

УДК 621.9.025.013.3

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОТКЛОНЕНИЯ ФОРМЫ ПАЗА ДЕРЖАВКИ НАПАЙНОГО РЕЗЦА НА ЕГО НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ

М. И. МИХАЙЛОВ, М. Р. ШЕЙБАК

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

Введение

Ускорение технического прогресса в промышленности, внедрение станков с числовым программным управлением, обрабатывающих центров, автоматических линий и повышение интенсификации технологических режимов, в частности режимов резания, а также точности и качества обработки, предъявляют к инструменту все более высокие эксплуатационные требования.

Современный инструмент должен иметь высокие показатели прочности, жесткости, надежности и долговечности, т. е. он должен наиболее продолжительное время сохранять свои режущие способности при минимальном износе всего периода взаимодействия с обрабатываемым материалом.

На протяжении многих десятилетий проводятся экспериментальные и теоретические исследования механики процесса резания. Рассматривались и анализировались различные схемы распределения сил по передней и задней поверхностям режущего инструмента, объясняющие процесс резания с теоретической точки зрения.

О важности изучения явлений, вызывающих износ инструмента при механической обработке материалов, неоднократно высказывалось на семинарах, совещаниях и в печати.

Постановка задачи

Так, в работе [1] рассмотрен механизм разрушения и износа режущего инструмента в различных условиях его эксплуатации, а также вопросы хрупкой и пластической прочности режущей части инструмента.

Теоретическим путем разрешены наиболее трудные проблемы практических задач технологии машиностроения. В основе объяснения и описания важнейших сторон процесса резания металлов лежат положения теории упругости, пластичности, подобия, теории конечных элементов и др.

Так, в работе [2] в качестве единой физической концепции, положенной в основу комплексного анализа процесса резания, использована теория дислокации физики твердого тела. Дислокационные представления раскрывают физическую природу процесса резания металлов по существу на атомном уровне. Это позволило вскрыть ряд новых закономерностей стружкообразования и формирования поверхностного слоя материала, показать принципиально новые пути интенсификации процесса резания металлов.

Следующим направлением в изучении процессов резания материалов является применение методов подобия [3].

Метод подобия позволяет распространить данные единого опыта на группу подобных между собой процессов резания и получить весьма общие теоретико-

экспериментальные зависимости в виде критериальных уравнений. Количество проводимых опытов при этом значительно сокращается, а получаемые результаты становятся применимы к широкому кругу изучаемых явлений.

Основная отличительная особенность метода подобия состоит в оперировании безразмерными комплексами (критериями) вместо разрозненных (одиночных) параметров. В этом случае многие сложные теоретические уравнения, устанавливающие связь между большим количеством отдельных параметров, значительно упрощаются и превращаются в функциональные зависимости между критериями подобия, число которых в несколько раз меньше числа отдельных параметров.

Расчету динамической прочности режущего инструмента посвящена работа [4]. Работа посвящена расчету прочности и надежности работы режущего инструмента в условиях ударного и циклического приложения как механических, так и тепловых нагрузок. В работе освещены последние достижения в теории резания металлов, механике деформирования и разрушения твердых тел. Приведены числовые методы расчета с помощью ЭВМ напряженно-деформированного состояния режущей части инструмента в условиях ее упруго-пластического деформирования, температурных полей и термонапряжений при различных условиях резания материалов.

Вопросам прочности и надежности сборного режущего инструмента посвящены работы [5], [6].

В работе [5] рассмотрены свойства сборного режущего инструмента, обуславливающие его качество и эффективность применения. Приведена методика проектирования систем инструментов. Дана классификация, методы расчета многочисленных конструкций металлорежущего инструмента. Обоснован выбор режимов резания в зависимости от конструктивных параметров режущего инструмента, жесткости технологической системы, обрабатываемого материала и других факторов.

Многие вопросы конструирования сборного металлорежущего инструмента и исследование его прочности изложены в работе [6]. В работе отражены пути обеспечения прочности и надежности сборного режущего инструмента. Проведен теоретический анализ напряженного состояния режущего элемента сборного инструмента. Раскрыты расчеты прочности режущего инструмента с применением метода конечных элементов. Приведена вероятностная оценка прочности сборного инструмента с учетом особенностей его изготовления. Рассмотрены основные принципы конструирования и оптимизации сборного инструмента для автоматизации производства.

