

Научноёмкие технологии в машиностроении. 2024. №5 (155). С.40-48.  
Science intensive technologies in mechanical engineering. 2024. №5 (155). P.40-48.

Научная статья  
УДК 629.4.023.142:624.078.8+621.791  
doi: 10.30987/2223-4608-2024-40-48

## Технологическое обеспечение эксплуатационных свойств сопрягаемых поверхностей элементов сборной формообразующей оснастки с учетом установленной долговечности пресс-форм

Евгений Александрович Польский<sup>1</sup>, к.т.н.  
Роман Владимирович Абрамов<sup>2</sup>, инженер

<sup>1,2</sup> Брянский государственный технический университет, Брянск, Россия  
<sup>1</sup> polski.eugene@hotmail.com, <https://orcid.org/0009-0004-9214-7567>  
<sup>2</sup> abramow-roma1995@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0000-7670-0159>

**Аннотация.** Рассматриваются конструкторско-технологические мероприятия на этапах проектирования, изготовления и сборки по обеспечению требуемых показателей надежности (долговечности) элементов пресс-форм. Приводятся рекомендации для нормирования и достижения параметров точности и качества сопрягаемых поверхностей с учетом формирования необходимых эксплуатационных свойств на основных этапах жизненного цикла изделия. Выявлены факторы, оказывающие наибольшее влияние на обеспечение правильного и точного расположения формообразующих элементов. Представлена концепция определения фактической площади контакта, и расчета масштабного коэффициента, обеспечивающего уточнение величины контактных сближений сопрягаемых поверхностей. Обозначена гипотеза формирования показателей надежности с учетом технологических и технических возможностей производства с введением корректировки верхнего и нижнего отклонений размеров, входящих в размерные цепи и обеспечивающие установленные параметры точности замыкающего звена.

Проведен анализ условий эксплуатации исследуемого типа элементов пресс-форм. Выявлены и проанализированы основные эксплуатационные свойства, обеспечивающие требуемую наработку на отказ формообразующих деталей. Особое внимание уделено исследованию конструктивных особенностей таких деталей, проведено сравнение цельной и сборной конструкции, а также, для наиболее перспективной последней, проведен расчет контактных напряжений при выполнении сборочной операции для моделирования величины контактных сближений. Это позволит для любого типа сборной формообразующей оснастки разработать практические рекомендации по нормированию основных механических свойств, показателей точности, включая допуски отклонений от правильной геометрической формы, и параметров качества поверхностного слоя на этапе проектирования, назначения методов и режимов обработки на этапах изготовления и контроля, а также предложить величину статического нагружения при сборке.

**Ключевые слова:** долговечность, качество поверхности, погрешности формы и взаимного расположения поверхностей, механическая и абразивная обработка, эксплуатационные свойства

**Для цитирования:** Польский Е.А., Абрамов Р.В. Технологическое обеспечение эксплуатационных свойств сопрягаемых поверхностей элементов сборной формообразующей оснастки с учетом установленной долговечности пресс-форм // Научноёмкие технологии в машиностроении. 2024. № 5 (155). С. 40–48. doi: 10.30987/2223-4608-2024-40-48

## Engineering support of mating surfaces operational properties in the compound forming tool elements with regard to specified pressmold life

Evgeny A. Polsky<sup>1</sup>, Ph.D. Eng.  
Roman V. Abramov<sup>2</sup>, engineer

<sup>1,2</sup> Bryansk State Technical University, Bryansk, Russia

<sup>1</sup> polski.eugene@hotmail.com

<sup>2</sup> abramow-roma1995@yandex.ru

**Abstract.** Design and technological concepts are viewed at the stages of designing, manufacturing and joining process providing for the required reliability (durability) of mold elements. Recommendations are given for rationing and achieving the parameters of accuracy and quality of mating surfaces, taking into account the formation of the necessary operational properties at the main stages of the product life cycle. The factors that have the greatest impact on ensuring the correct and accurate location of forming tool elements have been elicited. The concept of determining the actual contact area and calculating the scale parameter, which provides a contact interface degree specification for conjugated surfaces, is presented. The hypothesis of the formation of reliability indicators is found, taking into account the manufacturing capability and technical capacity of production with the introduction of correction of the upper and lower dimensional deviations included in the dimension chains and ensuring the pre-set accuracy parameters of the master link.

