

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ  
МАТЕРИАЛОВ В СРЕДЕ ОХЛАЖДЕННОГО  
ИОНИЗИРОВАННОГО ВОЗДУХА**

*Н. Е. Курносков, А. В. Тарнопольский, А. С. Асосков*

**IMPROVEMENT OF TURNING MATERIALS  
IN THE ENVIRONMENT CHILLED IONIZED AIR**

*N. E. Kurnosov, A. V. Tarnopolskiy, A. S. Asoskov*

**Аннотация.** *Актуальность и цели.* Температура в зоне резания является негативным фактором при токарной обработке. Увеличение температуры в зоне резания способствует увеличению шероховатости обработанной поверхности, снижению стойкости лезвийного инструмента, снижению производительности и увеличению себестоимости токарной обработки. Применение физически и химически активного ионизированного воздуха в качестве смазочно-охлаждающего технологического средства (СОТС) способствует улучшению показателей токарной обработки. Температура в зоне резания при этом становится позитивным фактором, способствующим высокой скорости физико-химических процессов, протекающих в зоне резания и являющихся основой действия ионизированного воздуха. Известно, что получение ионизированного воздуха и его подача в зону резания на станках осуществляются устройствами, в которых последовательно установлены труба Ранка и коронный ионизатор. Технически рациональнее получать ионизированный воздух с помощью баллоэлектрического эффекта в вихревых потоках воздуха; при этом используется только энергия увлажненного сжатого воздуха под давлением до 0,6 МПа. Цель данного исследования – определение влияния ионизированного в вихревых потоках увлажненного воздуха на шероховатость обработанной поверхности и стойкость лезвийного инструмента в условиях высокой температуры в зоне резания. Данные исследования ранее не проводились. *Материалы и методы.* Исследования выполнялись в лабораторных и производственных условиях с использованием аттестованных приборов и средств измерения. Результаты исследований обработаны с применением программных пакетов LGraph2, Mathcad 13 и др. *Результаты.* Приводятся условия натурных исследований, в ходе которых получены зависимости влияния давления и влажности воздуха в вихревых потоках на концентрацию ионов, а также влияние концентрации ионов на шероховатость обработанной поверхности, стойкость лезвийного инструмента и температуру в зоне резания. Приведены результаты сравнительных исследований процессов резания при использовании в качестве СОТС ионизированного воздуха, традиционно применяемых способов подачи СОТС поливом эмульсией и процесса обработки без подачи СОТС. *Выводы.* Ионизированный в вихревых потоках увлажненный воздух является альтернативой жидким смазочно-охлаждающим технологическим средствам. Его применение способствует улучшению показателей токарной обработки и снижению ее себестоимости.

**Ключевые слова:** температура в зоне резания, шероховатость обработанной поверхности, стойкость лезвийного инструмента, ионизированный воздух, концентрация ионов.

**Abstract. Background.** The temperature in the cutting zone is a negative factor in turning. The increase of temperature in the cutting zone increases the roughness of the processed surface, the decrease of the resistance of the cutting edge of the tool, reduce performance and increase cost for turning. The use of physically and chemically active ionized air as a lubricating-cooling technological means improves the performance of turning. The temperature in the cutting zone becomes a positive factor contributing to the high rate physical-chemical processes occurring in the cutting zone and is the basis of the action of ionized air. It is known that the obtaining of the ionized air and its supply to the cutting zone of the machine by the device in which successively installed pipe is Wound and a corona ionizer. Technically rational to the ionized air using balloelectric effect in the vortex flow of air, it uses only the energy of humidified compressed air under pressure up to 0.6 MPa. The purpose of this study was to determine the influence of ionized in a vortex flow of humidified air surface finish and durability of the blade of the tool under high temperatures in the cutting zone. These studies have not been previously. **Materials and methods.** The study was performed in laboratory and production environments with the use of certified instruments and measuring instruments. The research results are processed using software packages LGraph2, Mathcad 13 and other programs. **Results.** The paper presents the conditions of the field studies, in which the dependences of the influence of pressure and humidity in the eddy currents on the concentration of ions and the influence of ion concentrations on the roughness of machined by turning, the surface resistance of cutting tool and temperature in the cutting zone. The results of comparative studies of cutting processes when used as coolants of ionized air, and traditional methods of feeding coolants-water emulsion and processed without submission of lubricating-cooling technological means. **Conclusions.** Ionized in a vortex flow of the humidified air is an alternative to liquid lubricant-cooling technological means. Its application improves the performance of the turning process and reduce its cost.

