

УДК 621.923.74

© Бурлаков В.И.*

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ СВОБОДНЫМ АБРАЗИВОМ

Анализ современных работ по отделочно-зачистной обработке свободным абразивом показывает, что в настоящее время достаточно полно исследованы методы, основанные на использовании центробежных и вибрационных сил, а также их совместное влияние, когда центробежные силы распределены по объему рабочей камеры неравномерно. В связи с этим перспективны работы, направленные на повышение производительности виброабразивной обработки незакрепленных деталей наложением на вибрационные силы поля квазипостоянных центробежных сил при обеспечении заданного качества обработанных изделий.

Ключевые слова: виброшпиндельная обработка деталей, магнитно-абразивная обработка, ультразвуковые колебания, центробежно-планетарные машины, пескоструйная обработка, галтовочный метод.

Бурлаков В.И. Аналіз методів обробки деталей вільним абразивом. Аналіз сучасних робіт по оздоблювально-зачисної обробці вільним абразивом показує, що в даний час достатньо повно досліджені методи, засновані на використанні відцентрових і вібраційних сил, а також їх сумісний вплив, коли відцентрові сили розподілені за об'ємом робочої камери нерівномірно. У зв'язку з цим перспективні роботи, направлені на підвищення продуктивності виброабразивної обробки незакріплених деталей накладенням на вібраційні сили поля квазіпостійних відцентрових сил при забезпеченні заданої якості оброблених виробів.

Ключові слова: віброшпиндельна обробка деталей, магнітно-абразивна обробка, ультразвукові коливання, відцентрово-планетарні машини, піскоструминна обробка, галтувальний метод.

V.I. Burlakov. Analysis of methods of parts treatment by means of a free abrasive. During the economic recovery of the country, special attention should be paid to the technical re-equipment of all the branches of national economy. In particular, it is recommended to pay special attention to the development and introduction of equipment for fundamentally new technological processes. The main task in the field of mechanical engineering is increasing the productivity, economy, reliability and durability of the parts produced, labor input and labor costs reducing, integrated automation and mechanization of labor-consuming manual processes. At present, the level of technical perfection of metalworking and stamping production has reached a new qualitative level. There exist highly productive automatic lathes and stamps with automatic feeding of metal tape as well as semi-automatic machines with numerical control. Therefore, the labor consumption in manufacturing small parts has sharply decreased. However, further progress in the metalworking and stamping industry is significantly hampered by the lack of highly productive cleaning methods, especially for complex shape parts and small masses up to 40 g. So, for example, after cutting off the rings on the lathe turret, the labor of removing the burrs located on the edge of the cutoff is 300-350%, and removing the burrs after stamping is 400-450% of the labor consumption in manufacturing these parts. The complexity of cleaning these parts results from their intricate shape and small size that prevent them from being properly processed in vibration-abrasive machines or tumbling drums, while ultrasonic methods can't be used either because of their relatively large mass. From the analysis of various scientific sources, it can be seen that turbulent-abrasive treatment is mainly used for rigid parts of simple design, vibration-abrasive processing with large oscillation amplitudes is more expedient for parts of complex con-

* канд. техн. наук, доцент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, mahaon1963@gmail.com

figuration with grooves and holes, including the parts of low rigidity. The creation of vibro-abrasive machines with large oscillation amplitudes (10-20 mm), even with small volumes of the working chamber (up to 1 liter) is associated with a great structural difficulty, as well as with the solution of questions regarding vibration and noise insulation. Thus, the cleaning of the parts of small stiffness with a mass of 25-40 grams up to this time remains nonmechanized and manual.

Keywords: *oscillation-spindle treatment of parts, magnetically-abrasive treatment, ultrasonic vibrations, centrifugal-planetary machines, gritblasting, rattle method.*

Постановка проблеми. На современном этапе развития машиностроения острой проблемой встает подбор прогрессивного метода обработки деталей машин на основе анализа существующих способов и соединения в новом способе всех преимуществ и искоренения недостатков существующих. Разрабатываемый способ должен повысить производительность финишной обработки и улучшить качество обработанной поверхности.