The analysis of the operating conditions of the studied type of pressmold elements is carried out. The main operational properties that provide the required operating time for shaping part failures are identified and analyzed. Special attention is paid to the study of the structural features of such parts, a comparison of the integral and prefabricated structures is made, and also, contact stresses under the joining operation for the most promising of the latter are calculated for contact interface degree simulation. This will allow developing practical recommendations for any type of compound forming tool for the benefit of basic mechanical properties rate making, accuracy indicators, including deviation allowances in the correct geometric shape, including quality parameters of the surface layer at the designing stage, processing methods dispatch and modes setting at the manufacturing and testing stages and also suggesting the amount of static loading when assembling.

**Keywords:** reliability (service life), surface quality, poor shape precision and geometric relationship of surfaces, machining and abrasion, operational properties

**For citation:** Polsky E.A., Abramov R.V. Engineering support of mating surfaces operational properties in the compound forming tool elements with regard to specified pressmold life / Science intensive technologies in mechanical engineering. 2024. № 5 (155). P. 40–48. doi: 10.30987/2223-4608-2024-40-48

Для обеспечения передачи как управляющих сигналов, так и требуемого питания на радиоэлектронные приборы применяют многоштырьковые соединители. Одним из основных этапов получения качественных соединителей является формирование

диэлектрического корпуса и штекера с отверстиями для размещения контактов. От того, с какой точностью получены сопрягаемые при контакте поверхности, зависит важнейший показатель работоспособности таких элементов как стабильность контакта (рис. 1).

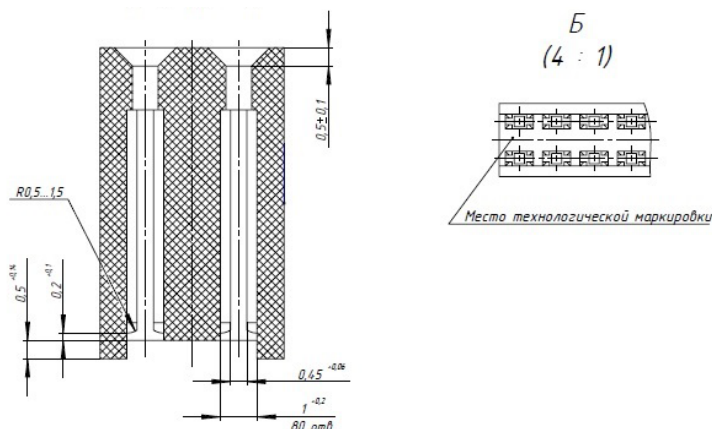


Рис. 1. Фрагмент чертежа изолятора

Fig. 1. Subpicture of insulator draft

Элементы соединителей изготавливают методом спекания на термопластавтоматах. В настоящее время на практике применяют два основных варианта изготовления элементов формообразующей оснастки: единое изделие, получаемое вырезкой на электроэрозионном оборудовании с последующей отделочной обработкой на профилешлифовальном оборудовании и на слесарных операциях ручной доводкой для достижения параметров точности и

качества поверхностей (рис. 2, *a*), а также в виде сборной конструкции, состоящей из отдельных «знаков», формирующих элемент получаемой детали (рис. 2, *б*). Оба варианта имеют свои достоинства и недостатки. Сборная конструкция, в отличие от цельной детали, обеспечивает самые благоприятные условия для выхода воздуха при замыкании штампа, что положительно сказывается на качестве получаемой детали.

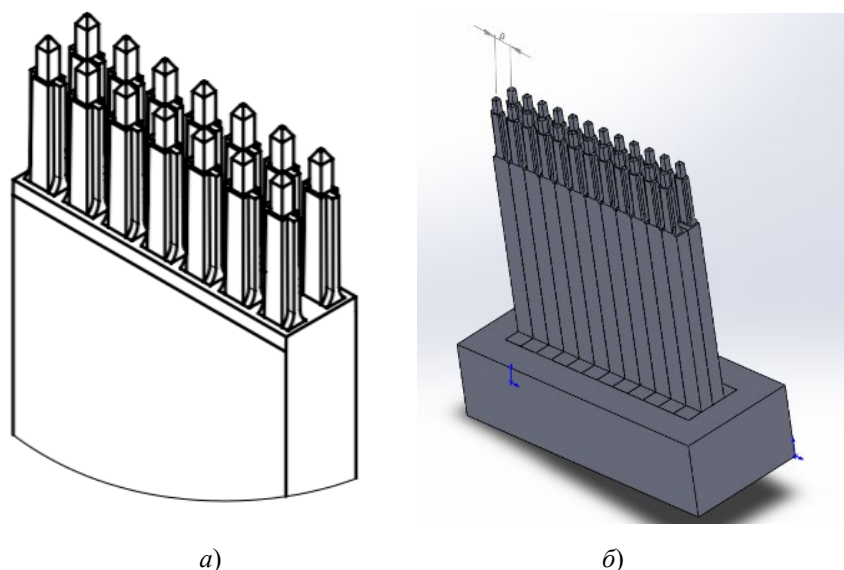


Рис. 2. Виды элементов формообразующей оснастки:  
*a* – цельная гребенка; *б* – сборная конструкция гребенки

