

Научная статья

Статья в открытом доступе

УДК 621.89.09

doi: 10.30987/2782-5957-2023-12-56-62

МАСЛЯНЫЕ СОЖ ДЛЯ ОПЕРАЦИЙ ПРОТЯГИВАНИЯ С УЛУЧШЕННЫМИ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИМИ И ОХЛАЖДАЮЩИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

Денис Генрихович Тюленев^{1✉}, Ольга Павловна Корнилова², Семён Михайлович Пилюгин³, Андрей Владимирович Шолом⁴, Алексей Николаевич Абрамов⁵

^{1,2,3,4,5} «Хозрасчётный творческий центр Уфимского авиационного института», Уфа, Россия

¹ zavlab@rosoil.ru

² rosoil@rosoil.ru

³ pilyugin@rosoil.ru

⁴ asholom@mail.ru

⁵ abramov@rosoil.ru

Аннотация

Целью настоящей работы являлось испытание разработанных смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ) отечественного производства для операций протягивания взамен импортных аналогов. Представлены результаты сравнительных лабораторных испытаний новых технологических смазок «Росойл-В9» и «Росойл-423М» для операций протягивания, которые являются аналогами импортных СОЖ. Лабораторные испытания проводились в «Лаборатории испытаний технологических смазочных материалов ООО «ХТЦ УАИ». Триботехнические свойства определялись на четырехшариковой

машине трения по ГОСТ 9490-75, охлаждающие характеристики определялись на установке УЗС-2. Физико-химические свойства оценивались стандартными методами испытаний. В результате проведенных исследований выявлено, что физико-химические свойства смазочных материалов «Росойл» аналогичны импортным СОЖ, а по триботехническим и охлаждающим характеристикам СОЖ «Росойл» превосходят импортные аналоги.

Ключевые слова: протягивание, операции, свойства, лабораторные испытания.

Ссылка для цитирования:

Тюленев Д.Г. Масляные СОЖ для операций протягивания с улучшенными триботехническими и охлаждающими характеристиками / Тюленев Д.Г., О. П. Корнилова, С.М. Пилюгин, А.В. Шолом, А.Н. Абрамов // Транспортное машиностроение. – 2023. – № 12. – С. 56-62. doi: 10.30987/2782-5957-2023-12-56-62.

Original article

Open Access Article

OIL LUBRICOOLANTS FOR BROACHING OPERATIONS WITH IMPROVED TRIBO-ENGINEERING AND COOLING CHARACTERISTICS

Denis Genrikhovich Tyulenev^{1✉}, Olga Pavlovna Kornilova², Semyon Mikhailovich Pilyugin³, Andrey Vladimirovich Sholom⁴, Aleksey Nikolaevich Abramov⁵

^{1,2,3,4,5} Self-supporting Creative Center of Ufa Aviation Institute, Ufa, Russia

¹ zavlab@rosoil.ru

² rosoil@rosoil.ru

³ pilyugin@rosoil.ru

⁴ asholom@mail.ru

⁵ abramov@rosoil.ru

Abstract

The paper objective is to test the developed lubricoolants of domestic production for broaching operations instead of imported analogues. The results of

comparative laboratory tests of new technological lubricoolants Rosoil-B9 and Rosoil-423M for broaching operations, which are analogues of imported coolant,

are presented. Laboratory tests are carried out in the Laboratory for Testing Technological Lubricants of Self-supporting Creative Center of Ufa Aviation Institute. Tribo-engineering properties are determined on a four-ball friction machine according to GOST 9490-75; cooling characteristics are determined on УЗС-2 installation. The physicochemical properties are evaluated by standard test methods. As a result of the conducted

Reference for citing:

Tyulenev DG, Kornilova OP, Pilyugin SM, Sholom AV, Abramov AN. Oil lubricoolants for broaching operations with improved tribo-engineering and cooling characteristics. Transport Engineering. 2023;12:56-62. doi: 10.30987/2782-5957-2023-12-56-62.

