

УДК 621.892+621.785.6.06.004

## ОХЛАЖДАЮЩИЕ И ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАСЛЯНЫХ СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩИХ ЖИДКОСТЕЙ

А. В. Шолом<sup>1</sup>

<sup>1</sup> asholom@mail.ru

<sup>1</sup> Технопарк «ХТЦ УАИ-РОСОЙЛ», г. Уфа, Россия

*Поступила в редакцию 15.05.2023*

**Аннотация.** Представлены результаты исследований по определению охлаждающих характеристик масляных смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ), которые применяются на различных операциях металлообработки. Выявлены зависимости влияния кинематической вязкости и плотности масляных смазочно-охлаждающих жидкостей на их охлаждающие и триботехнические характеристики. Представлены зависимости нагрузки сваривания и диаметра пятна износа, определенные по ГОСТ 9490, от температуры, при которой обеспечивается максимальная скорость охлаждения, для различных СОЖ, используемых в процессах металлообработки.

**Ключевые слова:** смазочно-охлаждающая жидкость, охлаждающие характеристики, максимальная скорость охлаждения, триботехнические свойства.

### ВВЕДЕНИЕ

В последние годы во всем мире бурно развиваются работы по разработке, производству и применению СОЖ, для более широкого температурного диапазона. И для применения их в процессе работы и более длительного срока эксплуатации. Для процессов металлообработки основными функциями СОЖ являются смазывание и охлаждение инструмента и заготовки. Температура в зоне непосредственного контакта инструмента и обрабатываемой детали зависит от физико-механических свойств самого материала, режимов обработки, геометрии используемого инструмента и используемой СОЖ.

Широко известно, что при металлообработке стали нагрев инструмента, происходит гораздо быстрее, чем при работе с чугуном. С увеличением прочности и твердости обрабатываемой детали температура в зоне обработки быстро растет и при тяжелых режимах может вырастать до 1000-1100 °С. Снижение температуры в зоне обработки повышает точность получаемых размеров детали за счет уменьшения температурных деформаций и увеличивает стойкость инструмента [1-3].

Масляные СОЖ применяются на низкоскоростных операциях обработки металлов (глубокое сверление, нарезка резьбы, холодная объемная штамповка и др.), где требуется максимально снизить трение между инструментом и заготовкой. Охлаждающие свойства СОЖ оказывают влияние на снижение температуры инструмента и обрабатываемой детали.

К сожалению, до сих пор не существует общепризнанной теории, объясняющей многочисленные аспекты механизма действия СОЖ. Отсутствуют данные по зависимости между охлаждающими и физико-химическими свойствами смазочно-охлаждающих жидкостей, применяемых в процессах металлообработки.

Выбор смазочно-охлаждающей жидкости по охлаждающим и триботехническим характеристикам является непростой задачей [3]. Если выбор СОЖ по триботехническим (смазочным) характеристикам можно осуществлять с помощью многих известных методов, то по охлаждающим характеристикам СОЖ такой выбор затруднен не только из-за отсутствия лабораторного оборудования, но и исследований по влиянию охлаждающих характеристик СОЖ на их триботехнические свойства.

Следовательно, определение охлаждающих характеристик СОЖ и проведение исследований по влиянию охлаждающих характеристик смазочно-охлаждающих жидкостей на их триботехнические свойства является актуальной задачей.

