

УДК 621.91.01

doi: 10.18698/0536-1044-2021-4-40-47

Влияние экологичных смазочно-охлаждающих технологических сред на тепловую нагруженность процесса резания при зенкеровании отверстий

В.В. Скакун, Р.М. Джемалыдинов, А.И. Алиев

ГБОУ ВО Республики Крым «Крымский инженерно-педагогический университет имени Февзи Якубова»

Influence of Environmentally Friendly Coolant-Lubricants on the Thermal Loading of the Cutting Process When Countersinking

V.V. Skakun, R.M. Dzhemalyadinov, A.I. Aliev

Crimean engineering and pedagogical university named after Fevzi Yakubov

Рассмотрено влияние экологически безопасных смазочно-охлаждающих технологических сред (СОТС) на температурные показатели процесса резания при зенкеровании отверстий. Обрабатываемыми материалами являлись конструкционная сталь 20, коррозионностойкая сталь 12X18N10T и титановый сплав VT1-0. В качестве СОТС использованы минеральные масла, а также экологичные масла растительного происхождения и сложные эфиры на их основе. Подачу СОТС осуществляли с помощью экологически ориентированного дозирующего устройства, позволяющего подавать смазочный материал в зону резания порционно в виде аэрозоля, что обеспечивало большую проникающую способность и снижало расход технологической жидкости. Исследование температурного состояния процесса резания проводили с помощью искусственной хромель-копелевой термопары, спай которой разместили в непосредственной близости от зоны резания. Показано, что СОТС оказывает значительное влияние на снижение температуры в зоне резания. Данные, полученные при использовании растительных масел в качестве технологических сред на операциях, протекающих в условиях выраженного адгезионного износа, указывают на их конкурентоспособность не только с минеральными маслами, но и с традиционно применяемыми масляными СОТС.

Ключевые слова: зенкерование, смазочно-охлаждающие технологические среды, температура резания, сила резания, нарост, трение

The paper considers the influence of environmentally friendly coolant-lubricants on the temperature parameters of the cutting process during hole countersinking. Structural steel 20, corrosion-resistant steel 12X18N10T and titanium alloy VT1-0 were selected as the processed materials. Mineral oils, as well as environmentally friendly vegetable oils and esters based on them were used as coolant-lubricants. The coolant-lubricants feed was carried out using an environmentally oriented dosing unit, which allowed the lubricant to be sprayed into the cutting zone in portions of an aerosol, which provided greater penetration and reduced the liquid consumption. The study of the temperature state of the cutting process was carried out using an artificial, chromel-copel thermocouple, the junction of which was placed in the immediate vicinity of the cutting zone. The data obtained when using vegetable oils as a coolant-lubricant in operations running under conditions of pronounced adhesive wear indicate their competitiveness not only with mineral oils, but also with traditionally used oil coolant-lubricants.

Keywords: countersinking, coolant-lubricants, cutting temperature, cutting force, build-up, friction

В процессе механической обработки при введении инструмента в обрабатываемый материал на его переднюю и заднюю поверхность начинают действовать силы резания и трения. Под их воздействием происходит деформирование и сдвиг обрабатываемого материала, сопровождаемые определенными физико-химическими явлениями.

Так, в срезаемом слое возникают упругие и пластические деформации, хрупкое и вязкое разрушения, а в зоне резания — неоднородное температурное поле. Тепловые потоки имеют сложную схему распространения. Создаются особые условия теплопередачи между режущим инструментом, заготовкой и образующейся стружкой. Что касается трения, то оно происходит в условиях высоких давлений и температур. Как частный случай выделяют особый вид трения неокисленных поверхностей, называемый чистым [1].

При определенных условиях на передней поверхности образуется нарост, который изменяет геометрию инструмента и оказывает влияние на условия резания. Различные виды раз-

рушения режущего клина, происходящие под действием усталостных явлений, диффузии, истирания и царапания, адгезионных процессов, химических и электрических явлений также влияют на контактные процессы при обработке [2–4].

Все эти явления, как правило, тесно связаны и зависят друг от друга, поэтому их глубокое изучение и понимание позволит наметить пути повышения производительности и экономичности механической обработки.

К важнейшим явлениям, происходящим в процессе резания, относятся тепловые. Именно они определяют температуру в зоне резания, которая впоследствии влияет на силы резания, структуру поверхностного слоя, характер образования стружки, ее усадку и возникновение наростов. Но наиболее сильное воздействие температура оказывает на период стойкости инструмента.

