

*А. А. АНДИЛАХАЙ*, канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой,  
ПГТУ, Мариуполь

## **АНАЛИЗ СТРУЙНО-АБРАЗИВНЫХ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ**

Викладено результати вивчення патентно-ліцензійних матеріалів, опублікованих за останні роки. Встановлено доцільність подальшої розробки перспективного методу оздоблювальної обробки поверхонь повітряними струменями, затопленими абразивної суспензією

Изложены результаты изучения патентно-лицензионных материалов, опубликованных за последние годы. Установлена целесообразность дальнейшей разработки перспективного метода отделочной обработки поверхностей воздушными струями, затопленными абразивной суспензией.

The results of examination of patent and licensing of material published in recent years. The expediency of the further development of a promising method for the finishing touch, the surfaces of the air stream, flooded the abrasive suspension

**Введение.** Технология отделочной обработки деталей зернистым абразивом характеризуется широкими возможностями по сравнению с известными методами абразивной обработки, особенно привлекательной является возможность обработки поверхностей деталей малой жесткости.

К деталям малой жесткости относят почти все детали приборостроения и оптико-механического производства, тонколистовой прокат, а также ряд тонкостенных, легкодеформируемых деталей, из других отраслей производства, обработка которых жестким инструментом приводит к потере требуемой точности геометрической формы. Вместе с тем увеличение выпуска товаров народного потребления, получаемых прессованием или штамповкой, отнесенных к деталям сложной конфигурации в значительной мере тормозится отсутствием высокопроизводительных методов получения требуемого качества поверхностей, подвергающихся в дальнейшем гальваническим и лакокрасочным покрытиям. Кроме того, скругление острых кромок и удаление заусенцев, образующихся на деталях после различных операций обработки резанием, (например, после обработки на токарных автоматах) является не менее сложной и поэтому актуальной задачей, для обеспечения высокой производительности механической обработки.

По данным ВНИИАШ [1] более 80% трудоемкости финишных операций обработки лопаток и дисков паровых и газовых турбин выполняется вручную. Нормативы трудоемкости на скругление кромок на рабочих дисках турбин составляют в зависимости от размера деталей от 4 до 20 ч на один диск. Проблема механизации операций удаления заусенцев и скругления кромок

уделяется самое серьезное внимание в мировой практике. По данным проблемам созданы европейский и японский комитеты; в которые входит ряд машиностроительных фирм. По данным этих комитетов, трудозатраты на удаление заусенцев составляют от 5 до 30% производственных затрат. Обследование около 400 машиностроительных фирм США (данные журнала «Production») показало, что затраты на удаление заусенцев и скругление кромок составляют от 10 до 40%.

Публикации последних лет, указывают на неуклонно возрастающий интерес разработчиков новых технологий и оборудования, к созданию методов отделочной обработки поверхностей деталей потоком свободного абразива.

Особое место среди них занимает струйная обработка зернистыми материалами (абразивными частицами).

**Состояние вопроса.** Целью настоящей работы является сравнительная характеристика существующих на протяжении нескольких лет струйно-абразивных установок и методов отделочной обработки и вновь создаваемых, обеспечивающих обработку затопленными струями.

Обработка деталей потоком абразивных частиц может достигаться несколькими путями: обработка абразивной суспензией [2 - 18, 23, 25], пневмо-пескоструйная обработка [24 - 34, 40] и пневмо-гидро-пескоструйная обработка [41, 44]. Жидкостно-абразивные струйные установки можно классифицировать по величине рабочего давления, по способу подачи абразивного материала, а также по виду носителя абразивных частиц. По первому признаку различают установки двух типов: использующие высокое давление – 1–10 МПа и низкое давление 0,5–0,6 МПа.

