

*к. т. н., проф. Зелинский А.Н.,
ассистент Пипкин Ю.В.
(ДонГТУ, Алчевск, Украина)*

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ КОНТАКТНОЙ ЖЕСТКОСТИ В ЗАЖИМНЫХ УСТРОЙСТВАХ СТАНОЧНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ

У статті надано результати експериментального визначення коефіцієнтів контактної жорсткості для затискних пристроїв верстатних пристосувань, виконано їх порівняння з результатами теоретичних розрахунків.

Проблема и ее связь с практическими и научными задачами.

Анализ методики определения коэффициентов жесткости является важным условием организации имитационного моделирования [1] зажимных устройств станочных приспособлений (СП), а также позволяет определить пути повышения надежности работы конструкции [2].

Анализ исследований и публикаций.

Исследования контактных взаимодействий в работах [3, 4, 5] в основном связаны с определением контактных деформаций. Коэффициенты контактной жесткости для анализа контактного взаимодействия не используются. Методика силового расчета зажимных устройств станочных приспособлений [6] предусматривает применение коэффициентов жесткости, однако отсутствуют рекомендации по теоретическому или экспериментальному их определению. Отсутствуют такие рекомендации и в работах [7, 8], посвященных подробному исследованию контактных взаимодействий при установке заготовок на пальцы и призмы.

Постановка задачи по определению коэффициентов контактной жесткости в силовом замыкании станочных приспособлений.

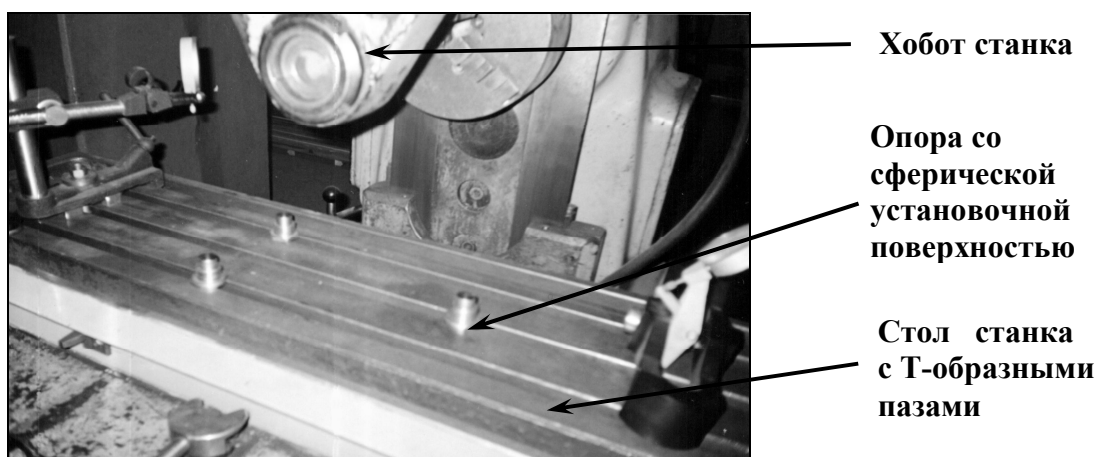
Задачей данной работы является определение коэффициентов контактной жесткости для анализа силового замыкания в СП. При расчете коэффициентов применим теоретические зависимости и экспериментальные данные. Выполним сравнение результатов расчета,

полученных различными способами (теоретическим и экспериментальным).

