

УДК 621.9.025.7

ПРИМЕНЕНИЕ СУХОГО ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ПРИ РЕЗАНИИ ТРУДНООБРАБАТЫВАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ

М. Ш. МИГРАНОВ¹, А. М. МИГРАНОВ², В. Р. МУХАМАДЕЕВ³, А. Ф. САДЫКОВ⁴

¹migmars@mail.ru, ²migranov_art_1993@inbox.ru, ³vener_muhamadeev@mail.ru, ⁴sadykovazamat@gmail.com

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (УГАТУ)

Поступила в редакцию 29.10.2018

Аннотация. Представлены результаты экспериментов зависимости износостойкости режущего инструмента от подачи охлаждающей среды в зону резания. На основании результатов установлены связи между скоростью, температурой резания и относительным линейным износом, по полученным данным наилучшим выбран способ электростатического охлаждения зоны резания. Проанализированы результаты исследований воздействия коронного разряда на охлаждение зоны резания при точении труднообрабатываемых материалов. Установлена зависимость износа по задней поверхности и термоэлектродвижущей силы от дуги и скорости резания при точении без охлаждения, с охлаждением воздухом и с электростатическим охлаждением.

Ключевые слова: сухое трение; точение; инструмент; износ; температура резания; СОТС; ионизированный воздух.

ВВЕДЕНИЕ

В промышленно развитых странах (Япония, США, Германия) происходит уверенный отказ от смазывающе-охлаждающих жидкостей (СОЖ) ввиду неоспоримо доказанной токсичности и неудовлетворительных санитарно-гигиенических условий на рабочем месте. Также применение СОЖ достаточно неэкономично в сравнении с некоторыми источниками охлаждения. Ведется широкий поиск альтернативных способов охлаждения зоны резания. Выбор воздуха в качестве технологической среды (ТС) обусловлен своей доступностью и дешевизной. Воздух может быть подан к станку по специально налаженной сети, а также взят из атмосферы и сжат с помощью компрессора. Эффективность метода заключается также в их повышенной способности выносить из зоны резания мельчайшие частицы продуктов резания, что обеспечивает наблюдение за состоянием инструмента и поверхностью де-

тали в зоне резания. Метод сухого электростатического охлаждения (СЭО) заключается в том, что в зону резания подается ионизированный воздух, который в свою очередь получается за счет ионизации воздуха при прохождении между высоковольтным электродом и отверстием сопла. Происходит управление активностью естественной среды (электрическим разрядом) и последующее воздействие активированной воздушной среды на физико-химические контактные процессы, протекающие на границе раздела между обрабатываемым материалом и режущим инструментом.

СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

Ведутся интенсивные поиски новых способов повышения производительности и эксплуатационных свойств режущего инструмента, не связанных с применением СОЖ. Рассмотрим кратко основные механизмы действия СЭО как одного из видов

смазывающе-охлаждающих технологических средств (СОТС). Согласно [1] смазывающее действие СЭО проявляется в более интенсивном образовании граничной оксидной пленки, адсорбционно и химически связанной с трущейся поверхностью. Толщина пленки колеблется от нескольких десятков до нескольких сотен ангстрем. Сопротивление сдвигу пленки выше, чем у жидких пленок. Высокая интенсивность образования пленки и процесс пассивации объясняется наличием озона и ионов кислорода. Смазывающее и проникающее действия при СЭО проявляется весьма заметно за счет наличия заряженных частиц и их направленного движения в результате как гидродинамического движения воздуха, так и разности потенциалов. Режущие и пластифицирующие свойства СЭО приводят к образованию размягченного слоя, играющего роль смазочного материала. В основе двух последних свойств лежит так называемый эффект Ребиндера, заключающийся в изменении механических свойств твердых тел под влиянием поверхностных физико-химических процессов, приводящих к снижению поверхностной энергии твердого тела и к соответствующему снижению прочности. [1] Одна из специфических особенностей СЭО – сильное электрическое поле и направленное движение униполярно заряженных частиц, вызывающих приток, или наоборот уход электронов с поверхности металла. При положительной короне приповерхностный слой металла оказывается обогащен электронами, при отрицательной – наоборот. Из экспериментальных данных других исследователей [2] известно, что, изменяя режим работы установки СЭО, можно управлять элементарным и фазовым составом поверхностного слоя режущего инструмента. В итоге это ведет к повышению стойкости режущего инструмента.