Источником теплоты при резании металлов выступает работа, затрачиваемая на преодоление трения по передней и задней поверхностям инструмента, а также на упругие и пластиче-

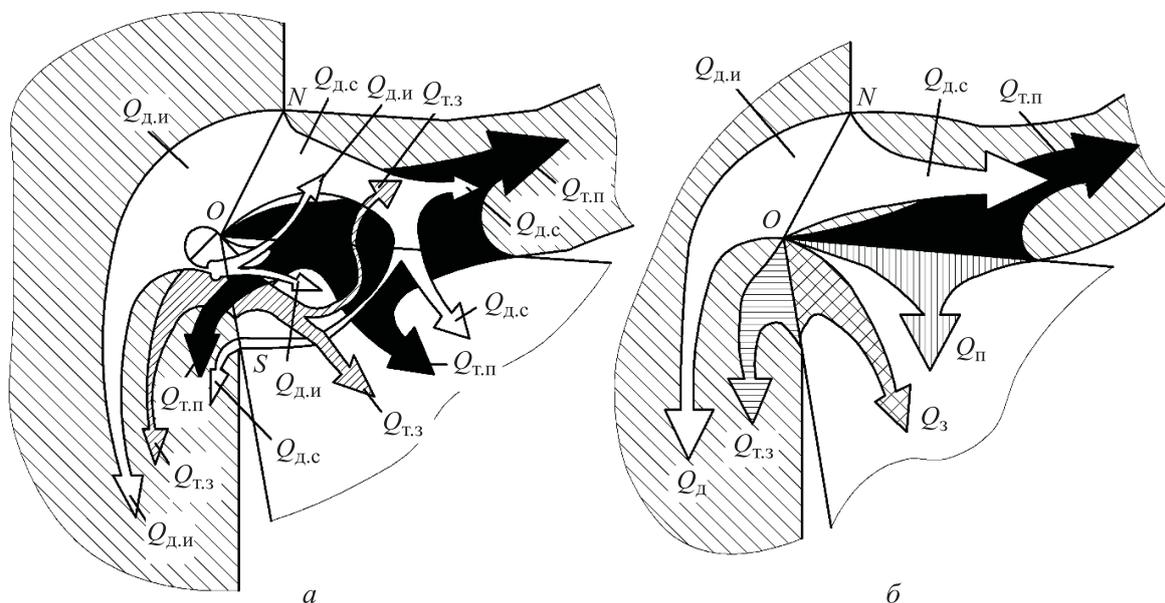


Рис. 1. Схема движения тепловых потоков без учета искусственного охлаждения инструмента и детали (а) и упрощенная схема движения тепловых потоков (б):

ON — условная плоскость сдвига; $Q_{д.и}$ — доля теплоты деформации, уходящая в деталь; $Q_{д.с}$ — доля теплоты деформации, уходящая в стружку; $Q_{т.п}$ — количество теплоты, возникающей в результате трения между стружкой и передней поверхностью инструмента; $Q_{п}$ — итоговый поток теплоты, обусловленный теплообменом на площадке контакта надрезовочной стороны стружки с передней поверхностью инструмента; $Q_{з}$ — итоговый поток теплоты, возникающий в результате теплообмена на площадке контакта поверхности резания с задней поверхностью инструмента; $Q_{т.з}$ — итоговый поток теплоты, обусловленный теплообменом на площадке контакта поверхности резания с задней поверхностью инструмента

ские деформации в срезаемом слое и в слоях, прилегающих к обработанной поверхности и поверхности резания.

В теплоту переходит практически вся работа (более 99,5 %). Направления распространения тепловых потоков без учета искусственного охлаждения инструмента и детали приведены на рис. 1, а. Здесь видно, что при резании имеет место сложное переплетение тепловых потоков, так как теплота от каждого из трех основных источников распределена по всем телам, участвующим в резании. Эту схему можно значительно упростить, введя понятие итоговых тепловых потоков, проходящих через контактные площадки (рис. 1, б).

Как показывают результаты экспериментальных исследований, при резании с малой скоростью (30...40 м/мин) количество теплоты, уходящее в стружку, составляет 60...70 % общего значения, а количество теплоты, возникающей на площадке контакта стружки с передней поверхностью инструмента, — всего лишь 3 %. На нагрев заготовки приходится 30...40 % образующейся теплоты [5, 6].