Установки высокого давления применяются для предварительной обработки относительно крупных деталей и характеризуются большими габаритными размерами (рис. 1). Установка снабжена двумя баками абразивной суспензии, благодаря чему обеспечивается практически непрерывная обработка деталей, располагаемых на столе под сопловым аппаратом. При включении установки сжатый воздух подается в сопловой аппарат и к распределителю 4. Через распределитель 4 сжатый воздух подается в один из баков (по схеме на рис. 1 в правый бак). Одновременно клапан 5 включают для забора суспензии из правого бака, клапан 2 закрывают для создания избыточного давления в правом баке, а клапан 8 открывают для слива суспензии самотеком в левый бак, благодаря этому подается к сопловому аппарату и ускоряется потоком сжатого воздуха. По мнению авторов, устройство обеспечивает высокую производительность обработки и экономичность процесса. Однако нельзя не признать неизбежность потерь машинного времени на смену сопел, подвергающихся интенсивному износу, прокачиваемой абразивной суспензией, а также

расходов на изготовление сопел, являющихся быстроизнашиваемыми деталями.



Рисунок 1 – Установка для струйно-абразивной обработки деталей с использованием давления сжатого воздуха до 2 МПа

Установки низкого давления используются для обработки деталей средних и относительно малых размеров. Как правило, установки содержат сопловой аппарат и стол для размещения обрабатываемых деталей [3] (рис. 2). Питание осуществляется сжатым воздухом промышленной пневмосети. На базе этой конструкции автором создана гамма установок, в число которых вошли модификации с самоочисткой суспензии (см. рис. 2), с механизированной загрузкой и съемом обрабатываемых деталей, а также для обработки прессформ.



Рисунок 2 – Установка для струйно-абразивной обработки деталей с использованием давления сжатого воздуха до 0,6 МПа

В зависимости от способа подачи абразива струйные установки, работающие под давлением до 0,6 МПа, могут быть разделены на две группы: установки, в которых суспензия подается под давлением из емкости через сопла на обрабатываемые детали [30, 32, 34], а также установки, в которых подача абразива из бака к соплу осуществляется за счет эжекции [42, 43, 44].

Известны две разновидности энергоносителей, применяемых при струйно-абразивной обработке – газообразные (как правило - сжатый воздух) и жидкие (как правило - вода). При обработке деталей с помощью сжатого воздуха на пескоструйных аппаратах достигается достаточное качество поверхности, однако обильное пылевыведение послужило причиной запрета на применение этого способа без специальных мер защиты.

Фирмой "Lockheed-California [47] была опробована обработка металлических изделий порошком из твердой углекислоты – «сухого льда», обладающего достаточной твердостью.

При этом достигалась не только очистка поверхностей металлических изделий, но и создание на поверхности алюминия требуемой шероховатости, обеспечивающей в дальнейшем прочное сцепление с наносимым слоем защитного покрытия. Основным достоинством метода является исключение загрязнения окружающей среды и необходимости эвакуации отработанного песка или дроби. Однако метод не нашел широкого применения в связи с тем, что для получения «сухого льда» необходима температура минус 18° С и давление 2 – 3 МПа.

Широкое применение в промышленности как в Украине, так и за рубежом, находят установки для жидкостно-абразивной обработки, работающие на сжатом воздухе. Они выполняются в виде шкафов, часто оснащаются вспомогательными устройствами для загрузки и выгрузки обрабатываемых деталей, транспортерами, приспособлениями для мойки и сушки.

На основании многолетней эксплуатации жидкостно-абразивных установок некоторые авторы [44, 46] пришли к выводу о целесообразности обработки мелких деталей сложной формы струйными аппаратами с ручным управлением [8]. Подобные установки выпускаются фирмами «Abrasive Developments» и «Filghments» [47]. Струйная обработка деталей, помещенных на поворотный стол, обеспечивается подвижным сопловым аппаратом, управляемым оператором вручную. Жидкостно-абразивные установки, как правило, снабжены баком для сбора и подготовки абразивной суспензии, которая транспортируется по трубопроводам к сопловому аппарату.

В работах [13, 14, 25, 40, 45] предложены оригинальные конструкции сопловых аппаратов, обеспечивающих равномерную подачу абразивной суспензии на обрабатываемые детали, однако и в этих устройствах каналы сопловых аппаратов не защищены от интенсивного износа.

