

УДК 621.91.04

## ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ БЛОЧНО-МОДУЛЬНЫХ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

*д-р техн. наук, доц. Н.Н. ПОПОК, В.А. ТЕРЕНТЬЕВ, А.В. СИДИКЕВИЧ*

*(Полоцкий государственный университет),*

*канд. техн. наук, доц. В.И. ТУРОМША, канд. техн. наук, доц. С.С. ДОВНАР*

*(Белорусский национальный технический университет, Минск)*

Создана система режущих инструментов для комплексной обработки поверхностей деталей на одном станке, объединенных единым подходом к проектированию на основе модульного принципа построения техники. Разработаны конструкции взаимозаменяемых резовых блоков, надежных механизмов закрепления режущих пластин и блоков в корпусных модулях инструментов. Отличительной особенностью предлагаемых режущих инструментов является технологичность конструкции и возможность использования одних и тех же резовых блоков в разных типах режущих инструментов.

Разработаны конечно-элементные модели резового блока и стандартных режущих инструментов с различными механизмами крепления режущих пластин. Произведена оценка надежности блочно-модульных режущих инструментов методом конечных элементов. Приведены результаты испытаний на работоспособность фрезерных блочно-модульных режущих инструментов.

**Введение.** На машиностроительных предприятиях Республики Беларусь выпускается широкая номенклатура изделий. При этом экономия материальных ресурсов, в том числе и режущих инструментов, является одной из наиболее важных задач. В связи с этим на предприятиях стремятся произвести обработку максимального количества поверхностей деталей на одном станке. Такая комплексная обработка деталей должна предусматривать использование оптимального количества режущих инструментов. Это возможно в двух случаях:

- 1) при обработке одним инструментом поверхностей деталей по различным схемам обработки резанием, реализуемых за счет кинематики станка или программного управления;
- 2) при использовании быстроперенастраиваемого режущего инструмента, построенного на модульном принципе.

Для комплексной обработки поверхностей деталей на одном станке зарубежные фирмы предлагают инструментальные системы, построенные на модульном принципе по видам обработки. В этом случае при переходе с одного вида обработки на другой применяются дополнительные устройства (адаптеры), которые могут уменьшать жесткость системы и увеличивать затраты на поставку дополнительной технологической оснастки [1]. Сокращение затрат достигается за счет расширения возможностей режущего

инструмента на основе модульного принципа с максимальной внутривидовой и межтиповой унификацией и подчинения какому-либо типоразмерному ряду.

В Полоцком государственном университете разработан экономичный и не уступающий по своим техническим характеристикам зарубежным аналогам сборный режущий инструмент. Инструмент прост в изготовлении, унифицирован и применим по своим размерным характеристикам к обработке наиболее часто встречающихся типоразмеров деталей в их общей номенклатуре [2, 3]. В основу конструкции быстроперенастраиваемого инструмента положен унифицированный резовый блок [4]. Надежность резового блока определяется схемой зажима режущих пластин в блоке и самого блока в корпусном модуле. Анализируя схему нагружения блочно-модульного режущего инструмента (БМРИ), можно выделить следующие связи между элементами: пластина режущая (ПР) – резовый блок; резовый блок – корпусной модуль; корпусной модуль – элементы технологической оснастки станка (рис. 1).

Такая схема нагружения инструмента позволяет оценить напряжения и деформации в нем как в статическом, так и динамическом положениях. Анализ напряженно-деформированного состояния конструкций режущего инструмента производился с использованием программного пакета для инженерных расчетов ANSYS.

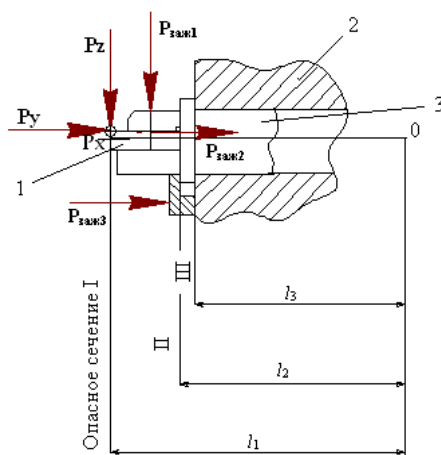


Рис. 1. Схема моделирования усилий в БМРИ:  
1 – режущая пластина; 2 – корпусной модуль;  
3 – резовый блок;  $P_z$ ,  $P_y$  и  $P_x$  – соответственно тангенциальная, радиальная и осевая составляющие силы резания;  $P_{зам1}$ ,  $P_{зам2}$ ,  $P_{зам3}$  – силы зажима

Если рассмотреть элементарный прямоугольный параллелепипед (рис. 2), находящийся в равновесии только под действием приложенных к его двум противоположным граням нормальных напряжений, то его длина в направлении действия нагрузки изменится по сравнению с размером до приложения нагрузки (увеличится, если приложенные напряжения являются растягивающими, или уменьшится, если напряжения – сжимающие).

