

# МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

---

УДК 621.9

DOI 10.21685/2072-3059-2017-4-7

*Н. Е. Курносов, К. В. Лебединский, А. С. Асосков*

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОХЛАЖДЕНИЯ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА ПРИ ЛЕЗВИЙНОЙ ОБРАБОТКЕ В МАШИНОСТРОЕНИИ СИСТЕМОЙ ПОДАЧИ В ЗОНУ РЕЗАНИЯ ОХЛАЖДЕННОГО ИОНИЗИРОВАННОГО ВОЗДУХА

### **Аннотация.**

*Актуальность и цели.* Объектом исследования является охлаждение режущего инструмента при лезвийной обработке в машиностроении за счет подачи в зону резания охлажденного ионизированного воздуха. Предметом исследования являются процессы охлаждения режущего инструмента, ионизации в закрученных потоках воздуха, механизм взаимодействия ионизированного воздуха с обрабатываемой поверхностью. Цель работы – исследование эффективности применения охлажденного ионизированного воздуха для охлаждения при лезвийной обработке конструкционных материалов и создание компактного и удобного в использовании устройства для оснащения оборудования.

*Материалы и методы.* Исследования процессов выполнены методом экспериментального анализа.

*Результаты.* Приведена разработанная система подачи охлажденного ионизированного воздуха для охлаждения режущего инструмента при обработке конструкционных материалов. Исследованы процессы ионизации в закрученных потоках воздуха, рассмотрен механизм взаимодействия ионизированного воздуха с обрабатываемой поверхностью. Показаны преимущества использования охлажденного ионизированного воздуха при лезвийной обработке конструкционных материалов. Описана система для охлаждения режущего инструмента и зоны резания охлажденным ионизированным воздухом.

*Выводы.* Полученные результаты показывают возможность эффективного использования при лезвийной обработке конструкционных материалов в качестве смазочно-охлаждающих технологических средств охлажденного ионизированного воздуха. Его использование обеспечивает уменьшение значения шероховатости и микротвердости на обработанной поверхности, повышается стойкость режущего инструмента, снижаются себестоимость обработки и экологическая нагрузка на окружающую среду. Разработанная система для охлаждения режущего инструмента и зоны резания охлажденным ионизированным воздухом «InAir» позволяет обеспечить подачу охлажденного ионизированного воздуха в зону обработки для охлаждения режущего инструмента и зоны резания в составе технологического оборудования для обработки конструкционных материалов.

**Ключевые слова:** охлаждение, инструмент, ионизация, вихревая труба, смазочно-охлаждающие технологические средства, лезвийная обработка, эксперимент, закрученный поток.

N. E. Kurnosov, K. V. Lebedinskiy, A. S. Asoskov

## PROVIDING CUTTING TOOL COOLING AT BLADE MACHINING IN THE FIELD OF MECHANICAL ENGINEERING BY THE SYSTEM OF COOLED IONIZED AIR SUPPLY TO THE CUTTING ZONE

### Abstract.

*Background.* The object of the study is cutting tool cooling at blade machining in the field of mechanical engineering by means of cooled ionized air supply to the cutting zone. The subjects of the study are processes of cutting tool cooling, ionization in swirling air flows and the mechanism of interaction of ionized air with the machining surface. The aim of the work is to study the efficiency of using cooled ionized air for cooling at blade machining of structural materials and to create a compact and easy-to-use device for equipping the machinery.

*Materials and methods.* The processes were researched by the method of experimental analysis.

*Results.* The work introduces a developed system of cooled ionized air supply for cutting tool cooling at structural materials machining investigates ionization processes in swirling air flows and considers the mechanism of interaction of ionized air with the machining surface. The article also shows advantages of using cooled ionized air for blade machining of structural materials and describes the system of cutting tool and cutting zone cooling with cooled ionized air.

*Conclusions.* The obtained results show the possibility of effective use of cooled ionized air as lubricating-cooling technologies at blade machining of structural materials. Its usage reduces roughness and microhardness on the machining surface, increases cutting tool resistance, reduces the cost of processing and the environmental issues. The developed system using "InAir" cooled ionized air allows to supply the air for cutting tool and cutting zone cooling to the machining zone as a part of the technological equipment for processing of structural materials.

**Key words:** cooling, tool, ionization, vortex tube, cutting fluids, blade machining, experiment, swirling flow.

### Введение

В настоящее время при лезвийной обработке конструкционных материалов в машиностроении в качестве смазочно-охлаждающих технологических средств (СОТС) преимущественно используются смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ). Существенными недостатками применения СОЖ являются достаточно высокие затраты на их закупку, использование и утилизацию, а также на очистку заготовок и стружки после механической обработки [1–3].

В ряде случаев применение СОЖ при лезвийной обработке конструкционных материалов крайне нежелательно или невозможно.

