

УДК 621.787

**ВИЗНАЧЕННЯ РЕЖИМІВ ОБРОБКИ В ПРОЦЕСІ УЛЬТРАЗВУКОВОГО
ВИГЛАДЖУВАННЯ З ПОПЕРЕДНІМ ЗАЗОРОМ**

Турич Валерій Володимирович, к.т.н., доцент
Руткевич Володимир Степанович, к.т.н.
Вінницький національний аграрний університет
Turych V.
Rutkevych V.
Vinnitsia National Agrarian University

Анотація: змодельовано контактні явища, що проходять в зоні деформації. Аналітично визначені режими обробки, які дозволяють отримати оброблені поверхні оптимальної якості. Визначено глибину пластичної деформації.

Ключові слова: ультразвукове вигладжування з попереднім зазором, частота коливань, амплітуда коливань, кратність навантаження, магніострикційний перетворювач.

Вступ

Адгезійні явища в процесах обробки матеріалів холодною пластичною деформацією є безумовно шкідливими, ряд дослідників процесів рекомендують застосовувати мастила з високими екрануючими властивостями, тобто антиадгезійні матеріали, наповнювачами в яких служать дисульфід молібдену, графіт та інші подібні речовини, які здатні витримувати високий контактний тиск, забезпечують надійне розділення поверхонь деталі та інструменту при обробці і низькі значення коефіцієнта зовнішнього тертя (0,07-0,1). Проте такий шлях боротьби з адгезією є непридатним для чистових процесів ХПД, оскільки не дає можливості знизити шорсткість поверхні деталі, отримати високі значення деформаційного зміцнення, текстуру та корисні стискуючі напруження у поверхневому шарі [1, 2].

В працях [3, 4] показано, що в процесі ХПД із застосуванням ультразвукових коливань (УЗК), при періодичному примусовому роз'єднанні інструмента і деталі при обробці, значно поліпшується якість та знижуються напруженість операції. Однак, поєднання ХПД з УЗК практично не застосовується, оскільки пружні деформації перевищують амплітуду коливань, що не дає позитивного технологічного ефекту.

Для ліквідації цього недоліку було запропоноване оригінальне технічне рішення [5], суть якого полягає в попередньому установленні між інструментом і деталлю попереднього зазору величина якого менша від амплітуди коливань. В процесі ХПД з УЗК, коли інструмент коливається відбувається періодичне його заглиблення в поверхню деталі і миттєве розірвання контакту поверхонь інструмента і деталі. Саме такий розрив робить неможливим виникнення і розвиток зародків («місточків») адгезії.

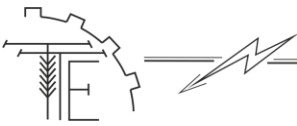
Для рішення практичних задач застосування таких методів актуальними є проведені нижче дослідження.

Основна частина

В машинобудуванні зростає застосування деталей із металевих і неметалевих матеріалів, які отримують різноманітними способами обробки тиском, литтям тощо, що вимагає створення великої кількості спеціального інструменту та оснащення. Звичайно таке оснащення має складну форму і конструкцію, її виготовлення трудомістке і вимагає застосування висококваліфікованої робочої сили. Тому виникає проблема створення нових технологічних методів формоутворення поверхонь деталей [3].

Вітчизняний і зарубіжний досвід показує, що деякі труднощі можна подолати при використанні фізико – хімічних методів обробки. Ці методи формоутворення поверхонь деталей машин впливають не тільки на структуру і тривалість технологічного циклу, але і на створення нових конструкцій машин.

Одним із головних напрямків науково – технічного прогресу є створення і впровадження принципово нових технологічних процесів. У вирішенні поставлених задач певну роль можуть грати і ультразвукові методи обробки.



Застосування ультразвуку при механічній обробці є перспективним і прогресивним напрямком в сучасній технології: вдається підвищити продуктивність і покращити якість і надійність виробів; підвищити втомну міцність за рахунок формування по глибині поверхневого шару залишкових стискаючих напружень, зменшити шорсткість поверхні, підвищити зносостійкість. Ультразвук дозволяє підвищити науково – технічний рівень технологічних процесів обробки деталей із важкооброблюваних матеріалів в машинобудуванні, а в деяких випадках принципово по – новому вирішити задачі їх виробництва [1, 3, 5].

