

МАШИНОБУДУВАННЯ ТА МЕТАЛООБРОБКА

УДК 621.921

©Андилахай А.А.*

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ЗАТОПЛЕННЫМИ СТРУЯМИ

Рассматривается способ абразивной обработки деталей струями сжатого воздуха, затопленными в абразивной суспензии. Теоретически установлена взаимосвязь зернистости абразивного порошка и давления сжатого воздуха перед соплом с производительностью обработки.

Ключевые слова: абразивная обработка, масса зерна, производительность обработки, расчетная схема.

Андилахай О.О. Теоретичні та експериментальні дослідження продуктивності абразивної обробки деталей затопленими струменями. Розглядається спосіб абразивної обробки деталей струменями стисненого повітря, затопленими в абразивній суспензії. Теоретично встановлено взаємозв'язок зернистості абразивного порошку і тиску стисненого повітря перед соплом з продуктивністю обробки.

Ключові слова: абразивна обробка, маса зерна, продуктивність обробки, розрахункова схема.

O.O. Andilayah. Theoretical and experimental studies of the performance of abrasive machining submerged jets. The way of the abrasive machining of parts with compressed air, submerged in an abrasive slurry. Theoretically, the interrelation of grit abrasive powder or compressed air pressure upstream of the nozzle performance processing.

Keywords: abrasion, weight of grain, processing performance, the design scheme.

Постановка проблемы. Зачистная обработка мелкоразмерных деталей всегда вызывала значительные сложности в силу чрезвычайно высокой трудоемкости и относительно низкого качества обработки. Это относится к различным методам обработки, включая и наиболее прогрессивные методы струйно-абразивной обработки, основным недостатком которых является интенсивный износ каналов сопел, через которые прокачивается абразивная суспензия. Поэтому изыскание новых технологических возможностей эффективной обработки мелкоразмерных деталей является актуальной задачей, имеющей большое практическое значение.

Анализ последних исследований и публикаций. В работах [1-3] предложен эффективный метод абразивной обработки мелкоразмерных деталей затопленными струями. Суть метода состоит в том, что через сопла прокачивается только сжатый воздух, а абразивные зерна, находящиеся в абразивной суспензии, присоединяются к струям сжатого воздуха после срезов сопел. Несмотря на значительные потенциальные возможности данного метода, он в настоящее время недостаточно изучен в силу сложности и многообразия протекающих физических процессов. В результате не всегда удается обеспечить требуемые показатели качества и производительности обработки. Поэтому дальнейшее изучение и совершенствование предложенного метода обработки является актуальной и важной задачей.

Цель статьи – определение условий повышения производительности абразивной обработки мелкоразмерных деталей затопленными струями на основе проведения теоретических и экспериментальных исследований.

Изложение основного материала. Аналитически производительность абразивной обработки деталей затопленными струями определяется зависимостью

* канд. техн. наук, доцент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

$$Q = \frac{\mathcal{G}}{\tau}, \quad (1)$$

где $\mathcal{G} = N \cdot \mathcal{G}_{\text{срез}}$ – объем материала, удаляемый с поверхностей обрабатываемых деталей за определенное время τ , м³;

$N = k_0 \cdot n$ – количество микросрезов на обрабатываемых поверхностях деталей, образованных абразивными зёрнами за время τ ;

k_0 – количество абразивных зёрен, участвующих в процессе обработки;

n – количество соударений абразивного зёрна с обрабатываемыми деталями за время τ ;

$\mathcal{G}_{\text{срез}}$ – объем материала, удаляемый одним зёрном, м³.

Для упрощенных расчетов производительности обработки Q параметр $\mathcal{G}_{\text{срез}}$ может быть

выражен зависимостью $\mathcal{G}_{\text{срез}} = \frac{m \cdot V_0^2}{2 \cdot \sigma}$ [4], а параметр n – зависимостью

$$n = \frac{\tau}{\tau_0}, \quad (2)$$

где m – масса абразивного зёрна, кг;

V_0 – скорость движения абразивного зёрна в момент соударения с обрабатываемой деталью, м/с;

σ – условное напряжение резания (энергоемкость обработки), Н/м²;

τ_0 – время между двумя последующими соударениями абразивного зёрна с обрабатываемой деталью, с.

