

Для участка  $\gamma$  характерно особенно интенсивное развитие износа, на величине которого сказываются не только описанные выше процессы, но и накопление в металле поверхностного слоя необратимых изменений, вызываемых явлениями механической и термической усталости. Начало этого участка, как правило, характеризуется появлением трещин термической усталости, развивающихся преимущественно в глубину или образующих сетку разгара в зависимости от температурно-силовых условий работы поверхностного слоя.

**Выводы.** В работе изучено два вида износа штампового инструмента, такие как истирание и смятие. Исследования показывают о крайне неравномерном распределении деформаций по штампу, вследствие чего высокая неравномерность деформации снижает стойкость штампа. Рассмотрение кинетики изменения размеров гравюры показывает, что наиболее интенсивно элементы штампа искажаются в начальный период работы (600–1200 поковок). Затем имеет место тенденция к стабилизации размеров. Рассмотрено взаимодействие истирания и смятия в процессе износа гравюры кузнечного инструмента.

**Список литературы:** 1. *Богуслаев, А. В.* О необходимости нанесения защитных покрытий на рабочие поверхности оснастки для штамповки и литья / А. В. Богуслаев // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии : сб. науч. тр. / Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского «ХАИ». – Х., 2000. – Вып. 23 (6). – С. 48–55. 2. *Брюханов, А. Н.* Горячая штамповка. Конструирование и расчет штампов / А. Н. Брюханов, А. В. Ребельский. – М. : Машгиз, 1952. – 664 с. 3. *Долматов, А. И.* Повышение жизненного цикла оснастки на основе защитных технологий : монография / А. И. Долматов, А. В. Богуслаев. – Запорожье : Мотор Сич, 2000. – 295 с. 4. *Охрименко, Я. М.* Технология кузнечно-штамповочного производства : учеб. для вузов / Я. М. Охрименко. – Изд. 2-е перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1976. – 560 с. 5. *Ткачук, А. Н.* Термоупругие контактные задачи для элементов штампов и пресс-форм / А. Н. Ткачук, И. Я. Мовшович, Н. А. Ткачук // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. – 2010. – № 1. – С. 19–28. 6. *Варданян, Э. Л.* Упрочнение матриц штампов комбинированной обработкой в вакууме / Э. Л. Варданян, И. И. Ягафаров, Р. Ш. Валиев // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. – 2012. – № 1. – С. 28–31.

*Поступила в редколлегию 20.06.2014*

УДК 621.92.001.5

**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,

---

А. А. Андилахай, С. А. Дитиненко, Ф. В. Новиков, 2014

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 Лавалья. Следовательно, применение сверхзвукового сопла Лавалья 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 Лавалья, 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 – абразивный 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.

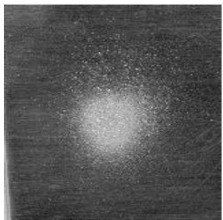
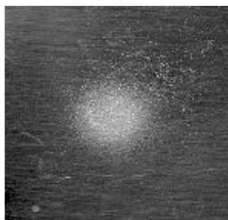
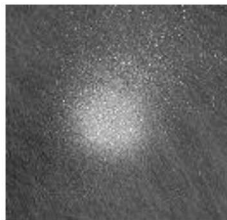
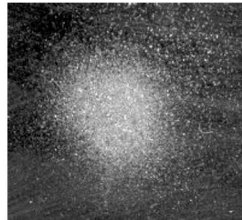
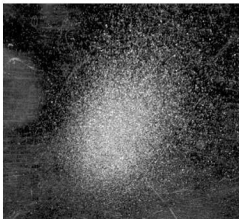

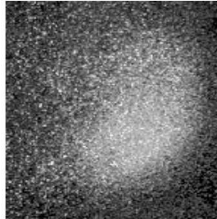
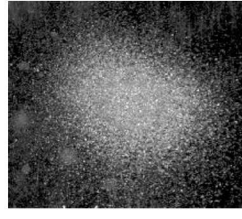
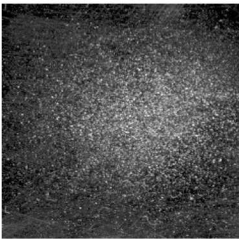


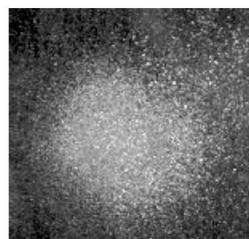




**Материалы исследования.** Для достижения поставленной цели в работе испытывались цилиндрические, конические расширяющиеся, конические сужающиеся и сверхзвуковые сопла Лавалья с длиной каналов 3, 6, 10 мм. Критерием выбора наилучшей конфигурации сопла является количество отпечатков абразивных зерен,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

Важним 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). 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.

