

А. Міцик, В. Федорович, А. Грабченко, Харків, Україна

МЕХАНО-ФІЗИКО-ХІМІЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ РУЙНУВАННЯ ПОВЕРХНІ ДЕТАЛІ У ВІЛЬНОМУ АБРАЗИВНОМУ СЕРЕДОВИЩІ

Анотація. Представлено аналіз явищ в зоні зіткнення гранул робочого середовища з поверхнею деталей. Відзначено, що гранули абразиву, які виступають зі зв'язки зернами, проникають в оброблювану поверхню деталі. Зазначено, що контакт абразивної гранули з поверхнею деталі здійснюється в межах площадок малої величини, які визначаються силою зіткнення, кількістю і станом активних зерен, рівнем їх закріплення, розмірами та фізико-механічними властивостями матеріалу деталі. Розглянуто поведінку одичної гранули, що переміщується відносно оброблюваної деталі. Виділено основні види впливу абразивного зерна на оброблювану поверхню. Встановлено параметри режиму обробки, які визначають характер фізико-механічних процесів взаємодії одичної гранули й оброблюваної деталі. Розглянуто відмінності методу віброабразивної обробки від відомих оздоблювально-зачищувальних методів. Наведено механізми руйнування матеріалу деталі та представлені етапи механо-фізико-хімічного моделювання процесу віброабразивної обробки.

Ключові слова: абразивні гранули; оброблювана поверхня; різання; пластичне деформування; тертя; сліди обробки; руйнування матеріалу.

Аналіз явищ в зоні зіткнення гранул робочого середовища з поверхнею оброблюваної деталі показує, що під дією коливань відбувається ударний контакт абразивної гранули з поверхнею деталі. При цьому гранули абразиву, які виступають зі зв'язки зернами, проникають в оброблювану поверхню деталі [1].

Гранули робочого середовища відрізняються станом активних зерен, шорсткістю, формою, розмірами, місцем розташування в резервуарі віброверстата. Внаслідок чого на характер механічного контакту гранул з оброблюваною поверхнею впливають різні за величиною нормальні сили F_i/N , де N – число зерен, що контактують.

Кожне з зерен, що контактують, гранул середовища до певної зміни свого становища, щодо сусідніх гранул, здатне розвивати деяку силу τ_i/N , спрямовану паралельно оброблюваній поверхні (рис. 1).

Контакт абразивної гранули з оброблюваною поверхнею здійснюється в межах площадок малої величини, які визначаються силою зіткнення F , кількістю і станом активних зерен, рівнем їх закріплення, розмірами, а також фізико-механічними властивостями матеріалу деталі.

Розглядаючи одичну гранулу, що переміщується відносно оброблюваної поверхні деталі, можна відзначити, що її профіль

складається з зерен, які здійснюють мікрорізання, пластичне і пружне деформування, а також зерен, які не беруть участі в роботі. В результаті зіткнення абразивної гранули з поверхнею деталі під її вплив потрапляють всі шари оброблюваного матеріалу, розташовані в зоні активних зерен гранули. Характер впливу абразивних зерен на метал залежить від геометричних параметрів їх вершин і робочого контуру гранули в цілому. Залежно від орієнтації різальних кромek абразивних зерен щодо твірної гранули мають місце три основних види впливу абразивного зерна на оброблювану поверхню, тобто різання, пластичне деформування і тертя.

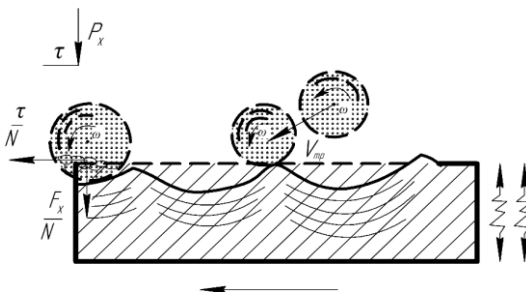


Рисунок 1 – Схема взаємодії абразивної гранули вільного середовища з оброблюваною поверхнею деталі

При цьому кожне абразивне зерно з плином часу в процесі обробки може спочатку виконувати тільки тертя, потім пластичне деформування і нарешті здійснювати різання. Таке чергування роботи, що здійснюється абразивними зернами гранули, пов'язано з характером переміщення її по поверхні оброблюваної деталі. Швидкісне відеознімання одиничних слідів обробки показало, що гранули залишають на контактній поверхні складні по контурах сліди обробки, які відрізняються по глибині та розташуванню на поверхні. Глибина сліду змінюється в напрямку руху гранули та визначається швидкістю її переміщення, а також силою і частотою проникнення в матеріал деталі за час контакту й іншими факторами [2].

