УДК 621.9.02

АНАЛИЗ ПРОЧНОСТИ НАПАЙНЫХ РЕЗЦОВ ПРИ ОТРЕЗКЕ ПРИБЫЛИ КОРПУСНОЙ ОСЕСИММЕТРИЧНОЙ ЗАГОТОВКИ

М. И. МИХАЙЛОВ, Д. В. САМСОНОВ, Н. В. СТРУНЕВСКАЯ
Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Введение

Применение осесимметричных заготовок корпусных деталей требует оптимизации процесса отрезки прибыльной части. Для отрезки применяются напайные резцы. Специфика заготовок требует большого вылета резца из резцедержателя, что создает значительные деформации и напряжения в корпусе инструмента.

Пайка твердосплавного инструмента припоями на основе меди обычно обеспечивала необходимую прочность паяного соединения, поэтому долгое время считалось, что технология пайки не требует дальнейшего усовершенствования. Единственной причиной поломок твердосплавных пластин, припаянных к корпусу инструмента, считали недостаточную прочность используемого твердого сплава, однако позже было доказано, что решающую роль в этом играют свойства припоя.

До настоящего времени потери из-за поломок твердосплавных пластин инструмента весьма велики. В среднем 40–50 % металлорежущего инструмента, изготовляемого в соответствии с существующими стандартами, теряется непроизводительно из-за поломок твердого сплава. 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].

Паяные соединения твердых сплавов со сталями характеризуются как несогласованные, обусловленные резким различием физико-механических свойств соединяемых материалов режущей части и корпуса. Модуль упругости твердых сплавов в 2,5–3 раза выше, чем у стали. Коэффициент линейного расширения приблизительно в два с половиной раза меньше, чем у стали. Сопротивление твердых сплавов разрушению в очень большой степени зависит от схемы напряженного состояния. Сопротивление растяжению составляет всего 0,3 сопротивления сжатию и 0,5–0,7 сопротивления изгибу [3]. Роль связующего звена между твердым сплавом и корпусом инструмента играет припой, от свойств которого и зависит напряженное состояние твердого сплава. Кроме того, припой является частью опорной зоны и обладает меньшим модулем упругости и пределом текучести, чем стальная державка, что становится существенным под действием сил резания.

Разработано большое количество разнообразных припоев для пайки твердосплавного инструмента, но вопрос качества напайного инструмента остается открытым. Некоторые из припоев, например, на основе серебра или биметаллические, позволяют выполнять качественную пайку твердосплавных пластин, но довольно дороги [4]–[6].

Цель работы – повышение прочности напайных резцов путем оптимизации формы опорной поверхности пластины и состава припоя.

Основная часть

Основными задачами при проведении исследований припоя были:

– построение 3D модели резца в программном комплексе SolidWorks;

– определение статических деформаций в модели резца;

– определение распределений напряжений;

– определение запаса прочности;

– определение распределений перемещений;

– исследования влияния зерен абразива на прочность паяного соединения.

Получение паяного соединения состоит из нескольких этапов:

а) предварительная подготовка паяемых соединений;

б) нагрев соединяемых деталей до температуры ниже температуры плавления паяемых деталей;

в) удаление окисной пленки с поверхностей паяемых металлов с помощью флюса;

г) введение в зазор между паяемыми деталями жидкой полоски припоя;

д) взаимодействие между паяемыми деталями и припоем;

е) кристаллизация жидкой формы припоя.

Разница между температурами начала плавления и полного расплавления называется интервалом кристаллизации. При осуществлении процесса пайки необходимо выполнение температурного условия:

$$t_1 > t_2 > t_3 > t_4, \tag{1}$$

где t_1 – температура начала плавления материала детали; t_2 – температура нагрева детали при пайке; t_3 – температура плавления припоя; t_4 – рабочая температура паянного соединения.

Процесс создания модели в SolidWorks начинался с построения опорного тела и последующего добавления или вычитания материала.

Резец был выбран из ГОСТа 18884–73. Данный ГОСТ распространяется на токарные отрезные резцы общего назначения с напайными пластинами из твердого сплава.

Исходными данными для расчетов являлись значения силы резания, полной длины контакта, геометрические параметры инструмента, физико-механические и теплофизические свойства материала режущей части и обрабатываемой заготовки.

