

**ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТІНІҢ
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ**

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТА**

**ҚАЗАҚСТАН ҒЫЛЫМЫ
МЕН ТЕХНИКАСЫ**

2001 ЖЫЛДАН БАСТАП ШЫҒАДЫ



**НАУКА И ТЕХНИКА
КАЗАХСТАНА**

ИЗДАЕТСЯ С 2001 ГОДА

ISSN 2788-8770

№ 2 (2021)

ПАВЛОДАР

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
ТОРАЙГЫРОВ УНИВЕРСИТЕТ**
выходит 1 раз в квартал

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания
№ KZ51VPY00036165

выдано
Министерством информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

публикация научных исследований по широкому спектру проблем в области металлургии,
машиностроения, транспорта, строительства, химической и нефтегазовой инженерии,
производства продуктов питания

Подписной индекс – 76129

<https://doi.org/10.48081/FUTF8491>

Импакт-фактор РИНЦ – 0,344

Абишев Кайратолла Кайроллинович – к.т.н., профессор (главный редактор);
Касенов Асылбек Жумабекович – к.т.н., профессор (заместитель главного редактора);
Мусина Жанара Керейовна – к.т.н., профессор (ответственный секретарь);
Шокубаева Зауреш Жанатовна – технический редактор.

Члены редакционной коллегии:

Калиакпаров Алтай Гиндуллинович – д.т.н., профессор (Нур-Султан, Казахстан);
Клецель Марк Яковлевич – д.т.н., профессор (Павлодар, Казахстан);
Шеров Карибек Тагаевич – д.т.н., профессор (Караганда, Казахстан);
Богомоллов Алексей Витальевич - к.т.н., ассоц. профессор (Павлодар, Казахстан);
Кажыбаева Галия Тулеуевна - к.т.н., профессор (Павлодар, Казахстан);

Зарубежные члены редакционной коллегии:

Waigang Sun – профессор (Пекин, Китай);
Gabriele Comodi – PhD, профессор (Анкона, Италия);
Jianhui Zhao – профессор (Харбин, Китай);
Khamid Mahkamov – д.т.н., профессор (Ньюкасл, Великобритания);
Magin Laruerta – д.т.н., профессор (СьюДад Исаева КуралайСметкановна Реал, Испания);
Mareks Mezitis – д.т.н., профессор (Рига, Латвия);
Petr Bouchner – PhD, профессор (Прага, Чехия);
Ronny Berndtsson – профессор (Лунд, Швеция);
Барзов Александр Александрович – д.т.н., профессор (Москва, Россия);
Витвицкий Евгений Евгеньевич – д.т.н., профессор (Омск, Россия);
Иванчина Эмилия Дмитриевна – д.т.н., профессор (Томск, Россия);
Лазарев Владислав Евгеньевич – д.т.н., профессор (Челябинск, Россия);
Мягков, Леонид Львович – д.т.н., профессор (Москва, Россия);
Янюшкин Александр Сергеевич – д.т.н., профессор (Чебоксары, Россия);
Ребезов Максим Борисович – д.с/х.н., профессор (Москва, Россия).

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели
Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов
При использовании материалов журнала ссылка на журнал «Наука и техника Казахстана» обязательна

© Торайгыров университет

Н. Н. Годына¹, ***С. И. Дерезягин**², **С. А. Стаценко**³

^{1,3}Инновационный Евразийский университет,

Республика Казахстан, г. Павлодар;

²Торайгыров университет,

Республика Казахстан, г. Павлодар

ФОРМИРОВАНИЕ ПОГРЕШНОСТИ ВЗАИМНОГО РАСПОЛОЖЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ИХ СОПРЯЖЕНИИ ПОД ДЕЙСТВИЕ СИЛОВОГО ЗАМЫКАНИЯ

В данной статье рассматривается механизм образования погрешности установки в процессе силового закрепления. Рассмотрено влияние макро-микронеровностей на формирование конечного положения координатной системы деталей при закреплении. Показана возможность расчета точности взаимного расположения соединяемых деталей в зависимости от топографии сопрягаемых поверхностей.

Ключевые слова: микро-макронеровности, точность взаимного расположения, силовое замыкание, топография сопрягаемых поверхностей.