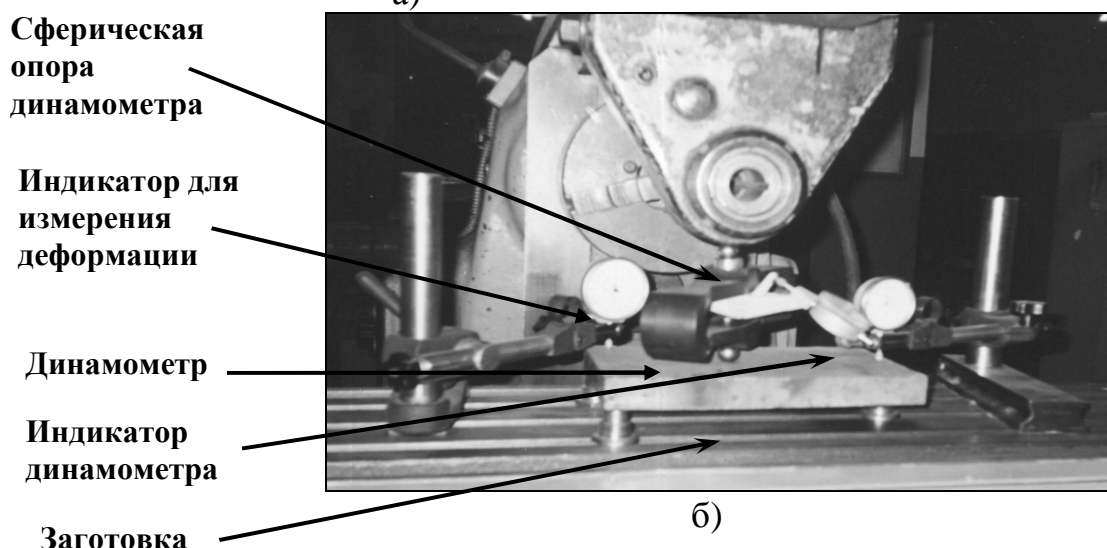
Экспериментальное определение коэффициентов контактной жесткости и их сравнение с теоретическим расчетом.

Для анализа силового замыкания (закрепления) заготовки при механической обработке была исследована схема установки заготовки плоской поверхностью на три точечные опоры со сферической поверхностью, т.е. исследовался контакт вида "плоскость – сферическая поверхность".

Эксперимент заключался в определении деформаций в трех опорах (рис. 1), установленных на столе горизонтального консольно-фрезерного станка.



а)



б)

Рисунок 1 – Экспериментальный стенд по измерению силового замыкания в станочном приспособлении:

а) расположение опор, б) нагружение и измерение деформаций в опорах

Форма опорной поверхности – сферическая. Заготовка типа "пластина" устанавливалась на три опоры плоской базовой поверхностью. Нагружение заготовки зажимной силой производится через динамометр с индикатором часового типа. Цена деления индикатора динамометра составляет 50 Н. Нагружение производилось в заданной точке внутри треугольника опор. Усилие на каждой из опор определялось расчетным путем с применением принципа виртуальных перемещений. Деформации в каждой опоре определялись индикаторами часового типа с ценой деления 0,002 мм. Нагрузка прикладывалась постепенно с шагом 100 Н. Максимальная нагрузка составила 3000 Н. Измерение деформаций проводилось как на этапе постепенного нагружения, так и на этапе постепенного разгружения.

Графики взаимозависимости между нагрузкой и деформацией в опорах представлен на рисунке 2.