Параметры конечно-элементной сетки приведены в табл. 1.

Таблица 1

Параметры конечно-элементной сетки

Параметр	Значение
Тип сетки	Сетка на твердом теле
Используемое разбиение	Стандартная сетка
Сглаживание поверхности	Вкл
Проверка Якобиана	4 Points
Размер элемента	1,7309 мм
Допуск	0,33654 мм
Количество элементов	8261
Количество узлов	13738

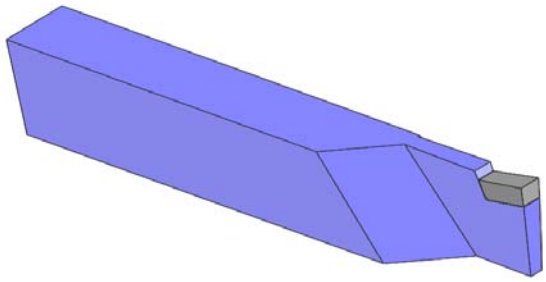
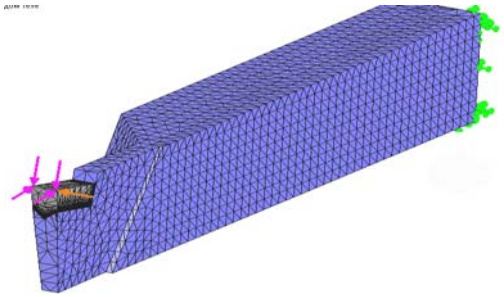
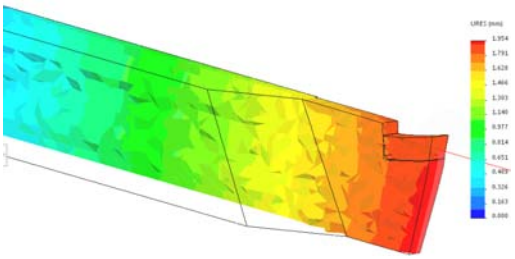
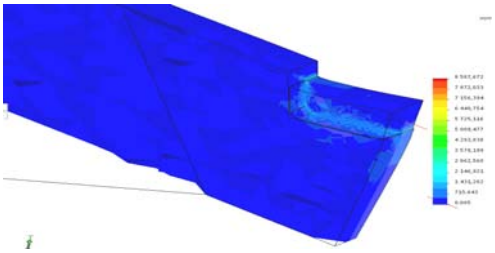
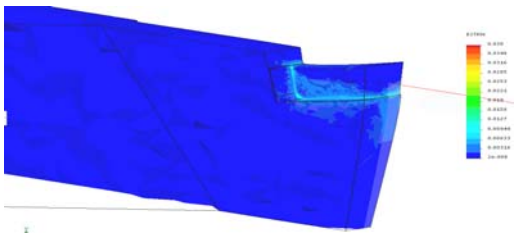
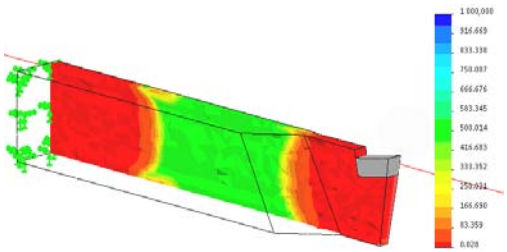
3D модель резца была разработана в программном комплексе SolidWorks.

Температура нагрева под пайку составляла 960 °С. В качестве основы (матрицы) припоя использовали двойную латунь марки Л63. На напряженно-деформированное состояние в зоне пайки оказывают влияние вид опорной поверхности пластины и паза державки. Для определения степени влияния видов поверхностей были разработаны расчетные схемы.

В табл. 2 представлены: модель резца в SolidWorks, конечно-элементная сетка, картины распределения перемещений, деформаций и напряжений в корпусе резца. Также приведены результаты расчетов при остывании резца после напайки.

Таблица 2

Результаты расчета напряженно-деформированного состояния токарного резца

1. Модель резца в SolidWorks 	1.1. Конечно-элементная сетка 
1.2. Картина распределения суммарных максимальных перемещений в разрезе 	1.3. Картина распределений эквивалентных напряжений в разрезе 
1.4. Картина распределения суммарных деформаций 	1.5. Картина распределения коэффициента запаса прочности резца 

В табл. 3 и 4 приведены результаты расчетов напряженно-деформированного состояния резца, в конструкции которого пластина имела плоскую опорную поверхность. Результаты расчета с припоем, в состав которого был включен наполнитель, приведены в табл. 4.

