

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 658.562.64

DOI: 10.26897/2687-1149-2021-2-51-57

НОРМИРОВАНИЕ ДОПУСКАЕМОЙ ПОГРЕШНОСТИ И ВЫБОР СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ ПРИ КОНТРОЛЕ ОТКЛОНЕНИЯ ФОРМЫ И РАСПОЛОЖЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ**ЛЕОНОВ ОЛЕГ АЛЬБЕРТОВИЧ**✉, *д-р техн. наук, профессор*oaleonov@rgau-msha.ru✉, <https://orcid.org/0000-0001-8469-8052>**ШКАРУБА НИНА ЖОРОВНА**, *д-р техн. наук, доцент*shkaruba@rgau-msha.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2770-8442>**ГРИНЧЕНКО ЛАВРЕНТИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ**

lavrentiii13@yandex.ru

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49

Аннотация. Надежность отремонтированных двигателей определяется многими факторами, среди которых важную роль играет точность геометрических параметров деталей двигателя. Погрешности формы и расположения поверхностей деталей вызывают добавочные ускорения подвижных деталей и снижают точность кинематических пар. Нарушение кинематики движения деталей приводит к ухудшению технических показателей работы двигателя. В связи с этим повышение уровня метрологического обеспечения контроля отклонения формы и расположения поверхностей является одним из способов повышения качества ремонта двигателей. Установлено, что рекомендуемые в справочной литературе средства измерений назначаются без связи с контролируемыми значениями и без учёта вида измерений и имеют погрешность, превышающую допустимую погрешность измерения. Целью работы является разработка рекомендаций по совершенствованию метрологического обеспечения контроля отклонений формы и расположения поверхностей деталей при ремонте двигателей. В статье теоретически обоснованы критерии выбора средств измерений для контроля отклонений формы и расположения поверхностей деталей с учётом формулы их расчёта. Результат косвенного измерения и погрешность измерения (отклонение формы и расположения поверхностей деталей) рассматривались как случайные величины, связанные с измеряемыми значениями (диаметры детали) функциональной зависимостью. Определены предельные значения допускаемых погрешностей измерения и погрешности средств измерений для контроля отклонения формы и расположения поверхностей новых деталей двигателя и деталей, поступающих на дефектацию. Проведён сравнительный анализ полученных значений со значениями погрешности средств измерений, рекомендуемых в справочной литературе. Установлено, что большинство рекомендованных средств измерений имеет погрешность, превышающую допустимую погрешность измерения. Для снижения риска принятия деталей с превышением норм отклонения формы и расположения поверхностей при выборе средств измерений рекомендовано использовать специальные критерии.

Ключевые слова: выбор средства измерений, косвенные измерения, погрешность измерения, отклонения формы и расположения поверхностей, ремонт двигателей, качество измерений, нормирование допускаемой погрешности.

Формат цитирования: Леонов О.А., Шкаруба Н.Ж., Гринченко Л.А. Нормирование допускаемой погрешности и выбор средств измерения при контроле отклонения формы и расположения поверхностей // *Агроинженерия*. 2021. № 2 (102). С. 51-57. DOI: 10.26897/2687-1149-2021-2-51-57.

© Леонов О.А., Шкаруба Н.Ж., Гринченко Л.А., 2021



ORIGINAL PAPER

NORMALIZATION OF THE PERMISSIBLE ERROR AND THE CHOICE OF MEASUREMENT TOOLS FOR CONTROLLING DEVIATIONS IN THE SHAPE AND LOCATION OF SURFACES**OLEG A. LEONOV**✉, *DSc (Eng), Professor*oaleonov@rgau-msha.ru✉, <https://orcid.org/0000-0001-8469-8052>**NINA Zh. SHKARUBA**, *DSc (Eng), Associate Professor*shkaruba@rgau-msha.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2770-8442>**LAVRENTIY A. GRINCHENKO**

lavrentiii13@yandex.ru

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 127434, Russian Federation, Moscow, Timiryazevskaya Str., 49

