

*А.А. АНДИЛАХАЙ*, ГВУЗ "ПГТУ", Мариуполь;  
*С.А. ДИТИНЕНКО*, канд. техн. наук, ХНЭУ, Харьков;  
*Ф.В. НОВИКОВ*, докт. техн. наук, ХНЭУ, Харьков.

## **ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ СОПЛА НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ЗАТОПЛЕННЫМИ СТРУЯМИ**

Приведены результаты экспериментальных исследований по установлению наиболее эффективной конфигурации сопла по критерию обеспечения максимального количества абразивных зерен, инжектируемых в струю, истекающую в абразивную суспензию, на основе определения количества следов зерен на обработанных полированных латунных пластинах-экранах. Показано, что наиболее плотное расположение следов абразивных зерен обеспечивается при использовании сверхзвукового сопла Лаваля. Следовательно, применение сверхзвукового сопла Лаваля обеспечивает двойной эффект обработки: увеличение скорости потока и увеличение количества абразивных зерен, инжектируемых в затопленную струю сжатого воздуха.

**Ключевые слова:** абразивная обработка, абразивные зерна, сверхзвуковое сопло Лаваля, сжатый воздух, латунь, время обработки, профилограмма

**Введение.** В настоящее время наиболее перспективным методом отделочной обработки мелких точных деталей (массой до 3 г) малой жесткости и сложной конфигурации является метод струйной обработки свободным абразивом. Однако этот метод обладает существенным недостатком, связанным с интенсивным износом сопел, через которые прокачивается абразивная суспензия.

В опубликованных работах предлагаются различные пути уменьшения интенсивности износа сопел струйного аппарата: изготовление сопел из таких материалов как резина, капрон, полиуретан, которые в меньшей степени подвержены абразивному износу; создание защитного слоя сопла, образованного истекающей жидкостью или сжатым воздухом, подаваемых отдельно от абразивного порошка и т.д. Однако добиться ощутимого результата при этом не удалось, т.е. оптимизация элементов конструкции струйного аппарата практически исчерпала себя. Поэтому кардинальным решением данной проблемы может быть изменение принципиальной схемы струйно-абразивной обработки за счет применения метода абразивной обработки деталей затопленными струями, который исключает основной недостаток струйно-абразивных установок – аб-

разивный износ каналов сопел или эжекционных насадок, т.к. абразивные зерна присоединяются к струям сжатого воздуха за их пределами. Чтобы эффективно управлять данным процессом обработки и обеспечивать высокие показатели качества, производительности и стабильности обработки, необходимо знать его физические закономерности и технологические возможности. Эффективность метода зависит от геометрической формы сопла. Поэтому представляется актуальным проведение комплекса экспериментальных исследований конфигурации сопел по критерию максимального количества абразивных зерен, инжектируемых в струю, истекающую в абразивную суспензию.

**Анализ последних достижений и литературы.** Рассматриваемый в настоящей работе метод абразивной обработки деталей затопленными струями является, по сути, разновидностью метода струйно-абразивной обработки, который достаточно обстоятельно исследован и которому посвящены многочисленные публикации [1-3]. Большой вклад в разработку теории и практики струйно-абразивной обработки внес проф. Проволоцкий А.Е. [1]. Однако в рассматриваемом в настоящей работе методе, в отличие от традиционной струйно-абразивной обработки, абразивные зерна присоединяются к струе сжатого воздуха за пределами сопла. Это вносит принципиальные изменения в закономерности съема материала и формообразования поверхностей обрабатываемых деталей. Поэтому настоящая работа является дальнейшим развитием работ [4, 5], посвященных исследованию этого прогрессивного метода обработки, выявлению и обоснованию его новых технологических возможностей.

**Цель работы, постановка проблемы.** Целью работы является обоснование условий повышения эффективности метод абразивной обработки деталей затопленными струями на основе определения оптимальной геометрической формы сопла.

**Материалы исследования.** Для достижения поставленной цели в работе испытывались цилиндрические, конические расширяющиеся, конические сужающиеся и сверхзвуковые сопла Лавалья с длиной каналов 3, 6, 10 мм. Критерием выбора наилучшей конфигурации сопла является количество отпечат-


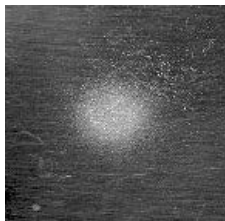
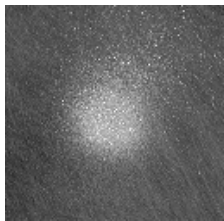