При віброабразивній обробці відбувається взаємодія двох робочих поверхонь, а саме поверхонь одиничної гранули та оброблюваної деталі. Характер фізико-механічних процесів взаємодії визначається властивостями різальних зерен, розмірами, формою, їх кількістю і розташуванням на поверхні гранул. Крім того, враховується характеристика оброблюваного матеріалу і його властивості, схильність

до схоплювання, здатність до окислення і властивості окисних плівок, зносостійкість до окислення та інші параметри взаємодії, які залежать від технологічного режиму обробки.

Процес віброабразивної обробки залежить від характеру локального контакту робочих зерен абразивної гранули з тонким поверхневим шаром оброблюваної деталі. Прі контактуванні деталей з абразивними гранулами, що коливаються й переміщуються по оброблюваних поверхнях відбувається їх взаємне інтенсивне руйнування, тобто протікає процес підрізки. Характер динамічних навантажень в зоні контакту гранул робочого середовища і деталей відрізняє метод віброабразивної обробки від інших відомих методів оздоблювально-зачищувальної обробки. Ці відмінності наступні:

- навантаження зерен абразивних гранул відрізняється рівномірністю, а глибина проникнення кожного з них стабільністю;
- внаслідок переривчастості взаємодії з поверхнею деталей забезпечується чергування деформуючих і різальних зерен;
- наявність коливань забезпечує зменшення сил тертя на контактних поверхнях технологічної системи «гранула – деталь»;
- завдяки невеликим розмірам абразивна гранула надійно просочується хімічно-активним розчином і забезпечує його подачу в зону взаємного контакту з оброблюваною поверхнею;
- забезпечується зниження сил мікрорізання і контактної температури.

Більшість з перерахованих відмінностей обумовлюється характерним для віброабразивної обробки процесом саморегулювання, який дозволяє рухомим гранулам з проникними в поверхню металу зернами займати оптимальне положення і рівномірно наносити на поверхню елементарні сліди обробки, зміщені відносно один одного. При цьому створюються умови утворення однорідного поверхневого шару, а також усувається можливість виникнення грубих слідів руйнування. У точках фактичного контакту тіл виникає складний спектр напруг, відбувається мікрорізання, пружнопластичне деформування зі значним збільшенням щільності дислокацій і утворенням активних дислокаційно-вакансійних центрів [3].

З огляду на специфічні закономірності віброабразивної обробки, зазначені відмінності поширюються досить рівномірно по всій поверхні деталі. Під дією абразивних гранул, що коливаються, виникає рівномірний шар пластично деформованого активного металу. Пластично деформований шар металу вступає у взаємодію з компонентами навколишнього середовища, тобто з киснем повітря і хімічно-активними

розчинами. Пластично деформований метал абсорбує на своїх поверхнях активні компоненти середовища та інтенсивно вступає з ними в реакцію.

Хімічна абсорбція на поверхні деформованого металу протікає з інтенсивністю на порядок вище, ніж на поверхнях, що знаходяться в стані рівноваги. Аналогічна картина спостерігається і на поверхнях, підданих мікрорізанню.

Електронно-мікроскопічні дослідження показують наявність утворення адгезійних плям і окисних плівок на площадках контакту. Це свідчить про те, що в даному процесі також, як і при шліфуванні, поліруванні, доведенні відбувається безперервне оголення ювенільних поверхонь [4, 5].

