

Список использованных источников:

1. Пелех Б.Л. Теория оболочек с конечной сдвиговой жесткостью / Б.Л. Пелех. – Киев: Наукова думка, 1973. – 248 с.
2. Маргулис М.В. Силовой передаточный механизм с промежуточными телами качения / М.В. Маргулис, А.С. Шайда // Захист металургійних машин від поломок. – Маріуполь, 2006. – Вип. №9. – С. 257-261.
3. Патент № 92297 Україна МПК F 16 H 25/00. Передавальний механізм / М.В. Маргуліс; Приазовський державний технічний університет. – № а200913223; заявл. 18.12.09; опубл. 11.10.10, Бюл. №19.
4. Авдонин А.С. Прикладные методы расчета оболочек и тонкостенных конструкций / А.С. Авдонин. – М.: Машиностроение, 1969. – 402 с.

Bibliography:

1. Pelekh B.L. Shell theory with finite shear stiffness / B.L. Pelekh. – Kiev: Naukova Dumka, 1973. – 248 p. (Rus.)
2. Margulies M.V. The power transmission mechanism with intermediate rolling bodies / M.V. Margulies, A.S. Shaida // Zahist metalurgiynih mashin vid polomok.-Mariupol, 2006. – Vip. №9. – P. 257-261. (Rus.)
3. Patent № 92297 Ukraine МПК F 16 H 25/00. Transmission mechanism / M.V. Margulies; Azov State Technical University. – № а200913223; stated 18.12.09; published 11.10.10, Bull. №19. (Ukr.)
4. Avdonin A.S. Applied methods of analysis of shells and thin-walled structures / A.S. Avdonin. – M.: Mashinostroenie, 1969. – 402. (Rus.)

Рецензент: С.С. Самотугин
д-р техн. наук, проф. ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 05.12.2013

УДК 621.923

© Андилахай А.А.*

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ОБРАЗОВАНИЯ МИКРОСРЕЗОВ ПРИ АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКЕ ЗАТОПЛЕННЫМИ СТРУЯМИ

Установлено, что отделение металла в процессе обработки происходит в результате образования микростружек и пластического оттеснения металла. Это указывает на возможность аналитического представления рассматриваемого процесса обработки с позиции теории резания металлов с учетом закономерностей перехода от процесса пластического деформирования металла к процессу резания (стружкообразования).

Ключевые слова: латунь, абразивная обработка, зернистость абразива, процесс резания, процесс стружкообразования, микросрез.

Андилахай О.О. Дослідження закономірностей утворення мікродрітів при абразивній обробці затопленими струменями. Установлено, що відділення металу в процесі обробки відбувається в результаті утворення микростружок і пластичного відтискування металу. Це вказує на можливість аналітичного подання розглянутого процесу обробки з позиції теорії різання металів з урахуванням закономірностей переходу від процесу пластичного деформування металу до процесу різання (стружкоутворення).

Ключові слова: латунь, абразивна обробка, зернистість абразиву, процес різання, процес стружкоутворення, мікросрез.

* д-р техн. наук, доцент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

O.O. Andilakhay. Investigation of regularities in formation of micro sections at abrasive treatment with submerged jets. It was established, that separation of metal during processing due to formation of chips and plastic ousting of metal. This indicates that the analytical representation of the process of treatment with the theory of metal cutting position based on laws governing the transition from the process of plastic deformation of the metal cutting process (chip formation).

Keywords: brass, abrasive machining, grit abrasive cutting process, the process of chip, micro section.