В работе [7] разработаны теоретические зависимости, позволяющие рассчитывать дереворежущий инструмент с учетом циклически изменяющихся нагрузок, возникающих в процессе цилиндрического фрезерования. На основании проведенных экспериментальных исследований получено математическое описание стойкостных показателей процесса фрезерования.

Применение паяных конструкций при производстве составного режущего инструмента – пример рационального использования инструментальных материалов, так как в этом случае расход материала оптимальный, и он используется до полного изнашивания режущего элемента.

Основной недостаток паяных конструкций режущего инструмента – появление остаточных деформаций и напряжений при охлаждении твердых тел после пайки (нагрева до высоких температур и охлаждении до нормальной температуры). Этому направлению посвящены работы [8]–[11].

В работе [12] дан статический анализ случаев разрушения резцов, фрез и др. инструментов, дается вероятностная оценка их прочности. Рассматриваются напряженное и деформированное состояния рабочей части твердосплавного инструмента как составного тела. Предлагаются методы его расчета на прочность и надежность. Излагается методика выбора режимов резания, конструктивных параметров инстру-

мента и технологических вариантов его изготовления с учетом прочности инструмента и экономических факторов.

В заключении такого немногочисленного обзора следует отметить, что за последние годы как при резании металлов, так и древесины расчет прочности режущей части инструмента получил свое дальнейшее развитие, поднявшись на качественно новую ступень.

Широкое применение ЭВМ и математических методов в расчетах позволяют полностью автоматизировать все трудоемкие расчеты.

Методика исследований

Для исследования был принят проходной отогнутый резец с пластиной из твердого сплава Т15К6 с параметрами $\gamma = 0^\circ$, $\alpha = 10^\circ$, $\varphi = 45^\circ$; модуль упругости первого рода режущей пластины $E = 502$ ГПа. Были проанализированы различные погрешности пазов для пайки, которые рассматривались вдоль образующей паза.

Для всех вариантов расчета была принята одинаковая расчетная схема (рис. 1): закрепление задней плоскости державки резца и нагружение силами резания в виде распределенной нагрузки на участках режущей пластины в соответствии со снимаемым припуском и принятой подачей. Силы резания соответствовали принятым режимам резания для стали 40, которые представлены в табл. 1.

Таблица 1

Принятые режимы обработки

t , мм	s , мм/об.	V , м/мин	P_z , Н	P_x , Н	P_y , Н
1	0,5	147,07	1044	417,6	417,6