Введение

Отличительной особенностью контактирования заготовки с опорами является индивидуальность образования площадок контакта в каждом стыке «опора-заготовка» [1-6]. В общем случае следует выделить два этапа образования площадок контакта заготовки с опорами в процессе установки. Первый этап связан с базированием заготовки, второй – с закреплением. По завершению этапа базирования будут образованы первоначальные зоны касания заготовки с опорами. Местонахождение таких зон зависит от рельефа поверхности установочной базы в местах расположения опор, а так же от места приложения и направления силы веса заготовки. Неточности изготовления и сборки зажимных механизмов, погрешности формы контактируемых поверхностей зажимных элементов и заготовки приводят к тому, что силы закрепления прикладываются к заготовке не одновременно, а в какой-то последовательности, случайной в каждом конкретном случае закрепления. В связи с этим, силы, прикладываемые в первую очередь, создают опрокидывающие моменты относительно линий, проходящих через первоначальные зоны касания заготовки с опорами, выводя заготовку из равновесия, достигнутого при базировании. Опрокидываясь, заготовка может терять контакт с некоторыми опорами приспособления или может контактировать с опорами в других точках. Приложение последующих сил закрепления так же изменяет положение заготовки. В конечном итоге после приложения всех сил закрепления заготовка займет устойчивое положение.

Таким образом, на этапе закрепления, на формирование конечного положения заготовки относительно опор приспособления оказывают влияние взаимное расположение первоначальных зон касания на опорах и точек приложения сил закрепления заготовки [7, 8].

Материалы и методы

Из множества возможных вариантов расположения зон первоначального касания заготовки с опорами, отдельные из них оказываются более благоприятными для сохранения достигнутого положения заготовки при базировании. К таким следует отнести варианты, когда линии, проходящие через зоны первоначального касания заготовки с опорами, охватывают точки приложения сил закрепления. Образование зон первоначального контакта заготовки с опорами представлено на рисунке 1, где зоны контакта заготовки с опорами обозначены как – 1, 2, 3. В этом случае контактирование заготовки с каждой опорой при приложении сил закрепления будет происходить по схеме контактирования двух твердых тел с плоскими поверхностями. Перемещение заготовки на каждой опоре в направлении действия сил закрепления будет осуществляться за счет пластических деформаций шероховатости и упругих деформаций выпуклостей поверхности установочной базы в местах расположения опор.

В общем случае перемещение $Z_{кд}$ заготовки на рассматриваемой опоре в направлении действия силы закрепления можно определить как:

$$Z_{кд} = Z_{ш} + Z_{в} \tag{1}$$

где $Z_{ш}$ – перемещение заготовки за счет деформации шероховатости;
 $Z_{в}$ – перемещение заготовки за счет деформации выпуклостей.

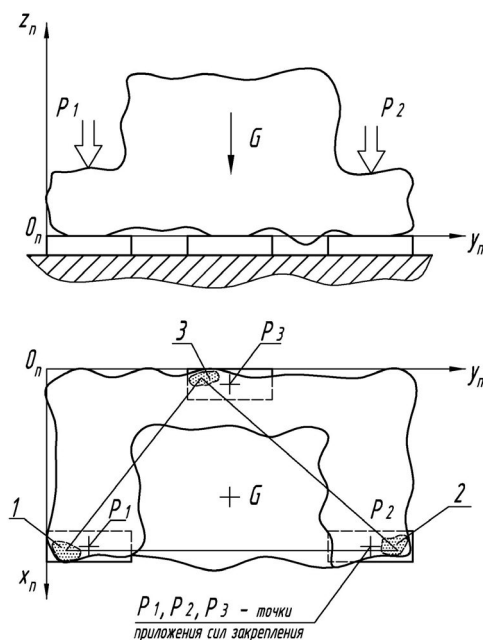


Рисунок 1 – Образование зон первоначального контакта заготовки с опорами

Определение значений Z_{III} и Z_B , входящих в формулу 1 не представляет сложности. Используя зависимости, полученные в исследованиях Н. Б. Демкина [4, 5, 9] для волнистых поверхностей, можем определить

$$Z_{III} = 4,1 \cdot R_a \cdot \left(\frac{P_c}{P_r} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

и

$$Z_B = 1,8 \cdot H_B^{0,85} \cdot R_B^{0,16} \cdot (\theta_\Sigma \cdot P_a)^{0,3} \quad (3)$$

где R_a – среднеарифметическое отклонение профиля базовой поверхности:

P_c, P_r, P_a – соответственно контурное, фактическое и номинальное удельное давление;

H_B – максимальная высота волны;

R_B – радиус волны;

θ_Σ – упругая постоянная материала для двух деформируемых поверхностей

$$\theta_\Sigma = \theta_1 + \theta_2 \quad \text{или} \quad \theta_\Sigma = \frac{1 - \mu_1^2}{E_1} + \frac{1 - \mu_2^2}{E_2};$$

где μ – коэффициент Пуассона;

E – модуль упругости.