При использовании товарных марок СОЖ, которые традиционно используются при обработке коррозионно-стойких и жаропрочных сталей и сплавов, приводит к образованию на поверхности пригоревших твердых частиц СОЖ, вследствие чего происходит ухудшение качества обработанной поверхности, что требует дополнительной

обработки. В связи с этим при обработке резанием вышеуказанных материалов впервые использовалось СЭО.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Установить зависимость интенсивности износа режущего инструмента от способа охлаждения зоны резания и схемы подачи СЭО. Определение рациональных режимов обработки резанием и способа охлаждения для последующего практического применения.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Эксперименты проводились на токарно-винторезном станке 1К62, оснащенный измерительной аппаратурой и термоэлектронным преобразователем – термопарой. Охлаждение зоны резания осуществлялось как традиционными СОТС, воздухом, так и установкой СЭО «Варкаш» [2] (рис. 1). В качестве обрабатываемого материала использовалась коррозионно-стойкая хромоникельмолибденовая сталь марки 40ХН2МА и жаропрочный сплав ХН62КМБЮТ. В качестве режущего инструмента использовались резцы из твердых сплавов марок ВК8 и ВК6.

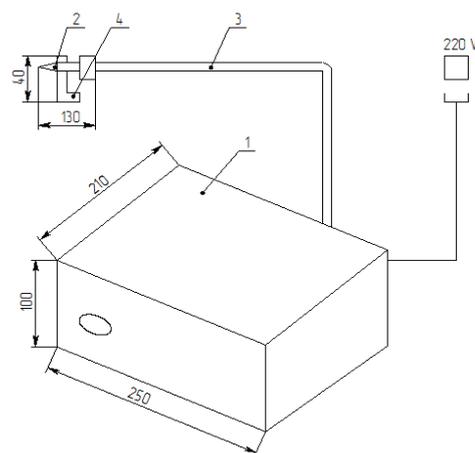


Рис. 1. Установка СЭО «Варкаш» [2]:

1 – блок питания; 2 – сопло; 3 – высоковольтный кабель, служащий для подачи высоковольтного напряжения от блока питания к соплу-ионизатору; 4 – штуцер для подачи сжатого воздуха в сопло-ионизатор

Режимы резания: глубина: $t=0,125$ мм и подаче $s=0,11$ мм/об при постоянной геометрии режущего инструмента: $\varphi = \varphi_1 = 45^\circ$,

$\alpha = \alpha_1 = 10^\circ$, $R = 0,5$ мм. Критерием затупления резца считался износ по задней поверхности $h_3 = 0,3$ мм.

На лицевой панели корпуса блока питания размещены выключатель питания, предохранитель, регулятор и индикатор выходного тока. На задней панели размещены шнур питания, высоковольтный кабель и зажимы для заземления.

Все части устройства, находящиеся под напряжением, размещены внутри корпуса, обеспечивающего защиту от поражения током. Эксперименты проведены при различных схемах:

– когда поток ионизированного воздуха подается с односоплового аппарата непосредственно в зону контакта режущего инструмента с заготовкой (рис. 2);

– когда поток ионизированного воздуха подается с двухсоплового аппарата по передней и задней поверхностям резца (рис. 3);

– когда поток ионизированного воздуха подается с трехсоплового аппарата в трех направлениях по передней, задней и тыльной поверхности резца (рис. 4).

