

УДК 621.91.01

## ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ АКТИВАЦИИ ПОЛИМЕРСОДЕРЖАЩИХ СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ МЕТАЛЛОВ РЕЗАНИЕМ

Д. С. РЕПИН<sup>1</sup>, А. Г. НАУМОВ<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> denisrep@mail.ru, <sup>2</sup> agn8@yandex.ru

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России» (ИПСА ГПС МЧС России)

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «Ивановский государственный университет» (ИВГУ)

Поступила в редакцию 20.05.2020

**Аннотация.** В настоящей работе исследовано влияние активации коронным разрядом кислородсодержащих полимерсодержащих смазочно-охлаждающих технологических средств (СОТС) на работоспособность режущего инструмента. В качестве механической обработки металлов выбрана операция сверления. Исследовано влияние активированных СОТС на период стойкости режущего инструмента в зависимости от скорости резания и подачи. По результатам проведенных экспериментов установлены математические зависимости периода стойкости режущего инструмента от скорости резания и подачи.

**Ключевые слова:** смазочно-охлаждающее технологическое средство (СОТС); коронный разряд; период стойкости; режущий инструмент; поливиниловый спирт; полиэтиленгликоль; присадки; ионизатор-озонатор.

### ВВЕДЕНИЕ

При механической обработке металлов резанием для снижения интенсивности изнашивания режущего инструмента и уменьшения шероховатости обрабатываемой поверхности применяют различные СОТС.

В связи с разнообразием требований, предъявляемых к СОТС для механической обработки металлов, в них вводят компоненты различного функционального действия. Перспективным путем решения ряда этих задач является совершенствование СОТС посредством введения в них различных по природе и химическому строению функциональных присадок.

Применение в качестве присадок высокомолекулярных соединений способствует улучшению смазочных свойств СОТС. Из анализа результатов исследований по данной

тематике следует отметить направление по использованию в качестве эффективных присадок к СОТС полимерных соединений. Данный вид присадок эффективен благодаря глубокому и многостороннему воздействию на физико-химические и механические процессы и явления, происходящие в зоне резания [1].

Исходя из анализа литературных источников, а также по результатам проведенных предварительных испытаний в качестве полимерных присадок к СОТС были выбраны полиэтиленгликоль (ПЭГ) и поливиниловый спирт (ПВС) (табл. 1).

Таблица 1

#### Полимерные присадки

Название полимера	Химическая формула
Полиэтиленгликоль	HO-( $-\text{CH}_2\text{CH}_2\text{O}-$ ) <sub>n</sub> -OH
Поливиниловый спирт	$[-\text{CH}_2\text{CH}(\text{OH})-]_n$

Выбранные вещества не имеют запаха и нетоксичны, обладают высоким содержанием кислорода. Благодаря содержанию атомов кислорода они обладают хорошей растворимостью в водных растворах. Деструкция в водных растворах вызывается присутствующими в полимерах в небольших количествах гидроперекисей.

Существует предположение, что смазочное действие СОТС с присадками полимеров возможно усилить внешним воздействием [2]. Как показывают экспериментальные данные и результаты в области химической кинетики [3, 4], скорость реакций, процессы образования свободных радикалов и атомов зависят от электрического метода активации СОТС. Данный вид активации интенсифицирует окислительные процессы, повышает химическую активность среды, в результате чего происходит образование промежуточных неустойчивых соединений. Исключительно важным фактором, определяющим химическую активность СОТС, является способность его активных молекул разрушаться на реакционные частицы – атомы, радикалы, т. к. только при непрерывной генерации радикалов возможна разветвленная, непрерывная химическая реакция, а, следовательно, и поддержание на контактных площадках стабильных химических пленок.

Процесс образования поверхностных радикалов при резании может осуществляться различными путями. Вследствие разрыва связей в молекуле СОТС свободными валентностями, в результате взаимодействия электронов, эмитируемых ювенильной поверхностью, с молекулами среды, температурой в зоне резания, а также физическим воздействием на применяемые СОТС.