Постановка проблеми. Повысить эффективность зачистки сложнопрофильных деталей малой жесткости массой до 3 г можно применением струйно-абразивной обработки, осуществляемой зернистым абразивом с подачей абразивной суспензии через сопла под высоким давлением. Этот метод обеспечивает удаление заусенцев, скругление острых кромок, очистку поверхностей деталей от окисной пленки, подготовку деталей под гальванические покрытия и др. Основной его недостаток состоит в интенсивном износе сопел, через которые прокачивается абразивная суспензия. В связи с этим, перспективным является метод обработки, осуществляемый с помощью струй сжатого воздуха, затопленных абразивной суспензией, т.к. при такой схеме обеспечивается сохранность (долговечность) сопел, подающих сжатый воздух. Сущность данного метода обработки заключается в том, что в рабочую камеру, содержащую свободно помещенные обрабатываемые детали и абразивную суспензию, подают сжатый воздух в виде струй, расположенных так, чтобы достигались обработка и перемешивание деталей, а также обеспечивалась сохранность внутренних поверхностей рабочей камеры. Вместе с тем этот метод недостаточно изучен, что требует проведения комплекса теоретических и экспериментальных исследований и выработки на их основе научно обоснованных практических рекомендаций. Поэтому изыскание путей повышения эффективности абразивной обработки деталей затопленными струями является актуальной задачей для машиностроения.

Анализ последних исследований и публикаций. Установлено, что опубликованные в научно-технической литературе работы, посвященные исследованию струйно-абразивной обработки, а также работы, связанные с защитой поверхностей от абразивного износа, разрознены, по многим вопросам отсутствуют необходимые данные, обобщения и рекомендации, не освещены технологические процессы обработки [1–3]. Известные теоретические подходы к определению параметров струйно-абразивной обработки базируются в основном на положениях теории расчета деталей машин на трение и износ, в некоторых случаях сводятся к определению глубины отпечатка сферической частицы на металлической поверхности и не учитывают закономерности процесса стружкообразования, тогда как удаление обрабатываемого материала происходит в результате осуществления процесса резания и пластического деформирования. Это не позволяет в полной мере раскрыть физические закономерности и определить технологические возможности струйно-абразивной обработки. По этой причине до настоящего времени не разработана общепринятая теория, отражающая взаимодействие незакрепленного абразивного зерна и обрабатываемых деталей, движущихся в воздушной струе с жидкостью. Вместе с тем, необходимость целенаправленного управления процессом и получения стабильных результатов абразивной обработки деталей затопленными струями требует раскрытия сущности явлений, сопровождающих процесс.

Цель работы – обоснование условий повышения эффективности процесса абразивной обработки затопленными струями на основе экспериментальных исследований закономерностей образования микросрезов на поверхностях деталей.

Изложение основного материала. До настоящего времени получение четкого изображения микрорельефа поверхности при более чем двухсот – трехсоткратном увеличении под оптическим микроскопом практически не возможно из-за малой глубины резкости. Применение электронного микроскопа сопряжено со значительными затратами поддержания его в рабочем состоянии, известной трудоемкостью подготовки и сложностью поиска, интересующих исследователя, фрагментов поверхности. Поэтому в работе предложено получать фотографии обработанных поверхностей с увеличением до 1600 крат с практически неограниченной глубиной резкости. Для изучения состояния рельефа поверхности использована методика компьютерного трехмерного моделирования с помощью микроинтерферометра с электронной камерой

ScoreTek MDC 140N.

Моделирование рельефа поверхности посредством перехода от фрагментарных горизонтальных (послойных) снимков сечений микрорельефа ScorePhoto к трехмерному топографическому представлению позволило исследовать тенденцию изменения микрорельефа.

Для построения модели использовали программную среду трехмерного моделирования Helicon 3D Viewer. Построение трехмерной модели поверхности осуществляли в несколько этапов. На первом этапе собирали фотоинформацию для получения четкого изображения элементов рельефа от наиболее глубокой впадины до наиболее высокого выступа. Для этого на исследуемой поверхности с резкостью, соответствующей максимальной глубине микрорельефа, производили снимок, который заносили в базу данных (электронную папку). Далее с шагом 0,5...1 мкм переводили резкость вверх до наиболее высокой точки микрорельефа, выполняя в каждом сечении снимок, и заносили его в базу данных. Далее, на втором этапе, для возможности обработки при помощи вычислительной техники производились анализ, селекция и суммирование снимков для получения результирующего изображения. На следующем этапе запускали программную среду трехмерного моделирования Helicon 3D Viewer и открывали полученную базу данных. Файлы со снимками, полученными на разных высотах, передавались в среду трехмерного моделирования Helicon 3D Viewer. Следующим этапом являлось создание базовой модели поверхности. Далее, базовая модель визуализировалась согласно полученным снимкам и приобретала форму поверхности, адекватной реальной.