Фактическое давление стыка рассчитывается по формуле

$$P_r = 0,8 \cdot \left(\frac{R_a}{r \cdot \theta^2} \right)^{0,4} \cdot P_c^{0,2};$$

где $r = \frac{r_1 \cdot r_2}{r_1 + r_2}$ – приведенный радиус неровностей.

Подставим значение Z_{III} и Z_B в формулу 1 получим

$$Z_{КД} = 4,1 \cdot R_a \cdot \left(\frac{P_c}{P_r} \right)^{\frac{1}{2}} + 1,8 \cdot H_B^{0,85} \cdot R_B^{0,16} \cdot (\theta_\Sigma \cdot P_a)^{0,3} \quad (4)$$

Неблагоприятными условиями для сохранения достигнутого положения заготовки при базировании являются варианты, когда точки приложения сил закрепления окажутся вне линий, проходящих через зоны первоначального касания заготовки с опорами. Условия появления опрокидывания заготовки при закреплении представлено на рисунке 2, где зоны первоначального контакта обозначены как – 1, 2, 3. В этом случае контактирование заготовки с

рассматриваемой опорой при приложении силы закрепления будет происходить следующим образом. При приложении силы закрепления заготовка будет находиться в равновесии до тех пор, пока не будет нарушено равенство

$$P_3 \cdot l_p = P_T \cdot l_T \tag{5}$$

где P_3 – сила закрепления заготовки, действующая нормально к рассматриваемой опоре;

l_p – расстояние между точкой приложения силы закрепления и линией, проходящей через первоначальные зоны касания, относительно которой рассматривается поворот заготовки;

P_T – сила веса заготовки;

l_T – расстояние между местом нахождения центра тяжести заготовки и линией, проходящей через первоначальные зоны касания, относительно которой рассматривается поворот заготовки.

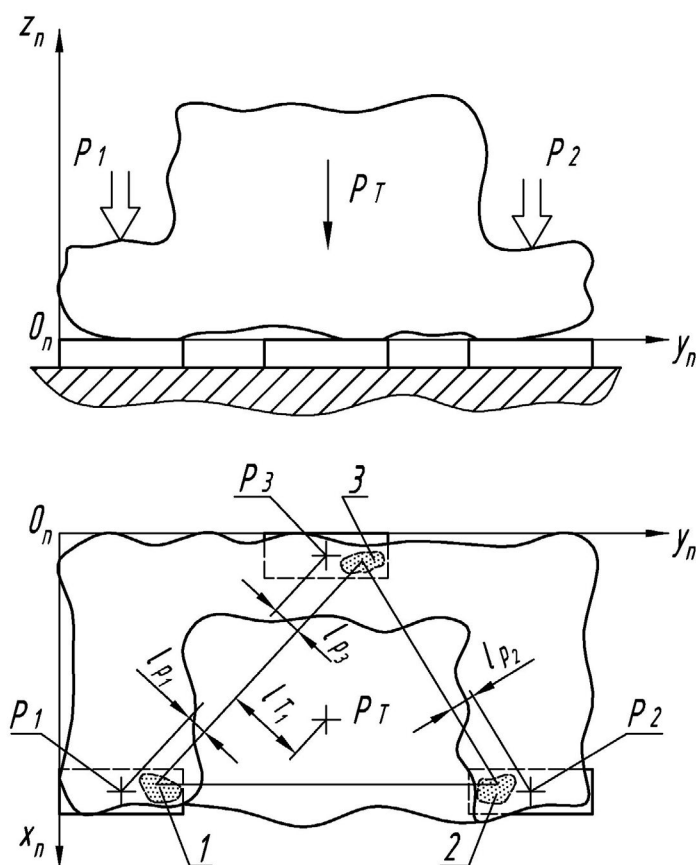


Рисунок 2 – Условия появления опрокидывания заготовки при закреплении

Процесс контактирования заготовки с опорой до опрокидывания сопровождается пластическими деформациями шероховатости и упругой

деформацией выпуклостей поверхности установочной базы, на которой сформирована первоначальная зона касания заготовки с рассматриваемой опорой.