Перспективным видом СОТС для охлаждения при лезвийной обработке является использование охлажденного ионизированного воздуха. Подача его в зону резания обеспечивает высокое качество обработанных поверхностей и повышает стойкость лезвийных инструментов [4], при этом снижаются затраты на СОТС.

В настоящее время для получения ионизированного воздуха обычно используют электрический коронный ионизатор, что значительно усложняет оборудование.

Большинство известных устройств получения холодного ионизированного воздуха имеют существенные недостатки, такие как:

- отсутствие конструктивной возможности для установки устройства на оборудование для обработки конструкционных материалов;
- сложность и громоздкость конструкции из-за большого количества деталей устройства;
- высокие энергетические затраты на ионизацию за счет коронного разряда и опасность поражения электрическим током;
- неудобство использования, так как не предусмотрено конструктивное исполнение держателя устройства на оборудовании для обработки конструкционных материалов и подведение сжатого воздуха.

Получение холодного воздуха с ионизацией возможно за счет использования эффекта температурного разделения (эффект Ранка-Хилша) в устройстве «вихревая труба». С учетом теплофизики резания и температурных полей, возникающих при обработке конструкционных материалов, а также необходимости экономии требуется обеспечить охлаждение режущего инструмента с минимальными капитальными и эксплуатационными затратами.

Целью настоящей работы является исследование эффективности применения охлажденного ионизированного воздуха для охлаждения при лезвийной обработке конструкционных материалов и создание компактного и удобного в использовании устройства для оснащения оборудования.

### Материалы и методы

В Пензенском государственном университете разработано устройство для получения охлажденного ионизированного воздуха с использованием вихревой трубы [5–7], схема которого показана на рис. 1.

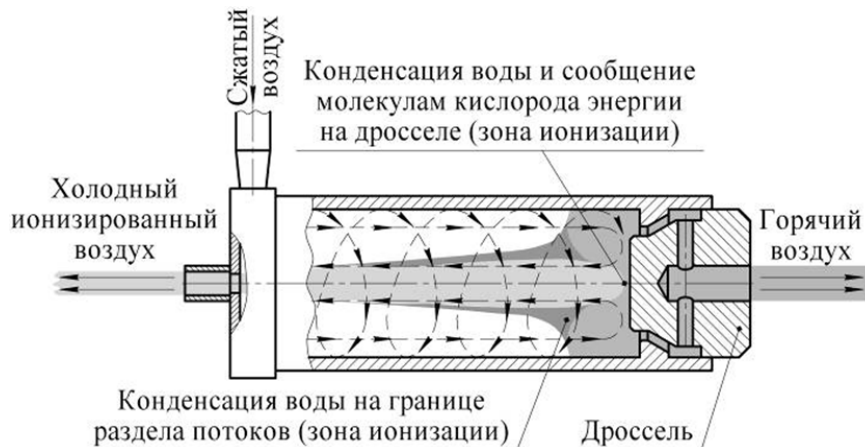


Рис. 1. Схема потоков воздуха в устройстве для получения охлажденного ионизированного воздуха и расположение зон ионизации

Ионизация воздуха в устройстве происходит за счет баллоэлектрического эффекта, возникающего в вихревой трубе при образовании сконденсированной влаги из увлажненного воздуха при появлении отрицательной температуры.

Для проведения экспериментальных исследований охлаждения при лезвийной обработке спроектировано устройство для подготовки и подачи в зону резания охлажденного ионизированного воздуха, смонтированное на суппорте токарного станка (рис. 2).

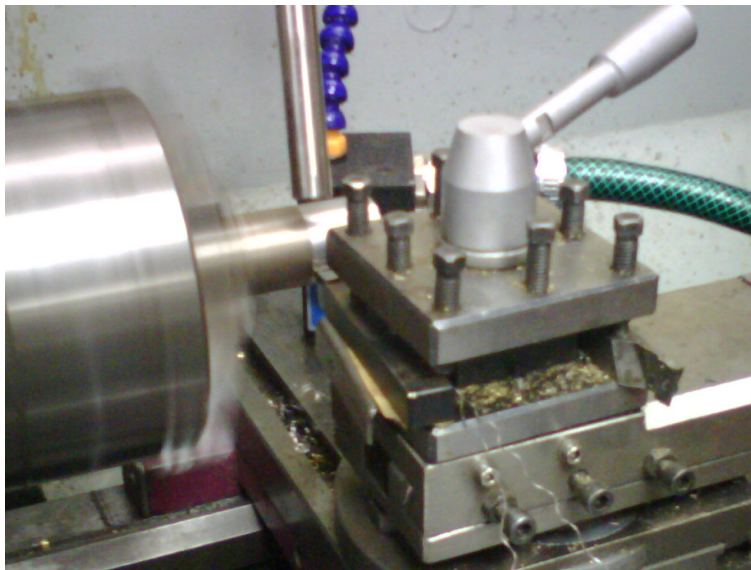


Рис. 2. Исследовательский стенд с устройством для подачи в зону резания охлажденного ионизированного воздуха

Устройство позволяет монтировать его в рабочее пространство станка и управлять параметрами охлаждения и ионизации.