В общем виде струйная обработка обладает рядом достоинств, к которым можно отнести следующие:

- низкий уровень шума (10–20 дБ);
- универсальность (возможностью обработки различных деталей сложной конфигурации, а также деталей из различных материалов без переналадки);
- легкость плавной регулировки интенсивности процесса;
- низкие эксплуатационные расходы;
- возможность совмещения удаления заусенцев с удалением окалины, окисной пленки, старых покрытий и загрязнения;
- возможность многократного использования абразива;
- возможность простого разделения деталей и абразивного материала;
- возможность обработки деталей в труднодоступных местах.

Наряду с этим все струйные установки характеризуются весьма существенным недостатком: вследствие подачи абразивной суспензии через сопла, являющиеся наиболее ответственными элементами устройств, последние подвергаются интенсивному абразивному разрушению. Так, при обработке суспензией из кварцевого песка при давлении 0,5 МПа износ сопла диаметром 4 мм из стали У10А за три часа работы составил 1 мм. По данным Е.И. Пазюка [44] стойкость сопел из стали У10А не превышает 8–10 часов. Стойкость сопел из белого чугуна, по данным В.С. Посохина [46] составила 4–6 часов. Аналогичные результаты получены зарубежными исследователями [72]. Так, при обработке порошком карбида кремния зеленого (63С) стойкость сопел, изготовленных из твердого сплава на основе карбида вольфрама, составляет 5–10 часов, из керамики – 3–5 часов, чугуна – 2–3 часа.

Попытки применить сопла из резины, капрона, полиуритана не дали положительного результата [44].

Экспериментальная обработка конструктивных параметров, за счет профилирования продольного сечения сопел, позволила повысить их стойкость в 2–2,5 раза. Однако при малой исходной стойкости это увеличение составляет всего 10–15 часов.

**Заключение.** Коренное изменение схемы струйной обработки позволило исключить существенный недостаток, связанный с низкой стойкостью струйных аппаратов, открыло перспективу эффективного использования струйной обработки для отделки и зачистки поверхностей малой жесткости.

Сущность предложенного метода обработки заключается в том, что в рабочую камеру, содержащую свободно помещенные обрабатываемые детали и абразивную суспензию, подают сжатый воздух в виде струй, расположенных таким образом, чтобы достигались обработка и одновременное перемешивание деталей [4], а также обеспечивалась сохранность внутренних поверхностей рабочей камеры, рис. 3.

Особенностью процесса обработки является то, что вовлечение абразивных зерен из суспензии в струи сжатого воздуха и сообщение им запаса кинетической энергии, достаточной для выполнения работы микрорезания, осуществляется за пределами сопла.



Рисунок 3 – Сопловой аппарат – дно рабочей емкости.

Таким образом, решение задач механизации финишных операций обработки деталей малой жесткости затопленными струями позволит, во-первых, значительно уменьшить затраты на содержание оборудования за счет обеспечения сохранности сопел, во-вторых, повысить производительность обработки за счет экономии времени на замену сопел. Для решения этих задач необходимо выявить оптимальные значения и сочетания технологических и конструктивных параметров процесса и оборудования.