Fig. 2. Types of forming tool elements:  
*a* – one-piece comb; *b* – prefabricated comb structure

Показатели надежности формообразующей оснастки зависят от множества факторов (трение между формообразующими поверхностями, коррозии от высокой температуры и взаимодействия с агрессивной средой химических элементов) при которых происходит не только износ поверхностей формообразующих деталей, но и взаимное смещение их вершин. В результате чего происходит ухудшение качества поверхности изделия, увеличение параметров шероховатости, изменение размеров, следствием чего в детали образуются трещины, заливки материала в виде гребешков. Пресс-форма также выходит из строя из-за налипания и привара материала к формообразующим поверхностям, возникновению на них вмятин [1]. Указанные многочисленные дефекты делают невозможным дальнейшую эксплуатацию

пресс-формы и требуют ее ремонта или замены на новую.

При проектировании сборной оснастки необходимо учитывать базовый принцип взаимозаменяемости – возможность быстрой замены вышедшего из строя знака на элемент, изготовленный по требованиям чертежа. Однако, учитывая высокие требования по точности расположения вершин знаков в сборочной единице, в производстве в основном применяют методы регулировки и пригонки сопрягаемых поверхностей. Данные методы выполняются вручную высококвалифицированным персоналом, что увеличивает стоимость работ до 80 % от стоимости всей формообразующей оснастки [2].

Обеспечение точности расположения каждого звена в составе формообразующей

оснастки является основной задачей в процессе сборочной операции. Трудоемкость сборочных работ обуславливается проявившимися погрешностями каждого звена, в связи с этим необходима оптимизация процесса сборки с учетом возникающих контактных взаимодействий для обеспечения точности сборки и снижения себестоимости выпускаемой продукции.

Таким образом, технологическое обеспечение требуемых точности и качества формообразующей оснастки пресс-форм для сборочных операций с учетом влияния контактной жесткости и корректировкой параметров обработки и предельных отклонений при проектировании с последующим снижением трудоемкости выполненных работ является актуальной задачей [3].

Показатели надежности формообразующей оснастки пресс-форм оказывают основное

влияние на получение качественной продукции. Главной особенностью применяемой оснастки для получения многоштырьковых разъемов является применение сборных конструкций, включающих набор отдельных элементов – знаков, установленных в корпус коробчатой конструкции.

Качество поверхности и вид соединения деталей играют большую роль в работе пресс-формы. Основным фактором, влияющим на качество изделия, является шероховатость поверхности. Обработка формообразующих поверхностей должна обеспечиваться с шероховатостью не более  $Ra = 1,0$  мкм. Для уменьшения износа и для сокращения времени извлечения изделия, оформляющие поверхности формообразующих элементов подвергаются хромированию, и должны быть изготовлены с допуском не более  $0,01$  мм (рис. 3).