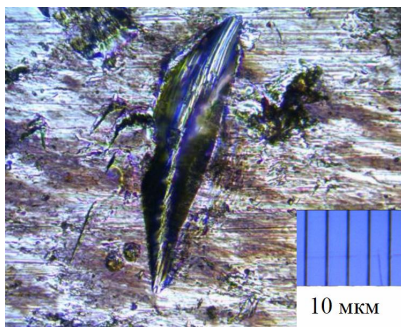


Рис. 1 – След абразивного зерна на поверхности латунного (ЛС59.1) образца. Абразивный материал: шлиф-зерно – 63С (карбид кремния зеленый), зернистость 63П (630 мкм). × 625

На основе этой методики были получены фотографии, а также модели обработанной поверхности детали из латуни ЛС59.1 (рис. 1) с четким изображением следа абразивного зерна после пяти секунд абразивной обработки затопленными струями. Для наглядности на рис. 2 приведены фотографии следа абразивного зерна под разными углами зрения (в пределах $7-60^{\circ}$), что является своего рода панорамой поверхности детали со следом абразивного зерна. Это дает полное представление о форме следа зерна, его геометрических размерах и характере образования, что открывает новые возможности исследования топографии поверхности детали (шероховатости поверхности) после абразивной обработки затопленными струями.

Как следует из рис. 1 и 2, след абразивного зерна представляет собой углубление (кратер), по боковым поверхностям и впереди которого имеются относительно небольшие навалы металла, образованные в результате его пластического деформирования. Но основная часть металла из кратера все же удалена в виде микростружки. Это свидетельствует о том, что в данном случае кинетической энергии движущегося абразивного зерна достаточно для того, чтобы обеспечить полный микросрез и не остановиться в обрабатываемой детали.

На рис. 1 и 2 также видно, что на дне углубления (кратера) остаются характерные борозды, соответствующие профилю поверхности абразивного зерна. Проведенный анализ борозд по длине следа указывает на то, что абразивное зерно по мере внедрения в металл под острым углом практически не проворачивается, так как борозды по длине постоянны, хотя реакция силы резания, прилагаемой по касательной к вписанной в многогранник сфере (зерну), должна была бы после первого же касания придать абразивному зерну вращение, в результате чего зерно должно покатиться по поверхности детали. Из этого следует, что масса абразивного зерна, а, следовательно, и момент инерции относительно центра масс значительно превышают момент силы резания. Поэтому можно с большой степенью уверенности утверждать, что абразивные зерна с одинаковыми габаритными размерами, но с большей плотностью материала будут оставлять более длинные борозды и, следовательно, обеспечат повышение производительности обработки. Вопрос лишь в том, возможно ли сообщить высокую скорость затопленной струей

зернам с большим удельным весом, такую же, как и зернам с меньшим удельным весом. Этот вывод согласуется с формулой кинетической энергии движущегося абразивного зерна.