Введение

Протягивание – это высокопроизводительный процесс обработки наружных и внутренних поверхностей деталей из сталей и сплавов, обеспечивающий высокую точность формы и размеров обработанной поверхности. При протягивании профиль обработанной поверхности копируется профилем режущих зубьев. Обработка ведется с помощью специального инструмента – протяжки. Протяжка имеет большое число режущих зубьев, что позволяет за один проход снимать весь припуск. При этом достигается низкая шероховатость поверхности и точные геометрические размеры получаемой детали. Сила резания при протягивании зависит от большого количества факторов: свойства обрабатываемого материала, схема резания и сечение срезаемого слоя, геометрия режущих зубьев протяжки, степень износа (затупления) зубьев, свойства смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ). Резание при протягивании идет на относительно низких скоростях, существенно меньших, по сравнению другими инструментами. Кроме того, режущие зубья протяжки имеют малые задние углы, а калибрующие могут иметь ленточки с нулевыми задними углами. Стружкообразование при этом происходит в ограниченном объеме стружечной канавки и сопровождается значительным трением стружки по поверхностям зубьев. Из-за этих особенностей процесса резания при протягивании составляющая силы резания, связанная с процессами трения весьма велика. Одним из параметров процесса обработки, позволяющих снизить эту составляющую, является правильный подбор СОЖ.

research, it is found out that the physicochemical properties of Rosoil lubricoolants are similar to imported ones, and in terms of tribo-engineering and cooling characteristics, Rosoil lubricoolants are better than imported analogues.

Keywords: broaching, operations, properties, laboratory tests.

СОЖ при протягивании оказывают существенное влияние на силу протягивания, стойкость протяжки, шероховатость и точность обрабатываемой поверхности. Большое значение, в процессе протягивания, оказывают охлаждающие свойства применяемых смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ). В большинстве случаев при эксплуатации протяжек применяют масляные и водорастворимые СОЖ дающие требуемый эффект смазывания и охлаждения. С усложнениями процесса протягивания (рост скорости, повышение механических характеристик обрабатываемых материалов, обработка специальных сплавов и др.), к СОЖ предъявляются более высокие требования по триботехническим и охлаждающим свойствам. Неправильный подбор СОЖ, ведет к ухудшению условий резания и, как следствие, к снижению стойкости инструмента, производительности труда, качества обработки [1, 5].

В «Московском политехническом университете» были проведены экспериментальные исследования влияния СОЖ на износ и стойкость круговых протяжек с целью определения оптимальных СОЖ [4]. Проведенные исследования показали, что большее влияние на силы резания при круговом протягивании при малых подъемах на зуб (до 0,07 мм) имеют смазочные свойства, а лучшие результаты дает использование более вязких СОЖ. При увеличении подъема на зуб увеличивается нормальная составляющая силы резания и ухудшаются условия для проникновения СОЖ к передней поверхности режущего лезвия. В этом случае большую роль играют охлаждаю-

щие свойства СОЖ. При подъемах на зуб более 0,07 мм эффективнее оказались маловязкие СОЖ, в состав которых входят поверхностно-активные вещества. Эти вещества, адсорбируясь на обрабатываемой поверхности, обеспечивают локализацию деформации сдвига в тонких пластифицированных слоях материала заготовки.

Для операций протягивания на импортном оборудовании применяются различные импортные СОЖ, в том числе такие как «*Castrol Variocut B9*» (Великобритания) и «*Mobil MET 423*» (США).

Castrol Variocu B9 – СОЖ для обработки металлов на базе минерального масла и синтетических эфиров, не содержит в своем составе хлор и тяжелые металлы. Она разработана для операций протягивания при производстве зубчатых передач из металлов (сплавов), применяемых в аэрокосмической отрасли.