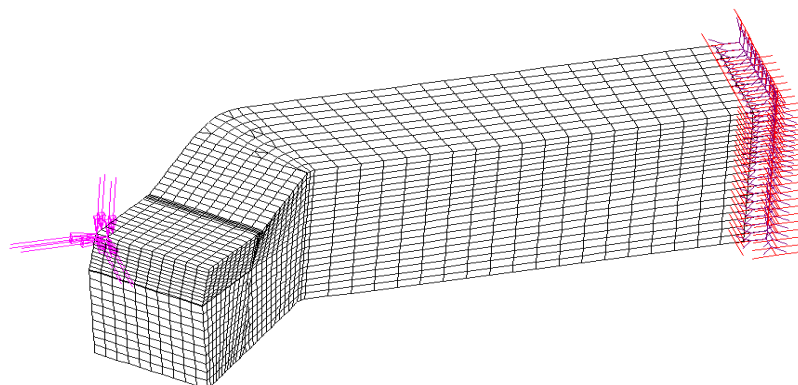


Рис. 1. Расчетная схема

Результаты расчетов

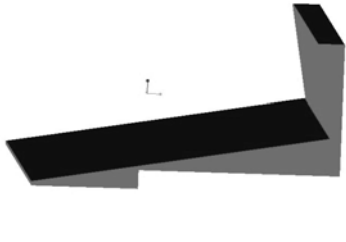

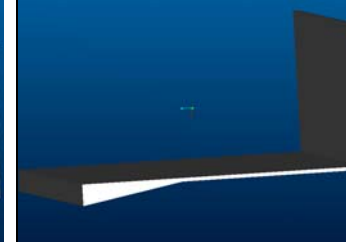
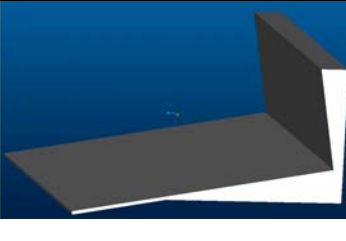
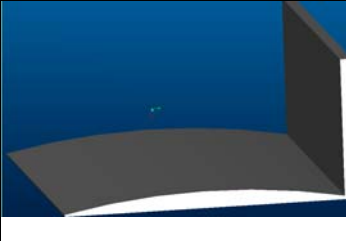
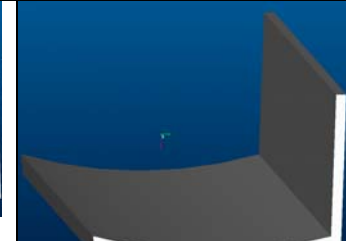
Рассматривали различные варианты погрешностей пазов державок для пайки, модели припоев которых представлены в табл. 2, при этом в каждом варианте минимальная толщина слоя припоя составляла 0,1 мм:

- 1) паз выполнен без погрешностей с постоянной толщиной припоя равной 0,1 мм;
- 2) образующая паза имеет ступенчатую форму, расположенную под углом с минимальной толщиной на расстоянии 3 мм от режущей кромки;
- 3) образующая паза имеет ступенчатую форму, выступающая часть имела толщина слоя припоя – 0,5 мм на расстоянии 3 мм от режущей кромки;
- 4) образующая паза имеет ломано-угловую форму, максимальная толщина слоя припоя – 0,5 мм под режущей кромкой;

- 5) образующая паза имеет линейно-угловую форму, минимальная толщина слоя припоя на расстоянии 3 мм от режущей кромки;
- 6) пластина имеет вогнутую форму, минимальная толщина слоя припоя по краям образующей;
- 7) пластина имеет выпуклую форму, минимальная толщина слоя в центре припоя.

Таблица 2

Варианты моделей припоя

№	2	3	4
3D			
№	5	6	7
3D			

На рис. 2 изображены изолинии эквивалентных напряжений в державке резца.

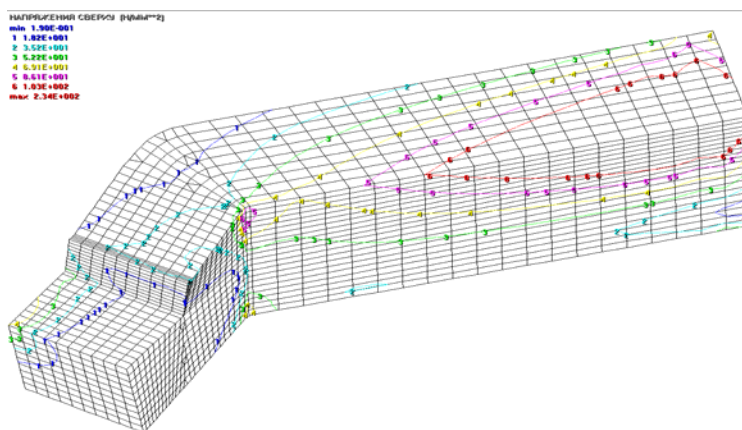
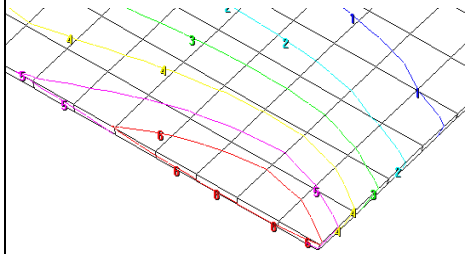
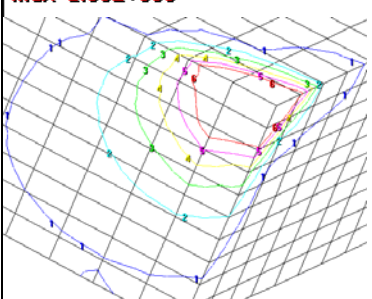
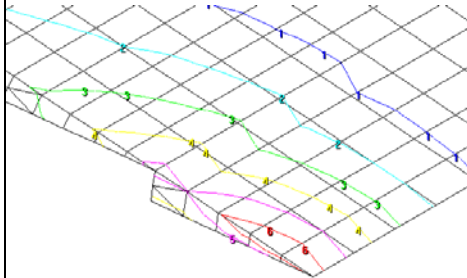
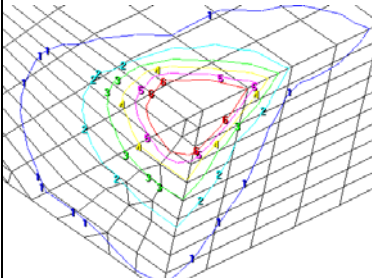
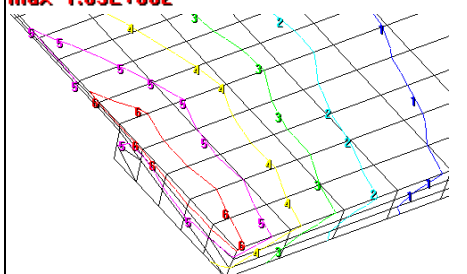
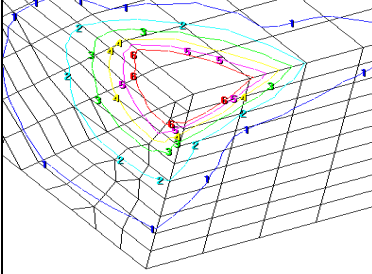


