

УДК 621.9.02

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ КОМПОЗИЦИОННОГО ПОКРЫТИЯ КОНТАКТНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ НА ИХ ТАНГЕНЦИАЛЬНУЮ ЖЕСТКОСТЬ

М. И. МИХАЙЛОВ, О. А. ЛАПКО

*Учреждение образования «Гомельский государственный
технический университет имени П. О. Сухого»,
Республика Беларусь*

Приведены результаты экспериментальных исследований в лабораторных условиях тангенциальной жесткости. Получены графики зависимости перемещения пластин от зернистости наполнителя, силы зажима пластин и количества плоскостей сдвига. Установлено влияние зернистости композиционного покрытия и силы зажима на тангенциальную жесткость.

Ключевые слова: контактные поверхности, тангенциальная жесткость, композиционное покрытие, экспериментальные исследования.

EXPERIMENTAL STUDIES OF THE INFLUENCE OF THE COMPOSITE COATING OF CONTACT SURFACES ON THEIR TANGENTIAL RIGIDITY

M. I. MIKHAILOV, O. A. LAPKO

*Educational Institution "Sukhoi State Technical University
of Gomel", the Republic of Belarus*

The results of experimental studies have been presented in laboratory conditions of tangential stiffness. The dependence graphs of the displacement of the plates on the grain size of the filler, the clamping force of the plates and the number of shear planes have been obtained. The influence of the grain size of the composite coating and the clamping force on the tangential stiffness has been established.

Keywords: contact surfaces, tangential stiffness, composite coating, experimental research.

Введение

Фундаментальными исследованиями жесткости в разное время занимались отечественные и зарубежные ученые: Н. М. Беляев, К. В. Вотинов, А. А. Галин, Н. Б. Демкин, А. Н. Динник, А. П. Соколовский, С. Д. Пономарев, Д. Н. Решетов, З. М. Левина, Н. М. Михин, Э. В. Рыжов, Г. Герц, Р. Миндлин, Ф. Боуден, Д. Табор и др. Большое значение для повышения контактной жесткости имеет качество поверхностного слоя сопрягаемых поверхностей. Решению этих проблем посвящены работы авторов: А. И. Каширина, А. А. Маталина, А. М. Дальского, В. Ф. Безъязычного, А. Г. Сулова, А. М. Сулимы, Д. Д. Папшева, Л. А. Хворостухина, Ю. Г. Шнейдера и др.

Контакт шероховатых поверхностей также исследуется в работах зарубежных авторов. Так, G. Carbone и F. Bottiglionе в своей работе [5] провели анализ зависимости фактической площади контакта шероховатых поверхностей от приложенной нагрузки.

Контактная жесткость часто определяется через отношение контактных напряжений и перемещений.

Анализ литературы по исследованиям сборного инструмента в условиях статических нагрузок выявил, что большой вклад в развитие данных исследований внесли ученые УДН им. П. Лумумбы [4]. Многими авторами жесткость сборного инструмента изучалась на специально разработанных стендах, на которых определялась доля смещения режущей кромки инструмента в результате смещения отдельных элементов или в процессе резания, а также численным моделированием. По результатам измерений перемещений оценивалось влияние жесткости отдельных элементов на суммарную жесткость инструмента.