Abstract. The reliability of repaired engines is determined by many factors, among which the accuracy of the geometric parameters of engine parts plays an important role. Errors in the shape and location of the surfaces of parts cause additional acceleration of moving parts and reduce the accuracy of kinematic pairs. Violation of the movement kinematics of parts leads to a deterioration in the technical performance of the engine. In this regard, increasing the level of metrological control of shape deviation and surface location is one of the ways to improve the quality of engine repairs. Analysis of the measurement tools recommended in the reference literature has shown that they were chosen irrespective of the controlled values and without taking into account the type of measurement. The purpose of this study is to develop recommendations for improving metrological control of deviations in the shape and location of surfaces of parts during engine repairs. The paper provides theoretical grounds for choosing the criteria for selecting measuring instruments to control deviations in the shape and location of the surfaces of parts, taking into account the relevant formula. The result of indirect measurement and the measurement error (deviation of the shape and location of the surfaces of parts) are considered random values functionally related to the measured values (diameters of a part). The limits of permissible measurement errors and measurement tool errors are determined to control the deviation of the shape and location of the surfaces of new engine parts and parts subject to troubleshooting. The authors have carried out a comparative analysis of the obtained values with the error values of measuring instruments recommended in the reference literature. It has been established that most of the recommended measuring instruments have an error greater than the allowed measurement error. To reduce the risk of accepting parts that exceed the deviation norms relating to the shape and location of surfaces, it has been suggested using special criteria when selecting measuring instruments.

Key words: selection of measuring instrument, indirect measurements, measurement error, deviations of the shape and location of surfaces, engine repair, measurement quality, standardization of permissible error.

For citation: Leonov O.A., Shkaruba N.Zh., Grinchenko L.A. Normalization of the permissible error and the choice of measurement tools for controlling deviations in the shape and location of surfaces. *Agricultural Engineering*, 2021; 2 (102): 51-57. (In Rus.). DOI: 10.26897/2687-1149-2021-2-51-57.

Введение. Главной целью ремонта машин является восстановление прочности, долговечности и точности деталей [1, 2]. Методы расчёта норм точности при ремонте машин постоянно совершенствуются [3, 4], также применяются методы неполной взаимозаменяемости [5, 6]. Повышение точности отклонений размеров и формы, как влияющих звеньев размерной цепи, увеличивает срок службы ответственных соединений с натягами [7, 8] и зазорами [9, 10] в агрегатах сельскохозяйственной техники.

Отклонения формы и расположения элементов поверхностей ответственных деталей, которые подлежат обязательной дефектовке при ремонте, значительно влияют на эксплуатационные свойства соединений [11]. В неподвижных соединениях большие значения этих отклонений

приводят к неравномерности натягов в соединениях, ввиду чего снижаются прочность соединения, герметичность и точность центрирования. А в подвижных соединениях это приводит к увеличению износа сопрягаемых поверхностей и снижению долговечности [12].

По данным академика В.А. Черноиванова, уменьшение конусообразности, седлообразности и овальности шеек коленчатого вала с 0,01 до 0,006 мм позволяет в 2,5...4 раза увеличить ресурс вкладышей, эти же положения относятся и к унифицированным соединениям в технике. В диссертации¹ доказано, что отклонения от соосности коренных опор коленчатого вала оказывает значительное влияние на эксплуатационные показатели двигателя (табл. 1).

Таблица 1

Влияние отклонения от соосности коренных опор коленчатого вала на эксплуатационные показатели двигателя ЗИЛ-130

Table 1

Influence of the deviation from the alignment of the main supports of the crankshaft on the performance of the engine ZIL-130

Показатель <i>Indicator</i>	Значение показателей отклонения от соосности коренных опор коленчатого вала, мм <i>Value of the deviation indicators caused by the alignment of the main bearings of the crankshaft, mm</i>			
	0,02	0,05	0,1	0,2
Мощность двигателя, кВт <i>Engine power, kW</i>	106,1	105,8	105,4	104,0
Удельный расход топлива, мкг/Дж <i>Specific fuel consumption, μg/J</i>	98,9	99	101,0	103,0
Коэффициент неравномерности работы <i>Unevenness factor</i>	0,95	0,95	0,94	0,93

Несоблюдение норм отклонений формы и расположения поверхностей может привести к росту трудоёмкости и снижению точности сборки, увеличению объёма операций по подгонке и снижению показателей долговечности работы двигателей. С точки зрения теории машин и механизмов, ввиду погрешностей кинема-

тических связей, вызываемых данными отклонениями, в отдельных деталях и соединениях могут возникнуть

¹ Суханов В.А. Исследование деформаций и повреждений V-образных блоков цилиндров и совершенствование технологии их ремонта с целью повышения послеремонтного ресурса (на базе двигателя ЗИЛ-130): Дис. ... канд. техн. наук. М.: МИИСП, 1980. 223 с.