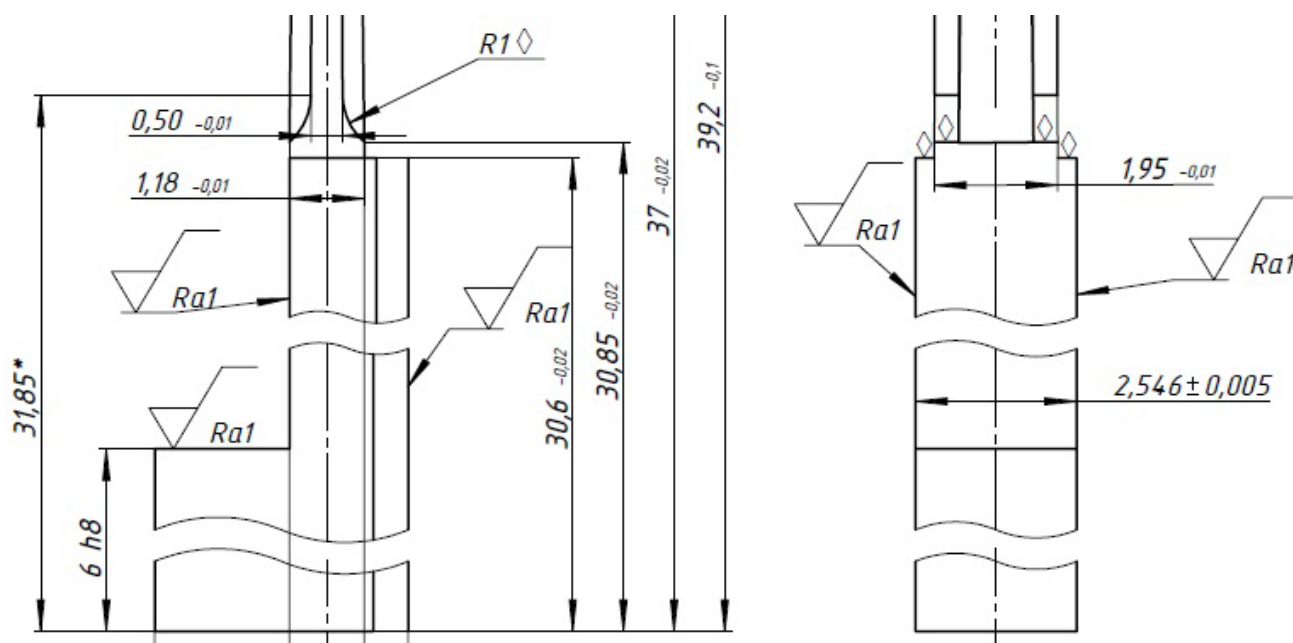


Рис. 3. Фрагмент чертежа знака сборной формообразующей оснастки

Fig. 3. Subpicture of the draft of the compound forming tool sign

Для исследуемого объекта используется марка конструкционного материала Сталь 95X18 ГОСТ 103-2006. Данная марка соответствует основным критериям обеспечения долговечности при эксплуатации. Материал относится к группе легированных сталей мартенситного класса с высоким содержанием хрома. Изделие из данного материала

устойчиво к воздействию химически агрессивных сред и абразивного износа.

Требуемую точность формообразующих поверхностей получают фрезерованием и электроэрозионной координатно-прошивочной обработкой. После предварительной обработки выполняются плоское, профильное и оптическое шлифование поверхностей. Чтобы



достичь шероховатость поверхности порядка  $Ra = 0,1 \dots 0,15$  мкм производится полировка рабочих поверхностей, требующих введение ручной обработки на слесарно-сборочных операциях.

Для сборной конструкции оснастки добавляется операция сборки, для которой требуется регламентировать как последовательность

комплектования гребенки маркированными знаками, так и усилие закрепления всех элементов. В настоящее время на предприятиях решают эту задачу переходом от принципа взаимозаменяемости к формированию неразъемного соединения знака и корпуса сваркой (рис. 4).

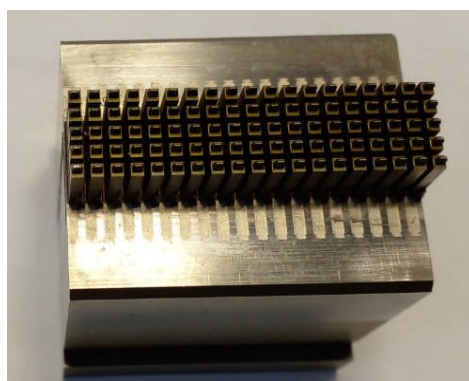
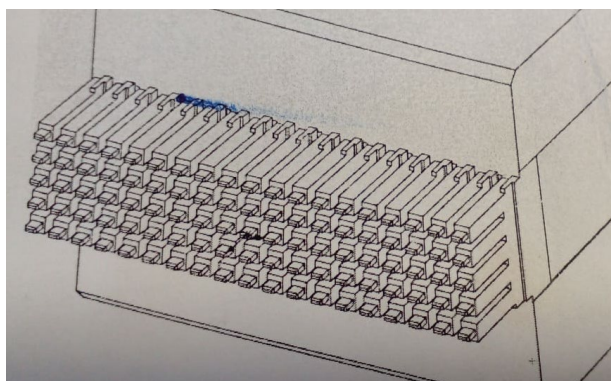
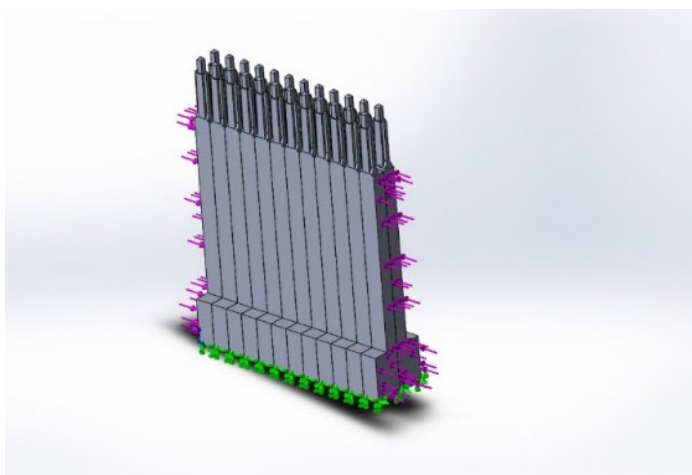