Доказано, что при уменьшении теплопроводности обрабатываемого материала возрастает количество теплоты, уходящей в инструмент, а по мере повышения скорости резания значительно увеличивается количество теплоты, уходящей в стружку.

Вследствие специфики осевой обработки (инструмент и стружка постоянно находятся в контакте с поверхностью отверстия, и затруднено поступление охлаждающей среды в зону резания) повышается доля теплоты, приходящая на инструмент и деталь. Поэтому распределение теплоты выглядит следующим образом: на нагрев детали расходуется — 52,5 %, на стружку — 28 %, на инструмент — 14,5 %.

При этом тепловые потоки нагревают контактные площадки неравномерно. Наибольшее количество теплоты сконцентрировано в тонких слоях стружки, прилегающих к передней поверхности инструмента, причем это значение существенно превышает температуру в зоне сдвига. В прирезцовом слое максимальная температура наблюдается в середине площадки контакта [7].

При работе с малыми сечениями среза тепловой поток со стороны задней поверхности возрастает, интенсивнее нагревая заднюю поверхность режущего клина. Зная значение и направление тепловых потоков, можно расчет-

ным путем определить распределение температур на контактных площадках. Если нет необходимости изучения законов распределения температур на контактных площадках или в теле инструмента и детали, то самым удобным показателем тепловой напряженности процесса резания является средняя температура на всей поверхности контакта инструмента со стружкой и деталью [8].

Температура в зоне резания может влиять на рабочий процесс из-за изменения свойств обрабатываемого и инструментального материалов, условий взаимодействия инструмента и материала на площадках контакта.

Температура режущей кромки на 65...75 % определяется энергией деформации обрабатываемого материала, поэтому процесс наростообразования во многом зависит от деформации материала. На контактных поверхностях температура более чем на 3/4 зависит от тепловых источников трения и контактных пластических деформаций.

Оценивая влияние температуры на физические свойства обрабатываемого материала, необходимо учитывать как продолжительность воздействия высокой температуры, так и скорость деформации.

На основании изложенного уравнение теплового баланса при резании будет иметь вид

$$Q = Q_{\text{деф}} + Q_{\text{т.п.п}} + Q_{\text{т.з.п}} = Q_{\text{с}} + Q_{\text{и}} + Q_{\text{д}} + Q_{\text{о.с}},$$

где $Q_{\text{деф}}$ — теплота, получаемая при деформации; $Q_{\text{т.п.п}}$ и $Q_{\text{т.з.п}}$ — теплота, возникающая при трении по передней и задней поверхности соответственно; $Q_{\text{с}}$, $Q_{\text{и}}$, $Q_{\text{д}}$ и $Q_{\text{о.с}}$ — теплота, переходящая в стружку, инструмент, деталь и окружающую среду соответственно [9].

Наиболее распространенным методом снижения температуры в зоне резания является применение смазочно-охлаждающих технологических сред (СОТС). Эффективность действия подаваемой технологической среды зависит не только от химического состава, но и от способа подачи в зону обработки. Чаще всего при работе на металлообрабатывающих станках охлаждение зоны резания осуществляют свободно падающей струей (поливом).

Кроме того, в некоторых случаях используют высоконапорное струйное охлаждение, при котором жидкость подают под давлением 2...3 МПа на заднюю поверхность режущей части инструмента через сопло диаметром 0,3...0,5 мм. В целях минимизации расхода

СОТС, где это позволяет технологический процесс, применяют метод охлаждения и смазывания зоны резания распыленными жидкостями. При этом в зону резания подается струя воздушно-капельной смеси, образованная с помощью специального дозирующего устройства [10, 11].

Цель работы — исследование влияния СОТС растительного происхождения на температуру в зоне резания при обработке отверстий осевым лезвийным инструментом.