дополнительные статические и динамические нагрузки, что приведёт к быстрому износу и усталостному разрушению деталей.

В технических требованиях к капитальному ремонту и в справочниках по ремонту двигателей для контроля отклонения формы и расположения поверхностей рекомендуют, как правило, использовать те же средства измерения, что и для контроля линейных размеров² (табл. 2).

Из данных таблицы 2 можно заключить, что при выборе средств измерения для контроля отклонений формы и расположения поверхностей не учитываются допустимая погрешность контролируемого параметра и вид измерения. Величины контролируемых параметров, рассмотренных в таблице 2, определяют через формулы расчёта результатов косвенных измерений. Поэтому при выборе средств измерения необходимо учитывать формулу расчёта контролируемого параметра.

Таблица 2

Рекомендуемые контрольно-измерительные приборы для контроля отклонений формы и расположения поверхностей

Table 2

Recommended control and measuring devices for monitoring deviations in the shape and location of surfaces

Контролируемый параметр <i>Controlled parameter</i>	Контрольно-измерительные приспособления и приборы <i>Control and measuring devices and instruments</i>				Область применения (марка двигателя) <i>Application area (engine brand)</i>
	Наименование <i>Name</i>	Диапазон измерения, мм <i>Measurement range, mm</i>	Цена деления, мм <i>Graduation, mm</i>	Погрешность измерения, мкм <i>Measurement error, μm</i>	
Овальность и конусообразность шеек коленчатого вала <i>Ovality and taper of the crankshaft journals</i>	Микрометры: <i>Micrometers:</i> МК-75-1	50...70	0,01	±10	Все марки <i>All brands</i>
	МК-100-1	75...100	0,01		
	МК-125-1	100...125	0,01		
	МК-200-2	175...200	0,01		
Овальность и конусообразность отверстия гильз цилиндров <i>Ovality and taper of cylinder liner bore</i>	Нутромер индикаторный НИ-160 <i>Bore gauge indicator NI-160</i>	100...160	0,01	±25	Все марки <i>All brands</i>
Овальность посадочных поясков гильз цилиндров <i>Out-of-roundness of the seat faces of cylinder liners</i>	Микрометры: <i>Micrometers:</i> МК-150-1	125...150	0,01	±10	Все марки <i>All brands</i>
	МК-175-1	150...175	0,01		
Биение относительно общей оси: коренных шеек; поверхности под шестерню <i>Runout about a common axis: main bearing journals; gear surfaces</i>	Приспособление индикаторное для контроля в центрах <i>Indicator device for control in centers</i>	0...2	0,01	±10	ЯМЗ-238 ЯМЗ-240
Биение относительно оси крайних коренных опор: средних коренных шеек; поверхности под шкив <i>Runout about the axis of the extreme main bearing journals: centre main bearing journals; pulley surfaces</i>	Приспособление индикаторное для комплексного контроля на призмах <i>Indicator device for integrated control with polygons</i>	0...2	0,002	±6	СМД-60 СМД-14
	Приспособление индикаторное на призмах <i>Indicator device based on polygons</i>	0...2	0,01	±10	ЯМЗ-238; ЯМЗ-240
Овальность и конусообразность поршневого пальца <i>Piston pin ovality and taper</i>	Скоба рычажная СР-50 <i>Lever bracket SR-50</i>	25...50	0,002	±5	Все марки <i>All brands</i>
Овальность отверстия нижней головки шатуна <i>Ovality of the big end hole of the connecting rod</i>	Нутромер индикаторный НИ 154 <i>Bore gauge indicator NI 154</i>	50...100	0,002	±5	Все марки <i>All brands</i>

² Дизели ЯМЗ-240Б, ЯМЗ-240БМ: Технические требования на капитальный ремонт ТК 10-05.0001.026-87. М.: ГосНИТИ, 1989. 99 с.