Анализ последних исследований и публикаций. Так как проблема выбора метода обработки играет серьезную роль в дальнейшем развитии операций доводки, то ей посвящено определенное внимание. Эту задачу пытались и пытаются решить большое количество исследователей. Весомый вклад в решение этой проблемы внесли: А.П. Улашкин [1], посвятивший ряд работ износу деталей обрабатываемых машин, В.В. Бедункевич [2], работавший в области повышения эффективности обработки, А.П. Бабичев [3, 4], основавший школу виброабразивной обработки, Г.В. Серга [5], занимавшийся повышением производительности абразивной обработки, В.А. Горохов [6], работы которого посвящены технологии обработки металлов, В.З. Зверовщиков [7, 8], посвятивший ряд работ моделированию движения рабочей загрузки в контейнерах и динамике центробежной обработке деталей, Ю.М. Барон [9], разрабатывающий технологию абразивной обработки в магнитном поле, В. Мицык [10], посвятивший ряд работ интенсификации вибрационной отделочно-зачистной обработке и другие.

Цель статьи. Показать наиболее эффективный метод обработки деталей машин на основе анализа существующих, увеличив производительность обработки и повысив качество обработанной поверхности, используя как можно больше существующих достоинств и добиться уменьшения количества недостатков анализируемых способов обработки.

Изложение основного материала. На современном этапе развития машиностроения Украины проблема финишной обработки деталей не решена в полном объеме. Это связано с тем, что идет процесс постоянного усовершенствования основных операций механической обработки, а зачистные операции проводят без усовершенствования совсем либо уделяют этому очень мало внимания. Поэтому разработке высокопроизводительных методов отделочных операций и повышению качества поверхности деталей должно уделяться большее внимание.

Большие перспективы в области доводочных операций в среде мелкодисперсного абразивного материала открыло использование кинетической энергии сжатого воздуха.

Используемая длительное время пневмоструйная доводка позволяет осуществить процесс на простом оборудовании, однако при этом не уделяется внимание экологической чистоте.

Представлял некоторый практический интерес галтовочный метод обработки, но данный метод не оправдал надежд относительно высокой производительности.

Существует большое разнообразие способов и установок для реализации виброабразивной обработки [1], что обуславливает необходимость более подробно проанализировать этот способ доводки деталей [2].

Несмотря на возможность обработки труднодоступных мест [3] и нежестких деталей, широкую универсальность процесса наряду с высокой производительностью и качеством обработки, такие установки не нашли широкого применения в промышленности из-за невысокой надежности кинематики и низкой стойкости рабочих узлов.

В упомянутом направлении рассматриваются разработки, отражающие создание новых форм рабочих камер. Их конструктивные особенности предусматривают управление циркуляционными потоками и плотностью рабочей среды, более эффективное использование вибрационного воздействия. На поведение и параметры циркуляции обрабатываемой среды существенное влияние оказывают режим вибрационного воздействия (амплитуда A и частота f колебаний), а также такие величины, как расстояние от источника колебаний

(стенки рабочей камеры), размерные параметры циркулярного слоя (длина и ширина). С учетом изложенного выполнен большой комплекс теоретических и экспериментальных исследований, разработаны новые конструктивные схемы рабочих органов вибрационных станков и машин [4].

К настоящему времени предложено несколько схем станков для виброцентробежной обработки. По кинематическому признаку они подразделяются на следующие подгруппы:

- станки с плоскостной вибрацией и простым вращением рабочей камеры;
- станки с объемной вибрацией и простым вращением рабочей камеры;
- станки с плоскостной вибрацией и угловыми колебаниями рабочей камеры;
- станки с плоскостной вибрацией и планетарным движением рабочей камеры;
- станки с плоскостной или угловой вибрацией, движущейся по сложной пространственной траектории;
- станки с плоскостной вибрацией и сложным вращательным движением рабочей камеры относительно двух или трех собственных осей;
- станки с объемной угловой вибрацией;
- станки с вибрирующим активатором, встроенным во вращающуюся рабочую емкость.

Закономерным шагом в развитии вибрационной обработки стала вибрационная шпиндельная обработка деталей. Но высокий уровень шума в процессе работы, невозможность обработки нежестких деталей, а также невысокая стойкость рабочих органов, низкая универсальность и отрицательное влияние на здоровье рабочего являются недостатками данного вида обработки.

Одним из сравнительно новых методов является магнитно-абразивная обработка [5, 6, 11]. В качестве обрабатываемого материала применяются специальные абразивные порошки, включающие в себя смесь абразивного порошка, состоящего из монокорунда с зернистостью по ФЕПА F100 (по ГОСТ Р 52381-2005 зерно – 150-125 микрон) и 5%, 10%, 15% алмазного материала [5]. Под действием сил магнитного поля, создаваемым специальными устройствами, ферромагнитные частицы прижимаются к обрабатываемой поверхности детали, которой сообщают относительное рабочее движение, при этом происходит обработка.

