

УДК 621.763

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УСЛОВИЙ КОНТАКТА ИНСТРУМЕНТА НА ЕГО НАПРЯЖЕННО- ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ

**М. И. МИХАЙЛОВ, О. А. ЛАПКО, Н. Э. ТЕТЕРИЧ,
Е. С. ГЛАЗЕНКОВА**

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

Представлены результаты численного исследования методом конечных элементов напряженно-деформированного состояния сборного инструмента. Варьировались условия контакта инструмента с корпусом. Использовались композиционные покрытия на основе полимеров (эпоксидной и полиэфирной смол с абразивным наполнителем). Полученные результаты позволяют повысить прочность и виброустойчивость сборных инструментов с механически закрепленными зубьями.

Ключевые слова: сборный инструмент, условия контакта, напряженно-деформированное состояние, собственные частоты.

RESEARCH OF THE INFLUENCE OF THE CONTACT CONDITIONS OF THE TOOL ON ITS STRESSED- DEFORMED STATE

**M. I. MIKHAILOV, O. A. LAPKO, N. E. TETERICH,
E. S. GLAZENKOVA**

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

Authors present the results of numerical examination of the stress-deformed state of the prefabricated tool by the finite element method. The contact conditions of the tool with the body varied. Polymer-based composite coatings (abrasive-filled epoxy and polyester resins) were used. Obtained results make it possible to increase strength and vibration resistance of prefabricated tools with mechanically fixed teeth.

Keywords: prefabricated tool, contact conditions, stressed-deformed state, natural frequencies.

Введение

Режущие зубья торцовых фрез в процессе резания испытывают динамические нагрузки, которые снижают надежность процесса обработки. В среднем 40–50 % металло-режущего инструмента, изготавливаемого в соответствии с существующими стандартами, теряется непроизводительно из-за поломок твердого сплава [1]–[6]. Из них 10–15 % инструмента идет в брак уже при его изготовлении из-за образования трещин в твердом сплаве и 30–35 % выходит из строя в результате поломок изделий из твердого сплава при эксплуатации [1], [2], [5], [7], [8]. Для обеспечения работоспособности процесса резания необходимо выбирать такие конструктивные и технологические методы изготовления фрез, которые обеспечивают необходимую их прочность [1], [2], [4]–[8]. Исследования напряженного состояния инструмента проводились различными методами, например, на оптически прозрачных моделях, результаты которых позволили определить качественный характер распределения напряжений в режущей части инструмента. Однако большая трудоемкость изготовления моделей и обработки полученных результатов не позволяет более широко использовать этот метод.

Анализ литературы по исследованиям сборного инструмента в условиях статических нагрузок выявил, что большой вклад внесли исследования жесткости в Российском университете дружбы народов имени П. Лумумбы [9]. Сила, с которой нагружался инструмент, соответствовала результирующей силе резания. Перед испытаниями на жесткость производился контроль прямолинейности и шероховатости опорной поверхности пластины и гнезда в державке под пластину. Это позволяло оценивать как конструктивный вариант исполнения инструмента, так и качество его изготовления.

В процессе врезания возникают переменные силы резания, вызывающие вибрации элементов сборного инструмента, которые приводят к росту микросколов режущих кромок. Для уменьшения вибраций и повышения прочности пластин производится оптимизация их закрепления в корпусе инструмента [4]–[7], [10]–[12]. Для обеспечения точности позиционирования режущих кромок используются подкладные пластины, которые для повышения виброустойчивости покрывают композиционными материалами на основе полимеров с абразивными наполнителями.

Целью данной работы является повышение прочности и виброустойчивости сборных инструментов с механически закрепленными зубьями, у которых пластины припаяны к державке.

Методика исследования

Основными задачами при проведении исследований были: построение 3D модели инструмента в программном комплексе ANSYS; определение распределений напряжений и перемещений в режущих зубьях; установление форм собственных колебаний систем крепления.

Исследование напряженно-деформированного состояния выполнялось методом конечных элементов. Для этого была разработана 3D модель инструмента, а также произведено ее разделение на конечные элементы со следующими параметрами: размер контактных элементов – 2 мм; сетка Hex Dominant Method; размер и вид элементов – кубик 0,1 мм; на режущей пластине – 0,5 мм; на подложке и покрытии – 0,4 мм; на корпусе зуба – 2 мм; скорость роста сетки – 1,1.