Исследование механизма химического взаимодействия радикалов среды с металлическими поверхностями позволит планировать пути целенаправленного регулирования химических реакций при резании, создать за счет этих реакций защитные пленки на режущем инструменте и стружке, учитывать возможность активации нужных химических реакций различными методами, в данном случае физической. Правильным подбором компонентов среды и соответствующим ме-

тодом активации можно вызвать необходимую реакцию и получить на контактных площадках резца и стружки окисные пленки, интерметаллоидные, металлополимерные химические соединения с заранее заданными свойствами.

С этой целью СОТС, содержащие присадки полимеров, подвергнем воздействию коронного разряда. Процессы окисления и химического взаимодействия происходят с образованием промежуточных элементов, свободных атомов и радикалов. Максимальной способностью к генерации свободных атомов и радикалов обладают вещества, характеризующиеся непрочной связью между атомами в молекуле. В данном случае это полимеры, имеющие в своем строении боковые цепи. Но не исключена вероятность разрушения и главной цепи полимера.

Важно отметить, что химизм смазки при резании зависит от способности СОТС и их специальных присадок генерировать в зоне резания или в объеме среды реакционные элементы – радикалы, свободные атомы. Активированные кислородсодержащие полимерные присадки, разрушаясь, генерируют активные радикалы, наличие которых в зоне резания оказывает положительное действие как с использованием твердосплавного, так и быстрорежущего инструментов [3].

#### **ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ АКТИВИРОВАННЫХ КОРОННЫМ РАЗРЯДОМ ПОЛИМЕРСОДЕРЖАЩИХ СОТС НА ПЕРИОД СТОЙКОСТИ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА ПРИ СВЕРЛЕНИИ**

Стоит подчеркнуть, что процесс сверления – один из распространенных методов получения отверстия. Режущим инструментом здесь служит сверло. Сверло – более сложный инструмент, чем, например, резец. В более сложных условиях протекает и процесс резания сверлом: затруднен отвод стружки и подвод охлаждающей жидкости; наблюдается значительное трение стружки о поверхность канавок сверла и самого сверла об обработанную поверхность и т. д. Все это вызывает более тяжелые по сравнению с точением условия процесса стружкообразования при сверлении, большие деформации срезае-

мого слоя, увеличенное тепловыделение, повышенный нагрев сверла.

Если рассматривать процесс стружкообразования на небольшом участке режущей кромки, то он подчиняется тем же закономерностям и сопровождается теми же явлениями, что и при точении: упругие и пластические деформации, тепловыделение, наростообразование, упрочнение, износ инструмента здесь возникают по тем же причинам.

Для подтверждения высказанной теории были проведены стойкостные испытания с использованием сверл из быстрорежущей стали марки Р6М5.

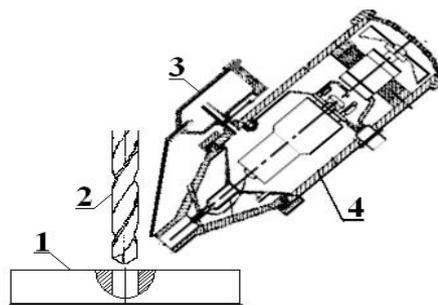
Применение быстрорежущей стали обусловлено тем, что она более чувствительна к адгезионным взаимодействиям с обрабатываемыми материалами и проявлениям химического изнашивания по сравнению с другими инструментальными материалами; имеет в своем составе простые и сложные карбиды легирующих элементов, участвует в синтезе разделительных смазочных пленок, что позволяет более явно проследить эффективность действия того или иного СОТС.

В качестве обрабатываемого металла использовалась заготовка из титанового сплава ВТ6.

Образцы были изготовлены в форме диска, что позволяло обеспечить возможность многократного проведения экспериментов. Используемые образцы имели следующие размеры:

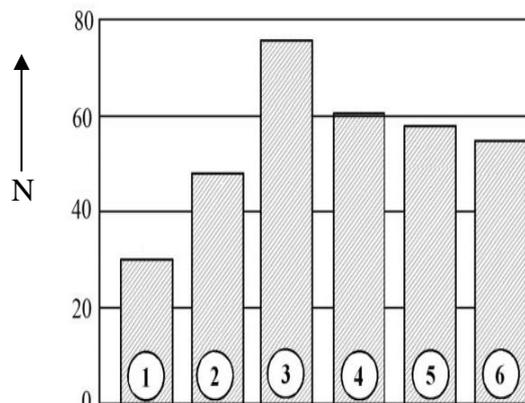
- диаметр 80 мм;
- толщина 10 мм.

