

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

the process of grinding. The experimentally determined values of tool life for grinding and turning work sneeze (contact) surfaces of cups and cones Sediment apparatus blast furnace restored using durable surfacing material. It is proved that in terms of reducing the costs associated with the consumption of cutting tools for a given processing performance, effectively apply the grinding process.

Keywords: grinding, turning, cutter, processing performance.

Постановка проблеми. При разработке новых технологических процессов обработки деталей машин постоянно возникают вопросы выбора рациональных методов механической обработки. В особой мере это имеет место при изготовлении деталей из труднообрабатываемых материалов с повышенными требованиями к точности и качеству обрабатываемых поверхностей. Например, при обработке контактных (рабочих) поверхностей больших и малых конусов и чаш засыпных аппаратов доменных печей с износостойким наплавочным материалом ПЛ-НП 500Х40НС2 РЦ-Б-С (ГОСТ 26467-85) твердостью HRC 63-65. Чрезвычайно высокая твердость данного материала требует значительных затрат времени на механическую обработку. Проблема усугубляется еще и необходимостью съема достаточно больших неравномерных припусков (3–7 мм). В связи с этим актуальной задачей является выбор рационального метода механической обработки данных изделий, обеспечивающих повышение производительности и снижение себестоимости обработки при заданном качестве обрабатываемых поверхностей. Естественно, это требует сравнения в первую очередь методов шлифования и точения по основным технико-экономическим показателям обработки и выбор лучшего варианта.

Анализ последних исследований и публикаций. Традиционно вопрос выбора рационального метода механической обработки решается на основе экспериментальных исследований и сравнений основных параметров обработки для нескольких рассматриваемых методов [1, 2]. Однако такой подход носит частный характер, справедливый для вполне конкретных условий обработки, и не позволяет получить более общие решения, справедливые для широких диапазонов изменения параметров режимов резания и характеристик инструментов. В конечном итоге это ограничивает возможности правильного принятия решения по выбору рационального метода обработки. Поэтому важно аналитически подойти к решению данной задачи и провести сравнение методов шлифования и точения контактирующих поверхностей больших и малых конусов и чаш засыпных аппаратов доменных печей с износостойким наплавочным материалом по основным показателям обработки и в первую очередь по производительности обработки и интенсивности износа инструментов [3, 4].

Цель статьи – определение условий повышения производительности обработки и снижения износа инструментов при шлифовании и точении контактирующих поверхностей больших и малых конусов и чаш засыпных аппаратов доменных печей с износостойким наплавочным материалом.

Изложение основного материала. Как известно [5], при продольном точении площадь поперечного сечения среза определяется зависимостью

$$S_{\text{срез}} = S \cdot t, \quad (1)$$

где S – продольная подача, м/об; t – глубина резания, м.

Зависимость (1) можно представить в виде

$$S_{\text{срез}} = \frac{Q}{V}, \quad (2)$$

где $Q = S \cdot t \cdot V$ – номинальная производительность обработки, м³/с;

V – скорость резания, м/с.

Из зависимости (2) следует, что уменьшить площадь поперечного сечения среза $S_{\text{срез}}$ и тем самым снизить силу резания можно уменьшением производительности обработки Q и увеличением скорости резания V . В этом плане эффективно применение высокоскоростного резания, обеспечивающего уменьшение $S_{\text{срез}}$ при заданной производительности обработки Q или увеличение Q при заданном значении $S_{\text{срез}}$. Как видно, и в первом, и во втором случаях достигается эффект обработки. В первом случае может быть повышено качество обработки в

связи с уменьшением $S_{срез}$ и соответственно силы резания. Во втором случае – достигнуто существенное увеличение производительности обработки Q без увеличения силы резания, что также важно с точки зрения обеспечения заданного качества обработки.

В работе [2] приведена аналитическая зависимость для определения мгновенной суммарной площади поперечного сечения среза всеми одновременно работающими зёрнами шлифовального круга:

$$S_{мгн} = \frac{Q}{V_{кр}}, \quad (3)$$

где $V_{кр}$ – скорость круга, м/с.

Аналогично зависимости (2), уменьшить $S_{мгн}$ при заданном значении производительности обработки Q можно увеличением скорости круга $V_{кр}$. Поскольку $V_{кр} \gg V$, то, очевидно, при шлифовании можно существенно уменьшить $S_{мгн}$ и соответственно силу резания по сравнению с точением (при сохранении заданной производительности обработки Q). Из этого вытекает возможность повышения эффективности обработки (качества и производительности) за счет применения процесса шлифования вместо процесса точения. Собственно этим и обусловлены преимущества шлифования и его широкое практическое использование, включая операции окончательной и предварительной обработки.