Рис. 4. Конструкторская схема сварки и внешний вид изделия после сборки

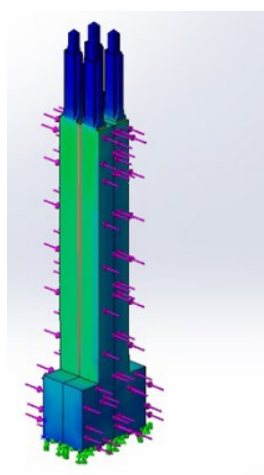
Fig. 4. Design welding scheme and appearance of the product after assembly

При выполнении сборки основным эксплуатационным свойством, влияющим на смещение вершин знаков, и, соответственно, формирующим показатели надежности узла является контактная жесткость [4]. Представляется целесообразным смоделировать процесс

сборки с выявлением концентрации и распределения нагрузки от силового механизма (рис. 5, а). Базовым допущением расчетной схемы вводим возможность анализа контактных деформаций в парах знаков с последующим суммированием (рис. 5, б).



а)



б)

Рис. 5. Контактные деформации, возникающие на стыке контактирующих знаков при сборке: а – общая схема сборочной единицы; б – допущение расчетной схемы

Fig. 5. Contact deformations that occur at the junction of the contact marks when joining: а – general scheme of the assembly unit; б – the design scheme allowance

Для этапов финишной обработки необходимо выявить факторы, оказывающие наибольшее влияние на формирование параметров точности (включая параметры макроотклонений) и качества контактирующих (базовых) поверхностей с целью определения и прогнозирования величины контактных деформаций в зоне стыка, что с учетом накопленных

перемещений от первого знака к последнему позволит скорректировать предельные отклонения на исполнительные размеры [5]. В частности, в работах Сулова А.Г. приведены зависимости по расчету контактных перемещений для однократного и многократного нагружения [6]:

$$j_i = p_H / \left( \sum_{i=1}^2 B \cdot \left( \frac{(G_i + Rz_{инст1} / 5) \cdot C_i \cdot \left(\frac{S_i}{10^3}\right)^y V_i^n \cdot \left( \left(\frac{t_i}{10^3}\right)^x - \left(\frac{t_i}{10^3} - Rz_{инст1} - Wz_{инст1}\right)^x \right) \cdot H_{\max_i}}{H_{\mu 0 i}} \right)^{1/3} \right) + \rightarrow$$

$$\rightarrow \sum_{i=1}^2 2\pi \cdot \frac{1 - \mu_i^2}{E_i} H_{\mu 0 i} S_{mi} \frac{\left( \sum_{i=1}^2 B \cdot \left( \frac{(G_i + Rz_{инст1} / 5) \cdot C_i \cdot \left(\frac{S_i}{10^3}\right)^y V_i^n \cdot \left( \left(\frac{t_i}{10^3}\right)^x - \left(\frac{t_i}{10^3} - Rz_{инст1} - Wz_{инст1}\right)^x \right) \cdot H_{\max_i}}{H_{\mu 0 i}} \right)^{1/3} \right)}{G_i + Rz_{инст1} / 5}$$

В соответствии с ГОСТ Р ИСО 4287-2014 «Геометрические характеристики изделий» и ГОСТ 24642-81, отклонение от плоскостности – это наибольшее расстояние от точек реальной поверхности до прилегающей плоскости в пределах нормируемого участка: следовательно, можно волнистость конструктора рассматривать, как часть отклонения от плоскостности. Коэффициент  $\epsilon$  зависит от наибольшего размера контактной поверхности  $l$ , а также от разности  $\Delta_0 = \Delta - W_{\max}$  допуска плоскостности  $\Delta$  и наибольшей высоты волны волнистой шероховатой поверхности  $W_{\max}$  или по выше указанному ГОСТ – параметр  $R_{\max}$ .