Таблица 3

Результаты расчета напряженно-деформированного состояния токарного резца с плоской опорной поверхностью пластины (припой без наполнителя)

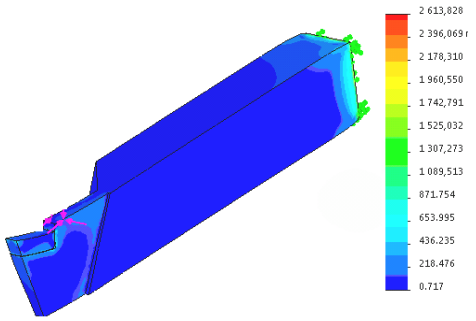
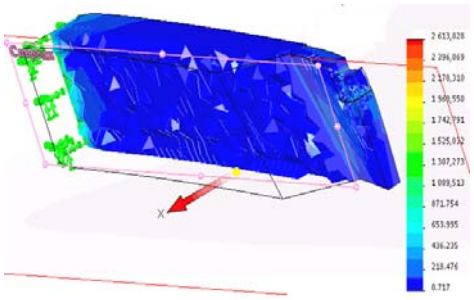
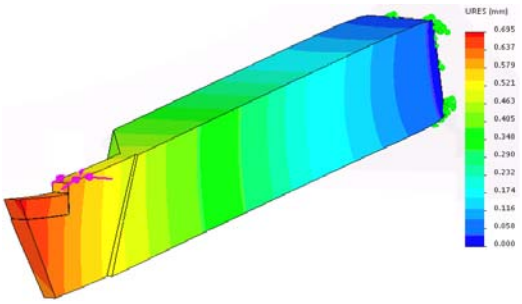
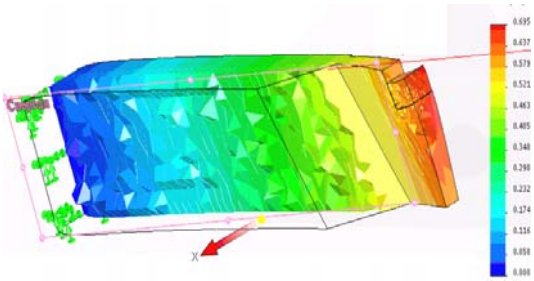
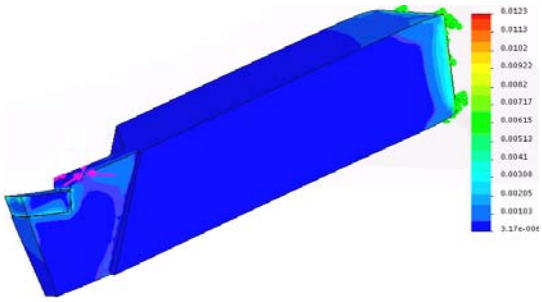
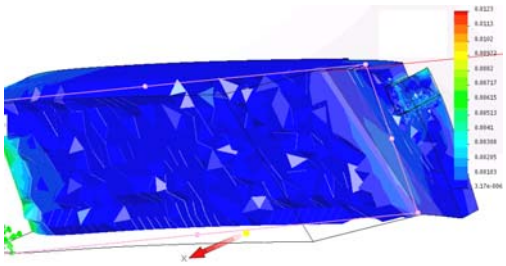
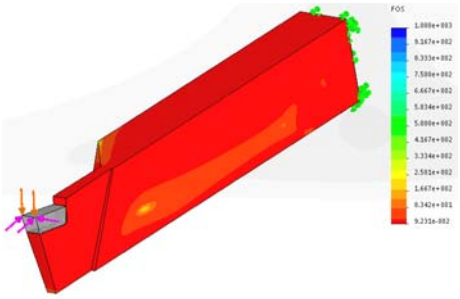
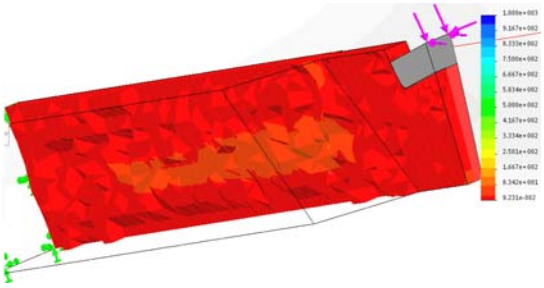
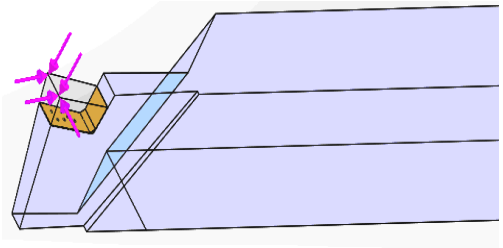
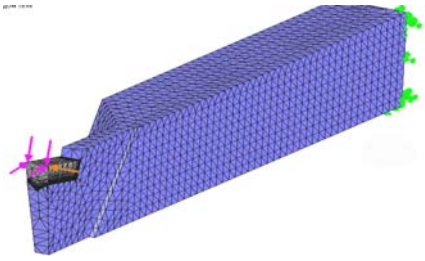
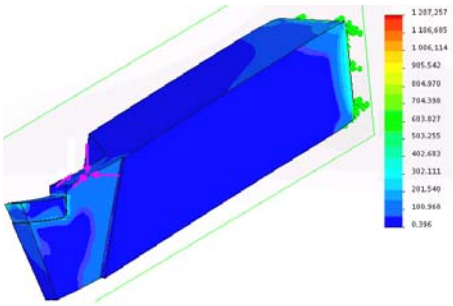