Режимы резания соответствовали обработке титанового сплава ВТ6 на операции сверления. Подача СОТС осуществлялась капельным путем и составила 110–120 капля в минуту. Ионизация осуществлялась специально сконструированной установкой посредством электрических разрядов. Для этого применялся прибор – ионизатор-озонатор, принцип работы которого заключался в зажигании коронного разряда [5]. Ионизатор-озонатор со специально разработанной насадкой размещался на установке, как показано на рис. 1.



**Рис. 1.** Схема размещения ионизатора-озонатора при испытании на сверлении: 1 – обрабатываемый материал; 2 – режущий инструмент; 3 – емкость для подачи СОТС; 4 – ионизатор-озонатор

На рис. 2 представлены результаты по изучению влияния активированного полимерсодержащего СОТС на изменение работоспособности режущих инструментов при сверлении титанового сплава ВТ6. Полученные данные явно показывают эффективность применения активированных полимерсодержащих СОТС.



**Рис. 2.** Диаграмма стойкости сверл из быстрорежущей стали Р6М5 при сверлении титанового сплава ВТ6 ( $V = 18$  м/мин,  $t = 3,35$  мм,  $S = 0,1$  мм/об):  
1 – резание без СОТС;  
2 – Эфтол; 3 – Эфтол + ПВС (-);  
4 – Эфтол + ПВС (+); 5 – Эфтол + ПЭГ (-);  
6 – Эфтол + ПЭГ (+)

По результатам проведенных экспериментов были установлены математические зависимости стойкости режущего инструмента от скорости резания и подачи при применении активированного полимерсодержащего СОТС при сверлении.

Эмпирические зависимости периода стойкости режущих инструментов при использовании различных СОТС, полученные на основании экспериментальных исследований, представлены в табл. 2.

Таблица 2

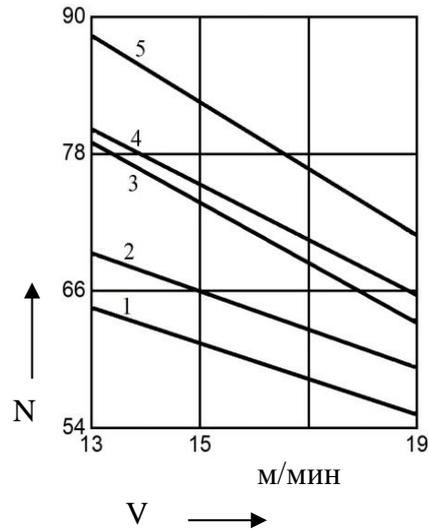
**Математические модели периода стойкости режущего инструмента**

Исследуемое СОТС и знак на коронирующем электроде	$T = f(V, S)$
Эфтол	$T = \frac{137,68}{V^{0,4} S^{0,11}}$
Эфтол + ПВС (-)	$T = \frac{235,77}{V^{0,58} S^{0,21}}$
Эфтол + ПВС (+)	$T = \frac{171,58}{V^{0,49} S^{0,2}}$
Эфтол + ПЭГ (-)	$T = \frac{268,27}{V^{0,58} S^{0,11}}$
Эфтол + ПЭГ (+)	$T = \frac{137,9}{V^{0,4} S^{0,14}}$