Отсутствие научно обоснованного единого подхода к выбору средств измерений для контроля отклонений формы и расположения поверхностей при ремонте двигателей делает актуальной работу по созданию рекомендации по совершенствованию метрологического обеспечения контроля таких важных параметров, как отклонения формы и расположения поверхностей ответственных деталей. Это особенно важно при дефектации, так как в результате анализа изношенной поверхности делается заключение о годности для ее дальнейшего использования при соединении с новой или изношенной деталью.

Цель и задачи исследований: разработать рекомендации по совершенствованию метрологического обеспечения контроля отклонений формы и расположения поверхностей деталей при ремонте двигателей. Для достижения поставленной цели необходимо определить критерии выбора средств измерений для контроля отклонений формы и расположения поверхностей деталей с учётом формулы их расчёта как результата не прямого, а косвенного измерения; рассчитать предельные значения погрешности средств измерений для контроля отклонения формы и расположения поверхностей новых деталей двигателя и деталей, поступающих на дефектацию; провести сравнительный анализ полученных значений с значениями погрешности средств измерений, рекомендуемых в справочной литературе.

Материалы и методы. Для оценки погрешности измерения отклонений формы и расположения поверхностей деталей при ремонте двигателя, а также для определения критериев выбора средств измерений использованы элементы теории вероятностей и математической статистики, теории точности и взаимозаменяемости. Результаты косвенных измерений и погрешность измерения (отклонение формы и расположения поверхностей деталей) рассматривалась как случайные величины, связанные с измеряемыми значениями (диаметры детали) функциональной зависимостью.

Результаты и обсуждение. Согласно ГОСТ 2.308-2011 «Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Указания допусков формы и расположения поверхностей»³ овальность и конусообразность цилиндрических поверхностей деталей являются в общем виде отклонением формы (EF). Расчёт овальности и конусообразности производится по формуле:

$$EF = 0,5(d_{\max} - d_{\min}), \quad (1)$$

где d_{\max} – наибольший размер детали; d_{\min} – наименьший размер детали.

Погрешность полученного результата измерения, вычисленного по любой формуле, формируется от влияния величин частных производных слагаемых и от наличия погрешностей применяемых средств измерений при контроле, параметров, входящих в формулу. Погрешность средства измерений конкретного параметра, входящего в формулу, можно рассматривать как неисклѐченную систематическую погрешность, имеющую границы $\pm\Delta$. Доверительные границы неисклѐченной систематической погрешности результата косвенного измерения ($\pm\theta_p$)

при линейной зависимости между параметрами (1) можно рассчитать по формуле⁴:

$$\pm\theta_p = \frac{k\sqrt{2 \cdot \Delta^2}}{2}, \quad (2)$$

где Δ – погрешность измерения размера детали; k – поправочный коэффициент.

В соответствии с нормативным документом МИ 2083-90 «ГСИ. Измерения косвенные. Определение результатов измерений и оценивание их погрешностей»⁵ при доверительной вероятности $P = 0,95$ поправочный коэффициент k принимается равным 1,101. При доверительной вероятности $P = 0,99$ поправочный коэффициент k принимается равным 1,276, если число суммируемых составляющих $m = 2$.

При выборе средства измерений для контроля овальности и конусообразности необходимо, чтобы погрешность измерения контролируемого параметра (2) была меньше или равна допускаемой погрешности измерения овальности и конусообразности.

Для данных контролируемых величин (овальность и конусообразность) допускаемая погрешность измерения не определена, и для ее расчёта целесообразно использовать метрологическое соответствие⁶:

$$\pm\varepsilon = 0,33 \cdot T, \quad (3)$$

где ε – допускаемая погрешность измерения; T – допуск на контролируемый параметр.

При анализе отклонений формы и расположения поверхностей за допуск на контролируемый параметр можно принять величину нормируемого отклонения овальности и конусообразности согласно технической документации.