Методика проведения экспериментальных исследований. Рассмотрен процесс зенкерования сквозных отверстий диаметром 21,75 мм, предварительно просверленных до диаметра 21,5 мм во втулках, выполненных из различных материалов. Малые толщины срезаемого слоя обуславливают более выраженные процессы трения инструмента по сравнению с пластическими деформациями сдвига при резании, что влияет на повышение температуры в зоне резания. Поэтому применяемая на данной операции СОТС должна иметь более выраженные смазывающие свойства, что позволит снизить влияние описанных явлений. Внешний вид

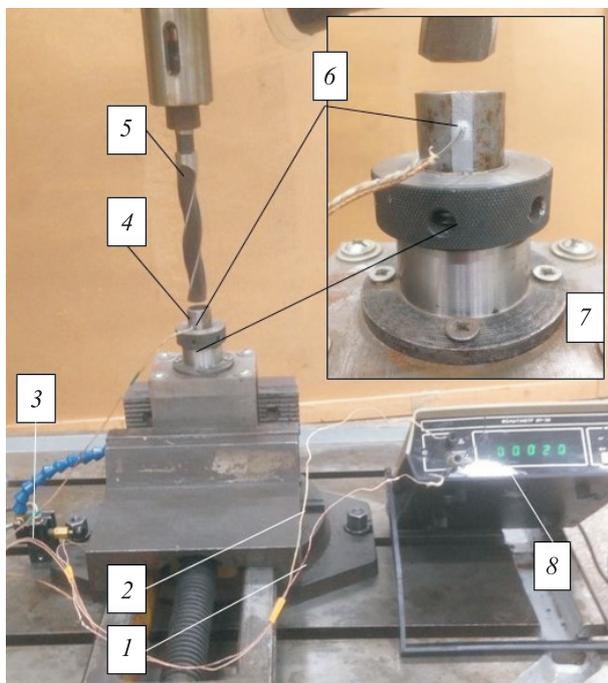


Рис. 2. Экспериментальный стенд для измерения температурного состояния процесса резания при зенкеровании:

- 1 — копель; 2 — хромель; 3 — дозирующее устройство; 4 — заготовка; 5 — цельный зенкер; 6 — спай термопары; 7 — зажимное приспособление; 8 — милливольтметр

экспериментального стенда по измерению температурного состояния зоны резания при зенкеровании приведен на рис. 2.

В качестве обрабатываемых материалов рассмотрены втулки из конструкционной стали 20, хромоникелевой нержавеющей стали 12Х18Н10Т (обладающей высокой инертностью к окружающим средам и действию СОТС) и титанового сплава ВТ1-0, активно взаимодействующего с окружающей средой при резании (поглощение азота и кислорода из воздуха), а также с некоторыми элементами, входящими в состав СОТС.

Подбор СОТС для конкретной операции зависит от таких факторов, как химический состав заготовки и материала режущего инструмента, технологическая операция, режимы резания и требования, предъявляемые к точности и качеству обработанных поверхностей. Кроме того, немаловажным является универсальность СОТС (возможность применения на различных типах оборудования), эксплуатационные и санитарно-гигиенические характеристики, а также ее себестоимость.

Так как применяемые в работе эфиры масел являются дорогостоящими, подача СОТС осуществляется с помощью экологически ориентированного дозирующего устройства, позволяющего подавать смазочный материал в зону резания порционно в виде аэрозоля, что обеспечивало большую проникающую способность и снижало расход технологической жидкости (рис. 3).

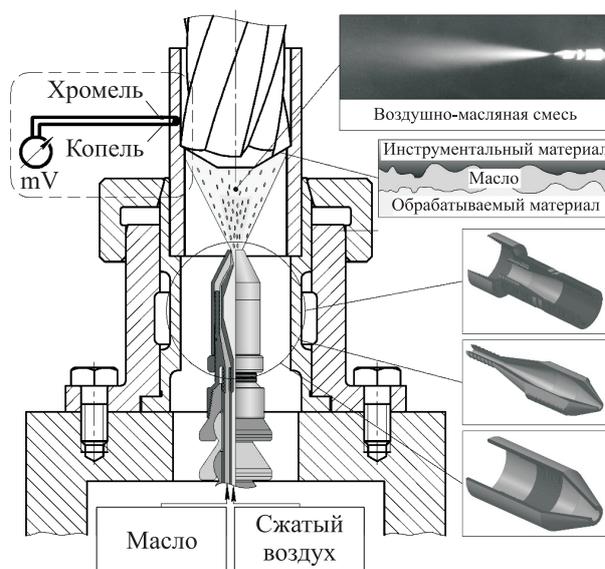


Рис. 3. Схема работы дозирующего устройства

Для проведения лабораторных экспериментов выбраны подсолнечное масло (ПМ), рапсовое масло (РМ), сложные эфиры на основе этих масел, а также промышленная СОТС на масляной основе Shell Garia 404 M-10. Физико-механические свойства масел описаны в работах [12–15].