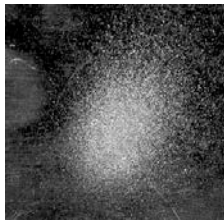
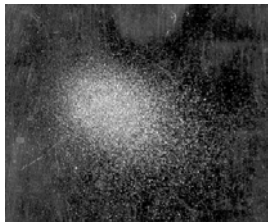
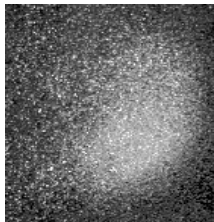
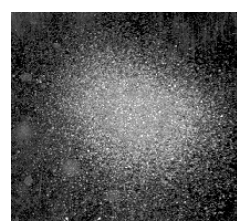
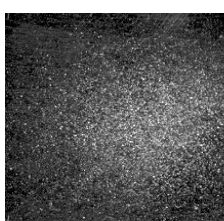

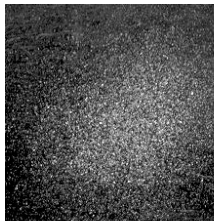
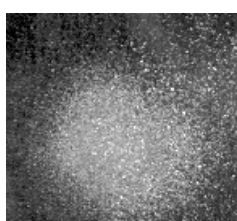

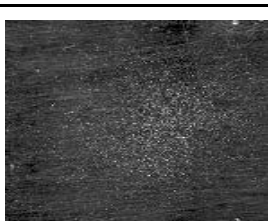

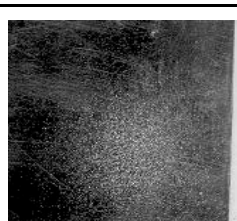
ков абразивных зерен, инжектированных в струю после среза сопла на полированных латунных пластинах-экранах. Экраны устанавливали перед соплом на расстоянии 10, 20, 30 и 50 мм и удерживали неподвижно 5 секунд. Эксперименты выполняли на лабораторной установке с завихрителем (сопловым аппаратом), оснащенным сменными соплами и углублениями перед соплом на указанных расстояниях. Пластины, в виде экрана устанавливали перед соплом с помощью направляющего устройства (рис. 1), благодаря чему обеспечивалась точная выдержка периода 5 секунд и расстояние от среза сопла до экрана.



Рис. 1 – Внешний вид устройства для установки экрана перед соплом завихрителя на период, равный 5-ти секундам: а – положение над соплом (вне струи); б – перед соплом (в зоне действия струи)

Важным условием проведения опытов является постоянство концентрации абразивной суспензии и условий подачи абразивного материала в зону расположения испытуемого сопла. В связи с этим использовали завихритель с шестью соплами диаметром 2 мм и суспензию с количественным составом: 3 л воды и 0,18 л абразивного материала, в качестве которого использовали шлифзерно 63С (карбид кремния зеленый) зернистостью 63П (630 мкм).

Таблица. Сравнительная характеристика отпечатков абразивных зерен на полированных латунных образцах. Условия обработки: абразивный материал – шлифзерно 63С (карбид кремния зеленый), зернистость 63П (630 мкм); давление сжатого воздуха – 0,4 МПа; время обработки – 5 секунд

Расстояние до среза сопла, мм	Коническое расширяющееся сопло	Коническое сужающееся сопло	Цилиндрическое сопло	Сверхзвуковое сопло
10				
20				
30				
50				

Конфигурацию и длины каналов сопел варьировали в соответствии с перечнем опытов по выявлению наибольшей скорости. В результате каждого опыта получали отпечатки абразивных зерен в виде пятна на полированной пластине. Каждый образец фотографировали, а затем снимали профилограмму по линии, проходящей через центр пятна. В таблице приведены фотографии отпечатков абразивных зерен.

**Результаты исследований.** Из таблицы следует, что наиболее плотными по количеству следов на единицу площади являются отпечатки, полученные для сверхзвукового сопла Лавалья. Особенностью инжекции в струю, истекающую из этого сопла, является присоединение большего количества абразивных зерен уже в начале струи, т. е. на расстоянии 10 мм от среза сопла. Это объясняется отсутствием ядра струи в виде конуса на расстоянии 3–4-х диаметров канала сопла, т.е. на расстоянии 6–8 мм от среза сопла, характерного для цилиндрических и конических сопел. Профилограммы, снятые с участков сосредоточения следов абразивных зерен на полированных экранах записаны на электротермическую ленту с поперечным увеличением в 2000 раз и продольным – в 400 раз (рис. 2, рис. 3).