Необходимо отметить, что данный подход предполагает постоянство энергоемкости обработки (условного напряжения резания σ) при шлифовании и точении, т.к. в общем случае, например, тангенциальная составляющая силы резания равна

$$P_z = \sigma \cdot S_{мгн} = \sigma \cdot \frac{Q}{V_{кр}}. \quad (4)$$

Как видно, величина P_z в одинаковой степени зависит от энергоемкости обработки σ и площади $S_{мгн}$. Чем больше σ (при заданном значении $S_{мгн}$), тем больше P_z . Экспериментально установлено, что энергоемкости обработки σ при шлифовании, как правило, больше, чем при точении. Это связано в первую очередь с тем, что при шлифовании имеет место интенсивное трение связки круга с обрабатываемым материалом, которое и приводит к существенному увеличению σ и P_z . Поэтому, исходя из зависимости (4), при определенных условиях увеличение σ может полностью нивелировать эффект обработки при шлифовании, связанный с превышением скоростью круга $V_{кр}$ скорости резания V при точении. В этом случае тангенциальная составляющая силы резания P_z при шлифовании может быть больше, чем при точении, и тогда предпочтительным вариантом обработки следует рассматривать процесс точения.

Используя зависимость (3), определим среднюю толщину среза при шлифовании a_z . Для этого рассмотрим режущее зерно в форме конуса с углом при вершине 2γ . Мгновенную суммарную площадь поперечного сечения среза всеми одновременно работающими зёрнами шлифовального круга $S_{мгн}$ представим в виде:

$$S_{мгн} = n \cdot S_1, \quad (5)$$

где $n = F \cdot k \cdot \frac{a_z}{b}$ – количество одновременно работающих зёрен круга;

$F = B \cdot l$ – площадь контакта круга с обрабатываемой деталью, м²;

B – ширина шлифования, м;

l – длина дуги контакта круга с обрабатываемой деталью, м;

k – поверхностная концентрация зёрен на рабочей поверхности круга, шт/м²;

b – максимальная высота выступания режущего зерна над уровнем связки круга, м;

$S_1 = a_z^2 \cdot \text{tg}\gamma$ – площадь поперечного сечения среза отдельным зерном круга, м².

В работе [6] приведены расчетные зависимости для определения параметров k и b :

$$k = \frac{3 \cdot m \cdot (1 - \varepsilon)}{200 \cdot \pi \cdot \bar{X}^2}; \quad (6)$$

$$b = (1 - \varepsilon) \cdot X, \quad (7)$$

где m – объемная концентрация зерен в круге (безразмерная величина);
 X – зернистость круга, м;
 $(1 - \varepsilon)$ – безразмерный коэффициент, учитывающий степень выступания вершин зерен над уровнем связки и изменяющийся в пределах 0...1.

Подставляя в зависимость (5) зависимости (6) и (7), получим

$$S_{\text{мен}} = \frac{3 \cdot m \cdot B \cdot l \cdot a_z^3 \cdot \text{tg} \gamma}{200 \cdot \pi \cdot \bar{X}^2}. \quad (8)$$

Рассматривая в зависимости (4) производительность обработки при шлифовании в виде $Q = B \cdot t \cdot V_{\text{дет}} \cdot a_z$ (где $V_{\text{дет}}$ – скорость вращения детали, м/с) и сравнивая зависимости (4) и (8), определим среднюю толщину среза при шлифовании a_z :

$$a_z = X \cdot \sqrt[3]{\frac{200 \cdot \pi \cdot V_{\text{дет}} \cdot t}{3 \cdot m \cdot \text{tg} \gamma \cdot l \cdot V_{\text{кр}}}}. \quad (9)$$

В работе [2] показано, что при круглом наружном шлифовании длина дуги контакта круга с обрабатываемой деталью выражается аналитической зависимостью:

$$l = \sqrt{\frac{2 \cdot t}{\left(\frac{1}{R_{\text{кр}}} + \frac{1}{R_{\text{дет}}}\right)}}, \quad (10)$$

где $R_{\text{кр}}$, $R_{\text{дет}}$ – соответственно радиусы круга и детали, м.