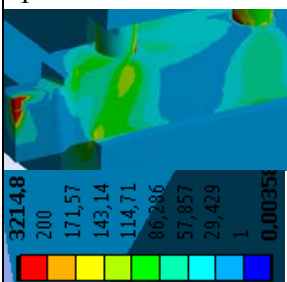
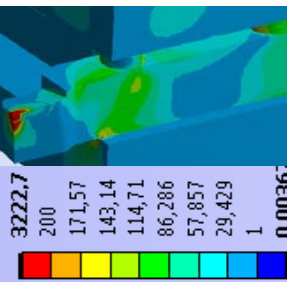
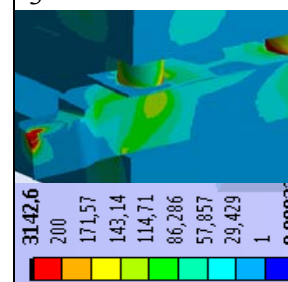
Для проведения расчетов разработаны граничные условия и приложена нагрузка в виде распределенных сил по осям координат. В качестве материала корпуса инструмента выбрана сталь 40X, а режущая пластина выполнена из твердого сплава T15K6. Между ножом и корпусом инструмента использовались регулировочные пластины.

Результаты и их анализ

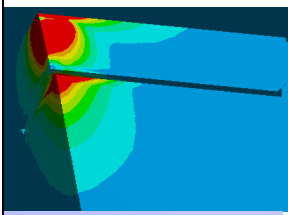
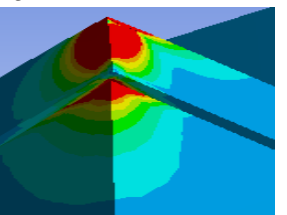
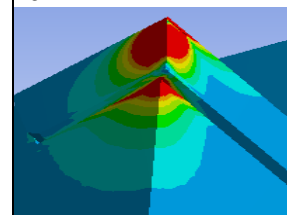
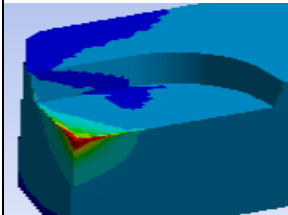
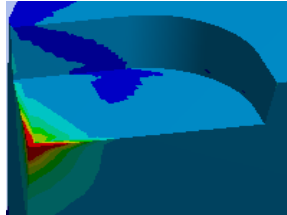
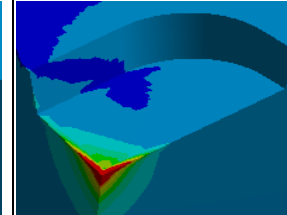
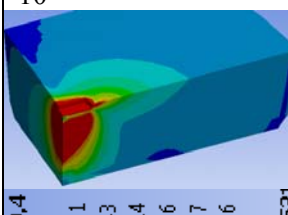
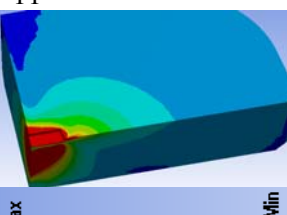
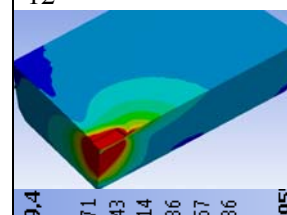
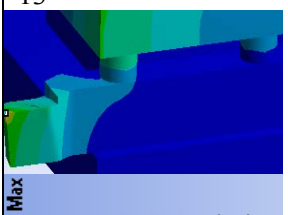
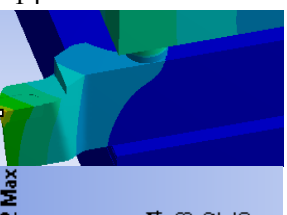
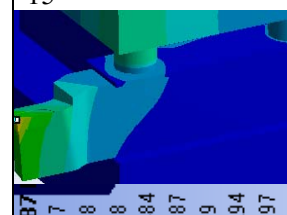
Для более детального исследования были получены картины распределения эквивалентных напряжений в элементах системы крепления (табл. 1).