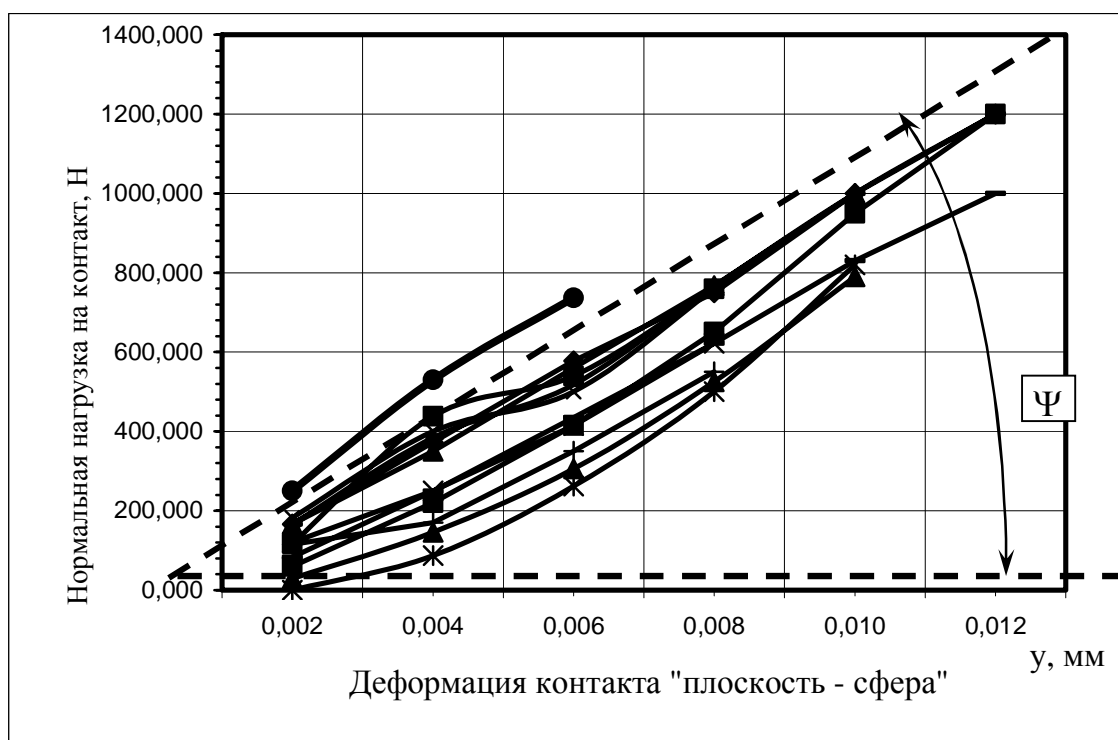


Рисунок 2 – Графики взаимозависимости нагрузки и деформации в контакте плоской поверхности заготовки со сферической поверхностью опоры

При исследовании силового замыкания выполнялись измерения деформаций в контактах заготовки с опорами. Для каждой опоры серия замеров проводилась не менее чем четыре раза. Таким образом, были получены значения для каждой опоры и для определенного уровня нагрузки как при нагружении, так и при разгрузке контакта. Так как

условия контактирования для каждой опоры сохраняются (опоры изготовлены одинаковыми), то можно предполагать, что процессы деформации протекают одинаково. Графики, представленные на рисунке 2, построены следующим образом. Для единичного нагружения опоры выбраны деформации, кратные цене деления средства измерения, и нагрузки, которые вызвали эти деформации. В соответствии с этим принципом построены графики для разных нагружаемых одновременно опор, как на этапах нагружения, так и на этапе разгрузки.

По графикам на рисунке 2 видно, что они близки к линейной форме, причем угол наклона графиков к оси деформации практически одинаков. По определению коэффициента жесткости в виде $j_{kN} = \frac{P_N}{\xi_N}$, можно его определять как тангенс угла Ψ наклона графиков $tg\Psi = j = \frac{P_N}{\xi_N}$.

Таким образом, экспериментальный коэффициент контактной жесткости можно определить равным

$$j_{kN1} = \frac{P_{\max 1}}{\xi_{\max 1}} = \frac{1200}{0,012} = 100000 \frac{H}{мм}.$$

Выполним оценку по полученным выше зависимостям теоретического и экспериментального вида.

Теоретическая оценка коэффициента контактной жесткости выполняется на основе зависимостей теории упругости для определения деформации в контакте "плоскость – сфера" [9]

$$\Delta = 0,8255 \cdot \sqrt[3]{\frac{P^2}{R} \cdot \left(\frac{1-\mu_1^2}{E_1} + \frac{1-\mu_2^2}{E_2} \right)^2},$$

из которой на основе преобразований можно вывести выражение для коэффициента контактной жесткости, причем зависящего от усилия или от деформации в контакте.