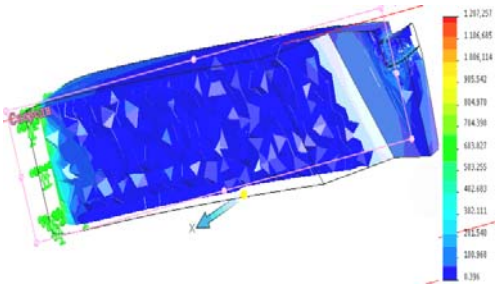
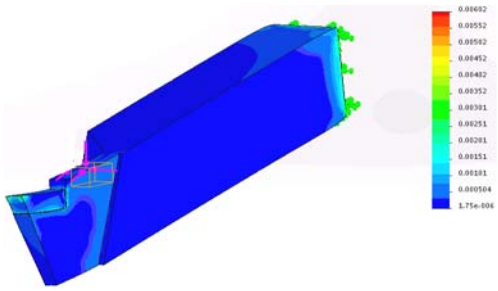
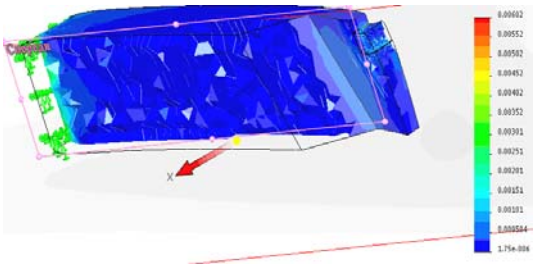
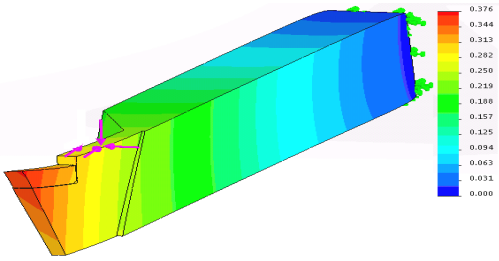
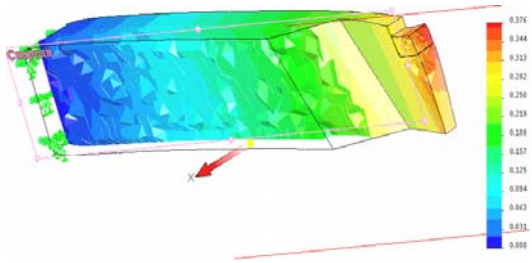
2. Картина распределения напряжений 	2.1. Картина распределения напряжений в разрезе 
2.2. Картина суммарных перемещений 	2.3. Картина суммарных перемещений в разрезе 
2.4. Картина эквивалентных деформаций резца 	2.5. Картина эквивалентных деформаций резца в разрезе 
2.6. Картина распределения коэффициента запаса прочности резца 	2.7. Картина распределения коэффициента запаса прочности резца в разрезе 

