

УДК 621.91.01

doi: 10.18698/0536-1044-2021-7-10-18

Повышение эффективности концевое фрезерования нержавеющей сталей применением модифицированной смазочно-охлаждающей технологической среды

Э.Р. Ваниев, В.В. Скакун, Э.Ш. Джемилов, И.Д. Абдулкеримов

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

Increasing the Efficiency of Milling Stainless Steels by Using Lubricating-Cooling Technological Medium

E.R. Vaniev, V.V. Skakun, E.Sh. Dzhemilov, I.D. Abdulkarimov

Crimean Engineering and Pedagogical University named after Fevzi Yakubov

Рассмотрена возможность повышения эффективности концевое фрезерования применением модифицированной смазочно-охлаждающей технологической среды (СОТС), основу которой составляет водосмешиваемая СОТС. Определены условия эффективного использования модифицированной СОТС при обработке нержавеющей стали, обеспечивающие снижение сил резания, а следовательно, и вибраций, что способствует повышению качества изготавливаемых изделий. Уменьшение сил резания связано с наличием в модифицированной СОТС олеиновой кислоты, содержащей поверхностно-активные вещества, которые формируют на поверхности режущего инструмента плотную смазочную пленку. При смешивании олеиновой кислоты с водосмешиваемой СОТС применяют специальный мыльный раствор, значительно улучшающий растворимость. Однако со временем происходит расслоение жидкостей. Для обеспечения однородности среды разработано специальное приспособление, непрерывно смешивающее составы благодаря наличию крыльчаток, имеющих разноориентированное расположение лопаток. Для экономии смазочного материала использована технология минимального смазывания, позволяющая подавать смазочный материал в зону резания порционно (дозировано) с помощью устройства Noga Minicool.

Ключевые слова: процесс резания, концевое фрезерование, силы резания, смазочно-охлаждающая технологическая среда, олеиновая кислота, поверхностно-активные вещества

This article considers the possibility of increasing the efficiency of end milling by using a modified lubricating-cooling technological medium, based on a water-miscible cutting fluid. The conditions for the effective use of modified coolant in processing stainless steels ensuring a decrease in cutting forces and therefore a decrease in vibrations, which contributes to an increase in the quality of manufactured products have been determined. A decrease in cutting forces is due to the presence of oleic acid in the modified cutting fluid, containing surfactants, forming a dense lubricating film on the surface of the cutting tool. When mixing oleic acid in a water-miscible cutting fluid, a special soap solution significantly improving the solubility is used. However, over time, stratification of liquids occurs. To ensure the homogeneity of the medium, a special device has been developed that allows continuous mixing of the compositions, due to the presence of impellers with differently oriented

blades. To save a lubricant, the technology of minimum lubrication was used, which allows the lubricant to be supplied to the cutting zone in portions (dosed) using the Noga Minicool device.

Keywords: cutting process, milling, cutting forces, lubricating-cooling technological medium, oleic acid, surfactants

В современном машиностроении при обработке металлов резанием применяют смазочно-охлаждающие технологические среды (СОТС), разновидностей которых с каждым годом становится больше. Влияние СОТС на процесс резания в основном определяется свойствами обрабатываемого и инструментального материалов, природой и способом подачи, режимами резания, видом обработки, конструктивными и геометрическими параметрами режущего инструмента (РИ).

Исследование областей использования технологических средств для интенсификации процесса резания, изучение механизма их действия на этот процесс и создание новых более эффективных СОТС рассмотрены в работах В.Н. Латышева, М.И. Клушина, П.А. Ребиндера, В.Н. Подураева, Л.В. Худобина, А.С. Верещаки, Е.Г. Бердичевского, М.Б. Гордона, Ф. Боудена, Д. Тейбора и др.

Следует отметить, что большой процент деталей из сталей аустенитного класса изготавливают методом прерывистого резания, к которому относится фрезерование.

Актуальность работы. В процессе резания при концевом фрезеровании тонкостенных изделий из нержавеющей стали возникают вибрации, которые негативно сказываются на качестве готового продукта. Это связано с образованием и распространением микротрещин в процессе обработки детали, способных привести к ее поломке при эксплуатации.

Примером таких изделий служат лопатки турбин, работающие в условиях динамических нагрузок и вибраций. Особенностью обработки нержавеющей сталей является их плохая теплопроводность, что приводит к концентрации температуры на РИ. Поэтому при выборе СОТС значительное внимание уделяют охлаждающим свойствам [1–7].

Суть исследований состоит в повышении смазывающего эффекта при сохранении остальных положительных качеств водосмешиваемой СОТС, что может способствовать снижению сил резания, а следовательно, уменьшению ударных нагрузок и вибраций, возникающих в процессе резания. В связи с этим усовершенствована уже

имеющаяся стандартная СОТС путем ее смешивания с олеиновой кислотой (ОК), содержащей поверхностно-активные вещества (ПАВ) [8–11].