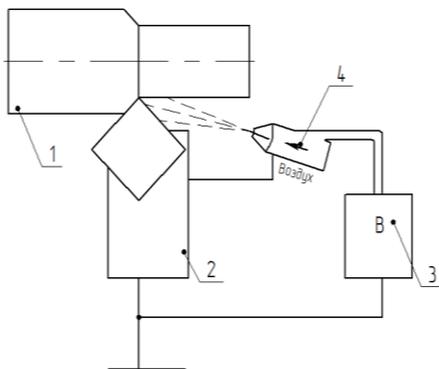


Рис. 2. Схема подачи среды на поверхность резания:
1 – заготовка; 2 – режущий инструмент;
3 – установка «Варкаш»;
4 – сопловой аппарат с коронирующим электродом

При проведении температурных и стойкостных исследований была принята следующая последовательность:

1. Измерялась температура и интенсивность износа инструмента при обработке всухую. Скорости подбирались исходя из возможности выявления минимума относитель-

ного износа или максимума длины пути резания до затупления инструмента, и определения оптимальной скорости резания V_0 ;

2. В зону резания подавалась струя направленного сжатого воздуха под давлением $P = 1-4$ атм, и также проводился замер износа инструмента по задней поверхности на различных скоростях резания;

3. В зону резания подавался ионизированный воздух. Выходной ток установки от 30 до 70 мА.

4. Измерение износа по задней поверхности и термо-ЭДС производились после каждых 50 м пути резания, по 4–5 замеров на каждой скорости.

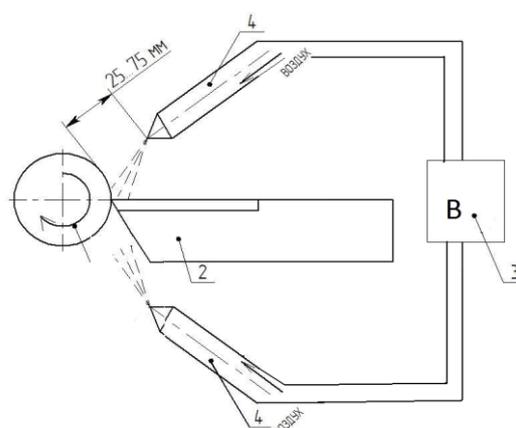


Рис. 3. Схема подачи среды на поверхность резания:
1 – заготовка; 2 – режущий инструмент;
3 – установка «Варкаш»;
4 – сопловой аппарат с коронирующим электродом

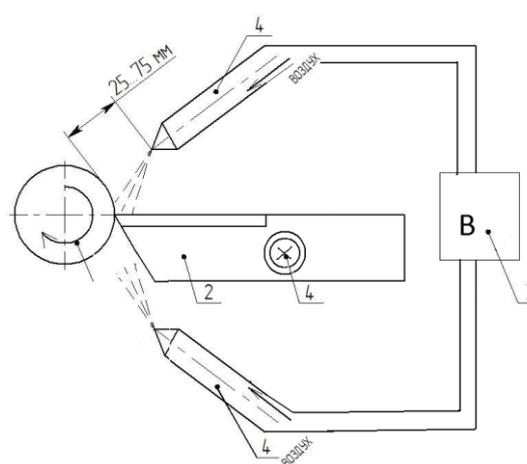


Рис. 4. Схема подачи среды на поверхность резания:
1 – заготовка; 2 – режущий инструмент;
3 – установка «Варкаш»;
4 – сопловой аппарат с коронирующим электродом

На основании предварительно проведенных температурных исследований установлены ограничения по давлению воздуха на входе в сопло-ионизатор $P = 1$ атм и выходному току установки $J = 70$ мА, превышение которых не приводит к снижению температуры резания.

Сводные результаты расчета показателей степени при температурных зависимостях при точении сталей 15X18H12C4ТЮ, 07X16H6, 14X17H2, 12X18H10Т резцами из твердого сплава ВК8 приведены в табл. 1.

Таблица 1

Значения показателей степени X_θ

Обрабатываемый материал	Способ охлаждения			
	всухую ◆	воздух ■	СОЖ	«Варкаш» △
15X18H12C4ТЮ	0,35	0,12	0,24	0,20
12X18H10Т	0,16	0,09	0,12	0,095
07X16H6	0,19	0,29	0,16	0,21
14X17H2	0,39	0,195	0,56	0,306

Установлено, что различные способы охлаждения имеют различный уровень температуры в зависимости от скорости резания. Для численной оценки этой интенсивности использовали показатель X_θ , полученный графически аппроксимацией температурно-скоростной зависимости уравнением

$$\theta = C_\theta \cdot V^{X_\theta}.$$

Сводная таблица значений X_θ (табл. 1) показывает, что способ охлаждения существенно изменяет X_θ , в основном в сторону снижения по сравнению с вариантами без какого-либо охлаждения.