**Key words:** temperature in the cutting zone, roughness of the processed surface, vitality blade of the tool, ionized air, concentration of ions.

### **Введение**

Токарная обработка деталей машин и механизмов в наши дни является одной из наиболее распространенных в машиностроении. При этом происходит съем большей части припуска и окончательное формирование качества поверхностного слоя деталей тел вращения, не сопрягаемых с другими деталями. С другой стороны, точение может считаться максимально простым видом механической обработки с наиболее наглядными закономерностями процессов, происходящих в зоне резания, что позволяет переносить результаты исследований обработки точением на другие, более сложные технологические операции.

Качество обработанной поверхности детали, производительность токарной обработки, стойкость лезвийного инструмента, затраты ресурсов токарного станка тесно связаны с температурой в зоне резания. Обычно высокая температура, возникающая в зоне резания (в пределах 600...1000 °С), отрицательно влияет на шероховатость поверхности и стойкость лезвийного инструмента и требует для окончательного формирования качества поверхности детали дополнительного перехода с низкими режимами резания или

проведения последующей абразивной обработки. С увеличением скорости и подачи температура в зоне резания растет более высокими темпами, что не позволяет повысить производительность токарной обработки до уровня эффективной реализации мощности станка [1–3].

Для решения проблемы часто применяется охлаждение жидкостями, подаваемыми в зону резания поливом или распылением, однако такой способ приводит к удорожанию обработки и снижению экологической безопасности окружающей среды [4–6]. Другим способом является подача в зону резания микродоз масла для снижения трения лезвийного инструмента о стружку и обработанную поверхность, тем самым минимизируется действие одного из источников высокой температуры – сил трения [7]. Попутно масло обеспечивает незначительный охлаждающий эффект [7]. Недостатками данного способа являются необходимость дооборудования станка и режущего инструмента и наличие расходного материала – масла. Принципиально иным способом снижения действия температуры в зоне резания на показатели токарной обработки является подача в зону резания физически и химически активного ионизированного воздуха, способствующего образованию на трущихся поверхностях неорганических соединений с железом обрабатываемой стали, обеспечивающих при разрушении эффект смазки [8, 9].

Известны исследования [8, 9], которые показали, что для получения и подачи в зону резания ионизированного воздуха используются различные устройства, в основе которых лежит коронный электрический разряд в потоке сжатого воздуха. Часть устройств совмещает эффект Ранка для охлаждения и коронный разряд [9]. Однако представленные устройства требуют отдельного подвода электроэнергии. Разработано новое техническое решение для получения ионизированного воздуха без подвода электроэнергии – устройство на основе баллоэлектрического эффекта в вихревых потоках увлажненного воздуха [10, 11].

### *Ионизация воздуха при движении в вихревых потоках*

Исследования, целью которых ставилось выяснение основных факторов, влияющих на физическую и химическую активность ионизированного в вихревых потоках воздуха, выполнялись на стенде, в основе работы которого лежит эффект Ранка. Учитывая, что физико-химическая активность ионизированного воздуха связана прежде всего с количеством зарядов, исследуемыми параметрами принимались концентрации положительных и отрицательных ионов.

Анализ энергетических характеристик вихревого ионизирующего устройства при диаметре вихревой камеры 10 мм и давлении подводимого сжатого воздуха 0,6 МПа показал, что в устройстве рассеивается полезная мощность порядка 0,03 кДж/с, которая может затрачиваться на ионизацию молекулярного кислорода воздуха до концентраций  $10^5$  ионов в  $1 \text{ см}^3$ . Для проверки данного предположения был разработан стенд, схема которого показана на рис. 1.

