

**Ким В. А., Сулейманов Р. И., Джемилов Э. Ш.**  
**V. A. Kim, R. I. Suleymanov, E. Sh. Dzhemilov**

**ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА ОБРАБОТКИ ПРИ СВЕРЛЕНИИ БРОНЗЫ BrA9-ЖЗЛ  
С ПРИМЕНЕНИЕМ АКТИВИРОВАННЫХ СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩИХ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СРЕД**

**RESEARCH OF PROCESSING QUALITY WHEN DRILLING BRONZE BrA9-ZHZL  
WITH APPLICATION OF LUBRICATING AND COOLING PROCESS MEANS**

**Ким Владимир Алексеевич** – доктор технических наук, профессор кафедры «Материаловедение и технология новых материалов» Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681013, Россия, Хабаровский край, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27. E-mail: [sinerg@mail.ru](mailto:sinerg@mail.ru).

**Mr. Vladimir A. Kim** – Doctor of Engineering, Professor, Materials Technology and New Materials Department, Komsomolsk-na-Amure State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur); 681013, Russia, Khabarovsk territory, Komsomolsk-on-Amur, Lenin str., 27. E-mail: [sinerg@mail.ru](mailto:sinerg@mail.ru).

**Сулейманов Ришат Ибраимович** – кандидат педагогических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения» Крымского инженерно-педагогического университета (Россия, Симферополь); 295015, Россия, г. Симферополь, пер. Учебный, 8. E-mail: [surechat@mail.ru](mailto:surechat@mail.ru).

**Mr. Rishat I. Suleymanov** – PhD in Pedagogical Sciences, Associate Professor, Department of Mechanical Engineering Technology, Crimean Engineering and Pedagogical University (Russia, Simferopol); 295015, Russia, Simferopol, Uchebnyi per., 8. E-mail: [surechat@mail.ru](mailto:surechat@mail.ru).

**Джемилов Эшреб Шефикович** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения» Крымского инженерно-педагогического университета (Россия, Симферополь); 295015, Россия, г. Симферополь, пер. Учебный, 8. E-mail: [eshreb@mail.ru](mailto:eshreb@mail.ru).

**Mr. Eshreb Sh. Dzhemilov** – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Mechanical Engineering Technology, Crimean Engineering and Pedagogical University (Russia, Simferopol); 295015, Russia, Simferopol, Uchebny per., 8. E-mail: [eshreb@mail.ru](mailto:eshreb@mail.ru).

**Аннотация.** В статье представлены результаты исследований влияния механической активации смазочно-охлаждающих технологических средств, модифицирующей физико-химические свойства и структуру СОТС, на процесс резания и контактного взаимодействия при сверлении литейного бронзового сплава BrA9-ЖЗЛ. Показано, что процессы механической обработки с применением активированных смазочно-охлаждающих технологических сред при их доставке в зону резания с помощью устройств минимальной смазки позволяют значительно повысить проникающую и смазывающую способность масел, которые приводят к снижению осевой силы и крутящего момента при сверлении и повышению качества обработанной поверхности.

**Summary.** The article presents research results of the effect of mechanical activation of oil lubricating-cooling process means, modifying its physical and chemical properties and structure, on the cutting process and contact interaction when bronze cast alloy BrA9-ZhZL drilling. It is shown that mechanical processes using activated lubricating-cooling technological means during their delivery to the cutting zone using minimal lubrication devices can significantly increase the penetrating and lubricating ability of oils, which lead to a decrease in axial force and torque when drilling and to improve the quality of processed surface.

**Ключевые слова:** масляные смазывающе-охлаждающие технологические средства растительной природы, силы резания, механическая активация, бронзовый сплав, сверление.

**Key words:** oil lubricating and cooling technological means of plant nature, cutting forces, mechanical activation, bronze alloy, drilling.

УДК 621.91.01

### **Введение**

Бронзы обладают повышенными прочностными свойствами, поэтому их механическая обработка сопровождается интенсивным изнашиванием режущего инструмента за счёт высоких температур и сил резания [1].

С повышением температуры в зоне резания происходят структурные изменения инструментального материала, приводящие к структурной деградации, снижению его твёрдости и износостойкости [2], что в свою очередь приводит к сокращению периода стойкости инструмента и ухудшению качества обработанной поверхности.