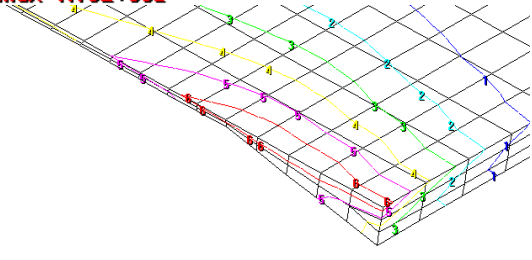
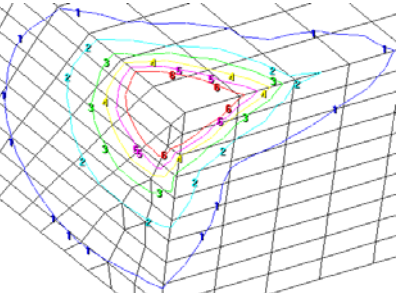
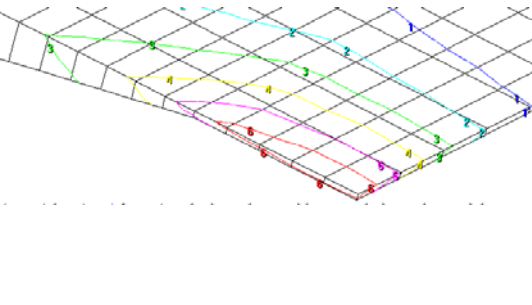
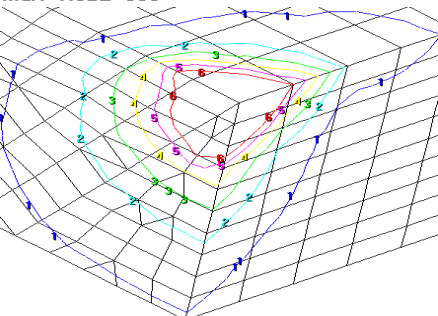
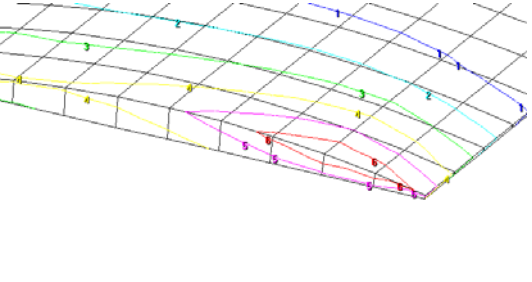
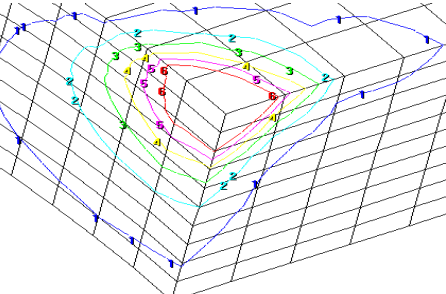
Рис. 2. Изолинии эквивалентных напряжений в модели державки резца