Очевидно, что чем меньше X_θ , тем меньше температура резания и выше эффективность охлаждения и ожидаемая производительность обработки.

Результаты температурных и износостойких экспериментов при точении 12X18H10Т – ВК6М приведены на рис. 5.

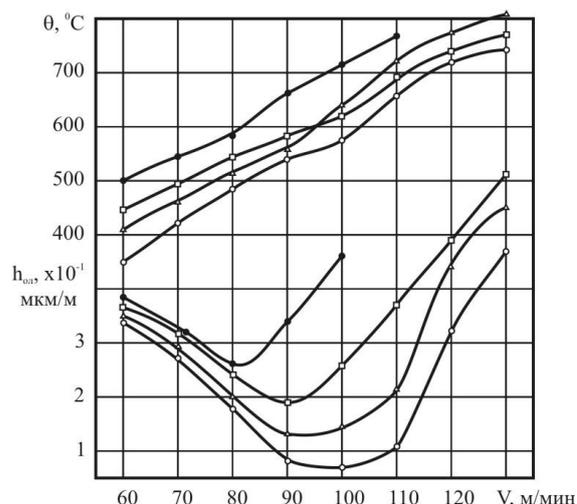


Рис. 5. Влияние скорости резания на температуру и относительный линейный износ резцов из ВК6М при точении 12X18H10Т ($S = 0,11$ мм/об; $t = 0,5$ мм; ● – всухую; □ – сжатый воздух; △ – СОЖ МР-3; ○ – СЭО)

На основании этих экспериментов получены зависимости между скоростью резания V , подачей S , глубиной t и составляющими P_x, P_y, P_z .

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Проанализированы результаты экспериментальных исследований влияния ионизированного воздуха для охлаждения зоны резания на износостойкость режущего инструмента и температуры резания при точении. Проведенные измерения позволили установить зависимость износа по задней поверхности (h_3) от пути резания, при точении без охлаждения, с охлаждением воздухом, с СОЖ и СЭО (рис. 6–9).

Установлено, что метод СЭО для стали 40ХН2МА позволяет в 2 раза повысить размерную стойкость инструмента, но V_0 незначительно снижается (со 112 до 96 м/мин), что несколько снижает производительность обработки. Для жаропрочного сплава ХН62КМБЮТ, где общий уровень интенсивности износа выше, чем для стали 40ХН2МА, СЭО позволяет несколько увеличить оптимальную скорость резания, но размерная стойкость при этом снижается.

Износостойкость режущего инструмента характеризовалась периодом стойкости T :

$$T = \frac{L}{S},$$

где L – путь резания при соответствующем критерии затупления $h_{3}^{кр}$ и относительных линейном $h_{ол}$ и поверхностным относительным $h_{оп}$ износами.

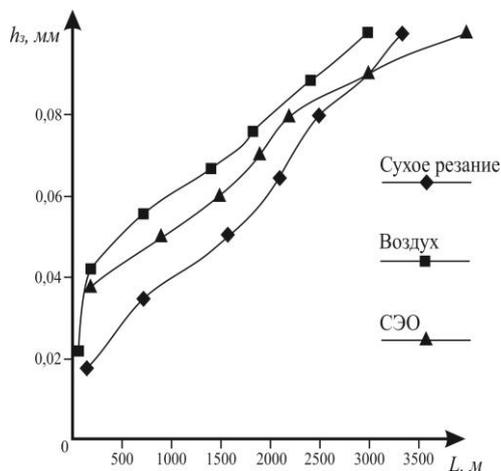


Рис. 6. Зависимость износа по задней поверхности от пути резания при точении заготовки из 40XН2МА резцом ВК6; \blacklozenge – сухое резание; \blacksquare – охлаждение сжатым воздухом; \blacktriangle – СЭО