Таблица 4

Результаты расчета напряженно-деформированного состояния токарного резца с плоской опорной поверхностью пластины (припой с наполнителем)

3. Модель резца в SolidWorks 	3.1. Конечно-элементная сетка 
3.2. Картина распределения эквивалентных напряжений 	3.3. Картина распределения эквивалентных напряжений в разрезе 
3.4. Картина эквивалентных деформаций резца 	3.5. Картина эквивалентных деформаций резца в разрезе 
3.6. Картина суммарных перемещений резца 	3.7. Картина суммарных перемещений резца в разрезе 

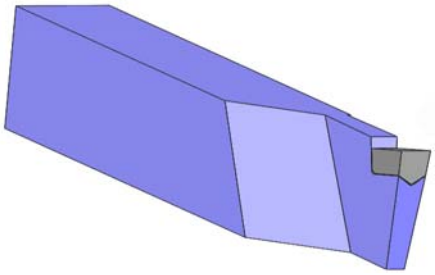
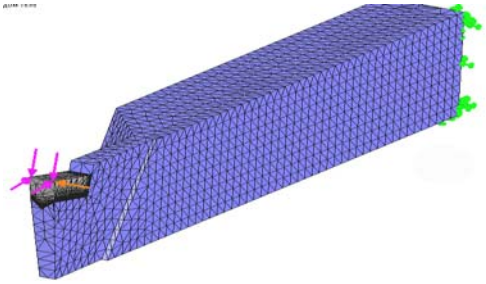
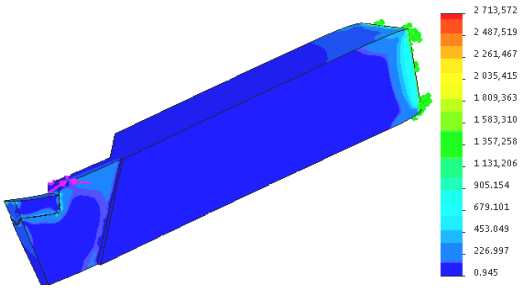
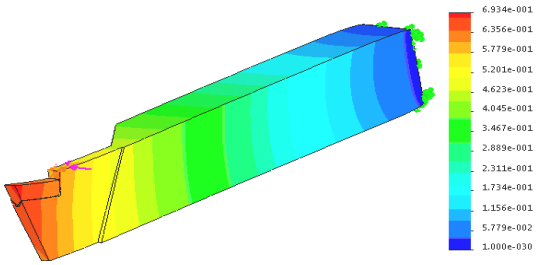
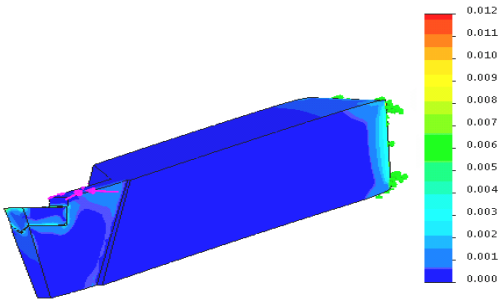
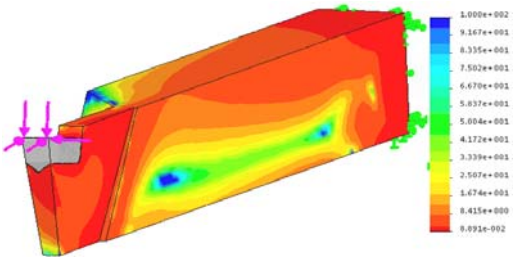
В качестве наполнителя в припое использовали абразивные материалы из электрокорунда белого марок 25А, зернистостью 16 (160 мкм).

Анализ табл. 3 и 4 позволяет заключить, что максимальное значение напряжения в режущей пластине составляет 655 и 402 МПа. Кроме того, резец имеет некоторые области, в которых напряжения превышают предел текучести материала. Это свидетельствует о том, что в этих областях имеют место пластические деформации.

Результаты исследования напряженно-деформированного состояния резцов с угловой опорной поверхностью режущей пластины представлены в табл. 5.