Диаметр сферы опоры составлял 20 мм для всех трех опор. Материал опор – сталь 45, материал устанавливаемой заготовки – 60Г. Модули упругости и коэффициенты Пуассона для указанных материалов составляют соответственно $E_2 = 2,04 \times 10^5$ МПа, $\mu_2 = 0,28$ и $E_1 = 2,109 \times 10^5$ МПа, $\mu_1 = 0,28$.

Коэффициент жесткости для теоретической оценки равен:

при зависимости от усилия P

$$j = 1,21 \cdot P^{1/3} \cdot R^{1/3} \left(\frac{1 - \mu_1^2}{E_1} + \frac{1 - \mu_2^2}{E_2} \right)^{-2/3} =$$
$$= 1,21 \cdot 1200^{1/3} \cdot 20^{1/3} \cdot \left(\frac{1 - 0,28^2}{2,109 \times 10^5} + \frac{1 - 0,28^2}{2,04 \times 10^5} \right)^{-2/3} = 81350 \text{ Н/мм},$$

при зависимости от деформации Δ

$$j = \frac{P}{\Delta} = 1,33 \cdot \frac{R^{1/2} \cdot \Delta^{1/2}}{\left(\frac{1 - \mu_1^2}{E_1} + \frac{1 - \mu_2^2}{E_2} \right)} =$$
$$= 1,33 \cdot \frac{20^{1/2} \cdot 0,012^{1/2}}{\left(\frac{1 - 0,28^2}{2,109 \times 10^5} + \frac{1 - 0,28^2}{2,04 \times 10^5} \right)} = 73310 \text{ Н/мм}$$

Аналогично теоретической оценке возможно определение коэффициента контактной жесткости и на основе полученных в работе [6] эмпирических зависимостей:

$$y = \left(0,67 - 0,003HB + \frac{6,23}{R} \right) \cdot Q^{0,8} \text{ для заготовки из стали и}$$

$$y = \left(2,7 - 0,008HB + \frac{9,23}{R} \right) \cdot Q^{0,6} \text{ для заготовки из чугуна,}$$

где HB – твердость материала по Бриннелю,

R – радиус сферы (опоры),

Q – усилие зажима заготовки, нормальное к плоскости контакта.

Коэффициент контактной жесткости для условий проведения эксперимента по эмпирической зависимости равен (для стали)
- для зависимости от нагрузки

$$j = \frac{Q}{\left(0,67 - 0,003HB + \frac{6,23}{R}\right) \cdot Q^{0,8}} = \frac{1200^{0,2}}{\left(0,67 - 0,003 \cdot 230 + \frac{6,23}{20}\right)} =$$

$$= 22,450 \text{ Н/мкм} = 22450 \text{ Н/мм}$$

для зависимости от деформации

$$j = \left(0,67 - 0,003HB + \frac{6,23}{R}\right)^{-\frac{10}{8}} \cdot \sqrt[8]{\delta^2} =$$

$$= \left(0,67 - 0,003 \cdot 230 + \frac{6,23}{20}\right)^{-\frac{10}{8}} \cdot \sqrt[8]{0,012^2} =$$

$$= 15,452 \text{ Н/мкм} = 15452 \text{ Н/мм.}$$

Сравнение результатов оценки коэффициентов контактной жесткости выполним в таблице 1.

Таблица 1 – Значения коэффициентов контактной жесткости для разных оценок, Н/мм

Вид контакта	Характеристика по определению коэффициента жесткости	
	Зависимость от нагрузки	Зависимость от деформации
Плоскость – сфера	Экспериментальная оценка	
	100000	
	Оценка по эмпирической формуле	
	22450	15452
	Оценка по теоретической зависимости	
	81350	73310

Анализ результатов, приведенных в таблице 1, позволяет отметить следующее.