При проведении исследований определялись параметры работы устройства для эффективного охлаждения режущего инструмента и заготовки. Измерялись давление и влажность воздуха на входе в устройство, температура и скорость потока воздуха, выходящего из устройства, концентрация положительных и отрицательных ионов в охлажденном потоке воздуха.

Концентрация ионов измерялась аспирационным методом с помощью счетчика ионов «Сапфир-3М» (при этом максимальная концентрация ионов превышала значение  $n = 1 \cdot 10^5$  в  $1 \text{ см}^3$ ).

Измерение температуры в зоне резания проводилось двумя методами: измерением с помощью естественно образующейся термопары и с помощью тепловизора NEC G120.

В качестве образцов использованы заготовки из конструкционных сталей.

В качестве факторов, оказывающих влияние на качество обработанной поверхности, были выбраны: подача  $s$ , скорость резания  $v$  и концентрация ионов  $n$ . Область варьирования величины подачи принята в диапазоне 0,1–0,2 мм/об, скорость резания – в пределах от 100 до 250 м/мин. Концентрация  $n$  ионов варьировалась в пределах от  $n = 30 \cdot 10^3$  в  $1 \text{ см}^3$  до  $n = 130 \cdot 10^3$  в  $1 \text{ см}^3$ .

В качестве параметров отклика были приняты: высотные параметры шероховатости  $Ra$ ,  $Rz$  и микротвердость  $H\mu$ , характеризующие качество обработанной поверхности.

Параметры шероховатости обработанной поверхности измерялись профилографом-профилометром «Абрис–ПМ7». Микротвердость измерялась прибором ПМТ-3 по отпечатку алмазной пирамидки.

Для оценки эффективности разработанного устройства проводились сравнительные исследования влияния вида смазочно-охлаждающих технологических средств на шероховатость и микротвердость обработанной поверхности. Для сравнения использовали 5 % водную эмульсию на основе эмульсола «Hydroway 1160», охлажденный ионизированный воздух и обработку без подачи смазочно-охлаждающих средств. Устанавливался режим обработки: глубина резания  $t = 0,2$  мм, подача  $s = 0,1$  мм/об, скорость резания  $v = 150$  м/мин, концентрация ионов  $n = 130 \cdot 10^3$  в  $1 \text{ см}^3$ . Контролировались параметры шероховатости и микротвердость обработанной поверхности.

При исследовании стойкости инструмента использовали проходной резец со сменными пластинами из двухкарбидного твердого сплава с параметрами режущей части:  $\varphi = 45^\circ$ ,  $\alpha = 10^\circ$ ,  $\gamma = 10^\circ$ ,  $\lambda = 4^\circ$ . В качестве параметра износа была принята ширина фаски на задней поверхности инструмента  $h_z$ . Измерение величины фаски выполняли при помощи микроскопа EulerScience670TD со шкалой в окуляре ценой деления  $0,01$  мм.

Для выявления смазочного действия образующихся в зоне резания оксидных пленок проведены исследования мощности, затрачиваемой на обработку при различных видах и способах СОТС.

### **Результаты**

Экспериментальными исследованиями [7] установлено, что максимальная концентрация ионов с использованием устройства для получения ионизированного и охлажденного воздуха достигается при давлении воздуха на входе в устройство  $0,5\text{--}0,6$  МПа и при относительной влажности воздуха, близкой к 100 % (рис. 3).

Температура холодного потока опускалась до значения минус  $20$  °С, при этом концентрация ионов достигала  $1,3 \cdot 10^5$  в  $1 \text{ см}^3$ .

Скорость охлажденного потока воздуха до  $20$  м/с позволяла ему легко поступать к обрабатываемой поверхности заготовки и к режущей части инструмента.

Одним из факторов, существенно влияющим на шероховатость и микротвердость обработанной поверхности, а также стойкость лезвийного инструмента, является температура в зоне резания. Результаты исследований влияния концентрации ионов в потоке охлажденного воздуха на температуру в зоне резания приведены на рис. 4.

Установлено, что с увеличением концентрации ионов в потоке охлажденного воздуха от  $10^4 \cdot 1 \text{ см}^3$  до  $10^5 \cdot 1 \text{ см}^3$  температура в зоне резания снижается на  $150\text{--}200$  °С. Положительный эффект обусловлен высокой интенсивностью образования на ювенильных поверхностях обрабатываемой заготовки пленок из оксидов и гидроксидов железа – эффект смазки. При этом уменьшаются силы трения и тепловыделение в зоне резания.