Таким образом, средства измерений для контроля овальности и конусообразности должны выбираться по следующему условию [13]:

$$\pm\Delta_{\lim} \leq \pm\varepsilon, \quad (4)$$

где $\pm\Delta_{\lim}$ – допускаемая погрешность измерения применяемого прибора.

Следовательно, условие выбора средства измерения для контроля овальности и конусообразности будет иметь вид:

$$\pm\Delta_{\lim} \leq \frac{2 \cdot \sqrt{2} \cdot \varepsilon}{k}. \quad (5)$$

Биение в общем виде определяется как разница между наибольшим и наименьшим показанием прибора при проворачивании детали на 360° , то есть $d_{\max} - d_{\min}$. При такой зависимости погрешность биения рассчитывается по формуле:

$$\pm\Delta_{\lim} \leq \frac{\varepsilon \cdot k}{\sqrt{m}}, \quad (6)$$

где m – количество аргументов, входящих в уравнение связи с искомой величиной (в нашем случае $m = 2$).

⁴ Шкаруба Н.Ж. Совершенствование метрологического обеспечения ремонтного производства агропромышленного комплекса: Дис. ... д-ра техн. наук. М.: РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, 2019. 274 с.

⁵ МИ 2083-90 ГСИ. Измерения косвенные. Определение результатов измерений и оценивание их погрешностей. М.: Изд-во стандартов, 1991. 11 с.

⁶ Новицкий П.В. Оценка погрешностей результатов измерений / П.В. Новицкий, И.А. Зограф. Л.: Энергоатомиздат, 1991. 304 с.

³ ГОСТ 2.308-2011. ЕСКД. Указания допусков формы и расположения поверхностей. М.: Стандартинформ, 2012. 27 с.

При дефектации деталей двигателей допускаемые значения отклонения формы и расположения поверхностей отличаются от значений новых деталей. Поэтому и требования к точности средства измерения для контроля отклонения формы и расположения поверхностей будут отличаться от требований при контроле новых деталей.

В результате расчёта по формулам (4)-(6) получены значения допускаемой погрешности измерения и предельной погрешности средств измерений для контроля отклонения формы и расположения поверхностей деталей двигателей ЯМЗ (табл. 3).

Из сравнения полученных значений предельной погрешности средств измерения (табл. 3) и значения погрешности рекомендуемых средств измерений (табл. 2) следует, что у рекомендуемых средств измерения погрешность превышает расчётную допускаемую. Поэтому с целью совершенствования метрологического обеспечения контроля отклонения формы и расположения поверхностей необходимо при выборе средств измерения руководствоваться предложенной методикой выбора средств измерений и использовать одно, наиболее точное, средство измерений для контроля как размеров детали, так и отклонений формы и расположения поверхностей.

Таблица 3

Предельная погрешность средств измерения для контроля отклонения формы и расположения поверхностей при дефектации деталей двигателя ЯМЗ

Table 3

Maximum error of measurement tools for monitoring the deviation of the shape and location of surfaces in the case of defects in YAMZ engine parts

Название контролируемого параметра <i>Controlled parameter</i>	Допускаемое значение, мм <i>Permissible value, mm</i>	Допускаемая погрешность измерения, мм <i>Permissible measurement error, mm</i>	Доверительная вероятность, % <i>Confidence probability, %</i>	
			0,95	0,99
			Предельная погрешность средств измерения, мкм <i>Limiting error of measuring instruments, μm</i>	
Овальность шеек коленчатого вала <i>Ovality of the crankshaft main bearing journals</i>	0,02	±0,0066	±0,85	±0,67
Овальность и конусообразность поршневого пальца <i>Piston pin ovality and taper</i>	0,015	±0,0050	±0,64	±0,50
Овальность и конусообразность поверхностей коренных опор <i>Ovality and taper of the surfaces of the main bearings</i>	0,02	±0,0066	±0,85	±0,67
Овальность нижней головки шатуна <i>Ovality of the big end of the connecting rod</i>	0,01	±0,0033	±0,42	±0,33
Биеение относительно общей оси: коренных шеек; поверхности под шестерню <i>Runout about a common axis: main bearing journals; gear surfaces</i>	0,05	±0,0165	±1,18	±1,63
Биеение относительно оси крайних коренных опор: средних коренных шеек; поверхности под шкив <i>Runout about the axis of the extreme main bearings: centre main bearing; pulley surfaces</i>	0,05	±0,0165	±1,18	±1,63

Выводы

Использование в реальной практике представленной методики расчёта допускаемой погрешности и разработанных критериев выбора средств измерений повысит точность и достоверность результатов измерения

отклонения формы и расположения поверхностей деталей при ремонте двигателей, что значительно снизит риски принятия бракованных деталей «как годных» с превышением норм отклонения формы и расположения поверхностей, а также снизит риски забраковывания годных изделий.