Якщо розглядати ці відмінності з позиції фізико-хімічної механіки обробки матеріалів, то атоми ювенільної поверхні, володіючи високою активністю можуть вступати у взаємодію з навколишнім середовищем [1]. Взаємодія активних ювенільних поверхонь, пластично деформованих об'ємів металу з агресивними компонентами робочого середовища призводить до утворення вторинних ослаблених структур на їх поверхнях [6]. Товщина шару вторинних структур в залежності від умов їх утворення знаходиться в межах 0,05 ... 0,08 мкм. Подальший контакт поверхні, покритої ослабленими вторинними структурами абразивними гранулами, що коливаються, призводить до їх руйнування внаслідок крихкості, меншої міцності та зв'язку з основним металом. При цьому на поверхні оброблюваної деталі спостерігається тонкий, рівномірно розподілений, шар зруйнованих частинок основного металу, що нагадує ущільнену масу дрібноподріблених частинок. Зазначений шар покриває всю поверхню оброблюваної деталі, приховуючи від спостереження границю зерен.

Прилипання до обробленої поверхні раніше роздроблених частинок вказує на наявність явища схоплювання, яке виникає при зіткненні ювенільних поверхонь. Це явище протікає в малі проміжки часу $1,0 \dots 2 \cdot 10^{-2}$ с, коли оголені поверхні диспергованого металу не встигають вступати у взаємодію з навколишнім середовищем. Явище схоплювання також може служити причиною руйнування поверхневого шару оброблюваної деталі.

Тонкодисперсні частинки металу внаслідок тяжіння електричного поля схоплюються уздовж границі зіткнення з поверхнею металу, тому, що це тяжіння в місцях контакту наближається за величиною до міжатомних сил зчеплення. При подальшій обробці сколювання такої частки може відбутися не на границі дотику, а по основному металу. В окремих випадках ці частинки ущільнюються ударами гранул і набувають матовий відтінок при їх візуальному розгляді.

У загальному вигляді фізичний мікро- і субмікрорельєф утворюється в результаті наявності гладких шорсткуватих ділянок з плівками оксидів, що утворилися при руйнуванні плівки й налиплих при схоплюванні з поверхнею частинок металу.

Слід зазначити й особливість протікання процесу за часом. Відзначається [7], що руйнування матеріалу починається лише після закінчення деякого періоду. Протягом цього часу протікають підготовчі процеси, тобто утворення слідів обробки, наклепу поверхні, виникнення мікротріщин і ін. Тривалість періоду залежить від фізико-механічних властивостей матеріалу та умов обробки.

У зв'язку з наявністю явищ багаторазового пружнопластичного деформування і передеформування елементарних ділянок оброблюваної поверхні, поряд з процесом прямого руйнування при одноразовому зіткненні, проявляється процес багаточиклового пластичного деформування і руйнування.

Процеси мікрорізання, пружнопластичного деформування, активації поверхневого шару металу, утворення і руйнування вторинних структур, полідеформаційного руйнування повторюються з частотою зіткнення гранул середовища з робочою поверхнею. Наведений аналіз механізму руйнування матеріалу деталей гранулами робочого середовища при віброобразивній обробці дозволяє побудувати наступну механо-фізико-хімічну модель процесу руйнування поверхні деталі. Вона складається з етапів:

1. Ударний механічний контакт, на якому відбуваються пружне, пластичне, пружнопластичне деформування і руйнування поверхневого шару з видаленням частинок металу.
2. Утворення розпушеного шару активного металу.
3. Взаємодія активного шару металу з навколишнім середовищем, який характеризується утворенням ослаблених вторинних структур.
4. Руйнування вторинних структур наступними ударами гранул середовища.
5. Утворення специфічного субмікрорельєфу, що уявляє собою шар дрібноподріблених частинок, як з'єднаних між собою «містками» схоплення своїми ювенільними поверхнями, так і пов'язаними з основним металом.

Таким чином, інтенсивність зняття металу при віброобразивній обробці залежить від інтенсивності механічного та хімічного впливу, а також здатності матеріалу деталі чинити опір дії зазначених процесів. У зв'язку з розглянутою моделью руйнування поверхневого шару оброблюваної деталі представляє інтерес визначення співвідношення кожного з перерахованих етапів процесу, частки участі кожного з них у загальній обробці. Встановлено, що орієнтовне співвідношення процесів

мікрорізання і пружнопластичного деформування орієнтовно становить 30 ... 35 і 70 ... 65 %.