В роботі [2] зазначається, що кратність навантаження (число циклів навантаження) в процесі алмазного вигладжування не повинна бути більше $10 \div 20$. В випадку, коли кількість циклів навантаження перевищує зазначені значення може виникнути надмірний наклеп зі всіма його шкідливими наслідками. В наслідок зміцнення кожен цикл навантаження приносить менший ефект. У роботі [2] наведено вираз для визначення кратності навантаження, який в наших позначеннях має наступний вигляд:

$$n = \frac{2 \cdot r_3}{S} i \quad (1)$$

де r_3 – радіус пружного відбитку на поверхні деталі;

i – число переходів;

S – подача.

Цю залежність неможливо використовувати при ультразвуковому вигладжуванні. Для розрахунку кратності навантаження в умовах вигладжування з ультразвуком в [3] наводиться наступна залежність

$$n = \frac{0,06 f}{VS}, \quad (2)$$

де f – частота коливань;

V – швидкість обробки.

Однак ця залежність не враховує ні радіуса сфери інструмента, ні часу контакту інструмента з деталлю. Якщо розрахувати за цією залежністю число циклів навантаження при найбільш типових режимах обробки $f = 20$ кГц, $V = 1$ м/с, $S = 0,05$ мм/об отримаємо значення $n = 24000$. При такій кратності поверхневий шар деталі зруйнується внаслідок перенаклепування. Тому виникає сумнів щодо можливості застосування цієї формули.

Для виводу залежності, яка визначає кратність навантаження скористаємось такими міркуваннями. Визначимо число контактів інструмента з деталлю за один оберт, як частку від ділення періоду обертання деталі на період коливань:

$$n_k = \frac{T_1}{T}. \quad (3)$$

Період обертання деталі:

$$T_1 = \frac{2\pi R_1}{V}, \quad (4)$$

де R_1 – радіус робочої сфери інструмента.

Тоді:

$$n_k = \frac{2\pi R_1 \omega}{2\pi V} = \frac{R_1 \omega}{V}, \quad (5)$$

де ω – колова частота,

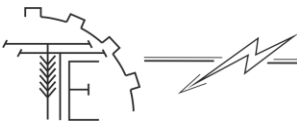
$$\omega = 2\pi f.$$

Шлях на якому інструмент знаходиться в контакті з деталлю за період коливань складається із шляху в напрямку обертання деталі [6-8].

$$L_1 = V \cdot t_k + 2 \cdot r_3, \quad (6)$$

а також із шляху в напрямку подачі:

$$L_2 = \frac{V \cdot S \cdot t_k}{2\pi R_1}. \quad (7)$$



Загальний, за період коливань інструмента, шлях визначається наступним чином:

$$L = \sqrt{L_1^2 + L_2^2} = \sqrt{(V \cdot t_k + 2 \cdot r_3)^2 + \left(\frac{V \cdot S \cdot t_k}{2\pi R_1}\right)^2}. \quad (8)$$

З урахуванням (5) та (6) шлях інструмента у контакті з деталлю за оберт становить:

$$L_{об} = L \cdot n_k = \frac{\omega \cdot R_1}{V} \cdot \sqrt{(V \cdot t_k + 2 \cdot r_3)^2 + \left(\frac{V \cdot S \cdot t_k}{2\pi R_1}\right)^2}. \quad (9)$$

Очевидно, що кратність навантаження в напрямку обертання деталі є частка від ділення шляху робочої сфери інструмента за оберт деталі на довжину гвинтової лінії точки циліндричної поверхні деталі за один оберт її. Крім того, кратність навантаження визначається довжиною контакту інструмента з поверхнею що обробляється і величиною подачі. З урахуванням цих міркувань кратність навантаження визначається наступним виразом

$$n_k = \frac{2 \cdot \omega \cdot R_1 \cdot r_3}{VS \sqrt{(2\pi R_1)^2 + S^2}} \cdot \sqrt{(V \cdot t_k + 2 \cdot r_3)^2 + \left(\frac{V \cdot S \cdot t_k}{2\pi R_1}\right)^2}. \quad (10)$$

Вираз (10) можливо спростити не беручи до уваги малі величини вищого порядку:

$$n_k = \frac{(V \cdot t_k + 2r_3) \cdot 2r_3 \cdot f}{VS}. \quad (11)$$

Розрахунки проводили за умов обробки інструментом з радіусом робочої сфери 2 мм, амплітудою коливань $\xi = 10$ мкм, попереднім зазором $\delta = 5$ мкм, вихідною шорсткістю поверхні $R_a = 0,4$ мкм і подачею $S = 0,05$ мм/об.