Как следует из рис. 2, в державке в зоне паза под режущую пластину $\sigma_{\max} = 52$ МПа, запас прочности по пределу текучести для материала державки сталь 45 ($\sigma_T = 360$ МПа) $n_T = 6,9$; в зоне заделки $\sigma_{\max} = 234$ МПа с запасом прочности по пределу текучести $n_T = 1,54$. В сечении режущей пластины $\sigma_{\max} = 144$ МПа, запас прочности по пределу прочности при изгибе $\sigma_H = 1150$ МПа $n_H = 8$. Кроме того, высокий уровень напряжений в зоне перехода головки резца. В этой зоне высокий уровень остаточных напряжений, возникающих при изготовлении инструмента.

Таблица 3

Результаты расчетов

Но- мер схе- мы	Распределение напряжений в припое	Распределение напряжений в пластине
1	<p>min 3.44E+000 1 1.54E+001 2 2.95E+001 3 4.36E+001 4 5.77E+001 5 7.18E+001 6 8.59E+001 max 1.13E+002</p> 	<p>min 9.36E-001 1 1.44E+002 2 2.86E+002 3 4.29E+002 4 5.72E+002 5 7.15E+002 6 8.57E+002 max 2.03E+003</p> 
2	<p>min 3.41E+000 1 2.30E+001 2 4.26E+001 3 6.23E+001 4 8.19E+001 5 1.01E+002 6 1.21E+002 max 1.41E+002</p> 	<p>min 1.36E+000 1 1.44E+002 2 2.87E+002 3 4.29E+002 4 5.72E+002 5 7.15E+002 6 8.57E+002 max 1.80E+003</p> 
3	<p>min 2.98E+000 1 1.62E+001 2 3.10E+001 3 4.58E+001 4 6.06E+001 5 7.54E+001 6 9.02E+001 max 1.05E+002</p> 	<p>min 1.37E+000 1 1.44E+002 2 2.87E+002 3 4.29E+002 4 5.72E+002 5 7.15E+002 6 8.57E+002 max 1.88E+003</p> 

Но- мер схе- мы	Распределение напряжений в припое	Распределение напряжений в пластине
4	<p>min 3.06E+000 1 1.88E+001 2 3.45E+001 3 5.02E+001 4 6.59E+001 5 8.17E+001 6 9.74E+001 max 1.13E+002</p> 	<p>min 1.03E+000 1 1.44E+002 2 2.86E+002 3 4.29E+002 4 5.72E+002 5 7.15E+002 6 8.57E+002 max 1.85E+003</p> 
5	<p>min 3.80E+000 1 2.26E+001 2 4.13E+001 3 6.01E+001 4 7.88E+001 5 9.76E+001 6 1.16E+002 max 1.35E+002</p> 	<p>min 1.48E+000 1 1.44E+002 2 2.87E+002 3 4.29E+002 4 5.72E+002 5 7.15E+002 6 8.57E+002 max 1.82E+003</p> 
6	<p>min 3.39E+000 1 1.98E+001 2 3.61E+001 3 5.25E+001 4 6.88E+001 5 8.52E+001 6 1.02E+002 max 1.18E+002</p> 	<p>min 8.41E-001 1 1.44E+002 2 2.86E+002 3 4.29E+002 4 5.72E+002 5 7.15E+002 6 8.57E+002 max 1.69E+003</p> 