Согласно результатам работ [8–11], повышенной смазочной способностью обладают смазывающие технологические среды на основе растительных масел, что обусловлено присутствием ПАВ в составе таких сред. Молекулы ПАВ содержат гидрофобы и гидрофилы, которые подобно магнетикам собираются на поверхности РИ, образуя плотную смазочную пленку. Молекулы минерального масла в отличие от молекул ПАВ содержат только гидрофобы, хаотично расположенные на поверхности РИ, вследствие чего отсутствует плотная смазочная пленка, что и объясняет более низкий смазочный эффект, чем у растительных масел (рис. 1).

Анализ литературы. Все СОТС подразделяют на четыре группы: твердые, пластичные, жидкие, газообразные. Самыми распространенными являются жидкие СОТС, включающие в себя два класса: масляные и водные (водосмешиваемые).

Масляные СОТС состоят из минерального масла, являющегося базовым, к которому могут быть добавлены антифрикционные, антиизносные и антизадириные присадки, ингибиторы коррозии и антиоксиданты. Процентное содержание (по массе) минерального масла в таких СОТС составляет 60...95 %.

Обычно это высокоочищенные нафтенные или парафиновые масла. Также в качестве основы масляных СОТС используют смесь из нескольких минеральных масел или маловязкие экстракты селективной очистки. При выборе базовых минеральных масел учитывают прежде всего их физико-химические свойства (вязкость, индекс вязкости, групповой углеродный состав) и эксплуатационные характеристики.

Водосмешиваемые СОТС могут содержать эмульгаторы, нефтяные масла, воду, спирты, гликоли, ингибиторы коррозии, бактерициды, противоизносные, противозадириные и антипенные присадки, электролиты и другие органические и неорганические продукты.

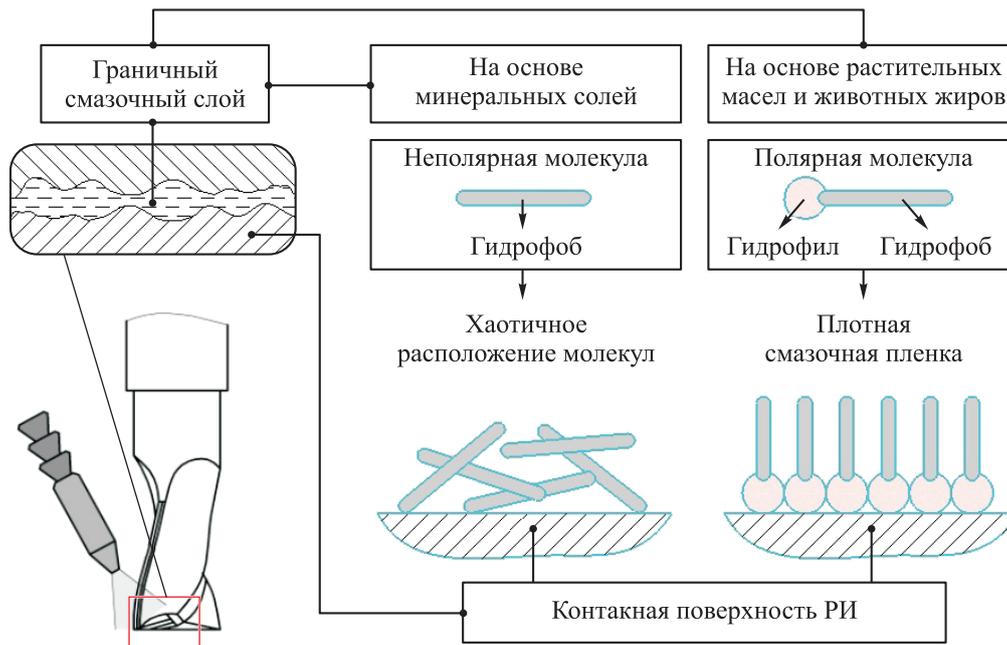


Рис. 1. Схематическое расположение полярных молекул растительных масел, образующих плотную смазочную пленку на поверхности РИ

Преимуществами водосмешиваемых СОТС перед масляными средами являются более высокая охлаждающая способность, относительно низкая стоимость, пожаробезопасность и меньшая токсичность. К их недостаткам относятся сравнительно невысокие смазывающие свойства, низкая эффективность на отдельных операциях и недостаточная стабильность свойств во времени.

Охлаждающее действие СОТС заключается в отборе тепла от нагретых поверхностей РИ, заготовки и стружки путем конвективного теплообмена, что неизбежно влияет на период стойкости РИ, точности, шероховатости и остаточного напряжения в поверхностном слое обработанной детали и стружки. При более высокой скорости резания температура обрабатываемой заготовки стабилизируется [3–7].

Цель работы — повышение эффективности применения СОТС при концевом фрезеровании нержавеющей стали 12Х18Н10Т путем снижения силовых параметров процесса резания.

Изложение основного материала. Проведение экспериментов предусматривало получение данных для решения целого ряда задач лабораторных испытаний [12–14]. Для решения этих задач на вертикально-фрезерном станке 6Р11, соответствующем нормам точности и жесткости по ГОСТ 7035–75 и ГОСТ 8–77, разработан

испытательный комплекс, который обеспечивал в пределах одной серии опытов стабильное смешивание модифицированной водосмешиваемой СОТС (далее модифицированная СОТС).