Преобразуем зависимость (1) с учетом переменной скорости движения абразивного зёрна до момента его контакта с обрабатываемой деталью. Предположим, что на абразивное зёрно массой m на протяжении времени τ_0 (до момента его контакта с обрабатываемой деталью) со стороны воздушной струи действует постоянная сила P , и зёрно движется равноускоренно с ускорением

$$a = \frac{P}{m}. \quad (3)$$

За время τ_0 абразивное зёрно переместится на величину H , равную расстоянию от сопла до обрабатываемой детали:

$$H = \frac{a \cdot \tau_0^2}{2}. \quad (4)$$

Откуда

$$\tau_0 = \sqrt{\frac{2 \cdot H}{a}}. \quad (5)$$

За это время скорость движения абразивного зёрна увеличится от 0 до значения V_0 , определяемого следующей зависимостью

$$V_0 = a \cdot \tau_0. \quad (6)$$

Тогда количество соударений n абразивного зёрна с обрабатываемыми деталями за определенное время τ в соответствии с зависимостями (2) и (6) выразится

$$n = \frac{\tau}{V_0} \cdot a. \quad (7)$$

Объем материала $\mathcal{G} = N \cdot \mathcal{G}_{\text{срез}}$, удаляемый с поверхностей обрабатываемых деталей за определенное время τ , равен

$$\mathcal{G} = k_0 \cdot \frac{\tau}{V_0} \cdot a \cdot \mathcal{G}_{\text{срез}}, \quad (8)$$

где $g_{\text{срез}} = \frac{m \cdot V_0^2}{2 \cdot \sigma}$.

Тогда

$$g = \frac{k_0 \cdot \tau \cdot P \cdot V_0}{2 \cdot \sigma} \quad (9)$$

Соответственно, производительность обработки определится

$$Q = \frac{g}{\tau} = \frac{k_0 \cdot P \cdot V_0}{2 \cdot \sigma} \quad (10)$$

Как видно, увеличить производительность обработки Q можно увеличением параметров k_0 , P , V_0 и уменьшением σ . В данном случае все входящие в зависимость (10) параметры в одинаковой степени влияют на производительность обработки Q . В общем случае скорость V_0 зависит от условий обработки. Поэтому ее можно аналитически выразить в соответствии с зависимостью (6) с учетом зависимостей (3) и (5):

$$V_0 = \sqrt{2 \cdot H \cdot a} = \sqrt{\frac{2 \cdot H \cdot P}{m}} \quad (11)$$

Исходя из полученной зависимости, увеличить скорость V_0 можно увеличением параметров H , P и уменьшением m . Подставляя зависимость (11) в зависимость (10), имеем

$$Q = \frac{k_0 \cdot P}{\sigma} \cdot \sqrt{\frac{H \cdot P}{2 \cdot m}} \quad (12)$$

В данном случае наибольшее влияние на производительность обработки Q оказывает сила P , обусловленная воздушным напором.

Выразим параметр k_0 через общую массу абразивных зерен $M = k_0 \cdot m$. Откуда $k_0 = M / m$. Тогда зависимость (12) примет вид

$$Q = \frac{M \cdot P}{m \cdot \sigma} \cdot \sqrt{\frac{H \cdot P}{2 \cdot m}} \quad (13)$$

Силу P можно представить:

$$P = p \cdot \pi \cdot R^2, \quad (14)$$

где p – давление, действующее на абразивное зерно со стороны воздушной струи, Н/м²;

R – радиус абразивного зерна, м.

Массу абразивного зерна выразим зависимостью: $m = \rho \cdot v$,

где ρ – плотность абразивного материала, кг/м³;

$v = \pi \cdot D^3 / 6$ – объем абразивного зерна (в форме шара диаметром $D = 2 \cdot R$), м³.

Тогда

$$m = \frac{\pi \cdot D^3 \cdot \rho}{6} \quad (15)$$

Подставляя зависимости (14) и (15) в (13), имеем

$$Q = \frac{1,3 \cdot M}{\rho \cdot D \cdot \sigma} \cdot \sqrt{\frac{H \cdot p}{\rho \cdot D}} \quad (16)$$

Как видно, с увеличением зернистости абразивного порошка (D) производительность обработки Q уменьшается, что связано с уменьшением количества абразивных зерен k_0 , участвующих в процессе обработки.

Как следует из зависимости (10), основной эффект увеличения производительности обработки Q состоит в увеличении скорости движения абразивных зерен V_0 , которая, по сути, является функцией всех входящих в зависимость параметров (рис. 1). Поэтому для того, чтобы определить истинные условия повышения производительности обработки Q , необходимо знать связь скорости движения абразивных зерен V_0 с указанными параметрами. В предложен-

ной расчетной схеме удалось учесть лишь часть из них в связи со сложностью математического представления, т.к. процесс обработки обусловлен множеством разнообразных по природе факторов. Поэтому оценить влияние остальных факторов на производительность обработки и другие технико-экономические показатели обработки можно лишь на основе экспериментальных исследований.