Таблица. Сравнительная характеристика отпечатков абразивных зерен на полированных латунных образцах.

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

Условия обработки: абразивный материал – шлифзерно 63С (карбид кремния зеленый), зернистость 63П (630 мкм); давление сжатого воздуха – 0,4 МПа; время обработки – 5 секунд.

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 инъекции 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).

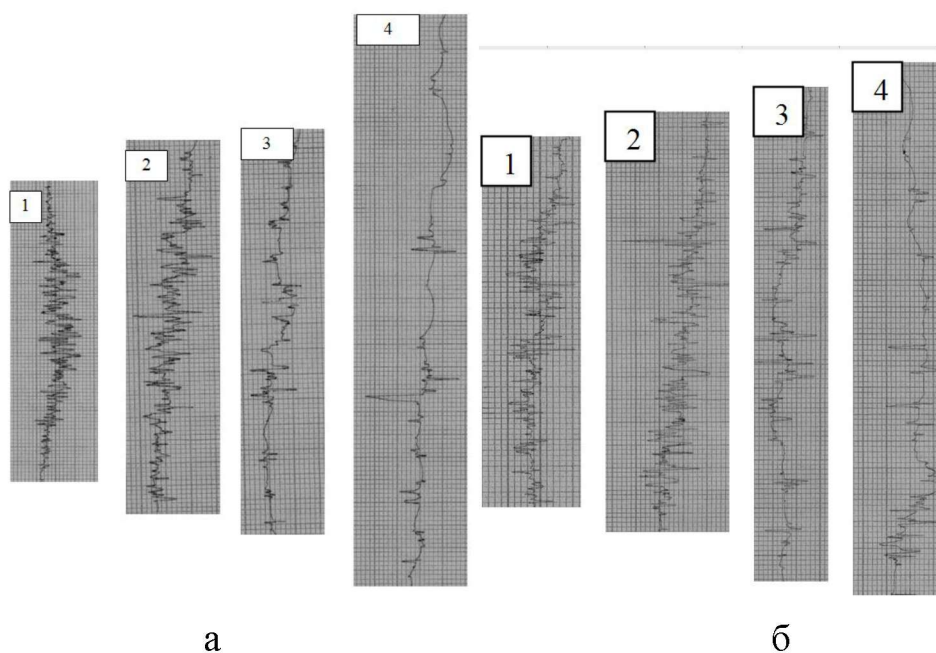


Рис. 2 – Профилограммы отпечатков абразивных зерен, присоединенных к струям, истекающим: а – из конического расширяющегося сопла и б – конического сужающегося сопла

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

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

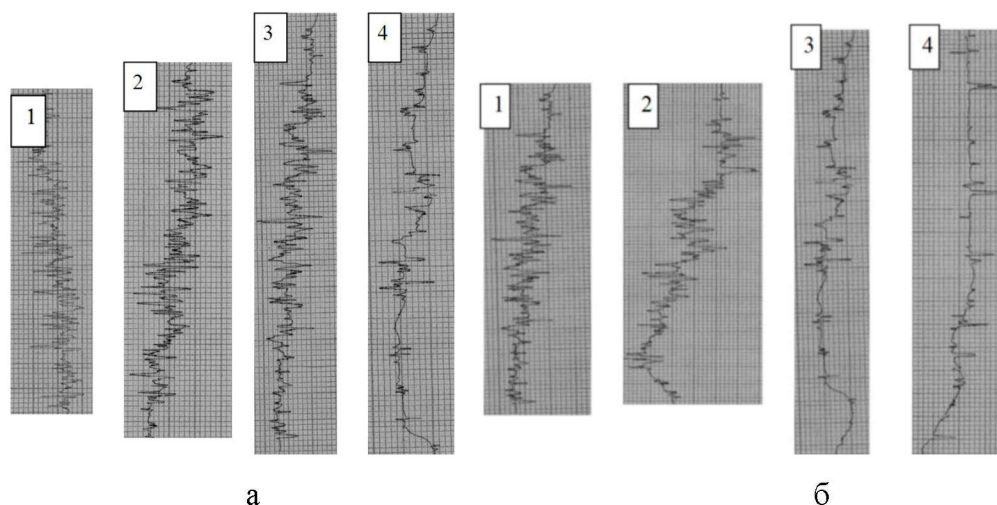


Рис. 3 – Профилограммы отпечатков абразивных зерен, присоединенных к струям, истекающим: а – из цилиндрического сопла и б – сверхзвукового сопла Лавалья

**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 Лавалья. Следовательно, применение сверхзвукового сопла Лавалья 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. Мещеряков. – 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. – Маріуполь: ПДТУ, 2012. – Вип. 24. – С. 224–230.

Поступила в редколлегию 18.06.2014р.