Расчетная модель поверхности с макроотклонением формы можно представить в виде шероховатого волнистого клина (рис. 6) шириной  $B$ , взаимодействующий с абсолютно жестким полупространством. Примем, тело клина абсолютно жесткое, а контактный слой, податливый и деформируемый согласно зависимости  $\delta = c\sigma^{0,5}$  [7]. Необходимо разделить понятие протяженной поверхности со своей моделью влияния отклонений от плоскостности и

прямолинейности образующей, ограниченной пятью базовыми длинами (с учетом допущения требований по пространственным отклонениям деталей нормальной точности – не более 60 % от допуска на размер) (рис. 6, а) и более пяти базовых длин (рис. 6, б).

Первому случаю будет соответствовать модель контакта сопрягаемых поверхностей знаков между собой, а второму случаю – модель контакта знака с корпусом. Тогда  $\delta = (3c^2\sigma\Delta_0)^{1/3}$ .

Формы профиля порождаются особенностями метода обработки поверхности. Поэтому в вопросах определения контактной жесткости первостепенную роль играют технологические методы обработки. Величины радиусов вершин микровыступов в разных сечениях детали оказываются различными и в весьма сильной степени зависят от расположения плоскости измерения по отношению к направлению следов обработки. При шлифовании радиусы закруглений в продольном направлении оказываются большими в 10 – 100 раз, чем в поперечном, при точении – в 10 – 30 раз, при фрезеровании и

строгании – в 5 – 20 раз. При полировании и доводке следы не имеют определенной

ориентации. Для расчетов приходится усреднять величины радиусов [8].

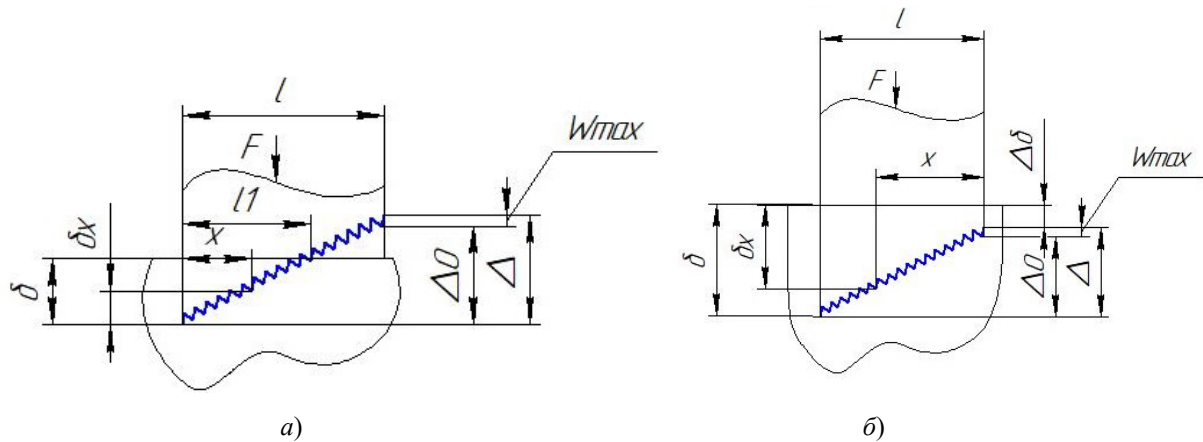


Рис. 6. Расчетная модель поверхности с макроотклонениями формы:

*a* – величина длины контакта не более пяти базовых длин; *b* – величина длины контакта более пяти базовых длин

Fig. 6. The design model of the surface with macro-deviations in the shape:

*a* – the value of the contact length is no more than five base lengths; *b* – the value of the contact length is more than five base lengths

В работе [9] представлена методика проведения размерно-точностного анализа деталей узлов с учетом влияния эксплуатационных свойств. На основе этого расчета представляется возможным расчет предельных отклонений размеров, обеспечивающих точность замыкающего звена и прогнозирование изменения размеров размерной цепи с учетом влияния условий сборки. Предполагается провести предварительный расчет коэффициентов  $k_{\text{внут}}$  и  $k_{\text{внеш}}$ , представляющих собой величины, определяющие значения эксплуатационных свойств контактирующих поверхностей с учетом параметров механических свойств материалов  $k_{\text{внут}}$  и параметров качества поверхности  $k_{\text{внеш}}$ .