При дальнейшем увеличении силы закрепления возникает опрокидывающий момент в сторону опоры, относительно которой приложена сила, что приведет к формированию новых площадок контакта заготовки с рассматриваемой опорой. Контактное взаимодействие заготовки с опорами при появлении опрокидывающего момента при закреплении представлено на рисунке 3. Поворот заготовки в направлении действия силы закрепления будет происходить до тех пор, пока не будут сформированы новые зоны контакта заготовки с опорой, образующие треугольник, охватывающий направление действий силы закрепления.

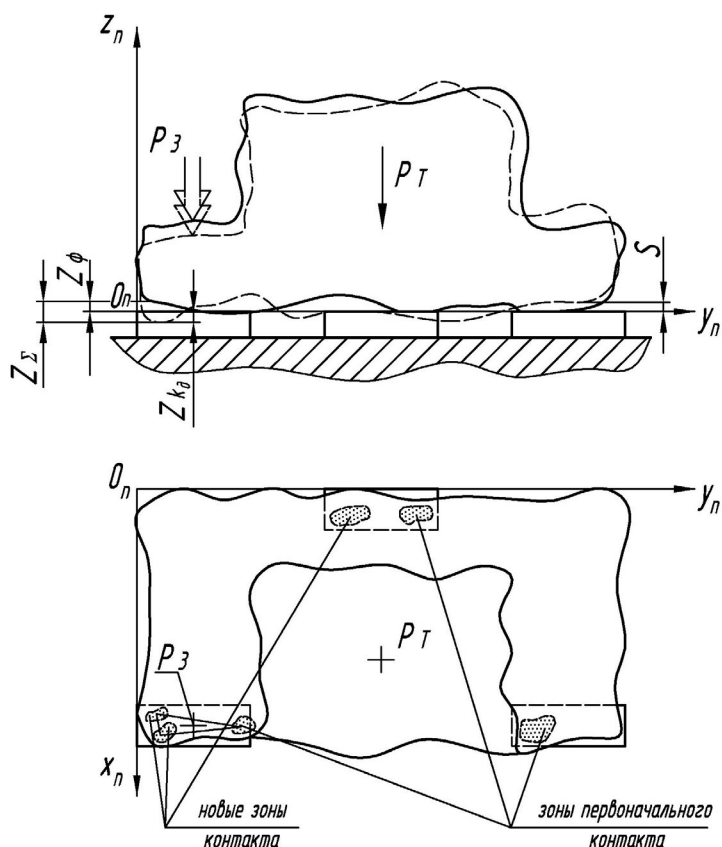


Рисунок 3 – Контактное взаимодействие заготовки с опорами

Это явление в данной работе получило название «консольного эффекта». На формирование новых площадок контакта заготовки с опорой окажет влияние отклонения формы поверхности установочной базы в месте расположения рассматриваемой опоры.

Таким образом, максимально возможное перемещение Z_Σ заготовки на рассматриваемой опоре в направлении действия силы закрепления можно определить как

$$Z_{\Sigma} = Z_{\kappa\delta} + Z_{\phi} \quad (6)$$

где $Z_{\kappa\delta}$ – перемещение заготовки за счет упругопластических деформаций на площадках контакта;

Z_{ϕ} – перемещение заготовки за счет отклонения формы поверхности установочной базы в месте расположения опоры.

Подставляя в формулу 6 значение $Z_{\kappa\delta}$ получим

$$Z_{\Sigma} = \left[4,1 \cdot R_a \cdot \left(\frac{P_c}{P_r} \right)^{\frac{1}{2}} + 1,8 \cdot H_B^{0,85} \cdot R_B^{0,16} \cdot (\theta_{\Sigma} \cdot P_a)^{0,3} \right] + Z_{\phi} \quad (7)$$

Величина Z_{ϕ} определяется на основании знания рельефа поверхности установочной базы в месте расположения рассматриваемой опоры.