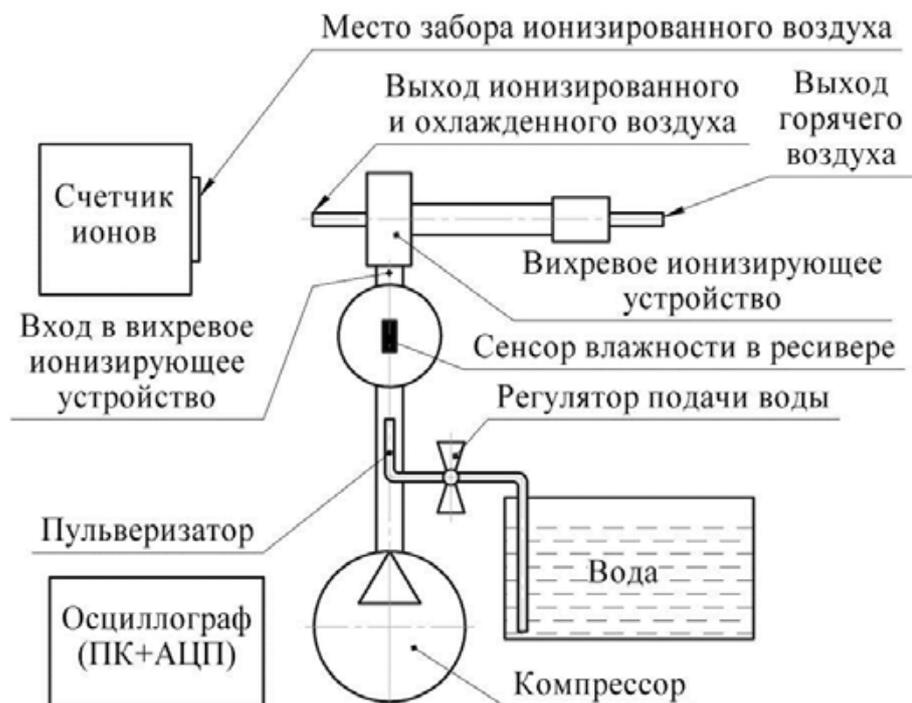


Рис. 1. Схема стенда для исследования зависимости концентрации ионов от внешних факторов

Стенд включал в себя: вихревое ионизирующее устройство с диаметром вихревой камеры 10 мм; компрессор с максимальным давлением до 1,1 МПа; газовый редуктор, оснащенный манометром; трубку-пульверизатор с регулятором подачи воды; сенсор влажности «caHT01.S-2080-ZE05-M08» с рабочим диапазоном измерения влажности от 0 до 100 % и погрешностью  $\pm 2$  %; счетчик ионов «Сапфир-3М»; осциллограф для опроса сенсора влажности на базе персонального компьютера (ПК) со специальным программным обеспечением (LGraph 2) и аналогово-цифровым преобразователем (АЦП).

Пробными исследованиями установлено, что на концентрацию ионов наибольшее влияние оказывают давление и влажность подаваемого на вход в вихревое ионизирующее устройство воздуха.

Влияние давления воздуха на концентрацию ионов во входном штуцере исследовалось при установленном давлении 0,15 МПа и далее с шагом 0,05 МПа до достижения значения 0,6 МПа. При выполнении первой партии опытов увлажнение не использовалось. Последовательность повторялась при увлажнении воздуха до 100 % на входе в устройство. Измерялось устоявшееся значение концентрации ионов. Более подробное описание условий проведения исследований и полученных результатов приведено в работе [12]. Результаты исследований приведены на рис. 2 и 3.

На рис. 2–4 на вертикальной оси отложены значения концентрации ионов в тысячах штук, на что указывает множитель « $\times 10^3$ » перед размерностью; соответственно, на рис. 2 величина концентрации ионов находится в пределах от нуля до 25 000 ионов в  $1 \text{ см}^3$ . Уравнения аппроксимирующих

кривых позволяют получать абсолютное значение концентрации ионов в тысячах штук в  $1 \text{ см}^3$ .