Подачу СОТС в зону резания в распыленном состоянии осуществляли с помощью устройства Noga Minicool, предназначенного для реализации технологии минимального смазывания (ТМС). Для подачи сжатого воздуха использовали компрессорную установку SATVA OL 102. В процессе исследования силы резания применяли универсальный трехкомпонентный динамометр М30-3-6к.

Для проведения испытаний на столе станка устанавливали динамометр с зажимным приспособлением и заготовкой. Динамометр через блок сопряжения соединяли с персональным компьютером, размещенным на отдельном столе рядом со стендом, по которому определяли силовые параметры процесса фрезерования (рис. 2).

Схема распределения составляющих силы резания P_y , P_v , P_h при концевом (встречном) фрезеровании, приведена на рис. 3.

Подачу СОТС осуществляли между задней и передней поверхностями зубьев фрезы. По каждой экспериментальной точке плана проводили три параллельных опыта. По критерию Стьюдента проверяли наличие бракованных опытов и в случае их обнаружения эксперимент повторяли. Для формирования матриц экспе-

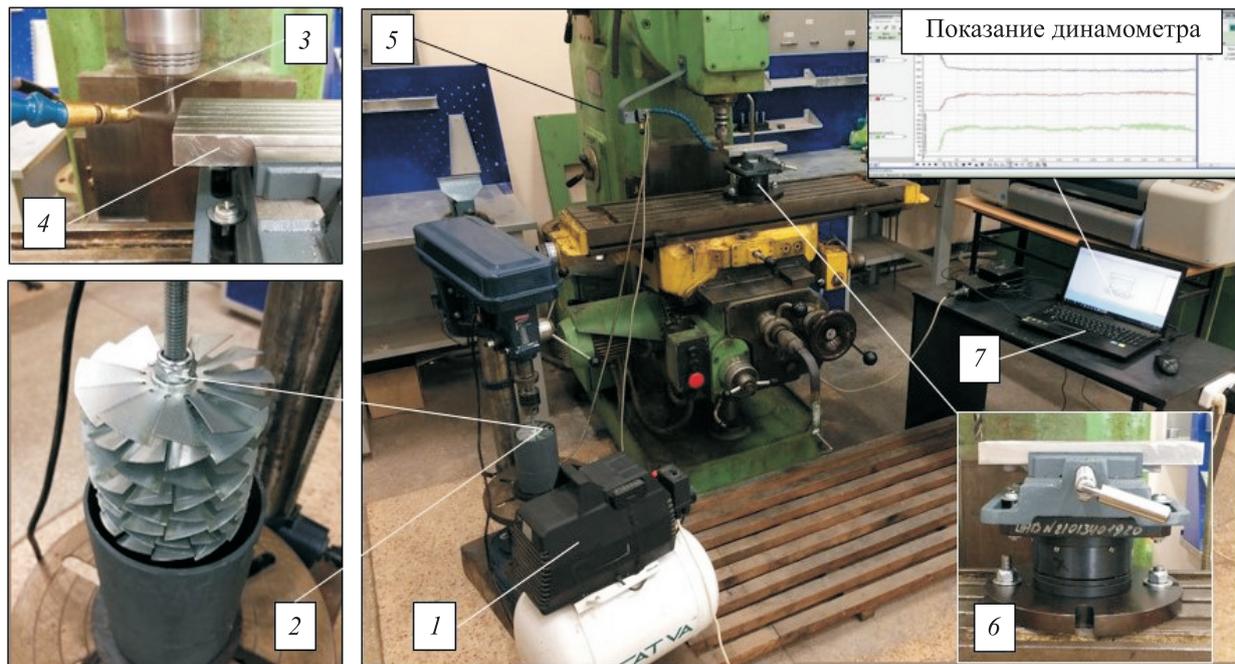


Рис. 2. Внешний вид экспериментального стенда для измерения силовых параметров концевой фрезерования в условиях минимизированной подачи СОТС:

1 — компрессорная установка SATVA OL 102; 2 — устройство непрерывного смешивания СОТС; 3 — ТМС; 4 — заготовка; 5 — вертикально-фрезерный станок 6P11; 6 — динамометр М30-3-6к; 7 — персональный компьютер

риментальных данных принимали среднее значение измерений.

При проведении экспериментальных исследований использовали цельные фрезы диаметром 16 мм (по ГОСТ 17025–71) из быстрорежущей стали Р6М5 одной партии. Перед испытаниями проверяли твердость (3 раза) каждого из испытуемых зубьев фрез в состоянии поставки на приборе ПМТ-3М по методике в соответствии с ГОСТ 9450–76.

Твердость рабочей части фрезы на расстоянии не более 5 мм от режущих кромок составляла 63 HRC. Геометрические параметры концевой фрезы и обрабатываемой заготовки приведены на рис. 4, где γ и α — передний и задний углы РИ; ω — угол наклона винтовой канавки.

В качестве объекта исследования использовали заготовку из нержавеющей стали 12Х18Н10Т с ребрами, позволяющими смоделировать тонкостенное изделие.

С учетом того, что основой модифицированной СОТС является производственная водосмешиваемая СОТС, сочетающая в себе моющие, смазывающие и охлаждающие свойства, определены задачи, направленные на модификацию имеющейся заводской СОТС путем внедрения в нее концентрата ОК, содержащей ПАВ.