При максимальном перемещении заготовки относительно опоры может произойти потеря контакта с некоторыми из опор приспособления. В этом случае при приложении последующих сил закрепления восстановление контакта будет осуществляться за счет собственных деформаций заготовки при недостаточной ее жесткости или за счет касательных смещений заготовки в нагруженных стыках, при достаточной жесткости заготовки. Таким образом, в общем случае погрешность закрепления заготовки можно выразить схематической зависимостью:

$$\omega_3^{нб} = \omega_{Z_{\mu}} + \omega_{Z_{\delta}} + \omega_{Z_{\phi}} + \omega_{S\delta} \quad (8)$$

$$\omega_3^{наим} = \omega_{Z_{\mu}} + \omega_{Z_{\delta}} \quad (9)$$

где $\omega_3^{нб}$, $\omega_3^{наим}$ – соответственно наибольшие и наименьшие погрешности закрепления;

$\omega_{Z_{\mu}}$ – погрешности, связанные с деформациями шероховатости поверхности установочной базы заготовки;

$\omega_{Z_{\delta}}$ – погрешности, связанные с деформациями выпуклостей поверхности установочной базы заготовки;

$\omega_{Z_{\phi}}$ – погрешности, связанные с перемещением заготовки за счет отклонения формы поверхности установочной базы заготовки в местах расположения опор;

$\omega_{S\delta}$ – погрешности, вызванные собственными деформациями заготовки.

Результаты и обсуждение

Такой многократный разворот при контактном взаимодействии сопрягаемых деталей был подтвержден и при сборке [2, 10]. В экспериментах на сопрягаемых деталях были установлены измерительные индуктивные датчики. За нулевое положение принималось положение сопряжения деталей под собственным

весом. Для изменения собственных деформаций деталей при силовом замыкании использовались тензометрические датчики. Было установлено, что собственные деформации деталей стабилизировались после обеспечения относительно устойчивого контактного взаимодействия деталей.

Выводы

Проведенные исследования подтвердили предположение, что зная топографию сопрягаемых поверхностей и имея возможность рассчитать контактные и собственные деформации деталей, возможно управлять точностью взаимного расположения, изменяя величину и порядок приложения силового замыкания как в процессе механической обработке так и при сборке изделий.

Список использованных источников

1 **Горячева, И. Г., Добычин, М. Н.** Контактные задачи в трибологии. – М. : Машиностроение, 1988. – 256 с.: ил.

2 **Деревягин, С. И.** Конструктивно-технологическое обеспечение качества герметичных прецизионных соединений. / МВТУ. – М., 1988. – 24 с. – Деп. во ВНИИТЭМР 05.08.88, № 309-мш.

3 **Тастенов, Е. К., Ромасев, К. Н.** Оценка формирования погрешности обработки детали торцовой фрезой // Наука и техника Казахстана. – 2005. – № 2. – С. 145–149.

4 **Демкин, Н. Б., Рыжов, Э. В.** Качество поверхности и контакт деталей машин. – М. : Машиностроение, 1981. – 244 с.

5 **Крагельский, И. В., Добычин, М. Н., Комбалов, В. С.** Основы расчета на трение и износ. – М. : Машиностроение, 1977. – 526 с., ил.

6 **Левина, З. М., Решетов, Д. Н.** Контактная жесткость машин. – М. : Машиностроение, 1971. – 264 с.

7 **Волков, Е. Б., Хусаинов, Р. М., Юрасов, С. Ю.** Моделирование формирования погрешностей зубчатых венцов при обработке на зубофрезерных станках // Научно-технический вестник Поволжья. – 2019. – № 6. – С. 95–98.

8 **Нуржанов, А. Н., Стаценко, С. А., Деревягин, С. И.** Влияние контактных деформаций на относительное положение деталей в процессе закрепления. // Технология машиностроения и автоматизация. – Алма-Ата, 1978. – Вып. 7. – С. 180–183.

9 Трение, изнашивание и смазка. Справочник в 2-х книгах./ Под ред. И. В. Крагельского и В. В. Алисина. – М. : Машиностроение, 1978, – 758 с.

10 **Барзов, А. А., Денчик, А. И., Мусина, Ж. К., Ткачук, А. А.** Разработка аналитической модели вероятностного формирования точности исполнительного размера с учетом влияния масштабного фактора // Наука и техника Казахстана. – 2021. – № 1. – С. 19–29.