Смазочно-охлаждающие технологические среды (СОТС) являются важной составляющей процесса резания, обеспечивающей производительность, качество механической обработки, стойкость и надёжность режущего инструмента за счёт моющего, охлаждающего и смазывающего эффектов [3]. СОТС активно влияет на характер пластической деформации и разрушение срезаемого слоя и в значительной степени определяет физико-механические свойства и структуру обработанной поверхности.

СОТС подразделяются на жидкие, пластичные, твёрдые и газообразные. В их состав входят поверхностно-активные вещества (ПАВ) и различные присадки, улучшающие их технологические свойства [1; 3; 6; 7]. СОТС должна обладать хорошей теплопроводностью для ускорения теплоотвода из зоны резания и хорошим смазочным действием для уменьшения трения [4].

Интенсификация процессов резания металлов за счёт активизации внутренних резервов действия СОТС описана в работе [5], в которой автор раскрывает действие ПАВ, содержащихся в технологических жидкостях, способствующих уменьшению величины прикладываемой силы, необходимой для разрушения поверхностного слоя, облегчая тем самым условия пластического деформирования и разрушения срезаемого слоя.

На сегодняшний день одним из важных показателей применения на производстве СОТС становится учёт экологических, технологических и экономических факторов. Возросшие требования к санитарно-гигиеническому состоянию предприятий, использующих в производственном процессе экологически небезопасные СОТС, их токсическое воздействие на окружающую среду и людей [8] приводят к возрастанию финансовых затрат на их хранение и дальнейшую утилизацию и добавляют до 30 % к себестоимости продукции [9].

Экологическая безопасность технологических процессов становится всё актуальнее и приводит к широкому применению малоотходных, безотходных технологий, вторичному обороту материалов, использованию новых технологий подготовки и активации СОТС, доставки в зону резания (техника минимальной смазки) и их утилизации.

В последнее десятилетие наблюдается тенденция применения СОТС на основе растительных масел, которые по сравнению с минеральными маслами обладают большей смачивающей способностью, использование которых оправдано высоким биологическим разложением и экологичностью [10].

Существует большое количество исследований в области подготовки и использования СОТС в зависимости от материала детали, технологий обработки, режущего инструмента, методов доставки и подачи в зону резания на различных операциях, которые широко применяются на практике.

В статье приведены результаты анализа современных методов подготовки (активации) СОТС, оценка эффективности их механической активации при подаче в зону резания в аэрозольном состоянии и влияние на силы резания при обработке отверстий в заготовках из железистой бронзы БрА9-ЖЗЛ.

### **Методика исследования**

Различные подходы к методам активации СОТС описаны в работах С. Г. Энтелеса [7], Е. Г. Бердичевского [10], В. В. Маркова [11]. В настоящее время в практике использования активированных СОТС широкое распространение получили физические и химические методы активации, которые рассматривались в работах [12; 13].

Механическая активация СОТС предполагает её доставку в зону резания под большим давлением с помощью специального устройства. Вследствие внешнего энергетического воздействия на молекулы увеличивается их проникающая способность в зону контакта срезаемого слоя с режущим инструментом [14; 15].

Химическая активация осуществляется введением в СОТС функциональных присадок, различных по природе и химическому строению, которые изменяют строение молекул.

Термическая, электрическая, ультразвуковая активации, включая методы намагничивания, ионизирующего облучения и введения в состав СОТС модифицированных энергоёмких эндотермических присадок, описаны в работе [16].

Вышеперечисленные методы являются достаточно энергоёмкими, а химическая активация СОТС требует значительных материальных затрат на утилизацию и приводит к загрязнению окружающей среды продуктами распада химически активных веществ, входящих в их состав.

В работе [17] рассматривается влияние механической активации на дисперсность технологических жидкостей в зависимости от различных режимов смешивания. Существуют различные модели механических активаторов для подготовки технологических жидкостей перед использованием [18].

В работе использовался механический способ активации СОТС с помощью усовершенствованного механического активатора типа двулопастной мешалки, который позволяет увеличить эффективность смешивания и диспергирования жидкости за счёт одновременного использования центробежных и вертикальных сил (см. рис. 1) [19].