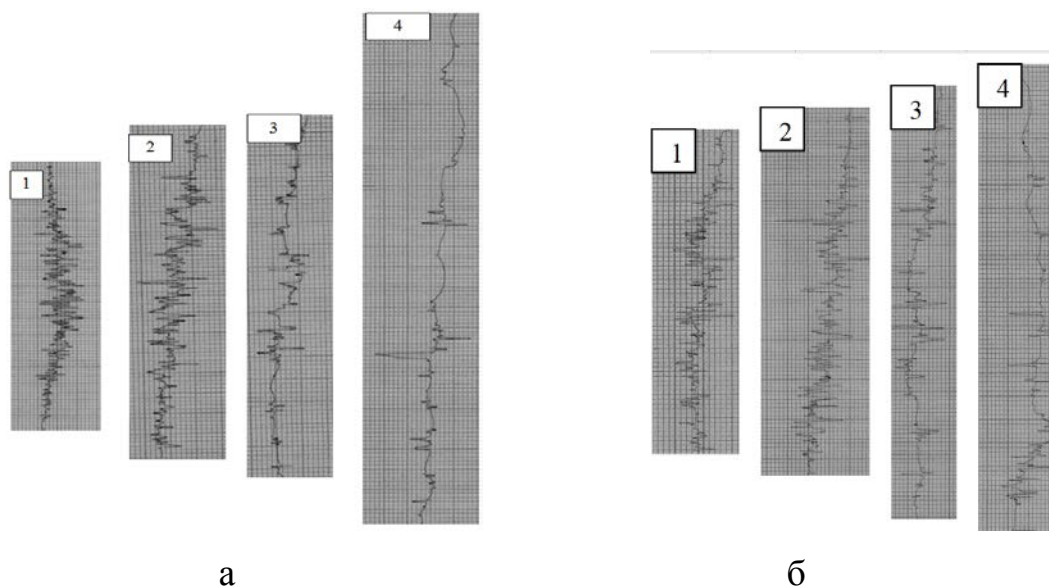


Рис. 2 – Профилограммы отпечатков абразивных зерен, присоединенных к струям, истекающим из конического расширяющегося сопла (а) и конического сужающегося сопла (б)

Из четырех разновидностей профилограмм, снятых с обработанных латунных экранов, явно выделяются профилограммы с образцов, обработанных

из сверхзвукового сопла Лаваля. Характер профилограмм свидетельствует о том, что отпечатки имеют не только наиболее плотное расположение следов абразивных зерен, но наибольшую глубину, судя по размаху кривой.

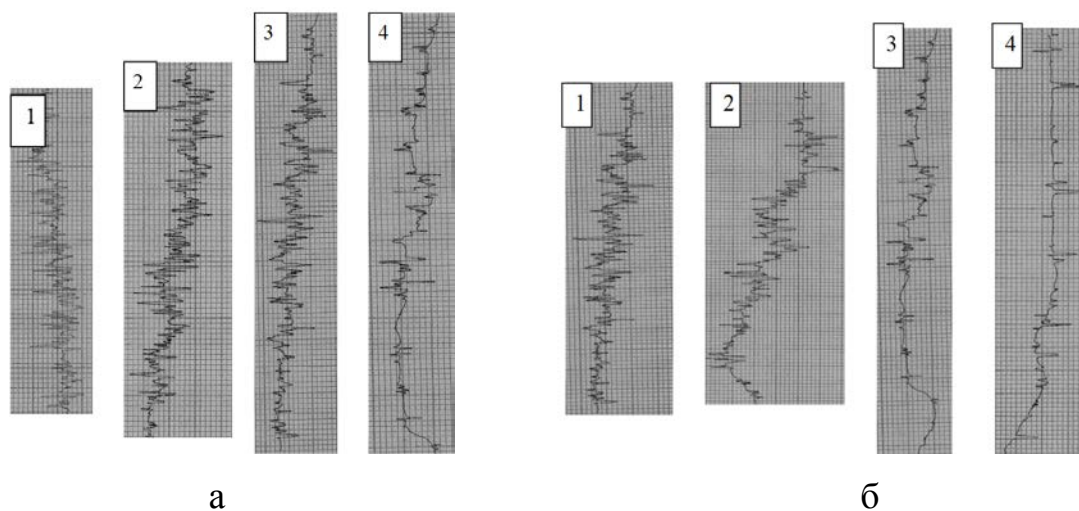


Рис. 3 – Профилограммы отпечатков абразивных зерен, присоединенных к струям, истекающим из цилиндрического сопла (а) и сверхзвукового сопла Лаваля (б)

**Выводы.** Проведены экспериментальные исследования по установлению наиболее эффективной конфигурации сопла по критерию обеспечения максимального количества абразивных зерен, инжектируемых в струю, истекающую в абразивную суспензию, на основе определения количества следов зерен на обработанных полированных латунных пластинах-экранах. Показано, что наиболее плотное расположение следов абразивных зерен, которые также характеризуются и наибольшей глубиной, обеспечивается при использовании сверхзвукового сопла Лаваля. Следовательно, применение сверхзвукового сопла Лаваля обеспечивает двойной эффект обработки: увеличение скорости потока и увеличение количества абразивных зерен, инжектируемых в затопленную струю сжатого воздуха.

**Список литературы:** 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. Мецераков*. – М.: Машиностроение, 1995. – 143 с. 3. *Исупов М. Г.* Разработка, исследование технологии струйно-абразивной финишной обработки: дис. ... 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. *Андилахай А. А.* Кинетическая энергия абразивного зерна, инжектированного в струю сжатого воздуха при истечении из сопла в суспензию / *А. А. Андилахай* // *Вісник Приазовського державного технічного університету: зб. наук. праць*. – Мариуполь: ПДТУ, 2012. – Вип. 24. – С. 224–230.