Розрахунки показали, що із збільшенням швидкості обробки та твердості матеріалу, що обробляється кратність навантаження зменшується. В роботі [2] стверджується, що в типових випадках вигладжування кратність навантаження складає від 2 до 6. При обробці сталі твердістю HRC 50 така кратність згідно розрахунків досягається при швидкостях обробки 20-40 м/хв, що знижує продуктивність. Збільшення подачі також знижує кратність.

Тому для досягнення необхідної кратності навантаження при оптимальній швидкості обробки необхідно збільшувати глибину впровадження інструмента.

В роботі [2] показано, що оптимальна глибина впровадження інструмента при алмазному вигладжуванні визначається наступним виразом:

$$h_{nl} = cR_z + R \left(1 - \frac{R}{2S} (\gamma - \sin \gamma) - \cos \frac{\gamma}{2}\right), \quad (12)$$

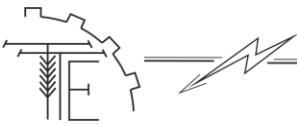
$$\text{де } \gamma = 2 \arcsin \frac{S}{2R}.$$

Автор [6] проаналізувавши вираз (12) дійшов до висновку, що глибина впровадження є функцією висоти мікронерівностей оброблюваної поверхні і приблизно повинна бути рівна величині мікронерівностей по R_z . Вплив радіуса робочої сфери інструмента R і величини подачі S в діапазоні малих подач ($S < 0,05$ мм/об) і великих радіусів ($R > 1$ мм) можливо вважати незначним. Приймаючи це до уваги, можливо розрахувати оптимальну глибину впровадження інструмента h для нашого випадку підставивши замість h_{nl} значення R_z . Після відповідних перетворень отримаємо вираз для визначення оптимальної глибини впровадження при обробці матеріалів твердістю до 200 НВ:

$$h_{onm} = e^{\frac{\ln(1,673 \cdot 10^{-7} \cdot HB^{3,512} \cdot R^{0,504} \cdot R_a^{0,811})}{1,305 \ln HB - 5,42}}, \quad (13)$$

і для матеріалів твердістю 50-55 HRC.

$$h_{onm} = e^{\frac{\ln(303 R^{0,55} \cdot R_a^{0,85})}{2,198}}. \quad (14)$$

**Висновки**

На основі проведених досліджень виведені залежності для розрахунку кратності навантаження, а також визначена оптимальна глибина впровадження інструменту в поверхню деталі.

Список літератури

1. Посвятенко Е.К. Модифікування поверхні деталей машин ультразвуковим методом / Е.К. Посвятенко, В.В. Турич, В.І. Шевченко // Вісник НТУ. – 2003. № 8 – С. 28-33.
2. Асташев В.К. О влиянии высокочастотных вибраций на процессы пластического деформирования / В.К. Асташев. – Машиноведение. – 1983. № 2. – С. 3-12.
3. Марков А.И. Ультразвуковая обработка материалов / А.И. Марков. – М.: Машиностроение, 1980. – 237 с.
4. Кумабэ Д. Вибрационное резание / Д. Кумабэ. – М.: Машиностроение, 1985. – 424 с.
5. Турич В.В. Качество поверхности деталей, обработанных деформирующим протягиванием с наложением ультразвука / В.В. Турич, В.К. Асташев // Повышение эффективности протягивания. Рига: Риж. политехн. ин-т, 1986. – С.131-135.
6. Турич, В.В. Контактна взаємодія інструмента з деталлю в процесі деформуючого протягування з ультразвуком / В.В.Турич, В.С. Руткевич // Промислова гідравліка і пневматика. – 2016. – №4 (54). – С. 71–76.
7. Деклараційний патент України на корисну модель № 70985 U, МПК B24B 39/00 / Спосіб ультразвукової зміцнюючої обробки / Турич В.В., Руткевич В.С.; заявник та патентовласник Вінницький національний аграрний університет. – № у 2012 00461; заявл. 16.01.12; опубл. 25.06.2012, Бюл. №12.
8. Деклараційний патент України на корисну модель № 101967 U, МПК G01H 1/08 / Пристрій для вимірювання параметрів ультразвукових коливань / Турич В.В., Руткевич В.С.; заявник та патентовласник Вінницький національний аграрний університет. – № у 2015 03354; заявл. 10.04.15; опубл. 12.10.2015, Бюл. №19.

