброблюваного матеріалу та витрачається на вирішення необхідних технологічних задач, а інша — розсіюється і негативно впливає на технологічний процес, викликаючи, наприклад, прискорене зношення інструменту.

Перетворення зовнішньої енергії, прикладеної до інструменту або заготовки, у показники якості виробу відбувається через внутрішні процеси та явища, які є результатом обміну енергіями заготовки, інструменту та навколишнього середовища. В свою чергу внутрішні процеси та явища також є джерелами різних видів енергії. Виділена ними внутрішня енергія витрачається на вирішення окремих технологічних задач, а саме на: формоутворення, забезпечення заданих показників якості тощо. Таким чином точність і якість поверхні, собівартість, продуктивність, та інші показники оброблення різанням являються також енергетичними показниками. Отже, реакція матеріалу на зовнішні енергетичні впливи визначає його властивості і безпосередньо пов'язана з оброблюваністю металу.

Зв'язок оброблюваності матеріалу з енергетичними параметрами процесу механічного оброблення дає можливість оцінювати і прогнозувати ефективність технологічних операцій, що полягають у введенні додаткової енергії в зону різання.

Для відпуску металу в зоні випереджувального зміцнення потрібно менше додаткової енергії, ніж в зоні безпосередньо ріжучої кромки інструменту. Дану обставину слід приймати до уваги в процесі інтенсифікації механічного оброблення з допомогою енергії активації (наприклад, ультразвукових коливань), що концентрується в локальних об'ємах деформованої зони. Необхідно також враховувати роль конкретного фізичного механізму в загальному опорі матеріалу різанню.

Як альтернатива значній кількості критеріїв можна запропонувати один загальний або інтегральний показник оброблюваності і оптимальності різання в вигляді питомої енергоємності процесу K_e , що заснований на визначенні затраченої енергії на зняття одиниці об'єму припуску. Перевагами такого підходу є те що, K_e є універсальним критерієм, величина якого залежить тільки від властивостей оброблюваного матеріалу і геометрії ріжучого інструменту.

Застосування енергетичного критерію доцільно реалізовувати для практичних задач оптимального призначення технологічних умов різання деталей.

$$K_e = \frac{A - q}{ts}, \quad (3)$$

де $A = Pv$ — робота різання; P — сила різання; q — теплота, що виноситься з зони різання; t, s, v — технологічні режими.

Енергія на пластичне деформування зони різання розподіляється нерівномірно і залежить від режимів різання і геометрії інструменту. Найбільші затрати припадають як правило на деформацію металу вище поверхні зрізу (95% і більше роботи пластичного деформування). Звідси можна зробити висновок: для покращення оброблюваності достатньо зменшити твердість шару металу, що знімається.

Покращення оброблюваності металів і сплавів до або під час оброблення є важливим ефективним засобом управління процесом різання, а також засобом досягнення мінімізації енерговитрат.

Управляючи оброблюваністю, можна призначати такі умови різання, які будуть оптимальні з усіх точок зору: опір стружкоутворенню, стійкість інструменту, якість оброблення.

Висновки. Таким чином, оброблюваність матеріалу з енергетичної точки зору відображає міру здатності матеріалу перетворювати зовнішній механічний вплив через механізм процесу різання в комплекс внутрішніх і зовнішніх характеристик, що забезпечують задані технологічні та економічні показники технології виготовлення деталі. В зв'язку з цим, оброблюваність різанням являється інтегральною енергетичною характеристикою.

1. Васин С.А., Верещака А.С., Кушнер В.С. Резание материалов: Термомеханический поход к системевзаимосвязей при резании: Учеб. для техн. Вузов. — Изд-во МГТУ им Н. Э. Баумана, 2001. — 448 с.
2. Макаров А.Д. Оптимизация процессов резания. М.: Машиностроение, 1976. — 278 с.
3. Ординарцев И.А., Филиппов Г.В., Шевченко А.Н. и др. Справочник инструментальщика / Подобщ. ред. И.А. Ординарцева. — Л.: Машиностроение (Ленингр. Отд-ние), 1987. — 846 с.
4. Старков В.К. Физика и оптимизация резания металлов // М.: Машиностроение, 2009. — 640 с.