Таблица 1

Результаты расчетов НДС

Вид напряжений	Без пластин	Две нижние пластины без покрытия	С покрытием верхние и нижние пластины
Эквивалентные напряжения в системе крепления зуба	<p>1</p>  <p>3214,8 200 171,57 143,14 114,71 86,286 57,857 29,429 1 0,00357</p>	<p>2</p>  <p>3222,7 200 171,57 143,14 114,71 86,286 57,857 29,429 1 0,00367</p>	<p>3</p>  <p>3142,6 200 171,57 143,14 114,71 86,286 57,857 29,429 1 0,00027</p>

Окончание табл. 1

Вид напряжений	Без пластин	Две нижние пластины без покрытия	С покрытием верхние и нижние пластины
Эквивалентные напряжения со стороны задних поверхностей	<p>4</p>  <p>3142,6 500 428,71 357,43 286,14 214,86 143,57 72,286 1</p>	<p>5</p>  <p>3142,6 500 428,71 357,43 286,14 214,86 143,57 72,286 1</p>	<p>6</p>  <p>3142,6 500 428,71 357,43 286,14 214,86 143,57 72,286 1</p>
Эквивалентные напряжения со стороны паза державки	<p>7</p>  <p>2392,3 500 430 360 290 220 150 80 10 0,2895 0,2895</p>	<p>8</p>  <p>2341,9 500 430 360 290 220 150 80 10 0,29653 0,29653</p>	<p>9</p>  <p>2296,7 500 430 360 290 220 150 80 10 0,31201 0,31201</p>
Эквивалентные напряжения в режущей пластине	<p>10</p>  <p>2869,4 600 515,71 431,43 347,14 262,86 178,57 94,286 10 0,62531 0,62531</p>	<p>11</p>  <p>2875 Max 600 515,71 431,43 347,14 262,86 178,57 94,286 10 0,6179 Min 0,6179 Min</p>	<p>12</p>  <p>2809,4 600 515,71 431,43 347,14 262,86 178,57 94,286 10 0,60951 0,60951</p>
Эквивалентные перемещения в системе крепления зуба	<p>13</p>  <p>0,15832 Max 0,14073 0,12313 0,10554 0,087953 0,070363 0,052772 0,035181 0,017591 0 Min 0 Min</p>	<p>14</p>  <p>0,16412 Max 0,14589 0,12765 0,10942 0,09118 0,072944 0,054708 0,036472 0,018236 0 Min 0 Min</p>	<p>15</p>  <p>0,17187 Max 0,15277 0,13368 0,11458 0,095484 0,076387 0,05729 0,038194 0,019097 0 Min 0 Min</p>

Полученные результаты позволили заключить, что применение нижних подкладных пластин приводит к росту напряжений в 1,01 раза, а применение композиционного покрытия подкладных пластин – к снижению в 1,02 раза. Аналогичное влияние оказывают условия контакта на эквивалентные напряжения в пазу зуба под пластиной (табл. 1). Результаты расчетов перемещений представлены в табл. 2. Вследствие податливости соединений в стыках перемещения увеличиваются в соотношении 1 : 1,04 : 1,08 раза.

Результаты расчетов перемещений

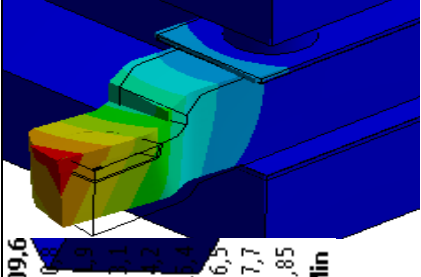
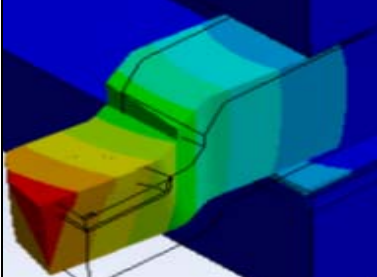
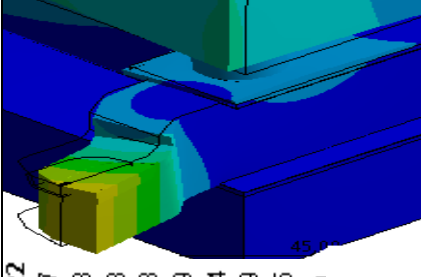
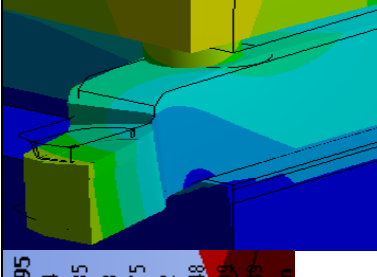
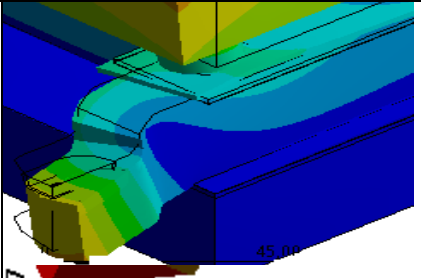
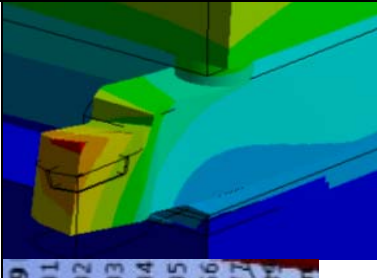
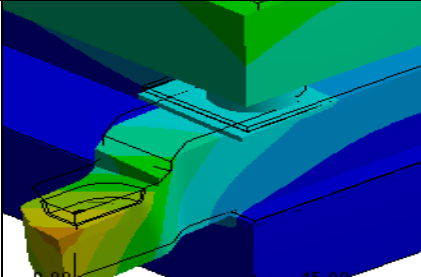
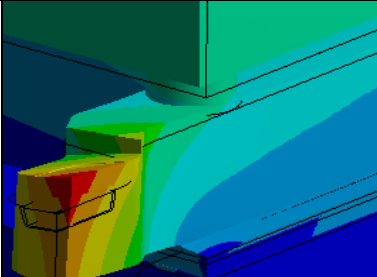
Показатели	Верхние и нижние пластины с покрытием	Две нижние пластины без покрытия
Перемещения по оси X		
Перемещения по оси Y		
Перемещения по оси Z		