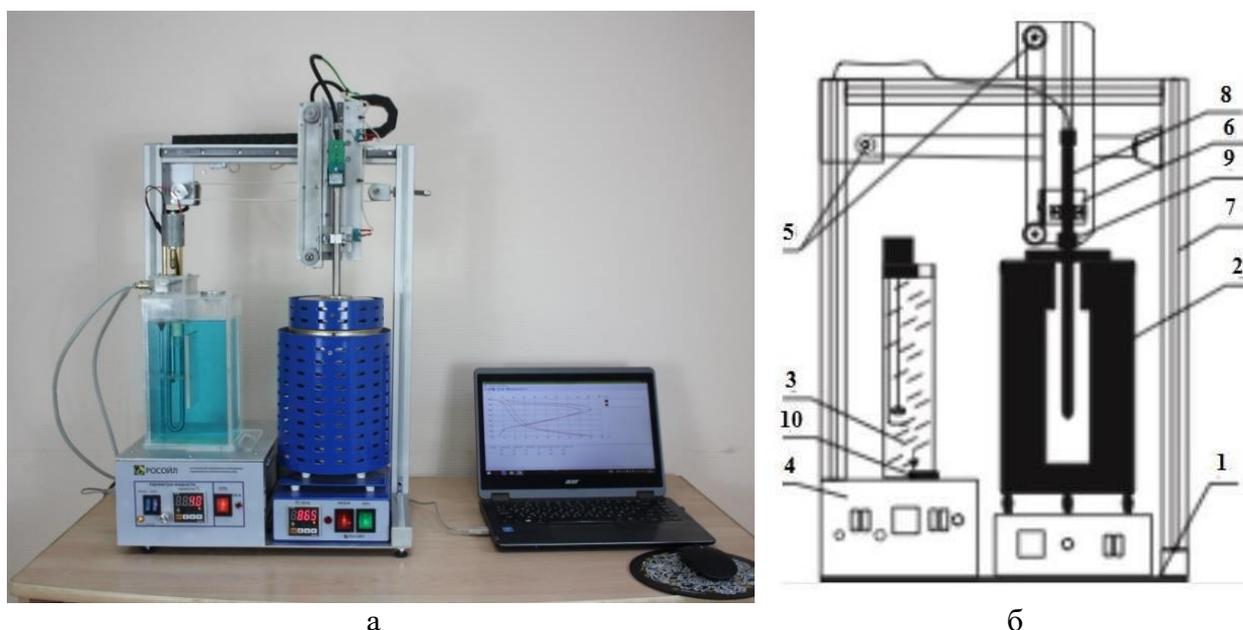
### ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью исследования является применение установки по определению охлаждающих характеристик технологических жидкостей для исследования влияния охлаждающих свойств масляных СОЖ, применяемых в процессах металлообработки, на их триботехнические характеристики.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для определения охлаждающих характеристик технологических жидкостей в лабораториях Технопарка «ХТЦ УАИ – РОСОЙЛ» была создана установка (УЗС-2). Основные технические характеристики установки соответствуют требованиям международных стандартов ISO 9950, ASTM D6200 - 01 и ASTM D6482 - 06 [4-8].

На рис. 1 показан общий вид установки (а) и схема установки с механизмом переноса термодатчика в емкость с технологической жидкостью (б).



**Рис. 1.** Внешний вид установки (а) для определения охлаждающих характеристик технологических и закалочных жидкостей и схема установки с механизмом переноса термодатчика (б):  
1 – основание; 2 - печь; 3 - ёмкость с подогревом и перемешивающим устройством; 4 - блок управления;  
5 - шаговые двигатели; 6 - держатель термодатчика; 7 - П-образная вертикальная стойка;  
8 - термодатчик; 9 - втулка-заглушка; 10 – направляющие

Цилиндрический образец - термодатчик (8) из никелевого сплава, имеющий термопару в своем геометрическом центре, нагревается в печи (2) до определенной температуры и затем переносится в фиксированный объем испытуемой жидкости.

Нагрев термодатчика осуществляется в трубчатой электропечи (2). Перенос термодатчика из печи в термостатированный (3) или другой сосуд с пробой исследуемой технологической среды производится автоматически с помощью механизма переноса. Проба тестируемой среды может испытываться с помощью перемешивающего устройства с подогревом, либо, при испытании масел, без перемешивания в специальном стакане.

Исследование с помощью данной установки охлаждающего действия различных СОЖ позволяет осуществить выбор СОЖ с наиболее приемлемой охлаждающей способностью в заданном температурном диапазоне.

Для исследования охлаждающих характеристик наиболее распространенных минеральных масел, которые используются в качестве СОЖ в процессах металлообработки, были выбраны:

- масла индустриальные И-5А, И-12А, И-20А, И-40А по ГОСТ 20799-88;
- масло компрессорное из сернистых нефтей КС-19 ГОСТ 9243-75.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В таблице 1 представлены физические (плотность, вязкость) и охлаждающие характеристики исследуемых масляных смазочно-охлаждающих жидкостей.