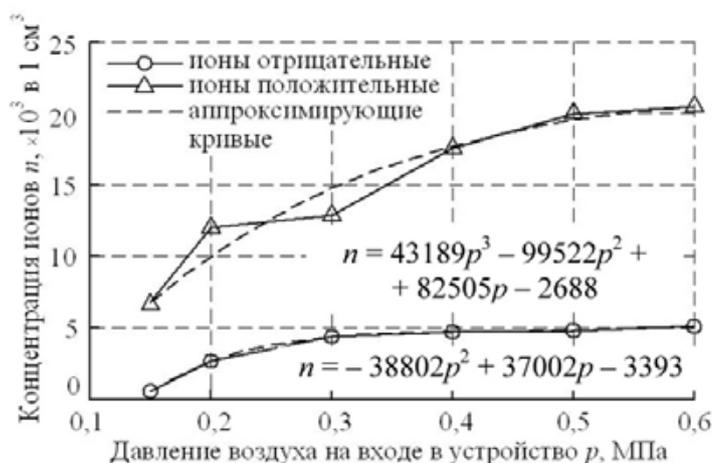


Рис. 2. Зависимости концентрации ионов от давления воздуха на входе (без увлажнения)

Влияние влажности на концентрацию ионов исследовалось при давлении воздуха 0,45 МПа. Измерялись концентрация ионов в холодном потоке воздуха и влажность на входе в течение 60 с. Измерения концентрации ионов проводились при установлении относительной влажности воздуха на входе от 20 до 100 % с шагом 20 %. Каждое измерение выполнялось три раза. Результаты исследований приведены на рис. 4.



Рис. 3. Зависимости концентрации ионов от давления воздуха на входе (при увлажнении воздуха до 100 %)

При отсутствии увлажнения воздуха и повышении давления на входе наблюдалось увеличение концентрации ионов обоих знаков. Это можно объяснить увеличением турбулентности потоков в вихревой камере, что приво-

дит к повышению интенсивности трения воздуха о детали устройства с повышением концентрации ионов.



Рис. 4. Зависимости концентрации ионов от относительной влажности воздуха на входе

Результаты, полученные при увлажнении воздуха на входе в устройство, показывают существенное превышение концентрации отрицательных ионов над положительными. Концентрация отрицательных ионов более чем в пять раз превосходит концентрацию положительных ионов при одинаковых значениях давления. Последнее можно объяснить тем, что при увеличении давления воздуха распыленная пульверизатором вода измельчается на входе в вихревое ионизирующее устройство, что приводит к повышению интенсивности баллоэлектрического эффекта. Это способствует существенному увеличению концентрации отрицательных ионов.

Наблюдалось повышение концентрации ионов в холодном потоке воздуха с ростом относительной влажности воздуха на входе в ионизирующее устройство. Увеличение количества влаги в воздухе перед входом в устройство способствует интенсификации баллоэлектрического эффекта в вихревых потоках.

Для получения максимальной концентрации ионов с помощью вихревого ионизирующего устройства необходимо обеспечивать давление воздуха в пределах от 0,45 до 0,6 МПа и относительную влажность входящего в устройство воздуха, близкую к 100 %.

#### ***Температура в зоне резания и параметры токарной обработки***

Работы ряда ученых, занимавшихся исследованиями лезвийной обработки при использовании ионизированного воздуха в качестве охлаждающей среды, подтверждают, что снижение шероховатости обработанной поверхности и увеличение стойкости лезвийного инструмента связаны с интенсивным образованием оксидов железа на трущихся поверхностях, которые, разрушаясь, снижают трение и адгезионное взаимодействие между инструментом, заготовкой и стружкой [8, 9]. С повышением температуры в зоне резания рас-

тет интенсивность образования оксидных пленок [9]. Также в работе [13] приводятся основные положения теории радикально-цепного механизма действия охлаждающих средств, в соответствии с которыми излучение лучевой энергии и электронов от ювенильной поверхности способствует существенному повышению активности охлаждающих средств, в том числе ионизированного воздуха.