В качестве инструмента использован составной трехзубый зенкер диаметром 21,75 мм из быстрорежущей стали Р6М5. Геометрические

параметры инструмента: передний угол $\gamma = 12^\circ$, задний угол $\alpha = 6^\circ$, угол в плане $\phi = 53^\circ$.

Термопары широко применяют для измерения температуры различных объектов, а также в автоматизированных системах управления и контроля. Измерение температур с помощью термопар получило широкое распространение благодаря простой конструкции датчика, возможности работать в широком диапазоне температур и дешевизны. Они гораздо более линей-

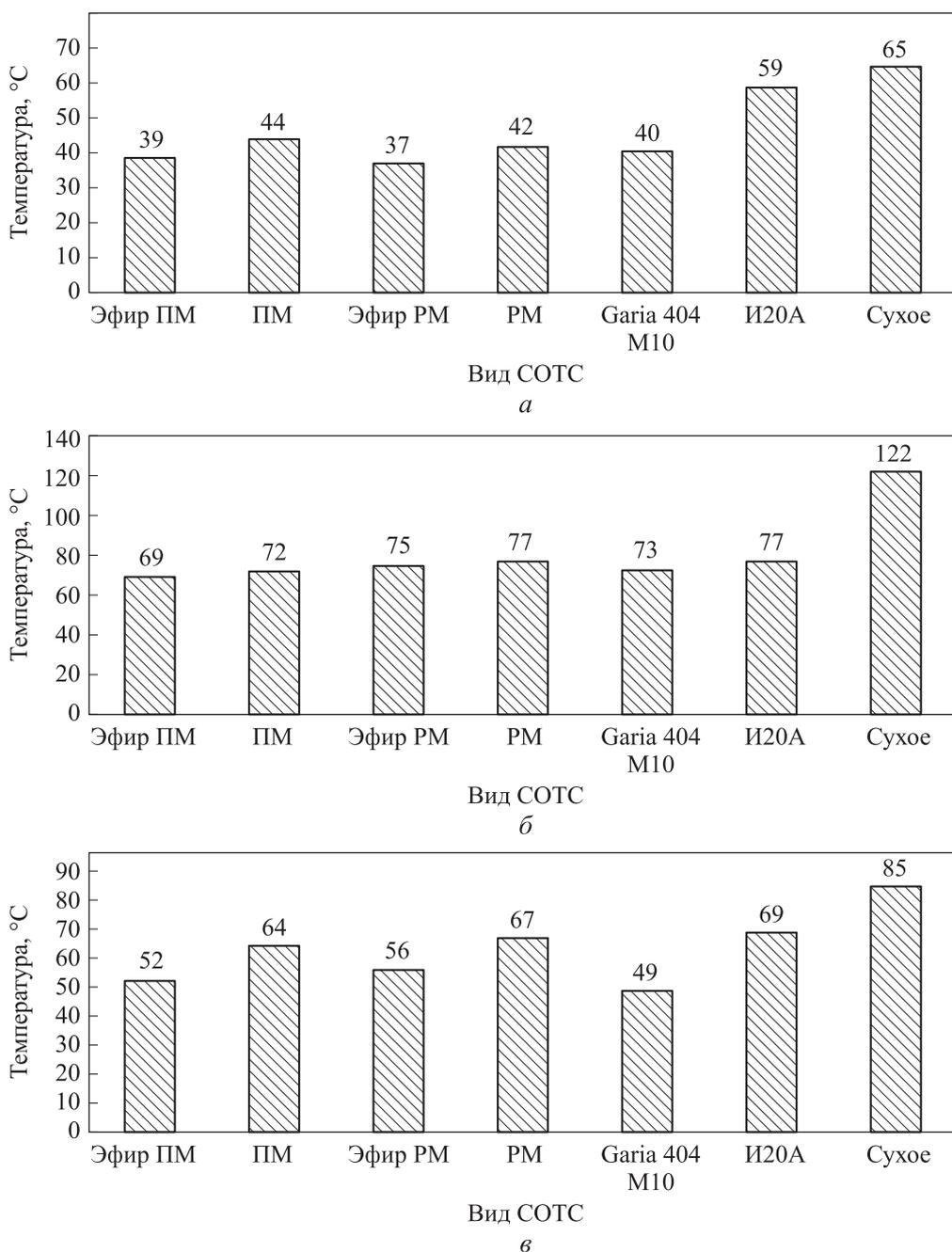


Рис. 4. Зависимость температуры в зоне резания от вида СОТС при зенкеровании втулок из стали 20 (а), титанового сплава ВТ1-0 (б) и коррозионностойкой стали 12Х18Н10Т (в)

ны, чем многие другие датчики, а их нелинейность хорошо изучена и описана в специальной литературе. Термопары способны обеспечивать высокую точность измерения температуры, составляющую $\pm 0,01$ °С.