Результаты исследования влияния концентрации ионов в охлажденном воздухе на параметры шероховатости  $Ra$ ,  $Rz$  и микротвердость обработанной поверхности  $H_c$  представлены в виде эмпирических моделей и графически на рис. 5.

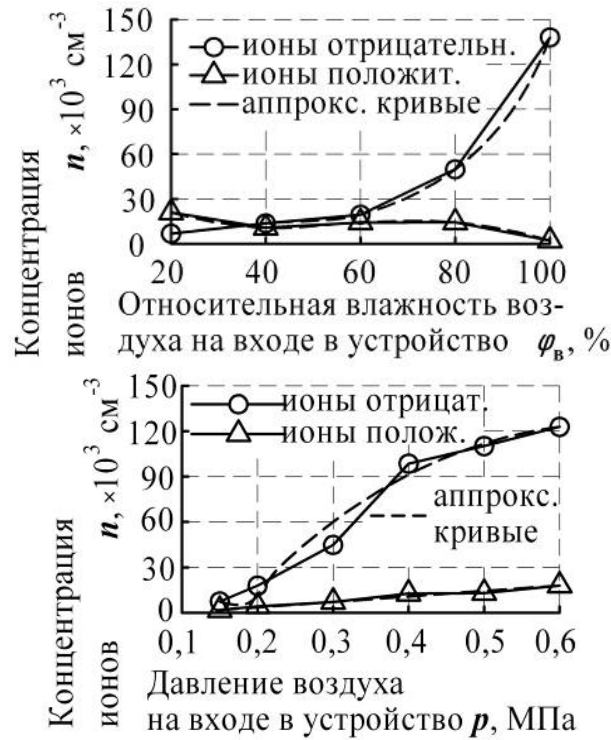


Рис. 3. Зависимости концентрации ионов от влажности и давления воздуха

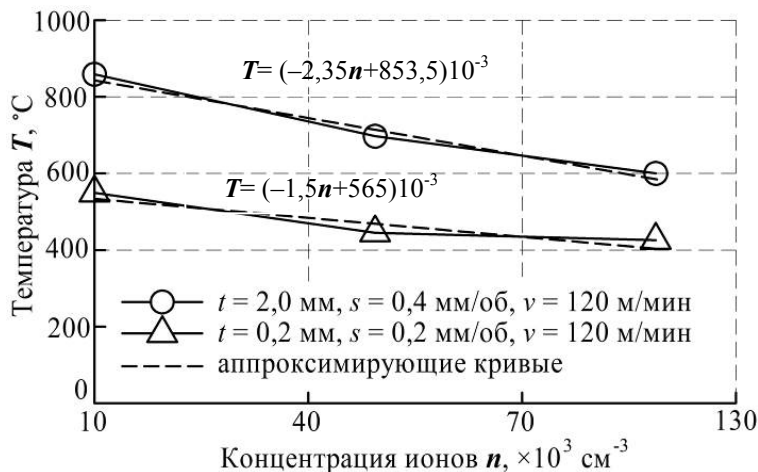


Рис. 4. Зависимость температуры в зоне резания от концентрации ионов в охлажденном воздухе

При увеличении концентрации ионов от  $10^4 \cdot 1 \text{ см}^3$  до  $10^5 \cdot 1 \text{ см}^3$  шероховатость поверхности уменьшалась с  $Ra 2,8$  до  $Ra 1,2$ , микротвердость на обработанной поверхности снизилась от 3600 до 3200 МПа.

Такое существенное уменьшение шероховатости достигается за счет уменьшения адгезионного воздействия в контактной зоне с помощью эффекта электрической поляризации. Экспериментальные данные других исследователей [8–9] также подтверждают данный эффект.

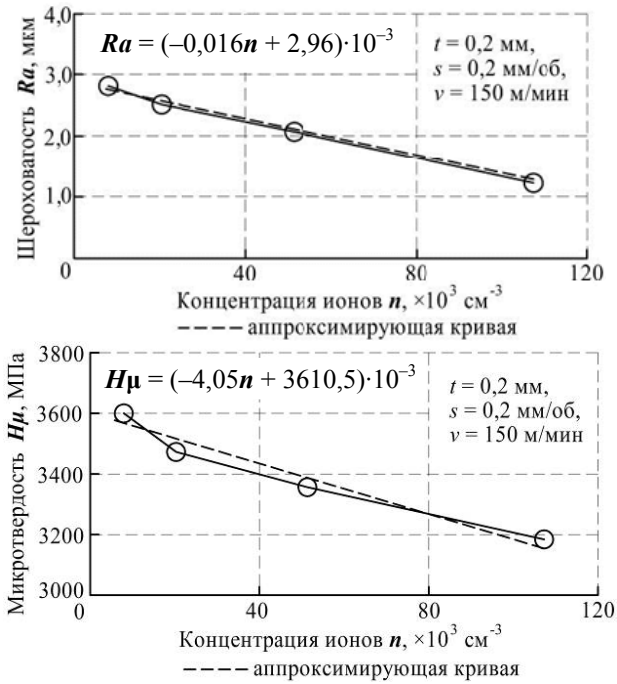


Рис. 5. Зависимость шероховатости поверхности  $Ra$  и микротвердости  $H\mu$  от концентрации ионов в охлажденном потоке воздуха

Результаты сравнительных исследований влияния вида охлаждения, в том числе охлажденного ионизированного воздуха, на шероховатость и микротвердость обработанной поверхности приведены на рис. 6.