Все большее применение находит использование в качестве инструмента абразивов, выполненных из искусственных алмазов.

Технология, основанная на использовании кавитационных процессов, возникающих под действием ультразвука в жидкости при повышенном давлении, с добавлением абразивных частиц – ультразвуковая абразивная обработка, также хорошо изучена исследователями [7, 12, 13]. Основное преимущество метода – сохранение размеров и формы деталей – объясняется высокой избирательностью процесса. Разрушению подвергается основание заусенца, а не поверхность детали, следы эрозии отсутствуют. Это обусловлено наличием концентрации напряжений в области заусенца, что приводит к возникновению в вышеуказанной области микротрещин и других поверхностных дефектов, облегчающих отделение заусенца [2].

В центробежно-планетарных машинах контейнеры движутся планетарно: вращаются вокруг осей и относительно центральной оси [8]. Интенсивность обработки деталей в таких установках очень высока. Время зачистки, в зависимости от величины заусенца, не превышает 40-50 минут. Работы ряда исследователей [9, 10, 12, 14] позволяют назначать оптимальные режимы обработки деталей на основании выявленных основных закономерностей процесса и результатов экспериментов. Процесс эффективен для сравнительно легких деталей.

Анализ современных работ по отделочно-зачистной обработке свободным абразивом показывает, что в настоящее время достаточно полно исследованы методы, основанные на использовании центробежных и вибрационных сил, а также их совместное влияние, когда центробежные силы распределены по объему рабочей камеры неравномерно. В связи с этим перспективны работы, направленные на повышение производительности виброабразивной обработки незакрепленных деталей наложением на вибрационные силы поля квазипостоянных центробежных сил при обеспечении заданного качества обработанных изделий. Как следует из обзора существующих способов вибрационной обработки, эффективность различных способов неодинакова (табл.), а повышение производительности и качества обработки обеспечивается кинематикой процесса, выбором рабочей среды, режимами обработки.

Таблица

Методы обработки деталей свободными мелкозернистыми абразивами*

№ п.п.	Методы обработки	Характеристики методов						Технологические возможности обработки	
		Стойкость рабочих органов	Надежность	Универсальность	Безвредность	Бесшумность	Производительность	Нежестких деталей	Труднодоступных мест
1	Метод прокатки	+	+	-	+	+	-	-	+
2	Турбоабразивный	+	+	0	+	+	-	-	-
3	Магнито-абразивный	+	-	-	+	+	-	-	-
4	Виброшпиндельный	0	+	0	0	-	+	-	0
5	Ультразвуковой	+	+	0	-	-	-	+	+
6	Импеллерный	-	+	0	+	-	+	-	-
7	Центробежно-планетарный	-	+	0	+	0	+	-	-

*Примечание: в таблице под знаком «+» подразумевается высокое значение, под знаком «-» – низкое значение, знак «0» означает среднее значение рассматриваемых характеристик.

Исходя из анализа различных методов абразивной обработки деталей, а именно, вибрационный и центробежный, можно сделать вывод, что объединяя перечисленные способы, можно добиться повышения качества поверхности деталей и производительности их обработки.

Вопросам исследования характера взаимодействия свободно-движущихся абразивных зерен с обрабатываемой поверхностью посвящен целый ряд работ. Они основываются и неразрывно связаны с выявленными основными закономерностями, наблюдаемыми при шлифовании жестко закрепленными абразивными инструментами.

Установлено, что характер взаимодействия абразивного зерна зависит от соотношения глубины внедрения абразивного зерна в металл к радиусу при вершине. В зависимости от величины этого соотношения происходит микрорезание, пластическое или упругое деформирование металла. В работе П.И. Ящерицына отмечается, что образование шлифованной поверхности происходит в результате нанесения абразивными зёрнами многочисленных царапин на поверхность деталей. При этом профиль получаемой поверхности во многом определяется совокупным режущим контуром, образованным условным совмещением всех рядов абразивных зерен, проходящих по данному участку поверхности.

Отсутствие жесткой кинематической связи между деталью и незакрепленным абразивом накладывает свой отпечаток на процесс обработки. Характер взаимодействия абразивных зерен с поверхностью детали (микрорезание, истирание или упрочнение без съема металла) зависит от соотношения нормальной составляющей силы воздействия зерна на поверхность детали к продольной составляющей, на которые в большей степени влияет характер движения свободного абразивного инструмента.

На основании этого, а также с учетом достоинств и недостатков установок, описанных выше, необходимо объединить два метода финишной обработки и получить новый вид – виброцентробежный, в основу которого положен процесс микрорезания, осуществляемый режущими выступами абразивных зерен, который обеспечивает существенное повышение производительности и качества обработанной поверхности.