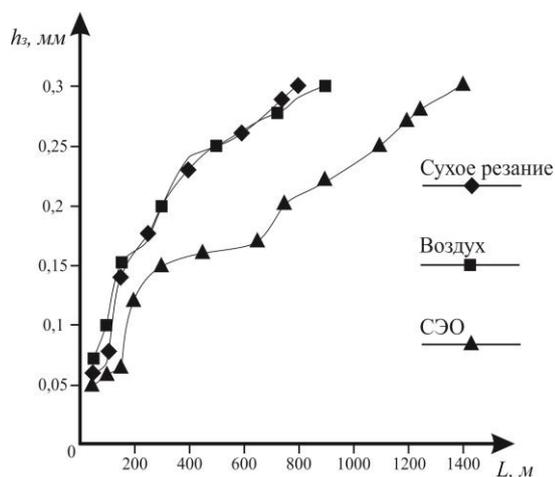


Рис. 7. Зависимость износа по задней поверхности от пути резания при точении заготовки из ХН62КМБЮТ резцом ВК6; \blacklozenge – сухое резание; \blacksquare – охлаждение сжатым воздухом; \blacktriangle – СЭО

Для каждого режима обработки по известной методике [3] рассчитывалась величина относительного линейного и поверхностного износа:

$$h_{ол} = \frac{(h_{3к} - h_{3н}) \cdot 100}{l_k - l_n},$$

$$h_{оп} = \frac{(h_{3к} - h_{3н}) \cdot 100}{(l_k - l_n) \cdot S}$$

где $h_{3к}$ – конечный износ, мм; $h_{3н}$ – начальный износ, мм; l_k – конечная длина пути резания, м; l_n – начальная длина пути резания, м.

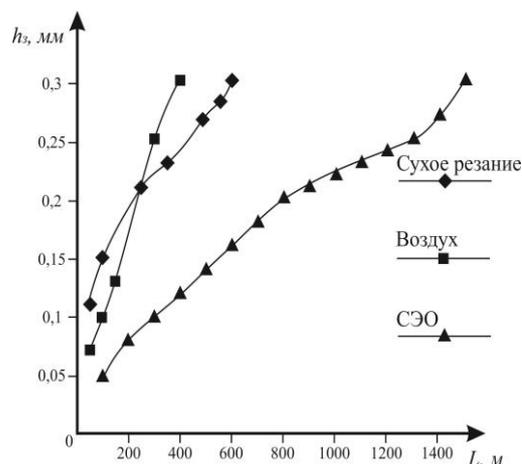


Рис. 8. Зависимость износа по задней поверхности от пути резания при точении заготовки из ЭП 742 ИД резцом ВК6; \blacklozenge – Сухое резание; \blacksquare – охлаждение сжатым воздухом; \blacktriangle – СЭО

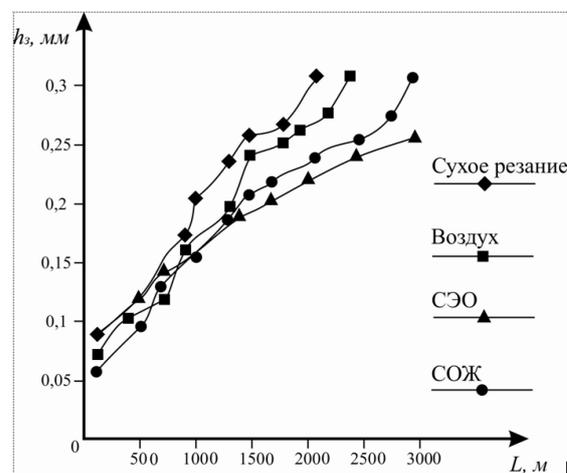


Рис. 9. Зависимость износа по задней поверхности от пути резания при точении заготовки из Н62КМБЮТ резцом ВК8; \blacklozenge – Сухое резание; \blacksquare – охлаждение сжатым воздухом; \blacktriangle – СЭО; \bullet – СОЖ