Однако вследствие разной плотности ОК и воды надо решить задачу, связанную с растворимостью ОК в воде. Опытным путем выявлено, что при добавлении в концентрат ОК

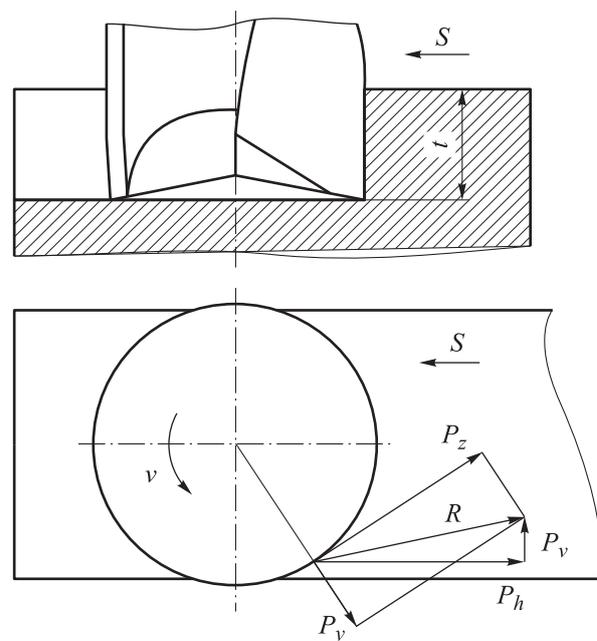


Рис. 3. Схема распределения составляющих силы резания P_y , P_v , P_h при концевом фрезеровании:

S — подача; v и t — скорость и глубина резания; R — результирующая сила резания

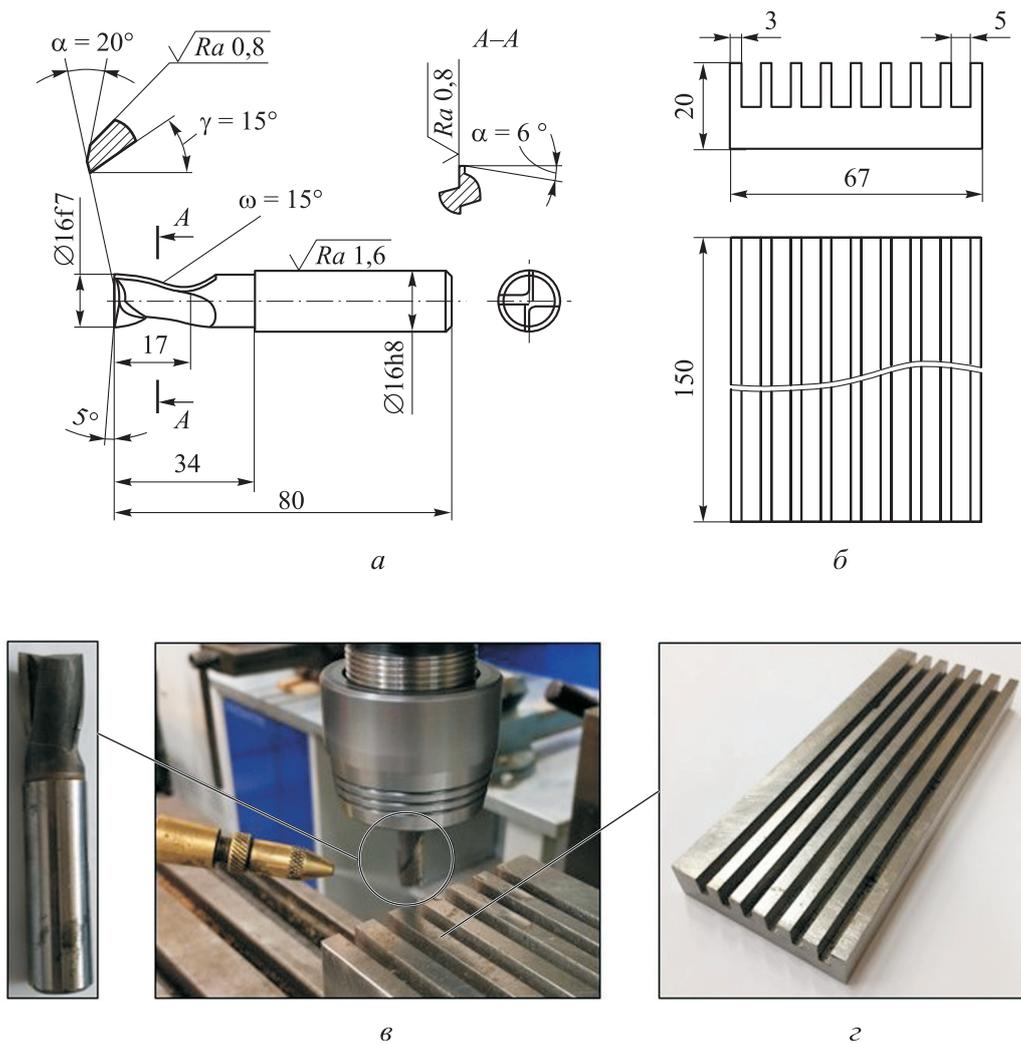


Рис. 4. Конструктивные схемы (а, б) и внешний вид (в, з) концевой фрезы (а, в) и обрабатываемой заготовки (б, з)

мыльного раствора ее растворимость в воде значительно улучшается (рис. 5), но по-прежнему остается необходимость в постоянном смешивании модифицированной СОТС для исключения расслоения жидкостей, для чего

было разработано специальное устройство непрерывного смешивания СОТС (см. рис. 2).