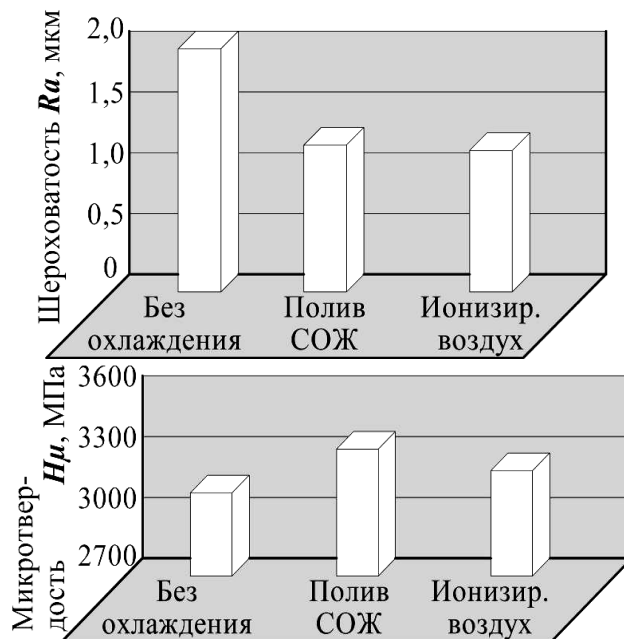


Рис. 6. Диаграммы влияния условий обработки на шероховатость и микротвердость поверхности

Результаты исследования показали, что охлажденный ионизированный воздух и смазочно-охлаждающая жидкость, подаваемая поливом, обеспечивают близкие по величине значения шероховатости и микротвердости обработанной точением поверхности.

На рис. 7 представлены зависимости стойкости лезвийного инструмента от концентрации ионов при критерии предельного износа по величине фаски на задней поверхности резца  $h_z = 0,6$  мм.

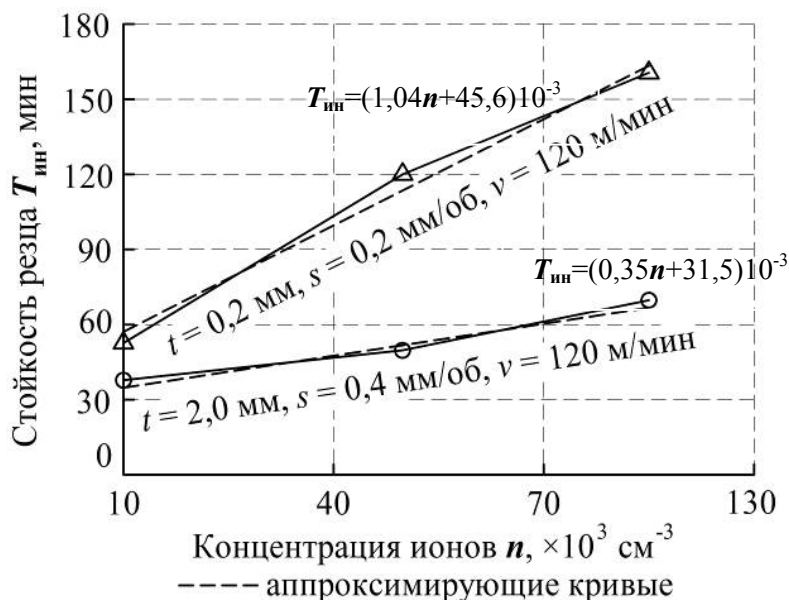


Рис. 7. Зависимости стойкости лезвийного инструмента от концентрации ионов

Установлено, что при увеличении концентрации ионов с  $10^4 \cdot 1 \text{ см}^3$  до  $10^5 \cdot 1 \text{ см}^3$  стойкость инструмента возрастала в 1,9 раза при черновой обработке и в 2,8 раза при чистовой.

Проведены сравнительные исследования стойкости режущего инструмента при различных видах охлаждения. Результаты исследований показали, что при концентрации ионов более  $10^5 \cdot 1 \text{ см}^3$  стойкость резца оказывалась на 20–50 % выше, чем при подаче смазочно-охлаждающих технологических средств поливом.

Для выявления смазочного действия образующихся в зоне резания оксидных пленок проведены исследования мощности, затрачиваемой на обработку при различных видах и способах подачи смазочно-охлаждающих технологических средств.