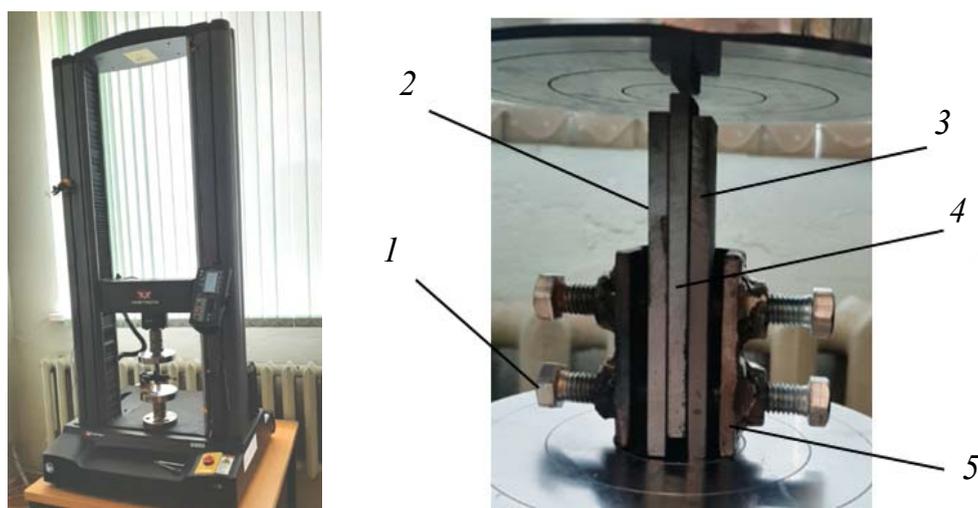
Цель работы – установление влияния композиционного покрытия контактных поверхностей на их тангенциальную жесткость.

Постановка задачи и методика исследования

Основные задачи исследования: на основании экспериментальных данных установить влияние контактных напряжений, состава композиционного покрытия и количества плоскостей сдвига на тангенциальную контактную жесткость соединения.

Применялась известная методика лабораторных исследований тангенциальной жесткости соединений пластин [1].

Исследования проводились на оборудовании INSTRON 5969 с предельной нагрузкой 50 кН (рис. 1, а).



а)

б)

Рис. 1. Испытательная машина (а) и рабочая зона испытаний (б):

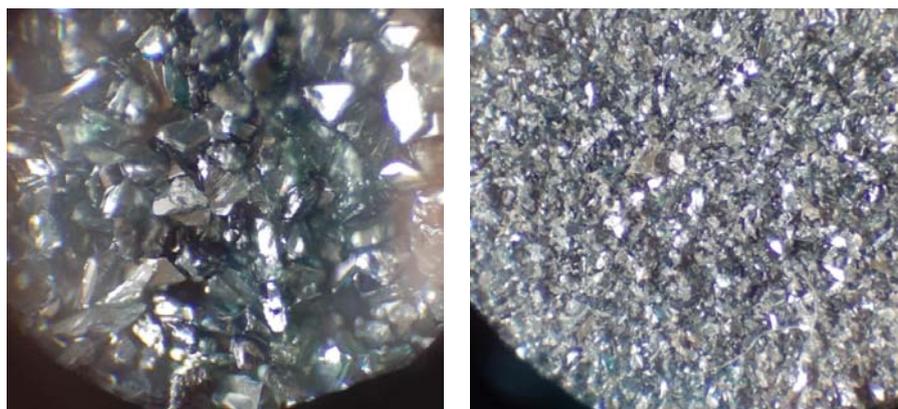
- 1 – болты; 2 – стальная пластина, покрытая смазкой с одной стороны;
3 – стальная пластина; 4 – стальная пластина, покрытая композиционным материалом с одной стороны; 5 – крепежное приспособление

Для проведения исследований было спроектировано и изготовлено специальное приспособление, состоящее из зажимного устройства и пакета испытываемых образцов. Пакет образцов состоял из трех пластин, на центральной пластине с одной стороны наносилось покрытие из композиционного материала на основе полимеров, две другие пластины не имели покрытия. При этом центральная пластина была расположена с продольным смещением. Усилие зажима обеспечивалось винтами и регистрировалось динамометрическим ключом. Собранный таким образом пакет пла-

стин устанавливался на рабочем столе машины (рис. 1, б). После этого к пластине с покрытием прикладывалась нагрузка, которая изменялась с постоянной скоростью. Для уменьшения влияния трения гладких сторон пластин на их поверхности наносилась смазка.

Для экспериментальных исследований были изготовлены образцы в виде прямоугольных пластин из стали 45, на поверхности которых был нанесен слой эпоксидной смолы, модифицированной полиэфирной смолой, поверх которой наносился слой карбида кремния зернистостью 50 мкм и 250 мкм.

Структура рабочих поверхностей пластин со слоем карбида кремния представлена на рис. 2.