В соответствии с предложенным выше принципом представления дополнительных звеньев контактной жесткости в виде

$$\sum_k^l c_k k_{\text{внут}_k} k_{\text{внеш}_k} k_{o_k} k_{T_{\text{эк}_k}}$$

следующие замечания:

- коэффициент передаточного отношения  $c_k$  будет зависеть от конструктивного оформления сборки и положения сопряжений в ней;
- коэффициент  $k_{\text{внеш}}$  можно выделить из полученных выше зависимостей для соответствующих типов сопряжений (нагрузочно-

скоростные характеристики, размеры сопряжений  $a$ ,  $b$ ,  $\alpha_0$  и др.);

– коэффициент  $k_{\text{внут}}$ , который характеризует влияние внутренних факторов также присутствует в этих зависимостях в виде коэффициентов  $k_i$ , определяющих особенности сопряжений (направление действия вектора силы, пространственное распределение волнистости и шероховатости).

Представленная методика позволяет непосредственно рассчитать коэффициент контактной жесткости, зная условия обработки [10]. Решение обратной задачи позволяет определить методы и режимы обработки, позволяющие обеспечить требуемые значения контактной жесткости. Все проведенные расчеты определяют коррекцию верхнего и нижнего отклонений размеров сопрягаемых деталей.

Для решения научной проблемы обеспечения установленных показателей долговечности и наработки узла на отказ при реализации этапов жизненного цикла изделия – проектирование, изготовление и сборка, требуется проведение расчетов весовых коэффициентов. Коэффициенты, включающие в себя механические свойства материала и параметры качества поверхностного слоя, позволят выполнить корректировку или определение допуска, верхнего и нижнего отклонений размеров размерной

цепи, формирующей точность замыкающего звена. При этом основным критерием выбора и расчета показателей надежности узла является установление значимости влияния преобладающего эксплуатационного свойства в элементарном прототипе.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Федоров В.П., Нагоркин М.Н., Вайнер Л.Г. Методологические основы диагностики технологических систем металлообработки по параметрической надежности обеспечения заданного качества обрабатываемых поверхностей // Вестник Брянского государственного технического университета. 2021. № 11(108). С. 49–63. DOI 10.30987/1999-8775-2021-11-36-50. EDN KCWBUK.

2. Польский Е.А., Никонов О.А., Митраков Н.С., Звягинцев Ф.Д. Технологическое обеспечение точности наукоемких сборочных узлов на этапах жизненного цикла // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2017. № 8-2. С. 328–335. EDN ZHTRKV.

3. Polsky E.A., Sorokin S.V., Shemenkov V.M. Technological support of joint reliability indicators taking into account complex formation of surface quality metrics and physical and mechanical properties of functional surface materials // Journal of Physics: Conference Series, Divnomorskoe, 31 мая 06 2021 года. Divnomorskoe, 2021. P. 052024. DOI 10.1088/1742-6596/2131/5/052024. EDN DBQWMA.

4. Федуков А.Г., Хандожко А.В., Польский Е.А., Щербakov А.Н. Обеспечение точности станочных узлов на базе унифицированных модулей с учетом контактной жесткости стыков // Вестник Брянского государственного технического университета. 2019. № 3 (76). С. 51–59. DOI 10.30987/article\_5c3db11190a975.91435272. EDN VXQNEC.

5. Сулов А.Г., Федоров В.П., Горленко О.А. и др. Фундаментальные основы технологического обеспечения и повышения надежности изделий машиностроения М.: Издательство «Инновационное машиностроение», 2022. 552 с. ISBN 978-5-907523-04-3. EDN DCEFZK.

6. Сулов А.Г., Федонин О.Н., Петрешин Д.И. Фундаментальные основы обеспечения и повышения качества изделий машиностроения и авиакосмической техники // Вестник Брянского государственного технического университета. 2020. № 2 (87). С. 4–10. DOI 10.30987/1999-8775-2020-2020-2-4-10. EDN OGAOCD.

7. Иванов А.С. Расчет Справочные контактной деформации при конструировании машин/ А.С. Иванов, В.В. Измайлов // Трение и смазка в машинах и механизмах. 2006. № 8. С. 37–42.

8. Сулов А.Г., Федонин О.Н., Польский Е.А. Научно-технологическая технология повышения качества сборочных единиц машин на этапах жизненного цикла //

Научно-технологическая технология в машиностроении. 2016. № 5(59). С. 34–41. EDN VZJWYX.

9. Польский Е.А., Сорокин С.В. Повышение надежности изделий машиностроения за счет совершенствования точностного анализа размерных цепей // Научно-технологическая технология в машиностроении. 2022. № 6 (132). С. 38–48. DOI 10.30987/2223-4608-2022-6-38-48. EDN FUGZAP.

10. Федоров В.П., Нагоркин М.Н., Смоленцев Е.В., Ковалева Е.В., Анализ процессов формирования микропрофиля поверхностей деталей машин на этапах обработки и приработки в условиях граничного трения // Транспортное машиностроение. 2023. № 9 (21). С. 24–36. DOI 10.30987/2782-5957-2023-9-24-36. EDN DWSBDH.