На рис. 8 приводятся затраты мощности на резание при использовании разработанного устройства.

Уменьшение мощности резания при увеличении концентрации ионов объясняется интенсивным образованием оксидных пленок на обработанной поверхности заготовки и на стружке, которые снижают силы трения между режущим инструментом, заготовкой и стружкой.

Результаты сравнительного исследования рассеиваемой мощности при различных видах охлаждения показали, что смазочный эффект при подаче



в зону резания ионизированного воздуха (при концентрации ионов более  $10^5 \cdot 1 \text{ см}^3$ ) и при подаче эмульсии поливом оказался идентичным (рис. 9), что подтверждает выводы и предположения об образовании пленок оксидов и гидроксидов железа на ювенильных поверхностях, при разрушении которых снижаются силы трения и силы резания.

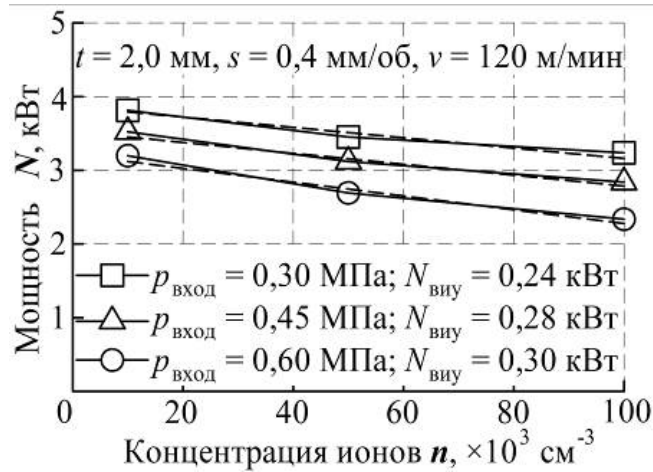


Рис. 8. Зависимость мощности резания от концентрации ионов в ионизированном потоке воздуха при черновом точении

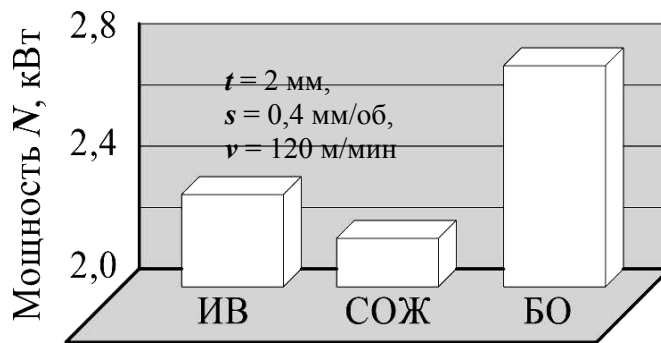


Рис. 9. Мощность резания при различных способах охлаждения зоны резания (режим точения черновой): ИВ – подача ионизированного охлажденного воздуха; СОЖ – подача водной эмульсии поливом; БО – обработка без охлаждения

### Реализация

Создана система для охлаждения режущего инструмента и зоны резания охлажденным ионизированным воздухом «InAir» [10] (рис. 10).

Система представляет собой комплекс устройств:

- магнитное основание для обеспечения надежного крепления на металлическую поверхность станка;
- кран для обеспечения регулировки параметров и подключения к пневмосети;
- гибкая трубка для обеспечения подвода охлаждающего средства в зону обработки;

– устройство «InAir», изготовленное из коррозионноустойчивых материалов.

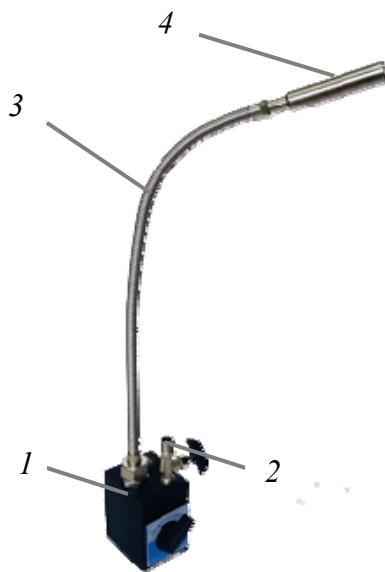


Рис. 10. Система для охлаждения режущего инструмента охлажденным ионизированным воздухом «InAir»

Устройство «InAir» – это вихревая труба особой конструкции, выполненная в компактном формате, реализующая эффект температурного разделения (эффект Ранка-Хилша).

Устройство позволяет обеспечить подачу охлажденного ионизированного воздуха в зону обработки для охлаждения режущего инструмента и зоны резания при компактном расположении составных частей вихревой трубы.