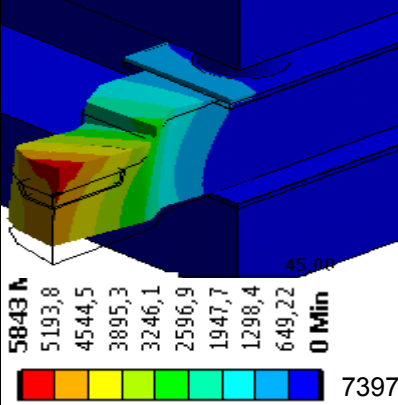
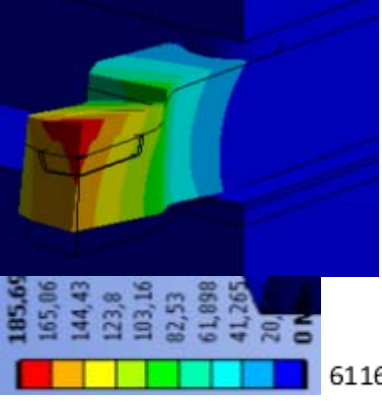
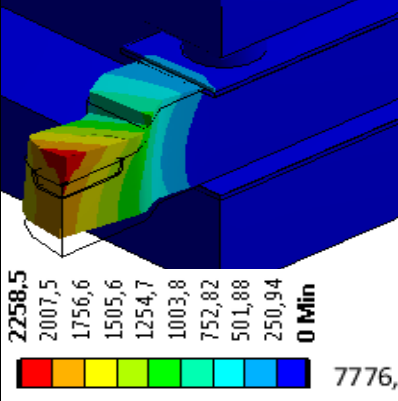
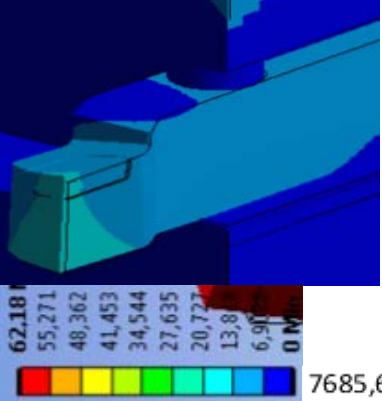
Полученные результаты позволяют заключить, что применение верхних и нижних подкладных пластин приводит к росту перемещений в направлении оси OX в 1,01 раза, а в направлении оси OZ в 1,05 раза и к снижению перемещений в направлении оси OY в 1,33 раза.