Установка для смешивания модифицированной СОТС содержит специальную крыльчатку с разноориентированными лопастями, которые

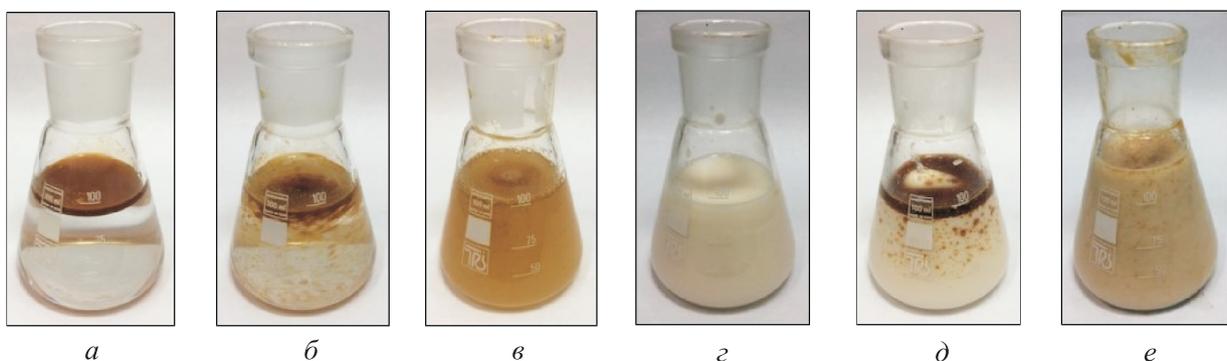


Рис. 5. Условия получения модифицированной СОТС:

а и б — вода + ОК до и после смешивания соответственно; в — вода + ОК + мыльный раствор после смешивания; г и д — эмульсия до и после смешивания соответственно; е — эмульсия + ОК + мыльный раствор после смешивания

позволяют ее смешивать в хаотичном порядке, исключая ламинарный поток жидкостей.

В рамках исследований рассматривали только смазывающее свойство СОТС, в связи с чем использовали установку ТМС, позволяющую порционно (дозировано) подавать смазывающий материал в зону резания.

На рис. 6 показаны зависимости составляющей силы резания P_h от вида СОТС при фрезеровании заготовки из нержавеющей стали 12Х18Н10Т со скоростью $v = 15$ м/мин и подачи $S_z = 0,2$ и $0,3$ мм/зуб, а на рис. 7 — те же зависимости при подаче $S_z = 0,2$ мм/зуб и скорости резания $v = 10$ и 20 м/мин. Расход СОТС составлял 15 мл/ч, глубина резания — 3 мм. Анализ приведенных зависимостей показывает, что в заданном интервале варьируемых параметров наибольшее влияние на составляющую силы резания P_h оказывает технологическая среда.

Из рис. 6 и 7 видно, что модифицированная СОТС, смазывающие свойства которой лучше,

чем у стандартной водосмешиваемой СОТС, способствует снижению силовых параметров процесса фрезерования нержавеющей стали 12Х18Н10Т благодаря наличию ОК, которая обладает повышенными смазывающими свойствами за счет содержания в своем составе ПАВ.

Проецируя полученные данные на процесс фрезерования тонкостенных изделий (например, лопаток турбин из нержавеющей сталей и жаропрочных сплавов) и учитывая специфику обработки таких сталей резанием, можно сделать вывод, что повышение смазывающих свойств стандартной водосмешиваемой СОТС, способствует улучшению качества изготавливаемых изделий путем снижения силы резания, а следовательно, уменьшения вибраций и ударных нагрузок, которые присутствуют в процессе резания. Это в свою очередь снизит образование и распространение микротрещин, увеличив ресурс изделия.