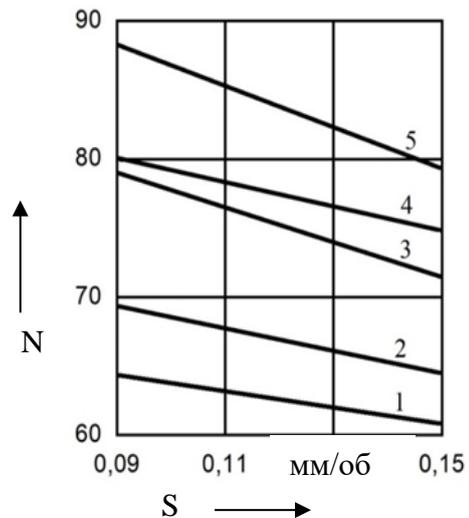
В проведенных экспериментах изучалось влияние скорости резания и подачи на эффективность действия исследуемых СОТС. Эффективность действия СОТС оценивалась по количеству полученных отверстий. Установлено, что наибольшее влияние на эффективность СОТС оказывает скорость резания (рис. 3).

Повышение скорости резания с 13 м/мин до 19 м/мин снижает стойкость инструмента в 1,3 раза. Увеличение подачи также уменьшает стойкость инструмента, хотя не так значительно, как скорость резания, – в 1,1 раза (рис. 4).

Проведенные опыты показывают, что применение активированных полимерсодержащих СОТС позволяет повысить стойкость режущего инструмента по сравнению с применением базового СОТС. Как видно, наилучшие результаты были получены при воздействии отрицательного разряда.



**Рис. 3.** Зависимость периода стойкости от скорости резания при сверлении титанового сплава ВТ6 режущим инструментом Р6М5:  
 1 – Эфтол; 2 – Эфтол + ПЭГ (+);  
 3 – Эфтол + ПЭГ (-); 4 – Эфтол + ПВС (+);  
 5 – Эфтол + ПВС

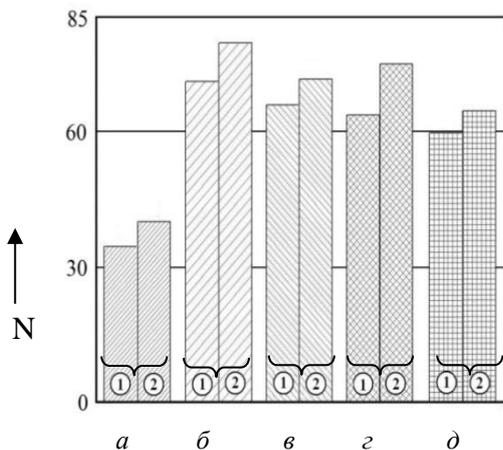


**Рис. 4.** Зависимость периода стойкости от подачи при сверлении титанового сплава ВТ6 режущим инструментом Р6М5:  
 1 – Эфтол; 2 – Эфтол + ПЭГ (+);  
 3 – Эфтол + ПВС (+); 4 – Эфтол + ПЭГ (-);  
 5 – Эфтол + ПВС (-)

Столь значительное влияние отрицательной короны по сравнению с положительной на эффективность действия растворенных кислородсодержащих полимерных присадок в СОТС в процессе резания, возможно, объясняется физикой коронного разряда.

Механизм образования частиц при отрицательной короне при данном фиксированном напряжении позволяет говорить о том, что энергия полученных частиц превышает энергию частиц, образованных при положительной короне. Вследствие этого процесс разрушения полимера, растворенного в СОТС, происходит интенсивнее, и вероятность деструкции полимера возрастает.

Диаграмма зависимости стойкости режущего инструмента от скорости резания и подачи также показывает влияние скорости резания на стойкость инструмента по сравнению с подачей. Наибольшее количество отверстий получается при минимальной скорости резания и максимальной подаче (рис. 5).



**Рис. 5.** Зависимость стойкости от скорости резания и подачи при использовании активированных полимерсодержащих СОТС при сверлении титанового сплава ВТ6 режущим инструментом Р6М5:  
 а – Эфтол; б – Эфтол + ПВС (-);  
 в – Эфтол + ПВС (+);  
 г – Эфтол + ПЭГ (-); д – Эфтол + ПЭГ (+);  
 1 – ( $V_{max}$ ,  $S_{min}$ ); 2 – ( $V_{min}$ ,  $S_{max}$ )

Проведенные опыты показали, что применение активированных полимерсодержащих СОТС вследствие способности к генерации свободных радикалов и зарождению цепных реакций позволяет повысить период стойкости режущего инструмента. Высокая эффективность растворенных полимерных присадок в СОТС с последующей активацией может быть объяснена образованием в контактной зоне перекиси водорода и последующим разложением с образованием хими-

чески активного атомарного кислорода или радикалов гидроксила.