Для исследования влияния ионизированного воздуха, полученного с помощью баллоэлектрического эффекта в вихревых потоках, на температуру в зоне резания, стойкость лезвийного инструмента и шероховатость поверхности был создан стенд на базе токарно-винторезного станка 16К20. Стенд включал в себя вихревое ионизирующее устройство, использовавшееся в предыдущих исследованиях, и резец составной с пластинами из твердого сплава Т5К10. Обработывался пруток из стали 40Х, которая среди распространенных конструкционных сталей имеет более низкую обрабатываемость по сравнению со сталями 40 и 45.

Шероховатость поверхности измерялась профилометром «Абрис-ПМ7». Для исследования стойкости лезвийного инструмента проводилось измерение ширины фаски на задней поверхности бинарным микроскопом МБС-1 со шкалой с разрешающей способностью 0,01 мм. Температура в зоне резания исследовалась двумя методами: оптическим с помощью тепловизора «NEC G120» и методом естественной термопары. Для измерения термической электродвижущей силы скользящего контакта инструмента-заготовки применялся осциллограф на основе персонального компьютера и аналогово-цифрового преобразователя. Управление концентрацией ионов осуществлялось с помощью изменения влажности воздуха на входе в вихревое ионизирующее устройство.

Для проведения сравнительных исследований применялась эмульсия на водной основе «hydroway 1160» ТУ У 24.6-31709624-001: 2005.

Результаты исследований температуры в зоне резания, стойкости лезвийного инструмента и шероховатости обработанной поверхности показаны на рис. 5–7.



Рис. 5. Зависимости температуры в зоне резания от концентрации ионов

Результаты исследования показали, что увеличение концентрации ионов с  $10^4$  в  $1 \text{ см}^3$  до более, чем  $10^5$  в  $1 \text{ см}^3$ , приводило к повышению стойкости режущего инструмента в 1,9 раза при черновой обработке и в 2,8 раза – при чистовой.

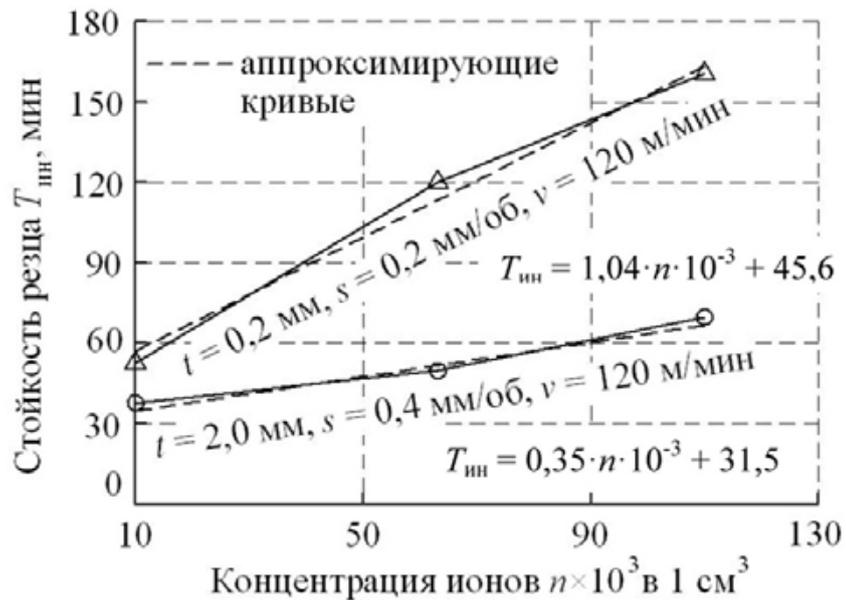


Рис. 6. Зависимости влияния концентрации ионов на стойкость режущего инструмента

С увеличением концентрации ионов в том же диапазоне, что и при исследовании температуры в зоне резания и стойкости лезвийного инструмента, шероховатость обработанной поверхности уменьшилась с 2,8 до 1,2 мкм по показателю среднеарифметического отклонения профиля.