а)

б)

Рис. 2. Структура рабочих поверхностей пластин с покрытием композиционным материалом с наполнителем зернистостью:
а – 250 мкм; б – 50 мкм

Кроме этих серий экспериментов были проведены исследования влияния силы зажима пластин на тангенциальную жесткость. Зернистость композиционного покрытия была постоянной и составляла 50 мкм.

Исследования влияния количества плоскостей сдвига на тангенциальную жесткость проводились следующим образом. Использовался пакет, состоящий из четырех пластин, на одной из пластин с обеих сторон наносилось композиционное покрытие, а три другие пластины были без покрытия. Этот пакет зажимался винтами, усилие зажима было постоянным и регулировалось динамометрическим ключом (рис. 1, б). Зернистость композиционного покрытия была постоянной и составляла 50 мкм. Для уменьшения влияния трения гладких сторон пластин друг о друга на их поверхность наносилась смазка. После этого пакет пластин устанавливался в рабочую зону испытательной машины (рис. 3) и нагружался до тех пор пока пластины начинали смещаться.

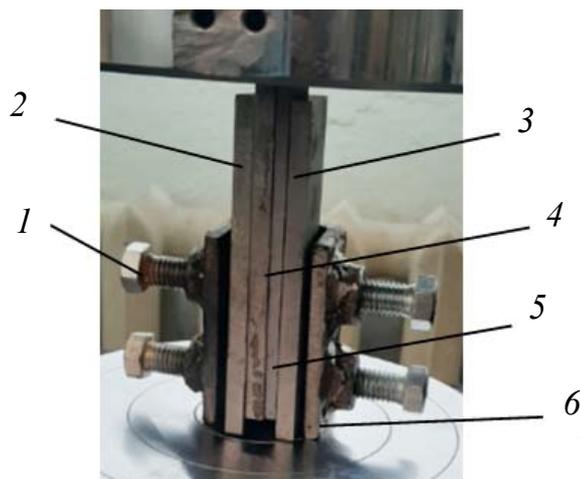


Рис. 3. Схема испытаний:
 1 – болт; 2, 3, 5 – стальные пластины; 4 – стальная пластина, покрытая композиционным материалом с двух сторон; 6 – зажимное приспособление

Результаты исследования и их анализ

Графики зависимости перемещения от нагрузки для пластин с покрытием разной зернистости представлены на рис. 4.

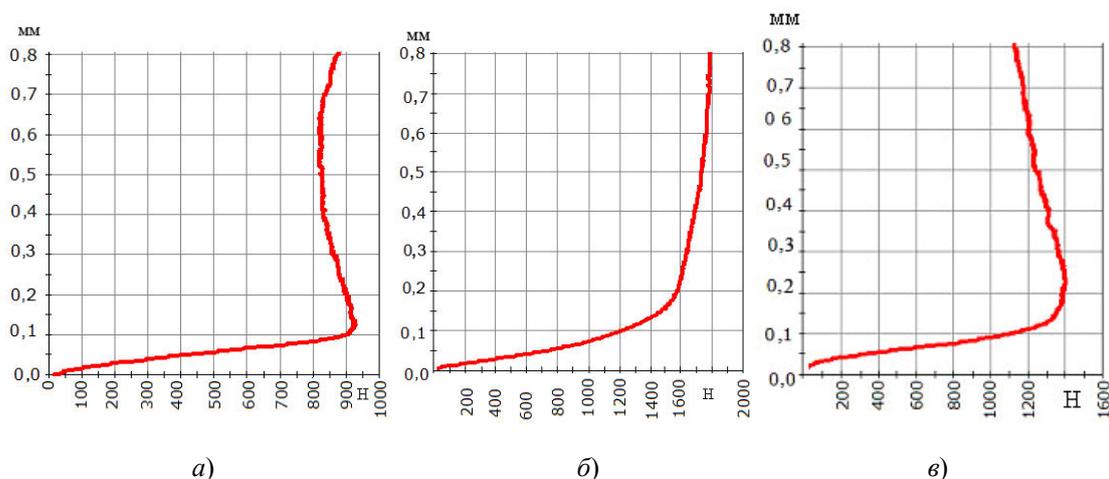


Рис. 4. Графики зависимости тангенциальных перемещений пластин от нагрузки:
 а – без покрытия; б – с покрытием (абразивный наполнитель зернистостью 50 мкм);
 в – с покрытием (абразивный наполнитель зернистостью 250 мкм)

Как видно на рис. 4, а, перемещения на первом участке, при увеличении нагрузки до 900 Н, изменяются линейно, т. е. коэффициент тангенциальной жесткости постоянный. В контакте происходит накопление потенциальной энергии. При увеличении нагрузки перемещения изменяются нелинейно и коэффициент жесткости уменьшается, что связано со сдвигом поверхностей.