Библиографический список

1. Иванов В.П., Семенов В. Качество ремонта машин: состояние и обеспечение // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В: Прикладные науки. 2003. № 2. С. 2-6.
2. Голубев И.Г., Фадеев А.Ю., Макуев В.А. Оценка качества технического сервиса тракторов // Техника и оборудование для села. 2010. № 7. С. 40-41.
3. Leonov O.A., Shkaruba N.Zh., Vergazova Yu.G. Determining the Tolerances in Fitting for Joints with Interference

References

1. Ivanov V.P., Semenov V. Kachestvo remonta mashin: sostoyanie i obespechenie [Quality of machine repair: state and means]. *Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya B: Prikladnye nauki*, 2003; 2: 2-6. (In Rus.)
2. Golubev I.G., Fadeev A.Yu., Makuev V.A. Otsenka kachestva tekhnicheskogo servisa traktorov [Quality assessment of the technical service of tractors]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*, 2010; 7: 40-41. (In Rus.)

// Russian Engineering Research. 2019; 39, 554-547. <https://doi.org/10.3103/S1068798X19070116>

4. Qingya Li, Libao Yang, Weiguo Zhao et al. Design of Positioning Mechanism Fit Clearances Based on On-Orbit Re-Orientation Accuracy. *Applied Sciences*, 2019; 9(21): 4712. DOI: 10.3390/app9214712

5. Erokhin M.N., Leonov O.A., Shkaruba N.Zh. et al. Assessing the Relative Interchangeability in Joints with Preload // *Russian Engineering Research*. 2020. V. 40. P. 469-472. <https://doi.org/10.3103/S1068798X2006009X>.

6. Ерохин М.Н., Леонов О.А., Шкаруба Н.Ж. и др. Процентная взаимозаменяемость посадок с натягом // *Вестник машиностроения*. 2020. № 3. С. 41-44. DOI: 10.36652/0042-4633-2020-3-41-44

7. Чигрик Н.Н., Леонова Л.М. Оценка точности составляющих функционального допуска посадки на долговечность работы вкладышей коренных подшипников коленчатого вала автомобильного двигателя // *Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии*. 2013. № 6 (34). С. 29-39.

8. Ерохин М.Н., Леонов О.А., Катаев Ю.В. и др. Методика расчета натяга для соединений резиновых армированных манжет с валами по критерию начала утечек // *Вестник машиностроения*. 2019. № 3. С. 41-44.

9. Набатников Ю.Ф. Обеспечение заданного ресурса соединений деталей машин // *Сборка в машиностроении и приборостроении*. 2011. № 4. С. 3-8.

10. Набатников Ю.Ф. Повышение ресурса соединений деталей машин с зазором // *Автомобильная промышленность*. 2012. № 4. С. 15-18.

11. Денисов А.С., Асоян А.Р., Захаров В.П. Контроль макрогеометрических отклонений шатуна при ремонте, для повышения ресурса двигателя внутреннего сгорания // *Вестник Саратовского государственного технического университета*. 2011. Т. 1. № 1 (52). С. 56-61.

12. Чигрик Н.Н. Исследование влияния погрешности отклонения формы сопрягаемых поверхностей деталей цилиндра-поршневой группы автомобильного двигателя ЗМЗ-511.10 при селективной сборке на точность элементных размеров // *Омский научный вестник*. 2013. № 3 (123). С. 124-135.

13. Леонов О.А., Шкаруба Н.Ж., Вергазова Ю.Г. и др. Методы и средства контроля качества обработки гильз цилиндров на ремонтных машиностроительных предприятиях // *Вестник машиностроения*. 2020. № 6. С. 40-45.