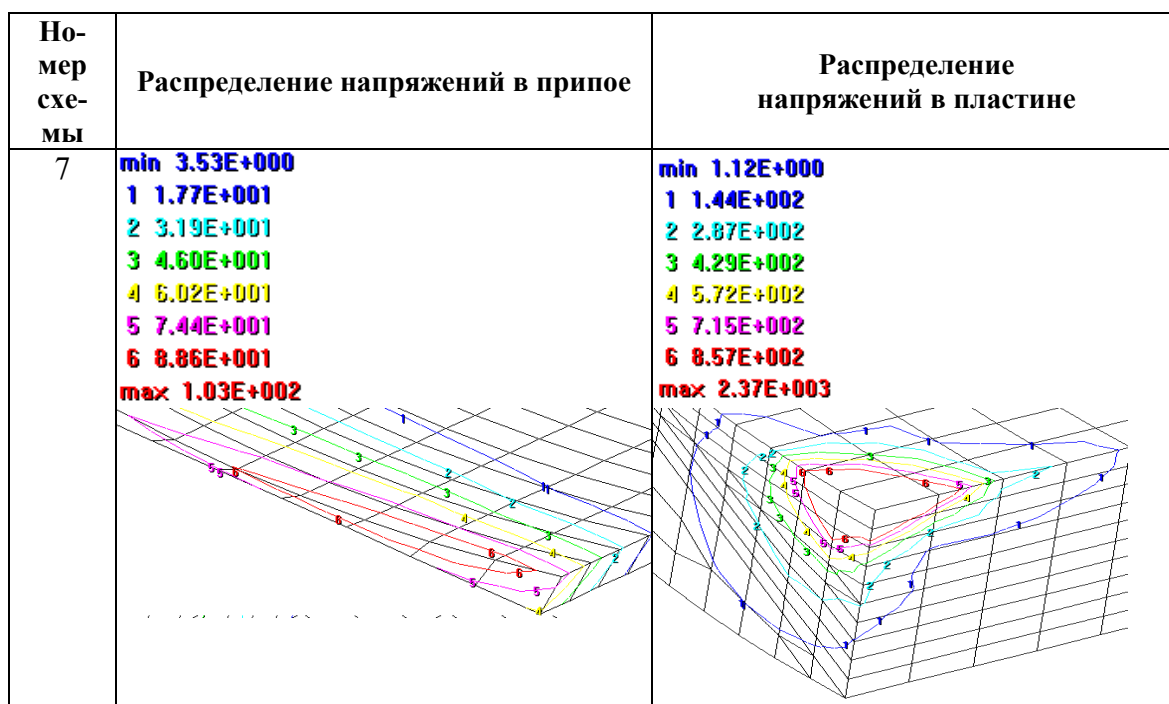


Таблица 4

Значения максимальных эквивалентных напряжений

Вариант	Напряжения в пластине в зоне нагрузки, МПа	Запас прочно-сти пластины	Напряжения в припое, МПа	Запас проч-ности припоя
1	2030	2,9	113	1,9
2	1800	3,3	141	1,5
3	1880	3,1	105	2,0
4	1850	3,2	113	1,9
5	1820	3,24	135	1,58
6	1690	3,5	118	1,8
7	2370	2,2	103	2,1

Анализ полученных результатов позволяет заключить, что уровень напряжений в зоне контакта с верхней гранью пластины составляет соответственно для каждого варианта: 29,5; 23; 31; 34,5; 22,6; 36,1; 31,9. Минимальные значения напряжений соответствуют варианту, в котором образующая паза имеет линейно-угловую форму, минимальная толщина слоя припоя на расстоянии 3 мм от режущей кромки. Напряжения в угловой зоне перехода от горизонтальной части припоя к вертикальной имеют следующие значения: 57,5; 62,3; 60,6; 65,9; 41,3; 68,8; 46. Минимальные значения напряжений соответствуют варианту 5 формы паза. Напряжения в зоне под приложенной нагрузкой соответственно составляют для конструктивных вариантов: 113; 141; 105; 113; 135; 118; 103. Протяженность зоны с максимальными напряжениями в припое составили соответственно: 1; 0,6; 1,3; 1,3; 0,9; 0,6; 0,9. Минимальные значения напряжений соответствуют вариантам 3 и 7, в которых увеличена толщина слоя припоя под режущей кромкой. Использование второй формы паза привела к

тому, что нагруженность припоя в зоне приложения к пластине сил резания увеличилась на 20 % по сравнению с вариантом 1. При этом характер распределения эквивалентных напряжений также отличается: в варианте 1 напряжения довольно равномерно распределены по слою припоя; в варианте 2 напряжения сконцентрированы под пластиной в зоне приложения сил резания.