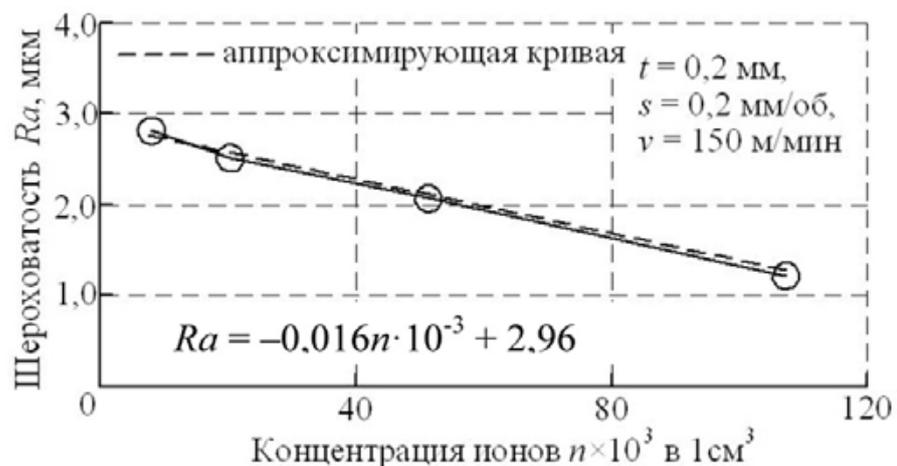


Рис. 7. Зависимость шероховатости поверхности от концентрации ионов в ионизированном воздухе

Объяснить полученные результаты можно тем, что при повышении концентрации ионов в ионизированном воздухе увеличивается количество физически и химически активных частиц, способных взаимодействовать с железом, содержащимся в обрабатываемой стали. Это способствует увеличению скорости химических реакций по образованию оксидных пленок, которые при разрушении снижают трение.

Рассматривались исследуемые параметры при различных видах охлаждения, результаты представлены на рис. 8–10.

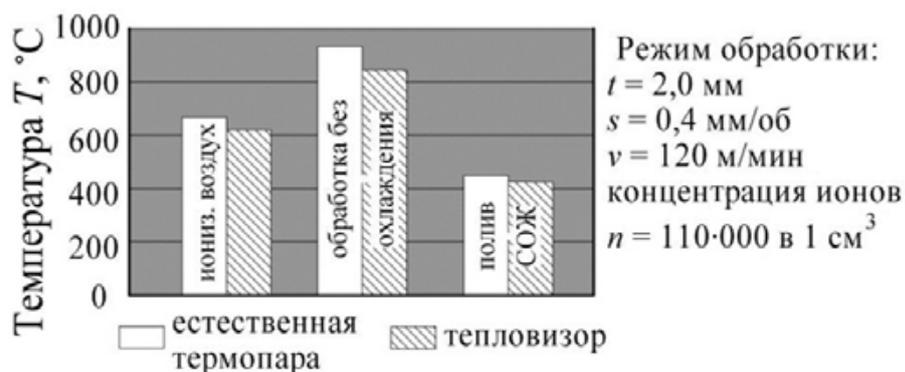


Рис. 8. Диаграмма температуры резания при черновой обработке с различными видами охлаждения

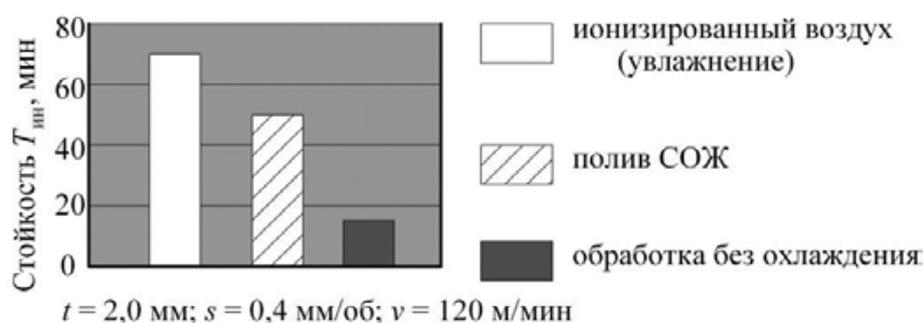


Рис. 9. Диаграмма стойкости лезвийного инструмента (режим черновой)