Коэффициент жесткости, полученный по экспериментальным данным является наибольшим по сравнению с другими. Экспериментальный коэффициент превышает коэффициент полученный на основе теоретических зависимостей на величину около 20% (на границе допустимой погрешности инженерных расчетов). Отклонение экспериментального коэффициента жесткости от теоретического можно объяснить влиянием процессов, неучтенных при выводе теоретических зависимостей. Для рассмотренного здесь эксперимента таким процессом является совместность деформации в трех опорах, причем процессы, протекающие в опоре связаны между собой через достаточно жесткую заготовку и зажимной элемент.

Коэффициент жесткости, полученный расчетом по известным эмпирическим зависимостям получился самым низким, причем в несколько раз меньшим других коэффициентов. Это можно также объяснить действием процессов, присутствующих в расчетной схеме для эмпирической зависимости и в проведенном эксперименте. В частности отличием является то, что в эксперименте опора не запрессовывается (как это имеет место при установке опор такого типа в приспособление), а устанавливается в Т-образный паз с зазором и стык между опорой и поверхностью установочной плиты затягивается дополнительно. Таким образом, на результат измерений не оказывает влияние контактные деформации в этом стыке, что существенно повышает точность измерения деформаций. Кроме этого, можно предположить, что совместность деформаций опор, охарактеризованная выше также не учтена в известных эмпирических зависимостях.

Коэффициент жесткости, определяемый в зависимости от усилия на контакт, всегда больше, коэффициента, определяемого в зависимости от деформации. Изменение коэффициента жесткости в одном процессе в один момент времени может являться показателем, характеризующим внутренний источник колебаний переменных процесса в силовом замыкании СП.

Выводы.

Сравнение результатов определения коэффициентов трения со значениями, полученными на основе теоретических зависимостей показывает близость порядка получаемых величин коэффициентов контактной жесткости. Следовательно, проведенный эксперимент может быть использован для исследования и оценки контактных деформаций в зажимных механизмах станочных приспособлений. Анализ результатов экспериментов по эмпирическим зависимостям

других авторов показывает на необходимость учета совместности деформаций опор в системе зажимного механизма.

В статье представлены результаты экспериментального расчета коэффициентов контактной жесткости для зажимных устройств станочных приспособлений, выполнено их сравнение с результатами теоретических расчетов.

The results of experimental calculation of coefficients of contact inflexibility for the clamping devices of machine-tool fixture are represented in the article, their comparison with the results of theoretical calculations is executed.

Библиографический список.

1. Пипкин Ю.В. Выбор места приложения усилия зажима с помощью имитационной модели / Ю.В. Пипкин // Сборник научных трудов Донбасского государственного технического университета. Спецвыпуск: Информационные технологии в научных исследованиях и учебном процессе: Материалы II Международ. научн.-практ. конференции (14-16 ноября 2006 г., г. Луганск). – Алчевск: ДонГТУ; Луганск: ЛНПУ, 2006. – С.161-171.

2. Силаев Л.А. Повышение надежности базирующих элементов станочных приспособлений / Силаев Л.А. // Проблеми трибології. – Хмельницький: ХДТУ. – 1999. – № 1. – С. 105-112.

3. Рыжов Э.В. Контактная жесткость деталей машин / Э.В.Рыжов. – М.: Машиностроение, 1966. – 195 с.

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

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

6. Корсаков В.С. Основы конструирования приспособлений: Учебник для вузов / Корсаков В.С. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1983. – 277 с.

7. Ильицкий В.Б. Станочные приспособления. Конструкторско-технологическое обеспечение эксплуатационных свойств / В.Б. Ильицкий, В.В. Микитянский, Л.М. Сердюк. – М.: Машиностроение, 1989. – 208 с.

8. Микитянский В.В. Точность приспособлений в машиностроении / В.В. Микитянский. – М.: Машиностроение, 1984. – 128 с.

9. Писаренко Г.С. Справочник по сопротивлению материалов / Г.С. Писаренко, А.П. Яковлев, В.В. Матвеев; Отв. ред. Г.С. Писаренко – 2-е изд., перераб. и доп. – К.: Наук. Думка, 1988. – 736 с.

*Рекомендовано к печати
к. т. н., проф. Ульяницким В.Н.*