**Список литературы:** 1. Кремень З. И., Турбоабразивная обработка деталей сложного профиля. / З. И. Кремень, М. Л. Миссарский, В. З. Гузэль. - М.: НИИмаш, 1987. - 53 с. 2. Белецкий Д. Г. Основные параметры безжекционной гидроабразивной обработки. /Д. Г. Белецкий, В. Н. Жемчужов// Вестник машиностроения, 1967, №5.- С. 53 – 56. 3. Проволоцкий А. Е. Струйно-абразивная обработка деталей машин. /А. Е. Проволоцкий - К: Техника, 1989. - 177 с. 4. Заявка 4239429, МКИ В 24 С 7/08. Способ гидроабразивоструйной обработки высокого давления и установка для его осуществления.1987. 5. Пат. 277038 ФРГ, МКИ<sup>4</sup> В 24 С 3/06. Очистные пескоструйные установки. 1991. 6. Пат. 286775 ФРГ, МКИ<sup>4</sup> В 24 С 3/06. Дробеструйная очистная установка.1992. 7. Пат. 98127 Румыния, МКИ<sup>4</sup> В 24 С 3/14. Конвейерная установка для ручной пескоструйной очистки, с перемещением обрабатываемых деталей в разные положения.1992. 8. Пат. 98408 Румыния, МКИ<sup>4</sup> В 24 С 3/16 Машина для пескоструйной очистки внутренней поверхности цилиндров.1992. 9. Пат. 4704826 США, МКИ<sup>4</sup> В 24 С 3/06, НКИ 51/411. Устройство для пескоструйной очистки. 1988. 10. Пат. 4709515 США, МКИ<sup>4</sup> В 24 С 5/04, В 24 С 7/00, НКИ 51/ 436. Устройство для мокрой пескоструйной очистки. 1988. 11. Пат. 4735021 США, МКИ<sup>4</sup> В 24 С 7/00. Установка для пескоструйной очистки. 1989. 12. Пат. 4792116 США, МКИ<sup>4</sup> F 16 K 31/53, F 16 L 58/10. Регулируемый вентиль пескоструйного аппарата. 1990. 13. Пат. 4843770 США, МКИ<sup>4</sup> В 24 С 5/04. Сопло для пескоструйной очистки. 1990. 14. Пат. 4866889 США, МКИ<sup>4</sup> В 24 С