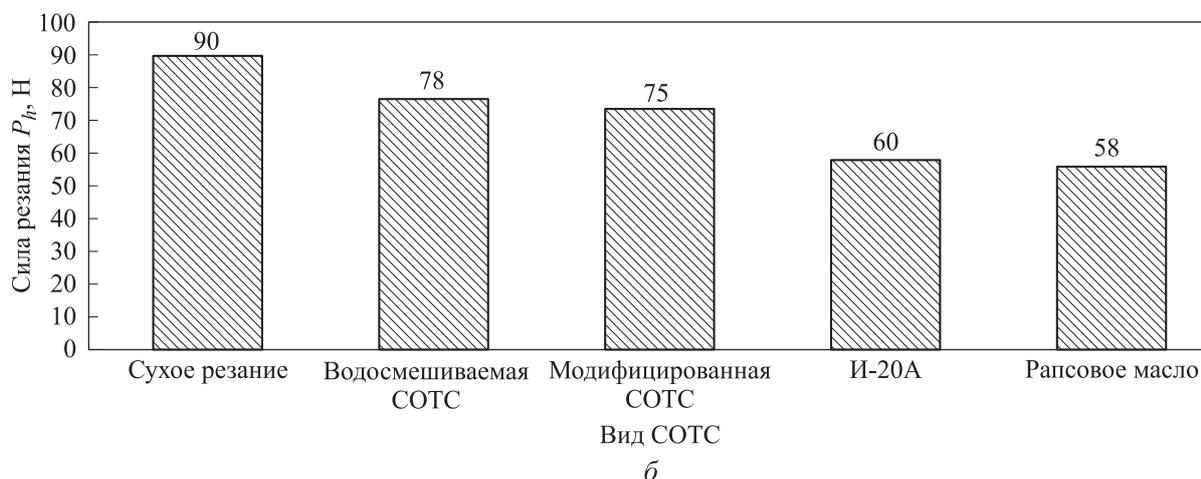
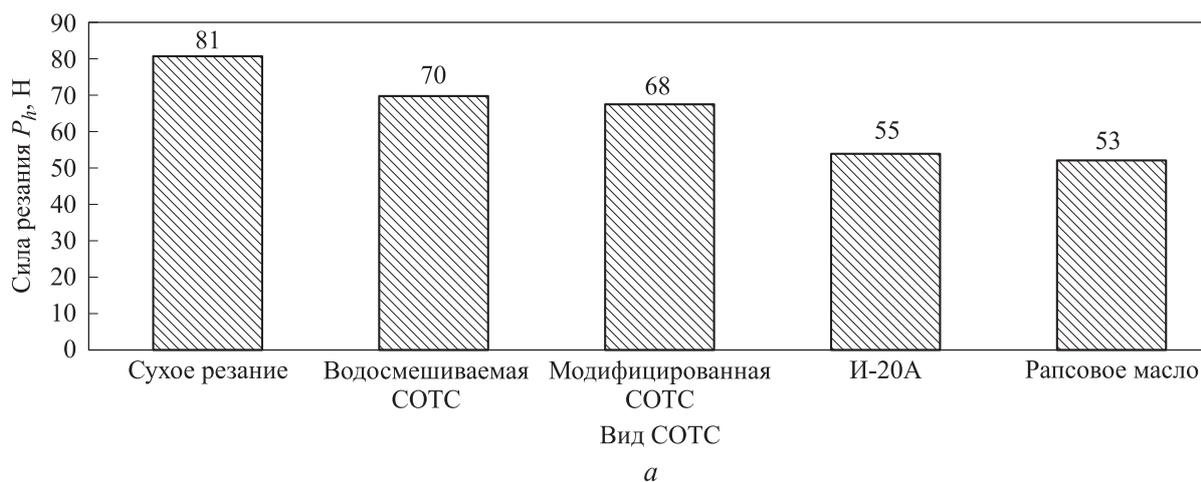


Рис. 6. Зависимости составляющей силы резания P_h от вида СОТС при фрезеровании заготовки из нержавеющей стали 12Х18Н10Т со скоростью $v = 15$ м/мин, расходом СОТС $Q = 15$ мл/ч, глубиной резания $t = 3$ мм и подачей $S_z = 0,2$ (а) и $0,3$ мм/зуб (б)