Материалы и методы испытаний

По заказам промышленных предприятий специалистам ООО «ХТЦ УАИ» разработаны рецептуры и технологии изготовления новых СОЖ «Росойл-В9» и «Росойл-423М» для операций протягивания металлов и сплавов. Сравнительные лабораторные испытания проводились в «Лаборатории испытаний технологических смазочных материалов ООО «ХТЦ УАИ».

Основные физико-химические показатели, исследуемых СОЖ, определяли стандартными методами. Трибологические свойства (нагрузку сваривания, диаметр пятна износа, нагрузку критическую) определяли по ГОСТ 9490-75 на четырехшариковой машине трения ЧМТ-1.

Кроме этого, проводились сравнительные испытания СОЖ на операции формообразования внутренней резьбы М12 в гайках из стали 10 методом пластического деформирования металла бесстружечными метчиками (раскатниками). Оценку эффективности СОЖ проводили

Результаты и обсуждение

Физико-химические и триботехнические свойства сравниваемых импортных и

«*Mobil MET 423*» – смазочно-охлаждающая жидкость на базе минерального масла. Она рекомендована для обработки изделий из сталей, цветных металлов и сплавов, применяется при обработке изделий из трудно обрабатываемых цветных металлов. Возможно её применение в качестве полифункционального масла для смазочной системы станка.

В результате введения запретов на поставку продукции в РФ из стран ЕС, Великобритании и США, на российских металлообрабатывающих предприятиях возникла острая необходимость в разработке аналогов импортных СОЖ.

Вследствие этого, разработка отечественных высокоэффективных СОЖ для операций протягивания металлов и сплавов взамен импортных, является актуальной задачей.

по величине крутящего момента резьбообразования. Следует отметить, что этот экспресс метод показывает эффективность СОЖ для процессов металлообработки и хорошо коррелирует с другими методами испытаний. Отсутствие эффективных присадок в композиции СОЖ при формообразовании внутренней резьбы значительно сказывается на величине крутящего момента и качестве резьбы. Так при использовании масла индустриального И-20А происходи схватывание инструмента (раскатника) с материалом обрабатываемой детали (гайки).

Охлаждающие характеристики определяли на установке УЗС-2, предназначенной для определения охлаждающих характеристик технологических и закалочных сред в соответствии с требованиями международного стандарта ISO 9950 [6-9].

Новые СОЖ «Росойл-В9» и «Росойл-423М» сравнивали с импортными СОЖ.

разработанных СОЖ для протягивания представлены в табл. 1.

Physicochemical and tribo-engineering properties

№	Показатель	<i>Castrol Variocut B9</i>	Росойл-В9	<i>Mobil MET 423</i>	Росойл-423М	Метод испытания
1	Кинематическая вязкость при 40 °С, мм ² /с (сСт)	11	12,5	15	17	ГОСТ 33
2	Температура вспышки в открытом тигле, °С	160	195	182	194	ГОСТ 4333
3	Содержание серы, %	0,75	0,60	0,35	2	ГОСТ 1431
4	Коррозия на меди 100 °С, 3 ч.	4а	4а	1b	1b	ГОСТ 2917
5	Нагрузка сваривания, P _c , кгс	250	750	250	596	ГОСТ 9490
6	Диаметры пятен износа, Ди, мм (нагрузка 20 кгс, 1 час)	0,38	0,63	0,47	0,30	
7	Диаметры пятен износа, Ди, мм (нагрузка 40 кгс, 1 час)	0,48	0,82	0,60	0,45	
8	Нагрузка критическая, P _k , кгс	63	126	63	100	
9	Раскатка, М12х1,25 мм, Крутящий момент, Мкр., Н·м, при 250 об/мин	19,1	9,6	18,8	9,9	

С помощью установки для определения охлаждающих характеристик технологических сред определяли время охлаждения с температур 600 °С, 400 °С, 200 °С, скорость охлаждения с температуры 300 °С, а также максимальную скорость охлаждения и температуру при максимальной скорости охлаждения.