Рис. 1 – Структурная схема условий повышения производительности обработки

В процессе предварительных экспериментов установлено, что следы абразивных частиц распределяются по поверхностям полированных контрольных образцов неравномерно: вдоль кромок более плотно, у центров граней - менее плотно. Кроме того, следы отличаются размерами и формой, что затрудняет получение объективной оценки производительности процесса, который может интенсифицироваться не только за счет увеличения количества ударов абразивных частиц, но и за счет силы единичных ударов. Однако в пределах поверхности одного образца подсчет количества равноценных следов на контрольных площадках, ограниченных полем видимости микроскопа, не представляет особой трудности.

Исследование поверхности образцов позволило выявить закономерности изменения интенсивности воздействия частиц по мере приближения к кромкам обрабатываемой детали. На рис. 2 показана связь между плотностью распределения следов абразивных частиц и расстоянием от кромок деталей различной формы и массы. Из графиков видно, что максимальное количество следов частиц для деталей массой от 0,5 до 3,5 г, приходится на кромки, а для деталей большей массы максимум несколько смещен к средней части. Это объясняется тем, что детали с меньшей массой способны противостоять потоку сжатого воздуха, жидкости и абразивного материала только в том случае, когда они ориентированы кромками к соплам, т. е. положением, соответствующим наименьшему лобовому сопротивлению.

Детали с большей массой удерживаются в струйном потоке большее время и ориентируются почти равнозначно сторонами, соответствующими меньшему и большему лобовому сопротивлению. Таким образом, установлено, что для листовых штампованных деталей массой от 0,5 до 3,5 г металлосъем локализуется вдоль кромок, где и расположены заусенцы. В связи с этим удобным критерием с точки зрения простоты контроля, непрерывности роста и чувствительности к воздействию на кромки является величина металлосъема с контрольных образцов в единицу времени. В результате проведенных предварительных экспериментальных исследований (постановочных опытов) установлены основные параметры (факторы), наиболее влияющие на производительность и параметры качества обработки. К ним следует отнести: объем загружаемого абразива, единичную массу деталей, суммарную массу обрабатываемых деталей, объем заливаемой жидкости, зернистость абразивного материала, содержание соды (Na_2CO_3) в жидкости.

Экспериментально установлено, что съем металла возрастает при уменьшении единичной и суммарной массы обрабатываемых деталей, объема рабочей жидкости, а также при увеличении объема абразивного материала и концентрации содового раствора. Установленные закономерности имеют следующий физический смысл. Детали с минимальной единичной массой легко разгоняются струей сжатого воздуха и ударяются об обрезиненные стенки рабочей камеры. В момент столкновения между стенкой и деталью могут находиться абразивные зерна, которые производят деформацию микрообъемов металла детали.

Вероятность нахождения абразивных зерен в месте столкновения детали с абразивной

стенкой увеличивается в том случае, когда объем абразивного материала, загружаемого в рабочую камеру, – максимальный. Это является причиной повышения производительности и увеличения высоты микронеровностей.

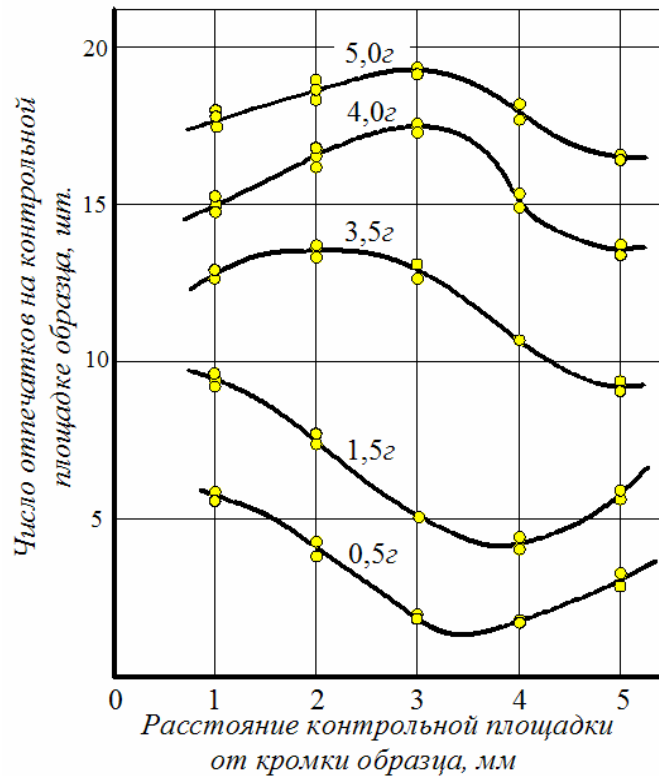


Рис. 2 – Залежність щільності розподілення відбитків абразивних зерен на поверхності латунних зразків від відстані до кромки та одиничної маси зразків