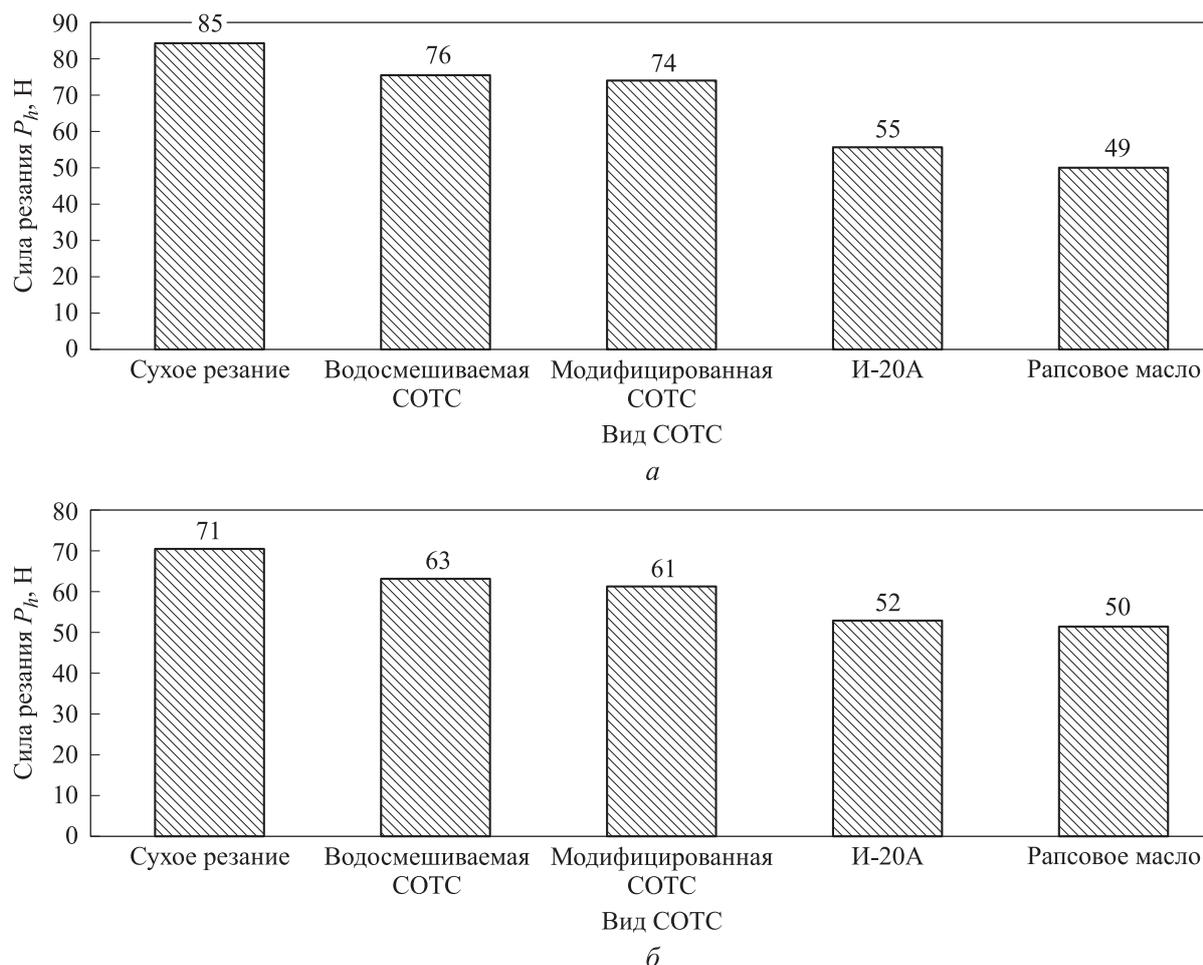


Рис. 7. Зависимости составляющей силы резания P_h от вида СОТС при фрезеровании заготовки из нержавеющей стали 12Х18Н10Т со скоростью $v = 10$ (а) и 20 м/мин (б), расходом СОТС $Q = 15$ мл/ч, глубиной резания $t = 3$ мм и подачей $S_z = 0,2$ мм/зуб

Выводы

1. В результате экспериментальных исследований выявлена степень влияния технологических сред и режимов резания на силовые параметры при концевом фрезеровании заготовки из нержавеющей стали 12Х18Н10Т. На основании полученных данных можно рекомендовать использование модифицированной водосмешиваемой СОТС при обработке изделий из стали 12Х18Н10Т.

2. Показано, что модифицированная СОТС, обладающая достоинствами стандартной водосмешиваемой СОТС, имеет более высокие сма-

зывающие свойства благодаря наличию концентрата ОК, содержащей ПАВ.

3. Установлено, что специальный мыльный раствор позволяет повысить растворимость и получить однородную жидкость, а применение устройства, содержащего разноориентированные крыльчатки, обеспечивает качественное смешивание жидкостей.

4. Экспериментальные данные, полученные при использовании модифицированной СОТС на операциях, протекающих в условиях выраженного адгезионного износа, указывают на ее способность конкурировать с традиционными составами.

Литература

- [1] Верещака А.С., Кушнер В.С. *Резание материалов*. Москва, Высшая школа, 2009. 539 с.
- [2] Старков В.К. *Физика и оптимизация резания материалов*. Москва, Машиностроение, 2009. 640 с.
- [3] Бердичевский Е.Г. *Смазочно-охлаждающие средства для обработки материалов*. Москва, Машиностроение, 1984. 224 с.

- [4] Виноградов Д.В. *Применение смазочно-охлаждающих технологических средств при резании металлов. Ч. 1. Функциональные действия*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013. 90 с.
- [5] Клушин М.И. *Технологические свойства новых СОЖ для обработки металлов резанием*. Москва, Машиностроение, 1979. 192 с.
- [6] Виноградов Д.В. *Основные виды смазочно-охлаждающих технологических средств, применяемых при резании металлов*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018. 96 с.
- [7] Худобин Л.В., ред. *Смазочно-охлаждающие технологические средства и их применение при обработке резанием*. Москва, Машиностроение, 2006. 544 с.
- [8] Алиев А.И., Джемалядинов Р.М., Скакун В.В. и др. Влияние экологически чистых технологических сред на контактные характеристики процесса резания в начальный период эксплуатации. *Вестник РГУПС*, 2019, № 1, с. 8–14.
- [9] Ваниев Э.Р., Скакун В.В., Джемалядинов Р.М. Повышение стойкости лезвийных инструментов с износостойким покрытием путем направленного действия СОЖ в начальный период обработки. *Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета*, 2019, № 1, с. 245–251.
- [10] Скакун В.В., Джемалядинов Р.М., Сулейманов Р.И. Экспериментальная оценка влияния масел растительной и животной природы на контактные процессы при точении. *Известия ВолГТУ*, 2020, № 1, с. 46–49.
- [11] Якубов Ч.Ф. *Упрочняющее действие СОТС при обработке металлов резанием*. Симферополь, СГТ, 2008. 156 с.
- [12] Локтев А.Д., Гуцин И.Ф., Батуев В.А. и др. *Общемашиностроительные нормативы режимов резания*. Т. 1. Москва, Машиностроение, 1991. 640 с.
- [13] Васильев А.С., Кутин А.А., ред. *Справочник технолога-машиностроителя*. Т. 2. Москва, Инновационное машиностроение, 2018. 818 с.
- [14] Сидняев Н.И., Вилисова Н.Т. *Введение в теорию планирования эксперимента*. Москва, Изд-во МГТУ им. Баумана, 2011. 463 с.