Рис. 1. Механический активатор

Механически активированная СОТС транспортировалась в зону резания способом минимальной смазки, т.е. путём распыления и подачи её в зону обработки под аэродинамическим давлением.

Режимы резания при сверлении заготовок из сплава БрА9-ЖЗЛ с учётом использования масляных СОТС приняты согласно рекомендациям [20; 21].

Эксперименты проводились на радиально-сверлильном станке мод. 2К522, оснащённом трёхкомпонентным датчиком М30-3-6к с возможностью вывода сигнала на ПК и позволяющем одновременно измерять осевую силу  $P_o$  и крутящий момент  $M_{кр}$ . В качестве режущего инстру-

мента использовали сверло спиральное из быстрорежущей стали Р6М5 диаметром 8,6 мм, углом заточки  $2\varphi = 135^\circ$ .

Параметры качества обработанной поверхности определялись с помощью портативного измерителя шероховатости TR200, а величина износа инструмента измерялась инструментальным микроскопом модели «UWM» фирмы Mitutoyo.

#### **Полученные результаты и их анализ**

В табл. 1 приведены результаты экспериментальных измерений сил и крутящих моментов при сверлении бронзы с использованием различных СОТС.

Результаты измерений износа режущего клина и шероховатости обработанной поверхности представлены табл. 2.

Анализ полученных результатов (см. табл. 1) показывает, что применение СОТС на масляной основе понижает осевую силу резания и крутящий момент при сверлении, а механическая активация СОТС приводит к дополнительному уменьшению этих показателей.

Механическая активация масляных СОТС приводит к растворению в них кислорода воздуха и разбивке молекул масла на более мелкие фрагменты. В результате повышается проникающая способность СОТС в микрополоски контактно-фрикционного взаимодействия, что обеспечивает переход сухого трения в граничное, а граничного – в жидкостное.

Сопутствующим процессом контактного взаимодействия при резании является активное тепловыделение. Эти процессы наиболее интенсивно протекают при сверлении, т.к. сердцевина

сверла не столько режет, сколько пластически деформирует. В результате высокой температуры наблюдается термодеструкция масла и молекул ПАВ. При наличии укороченных углеводородных молекул их термодеструкция происходит при меньшей энергии активации и более активном поглощении тепловой энергии, т.е. более интенсивные процессы термодеструкции молекул активированных СОТС сильнее разгружают в тепловом отношении деформационную зону стружкообразования.

Таблица 1

Осевая сила резания и крутящий момент при сверлении сплава БрА9-ЖЗЛ  
( $n = 1000$  об/мин,  $s = 3,2$  мм/об,  $t = 4,3$  мм)

Вид взаимодействия	Сухое резание	Минеральное масло (Shell Garia 404)		Двухкомпонентная СОТС (Рапсовое масло + Подсолнечное масло)	
		Без активации	Время активации 20 мин	Без активации	Время активации 20 мин
Тип соединений	–	Предельные разветвлённые и неразветвлённые углеводороды		Триглицериды непредельных карбоновых кислот	
Функциональная группа	–	Отсутствует		Сложноэфирная	
Тип взаимодействия	Сухое трение	Граничное трение		Граничное трение + эффект Ребиндера	
Активация		Без активации	Время активации 20 мин	Без активации	Время активации 20 мин
Осевая сила $P_o$ , Н	860	845,5	823,4	800	735
Крутящий момент $M_{кр}$ , Нм	2,6	2,5	2,44	2,39	2,3

Продукты термодеструкции СОТС оказывают дополнительное влияние на процессы контактно-фрикционного взаимодействия. Выделяющийся углерод, осаждаясь на свежесформированную поверхность стружки и поверхность обработанного отверстия, начинает играть роль твёрдой смазки, а кислород, вступая в химическую реакцию с металлом, формирует оксидные слои с низкими триботехническими характеристиками. В результате происходит снижение коэффициента трения и падение силовых и энергетических показателей контактно-фрикционного взаимодействия.

Укороченные молекулы СОТС и ПАВ, полученные в результате механической активации, обладают более высокими адсорбционными свойствами. В результате эффект Ребиндера проявляется сильнее, а это приводит к снижению силовых режимов деформационного процесса, сопутствующего процессу сверления. Следствием этого является снижение осевых сил и моментов резания.