Таблица 1

#### Плотность, вязкость и охлаждающие характеристики масляных СОЖ

Тестируемая СОЖ	Плотность при 20 °С, кг/м <sup>3</sup>	Кинематическая вязкость ( $\nu$ ) при 40 °С, сСт	Время охлаждения до 600°С, сек	Скорость охлаждения при 300°С, °С/сек	Температура при максимальной скорости, °С
И-5А	870	7	6,7	6,2	542
И-12А	880	14	6,3	5,9	568
И-20А	890	30	6,2	5,8	592
И-40А	900	65	5,4	5,7	617
КС-19	905	225	4,9	5,0	692

Из полученных экспериментальных данных, приведенных в табл. 1, можно заметить, что с увеличением кинематической вязкости и плотности исследуемых масляных СОЖ увеличивается температура, при которой обеспечивается максимальная скорость охлаждения инструмента и заготовки, а также уменьшаются время охлаждения до 600°С и скорость охлаждения при 300°С.

На рис. 2 показаны зависимости «температура-время охлаждения», «температура-скорость охлаждения» для различных масел, полученные на УЗС-2.

Из полученных на установке экспериментальных зависимостей можно увидеть, что вязкость и плотность масляных СОЖ практически не влияет на характер кривых «температура-время охлаждения». В тоже время наблюдается принципиальное отличие в кривых «температура-скорость охлаждения».

Максимальные скорости охлаждения всех СОЖ различаются друг от друга незначительно. Но температуры при максимальной скорости охлаждения существенно различаются и прослеживается определенная зависимость от значений вязкости и плотности исследуемых СОЖ.

На рис. 3 показана зависимость температуры, при которой обеспечивается максимальная скорость охлаждения, от кинематической вязкости масел.

Полученную зависимость можно описать формулой:

$$T_{\text{мсо}} = 471,64 \nu^{0,07}, \quad (1)$$

где  $T_{\text{мсо}}$  – температура, при которой обеспечивается максимальная скорость охлаждения;  $\nu$  – кинематическая вязкость испытываемых масел при 40°С.

В таблице 2 приведены вязкостные, противозадирные и противоизносные свойства исследуемых масляных СОЖ.

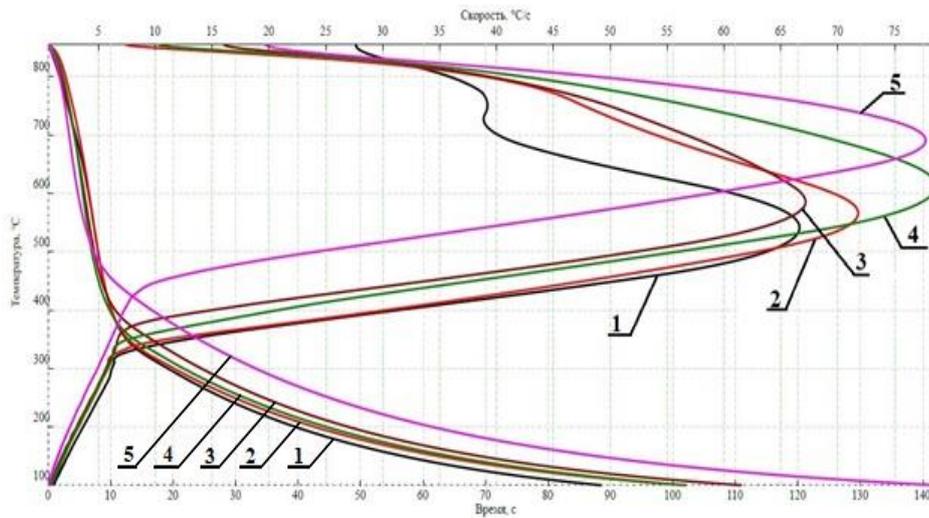


Рис. 2. Зависимости «температура-время охлаждения», «температура-скорость охлаждения» для различных масел: 1 – И-5А; 2 – И-12А; 3 – И-20А; 4 – И-40А; 5 – КС-19