Тогда зависимость (9) с учетом зависимости (10) окончательно выразится

$$a_z = 3,7 \cdot X \cdot \sqrt[3]{\frac{\pi \cdot V_{\text{дет}}}{m \cdot \text{tg} \gamma \cdot V_{\text{кр}}} \cdot \sqrt{t \cdot \left(\frac{1}{R_{\text{кр}}} + \frac{1}{R_{\text{дет}}}\right)}}. \quad (11)$$

В итоге имеем зависимость, близкую к аналогичной зависимости для определения максимальной толщины среза отдельным зерном круга при шлифовании:

$$a_z = 8,5 \cdot X \cdot \sqrt[3]{\frac{\pi \cdot V_{\text{дет}}}{m \cdot \text{tg} \gamma \cdot V_{\text{кр}}} \cdot \sqrt{t \cdot \left(\frac{1}{R_{\text{кр}}} + \frac{1}{R_{\text{дет}}}\right)}}. \quad (12)$$

Отличие зависимостей (11) и (12) состоит лишь в цифровом множителе, который в зависимости (11) меньше в 2,3 раза, поскольку определяется не максимальной, а средняя толщина среза при шлифовании a_z . Таким образом, в настоящей работе предложен новый теоретический подход к определению средней толщины среза при шлифовании a_z , который позволил достаточно просто получить идентичную по структуре аналитическую зависимость, отличающуюся от известной лишь цифровым множителем.

Анализируя зависимость (11), видно, что предельное значение a_z , обусловленное прочностными свойствами режущих зерен и связки круга, можно обеспечить различными сочетаниями входящих в зависимость параметров режима шлифования и характеристик круга. Это указывает на значительные возможности увеличения производительности обработки при обеспечении заданной толщины среза a_z , обусловленной прочностными свойствами режущих зерен и связки круга. Таким образом, процесс шлифования по своим потенциальным возможностям позволяет добиться существенного увеличения производительности обработки при заданном износе круга, определяемом прочностью его рабочей поверхности. Меньшими возможностями в этом плане располагает процесс точения, поскольку толщина среза a определяется лишь двумя параметрами [5]:

$$a = S \cdot \sin \varphi, \quad (13)$$

где φ – главный угол резца в плане.

С увеличением параметров S и φ толщина среза a увеличивается. Следовательно, обеспечить заданное значение a , исходя из условий прочности режущей части зерна, можно за счет ограничения значений S и φ . Очевидно, с точки зрения увеличения производительности обработки целесообразно подачу S увеличивать, а угол φ – уменьшать. Подачу S можно представить в виде:

$$S = \pi \cdot D_{дет} \cdot \frac{S_{прод}}{V}, \quad (14)$$

где $D_{дет}$ – диаметр детали, м; $S_{прод}$ – скорость продольной подачи, м/с.

Как видно, увеличение подачи S предполагает увеличение скорости продольной подачи $S_{прод}$ и уменьшение скорости резания V . При условии обеспечения заданного значения S скорость продольной подачи $S_{прод}$ и скорость резания V можно неограниченно увеличивать. В этом случае производительность обработки, определяемая зависимостью

$$Q = S \cdot t \cdot V = \pi \cdot D_{дет} \cdot t \cdot S_{прод}, \quad (15)$$

будет неограниченно увеличиваться. Следовательно, с точки зрения увеличения производительности обработки целесообразно использовать высокоскоростное резание, которое позволяет существенно увеличить $S_{прод}$ при обеспечении заданного значения толщины среза a , определяемого условиями прочности режущей части резца.

Необходимо отметить, что выполнение данного условия предполагает исключение влияния температурного фактора на стойкость инструмента. В действительности увеличение температуры резания приводит к существенному уменьшению стойкости инструмента. Поэтому увеличение скорости резания в этом плане ограничено стойкостью инструмента. Для устранения данного ограничения необходимо использовать инструментальные материалы с повышенными физико-механическими свойствами, работающие в условиях высоких температур резания.