Таким образом, совокупное действие полимерных присадок, растворенных в СОТС, и последующая активация коронным разрядом обеспечивают образование стабильных смазочных пленок на режущих гранях инструмента, что приводит к значительному повышению его стойкости [6].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение теории радикально-цепного механизма позволяет с научной точки зрения обосновать такое направление в повышении эффективности СОТС, как его предварительная активация, в частности, активация электрическими зарядами, которая и в настоящее время не потеряла своей актуальности.

Таким образом, сущность концепции активации состоит в том, что можно повысить химическую активность практически любых смазочных сред за счет сообщения им дополнительной энергии с помощью использования физических воздействий различной природы. Следствием этого процесса является частичная деструкция смазки и образование на контактных поверхностях твердых тел антифрикционных пленок, способных экранировать интерметаллические связи в контактной зоне, обеспечивать снижение энергозатрат на трение и уменьшать износ металлических поверхностей.

Технологии физической активации СОТС находят все большее применение, т. к. на фоне резкого удорожания СОТС и все более ужесточающихся требований к экологической чистоте технологий механической обработки эти методы позволяют в значительной степени повысить активность СОТС и тем самым уменьшить его расход через зону обработки, а значит, и общую его потребность. Исследование механизма химического взаимодействия радикалов среды с металлическими поверхностями позволит планировать пути целенаправленного регулирования химических реакций при резании, создать за счет этих реакций защитные пленки на режущем инструменте и стружке, учитывать возможность активации нужных химических реакций различными методами,

в данном случае физической. Правильным подбором компонентов среды и соответствующим методом активации можно вызвать необходимую реакцию и получить на контактных площадках резца и стружки окисные пленки, интерметаллоидные, металлополимерные химические соединения с заранее заданными свойствами.

В результате проведенных исследований удалось установить положительное влияние кислородсодержащих полимерных присадок к СОТС на процесс сверления металлов.

Применение активированных полимерсодержащих СОТС позволяет повысить стойкость осевого режущего инструмента из быстрорежущей стали Р6М5 в 2,5 раза при использовании активированных СОТС с присадкой поливинилового спирта и в 2 раза – при использовании присадки полиэтиленгликоля.

На основании экспериментальных данных получены регрессионные математические зависимости периода стойкости режущего инструмента от режимов резания.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Подзолков А. И., Дубовик Ю. А., Бабенко Д. А. Влияние полимерсодержащих смазочно-охлаждающих технологических средств на эффективность резания металлов // Вестник ХНТУ. 2007. № 3 (29). С. 184–189. [ A. I. Podzolkov, Yu. A. Dubovik, D. A. Babenko, "Influence of polymer-containing lubricating and cooling technological means on the efficiency of metal cutting", (in Russian), in *Vestnik HNTU*, no. 3 (29), pp. 184-189, 2007. ]

2. Латышев В. Н. Повышение эффективности СОЖ. М.: Машиностроение, 1985. 64 с. [ V. N. Latyshev, *Improving the efficiency of the coolant*, (in Russian). М.: Mashinostroenie, 1985. ]

3. Репин Д. С., Латышев В. Н., Наумов А. Г. Влияние активированных полимерсодержащих СОТС при обработке металлов резанием // *Металлообработка*. 2011. № 4 (64). С. 2–4. [ D. S. Repin, V. N. Latyshev, A. G. Naumov, "The influence of activated polymer-containing lubricant-cooling agent tools at metal cutting", (in Russian), in *Metalloobrabotka*, vol. 4 (64), pp. 2-4, 2011. ]