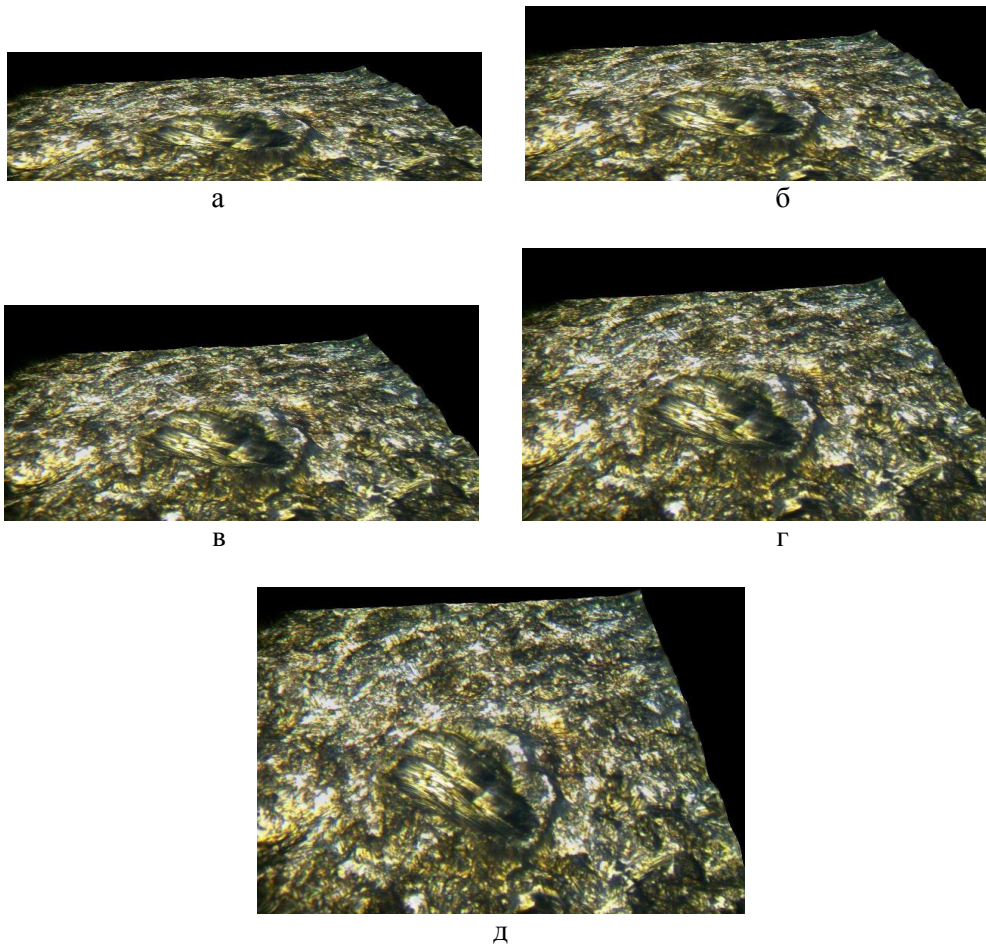


Рис. 2 – Панорама поверхности детали из латуни ЛС59.1 со следом абразивного зерна после 5-ти секунд абразивной обработки затопленными струями: а – угол зрения – 7° ; б – 15° ; в – 30° ; Г – 45° ; д – 60°

С целью статистического анализа характера образования следов абразивных зерен при абразивной обработке затопленными струями были получены фотографии топографии обработанных поверхностей деталей для различных случаев. Так, на рис. 1 приведена фотография плоской поверхности образца из латуни ЛС59.1, на которой виден след абразивного зерна. Нетрудно видеть, что форма следа микросреза соответствует сегментообразной форме, т.е. в данном случае образуется полный срез, имеющий участки входа и выхода абразивного зерна из контакта с обрабатываемой деталью. Как показали исследования, угол входа зерна в обрабатываемый металл в этом случае небольшой – в пределах 20° . Это соответствует известным экспериментальным данным, полученным при исследовании струйно-абразивной обработки деталей из пластичных материалов [3, 4], согласно которым процесс съема пластичного материала наиболее эффективен при небольших углах атаки: $10\text{--}30^\circ$. В этом случае образуется полный микросрез – абразивное зерно не останавливается в обрабатываемом материале.

Таким образом, экспериментально установлено, что в условиях абразивной обработки затопленными струями, так же как и при обычной струйно-абразивной обработке пластичных материалов [3] формирование полного микросреза происходит при небольшом угле входа абразивного зерна в обрабатываемый металл. Это подтверждается многочисленными фотографиями единичных срезов, образуемых на обрабатываемой поверхности детали от работы отдельных зерен (рис. 1, рис. 3,б,в).