Для оценки полученных теоретических решений проведены экспериментальные исследования производительности обработки и стойкости режущих инструментов при круглом наружном шлифовании и точении рабочих (контактных) поверхностей чаш и конусов (диаметром $D_{дет} = 5$ м) засыпных аппаратов доменных печей, восстановленных с применением износостойкого наплавочного материала ПЛ-Нп 500Х40НС2 РЦ-Б-С (ГОСТ 26467-85) твердостью HRC ≥ 62 . Снимаемый припуск составлял до 7 мм на сторону. Установлено, что стойкость абразивного круга ПП 400х80х127 14А F40 СМК до полного износа составила 80 часов, тогда как стойкость резцов из твердых сплавов и СТМ оказалась равной 20-25 мин. При этом обработка шлифованием и точением производилась с примерно одинаковой производительностью, равной при шлифовании 15,7 тыс. мм³/мин и при точении 9 тыс. мм³/мин. Режим резания при шлифовании: скорость вращения детали $V_{дет} = 23$ м/мин; поперечная подача $S_{поп} = 0,05$ мм/дв. ход; продольная подача $S_{прод} = 40$ мм/мин (или $S = 28$ мм/об). Режим резания при точении: скорость резания $V = 30$ м/мин; глубина резания $t = 1$ мм; подача $S = 0,2-0,3$ мм/об.

Расчетами установлено что расходы, связанные с износом резцов, превышают расходы, связанные с износом и потреблением абразивных кругов. Поэтому в настоящее время обработка контактных (рабочих) поверхностей больших и малых конусов и чаш засыпных аппаратов доменных печей производится шлифованием, хотя и оно осуществляется с относительно низкой производительностью и требует совершенствования. Этим, в частности, подтверждаются приведенные в работе теоретические решения, согласно которым процесс шлифования труднообрабатываемых материалов располагает большими технологическими возможностями в плане повышения производительности и снижения себестоимости обработки по сравнению с процессом точения.

Выводы

1. С единых позиций проведен теоретический анализ возможностей повышения производительности обработки при шлифовании и точении для заданной толщины среза, определяемой прочностными свойствами инструмента. Доказана перспективность применения про-

цесса шлифования при обработке материалов с повышенными физико-механическими свойствами.

2. 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.
3. Экспериментально определены значения стойкости инструментов при шлифовании и точении рабочих (контактных) поверхностей чаш и конусов (диаметром $D_{\text{дем}} = 5$ м) 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.

Список использованных источников:

1. Маталин А.А. Технология машиностроения: учебник / А.А. Маталин. – Л.: Машиностроение, 1985. – 496 с.
2. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общ. ред. Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. В десяти томах. – Т. 1. "Механика резания материалов" – Одесса: ОНПУ, 2002. – 580 с.
3. Рыбицкий В.А. Опыт внедрения алмазного шлифования деталей с защитными покрытиями / В.А. Рыбицкий. – К.: Общество "Знание" УССР, 1987. – 23 с.
4. Новиков Ф.В. Технологическое обеспечение высококачественной обработки деталей с износостойкими наплавками металлургического назначения / Ф.В. Новиков, В.А. Андилахай // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Машинобудування і машинознавство. – Донецьк: ДонНТУ. – 2010. – Вип. 7 (166). – С. 53-60.
5. Бобров В.Ф. Основы теории резания металлов / В.Ф. Бобров. – М.: Машиностроение, 1975. – 343 с.
6. Алмазно-абразивная обработка материалов: справочник / Под ред. проф. А.Н. Резникова. – М.: Машиностроение, 1977. – 390 с.

Bibliography:

1. Matalin AA Manufacturing engineering: a textbook / AA Matalin. - L.: mechanical engineering, 1985. - 496.
2. Physico-mathematical theory of material processing and mechanical engineering technology / Ed. Ed. FV Novikov and AV Yakimova. In ten volumes. - T. 1. "Mechanics of cutting materials" - Odessa ONPU, 2002. - 580 p.
3. Rybicki, VA Experience of implementing diamond grinding parts with protective coating, E / VA Rybicki. - K.: "Knowledge" Society of USSR, 1987. - 23 p.
4. Novikov FV Engineering support of high-quality processing of parts with wear-resistant surfacing metallurgical destination / FV Novikov, VA Andilayah / / Naukovi pratsi of Donetsk natsionalnogo tehnicnogo universitetu. Seriya: Mashinobuduvannya i mashinoznnavstvo. - Donetsk: Donetsk National Technical University. - 2010. - VIP. 7 (166). - S. 53-60.
5. Beavers VF Fundamentals of the theory of metal cutting / VF Beavers. - Mashinostroenie, 1975. - 343 p.
6. Diamond abrasive materials processing: a handbook / ed. prof. AN Massacre-kov. - Mashinostroenie, 1977. - 390 p.

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

Статья поступила 21.11.2012