В ходе проведения экспериментов использовали искусственную хромель-копелевую термопару типа L как одну из самых распространенных. Сплав хромель (90,5 % Ni + 9,5 % Cr) является положительным термоэлектродом, сплав копель (56 % Cu + 44 % Ni) — отрицательным. Диапазон рабочих температур –200...600 °С.

При измерении спай термопары помещали в предварительно просверленное глухое отверстие во втулке на расстоянии 10 мм от торца. Глубину отверстия выбирали с учетом того, чтобы расстояние от стенки втулки до спаи термопары при срезании слоя материала составляло 0,25 мм. Оставшееся пространство заполняли термопастой.

Регистрацию термо-ЭДС в процессе проведения экспериментов осуществляли с помощью цифрового вольтметра В7-38. Полученные значения переводили в температурные показатели с помощью тарифовочной таблицы. Результаты по определению влияния различных СОТС на температуру в зоне резания приведены на рис. 4, а–в.

Анализ полученных результатов показал, что применение эфиров растительных масел в качестве технологической среды обеспечивает снижение температуры в зоне резания, причем ее значения соизмеримы с таковыми для зарубежного СОТС Shell Garia 404 M-10.

Выводы

1. Эффективность рассмотренных СОТС на растительной основе обусловлена средними температурами контактной зоны, не превышающими 300...400 °С. Поэтому процесс зенкерования отверстий позволяет объективно оценить их влияние на процесс обработки.

2. По результатам проведенных исследований установлено следующее:

- различие в действии технических сред при обработке титанового сплава незначительно ввиду наличия высоких удельных нагрузок, оказываемых стружкой на переднюю поверхность и осложняющих проникновение СОТС в контактную зону;

- применение растительных масел в качестве СОТС при обработке конструкционной и коррозионностойкой сталей показало их большую эффективность в снижении температуры по сравнению с минеральным маслом и соизмеримые результаты с промышленной СОТС Shell Garia 404 M-10;

- сложные эфиры растительных масел в плане снижения температуры в зоне резания для всех рассматриваемых материалов оказались эффективнее самих растительных масел.

3. Данные, полученные при использовании растительных масел в качестве технологических сред, на операциях, протекающих в условиях выраженного адгезионного износа, указывают на их конкурентоспособность не только с минеральными маслами, но и с традиционно применяемыми масляными СОТС.

Литература

- [1] Солоненко В.Г., Рыжкин А.А. *Резание металлов и режущие инструменты*. Москва, Высшая школа, 2007. 417 с.
- [2] Ящерицын П.И., Фельдштейн Е.Э., Корниевич М.А. *Теория резания*. Минск, Новое знание, 2006. 512 с.
- [3] Аршинов В.А., Алексеев Г.А. *Резание металлов и режущий инструмент*. Москва, Машиностроение, 1976. 440 с.
- [4] Якубов Ч.Ф., Ким В.А., Самар Е.В., Белова И.В. Влияние СОТС на деформационные процессы формирования поверхностных структур при резании. *Металлообработка*, 2019, № 6(114), с. 3–10, doi: 10.25960/мо.2019.6.3
- [5] Неумоина Н.Г., Белов А.В. *Тепловые процессы в технологической системе резания*. Волгоград, ВолгГТУ, 2006. 84 с.
- [6] Скакун В.В., Джемалидинов Р.М. Экспериментальная оценка влияния экологически чистых СОТС на тепловые процессы при обработке отверстий осевым лезвийным инструментом. *Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета. Приборостроение*, 2019, № 4(66), с. 333–337.
- [7] Рыжкин А.А., Шучев К.Г., Климов М.М. *Обработка материалов резанием*. Ростов-на-Дону, Феникс, 2008. 413 с.