Применение композиционного покрытия с абразивным наполнителем зернистостью 50 мкм (рис. 4, б) приводит к увеличению коэффициента жесткости на первом участке в 1,33 раза. Увеличение зернистости наполнителя до 250 мкм (рис. 4, в) приводит к росту коэффициента жесткости в 1,04 раза.

Графики зависимости перемещения от нагрузки для разных усилий зажима пластин представлены на рис. 5.

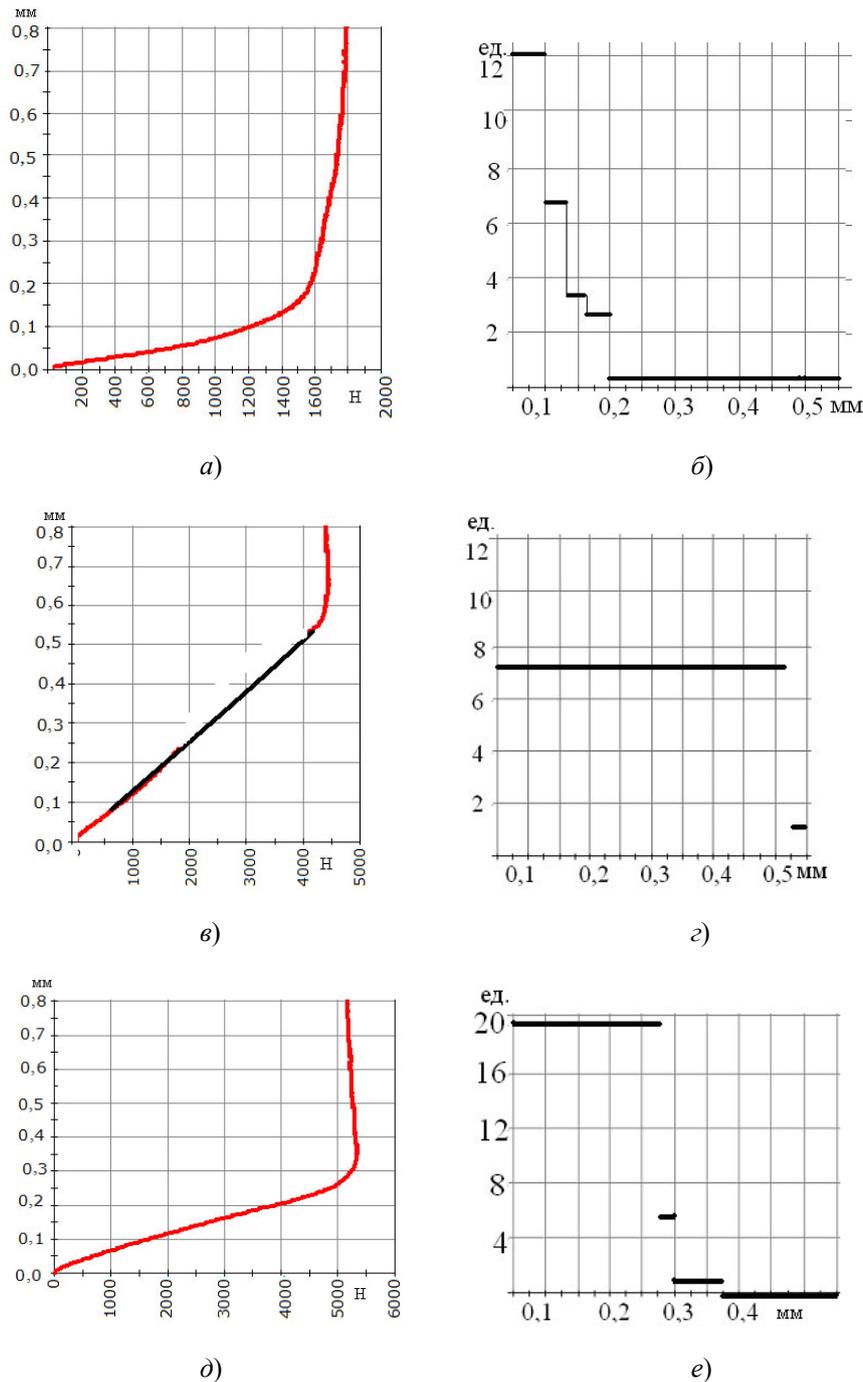


Рис. 5. Графики коэффициентов жесткости и зависимости тангенциальных перемещений пластин с композиционным покрытием (абразивный наполнитель зернистостью 50 мкм) от нагрузки при зажиме усилием:
a – 7692 Н; *б* – 15375 Н; *в* – 21154 Н

На рис. 5, б, г, е представлены графики изменения коэффициента жесткости для линеаризованных зависимостей. Как видно на рис. 5, увеличение силы зажима соответственно в 2 и 2,75 раза приводит к изменению коэффициента жесткости на участке перемещений до 0,1 мм соответственно в 1 : 0,8 : 1,7. Такие значения коэффициента жесткости сохраняются при относительном перемещении соответственно 1 : 5,5 : 2,6.

Графики зависимости перемещения от нагрузки в зависимости от количества плоскостей сдвига представлены на рис. 6.