References: 1. Babichev A.P. Osnovy vibratsionnoy tehnologii / A.P. Babichev, I.A. Babichev. – Rostov n/D: Izdatelskiy tsentr DGTU, 2008. – 694 p. 2. Kartashov I.N. Obrabotka detaley svobodnymi abrazivami v vibriruyuschih rezervuarah / I.N. Kartashov, M.E. Shainskiy, V.A. Vlasov. – Kyiv: Vischa shkola, 1975. – 188 p. 3. Politov I.V. Vibratsionnaya obrabotka detaley mashin i priborov / I.V. Politov, M.A. Kuznetsov. – L.: Mashinostroenie, 1965. 4. Rebindler P.A. Vliyanie aktivnykh smazочно-ohlazhdayuschih zhidkostey na kachestvo poverhnosti pri obrabotke metallov rezaniem i davleniem. – Moscow: Izd-vo AN SSSR, 1946. – 432 p. 5. Babichev A.P. Primenenie vibratsionnykh tehnologiy na operatsiyah otdelочно-zachistnoy obrabotki detaley (ochistka, moyka, udalenie obloya i zausentsev, obrabotka kromok) / A.P. Babichev, P.D. Motrenko, L.K. Gillespi. Rostou-na-Donu: DGTU. – 2010. – 289 p. 6. Kostetskiy B.I. Trenie, smazka i iznos v mashinah / B.I. Kostetskiy. – Kyiv, 1970. 7. Babichev A.P. Vibratsionnyye stanki dlya obrabotki detaley / A.P. Babichev, V.B. Trunin, Yu.M. Samodumskiy, V.P. Ustinov. – Moscow: Mashinostroenie, 1984. – 168 p.

Andrii Mitsyk, Volodymyr Fedorovich, Anatoly Grabchenko,
Kharkiv, Ukraine

MECHANO-PHYSICO-CHEMICAL MODELING OF THE PROCESS OF DESTRUCTION OF THE PART SURFACE IN A FREE ABRASIVE MEDIUM

Abstract. *The analysis of the phenomena in the zone of collision of the working medium granules with the parts surface is presented. It is noted that the abrasive granules of are embedded in the processed part surface by the grains protruding from the bundle. It is indicated that the contact of the abrasive granule with the part surface carried out within small size areas, determined by the strength of the collision, the number and state of the active grains, their level of fixation, dimensions and physical and mechanical properties of the part material. The behavior of a single granule moving relative to the processed part is considered. The main types of abrasive grain action on the processed surface are highlighted, that is, cutting, plastic deformation and friction, it is noted that over time, abrasive grain can initially perform only friction, then plastic deformation, then cutting. It is established that such an alternation of the abrasive grains work is associated with the nature of the movement of the granules on the surface of the processed part. High-speed video recording of single processing traces showed that granules leave on contact surfaces the processing traces that are difficult to outline, differ in depth and location on the surface. It was determined that the track depth changes in the direction of granule movement and is calculated by the speed of its movement, as well as by the strength and frequency of penetration into the material of the part during contact. Electron microscopic studies show the presence of adhesive spots and oxide films at the contact sites. This confirms that in the process under consideration, as well as during grinding, polishing, and finishing, continuous exposure of juvenile surfaces occurs. It was established that the interaction of active juvenile surfaces and plastically deformed volumes of metal with aggressive components of the working medium leads to the formation of secondary weakened structures on their surface, the layer thickness of which is 0.05 ... 0.08 μm. The parameters of the processing mode that determine the nature of the physical and mechanical processes of interaction of the single granule and the processed part are established. The differences of the vibrating abrasive treatment method from the known finishing methods are considered. The mechanism of destruction of the part material is shown and the stages of mechanical and physicochemical modeling of the process of vibrating abrasive treatment are presented.*

Keywords: *abrasive granules; the processed surface; cutting; plastic deformation; friction; traces of processing; destruction of the material.*