Результаты испытаний по определению характеристик охлаждающей способности исследуемых масел приведены в табл. 2.

Графические зависимости «температура-скорость охлаждения» представлены на рисунке.

Результаты проведенных испытаний показали по физико-химическим показателям, таким как вязкость, антикоррозионные свойства, разработанные СОЖ «Росойл» аналогичны импортным аналогам.

Нагрузка сваривания, определенная по ГОСТ 9490 и которая характеризует предельную работоспособность смазочно-

го материала, у разработанных СОЖ «Росойл-В9» и «Росойл-423М» выше в 3 раза и в 2,4 раза по сравнению с СОЖ «*Castrol Variocut B9*» и «*Mobil MET 423*» соответственно. Нагрузка критическая, которая характеризует начало катастрофического износа, у СОЖ «Росойл-В9» и «Росойл-423М» выше в 2 раза и в 1,6 раза по сравнению с «*Castrol Variocut B9*» и «*Mobil MET 423*» соответственно.

Результаты испытаний показали, что охлаждающие характеристики СОЖ «Росойл-В9» и «*Castrol Variocut B9*» имеют близкие значения. У СОЖ «Росойл-423М» охлаждающие свойства лучше, чем у «*Mobil MET 423*», например, максимальная скорость охлаждения выше на 21 %.

Также положительные результаты показало использование разработанных СОЖ для раскатывания внутренних резьб. Крутящий момент на операции формообразования внутренней резьбы методом пластического деформирования при ис-

пользовании СОЖ «Росойл-В9» и «Росойл-423М» ниже в 2 и в 1,9 раза по сравнению с СОЖ «Castrol Variocut B9» и «Mobil MET 423» соответственно.

В настоящее время разработанные СОЖ для протягивания рекомендованы предприятиям в качестве замены импортных СОЖ на операциях протягивания деталей из сталей и сплавов.

Таблица 2

Результаты испытаний по определению характеристик охлаждающей способности сравниваемых импортных и разработанных СОЖ

Table 2

Test results to determine the characteristics of the cooling capacity of the compared imported and developed lubricoolant

Масло	Время охлаждения, сек			Скорость охлаждения при 300 °С, °С/с	Максимальная скорость охлаждения, °С/с	Температура при максимальной скорости охлаждения, °С
	до 600 °С	до 400 °С	до 200 °С			
«Castrol Variocut B9»	10,56	13,64	35,99	13,93	79,50	543,8
«Росойл-ВБ9»	9,17	12,59	41,11	6,32	75,16	545,0
«Mobil MET 423»	9,47	12,90	41,73	6,30	82,10	590,9
«Росойл-423М»	3,79	7,36	33,5	8,83	104,1	683,5