Выводы

1. Как следует из обзора современных способов финишной обработки, эффективность различных способов неодинакова, а повышение производительности и качества обработки обеспечивается кинематикой процесса, выбором рабочей среды, режимами обработки.

2. Проведя анализ наиболее распространенных способов абразивной обработки свободным абразивом, а именно, вибрационный и центробежный, объединив их, можно обеспечить повышение качества поверхности и производительности обработки.

3. При оценке способов обработки деталей свободным абразивом в основу исследований должны быть положены исследования процесса формообразования, которые обеспечат повышение качества и производительности обработки.

Список использованных источников:

1. Улашкин А.П. Выбор отделочно-упрочняющих методов обработки (для повышения износостойкости машин) / А.П. Улашкин. – Хабаровск : Изд-во Хабар. гос. техн. ун-та, 1998. – 103 с.
2. Бедункевич В.В. Современные способы повышения эффективности металлообработки / В.В. Бедункевич // Механика XXI века. XII Всероссийская научно-техническая конференция с международным участием. – Братск : Братский государственный университет, 2013. – С. 113-114.
3. Бабичев А.П. Основы вибрационной технологии / А.П. Бабичев. – Ростов-на-Дону : Издательский центр ДГТУ, 2008. – 624 с.
4. Бабичев А.П. Применение вибрационных технологий для повышения качества и эксплуатационных свойств деталей // А.П. Бабичев, П.Д. Мотренко. – Ростов-на-Дону : Издательский центр ДГТУ, 2005. – 215 с.
5. Повышение производительности технологических систем отделочно-зачистной и упрочняющей обработки деталей на основе винтовых роторов / Г.В. Серга, К.А. Белокур, В.А. Лебедев, Д.Я. Яковлев // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2016. – № 4. – С. 16-19.
6. Горохов В.А. Технология обработки металлов / В.А. Горохов. – Минск : Беларуская навука, 2000. – 438 с.
7. Зверовщиков В.З. Динамика центробежной обработки деталей дискретным шлифовальным материалом : монография / В.З. Зверовщиков. – Пенза : Изд-во Пензенского государственного университета, 2005. – 200 с.
8. Зверовщиков В.З. Моделирование движения рабочей загрузки в контейнерах с планетарным вращением / В.З. Зверовщиков, С.А. Нестеров // Процессы абразивной обработки, абразивные инструменты и материалы : сб. ст. междунар. науч.-техн. конф. – Волжский : ВолжскИСИ филиал ВолгГАСА, 2002. – С. 215-218.
9. Барон Ю.М. Технология абразивной обработки в магнитном поле / Ю.М. Барон. – Л. : Машиностроение, 1975. – 128 с.
10. Мицык А.В. Пути интенсификации вибрационной отделочно-зачистной обработки комбинированием схем энергетических воздействий на рабочую среду и детали / А.В. Мицык, В.А. Федорович // Авіаційно-космічна техніка і технологія. – 2011. – № 6 (83). – С. 26-34.
11. Kodacsy J. Apparatus for cleaning debarring and polishing parts in magnetic field / J. Kodacsy // Proc. of 7-th international conference on debarring and surface finishing. – Berkeley, 2004. – Pp. 375-378.
12. Безъязычный В.Ф. Влияние качества поверхностного слоя после механической обработки на эксплуатационные свойства деталей машин / В.Ф. Безъязычный // Инженерный журнал. – 2001. – № 4. – С. 9-16.
13. Суслов А.Г. Технологическое обеспечение и повышение эксплуатационных свойств деталей машин, технологической оснастки и инструментов / А.Г. Суслов // Инженерный журнал. – 2000. – № 1. – С. 6-13.
14. Baron Yu.M. Experimental Verification of Deburring by Magnetic Abrasive Finishing (MAF) Method / Yu.M. Baron, Sung-Lim Ko, E. Reznikova // 2nd Asia Pacific Forum on Precision Surface Finishing and Deburring Technology (22-24 July 2002). – Seoul, 2002. – Pp. 166-178.