При збільшенні сумарної маси завантаження деталей енергія струй стисненого повітря, що надходить на одну деталь, зменшується. В зв'язі з цим швидкість їх руху падає, удари об стінку стають слабкими, а знос металу досягається тільки за рахунок різниці швидкостей абразивних зерен і деталей. При цьому висота микронеровностей зменшується і стає характерною для впливу одиничними абразивними зернами в повітряній струмі. Зниження продуктивності, виражене зменшенням зносу металу з контрольних зразків при збільшенні кількості робочої рідини, так же як при збільшенні сумарної маси оброблюваних деталей, пояснюється зменшенням удільних витрат енергії струй стисненого повітря в масі завантаження.

Слабке вплив зернистості абразивного матеріалу на знос металу і шорсткоту поверхні пояснюється тим, що абразивні зерна меншої зернистості, інжектуючись в струмі, швидше набирають швидкість, ніж більш крупні зерна. Тому запас кінетическої енергії крупних зерен, маючих більшу масу, але малу середню швидкість перед зіткненням з деталлю рівний запасу кінетическої енергії малих зерен, маючих малу масу, але більшу швидкість. Отримані результати експериментальних досліджень збігаються з рішеннями, витікаючими з аналітичної залежності (16), згідно якої продуктивність обробки з збільшенням зернистості абразивних зерен зменшується.

Як встановлено експериментально, на продуктивність обробки суттєвий вплив має тиск стисненого повітря перед соплом. Експериментальне дослідження зв'язі між тиском використовуваного стисненого повітря і сумарною масою одночасно оброблюваних деталей показало, що для кожного типу деталей існує їх оптимальне співвідношення, при якому досягається максимальна продуктивність обробки.

Согласно зависимости (16), с увеличением давления p производительность обработки непрерывно увеличивается. Наблюдаемое расхождение теоретических и экспериментальных данных обусловлено проявлением факторов, не учтенных в расчетной схеме. Поэтому судить о реальных технологических возможностях рассматриваемого метода абразивной обработки деталей затопленными струями можно на основе результатов экспериментальных исследований. Вместе с тем, сопоставление экспериментальных и теоретических результатов позволяет целенаправленно выявлять причины, ограничивающие использование потенциальных возможностей данного метода, установленных на основе теоретических решений.

Выводы

1. Произведен расчет производительности абразивной обработки деталей затопленными струями и установлено, что добиться интенсификации процесса обработки можно в первую очередь увеличением скорости движения абразивных зерен путем увеличения давления сжатого воздуха перед соплом. Теоретически установлено, что увеличение зернистости абразивного порошка приводит к снижению производительности обработки. Это в определенной степени согласуется с результатами экспериментальных исследований.
2. Теоретически также доказано, что с увеличением давления сжатого воздуха перед соплом производительность непрерывно увеличивается, тогда как, согласно экспериментальным данным, такой характер изменения производительности имеет место до определенного значения давления сжатого воздуха, после чего производительность уменьшается. Исходя из этого, сделан вывод о том, что лишь сопоставляя теоретические и экспериментальные данные можно целенаправленно выявлять причины, ограничивающие использование потенциальных возможностей рассматриваемого метода обработки.

Список использованных источников:

1. Цыгановский А. Б. Экспериментальное определение скорости абразивных частиц в затопленной гидроабразивной струе / А.Б. Цыгановский // Ресурсозберігаючі технології виробництва та обробки тиском матеріалів у машинобудуванні: Зб. наук. пр. – Луганськ: вид-во СНУ ім В.Даля, 2008. – С. 92 – 97.
2. А.с. 207768 СССР, МКИ В 24 В. Способ гидроабразивной обработки / В.К. Агафонов (СССР). – № 1064466/25-8; Заявл. 28.03.1966 Опубл. 22.12.1967, Бюл. № 1.
3. Сирота А.А., Мицык В.Я. Эффективность отделочно-зачистной обработки ударным гидроабразивным воздействием свободной рабочей среды / А.А. Сирота, В.Я. Мицык // Восточноукраинский национальный университет имени Владимира Даля Зб. наук. пр. – Луганск: вид-во СНУ им. В.Даля, 2011. – С. 353 – 358.
4. Андилахай А.А. Оценка энергетического баланса абразивной обработки деталей затопленными струями / А.А. Андилахай // Качество, стандартизация, контроль: теория и практика: Материалы 11-ой Междунар. научн.-практ. конф., 26-30 сентября 2011г. – г. Ялта – Киев: АТМ Украины, 2011. – С. 9-12.
5. Андилахай А.А. Абразивная обработка деталей затопленными струями / А.А. Андилахай. – Мариуполь: ПГТУ, 2006. – 190 с.