References

- 1 **Goryacheva, I. G., Dobychin, M. N.** Contact problems in tribology. – М. : Mashinostroyeniye, 1988. – 256 p.: ill.
- 2 **Derevyagin, S. I.** Constructive and technological assurance of the quality of hermetically sealed precision joints. / MVTU. – М., 1988. – 24 p. – Dep. in VNIITEMR 08/05/88, No. 309-msh.
- 3 **Tastenov, E. K., Romasev, K. N.** Evaluation of the formation of the error of processing a part with a face mill. Nauka i tekhnika Kazakhstana. – 2005. – No. 2. – P. 145–149.
- 4 **Dyomkin, N. B., Ryzhov, Ye. V.** Surface quality and contact of machine parts. – М. : Mashinostroyeniye, 1981. – 244 p.
- 5 **Kragelskiy, I. V., Dobychin, M. N., Kombalov V. S.** Fundamentals of friction and wear analysis. – М. : Mashinostroyeniye, 1977. – 526 p.: ill.
- 6 **Levina, Z. M., Reshetov, D. N.** Contact stiffness of machines. – М. : Mashinostroyeniye, 1971. – 264 p.
- 7 **Volkov, E. B., Khusainov, R. M., Yurasov, S. Yu.** Modeling of the formation of errors of toothed crowns during processing on gear milling machines // Scientific and Technical Bulletin of the Volga region. – 2019. – No. 6. – P. 95–98.
- 8 **Nurzhanov, A. N., Statsenko, S. A., Derevyagin, S. I.** Influence of contact deformations on the relative position of parts in the process of fastening. // Mechanical engineering technology and automation. – Alma-Ata, 1978. – Issue. 7. – P. 180–183.
- 9 Friction, wear and lubrication. Reference book in 2 books. / Ed. by I. V. Kragelskiy and V. V. Alisina. – М. : Mashinostroyeniye, 1978. – 758 p.
- 10 **Barzov, A. A., Denchik, A. I., Musina, Zh. K., Tkachuk, A. A.** Development of an analytical model of probabilistic formation of the accuracy of the executive size taking into account the influence of the scale factor. – 2021. – No. 1. – P. 19–29.

Материал поступил в редакцию 15.06.21.

Н. Н. Годына¹, ***С. И. Деревягин**², **С. А. Стаценко**³

^{1,3}Инновациялық Еуразия университеті,
Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

²Торайғыров университеті,
Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.
Материал 15.06.21 баспаға түсті.

КҮШТІК ТҰЙЫҚТАЛУ ӘСЕРІНЕН БӨЛШЕКТЕРДІҢ ӨЗАРА ОРНАЛАСУ ҚАТЕЛІГІН ҚАЛЫПТАСТЫРУ

Бұл мақалада қуатты бекіту процесінде орнату қатесінің пайда болу механизмі қарастырылады. Бекіту кезінде бөлшектердің координаталық жүйесінің соңғы орнын қалыптастыруға макро-микротыңайтқыштардың әсері қарастырылады. Қосылатын беттердің топографиясына байланысты

қосылатын бөліктердің өзара орналасуының дәлдігін есептеу мүмкіндігі көрсетілген.

Түйінді сөздер: микро-макронеровности, дәлдігі өзара орналасуы, күштік түйықталу, жұптасқан беттерін топографиясы.

N. N. Godyna¹, ***S. I. Derevyagin**², **S. A. Statsenko**³

^{1,3}Innovative University of Eurasia,
Republic of Kazakhstan, Pavlodar;

²Toraighyrov University,
Republic of Kazakhstan, Pavlodar.

Material received on 15.06.21.

FORMATION OF PARTS MUTUAL POSITIONING ERROR IN THEIR MATING UNDER THE ACTION OF FORCE CLOSURE

This article discusses the mechanism of installation error formation in the process of force clamping. It considers influence of macro-microroughnesses on the formation of the final position of the parts coordinate system during the process of clamping. The authors show the possibility of calculating the accuracy of relative position of the parts to be joined depending on the topography of the mating surfaces.

Keywords: micro-macroroughness, accuracy of relative position, force closure, topography of mating surfaces.

Теруге 15.06.21 ж. жіберілді. Басуға 29.06.21 ж. қол қойылды.
Электрондық баспа
3,99 Мб RAM
Шартты баспа табағы 13,9. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.
Компьютерде беттеген З. С. Искакова
Корректор: А. Р. Омарова

Тапсырыс № 3809

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған
Торайғыров университеті
140008, Павлодар қ., Ломов көш., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы
Торайғыров университеті
140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.
67-36-69

e-mail: kereku@tou.edu.kz
nitk.tou.edu.kz