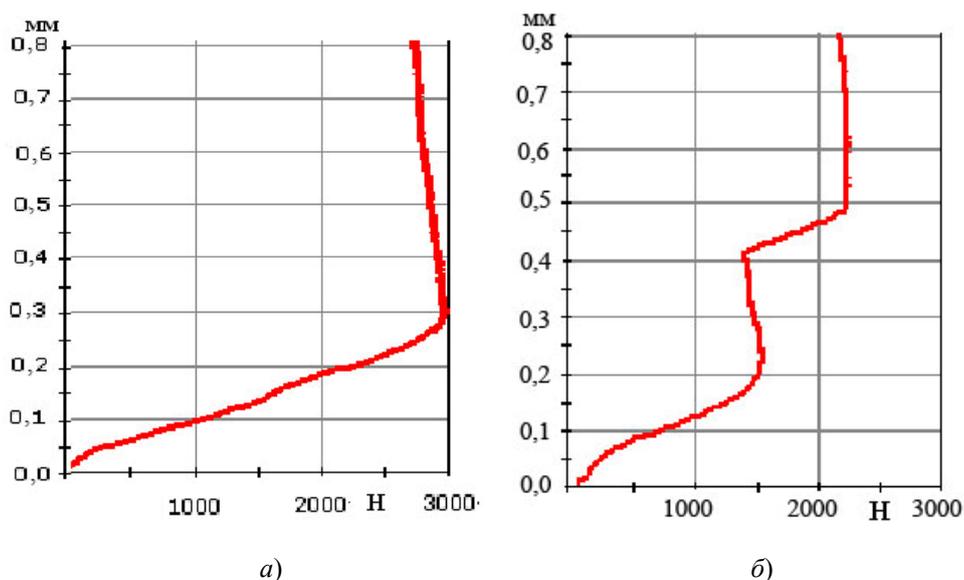


Рис. 6. Графики зависимости тангенциальных перемещений пластин от нагрузки:
 а – пакет из трех пластин с покрытием одной с двух сторон (карбид кремния зернистостью 50 мкм); б – пакет из четырех пластин с покрытием одной с двух сторон (карбид кремния зернистостью 50 мкм)

Анализ рис 6, а и 4, б позволяет заключить, что на первом участке при увеличении рабочих плоскостей, покрытых композиционным материалом, нагрузка снизилась до 1000 Н, т. е. коэффициент тангенциальной жесткости уменьшился в 1,2 раза. Такие значения коэффициента жесткости сохраняются при относительном перемещении соответственно 1 : 3, что обеспечивает повышенное накопление потенциальной энергии при двухстороннем покрытии. На рис. 6, б представлены результаты исследований, в которых две пластины были расположены со смещением на 0,4 мм, что обеспечило установление влияния металлического контакта и контакта металла с покрытием. Такое сочетание контактных плоскостей привело к снижению коэффициента жесткости в 1,4 раза по сравнению с вариантом, представленном на рис. 6, а.