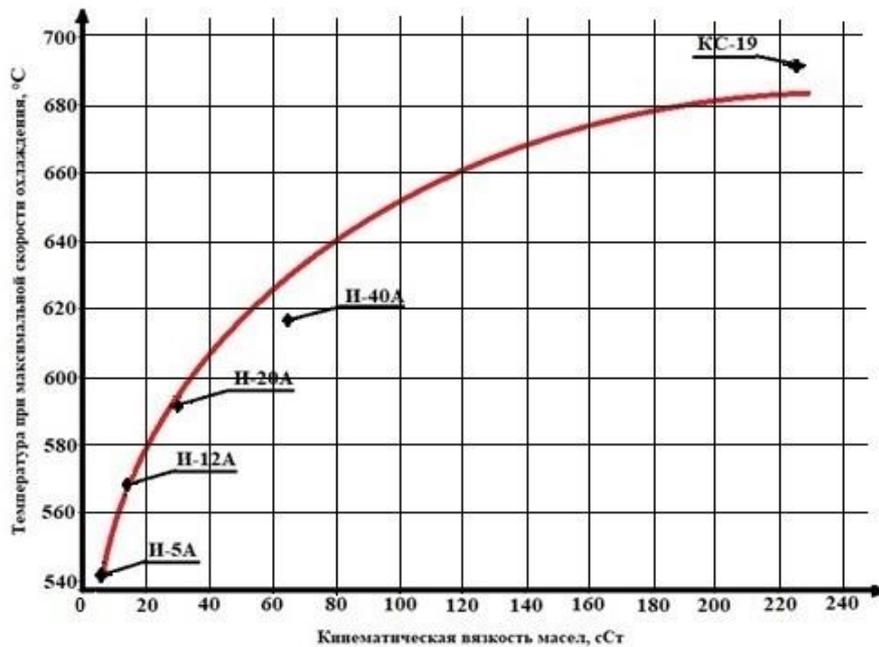


Рис. 3. Зависимость температуры, при которой обеспечивается максимальная скорость охлаждения, от кинематической вязкости масел при 40 °С

Таблица 2

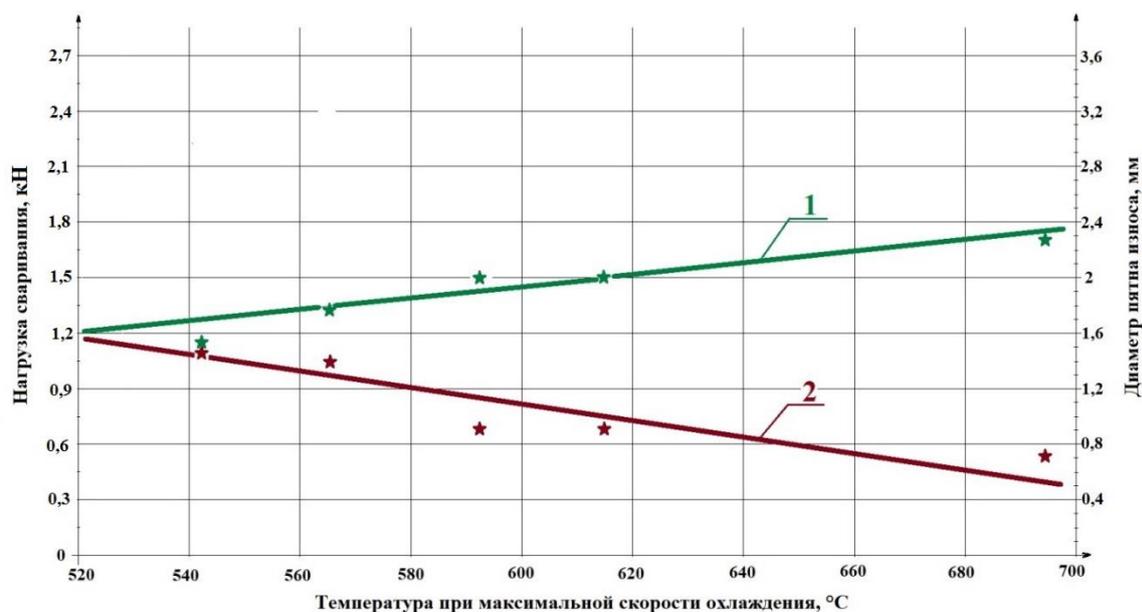
**Вязкостные и триботехнические характеристики испытуемых масляных СОЖ**