References

- [1] Vereshchaka A.C., Kushner V.S. *Rezanie materialov* [Cutting of materials]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 2009. 539 p.
- [2] Starkov V.K. *Fizika i optimizatsiya rezaniya materialov* [Physics and optimization of materials cutting]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2009. 640 p.
- [3] Berdichevskiy E.G. *Smazochno-okhlazhdayushchie sredstva dlya obrabotki materialov* [Refrigerants for materials treatment]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1984. 224 p.
- [4] Vinogradov D.V. *Primenenie smazochno-okhlazhdayushchikh tekhnologicheskikh sredstv pri rezanii metallov. Ch. 1. Funktsional'nye deystviya* [Using refrigerants at cutting of materials. P. 1. Functional actions]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2013. 90 p.
- [5] Klushin M.I. *Tekhnologicheskie svoystva novykh SOZh dlya obrabotki metallov rezaniem* [Technological properties of new refrigerants for cutting processing of metals]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1979. 192 p.
- [6] Vinogradov D.V. *Osnovnye vidy smazochno-okhlazhdayushchikh tekhnologicheskikh sredstv, primenyaemykh pri rezanii metallov* [Basic kinds of refrigerants being used at metal cutting]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2018. 96 p.
- [7] Khudobin L.V., ed. *Smazochno-okhlazhdayushchie tekhnologicheskie sredstva i ikh primenenie pri obrabotke rezaniem* [Refrigerants and their application at cutting work]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2006. 544 p.
- [8] Aliev A.I., Dzhemalyadinov R.M., Skakun V.V., et al. The influence of environmentally friendly technological environments on contact characteristics of cutting process during the initial stage of operation. *Vestnik RGUPS*, 2019, no. 1, pp. 8–14 (in Russ.).
- [9] Vaniev E.R., Skakun V.V., Dzhemalyadinov R.M. Improving the durability of blade tools with wear resistant coating through directed actions of sots in the initial treatment period. *Uchenye zapiski Krymskogo inzhenerno-pedagogicheskogo universiteta* [Scientific Notes of the Crimean Engineering and Pedagogical University], 2019, no. 1, pp. 245–251 (in Russ.).
- [10] Skakun V.V., Dzhemalyadinov R.M., Suleymanov R.I. Features of influence of vegetable and animal origin on contact processes when cutting corrosion-resistant steel 12X18H10T. *Izvestiya VolGTU* [Izvestia VSTU], 2020, no. 1, pp. 46–49 (in Russ.).

- [11] Yakubov Ch.F. *Uprochnyayushchee deystvie SOTS pri obrabotke metallov rezaniem* [Reinforcement by refrigerants at cutting of metals]. Simferopol', SGT Publ., 2008. 156 p.
- [12] Loktev A.D., Gushchin I.F., Batuev V.A., et al. *Obshchemashinostroitel'nye normativy rezhimov rezaniya. T. 1* [General machine building standard of cutting regimes. Vol. 1]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1991. 640 p.
- [13] Vasil'yev A.S., Kutin A.A., eds. *Spravochnik tekhnologa-mashinostroitelya. T. 2* [Handbook of technologist mechanical engineer. Vol. 2]. Moscow, Innovatsionnoe mashinostroenie Publ., 2018. 818 p.
- [14] Sidnyaev N.I., Vilisova N.T. *Vvedenie v teoriyu planirovaniya eksperimenta* [Introduction into experimental design theory]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2011. 463 p.

Статья поступила в редакцию 17.02.2021

Информация об авторах

ВАНИЕВ Эльдар Рустемович — 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: eldar_v@rambler.ru).

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).

ДЖЕМИЛОВ Эшреб Шефикович — 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: eshreb@mail.ru).

АБДУЛКЕРИМОВ Илимдар Дияверович — 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: ilimdar23@mail.ru).

Information about the authors

VANIEV Eldar Rustemovich — 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: eldar_v@rambler.ru).

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).

DZHEMILOV Eshreb Shefikovich — 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: eshreb@mail.ru).

ABDULKERIMOV Ilimdar Dilyaverovich — 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: ilimdar23@mail.ru).

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Ваниев Э.Р., Скакун В.В., Джемилов Э.Ш., Абдулкеримов И.Д. Повышение эффективности концевой фрезерования нержавеющей сталей применением модифицированной смазочно-охлаждающей технологической среды. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2021, № 7, с. 10–18, doi: 10.18698/0536-1044-2021-7-10-18

Please cite this article in English as:

Vaniev E.R., Skakun V.V., Dzhemilov E.Sh., Abdulkерimov I.D. Increasing the Efficiency of Milling Stainless Steels by Using Lubricating-Cooling Technological Medium. *BMSTU Journal of Mechanical Engineering*, 2021, no. 7, pp. 10–18, doi: 10.18698/0536-1044-2021-7-10-18