References:

1. Ulashkin A.P. *Vybor otdelochno-uprochnyayushchikh metodov obrabotki* [Selection of finishing-hardening processing methods (for increasing wear resistance of machines)]. Khabarovsk, Khabarovskii state. tech. university Publ., 1998. 103 p. (Rus.)
2. Bedukevich V.V. *Sovremennye sposoby povysheniya metallobrabotki. Anotatsii dopovidei 12 Vseros. nauk.-prakt. konf. «Mekhaniki XXI veka»* [Modern ways to improve the efficiency of metalworking. Abstracts of 12th All-Russian Sci.-Pract. Conf. «Mechanics XXI century»]. Bratsk, 2013, pp. 113-114. (Rus.)
3. Babichev A.P. *Osnovy vibratsionnoi tekhnologii* [Fundamentals of vibration technology]. Rostov-na-Donu, DSTU Publ., 2008. 624 p. (Rus.)
4. Babichev A.P., Motrenko P.D. *Primenenie vibratsionnykh tekhnologii dlya povysheniya kachestva i ekspluatatsionnykh svoistv detalei* [Application of vibration technologies for improving quality and operational properties of parts]. Rostov-na-Donu, DSTU Publ., 2005. 215 p. (Rus.)
5. Serga G.V., Belokur K.A., Lebedev V.A., Yakovlev D.Ya. *Povyshenie proizvoditel'nosti tekhnologicheskikh sistem otdelochno-zachistnoi i uprochnyayushchei obrabotki detalei na osnove vintovykh rotorov* [Increase of productivity of technological systems of finishing-cleaning and hardening processing of details on the basis of screw rotors]. *Uprochnyayushchie tekhnologii i pokrytiia – Strengthening Technologies and Coatings*, 2016, no.4, pp. 45-51. (Rus.)
6. Gorokhov V.A. *Tekhnologiya obrabotki metallov* [Technology of metal processing]. Minsk : Belaruskaya Navuka Publ., 2000. 438 p. (Rus.)
7. Zverovshchikov V.Z. *Dinamika tcentrobeznoi obrabotki detalei diskretnym shlifoval'nym materialom: monografiia* [Dynamics of centrifugal processing of details by a discrete grinding material: monograph]. Penza, Penza State University Publ., 2005. 200 p. (Rus.)
8. Zverovshchikov V.Z., Nesterov S.A. *Modelirovanie dvizheniya rabochei zagruzki v konteinerakh s planetarnym vrashcheniem. Anotatsii dopovidei Mizhn. nauk.-prakt. konf. «Protsessy abrazivnoi obrabotki, abrazivnye instrumenty i materiyaly»* [Modeling the movement of the working load in containers with planetary rotation. Abstracts of Int. Sci.-Pract. Conf. «Processes of abrasive processing, abrasive tools and materials»]. Volzhskii, 2002, pp. 215-218. (Rus.)
9. Baron Yu.M. *Tekhnologiya abrazivnoi obrabotki v magnitnom pole* [Technology of abrasive processing in a magnetic field]. Leningrad, Mashinostroenie Publ., 2009. 128 p. (Rus.)
10. Mytsik A.V., Fedorovich V.A. *Puti intensivatsii vibratsionnoi otdelochno-zachistnoi obrabotki kombinirovaniem skhem energeticheskikh vozdeistvii na rabochuyu sredu i detail* [Ways of intensification of vibratory finishing-cleaning treatment by combining schemes of energy impacts on the working medium and details]. *Aviacijno-kosmichna tehnika i tehnologia – Aerospace technic and technology*, 2011, no.6(83), pp. 26-34. (Rus.)
11. Kodacsy J. *Apparatus for cleaning debarring and polishing parts in a magnetic field. Abstracts of the 7th international conference on debarring and surface finishing. Berkeley, 2004, pp. 375-378.*
12. Besyazychnyi V.F. *Vliyanie kachestva poverkhnistnogo sljya posle mehkanicheskoi obrabotki na ekspluatatsionnye svoistva detalei mashin* [The influence of the quality of the surface layer after mechanical treatment on the operational properties of machine parts]. *Inzhenernyi zhurnal – Engineering Journal*, 2001, no.4, pp. 9-16. (Rus.)
13. Suslov A.G. *Tekhnologicheskoe obespechenie i povyshenie ekspluatatsionnye svoistva detalei mashin, tekhnologicheskoi osnastki i instrumentov* [Technological support and enhancement of operational properties of machine parts, technological equipment and tools]. *Inzhenernyi zhurnal – Engineering Journal*, 2000, no.1, pp. 6-13. (Rus.)
14. Baron Yu.M., Ko Sung-Lim, Repnikova E. *Experimental Verification of Deburring by Magnetic Abrasive Finishing (MAF) Method. Abstracts of the 2nd Asia Pacific Forum on Precision Surface Finishing and Deburring Technology, Seoul, 2002, pp.166-178.*

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

Статья поступила 15.10.2017