С увеличением угла входа абразивного зерна в обрабатываемый металл, как правило, полный срез не образуется (рис. 3,а, рис. 4), т.к. абразивное зерно полностью теряет скорость и,

по суті, останавливається в оброблюваному металі. Поэтому данный случай является наиболее типичным для рассматриваемого метода абразивной обработки затопленными струями, поскольку на обрабатываемой поверхности детали формируются в основном именно такие формы микросрезов. Это подтверждается экспериментальными исследованиями топографии обработанной поверхности (рис. 3). Из этого можно заключить, что с увеличением угла входа абразивного зерна в обрабатываемый металл его кинетической энергии недостаточно для осуществления полного среза и поэтому происходит как бы остановка зерна в металле. След «тупиковой» формы свидетельствует о том, что в конце следа вершина абразивного зерна по мере углубления в металл потеряла скорость, однако это еще не означает, что и само зерно остановилось. В переносном смысле можно было бы считать, что, приближаясь под острым углом к поверхности, абразивное зерно как бы «споткнулось», оставило небольшую борозду и покатилося. Это подтверждается тем, что длина борозды по отношению к поперечному размеру абразивного зерна составляет всего 2–5 % (рис. 5). Следовательно, для образования полного среза необходимо увеличить кинетическую энергию движущегося абразивного зерна путем увеличения скорости его движения или массы (зернистости абразивного порошка).

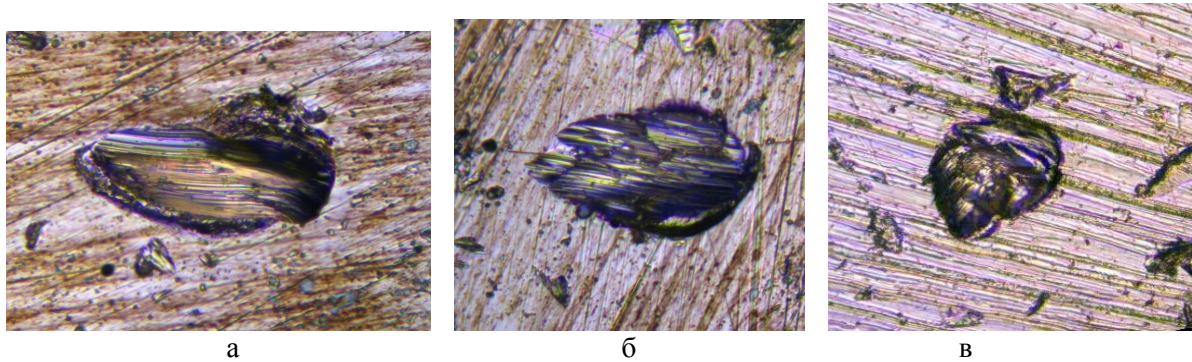


Рис. 3 – След удара абразивного зерна по нормали, (а) и под острым углом (б, в) к поверхности латунного образца из ЛС59.1. Абразивный материал: шлифзерно 63С (карбид кремния зеленый), зернистость 63П (630 мкм). × 625

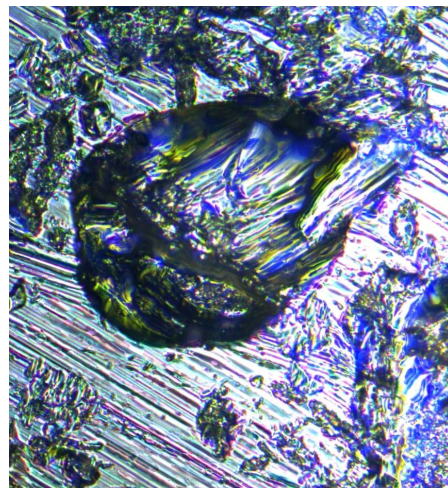


Рис. 4 – След абразивного зерна с образованием валика в направлении удара

Установлено, что удаленный металл при взаимодействии отдельного зерна с деталью имеет форму микросреза, типичного для процессов шлифования, в частности, полученного при микрорезании латуни [5]. Это указывает на то, что процесс съема металла подчиняется законам резания (стружкообразования). Следовательно, правомочно рассмотрение процесса образования микросрезов при абразивной обработке затопленными струями с позиции теории резания.