Таблица 5

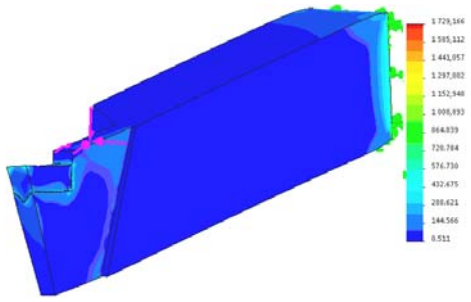
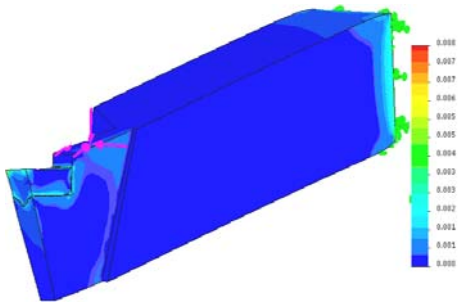
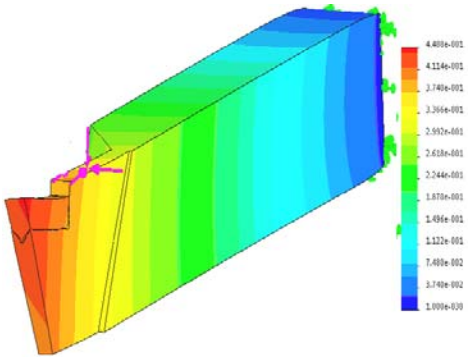
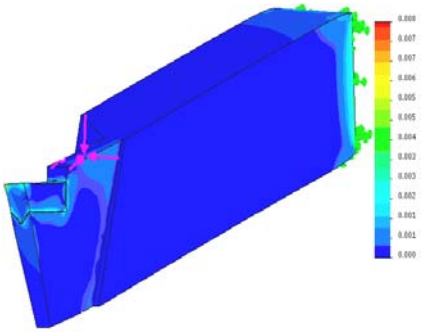
Результаты расчета напряженно-деформированного состояния токарного резца с угловой опорной поверхностью пластины (припой без наполнителя)

4. Модель резца в SolidWorks 	4.1. Конечно-элементная сетка 
4.2. Картина распределения напряжений 	4.3. Картина суммарных перемещений резца 
4.4. Картина эквивалентных деформаций резца 	4.5. Картина распределения коэффициента запаса прочности 

Для оценки влияния наполнителя была разработана аналогичная модель и результаты расчетов приведены в табл. 6.

Таблица 6

Результаты расчета напряженно-деформированного состояния токарного резца с угловой опорной поверхностью пластины (припой с наполнителем)

5. Картина распределения напряжений в резце 	5.1. Картина эквивалентных деформаций резца 
5.2. Картина суммарных перемещений резца 	5.3. Картина распределения коэффициента запаса прочности 

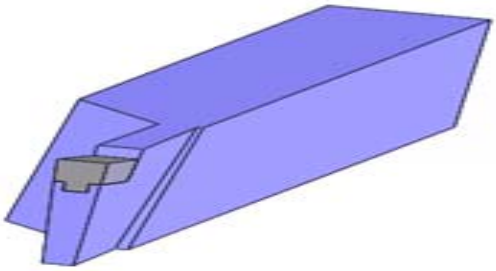
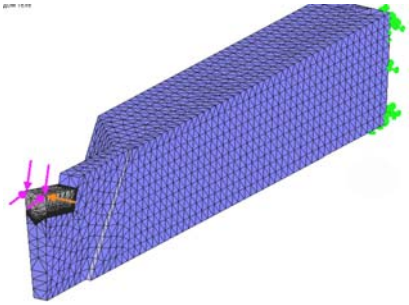
Анализ табл. 5 и 6 позволяет заключить, что максимальное значение напряжений в режущей пластине с припоем без наполнителя составляет 732 МПа, а с наполнителем 432 МПА.

Результаты исследования напряженно-деформированного состояния резцов с призматической опорной поверхностью режущей пластины представлены в табл. 7.