- [8] Резников А.Н., Резников Л.А. *Тепловые процессы в технологических системах*. Москва, Машиностроение, 1990. 288 с.
- [9] Аснос Т.М. *Повышение работоспособности быстрорежущего инструмента путем применения микрокапсулированных СОТС в активированной воздушной среде*. Дис. ... канд. техн. наук. Иваново, 2004. 130 с.
- [10] Алиев А.И., Джемалыдинов Р.М., Скакун В.В., Харченко И.В. Влияние экологически чистых технологических сред на контактные характеристики процесса резания в начальный период эксплуатации. *Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения*, 2019, № 1, с. 8–14.
- [11] Якубов Ф.Я., Якубов Ч.Ф., Скакун В.В. Экспериментальная оценка эффективности смазывающих технологических сред в периоде приработки металлорежущего инструмента. *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*, 2016, вып. 8, ч. 1, с. 246–253.
- [12] Алиев А.И. *Повышение работоспособности сложнопрофильного режущего инструмента за счет применения технологических сред растительного происхождения*. Дис. ... канд. техн. наук. Симферополь, 2011. 139 с.
- [13] Чередниченко Г.И., Фрайштетер Г.Б., Ступак П.М. *Физико-химические и теплофизические свойства смазочных материалов*. Москва, Химия, 1986. 224 с.
- [14] Касьян О.С., Брескина А.И., Адамский С.Д. Исследование рапсового масла в качестве основы технологических смазочно-охлаждающих средств для холодной прокатки листовой стали. *Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии. Сб. научн. тр.*, 2009, № 20, с. 206–217. URL: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/63048> (дата обращения 15 октября 2020).
- [15] Харченко Г.М. Физико-механические свойства растительных масел. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета. Технологии и средства механизации сельского хозяйства*, 2008, № 4(42), с. 54–58.

References

- [1] Solonenko V.G., Ryzhkin A.A. *Rezaniye metallov i rezhushchiye instrument* [Metal cutting and cutting tools]. Moscow, Vysshaya shkola publ., 2007. 417 p.
- [2] Yashcheritsyn P.I., Fel'dshteyn E.E., Korniyevich M.A. *Teoriya rezaniya* [Theory of cutting]. Minsk, Novoye znaniye publ., 2006. 512 p.
- [3] Arshinov V.A., Alekseyev G.A. *Rezaniye metallov i rezhushchiy instrument* [Metal cutting and cutting tools]. Moscow, Mashinostroyeniye publ., 1976. 440 p.
- [4] Yakubov Ch.F., Kim V.A., Samar E.V., Belova I.V. Influence of the lubricating and cooling process medium on the deformation processes of surface structures formation during cutting. *Metalloobrabotka*, 2019, no. 6(114), pp. 3–10, doi: 10.25960/mo.2019.6.3
- [5] Neumoina N.G., Belov A.V. *Teplovyie protsessy v tekhnologicheskoy sisteme rezaniya* [Thermal processes in the cutting process system]. Volgograd, VolgGTU publ., 2006. 84 p.
- [6] Skakun V.V., Dzhemalyadinov R.M. Experimental evaluation of the influence of vegetable oils on heat processes in cutting metals. *Uchenyye zapiski Krymskogo inzhenerno-pedagogicheskogo universiteta. Priborostroyeniye*, 2019, no. 4(66), pp. 333–337 (in Russ.).
- [7] Ryzhkin A.A., Shuchev K.G., Klimov M.M. *Obrabotka materialov rezaniyem* [Material processing by cutting]. Rostov-na-Donu, Feniks publ., 2008. 413 p.
- [8] Reznikov A.N., Reznikov L.A. *Teplovyie protsessy v tekhnologicheskikh sistemakh* [Thermal processes in technological systems]. Moscow, Mashinostroyeniye publ., 1990. 288 p.
- [9] Asnos T.M. *Povysheniye rabotosposobnosti bystrorezhushchego instrumenta putem primeneniya mikroapsulirovannykh SOT-s v aktivirovannoy vozduшной srede*. Kand. Diss. [Improving the performance of high-speed tools by using microencapsulated STS in an activated air environment. Cand. Diss.]. Ivanovo, 2004. 130 p.
- [10] Aliyev A.I., Dzhemalyadinov R.M., Skakun V.V., Kharchenko I.V. The influence of environmentally friendly technological environments on contact characteristics of cutting process during the initial stage of operation. *Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya*, 2019, no. 1, pp. 8–14 (in Russ.).