Результаты расчета влияния условий контакта на перемещения и собственные частоты приведены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты расчетов форм собственных частот

Формы колебаний	Верхние и нижние пластины с покрытием	Две нижние пластины без покрытия
Первая форма	 <p>6109,6 5430,8 475,89 407,11 339,27 271,4 2036,5 1357,7 678,85 0 Min</p> <p>4489,9 Гц</p>	 <p>166,97 148,42 129,87 111,32 92,763 74,211 55,658 37,105 18,553 0 Min</p> <p>3116,7 Гц</p>
Вторая форма	 <p>938,22 833,97 729,73 625,48 521,23 416,99 312,74 208,49 104,25 0 Min</p> <p>5103,3 Гц</p>	 <p>27,495 24,44 21,385 18,33 15,275 12,22 9,1648 6,1199 3,0789 0 Min</p> <p>5015,9 Гц</p>
Третья форма	 <p>939,37 835 730,61 626,24 521,87 417,5 313,12 208,75 104,37 0 Min</p> <p>5343,9 Гц</p>	 <p>26,99 23,991 20,992 17,993 14,994 11,995 8,9966 5,9977 2,9989 0 Min</p> <p>5183 Гц</p>
Четвертая форма	 <p>1014,5 901,78 789,05 676,33 563,61 450,89 338,17 225,44 112,72 0 Min</p> <p>5461,9 Гц</p>	 <p>33198 2951 25821 22132 18444 14755 11066 7376 3787 0 Min</p> <p>5366,8 Гц</p>

Формы колебаний	Верхние и нижние пластины с покрытием	Две нижние пластины без покрытия
Пятая форма	 <p>5848 N 5193,8 4544,5 3895,3 3246,1 2596,9 1947,7 1298,4 649,22 0 Min 7397,2 Гц</p>	 <p>185,65 165,06 144,43 123,8 103,16 82,53 61,898 41,765 20,7 0 N 6116 Гц</p>
Шестая форма	 <p>2258,5 2007,5 1756,6 1505,6 1254,7 1003,8 752,82 501,88 250,94 0 Min 7776,6 Гц</p>	 <p>62,18 55,271 48,362 41,453 34,544 27,635 20,722 13,8 6,9 0 N 7685,6 Гц</p>

Полученные результаты позволяют заключить, что применение верхних и нижних подкладных пластин с композиционным покрытием приводит к росту первой формы собственных частот в 1,44 раза, второй формы – 1,02 раза, третьей формы – 1,031 раза, четвертой формы – 1,018 раза, пятой формы – 1,21 раза и шестой формы – 1,012 раза, что оказывает влияние на виброустойчивость процесса резания.

Заключение

Установлено влияние условий контакта корпуса сборного инструмента на внутренние напряжения, перемещения и собственные частоты.

Литература

1. Хае́т, Г. Л. Прочность режущего инструмента / Г. Л. Хае́т. – М. : Машиностроение, 1975. – 164 с.
2. Лоладзе, Т. Н. Прочность и износостойкость режущего инструмента / Т. Н. Лоладзе. – М. : Машиностроение, 1982. – 320 с.
3. Писаренко, Г. С. Прочность металлокерамических материалов и сплавов при нормальных и высоких температурах / Г. С. Писаренко, В. Т. Траценко. – Киев : Изд-во АН УССР, 1962. – 164 с.
4. 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.

5. Маслов, А. Ф. Конструкции и эксплуатация прогрессивного инструмента / А. Ф. Маслов. – М. : ИТО, 2006. – 169 с.
6. Инструмент для станков с ЧПУ, многоцелевых станков и ГПС / И. Л. Фадюшин [и др.]. – М. : Машиностроение, 1990. – 272 с.
7. Новые инструменты – дополнение к каталогам 12.2. – Sandvik Coromant, 2012. – С. E1-E85.
8. Сандвик – 2010. Руководство по металлообработке. – Sandvic Coromant, 2010.
9. Малыгин, В. И. Модель напряженно-деформированного состояния режущего элемента сборного инструмента / В. И. Малыгин, Н. В. Лобанов // Вестн. машиностроения. – 2000. – № 2. – С. 22–26.
10. Гречишников, В. А. Исследование деформированного состояния сборного режущего элемента методом конечных элементов / В. А. Гречишников, С. В. Лукина, А. И. Веселов // Конструкторско-технологическая информатика 2000 : материалы IV Междунар. конгр., Москва, 2000 г. / Моск. гос. технол. ун-т. – М., 2000. – Т. 1. – С. 158–160.
11. Когель, И. З. Исследование жесткости узлов крепления пластин твердого сплава в корпусе инструмента и ее влияние на стойкость лезвия при торцевом фрезеровании : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.03.01 / И. З. Когель ; Моск. станкоинструмент. ин-т. – М., 1985. – 22 с.
12. Остафьев, В. А. Расчет динамической прочности режущего инструмента / В. А. Остафьев. – М. : Машиностроение, 1979. – 168 с.

Получено 01.06.2022 г.