Bibliography:

1. Tsyganovsky A.B. Experimental determination of the velocity of the abrasive particles in the submerged jet waterjet / A.B. Tsyganovsky // Resursozberigayuchi tehnologii virobnitstva that obrobki vise materialiv mashinobuduvanni at: ST. Science. etc. - Lugansk: view of NUS im V.Dal, 2008. - S. 92 - 97. (Rus.)
2. AS 207768 USSR, MKI in 24 B. Mode waterjet processing / VK Agafonov (USSR). - № 1064466/25-8; Appl. 28/03/1966 Publ. 22.12.1967, Bull. Number 1. (Rus.)
3. Sirota A.A. Mitsyk V.J. The effectiveness of finishing and stripping process gidroab shock-effect razivnym free desktop / AA Orphan, VJ Mitsyk // Vostochnoukra-Inskeya National University named after Volodymyr Dahl ST. Science. etc. - Lugansk: view them in NUS. V.Dal, 2011. - S. 353 - 358. (Rus.)
4. Andilahay A.A. Assessment of the energy balance of the abrasive machining submerged jet / AA Andilahay // Quality, standardization, control theory and practice: Proceedings of the 11th Int.

Scientific-practical conference. Conf., September 26-30, 2011. - Yalta - Kyiv: Ukrainian ATM, 2011. - S. 9-12. (Rus.)

5. Andilabay A.A. Abrasion parts submerged jet / AA Andilabay. - Mariupol: Perm State Technical University, 2006. - 190 p. (Rus.)

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

Статья поступила 11.12.2012

УДК 621.923

©Иванов И.Е.*

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРОЦЕССОВ ШЛИФОВАНИЯ И ТОЧЕНИЯ

С единых позиций проведен теоретический анализ возможностей повышения производительности обработки при шлифовании и точении для заданной толщины среза, определяемой прочностными свойствами инструмента. Получена новая аналитическая зависимость для определения средней толщины среза при шлифовании, которая отличается от известной зависимости лишь цифровым коэффициентом, что открывает новые возможности определения условий интенсификации процесса шлифования. Экспериментально определены значения стойкости инструментов при шлифовании и точении рабочих (контактных) поверхностей чаш и конусов засыпных аппаратов доменных печей, восстановленных с применением износостойкого наплавочного материала. Доказано, что с точки зрения снижения затрат, связанных с потреблением режущих инструментов при заданной производительности обработки, эффективно применять процесс шлифования.

Ключевые слова: шлифование, точение, резец, производительность обработки.

Иванов И.Е. Теоретичне й експериментальне визначення технологічних можливостей процесів шліфування й точіння. З єдиних позицій проведений теоретичний аналіз можливостей підвищення продуктивності обробки при шліфуванні й точінні для заданої товщини зрізу, обумовленої властивостями міцності інструмента. Отримано нову аналітичну залежність для визначення середньої товщини зрізу при шліфуванні, що відрізняється від відомої залежності лише цифровим коефіцієнтом, що відкриває нові можливості визначення умов інтенсифікації процесу шліфування. Експериментально визначені значення стійкості інструментів при шліфуванні й точінні робочих (контактних) поверхонь чаш і конусів засипних апаратів доменних печей, відновлених із застосуванням зносостійкого наплавочного матеріалу. Доведено, що з погляду зниження витрат, пов'язаних зі споживанням різальних інструментів при заданій продуктивності обробки, ефективно застосовувати процес шліфування.

Ключові слова: шліфування, точіння, різець, продуктивність обробки.

I.E. Ivanov. Theoretical and experimental determination of the technological possibilities-cal processes of grinding and turning. With one voice the theoretical analysis of the possibilities to increase productivity in grinding process and turning for a given slice thickness, determined strength properties tool. A new analytical dependence for the average slice thickness for grinding, which is different from the known dependence of a digital coefficient, which opens up new possibilities determining the conditions of intensifying

* канд. техн. наук, ст. преподаватель, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь