

**Критерии авторства**

Леонов О.А., Шкаруба Н.Ж., Гринченко Л.А. выполнили теоретические исследования, на основании полученных результатов провели обобщение и подготовили рукопись. Леонов О.А., Шкаруба Н.Ж., Гринченко Л.А. имеют на статью авторские права и несут ответственность за плагиат.

**Конфликт интересов**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 26.10.2020 г.

Одобрена после рецензирования 20.12.2020 г.

Принята к публикации 12.02.2021 г.

**Contribution**

O.A. Leonov, N.Zh. Shkaruba, L.A. Grinchenko performed theoretical studies, and based on the results obtained, generalized the results and wrote a manuscript. O.A. Leonov, N.Zh. Shkaruba, L.A. Grinchenko have equal author's rights and bear equal responsibility for plagiarism.

**Conflict of interests**

The author declares no conflict of interests regarding the publication of this paper.

The paper was received 26.10.2020

Approved after reviewing 20.12.2020

Accepted for publication 12.02.2021

**ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ**

УДК 621.993

DOI: 10.26897/2687-1149-2021-2-57-61

## ИССЛЕДОВАНИЯ СТОЙКОСТИ МЕТЧИКОВ В УСЛОВИЯХ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТАЛЛОПЛАКИРУЮЩИХ СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩИХ ЖИДКОСТЕЙ

**ИГНАТКИН ИВАН ЮРЬЕВИЧ**, *д-р техн. наук, доцент*

ignatkinivan@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-4867-1973>

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана; 105005, Российская Федерация, г. Москва, ул. 2-я Бауманская, 5

**Аннотация.** В статье рассмотрены результаты сравнительных испытаний периода стойкости метчиков в различных технологических средах. Обработка заготовок велась в среде индустриального масла И-30, а также с применением 10%- и 20%-ного раствора металлоплакирующей присадки «Валена SV» в том же масле. Испытания проводились на метчиках М10×1 из быстрорежущей стали марки Р6М5 при производстве сквозных резьбовых отверстий в образцах из стали 40Х на вертикально-сверлильном станке 2Н118 с частотой вращения инструмента от 180 до 355 об/мин, что соответствовало скорости резания от 5,7 до 11,1 м/мин. На основе экспериментальных данных построена регрессионная модель зависимости относительной износостойкости от концентрации присадки и скорости резания. Проведена оценка адекватности модели и сходимости экспериментальных и расчётных данных. Установлено, что при скорости резания 11,1 м/мин и концентрации присадки в составе 20% относительная износостойкость метчиков повысилась в 3,1 раза. Полученные результаты свидетельствуют об эффективности состава и подтверждают гипотезу о повышении износостойкости метчиков в среде металлоплакирующих смазывающе-охлаждающих жидкостей.

**Ключевые слова:** металлоплакирующая присадка, нарезание резьбы, метчик, СОТС на масляной основе, период стойкости.

**Формат цитирования:** Игнаткин И.Ю. Исследования стойкости метчиков в условиях применения металлоплакирующих смазочно-охлаждающих жидкостей // *Агроинженерия*. 2021. № 2 (102). С. 57-61 DOI: 10.26897/2687-1149-2021-2-57-61.

© Игнаткин И.Ю., 2021

**ORIGINAL PAPER**

## STUDY OF THE RESISTANCE OF TAPERS WHEN APPLYING METAL-CLADDING LUBRICANT-COOLING FLUIDS

**IVAN Yu. IGNATKIN**, *DSc (Eng), Associate Professor*

ignatkinivan@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-4867-1973>

Bauman Moscow State Technical University; 105005, Russian Federation, Moscow, 2<sup>nd</sup> Baumanskaya Str., 5

**Abstract.** The paper discusses the results of comparative tests of the period of tap resistance in various technological environments. The workpieces were processed in the medium of industrial oil I-30 with using a 10 and 20 percent solution of the metal-coating additive “Valena SV” in the same oil. The tests were performed on M10×1 taps made of high-speed steel of the R6M5 brand during the production of through threaded holes in samples made of steel of the Steel 40X brand. The cutting speed varied from 5.7 to 11.1 m/min at the rotary speed of the tool ranging between 180 and 355 rpm. Based on the experimental material, a regression model of the relationship between the relative wear resistance and the additive concentration, and cutting speed has been determined. The author has evaluated the model adequacy and the convergence of the experimental and calculated data. It has been found that at a cutting speed of 11.1 m/min and an additive concentration of 20%, the relative wear resistance of the taps increased by 3.1 times. The results obtained testify to the effectiveness of the composition and confirm the hypothesis of an increase in the wear resistance of the taps in the medium of metal-plating lubricating-and-cooling liquids.

**Key words:** metal-cladding additive, threading, taps, oil-based cutting fluids, durability period.

**For citation:** Ignatkin I.Yu. Study of the resistance of tapers when applying metal-cladding lubricant-cooling fluids. *Agricultural Engineering*, 2021; 2 (102): 57-61. (In Rus.). DOI: 10.26897/2687-1149-2021-2-57-61.

**Введение.** Резьбовые поверхности используются для производства деталей передач, крепёжных изделий, инструментов, что обуславливает их широкое распространение в машиностроении как при изготовлении новых, так и при восстановлении повреждённых деталей.

Резьбовые поверхности пользуются широкой популярностью, так как обладают хорошими прочностными качествами, обеспечивают разборность соединений, плавность и долговечность передач. Для нарезания резьбы используют различные инструменты, но в отверстиях небольших размеров всегда используют метчики.

В процессе эксплуатации, получения и восстановления резьбовых поверхностей наблюдается износ режущего инструмента, что негативно сказывается на качестве получаемых поверхностей, сроке службы инструмента, а также на силовых и энергетических показателях процесса [1].

Основными видами износа являются:

– абразивное изнашивание вследствие контакта абразивного материала (стружки, окарины...) с рабочей поверхностью инструмента;

– адгезионное изнашивание в результате схватывания металлов в процессе резания с образованием прочных металлических связей в зонах непосредственного контакта поверхностей<sup>1</sup> [2-5].

Помимо изнашивания, в ходе обработки наблюдаются различного рода дефекты – такие, как рваная резьба, неполный профиль резьбы, перекося резьбы, задиры на поверхности резьбы, тугая резьба, конусность резьбы, поломка метчика. А извлечение обломка из обрабатываемого отверстия представляет собой трудоёмкую операцию [6].

Если исключить из рассмотрения конструкцию метчика и режим обработки, то очевидными путями повышения стойкости инструмента являются его упрочнение и оптимизация состава технологической среды. Отдельным направлением является разработка самосмазывающих композиционных материалов, однако на данный момент разработанные образцы не обладают достаточной прочностью [7].

В основном метчики изготавливают из быстрорежущей стали. Такой выбор обусловлен гармоничным сочетанием прочности и твердости, крайне важным для осевого инструмента. Свойства этой группы материалов достигли своего предела. Можно улучшить характеристики инструмента с помощью функциональных покрытий, однако без изменения материала основы их возможности тоже ограничены.

По мнению автора, перспективным направлением является оптимизация вида и состава смазывающе-охлаждающей технологической среды (СОТС) [2, 6, 8]. При резании наибольшее распространение получили смазывающе-охлаждающие жидкости (СОЖ).

Выбор СОЖ – многофакторная технологическая задача, во многом определяемая свойствами заготовки, инструмента, режимом обработки, взаимодействием СОЖ с рабочими жидкостями и элементами станка, токсичностью, особенностями утилизации и т.д. При нарезании резьбы широко применяются масляные СОЖ, что обусловлено хорошей смазывающей способностью, удовлетворительными охлаждающими свойствами при сравнительно низкой скорости резания при нарезании резьбы. Использование масел в чистом виде встречается редко, базовые масла модифицируют пакетом присадок. На наш взгляд, особого внимания заслуживают металлоплакирующие присадки, реализующие эффект избирательного переноса при трении [6, 8].

**Цель работы** – исследование стойкости метчиков в условиях применения металлоплакирующих смазочно-охлаждающих жидкостей.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Исследовать влияние скорости резания и концентрации металлоплакирующей присадки в составе СОЖ на износостойкость метчиков.

2. На основе экспериментальных данных построить математическую модель, описывающую влияние концентрации присадки и скорости резания на износостойкость инструмента.

**Материалы и методы.** Автором предлагается использование в качестве СОЖ смеси промышленного масла И-30 с металлоплакирующей присадкой «Валена SV». Гипотеза заключается в том, что образование сервовитных пленок на взаимодействующих поверхностях уменьшит износ и снизит адгезионную составляющую силы трения по передней и задней поверхностям инструмента, что

<sup>1</sup> Устройство для испытаний на абразивное изнашивание рабочих органов почвообрабатывающих, строительных и дорожных машин: пат. 2410668 РФ, МПК G01N3/56 / А.М. Михальченко, Н.Ю. Кожухова, А.С. Кононенко, П.Н. Гончаров; заявл. 03.06.2009; опубл. 27.01.2011. Бюл. № 3. 3 с.

благоприятно скажется на силовых и энергетических показателях процесса резания и снизит вероятность поломки метчика. Также ожидается снижение силы резания за счёт влияния эффекта Ребиндера. Предполагаемый результат должен выразиться в увеличении периода стойкости инструмента.

Сравнительные испытания периода стойкости проведены для машинных метчиков М10×1 из быстрорежущей стали марки Р6М5. В качестве смазочно-охлаждающих технологических сред использовались: промышленное масло И-30, а также 10%- и 20%-ный раствор присадки «Валена SV» в том же масле. За основной уровень принимается концентрация 10%, интервал варьирования – 10%. Концентрация присадки определена по данным производителя и из источников литературы [1, 5].

Работы по нарезанию резьбы проводились на вертикально-сверлильном станке 2Н118 с частотой вращения инструмента  $n = 180, 250, 355$  об/мин, что соответствует скоростям резания 5,7; 7,9; 11,1 м/мин. Основной уровень – 7,85 м/мин, равные интервалы варьирования на данном оборудовании обеспечить невозможно. Подача равна шагу нарезаемой резьбы. Сквозные резьбовые отверстия производились в пластинах из стали 40Х с низкотемпературным отпуском (200°C) толщиной 30 мм.

Инструменты при работе с различными СОЖ доводились до равной степени износа. Отношение количества полученных отверстий эквивалентно отношению периодов стойкости, то есть относительную износостойкость можно вычислить по формуле:

$$k = \frac{T_2}{T_1} = \frac{z_2}{z_1}, \quad (1)$$

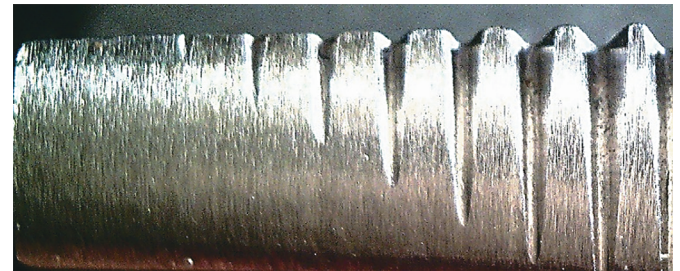
где  $T_1, T_2$  – период стойкости метчика при использовании контрольной и опытной СОЖ соответственно, мин;  $z_1, z_2$  – количество произведённых резьбовых отверстий

при использовании контрольной и опытной СОЖ соответственно, шт.

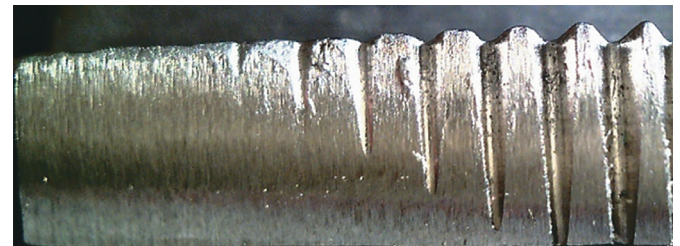
Контроль степени износа осуществлялся через каждые 5 отверстий на микроскопе Supereyes b008 с возможностью подключения к компьютеру через usb интерфейс.

**Результаты.** С применением 20%-ного раствора присадки «Валена SV» в промышленном масле И-30 было произведено 100 резьбовых отверстий, полученный износ был принят за эталон (рис. 1).

Результаты испытаний приведены в таблице 1.



а



б

**Рис. 1. Режущая кромка метчика:**  
а – исходная; б – изношенная

**Fig. 1. The cutting edge of the tap:**  
а – initial; б – worn out

Таблица

**Результаты экспериментальных исследований относительной износостойкости**

Table

**Results of experimental studies of relative wear resistance**

Концентрация присадки С, % <i>Additive concentration C, %</i>	Опыт <i>Experiment</i>	Скорость резания v, м/мин / <i>Cutting speed v, m/ min</i>		
		5,6	7,9	11,1
20	1	6,8	4,7	2,8
	2	7,4	5,2	3,1
	3	7,3	5,6	3,5
	<b>Среднее / Average</b>	7,2	5,2	3,1
10	1	4,5	3,2	2,4
	2	4,0	3,0	1,8
	3	3,8	3,3	1,9
	<b>Среднее / Average</b>	4,1	3,2	2,0
0	1	1,8	1,6	0,9
	2	2,1	1,3	1,1
	3	2,2	1,5	0,9
	<b>Среднее / Average</b>	2,0	1,5	1,0

На основе полученных данных построена поверхность отклика (рис. 2а), которая отражает ожидаемый результат: период стойкости возрастает пропорционально уменьшению скорости резания и увеличению концентрации присадки в составе СОЖ. Поверхность имеет монотонно возрастающий характер без экстремума, следовательно, потенциал СОЖ не исчерпан и имеет смысл оценить свойства составов с большей концентрацией присадки.

Относительная стойкость варьирует в диапазоне от 1 до 7,2. При скорости 11,1 м/мин и концентрации присадки 20% относительная износостойкость составила 3,1, что свидетельствует о высокой эффективности состава. Однако полученный результат требует сравнительной оценки

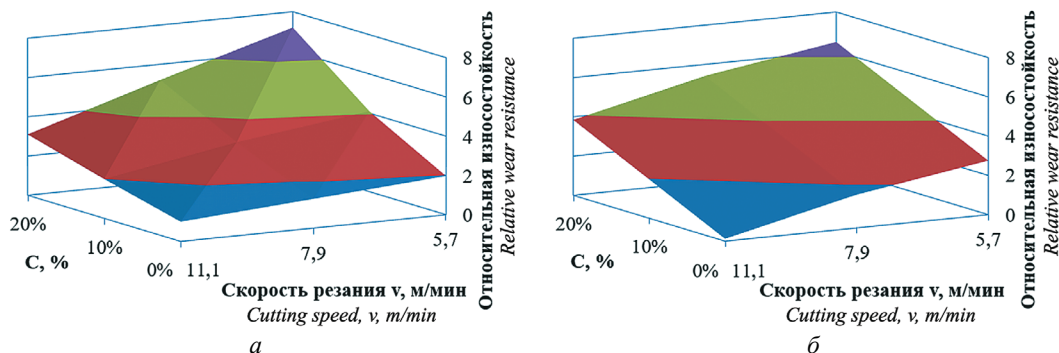
со специализированными смазками, а также исследований энергетических и силовых параметров, в том числе в динамике.

Обработка экспериментальных данных проведена в программе MS Excel (пакет анализа данных). На основе полученных коэффициентов построено уравнение регрессии (2):

$$k = 5,485 + 0,186C - 0,483v, \tag{2}$$

где  $C$  – концентрация присадки, %;  $v$  – скорость резания м/мин.

Расчётное значение критерия Фишера (35,4) меньше табличного (199,5), что свидетельствует об адекватности модели.



**Рис. 2. Поверхность отклика относительной стойкости метчиков в зависимости от концентрации присадки и скорости резания:**

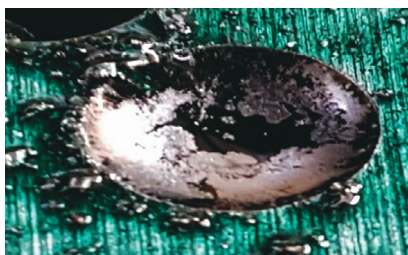
а) экспериментальные данные; б) расчетные данные

**Fig. 2. Response surface of the relative durability of the taps depending on the concentration of the additive and the cutting speed:**

а) experimental data; б) calculated data

Сходимость экспериментальных и расчётных данных по полученной модели в основном укладывается в диапазон  $\pm 15\%$ , что позволяет быстро и достаточно точно прогнозировать период стойкости инструмента; однако в точке  $C = 0\%$ ,  $v = 11,1$  м/мин расхождение достигает 88%, что обусловлено сочетанием малого значения знаменателя в формуле относительной погрешности и нелинейностью связи между исследуемыми параметрами. В случае необходимости повышения точности на всём диапазоне варьирования факторов следует задуматься о построении моделей второго или более высокого порядков.

**Обсуждение.** В результате химической реакции присадки с заготовкой на зеркале СОЖ образовалась мономолекулярная серебристая пленка хрома (рис. 3). В аналогичных экспериментах со сталью Ст3 подобное не наблюдалось. Обнаруженный эффект требует дальнейших исследований.



**Рис. 3. Образование мономолекулярной пленки хрома**

**Fig. 3. Formation of a monomolecular chromium film**

### Выводы

1. Проведённые исследования подтвердили выдвинутую гипотезу о повышении износостойкости метчиков в среде металлоплакирующих СОЖ. Так, при скорости резания 11,1 м/мин и концентрации присадки в составе 20% относительная износостойкость метчиков повысилась в 3,1 раза.

2. Построенная математическая модель позволяет расчётным методом получать значения относительной износостойкости в зависимости от концентрации присадки «Валена SV» (диапазон варьирования – 0...20%) и скорости резания (диапазон варьирования – 5,7...11,1 м/мин). Адекватность модели подтверждается проверкой по критерию Фишера, однако для повышения точности на всём диапазоне варьирования факторов следует рассмотреть возможность построения нелинейной модели.

3. Полученные результаты свидетельствуют об эффективности состава и делают актуальным продолжение исследований. На наш взгляд, целесообразно исследовать свойства составов с большей концентрацией присадки, определить оптимум и сравнить свойства экспериментального состава и специализированных СОЖ; произвести замеры силовых и энергетических показателей процесса резания, а также качества обработанных поверхностей в различных технологических средах.



## Библиографический список

1. Altan T., Gegel H. Metal Forming: Fundamentals and Applications, American Society for Metals, 1983.
2. Щедрин А.В., Игнаткин И.Ю., Чихачёва Н.Ю. Исследование закономерностей изменения коэффициента трения скольжения в инновационных методах комбинированного дорнования отверстий // Упрочняющие технологии и покрытия. 2020. Т. 16. № 4 (184). С. 150-155.
3. Мельников О.М., Казанцев С.П., Чеха О.В. Оценка показателей качества деталей и соединения «вал-манжета» // Вестник ФГОУ ВПО «МГАУ имени В.П. Горячкина». 2019. № 5 (93). С. 8-13. DOI: 10.34677/1728-7936-2019-5-8-13
4. Чупятов Н.Н. Повышение долговечности деталей гидравлических систем с применением CVD-метода металлоорганических покрытий: дис. ... д-ра техн. наук. М.: ФГБОУ ВО РГАУ–МСХА имени К.А. Тимирязева, 2018.
5. Jeyaprakash N., Yang Che-Hua. Friction, Lubrication and Wear, London: IntechOpen, 2020. DOI: 10.5772/intechopen.93796
6. Игнаткин И.Ю., Федоров С.К., Щедрин А.В. и др. Методы повышения стойкости метчиков // Вестник НГИ-ЭИ. 2019. № 11 (102). С. 57-66.
7. Zhang Y., Chromik R.R. (2018) Tribology of Self-Lubricating Metal Matrix Composites. In: Menezes P., Rohatgi P., Omrani E. (eds) Self-Lubricating Composites. Springer, Berlin, Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-56528-5\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-662-56528-5_2)
8. Гаркунов Д.Н., Бабель В.Г., Мельников Э.Л. и др. Металлосодержащая маслорастворимая противозносная композиция «Валена SV» // Качество и жизнь. 2016. № S4 (12). С. 341-347.