References

1. Posviatenko E.K. Modyfikuvannia poverkhni detalei mashyn ultrazvukovym metodom / E.K. Posviatenko, V.V. Turych, V. I. Shevchenko // Visnyk NTU. – 2003. № 8 – S. 28-33.
2. Astashov V.K. O vliianii vysokochastotnykh vibratsii na protsessy plasticheskoho deformirovaniia / V. K. Astashov // Mashinovedeniie. – 1983. № 2. – S. 3-12.
3. Markov A.I. Ultrazvukovaia obrabotka materialov / A.I. Markov. – M.: Mashinostroenie, 1980. – 237 s.
4. Kumabe D. Vibratsionnoe rezanie / D. Kumabe. – M.: Mashinostroenie, 1985. – 424 s.
5. Turych V.V. Kachestvo poverkhnosti detalei, obrabotannykh deformiruiushchim protiahivaniem s nalozheniim ultrazvuka / V.V. Turych, V. K. Astashov // Povysheniie effektivnosti protiahivaniia. Riha: Ryzh. politekhn. in-t, 1986. – S. 131- 135.
6. Turych, V.V. Kontaktna vzaiemodiia instrumenta z detalliu v protsesi deformuiuchogo protiahuvannia z ultrazvukom / V.V. Turych, V.S. Rutkevych// Promyslova gidravlika i pnevmatyka. – 2016. – №4 (54) S. 71–76.
7. Deklaratsiinyi patent Ukrainy na korysnu model № 70985 U, MPK B24B 39/00 /Sposib ultrazvukovoi zmitsniuiuchoi obrobky / Turych V. V., Rutkevych V.S.; zaiavnyk ta patentovlasnyk Vinnytskyi natsionalnyi agrarnyi universytet – № u2012 00461; zaiavl. 16.01.12; opubl. 25.06.2012, Byul. № 12.
8. Deklaratsiinyi patent Ukrainy na korysnu model № 101967 U, МПК G01H 1/08 // Prystrii dlia vymiryuvannia parametriv ultrazvukovykh kolyvan / Turych V. V., Rutkevych V.S.; zaiavnyk ta patentovlasnyk Vinnytskyi natsionalnyi agrarnyi universytet – № u 2015 03354; zaiavl. 10.04.15; opubl. 12.10.2015,Byul. № 19.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЖИМОВ ОБРАБОТКИ В ПРОЦЕССЕ УЛЬТРАЗВУКОВОГО
ВЫГЛАЖИВАНИЕМ С ПРИШЕДШУЮЩИМ ЗАЗОРОМ**

Аннотация: смоделированы контактные явления, которые проходят в зоне деформации. Аналитически определены режимы обработки, которые позволяют получить обработанные поверхности оптимального качества. Определена глубина пластической деформации.

Ключевые слова: ультразвуковое выглаживания с пришедшим зазором, частота колебаний, амплитуда колебаний, кратность нагрузки, магнестрикционный преобразователь.

**DETERMINATION OF THE PROCESSING MODES IN THE PROCESS OF ULTRASONIC
EXCLUSION WITH PRELIMINARY OPENING**

Summary: based on the rheological model of deformation of an ideal elastic – plastic body, the dependences for the calculation of deformation forces have been developed. The contact phenomena that occur in the deformation zone are simulated. Analytical methods of processing are defined which allow to receive processed surfaces of optimal quality: optimum clearance, oscillation amplitude, load multiplicity, flow rate, processing speed. The depth of plastic deformation is determined, the «fictitious» stiffness of the part is calculated.

Keywords: ultrasonic smoothing with the previous gap, frequency of oscillations, amplitude of oscillations, load multiplicity, magnetostrictive transducer.