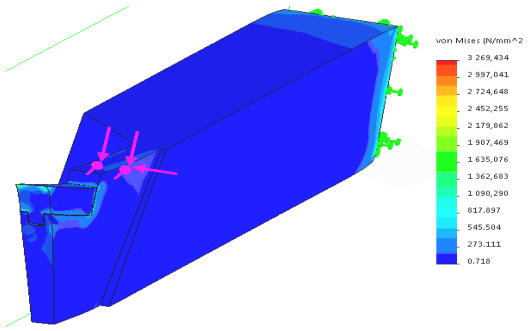
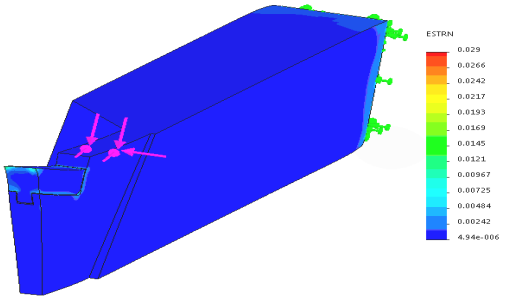
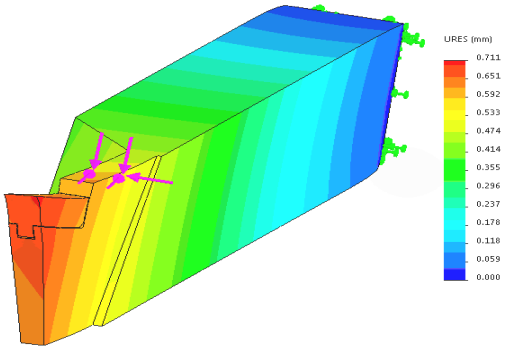
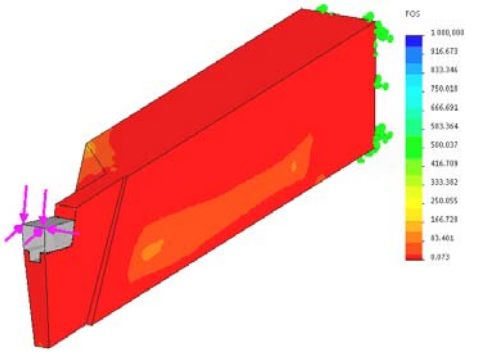
Для оценки влияния наполнителя была разработана аналогичная модель и результаты расчетов приведены в табл. 8.

Таблица 7

Результаты расчета напряженно-деформированного состояния токарного резца с призматической опорной поверхностью пластины (припой без наполнителя)

6. Модель резца в SolidWorks 	6.1. Конечно-элементная сетка 

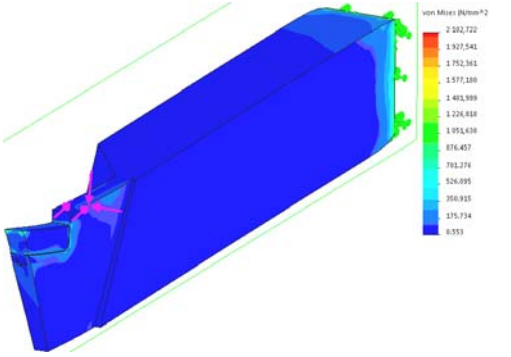
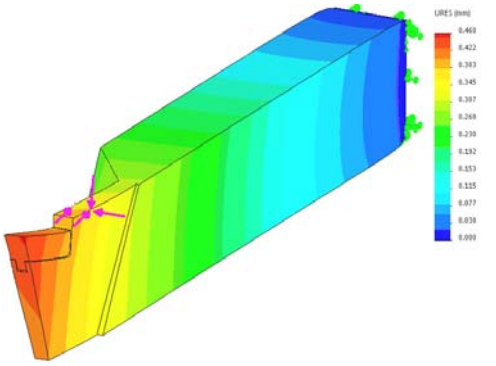
Окончание табл. 7

6.2. Картина распределения напряжений 	6.3. Картина распределения эквивалентных деформаций 
6.4. Картина распределения суммарных перемещений 	6.5. Картина распределения коэффициента запаса прочности 