После испытаний рабочие поверхности фотографировали с использованием микроскопа.

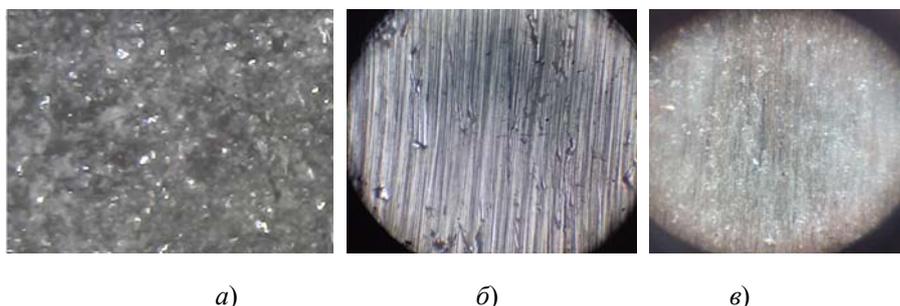


Рис. 7. Фотографии рабочих поверхностей пластин после испытаний:
 а – пластины с покрытием; б – стальные пластины при контакте с покрытием зернистостью 250 мкм; в – стальные пластины при контакте с покрытием зернистостью 50 мкм

На рабочих поверхностях рис. 7 видно, что часть зерен карбида кремния отделились от покрытия и внедрились в стальную пластину, изменив условия контакта.

Заключение

Анализируя полученные данные, при нагружении пластин было выявлено, что наибольшей тангенциальной жесткостью обладают пластины с композиционным покрытием по сравнению с пластинами без покрытия.

Установлено, что применение композиционного покрытия с абразивным наполнителем зернистостью 50 мкм приводит к увеличению коэффициента жесткости на участке до 0,1 мм в 1,33 раза. Увеличение зернистости наполнителя до 250 мкм приводит к росту коэффициента жесткости в 1,04 раза.

Увеличение силы зажима соответственно в 2 и 2,75 раза приводит к изменению коэффициента жесткости на участке перемещений до 0,1 мм соответственно в 1 : 0,8 : 1,7. Такие значения коэффициента жесткости сохраняются при относительном перемещении соответственно 1 : 5,5 : 2,6.

При увеличении рабочих плоскостей, покрытых композиционным материалом, коэффициент тангенциальной жесткости уменьшился в 1,2 раза. Такие значения коэффициента жесткости сохраняются при относительном перемещении соответственно 1 : 3, что обеспечивает повышенное накопление потенциальной энергии при двухстороннем покрытии.

Литература

1. Михайлов, М. И. Основы научных исследований и инновационной деятельности : учеб. пособие / М. И. Михайлов ; М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2017. – 399 с.
2. Михайлов, М. И. Прогнозирование работоспособности сборных сверл / М. И. Михайлов. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2020. – 241 с.
3. Михайлов, М. И. Сборный металлорежущий механизированный инструмент: Ресурсосберегающие модели и конструкции / М. И. Михайлов ; под ред. Ю. М. Плещачевского. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2008. – 339 с.
4. Хамуда, С. Н. Экспериментальное исследование жесткости сборных торцевых фрез по их статическим характеристикам / С. Н. Хамуда, К. Г. Громаков, А. Д. Шустиков // Исследование процессов обработки металлов и динамики технологического оборудования, 1982. – С. 44–49.
5. Carbone, G. Contact mechanics of rough surfaces: A comparison between theories / G. Carbone, F. Bottiglione // Meccanica. – 2011. – Vol. 46, № 3. – P. 557–565.

Получено 02.03.2021 г.