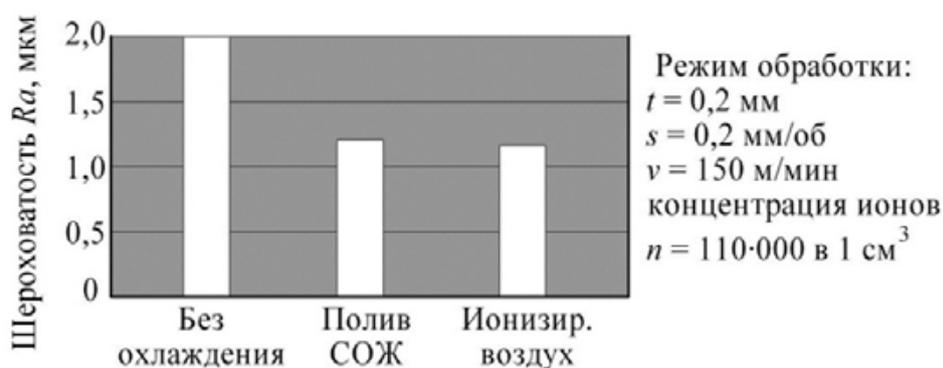


Рис. 10. Влияние различных видов охлаждения на шероховатость поверхности

Результаты исследований показали, что при использовании ионизированного воздуха при концентрации ионов порядка  $10^5$  в  $1 \text{ см}^3$  температура в зоне резания на 15–20 % выше, чем при поливе охлаждающей жидкостью. При этом стойкость лезвийного инструмента увеличивается на 50 % и шероховатость поверхности сравнима с поливом эмульсией. Результаты исследований подтверждают, что действие ионизированного в вихревых потоках воздуха, подаваемого в зону резания, не уступает поливу охлаждающей жидкостью. Температура в зоне резания, являющаяся негативным фактором при токарной обработке, при использовании ионизированного воздуха способствует увеличению интенсивности образования оксидных пленок на трущихся поверхностях и тем самым оказывает положительное влияние на результаты токарной обработки.

На основе результатов исследований, приведенных в статье, получен патент на устройство для охлаждения зоны резания при механической обработке [14].

### *Заключение*

Получение ионизированного воздуха с помощью вихревого ионизирующего устройства технически рационально и в достаточной мере эффективно при лезвийной обработке для компенсации негативного влияния температуры в зоне резания на стойкость лезвийного инструмента и шероховатость обработанной поверхности.

Активное влияние ювенильной поверхности на охлаждающую среду позволяет снизить затраты энергии на подготовку ионизированного воздуха, что делает актуальным использование баллоэлектрического эффекта в вихревых потоках без применения коронного ионизатора.

Положительное влияние величины концентрации ионов в ионизированном воздухе на стойкость лезвийного инструмента и шероховатость обработанной поверхности при токарной обработке подтверждается экспериментально и связано с интенсивностью образования оксидных пленок на трущихся поверхностях в зоне резания. Предельная величина концентрации ионов, при которой исследуемые параметры способны достигнуть предельных значений, не установлена.

### *Библиографический список*

1. Справочник токаря-универсала / В. Ф. Безъязычный, В. Г. Моисеев, Д. Г. Белецкий, М. Г. Шеметов ; под ред. М. Г. Шеметова и В. Ф. Безъязычного. – М. : Машиностроение, 2007. – 576 с.
2. Справочник фрезеровщика / Л. Н. Бердников, В. Ф. Безъязычный, В. Н. Крылов, Е. М. Большаков, П. Д. Мотренко ; под ред. В. Ф. Безъязычного. – М. : Машиностроение, 2010. – 272 с.
3. Зубарь, В. П. Лезвийная обработка закаленных сталей и чугунов взамен шлифования / В. П. Зубарь, А. Г. Тимчук, М. В. Чопенко // Сучасні технології в машинобудуванні : сб. науч. раб. НТУ «ХПИ». – 2010. – № 5. – С. 32–38.
4. Касимов, Л. Н. Ресурсосберегающие технологии механической обработки труднообрабатываемых материалов : моногр. / Л. Н. Касимов. – Уфа : ДизайнПолиграфСервис, 2003. – 182 с.