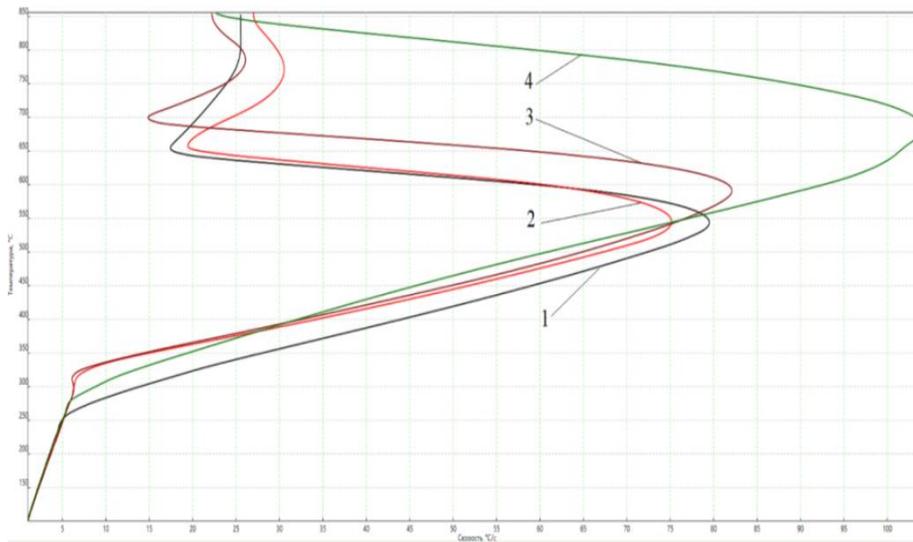


Рис. Скорости охлаждения СОЖ: 1 – «Castrol Variocut B9»; 2 – «Росойл-ВБ9»; 3 – «Mobil MET 423»; 4 – «Росойл-423М»

Fig. Oil cooling rates: 1 – Castrol Variocut B9; 2 – Rosoil-B9; 3 – Mobil MET 423; 4 – Rosoil-423M

Выводы

В результате проведенных исследований выявлено:

1. Разработанные отечественные СОЖ «Росойл-В9» и «Росойл-423М» для

операций протягивания, имеют охлаждающие и смазывающие свойства не хуже импортных аналогов.

2. СОЖ «Росойл-В9» и «Росойл-423М», созданные для операций протягивания, успешно могут быть использованы при раскатывании внутренних резьб. Испытания показали, что в этих условиях

крутящие моменты, возникающие при формировании резьбового профиля, почти в 2 раза ниже, чем при использовании импортных аналогов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Энтелис С. Г. и др. Смазочно-охлаждающие технологические средства для обработки металлов резанием: справочник / Под общей ред. С. Г. Энтелиса, Э. М. Берлинера. М.: Машиностроение, 1986. – 352 с.
2. Обработка конструкционных материалов резанием: краткий курс лекций. *Наземные транспортно-технологические комплексы* / В.В. Чекарчев // ФГБОУ ВО «Саратовский ГАУ» – Саратов: 2016. 71 с.
3. Худобин Л.В., Бабичев А.П., Булыжев Е.М. Смазочно-охлаждающие технологические средства и их применение при обработке резанием: справочник. М.: Машиностроение, 2006. 544 с.
4. Шашин А. Д. Исследование влияния СОЖ на процесс взаимодействия инструмента и заготовки при обработке металлов резанием: дис... канд. технич. наук: 05.03.01: Московский государственный индустриальный университет / Шашин Андрей Дмитриевич. Москва, ГОУ МГИУ, 2003. 118 с.
5. Бердичевский У.Г. Смазочно-охлаждающие средства для обработки материалов. Справочник. М.: Машиностроение, 1984. 224 с.

6. ТУ 27.90.11-128-06377289-2016. Установка для определения охлаждающих характеристик технологических и закалочных сред. Технические условия.
7. ISO 9950. Международный стандарт «Индустриальные закалочные масла - определение охлаждающей способности».
8. Шолом А.В., Пилюгин С.М., Абрамов А.Н., Шолом В.Ю., Тюленев Д.Г. Влияние охлаждающих характеристик масляных смазочно-охлаждающих жидкостей на их триботехнические свойства. // В сборнике: Трибология – машиностроению. Труды XIV Международной научно-технической конференции, посвященной 100-летию со дня рождения А.П. Семёнова. Москва, 2022. С. 299-302.
9. Пат. 2699698 Российская Федерация, МПК C21D 11/00 G01N 25/20 Установка для определения охлаждающей способности технологической среды. / А.В. Шолом, А.Б.Поляков, Д.Г.Тюленев и др.; заявитель и патентообладатель ООО ХТЦ УАИ. Заявлено 12.07.2018. Оpubл. 09.09.2019. Бюл. № 25.