## Критерии авторства

Игнаткин И.Ю. выполнил теоретические исследования, на основании полученных результатов провёл эксперимент и подготовил рукопись. Игнаткин И.Ю. имеет на статью авторские права и несёт ответственность за плагиат.

## Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 25.01.2021 г.

Одобрена после рецензирования 15.03.2021 г.

Принята к публикации 16.03.2021 г.

## References

1. Altan T., Gegel H. Metal Forming: Fundamentals and Applications, American Society for Metals, 2000.
2. Shchedrin A.V., Ignatkin I.Yu., Chikhacheva N.Yu. Issledovanie zakonornostey izmeneniya koeffitsienta treniya skol'zheniya v innovatsionnykh metodakh kombinirovannogo dornovaniya otverstyiy [Study of the regularities of changes in the coefficient of sliding friction in innovative methods of combined mandrel drilling]. *Uprochnyayushchie tekhnologii i pokrytiya*, 2020. Vol. 16; 4(184): 150-155. (In Rus.)
3. Melnikov O.M., Kazantsev S.P., Chekha O.V. Ot-senka pokazateley kachestva detaley i soedineniya "val-manzheta" [Assessment of quality indicators of parts and a "shaft-seal" joint]. *Vestnik of Moscow Goryachkin Agroengineering University*, 2019; 5 (93): 8-13. DOI: 10.34677/1728-7936-2019-5-8-13. (In Rus.)
4. Chupyatov N.N. Povysheniye dolgovechnosti detaley gidravlicheskiykh sistem s primeneniem CVD-metoda metalloorganicheskikh pokrytiy: dis. ... d-ra tekhn. nauk [Increasing the durability of hydraulic system parts using the CVD method of organometallic coatings: DSc (Eng) thesis]. Moscow, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, 2018. (In Rus.)
5. Jeyaprakash N., Yang Che-Hua. Friction, Lubrication and Wear, London: IntechOpen, 2020. DOI: 10.5772/intechopen.93796
6. Ignatkin I.Yu., Fedorov S.K., Shchedrin A.V. et al. Metody povysheniya stoykosti metchikov [Methods for increasing the resistance of taps]. *Vestnik NGIEI*, 2019; 11 (102): 57-66. (In Rus.)
7. Zhang Y., Chromik R.R. (2018) Tribology of Self-Lubricating Metal Matrix Composites. In: Menezes P., Rohatgi P., Omrani E. (eds) Self-Lubricating Composites. Springer, Berlin, Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-56528-5\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-662-56528-5_2)
8. Garkunov D.N., Babel V.G., Melnikov E.L. et al. Metallosoderzhashchaya maslorastvorimaya protivoznosnaya kompozitsiya "Valena SV" [Metal-containing oil-soluble antiwear composition "Valena SV"]. *Kachestvo i zhizn'*, 2016. S4 (12): 341-347. (In Rus.)

## Contribution

I.Yu. Ignatkin performed theoretical studies, and based on the results obtained, generalized the results and wrote a manuscript. I.Yu. Ignatkin has author's rights and bear responsibility for plagiarism.

## Conflict of interests

The author declares no conflict of interests regarding the publication of this paper.

The paper was received 25.01.2021

Approved after reviewing 15.03.2021

Accepted for publication 16.03.2021