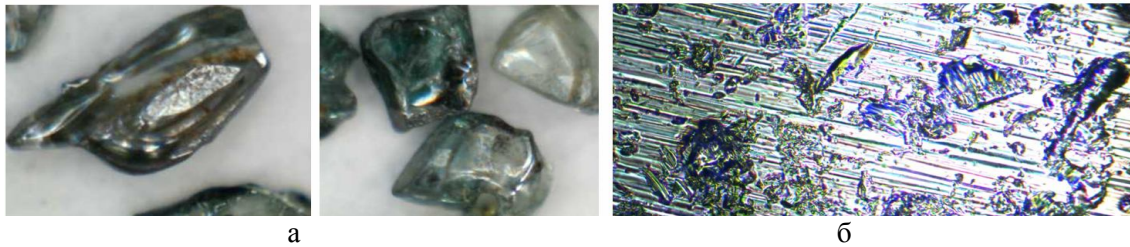


Рис. 5 – Соотношение габаритных размеров абразивных зерен 63С зернистостью 40 (400 мкм) (а) и их следов на латунном образце ЛС59.1(б). × 50

Выводы

1. В работе разработана новая методика исследования топографии поверхности детали после ее абразивной обработки затопленными струями на основе компьютерного трехмерного моделирования с использованием программной среды Helicon 3D Viewer с помощью микроинтерферометра с электронной камерой ScopeTek MDC 140N. Переход от фрагментарных горизонтальных (последовательных) снимков сечений микрорельефа ScopePhoto к трехмерному топографическому представлению позволил исследовать тенденцию изменения микрорельефа обработанной поверхности.

2. Проведены комплексные экспериментальные исследования закономерностей образования микросрезов при абразивной обработке затопленными струями деталей из пластичных материалов и установлено, что в процессе формируются как полные, так и неполные микросрезы. Полные микросрезы образуются при небольших углах входа абразивных зерен в обрабатываемый металл ($10-30^{\circ}$), а неполные срезы – при больших углах вследствие недостаточной кинетической энергии движущихся абразивных зерен, что согласуется с известными экспериментальными данными, полученными при струйно-абразивной обработке. Установлено также, что отделение металла в процессе обработки происходит в результате образования микростружек и пластического отгеснения металла. Это указывает на возможность аналитического представления рассматриваемого процесса обработки с позиции теории резания металлов с учетом закономерностей перехода от процесса пластического деформирования металла к процессу резания (стружкообразования).

Список использованных источников:

1. Проволоцкий А.Е. Струйно-абразивная обработка деталей машин / А.Е. Проволоцкий. – К.: Техника, 1989. – 177 с.
2. Шманев В.А. Струйно-абразивная обработка деталей ГТД / В.А. Шманев, А.П. Шулепов, А.В. Мещеряков. – М.: Машиностроение, 1995. – 143 с.
3. Исупов М.Г. Разработка, исследование технологии струйно-абразивной финишной обработки: дис. на соискание научн. степени докт. техн. наук: спец. 05.02.08 «Технология машиностроения» / Исупов Максим Георгиевич. – М.: РГБ, 2007. – 432 с.
4. Андилахай А.А. Абразивная обработка деталей затопленными струями / А.А. Андилахай. – Мариуполь: ПГТУ, 2006. – 190 с.
5. Качество поверхности при алмазно-абразивной обработке / Э.В. Рыжов, А.А. Сагарда, В.Б. Ильицкий, И.Х. Чеповецкий. – К.: Наукова думка, 1979. – 244 с.

Bibliography:

1. Provolotsky A.E. Chip processing machine parts / A.E. Provolotsky. - K.: Tehnika, 1989. - 177 p. (Rus.)
2. Shmanev V.A. Chip machining parts of GTE / V.A. Shmanev, A.P. Shulepov A.V. Mescheryakov. - M.: Mashinostroenie, 1995. – 143 p. (Rus.)
3. Isupov M.G. Development, technology research-blasting finish: dis. for scientific. Doctoral degree. tehn. Sciences: special. 05.02.08 «Mechanical Engineering» / Isupov Maxim G. - M.: RSL, 2007. – 432 p. (Rus.)
4. Andilahay A.A. abrasive machining of parts submerged jets / A.A. Andilahay. - Mariupol: PGU

2006. - 190 p. (Rus.)

5. Surface quality in diamond abrasive machining / E.V. Ryzhov, A.A. Sagarda, V.B. Ilitsky, I. Kh. Cherovetsky. - K.: Naukova dumka, 1979. – 244 p. (Rus.)

Рецензент: В.В. Суглобов
д-р техн. наук, проф. ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 18.11.2013