Предложенная система позволила:

- повысить компактность вихревой трубы с ионизацией за счет отказа от громоздких устройств ионизации и монтажа вихревой трубы в полую трубку, что позволяет ее использовать в непосредственной близости от инструмента;

- обеспечить удобство использования, так как предусматривает объединение держателя устройства на оборудовании для обработки конструкционных материалов и магистрали для подведения сжатого воздуха;

- уменьшить энергетические затраты на ионизацию воздуха и исключить опасность поражения электрическим током благодаря отказу от использования коронного разряда;

- упростить конструкцию за счет уменьшения количества элементов устройства.

Система может быть использована на оборудовании для обработки конструкционных материалов при механической обработке.

Устройства «InAir» успешно используются на машиностроительных и станкостроительных заводах России при точении, сверлении, фрезеровании, шлифовании и других операциях.

При переходе на использование в качестве СОТС охлажденного ионизированного воздуха было исключено применение СОЖ и получен существенный экономический эффект.

С санитарной и экологической точек зрения охлажденный ионизированный воздух более предпочтителен, чем жидкости, так как его использование не загрязняет заготовки и рабочее место оператора станка. Даже ограниченное применение такой технологии показало, что при подаче в зону резания в качестве СОТС охлажденного ионизированного воздуха возможна высокопроизводительная обработка на имеющемся оборудовании. При этом обеспечивается повышение стойкости инструмента. При отказе от использования СОЖ отпадает необходимость потребления электроэнергии на нагревание жидкости, работу вытяжных устройств и затрат на приобретение, хранение, сбор и утилизацию СОЖ.

При правильном применении предлагаемая технология обеспечивает снижение себестоимости обработки на 25–30 % и повышение размерной стойкости инструмента на 50–80 %.

### **Заключение**

Полученные результаты показывают возможность эффективного использования при лезвийной обработке конструкционных материалов в качестве СОТС охлажденного ионизированного воздуха. Его использование обеспечивает уменьшение значения шероховатости в 2,3 раза и микротвердости в 1,12 раза на обработанной поверхности. При этом повышается стойкость режущего инструмента в 1,9 раза при черновой обработке и в 2,8 раза при чистовой, снижаются себестоимость обработки на 25–30 % и экологическая нагрузка на окружающую среду за счет ограничения потребления водоземлюсионных и маслосодержащих смазочно-охлаждающих жидкостей.

Разработанная система для охлаждения режущего инструмента и зоны резания охлажденным ионизированным воздухом «InAir» позволяет обеспечить подачу охлажденного ионизированного воздуха в зону обработки для охлаждения режущего инструмента и зоны резания в составе технологического оборудования для обработки конструкционных материалов.

### **Библиографический список**

1. **Schmidt, J.** Hochleistungsbearbeitung ohne Kühlmittel / J. Schmidt // Werkstatt und Betrieb. – 2001. – № 9. – P. 38, 40, 42, 47–49.
2. Свойства режущих масел с присадками жидких кристаллов / В. В. Новиков, В. Н. Латышев, М. С. Маршалов, Е. Е. Нуждина, М. А. Колбашов // Трение и износ. – 2011. – № 6. – С. 452–456.
3. Экспериментальные исследования трибологических явлений при резании материалов / В. Н. Латышев, А. Г. Наумов, В. С. Раднюк, Д. С. Репин, К. В. Курапов, М. С. Маршалов, С. А. Жуковский, О. В. Ткачук // Трение и износ. – 2010. – № 5. – С. 500–510.
4. **Лебединский, К. В.** Система подачи охлажденного ионизированного воздуха «InAir» для охлаждения режущего инструмента / К. В. Лебединский, И. Я. Юнкин, А. В. Никишин // Разработка и внедрение ресурсосберегающих и импортозамещающих технологий и устройств. – Пенза, 2016. – С. 80–83.
5. Ionization of air in a ranque–hilsch vortex tube and the method of obtaining uni- and bipolar ionization / N. E. Kurnosov, K. V. Lebedinskiy, A. A. Nikolotov and D. P. Ale-

- kseev // *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*. – 2015. – Vol. 88, № 6. – P. 1476–1482.
6. Patent WO2013/009207 A1 A61L 9/22. Air Ionization Method and Device for the Implementation Thereof / Kurnosov, N. E. and Inozemtsev D. S. – 2013.
  7. Turning of structural steel while supplying cooled ionized air to the cutting zone / N. E. Kurnosov, K. V. Lebedinskiy, A. V. Tarnopolskiy, A. S. Asoskov, Y. P. Pereilygin // *Australian Journal of Mechanical Engineering*. – 2017. – Vol. 13, № 2. – P 1–7.
  8. Чекалова, Е. А. Механическая обработка с применением активированного воздуха / Е. А. Чекалова, П. Д. Чекалов // *Автомобиле- и тракторостроение в России: приоритеты развития и подготовка кадров*. – М., 2012. – С. 182–185.
  9. Новик, О. В. Научное наследие А. Л. Чижевского в современном машиностроении / О. В. Новик, В. В. Калмыков // *Научно-технические технологии в приборостроении и развитии инновационной деятельности в вузе*. – М., 2013. – С. 70–75.
  10. Заявка № 2016119810 МПК B23Q11/10. Устройство для охлаждения режущего инструмента охлажденным ионизированным воздухом / Н. Е. Курносов, К. В. Лебединский, А. А. Николотов, Д. П. Алексеев. Заяв. 24.05.2016.