## REFERENCES

1. Fedorov V.P., Nagorkin M.N., Weiner L.G. Methodological foundations of diagnostics of metalworking technological systems according to parametric reliability of ensuring a given quality of treated surfaces // Bulletin of the Bryansk State Technical University, 2021, no. 11(108). pp. 49-63. DOI 10.30987/1999-8775-2021-11-36-50. EDN KTSUBUK.

2. Polsky E.A., Nikonov O.A., Mitrakov N.S., Zvyagintsev F.D. Technological provision of accuracy of scientific assembly at stages of life cycle // News of TulGU. Technical science. 2017, no. 8. pp. 328–338. UVD YARIKOM.

3. Polsky E.A., Sorokin S.V., Shemenkov V.M. Technological support of joint reliability indicators taking into account complex formation of surface quality metrics and physical and mechanical properties of functional surface materials // Journal of Physics: Conference Series, Divnomorskoe, 31st, May, 06, 2021 year. Divnomorskoe, 2021. P. 052024. DOI 10.1088/1742-6596/2131/5/052024. EDN DBQWMA.

4. Fedukov A.G., Khandozhko A.V., Polsky E.A., Shcherbakov A.N. Ensuring the accuracy of machine-tool assemblies based on unified assemblies based on the contact stiffness of the joints // BSTU Bulletin. Mechanical Engineering, 2019, no. 3, pp. 51–59. DOI 10.30987/article\_5c3db11190a975.91435272. EDN VXQNEC.

5. Suslov A.G., Fedorov V.P., Gorlenko O.A. and others. Fundamentals of technological support and reliability improvement of mechanical engineering articles. Moscow: Publishing House «Innovatsionnoe mashinostroenie», 2022, 552 p. ISBN 978-5-907523-04-3. EDN DCEFZK.

6. Suslov A.G., Fedonin O.N., Petrishin D.I. Basic fundamentals to ensure and increase quality of mechanical engineering and aerospace products. BSTU Bulletin. 2020, no.2(87), pp. 4–10. <https://doi.org/10.30987/1999-8775-2020-2020-2-4-10>. EDN OGAOKD.

7. Ivanov A.S. Calculation of contact strain in the design of machine/ A.S. Ivanov, V.V. Izmailov // Friction and lubrication in machines and mechanisms, 2006, no. 8, pp. 37–42.



8. Suslov A.G., Fedonin O.N., Polsky E.A. Science intensive technology of quality increase in machinery assembly units at life cycle stage // Science intensive technologies in mechanical engineering, 2016, no. 5(59), pp. 34–41. EDN VZJWYX.

9. Polsky E.A., Sorokin S.V. Improving the reliability of mechanical engineering products by improving the precision analysis of dimensional chains. Science-intensive technologies in mechanical engineering. 2022, no 6 (132),

pp. 38–48. DOI 10.30987/2223-4608-2022-6-38-48. EDN FUGZAP.

10. Fedorov V.P., Nagorkin M.N., Smolentsev E.V., Kovaleva E.V., Analysis of the micro profile formation of machine element surfaces at machining stages and running-in conditions of boundary friction // Transport engineering, 2023, no. 9 (21). pp. 24–36. DOI 10.30987/2782-5957-2023-9-24-36. EDN DWSBDH.

**Вклад авторов:** все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Contribution of the authors:** the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 26.03.2024; одобрена после рецензирования 02.04.2024; принята к публикации 05.04.2024.

The article was submitted 26.03.2024; approved after reviewing 02.04.2024; accepted for publication 05.04.2024.

---

Учредитель и издатель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Брянский государственный технический университет»

Адрес редакции и издателя: 241035, Брянская область, г. Брянск, бульвар 50 лет Октября, 7  
ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет»

Телефон редакции журнала: 8-903-592-87-39, 8-903-868-85-68.

E-mail: naukatm@yandex.ru, editntm@yandex.ru

Вёрстка Н.А. Лукашов. Редактор Е.В. Лукашова. Технический редактор Н.А. Лукашов.

Сдано в набор 17.05.2024. Выход в свет 30.05.2024.

Формат 60 × 84 1/8. Бумага офсетная. Усл. печ. л. 5,58.

Тираж 500 экз. Свободная цена.



Отпечатано в лаборатории оперативной полиграфии

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Брянский государственный технический университет» 241035, Брянская область, г. Брянск, ул. Институтская, 16