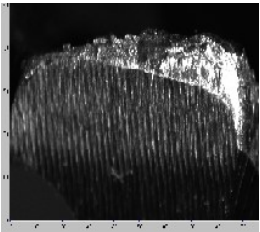


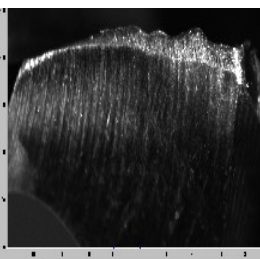


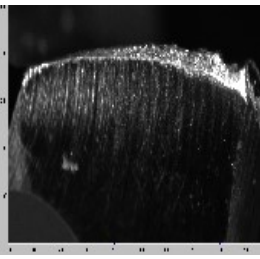
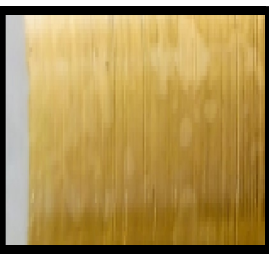
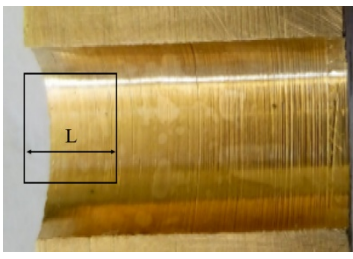
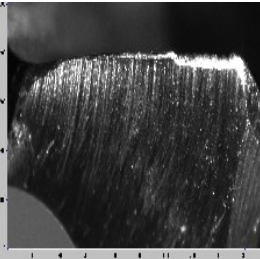

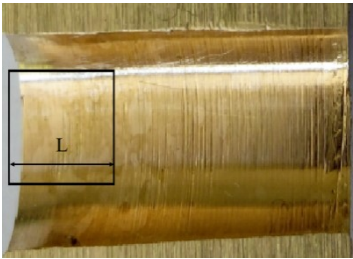
Полученные результаты исследований свидетельствуют о снижении износа инструмента по задней поверхности в среде механически активированного двухкомпонентного СОТС растительного происхождения по сравнению с минеральным маслом и повышении качества обработки.

В табл. 2 приведены изображения фасок износа свёрл по задней поверхности и шероховатость обработанных отверстий. Видно, что при использовании СОТС происходит уменьшение ширины фаски износа, при этом меняется не только его величина, но и характер распределения по длине режущей кромки. Равномерное распределение износа указывает на выравнивание и снижение контактно-фрикционных напряжений и тепловых потоков. Механическая активация СОТС приводит к ещё более низкому износу и его более равномерному распределению по длине режущей кромки.

Установлено снижение шероховатости при использовании СОТС по сравнению с сухим резанием и дополнительное уменьшение этого показателя при использовании механически активированных СОТС.

Таблица 2

Шероховатость ( $L = 4$  мм – глубина измерения) и величина износа инструмента

СОТС	Износ режущей кромки по задней поверхности	Фотографии образцов		Ra, мкм
Сверление отверстия всухую				1,543
Минеральное масло марки Shell Garia 404				1,487
Двухкомпонентное СОТС				1,355
Двухкомпонентное СОТС активированное				1,199

**Вывод**

Механическая активация СОТС является инновационным методом повышения их смазывающих, проникающих и адсорбционных свойств, а способ минимальной смазки (подачи СОТС в зону резания в распылённом состоянии) дополнительно повышает их технологическую эффективность, экологическую безопасность и санитарную гигиеничность.