### References

1. Schmidt J. *Werkstatt und Betrieb* [Seminar and work]. 2001, no. 9, pp. 38, 40, 42, 47–49.
2. Novikov V. V., Latyshev V. N., Marshalov M. S., Nuzhdina E. E., Kolbashov M. A. *Trenie i iznos* [Friction and wear]. 2011, no. 6, pp. 452–456.
3. Latyshev V. N., Naumov A. G., Radnyuk V. S., Repin D. S., Kurapov K. V., Marshalov M. S., Zhukovskiy S. A., Tkachuk O. V. *Trenie i iznos* [Friction and wear]. 2010, no. 5, pp. 500–510.
4. Lebedinskiy K. V., Yunkin I. Ya., Nikishin A. V. *Razrabotka i vnedrenie resursos-beregayushchikh i importozameshchayushchikh tekhnologiy i ustroystv* [Development and implementation of resource-saving and import-substituting technologies and devices]. Penza, 2016, pp. 80–83.
5. Kurnosov N. E., Lebedinskiy K. V., Nikolotov A. A., Alekseev D. P. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*. 2015, vol. 88, no. 6, pp. 1476–1482.
6. Patent WO2013/009207 A1 A61L 9/22. Air Ionization Method and Device for the Implementation Thereof. Kurnosov, N. E. and Inozemtsev D. S. 2013.
7. Kurnosov N. E., Lebedinskiy K. V., Tarnopolskiy A. V., Asoskov A. S., Pereilygin Y. P. *Australian Journal of Mechanical Engineering*. 2017, vol. 13, no. 2, pp 1–7.
8. Chekalova E. A., Chekalov P. D. *Avtomobile- i traktorostroenie v Rossii: priority razvitiya i podgotovka kadrov* [Automobile and tractor building in Russia: development priorities and personnel training]. Moscow, 2012, pp. 182–185.
9. Novik O. V., Kalmykov V. V. *Naukoemkie tekhnologii v priboro- i mashinostroenii i razvitie innovatsionnoy deyatel'nosti v vuze* [Knowledge-intensive technologies in instrument and mechanical engineering and innovative activity development at universities]. Moscow, 2013, pp. 70–75.
10. *Zayavka № 2016119810 МПК B23Q11/10. Ustroystvo dlya okhlazhdeniya rezhushchego instrumenta okhlazhdennym ionizirovannym vozdukhom* [Application № 2016119810 МПК B23Q11/10. Device for cutting tool cooling with ionized cooled air]. N. E. Kurnosov, K. V. Lebedinskiy, A. A. Nikolotov, D. P. Alekseev. Zaregistrir. [Registered] 24.05.2016.

***Курносов Николай Ефимович***

доктор технических наук, профессор,  
кафедра транспортных машин,  
Пензенский государственный  
университет (Россия, г. Пенза,  
ул. Красная, 40)

E-mail: ttmo-pgu@mail.ru

***Kurnosov Nikolay Efimovich***

Doctor of engineering sciences, professor,  
sub-department of transport machines,  
Penza State University (40 Krasnaya  
street, Penza, Russia)

***Лебединский Константин Валерьевич***

кандидат технических наук, доцент,  
кафедра транспортных машин,  
Пензенский государственный  
университет (Россия, г. Пенза,  
ул. Красная, 40)

E-mail: Lebedinskiy\_K@mail.ru

***Lebedinskiy Konstantin Valer'evich***

Candidate of engineering sciences, associate  
professor, sub-department of transport  
machines, Penza State University  
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

***Асосков Александр Сергеевич***

кандидат технических наук, доцент,  
кафедра транспортных машин,  
Пензенский государственный  
университет (Россия, г. Пенза,  
ул. Красная, 40)

E-mail: asoskov\_w@mail.ru

***Asoskov Aleksandr Sergeevich***

Candidate of engineering sciences, associate  
professor, sub-department of transport  
machines, Penza State University  
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

---

УДК 621.9

**Курносов, Н. Е.**

**Обеспечение охлаждения режущего инструмента при лезвийной обработке в машиностроении системой подачи в зону резания охлажденного ионизированного воздуха / Н. Е. Курносов, К. В. Лебединский, А. С. Асосков // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2017. – № 4 (44). – С. 68–80. DOI 10.21685/2072-3059-2017-4-7**