4. Репин Д. С. Применение полимерсодержащих СОТС при резании металлов // *Техника и технологии трибологических исследований: сб. статей IV международ. науч.-практ. конф. Иваново, 2015*. С. 60–65. [ D. S. Repin, "Application of polymer-containing STS when cutting metals Technique and technology of tribological research", (in Russian), in *Collection of articles IV Intern. scientific-practical Conf.*, 2015, pp. 60-65. ]

5. Устройство для получения ионизированных и озонированных СОТС / В. Н. Латышев и др. // Патент РФ № 2287419. Оpubл. 20.11.2006. Бюл. № 32. [ V. N. Latyshev, et. al., "Device for obtaining ionized and ozonated lubricating and cooling technological means", Patent RF 2287419, 2006. ]

6. Влияние активированных полимерсодержащих СОТС на характеристики процессов лезвийного резания металлов / А. Г. Наумов и др. // *Металлообработка*. 2018. № 1 (103). С. 2–5. [ A. G. Naumov, et. al., "The influence of activated polymer-containing lubricating-cooling technologies on the characteristics of the processes of leaving cutting of metals", (in Russian), in *Metalloobrabotka*, vol. 1 (103), pp. 2-5, 2018. ]

#### ОБ АВТОРАХ

**РЕПИН Денис Сергеевич**, преподаватель каф. пожарной безопасности объектов защиты Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России. Дипл. физик (ИвГУ, 2007). Иссл. в обл. физико-химических процессов на границе контакта трибосопряженных металлических поверхностей в присутствии СОТС.

**НАУМОВ Александр Геннадьевич**, руководитель трибологического НОЦ ИвГУ, проф. каф. экспериментальной и технической физики. Дипл. физик. Преподаватель (Ивановский гос. ун-т, 1980). Д-р техн. наук по технологии и оборудованию механической и физико-технической обработки, материаловедению в машиностроении (МГТУ «СТАНКИН», 2000). Иссл. физ.-хим. процессов и явлений в зоне контакта трибосопряженных поверхностей при резании материалов в присутствии СОТС.

#### METADATA

**Title:** On the effectiveness of activation of polymer-containing lubricating and cooling technological means in metal cutting machining.

**Authors:** D. S. Repin<sup>1</sup>, A. G. Naumov<sup>1,2</sup>

**Affiliation:**

<sup>1</sup> Ivanovo Fire and Rescue Academy of FMS MOE (IFRA FMS MOE), Russia.

<sup>2</sup> Ivanovo State University (IvSU), Russia.

**Email:** <sup>1</sup>denisrep@mail.ru, <sup>2</sup>agn8@yandex.ru

**Language:** Russian.

**Source:** Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), vol. 24, no. 2 (88), pp. 36-42, 2020. ISSN 2225-2789 (Online), ISSN 1992-6502 (Print).

**Abstract:** In this paper, the effect of corona discharge activation of oxygen-containing polymer-containing lubricating and cooling technological means on the performance of the cutting tool is studied. The drilling operation is selected as metal machining. The effect of activated lubricating and cooling technological means on the durability of the cutting tool, depending on the cutting speed and feed rate, is studied. Based on the results of the experiments, the mathematical dependences of the period of stability of the cutting tool on the cutting speed and feed are established.

**Key words:** lubricating and cooling technological means; corona discharge; durability period; cutting tool; polyvinyl alcohol; polyethyleneglycol; additives; ionizer-ozonator.

**About authors:**

**РЕПИН, Денис Сергеевич**, Teacher of the Department of fire safety of objects of protection of the Ivanovo fire and rescue Academy of the Ministry of emergency situations of Russia. Ph. D. in physics (IvSU, 2007). Physical and chemical processes at the contact boundary of tribo-conjugated metal surfaces in the presence of lubricating and cooling technological means.

**NAUMOV, Alexander Gennadievich**, Head of the tribological REC of IvSU, Prof. Of the Department of experimental and technical physics, Dipl. Physicist. Teacher (Ivanovo State University, 1980). Dr. tech. science in technology and equipment for mechanical and physical-technical processing, materials science in mechanical engineering (STANKIN MSTU, 2000). Research of physical and chemical processes and phenomena in the contact zone of tribo-conjugated surfaces when cutting materials in the presence of lubricating and cooling technological means.