Установлено, что механическая активация СОТС и способ минимальной смазки понижают осевую силу и момент резания при сверлении и повышают качество обработки за счёт уменьшения шероховатости обработанной поверхности.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Энтелис, С. Г. Смазочно-охлаждающие технологические средства для обработки металлов резанием / С. Г. Энтелис. – М.: Машиностроение, 1986. – 351 с.
2. Грановский, Г. И. Резание металлов: учеб. для машиностроительных и приборостроительных специальностей вузов / Г. И. Грановский, В. Г. Грановский. – М.: Высш. шк., 1985. – 304 с.
3. Худобин, Л. В. Техника применения смазочно-охлаждающих средств в металлообработке / Л. В. Худобин, Е. Г. Бердичевский. – М.: Машиностроение, 1977. – 189 с.
4. Справочник по технологии резания металлов. В 2 кн. Кн. 1 / Ред. нем. изд.: Г. Шпур, Т. Штаферле; пер. с нем. В. Ф. Колотенкова и др.; под ред. Ю. М. Соломенцева. – М.: Машиностроение, 1985. – 616 с.
5. Ребиндер, П. А. Поверхностные явления в твёрдых телах в процессе их деформации и разрушения / П. А. Ребиндер, Е. Д. Щукин // Успех физических наук. – 1972. – Т. 108. – Вып. 1, сент. – С. 3-41.
6. Дальский, А. М. Справочник технолога-машиностроителя. Т. 2 / А. М. Дальский, А. Г. Суслов, А. Г. Косилова. – М.: Машиностроение, 2001. – 944 с.
7. Смазочно-охлаждающие технологические средства для обработки металлов резанием: справ. / под ред. С. Г. Энтелиса, Э. М. Берлинера. – М.: Машиностроение, 1995. – 352 с.
8. Касимов, Л. Н. Ресурсосберегающие технологии механической обработки труднообрабатываемых материалов: моногр. / Л. Н. Касимов. – Уфа: ООО «ДизайнПолиграфСервис», 2003. – 182 с.
9. Якубов, Ч. Ф. Упрочняющее действие СОТС при обработке металлов резанием / Ч. Ф. Якубов. – Симферополь: СГТ, 2008. – 156 с.
10. Бердичевский, Е. Г. Смазочно-охлаждающие технологические средства для обработки металлов: справ. / Е. Г. Бердичевский. – М.: Машиностроение, 1984. – 224 с.
11. Марков, В. В. Повышение эффективности и экологической безопасности лезвийного резания путём применения энергетической активации и оптимизации состава присадок СОТС: дис. ... доктора техн. наук: спец. 05.03.01 / Марков В. В. – Иваново, 2004. – 406 с.
12. Латышев, В. Н. Исследование механических процессов и эффективности применения смазочных средств при трении и обработке металлов: дис. ... доктора техн. наук: спец. 05.03.01 / Латышев В. Н. – М., 1973. – 412 с.
13. Латышев, В. Н. Повышение эффективности СОТС / В. Н. Латышев. – М.: Машиностроение, 1975. – 88 с.
14. Debnath, S. Environmental friendly cutting fluids and cooling techniques in machining: a Review / S. Debnath, M. M. Reddy, Yi Q. S. // Journal of Cleaner Production. – 2014. – Vol. 83. – Pp. 33-47.
15. Кирейнов, А. В. Современные тенденции применения смазочно-охлаждающих технологических средств при лезвийной обработке труднообрабатываемых материалов / А. В. Кирейнов, В. Б. Есов // Инженерный журнал: наука и инновации. – 2017. – № 2 (62). – С. 1-15.
16. Анализ методов активации СОТС при обработке металлов резанием / Д. У. Абдулгизис, У. А. Абдулгизис, Э. Э. Ягьяев, Э. Д. Умеров // Учёные записки Крымского инженерно-педагогического университета. Технические науки. – 2013. – Вып. 38. – 110 с.
17. Марков, В. В. Влияние способа перемешивания технологических жидкостей на их структуру / В. В. Марков, Е. В. Киселева // Вестник ИГЭУ. – 2009. – Вып. 3. – С. 1-3.
18. Худобин, Л. В. Техника применения смазочно-охлаждающих средств в металлообработке / Л. В. Худобин, Е. Г. Бердичевский. – М.: Машиностроение, 1977. – 189 с.
19. Лосева, М. В. Интенсификация процесса приготовления технологической жидкости: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.13 / Лосева Марина Валентиновна. – Иваново, 2005. – 16 с.
20. Нефедов, Н. А. Сборник задач по резанию металлов и режущему инструменту / Н. А. Нефедов, К. А. Осипов. – М.: Машиностроение, 1990. – 422 с.
21. Коган, Б. И. Выбор смазывающе-охлаждающих технологических средств (СОТС) при обработке материалов резанием: учеб. пособие / Б. И. Коган. – Кемерово: КузГТУ, 2004. – 85 с.