- [11] Yakubov F.Ya., Yakubov Ch.F., Skakun V.V. Experimental evaluation of lubricating fluids during the running of cutting tools. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskiye nauki*, 2016, is. 8, pt. 1, pp. 246–253 (in Russ.).
- [12] Aliyev A.I. *Povysheniye rabotosposobnosti slozhnoprofil'nogo rezhushchego instrumenta za schet primeneniya tekhnologicheskikh sred rastitel'nogo proiskhozhdeniya*. Kand. Diss. [Improving the performance of complex cutting tools through the use of technological media of plant origin. Cand. Diss.]. Simferopol, 2011. 139 p.
- [13] Cherednichenko G.I., Frayshteter G.B., Stupak P.M. *Fiziko-khimicheskiye i teplofizicheskiye svoystva smazochnykh materialov* [Physical, chemical and thermal properties of lubricants]. Moscow, Khimiya publ., 1986. 224 p.
- [14] Kas'yan O.S., Breskina A.I., Adamskiy S.D. Research of rapeseed oil as the basis of technological lubricants for cold rolling of sheet steel. *Fundamental'nyye i prikladnyye problemy chernoy metallurgii. Sbornik nauchnykh trudov*, 2009, no. 20, pp. 206–217 (in Russ.). Available at: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/63048> (accessed 15 October 2020).
- [15] Kharchenko G.M. Physical and mechanic properties of vegetable oils. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. Tekhnologii i sredstva mekhanizatsii sel'skogo khozyaystva*, 2008, no. 4(42), pp. 54–58 (in Russ.).

Статья поступила в редакцию 15.11.2020

Информация об авторах

СКАКУН Владимир Владимирович — преподаватель кафедры «Технология машиностроения». ГБОУ ВО Республики Крым «Крымский инженерно-педагогический университет имени Февзи Якубова» (295015, Симферополь, Республика Крым, Российская Федерация, пер. Учебный, д. 8, e-mail: vladimir.skakun.92@list.ru).

ДЖЕМАЛЯДИНОВ Руслан Марленович — преподаватель кафедры «Технология машиностроения». ГБОУ ВО Республики Крым «Крымский инженерно-педагогический университет имени Февзи Якубова» (295015, Симферополь, Республика Крым, Российская Федерация, пер. Учебный, д. 8, e-mail: rus.dzhemalyadinov@mail.ru).

АЛИЕВ Азиз Ибрагимович — кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения». ГБОУ ВО Республики Крым «Крымский инженерно-педагогический университет имени Февзи Якубова» (295015, Симферополь, Республика Крым, Российская Федерация, пер. Учебный, д. 8, e-mail: alievaziz2704@gmail.com).

Information about the authors

SKAKUN Vladimir Vladimirovich — Lecturer, Department of Mechanical Engineering Technology. Crimean Engineering and Pedagogical University named after Fevzi Yakubov (295015, Simferopol, Crimea, Russian Federation, Uchebnyy Pereulok, Bldg. 8, e-mail: vladimir.skakun.92@list.ru).

DZHEMALYADINOV Ruslan Marlenovich — Lecturer, Department of Mechanical Engineering Technology. Crimean Engineering and Pedagogical University named after Fevzi Yakubov (295015, Simferopol, Crimea, Russian Federation, Uchebnyy Pereulok, Bldg. 8, e-mail: rus.dzhemalyadinov@mail.ru).

ALIEV Aziz Ibrahimovich — Candidate of Science (Eng.), Associate Professor, Department of Mechanical Engineering Technology. Crimean Engineering and Pedagogical University named after Fevzi Yakubov (295015, Simferopol, Crimea, Russian Federation, Uchebnyy Pereulok, Bldg. 8, e-mail: alievaziz2704@gmail.com).

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Скакун В.В., Джемалядинов Р.М., Алиев А.И. Влияние экологичных смазочно-охлаждающих технологических сред на тепловую нагруженность процесса резания при зенкерованиях отверстий. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2021, № 4, с. 40–47, doi: 10.18698/0536-1044-2021-4-40-47

Please cite this article in English as:

Skakun V.V., Dzhemalyadinov R.M., Aliev A.I. Influence of Environmentally Friendly Coolant-Lubricants on the Thermal Loading of the Cutting Process When Countersinking. *BMSTU Journal of Mechanical Engineering*, 2021, no. 4, pp. 40–47, doi: 10.18698/0536-1044-2021-4-40-47