3/14. Устройство для пескоструйной очистки. 1990. **15.** Заявка 3617692 ФРГ, МКИ<sup>4</sup> В 24 С 7/00. Устройство для пескоструйной очистки. (ФРГ) 1988. **16.** Заявка 3812914 ФРГ, МКИ<sup>4</sup> В 24 С 7/00, В 65 G 53/66. Пескоструйная установка (ФРГ) 1990. **17.** Заявка 3827887 ФРГ, МКИ<sup>5</sup> В 24 С 9/00. Платформа для проведения пескоструйной обработки (ФРГ). 1991. **18.** А. с. 1570889 СССР, МКИ<sup>4</sup> В 24 С 5/04. Устройство для струйной обработки изделий. Открытия, изобретения. – 1990. **19.** А. с. 1595945 СССР, МКИ<sup>5</sup> В 23 О 4/00. Агрегат для струйной обработки изделий. Открытия, изобретения. – 1991. **20.** Пат. 4922664 США, МКИ<sup>5</sup> В 24 С 5/04. Гидропескоструйная установка. 1991. **21.** Пат. 4936059 США, МКИ<sup>5</sup> В 24 С 5/04. Способ и устройство для гидроабразивной струйной обработки. 1991. **22.** Заявка 3702675 ФРГ, МКИ<sup>4</sup> В 08 В 3/02. Устройство для гидроструйной очистки, (ФРГ). 1989. **23.** Заявка 3817641 ФРГ, МКИ<sup>4</sup> В 08 В 3/02. Устройство для гидроструйной очистки поверхности (ФРГ). 1990. **24.** А. с. 1351764 СССР МКИ В 24 С 3/06. Струйный аппарат для гидроабразивной обработки деталей. Открытия, изобретения. – 1988. **25.** А. с. 1364452 СССР МКИ В 24 С 3/04. Устройство для струйно-абразивной обработки. Открытия, изобретения. – 1988. **26.** А. с. 1388268 СССР МКИ В 24 С 7/00. Установка для струйно-абразивной обработки. Открытия, изобретения. – 1988. **27.** А. с. 1404309 СССР МКИ<sup>4</sup> В 24 С 1/00. Способ абразивно-струйной обработки деталей. Открытия, изобретения. – 1988. **28.** А. с. 1414598 СССР МКИ<sup>4</sup> В 24 С 3/16. Устройство для абразивно-струйной обработки. Открытия, изобретения. – 1989. **29.** А. с. 1450989 СССР МКИ<sup>4</sup> В 24 С 1/00. Способ струйной обработки. Открытия, изобретения. – 1990. **30.** А. с. 1450990 СССР МКИ<sup>4</sup> В 24 С 57/04. Струйный аппарат для гидроабразивной обработки. Открытия, изобретения. – 1989. **31.** А. с. 1502666 СССР МКИ<sup>4</sup> С 25 С 7/00. Устройство для абразивно-струйной обработки деталей. Открытия, изобретения. – 1990. **32.** А. с. 1511092 СССР МКИ<sup>4</sup> В 24 С 1/00. Способ оценки распределения энергии в гидроабразивной струе. Открытия, изобретения. – 1990. **33.** А. с. 1530167 СССР МКИ<sup>4</sup> В 24 С 3/22. Устройство для струйно-абразивной обработки. Открытия, изобретения. – 1990. **34.** А. с. 1530426 СССР МКИ<sup>4</sup> В 24 С 3/16. Установка для абразивно-струйной обработки. Открытия, изобретения. – 1990. **35.** А. с. 1569206 СССР МКИ<sup>4</sup> В 24 С 1/00. Способ струйно-абразивной обработки. Открытия, изобретения. – 1990. **36.** А. с. 1569208 СССР МКИ<sup>4</sup> В 24 С 1/00. Способ струйно-абразивной обработки. Открытия, изобретения. – 1990. **37.** А. с. 1634464 СССР МКИ<sup>5</sup> В 24 С 5/04. Сопло для абразивной обработки деталей. Открытия, изобретения. – 1990. **38.** А. с. 1636199 СССР МКИ<sup>5</sup> В 24 С 3/12. Устройство для струйной обработки деталей. Открытия, изобретения. – 1991. **39.** А. с. 1657357 СССР МКИ<sup>5</sup> В 24 С 7/00. Ротационный питатель к устройству для струйной обработки деталей. Открытия, изобретения. – 1992. **40.** А. с. 1662713 СССР МКИ<sup>5</sup> В 08 В 3/02. Устройство для струйной очистки деталей. Открытия, изобретения. – 1992. **41.** А. с. 1662819 СССР МКИ<sup>5</sup> В 24 С 1/00. Способ защиты поверхностей в струйно-абразивном эжекционном аппарате. Открытия, изобретения. – 1992. **42.** Пат. 383980 Австрия, МКИ<sup>5</sup> В 24 С 11/00. Абразивно-струйная обработка деталей из черных сплавов. 1988. **43.** Заявка 2207625, МКИ<sup>4</sup> В 24 С 1/04. Устройство для абразивно-струйной отделки поверхности (Великобритания). 1990. **44.** Пат. 271076 ГДР, МКИ<sup>4</sup> В 24 С 5/04. Сопло для абразивно-пневматической обдувки. 1990. **45.** Пат. 272247 ГДР, МКИ<sup>4</sup> В 24 С 7/00. Система управления абразивно-струйной установкой. 1990. **46.** *Пазюк Е. И.* Современные установки и технология гидроабразивной обработки. Л.: Лениздат, 1953. - 175 с. **47.** *Mai E.* Центробежные установки для абразивно-струйной очистки. / *E. Mai, H-J Mügge // Metalloberfläche. - 1989. -43, №4. - С. 172 - 173. - Нем.* **48.** *Горбунов Б. И.* Процессы и оборудование абразивно-алмазной обработки. Вып. 4. Межвузовский сборник научных трудов / под редакцией *Б. И. Горбунова* / ВЗМИ., М.: 1980. -161 с. **49.** *Наумов А. Л., Новгородцев В. В.* Беспыльная пескоструйная обработка. / *А. Л. Наумов, В. В. Новгородцев* // Автомобильная промышленность. - 1991.-№ 5. - С. 26 - 27. **50.** Обработка деталей качающимися струями жидкости //Produktion. - 1992. - № 14. - С. 29. - Нем.

*Надійшла до редколегії 31.05.2010*