REFERENCES

1. Entelis SG. Lubricating and cooling agents for cutting metals: handbook. Moscow: Mashinostroenie; 1986.
2. Chekmarev VV. Cutting of structural materials: a short course of lectures. Ground transport and technological complexes. Saratov: Saratov State Vavilov Agrarian University; 2016.
3. Khudobin LV, Babichev AP, Bulzhev EM. Lubricating and cooling agents and their application in cutting process: handbook. Moscow: Mashinostroenie; 2006.
4. Shashin AD. Study of lubricant influence on the interaction between tools and workpiece in metal cutting [dissertation]. [Moscow (RF)]: Moskovsky Gosudarstvenny Industrialny Universitet; 2003.
5. Berdichevsky UG. Lubricating and cooling agents for processing materials: handbook. Moscow: Mashinostroenie; 1984.

6. TU 27.90.11-128-06377289-2016. Installation for determining the cooling characteristics of technological and quenching media. Specification.
7. ISO 9950. International standard *Industrial quenching oils - Determination of cooling characteristics*.
8. Sholom AV, Pilyugin SM, Abramov AN, Sholom VYu, Tyulenev DG. Influence of cooling characteristics of oil lubricants on their tribo-engineering properties. Proceedings of the XIV International Scientific and Technical Conference dedicated to the 100th anniversary of the birth of AP Semenov, 2022: Tribology – Mechanical Engineering; Moscow; 2022.
9. Sholom AV, Polyakov AB, Tyulenev DG. RF Patent for invention No. 2699698 IPC C21D 11/00 G01N 25/20 Installation for determining the cooling capacity of a technological medium. 2019 Sep 09.

Информация об авторах:

Тюленев Денис Генрихович – заведующий триботехнической лаборатории ООО «ХТЦ УАИ», +7(964)964-57-85.

Корнилова Ольга Павловна – инженер-химик, ООО «ХТЦ УАИ»; тел. +7(347)272-47-88.

Пилюгин Семён Михайлович, старший научный сотрудник ООО «ХТЦ УАИ», тел. +7(937)302-10-00.

Шолом Андрей Владимирович – инженер исследователь ХТЦ УАИ», тел. +7(987)616-54-43.

Абрамов Алексей Николаевич – доктор технических наук, тел.+7(937)360-63-55, зам. ген. директора ООО «ХТЦ УАИ», член Межведомственного научного совета по трибологии Российской акаде-

мии наук, Министерства науки и высшего образования Российской Федерации и Союза научных и инженерных объединений.

Tyulenev Denis Genrikhovich – Head of the Tribotechnology Laboratory of Self-supporting Creative Center of Ufa Aviation Institute; phone: +7(964)964-57-85.

Sholom Andrey Vladimirovich – Research Engineer of Self-supporting Creative Center of Ufa Aviation Institute; phone: +7(987)616-54-43.

Kornilova Olga Pavlovna – Chemical Engineer of Self-supporting Creative Center of Ufa Aviation Institute; phone: +7(347)272-47-88.

Abramov Aleksey Nikolaevich – Doctor of Technical Sciences, Deputy Director General of Self-supporting Creative Center of Ufa Aviation Institute, Member of the Interdepartmental Scientific Council on Tribology of the Russian Academy of Sciences, the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation and the Union of Scientific and Engineering Associations; phone: +7(937)360-63-55.

Pilyugin Semyon Mikhailovich – Senior Research Associate of Self-supporting Creative Center of Ufa Aviation Institute; phone: +7(937)302-10-00.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare no conflicts of interests.

Статья опубликована в режиме Open Access.
Article published in Open Access mode.

Статья поступила в редакцию 10.11.2023; одобрена после рецензирования 23.11.2023; принята к публикации 27.11.2023. Рецензент – Хандожко А.В., доктор технических наук, профессор кафедры «Металлорежущие станки и инструменты» Брянского государственного технического университета, главный редактор журнала «Транспортное машиностроение».

The article was submitted to the editorial office on 10.11.2023; approved after review on 23.11.2023; accepted for publication on 27.11.2023. The reviewer is Khandozhko A.V., Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Metal Cutting Machines and Tools at Bryansk State Technical University, Editor-in-Chief of the journal *Transport Engineering*.