Следует отметить, что для обоих материалов оптимальное значение термо-ЭДС (соответствующее скоростям V_0 , при которых $h_{ол}$ минимально) не является величи-

ной постоянной, что усложняет оптимизацию режимов резания с СЭО по температурному критерию. Снижение уровня V_0 для стали 40ХН2МА может быть объяснено окислением зоны контакта и уменьшением сил трения, что согласно [1, 2, 4] приводит к уменьшению адгезионной составляющей износа. Для жаропрочного никелевого сплава ХН62КМБЮТ эффект окисления, как смазывающий, почти исключается в диапазоне температур 500–700 °С. Наблюдаемое снижение оптимальных значений E_0 может быть объяснено тем, что для метода СЭО активные ионы воздуха приводят к росту доли тепла, уходящего в стружку и уменьшению теплонапряженности в режущем инструменте [5].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании производственных и лабораторных испытаний установлено следующее:

- применение метода сухого электростатического охлаждения инструмента позволяет сохранить его стойкость, а в ряде случаев повысить ее в 1,5–2,0 раза по сравнению с товарными СОЖ эмульсионного типа при обработке нержавеющей сталей;
- шероховатость обработанной поверхности не ухудшается, а в ряде случаев даже улучшается на один класс с применением метода СЭО;
- возможно увеличение скоростей резания на 25–30% по сравнению с традиционной обработкой при сохранении стойкости инструмента на операциях точения нержавеющей, жаропрочных сталей и сплавов;
- получение большего эффекта от применения метода СЭО дает использование дополнительного устройства (вихревая охлаждающая труба), которая понижает температуру сжатого воздуха на выходе из сопла до 0...10 °С;
- оптимальные параметры эксплуатации установки «Варкаш» – давление воздуха 0,9 атм и сила тока 7–8 мА.
- при использовании метода СЭО повышается надежность работы режущего инструмента, что имеет исключительно важное значение в механообработке, особенно при эксплуатации ГАП и станков с ЧПУ;

– установлено, что для всех исследованных материалов использование СЭО позволяет исключить применение СОЖ МР-3 при повышении стойкости инструмента на тех же режимах резания (рис. 5);

– полученные экспериментальные данные рекомендуются использовать при назначении оптимальных (рациональных) режимов резания по интенсивности износа режущего инструмента;

– эффект от применения метода СЭО, по сравнению с традиционными методами охлаждения режущего инструмента проявляется в довольно широком диапазоне режимов резания, однако следует отметить, что наибольшая польза от применения метода СЭО достигается на высоких скоростях резания (для твердых сплавов – 150...300 м/мин);

– применение СЭО-технологии обеспечивает повышение стойкости инструмента в 2–2,5 раза, повышение производительности обработки в 1,5–2 раза при обработке обычных подделочных сталей;

– использование СЭО способствует существенному уменьшению загрязненности воздуха рабочей зоны, улучшению показателей санитарно – гигиенических условий труда и сокращению расходов по хранению и утилизации по сравнению при использовании обычных товарных СОЖ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бердичевский Е. Г. Смазочно охлаждающие средства для обработки материалов: Справочник. М.: Машиностроение, 1984. 224 с. [E. G. Berdichevsky, *Cutting cooling agent for the treatment of materials*, (in Russian). М.: Mashinostroenie, 1984.]
2. Ахметзянов И. Д., Ильин В. И., Кирий В. Г. Влияние униполярного коронного разряда на процесс обработки резанием // Электрофизические процессы в сильных электрических и магнитных полях: сб. науч. тр. ЧГУ им. И. Н. Ульянова, 1987. 148 с. [I. D. Akhmetzyanov, V. I. Ilyin, V. G. Kyrie, "Influence of unipolar corona discharge on the cutting process", (in Russian), in *Ehlektrifizicheskie process v sil'nyh ehlektricheskikh I magnitnyh polyah*, 148 p., 1987.]
3. Безъязычный В. Ф., Аверьянов И. Н., Кордюков А. В. Расчет режимов резания: учеб. пособие. Рыбинск: РГАТА, 2009. 185 с. [V. F. Bezvazichny, J. N. Averyanov, A. V. Kordyukov, *Calculation of cutting conditions*, (in Russian). Rybinsk: RGATA, 2009.]
4. Гордон М. В. Исследование трения и смазок при резании металлов // Трение и смазки при резании металлов, 2002. С. 7–138 [M. V. Gordon, "The research of friction and