Заключение

Проведенный анализ различных погрешностей пазов державок при одинаковых условиях резания позволяет сделать следующие выводы:

1. Погрешность изготовления паза державки не значительно оказывает влияние на прочность державки резца и изгибную прочность пластины. Значительная разница контактных напряжений в пластине в зоне резания при одинаковых силах резания наблюдается при изменении переднего угла (варианты 6 и 7). Отрицательный угол γ (вариант 6) снижает контактные напряжения, положительный γ (вариант 7) их увеличивает. Отсюда следует, что при отрицательном угле γ увеличивается стойкость резца, однако затрудняется процесс резания, что приводит к увеличению мощности резания. Положительный γ снижает стойкость резца, однако снижается и мощность резания.

2. Значительное влияние на прочность припоя режущей пластины оказывает погрешность изготовления самого припоя. Увеличение толщины припоя в зоне приложения сил резания (варианты 3, 4, 7) снижает действующие в нем напряжения, уменьшение же толщины припоя в этой зоне (варианты 2, 5, 6) напряжения увеличивает. Кроме этого, изменяется характер распределения действующих в припое напряжений. При уменьшении толщины слоя припоя в зоне резания происходит локальное увеличение напряжений с очень низкой эффективностью работы остальной части припоя. Поэтому представляется целесообразным намеренно увеличивать толщину припоя в зоне резания (за счет конфигурации державки), а в остальной зоне делать эту толщину минимально возможной, в том числе и на торце пластины. Данный прием позволит увеличить прочность пайки пластины и, следовательно, стойкость резца и безопасность обработки, а также снизить расход припоя, состоящего из дорогих цветных металлов.

Литература

1. Лоладзе, Т. Н. Прочность и износостойкость режущего инструмента / Т. Н. Лоладзе. – Москва : Машиностроение, 1982. – 320 с.
2. Старков, В. К. Дислокационные представления о резании металлов / В. К. Старков. – Москва : Машиностроение, 1979. – 160 с.
3. Силин, С. С. Метод подобия при резании металлов / С. С. Силин. – Москва : Машиностроение, 1979. – 152 с.
4. Остафьев, В. А. Расчет динамической прочности режущего инструмента / В. А. Остафьев. – Москва : Машиностроение, 1979. – 168 с.
5. Сборный твердосплавной инструмент / Г. Л. Хагет [и др.]; под общ. ред. Г. Л. Хагета. – Москва : Машиностроение, 1989. – 256 с.
6. Михайлов, М. И. Повышение прочности сборного режущего инструмента / М. И. Михайлов ; под ред. П. И. Ящерицина. – Минск : Навука і тэхніка, 1993. – 174 с.

7. Усталостные явления в режущем инструменте при цилиндрическом фрезеровании древесины и древесных материалов. Т. 10. Материалы, технологии, инструменты / А. П. Клубков [и др.]. – 2005. – С. 28–33.
8. Макаревич, С. С. Теоретические исследования напряженно-деформированного состояния в биметаллическом инструменте при пайке / С. С. Макаревич, А. А. Клубков // Известия высш. учеб. заведений. Лесной журнал. – 1992. – № 6. – С. 62–65.
9. Макаревич, С. С. Остаточные напряжения в двухслойной заготовке фрезерного ножа с несимметричным поперечным сечением / С. С. Макаревич, А. А. Клубков // Тр. БГТУ. Сер. II. Лесная и деревообрабатывающая пром-сть. – 1994. – Вып. 2. – С. 112–115.
10. Клубков, А. А. Определение остаточных деформаций в твердосплавных ножах / А. А. Клубков // Деревообрабатывающая пром-сть. – 1996. – № 2. – С. 9–10.
11. Клубков, А. П. Влияние послепаяльных остаточных напряжений на приработочный износ твердосплавных ножей при фрезеровании ДВП средней плотности / А. П. Клубков, А. А. Клубков, В. И. Гиль // Деревообрабатывающая пром-сть. – 2002. – № 1. – С. 18–19.
12. Хаеt, Г. Л. Прочность режущего инструмента / Г. Л. Хаеt. – Москва : Машиностроение, 1975. – 168 с.

Получено 03.03.2009 г.