3. Leonov O.A., Shkaruba N.Zh., Vergazova Yu.G. Determining the tolerances in fitting for joints with interference // *Russian Engineering Research*. 2019; 39, 554-547. <https://doi.org/10.3103/S1068798X19070116>

4. Qingya Li, Libao Yang, Weiguo Zhao et al. Design of positioning mechanism fit clearances based on on-orbit re-orientation accuracy. *Applied Sciences*, 2019; 9(21): 4712. DOI: 10.3390/app9214712

5. Erokhin M.N., Leonov O.A., Shkaruba N.Zh. et al. Assessing the relative interchangeability in joints with preload // *Russian Engineering Research*. 2020. V. 40. P. 469-472. <https://doi.org/10.3103/S1068798X2006009X>.

6. Erokhin M.N., Leonov O.A., Shkaruba N.Zh. et al. Protsentnaya vzaimozamenyaemost' posadok s natyagom [Percentage-based interchangeability of interference fits]. *Vestnik mashinostroeniya*, 2020; 3: 41-44. DOI: 10.36652/0042-4633-2020-3-41-44. (In Rus.)

7. Chigrik N.N., Leonova L.M. Otsenka tochnosti sostavlyayushchikh funktsional'nogo dopuska posadki na dolgovechnost' raboty vkladyshey korennykh podshpnikov kolenchatogo vala avtomobil'nogo dvigatelya [Assessing the accuracy of the functional fit tolerance components on the durability of main bearing liners of the crankshaft used in an automobile engine]. *Vestnik Sibirskoy gosudarstvennoy avtomobil'no-dorozhnoy akademii*, 2013; 6 (34): 29-39. (In Rus.)

8. Erokhin M.N., Leonov O.A., Kataev Y.V. et al. Metodika rascheta natyaga dlya soedineniy rezinovykh armirovannykh manzhet s valami po kriteriyu nachala utechek [Method for determining the tightness of reinforced rubber seal joints using a criterion of the starting point of leaks]. *Vestnik mashinostroeniya*, 2019; 3: 41-44. <https://doi.org/10.3103/S1068798X2006009X> (In Rus.)

9. Nabatnikov Yu.F. Obespechenie zadannogo resursa soedineniy detaley mashin [Ensuring a normative service life of the joints of machine parts]. *Sborka v mashinostroyenii i priborostroyenii*, 2011; 4: 3-8. (In Rus.)

10. Nabatnikov Yu.F. Povyshenie resursa soedineniy detaley mashin s zazorom [Increasing the service life of the joints of machine parts with a clearance fit]. *Avtomobil'naya promyshlennost'*, 2012; 4: 15-18. (In Rus.)

11. Denisov A.S., Asoyan A.R., Zakharov V.P. Kontrol' makrogeometricheskikh otkloneniy shatuna pri remonte, dlya povysheniya resursa dvigatelya vnutrennego sgoraniya [Control of macrogeometric deviations of connecting rods during repair as a means to increase the service life of internal combustion engines]. *Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2011; Vol. 1; 1(52): 56-61. (In Rus.)

12. Chigrik N.N. Issledovanie vliyaniya pogreshnosti otkloneniya formy sopryagaemykh poverkhnostey detaley tsilindro-porshnevoy gruppy avtomobil'nogo dvigatelya ZMZ-511.10 pri selektivnoy sborke na tochnost' elementnykh razmerov [Studying the influence of the deviation error of the shape of mating surfaces of the cylinder-piston group parts of the automobile engine ZMZ-511.10 with a selective assembly on the accuracy of elemental dimensions]. *Omskiy nauchnyy vestnik*, 2013; 3 (123): 124-135. (In Rus.)

13. Leonov O.A., Shkaruba N.Zh., Vergazova Yu.G. et al. Metody i sredstva kontrolya kachestva obrabotki gil'z tsilindrov na remontnykh mashinostroyitel'nykh predpriyatiyakh [Methods and means of quality control of cylinder liner processing at machine-building repair enterprises]. *Vestnik mashinostroeniya*, 2020; 6: 40-45. (In Rus.)

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, 2nd Baumanskaya Str., 5