СОЖ	Кинематическая вязкость ( $\nu$ ) при 40 °С, сСт	Нагрузка сваривания ( $P_c$ ), кгс	Диаметр пятна износа $D_{из}$ , мм (40 кгс, 1 час)
И-5А	7	119	1,48
И-12А	14	133	1,40
И-20А	30	150	0,90
И-40А	65	150	0,89
КС-19	225	168	0,73

В результате проведенных исследований на УЗС-2 и на ЧМТ-1 масляных СОЖ было установлено, что с увеличением плотности и кинематической вязкости, исследуемых минеральных масел, повышаются их триботехнические характеристики, а именно возрастает нагрузка сваривания и уменьшается износ.

Взаимосвязь между триботехническими и охлаждающими характеристиками СОЖ, по мнению автора, правильно будет определять по нагрузке сваривания и температуре, при которой обеспечивается максимальная скорость охлаждения СОЖ.

На рисунке 4 представлены зависимости нагрузки сваривания и диаметра пятна износа, определенных по ГОСТ 9490, от температуры, при которой обеспечивается максимальная скорость охлаждения, для различных СОЖ, используемых в процессах металлообработки.



**Рис. 4.** Зависимость нагрузки сваривания -1 и диаметра пятна износа- 2 от температуры, при которой обеспечивается максимальная скорость охлаждения для масляных СОЖ

Зависимость нагрузки сваривания от температуры, при которой обеспечивается максимальная скорость охлаждения для масляных СОЖ, показанную на рисунке 4 можно описать формулой:

$$P_c = 0,31 T_{\text{мсо}} - 42,08, \quad (2)$$

где  $P_c$  – нагрузка сваривания, кгс,  $T_{\text{мсо}}$  – температура (°С), при которой обеспечивается максимальная скорость охлаждения.

Зависимость диаметра пятна износа от температуры, при которой обеспечивается максимальная скорость охлаждения для масляных СОЖ, показанную на рисунке 6 можно описать формулой:

$$D_{\text{и}} = - 0,01 T_{\text{мсо}} + 4,51, \quad (3)$$

где  $D_{\text{и}}$  – диаметр пятна износа, мм,  $T_{\text{мсо}}$  – температура (°С), при которой обеспечивается максимальная скорость охлаждения.

Отсюда хорошо просматривается взаимосвязь температуры, при которой обеспечивается максимальная скорость охлаждения (определяемая на установке УЗС-2) и триботехнических характеристик СОЖ, определяемых на четырехшариковой машине трения ЧМТ-1.

Для операций металлообработки наибольшее значение, по нашему мнению, имеют противозадирные свойства СОЖ, которые должны обеспечивать максимальную стойкость инструмента и высокое качество обработанной поверхности детали.

## ВЫВОДЫ

1. Предложено определять охлаждающие характеристики СОЖ, применяемые в процессах металлообработки, с помощью установки для оценки охлаждающих характеристик технических жидкостей УЗС-2.

2. Установлено, что с увеличением кинематической вязкости и плотности, исследуемых минеральных масел, увеличивается температура, при которой обеспечивается максимальная скорость охлаждения инструмента и заготовки, а также уменьшаются время охлаждения до 600 °С и скорость охлаждения при 300 °С.