5. Смазочно-охлаждающие технологические средства для обработки металлов резанием : справочник / под ред. С. Г. Энтелиса, Э. М. Берлинера. – М. : Машиностроение, 1986. – 352 с.
6. Худобин, Л. В. Техника применения смазочно-охлаждающих средств в металлообработке / Л. В. Худобин, Е. Г. Бердичевский. – М. : Машиностроение, 1977. – 189 с.
7. Потапов, В. А. Применение механической обработки с минимальным количеством СОЖ на германских заводах / В. А. Потапов // Машиностроитель. – 1999. – № 11. – С. 46–52.
8. Верещака, А. С. Система экологически безопасного резания / А. С. Верещака, А. К. Кириллов, О. Ю. Хаустова, С. Н. Поляков // Прогрессивная техника и технология – 2001 : тез. докладов II Междунар. конф. – Киев : НТУУ «КПИ», 2001. – С. 39–41.
9. Подураев, В. Н. Механическая обработка с охлажденным ионизированным воздухом / В. Н. Подураев, А. С. Татаринев, В. Д. Петрова // Вестник машиностроения. – 1991. – № 11. – С. 37–42.
10. Turning of structural steel while supplying cooled ionized air to the cutting zone / Nikolay Efimovich Kurnosov, Konstantin Valerevich Lebedinskiy, Aleksander Vladimirovich Tarnopolskiy, Aleksander Sergeevich Asoskov & Yuriy Petrovich Perelygin // Australian Journal of Mechanical Engineering. DOI: 10.1080/14484846.2017.1296809.
11. Курносков, Н. Е. Совершенствование технологии механической обработки с использованием вихревой ионизации воздуха / Н. Е. Курносков, А. В. Тарнопольский, А. С. Асосков // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2013. – № 1. – С. 85–93.
12. Асосков, А. С. Совершенствование технологии лезвийной обработки путем охлаждения зоны резания ионизированным в вихревых потоках воздухом : дис. ... канд. техн. наук : 05.02.08, 05.02.07 / Асосков Александр Сергеевич. – Пенза, 2015. – 237 с.
13. Наумов, А. Г. Развитие теории радикально-цепного механизма действия СОТС при резании металлов / А. Г. Наумов, В. Н. Латышев // Физика, химия и механика трибосистем : межвуз. сб. науч. тр. / под ред. В. Н. Латышева. – Иваново : Иван. гос. ун-т, 2015. – Вып. 12. – С. 5–11.
14. Пат. 125915 Российская Федерация, МПК В 23 Q 11/10. Устройство для охлаждения зоны резания / Курносков Н. Е., Николотов А. А., Асосков А. С., Лебединский К. В., Киринов Е. М. ; заявитель и патентообладатель Пензенский государственный университет. – № 2012152210/02 ; заявл. 04.12.2012, опубл. 20.03.2013.

---

***Курносков Николай Ефимович***

доктор технических наук, профессор,  
кафедра транспортных машин,  
Пензенский государственный университет  
E-mail: ttmo-pgu@mail.ru

***Kurnosov Nikolay Efimovich***

doctor of technical sciences, professor,  
sub-department of transport machines,  
Penza State University

***Тарнопольский Александр Владимирович***

кандидат технических наук, доцент,  
кафедра транспортных машин,  
Пензенский государственный университет  
E-mail: taw48@bk.ru

***Tarnopolskiy Alexander Vladimirovich***

candidate of technical sciences,  
associate professor,  
sub-department of transport machines,  
Penza State University

*Асосков Александр Сергеевич*

кандидат технических наук, доцент,  
кафедра транспортных машин,  
Пензенский государственный университет  
E-mail: asoskov\_w@mail.ru

*Asoskov Alexander Sergeevich*

candidate of technical sciences,  
associate professor,  
sub-department of transport machines,  
Penza State University

---

УДК 621.941

**Курносов, Н. Е.**

**Совершенствование токарной обработки материалов в среде охлажденно-го ионизированного воздуха / Н. Е. Курносов, А. В. Тарнопольский, А. С. Асосков // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2017. – № 2 (22). – С. 183–194.**