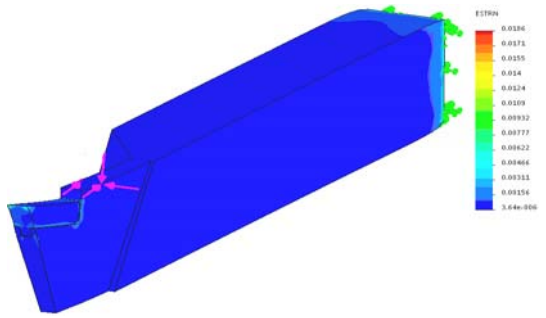
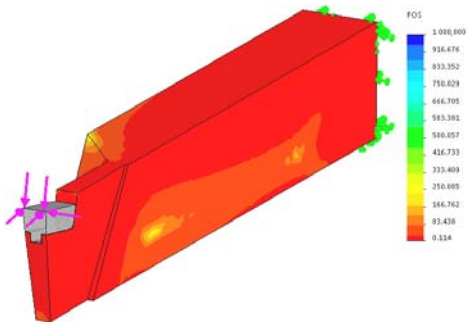
Анализ табл. 7, 8 позволил заключить, что максимальное значение напряжений в режущей пластине с припоем без наполнителя составляет 811 МПа, а с наполнителем 600 МПа.

Таблица 8

Результаты расчета напряженно-деформированного состояния токарного резца с призматической опорной поверхностью пластины (припой с наполнителем)

7. Картина распределения напряжений с наполнителем 	7.1. Картина распределения суммарных перемещений резца 

Окончание табл. 8

7.2. Картина распределения эквивалентных деформаций резца	7.3. Картина распределения коэффициента запаса прочности
	

Результаты исследований с различными формами опорных поверхностей пластин приведены в табл. 9.

Таблица 9

Результаты исследований

Параметры, содержание наполнителя	Форма опорной поверхности пластины					
	плоская		угловая		призматическая	
Наполнитель 5 %	–	+	–	+	–	+
Напряжения, МПа	655	402	732	432	811	600
Перемещения, мм	0,69	0,31	0,71	0,39	0,73	0,58
Деформации	0,00601	0,00308	0,042	0,0023	0,0072	0,0046
Наполнитель 10 %	–	+	–	+	–	+
Напряжения, МПа	655	459	732	490	811	650
Перемещения, мм	0,69	0,43	0,71	0,58	0,73	0,62
Деформации	0,00601	0,00412	0,042	0,0043	0,0072	0,00491

Заключение

Проведенные исследования позволяют сделать вывод, что добавка абразивосодержащего наполнителя повышает прочность паяного соединения в трех образцах с различными формами стыка. Кроме того, установлено, что добавление 5 % наполнителя в слой припоя снижает внутренние напряжения у резцов с прямой формой пластины в 1,5 раза, у резцов с треугольной формой почти в 2 раза и у резцов с прямоугольной формой в 1,3 раза. Пропорционально уменьшаются внутренние перемещения и деформация и возрастает запас прочности. А при добавлении 10 % наполнителя эффект снижается. Таким образом, можно заключить, что оптимальной формой опорной поверхности пластины по ее напряженно-деформированному состоянию является угловая.

Литература

1. Лоладзе, Т. Н. Прочность и износостойкость режущего инструмента / Т. Н. Лоладзе. – М. : Машиностроение, 1982. – 320 с.
2. Лошак, М. Г. Прочность и долговечность твердых сплавов / М. Г. Лошак. – К. : Наук. думка, 1986. – 328 с.
3. Креймер, Г. С. Прочность твердых сплавов / Г. С. Креймер. – М. : Металлургия, 1971. – 247 с.

4. Цумарев, Ю. А. Прочность паяных соединений / Ю. А. Цумарев. – Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2011. – 173 с.
5. Клочко, Н. А. Основы технологии пайки и термообработки твердосплавного инструмента / Н. А. Клочко. – М. : Металлургия, 1981. – 200 с.
6. Кузнецов, О. А. Прочность паяных соединений / О. А. Кузнецов, А. И. Погалов. – М. : Машиностроение, 1987. – 112 с.
7. Михайлов, М. И. Исследование влияния абразивосодержащих наполнителей на адгезионную прочность стали / М. И. Михайлов, Д. В. Никитенко, Л. И. Гулевич // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии : тез. докл. междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 22–23 апр. 2010 г. / БРУ. – Могилев, 2010. – С. 63–64.

Получено 23.11.2016 г.