lubricants in metal cutting" (in Russian), in *Trenie i smazki pri rezanii metallov*, pp. 7-138, 2002.]

5. **Криони Н. К., Мигранов М. Ш.** Покрyтия и смазки для высокотемпературных трибосопряжений. М.: Издательство «Инновационное машиностроение», 2016. 377 с. [Н. К. Криони, М. Ш. Мигранов, *Coatings and lubricants for high temperature friction units* (in Russian). Moscow: Innovacionnoe mashinostroenie, 2016.]

ОБ АВТОРАХ

МИГРАНОВ Марс Шарифуллович, проф. зав. каф. ОКМИМ, дипл. инж.-мех. (1987, УАИ). Д-р техн. наук по процессам мех. и физ.-техн. обработки (защ. в РУДН, 2007). Иссл. в обл. триботехн., износостойкости режущего инструмента и повышения эффективности лезвийной обработки резанием.

МИГРАНОВ Артур Марсович, асп. каф. ОКМИМ. Дипл. магистр техники и технологии (РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, 2017). Иссл. в обл. триботехнических параметров смазочных жидкостей.

МУХАМАДЕЕВ Венер Рифкатович, стар. препод. каф. ОКМИМ. Дипл. маг. техн. и технол. (УГАТУ, 2007). Иссл. в обл. износостойкости режущего инструмента.

САДЫКОВ Азамат Фиргатович, асп. кафедры ОКМИМ. Дипл. Специалист (УГНТУ, 2014). Иссл. в обл. триботехнических параметров смазочных жидкостей.

METADATA

Title: Application of static cool dry cutting in the cutting process.

Authors: M. Sh. Migranov ¹, A. M. Migranov ², V. R. Muhamadeev ³, A. F. Sadykov ⁴

Affiliation: Ufa State Aviation Technical University (USATU), Russia.

E-mail: ¹ migmars@mail.ru, ² migranov_art_1993@inbox.ru, ³ vener_muhamadeev@mail.ru, ⁴ sadykvazamat@gmail.com

Language: Russian.

Source: Vestnik UGATU, (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), vol. 22, no. 4 (82), pp. 12-18, 2018. ISSN 2225-2789 (Online), ISSN 1992-6502 (Print).

Abstract: The method of dry electrostatic cooling - a fundamentally new and environmentally friendly way of cooling the cutting tool, a positive effect on the adaptation of the adjustable friction surfaces. This process is "dry" electrostatic cooling of the cutting tool by supplying air to the cutting area, the ionized corona.

Key words: coating; turning; tool wear; cutting temperature; cooling.

About authors:

МИГРАНОВ, Mars Sharifullovich, professor, head of the department of bases of constructing of mechanisms and machines of USATU. Dipl. engineer-mechanic (UAI, 1987). Area of research in the field of tribology, the wear resistance of the cutting tool and improve the efficiency of the blade machining process.

МИГРАНОВ, Artur Marsovich, postgraduate student of the sub-department "Bases of the designing of mechanism and machines" USATU. Mag.-ing. (Gubkin University, 2017). Area of research in tribotechnical parameters of lubricating fluids.

МУХАМАДЕЕВ, Vener Rifkatovich, senior lecturer of the department of bases of constructing of mechanisms and machines of USATU. Mag.-ing. (USATU, 2007). Area of research in the field of wear resistance of the cutting tool.

САДЫКОВ, Azamat Firgатович, postgraduate student of the sub-department "Bases of the designing of mechanism and machines" USATU. Engineer (USPTU, 2014). Area of research in tribotechnical parameters of lubricating fluids.