3. Выявлены зависимости триботехнических свойств испытуемых масляных СОЖ от их охлаждающих характеристик. Показано, что с увеличением температуры, при которой обеспечивается максимальная скорость охлаждения СОЖ, повышаются противозадирные и противозносные свойства СОЖ, определенные по ГОСТ 9490, на четырехшариковой машине трения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Трение, износ и смазка (трибология и триботехника) / под ред. **А. В. Чичинадзе**, М.: Машиностроение, 2003. – 576 с. [Friction, wear and lubrication (tribology and tribotechnics) / under the editors A. V. Chichinadze, (in Russian) M.: Mechanical Engineering, 2003. 576 p.]
2. Смазочно-охлаждающие технологические средства для обработки металлов резанием: Справочник / Под общей ред. **С.Г. Энтелиса, Э.М. Берлинера**. - М.: Машиностроение, 1986, - 352 с. [Lubricating and cooling technological means for metal cutting: Handbook / Under the general editorship of S.G. Entelis, E.M. Berliner. (in Russian) M.: Mechanical Engineering, 1986, 352 p]
3. **Бердичевский У.Г.** Смазочно-охлаждающие средства для обработки материалов. Справочник. М.: Машиностроение, 1984, 224 с. [Berdichevsky U.G. Lubricating and cooling agents for processing materials. Handbook. (in Russian) M.: Mechanical Engineering, 1984, 224 p.]
4. **Шолом В.Ю., Абрамов А.Н., Казаков А.М., Шолом А.В., Иванов В.В.** Установка для определения охлаждающих характеристик технологических сред // КШП ОМД. 2014. № 5. С.30–33. [V.Yu Sholom., A.N., Abramov, A.M.Kazakov, A.V.Sholom, V.V.Ivanov. Installation for determining the cooling characteristics of technological environments. (in Russian)/ KShP OMD. 2014. No5. pp .30–33].
5. Патент РФ № 2699698. Установка для определения охлаждающей способности технологической среды / **Шолом А.В., Поляков А.Б., Тюленев Д.Г.** и другие № 2018125812; заявл. 12.07.2018; опубл. 09.09.2019, Бюл. № 25. [Patent RF. No. 2699698. Installation for determining the cooling capacity of the technological medium / A.V. Sholom, A.B.Polyakov, D.G Tyulenev and others No. 2018125812; declared. 12.07.2018; publ. 09.09.2019,Bull. № 25].
6. ISO 9950:1995(E). Industrial quenching oils Determination of cooling characteristics - Nickel-alloy probe test method. - Geneva: International Organization for Standardization, 1995. - 9 p.
7. ASTM D6482 - 06(2016) Standard Test Method for Determination of Cooling Characteristics of Aqueous Polymer Quenchants by Cooling Curve Analysis with Agitation (Tensi Method), 2016. - 9 p
8. ATM D6200 - 01(2017) Standard Test Method for Determination of Cooling Characteristics of Quench Oils by Cooling Curve Analys, 2017. - 6 p.

#### ОБ АВТОРАХ

**ШОЛОМ Андрей Владимирович**, научный сотрудник Технопарка «ХТЦ УАИ-РОСОЙЛ», г. Уфа, диплом магистра техники и технологий (2011г. ФГБОУ ВО «УГАТУ»).

#### METADATA

**Title:** Influence of cooling characteristics of oil cutting fluids on tribological properties.

**Authors:** A.V. Sholom

**Affiliation:** Technopark «KhTC UAI-ROSOIL» Russia

**Email:** asholom@mail.ru

**Language:** Russian.

**Source:** Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa University of Science and Technology), vol. 27, no. 2 (100), pp. 148-153, 2023. ISSN 2225-2789 (Online), ISSN 1992-6502 (Print).

**Abstract:** The design of the installation for determining the cooling characteristics of process fluids is presented The results of studies to determine the cooling characteristics of oil-lubricating fluids (coolants), which are used in various metalworking operations, are presented. The dependences of the influence of kinematic viscosity and density of oil cutting fluids on their cooling and tribological characteristics are revealed.

**Key words:** cutting fluid, cooling characteristics, maximum cooling rate, tribological properties.

**About authors:**

**SHOLOM Andrey Vladimirovich Researcher**, research scientist of the Technopark "KHTC UAI-ROSOIL", Ufa, Dipl. Master of Engineering and Technology (2011. "USATU").