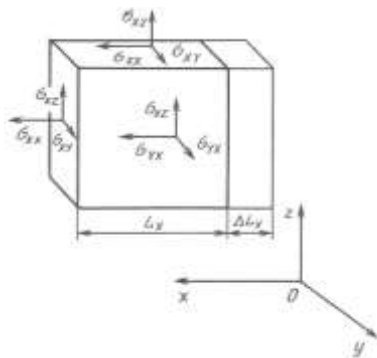


Рис. 2. Элементарный параллелепипед с приложенными к нему нагрузками

Деформации определяют относительное изменение размеров параллелепипеда вдоль осей системы координат. Для того чтобы сделать предположение о характере деформирования ее элементов, необходимо сделать краткий анализ всех составляющих конструкции. Кроме того, в проектируемых конструкциях могут использоваться различные материалы, которые ведут себя по-разному при различных уровнях нагрузки, т.е. в каком-то диапазоне напряжений определенный материал ведет себя как линейно-упругий, в другом диапазоне он деформируется пластически и т.д. В то же время другой материал может практически во всем диапазоне нагрузок вести себя как нелинейно-упругое тело. Если при этом учесть, что границы диапазонов меняются в зависимости от температуры и сил, возникающих первоначально при сборке конструкции, а затем в динамике при работе, то становится очевидным, что установить универсальный закон деформирования для всех материалов невозможно. С другой стороны, все эти особенности поведения материалов привели к тому, что в настоящее время применяются различные модели для описания связи напряжений и деформаций при различных условиях.

Работоспособность предлагаемой конструкции резцового блока и в целом БМРИ обеспечивается последовательностью его сборки и настройки, что учитывается в разработанной математической модели. При статическом нагружении, когда ПР устанавливается на опорную плоскость и фиксируется Т-образным прихватом (таблица), было выявлено, что при помощи «скользящего» винта и скоса опорной части прихвата обеспечивается последовательное перемещение в продольном направлении и «поджим» пластины. При этом самым нагруженным в данной конструкции является Т-образный прихват. Прихват тем самым разгружает опорную плоскость под пластиной, обеспечивая плотное прилегание ПР к этой плоскости и увеличивая срок службы ПР. Возможное превышение величины прогиба прихвата над допустимым значением под действием сил зажима регулируется «точным» затягиванием динамометрическим ключом. При нагружении конструкции изменяющейся силой резания (см. таблицу) было установлено, что в процессе обработки происходит взаимная компенсация напряжений в ПР, возникающих от сил зажима и сил резания. При этом опасным концентратором напряжений является технологическая канавка для выхода шлифовального круга. Необходимо изменить форму технологической канавки, что вполне приемлемо с точки зрения конструкции.

Для оценки полученных данных была рассмотрена конструкция стандартного крепления непереключаемых ПР. В таблице представлена конечно-элементная модель варианта крепления режущей пластины с отверстием, базирующейся своим отверстием на неподвижной штифт. Режущая пластина закрепляется путем заклинивания ее между штифтом и упорной боковой поверхностью гнезда державки. Высокая технологичность этих конструкций в значительной мере способствовала их широкому применению. Было выявлено, что при перемещении клина по боковой поверхности пластины за счет сил трения возможно образование зазора в опорной зоне под режущей кромкой, что снижает жесткость конструкции. Кроме того, самым нагруженным в данной конструкции является штифт в опорной зоне и поверхность пластины, находящаяся в «сжатом» состоянии между штифтом и клином. Конструкция оценивалась с точки зрения приложения сил резания, действующих на лезвие режущего инструмента в процессе механической обработки.

Анализ показывает, что в процессе обработки происходит изменение положения пластины под воздействием силы резания. При этом опасными сечениями являются опорная зона штифта под режущей кромкой и край опорной зоны под режущей пластиной. При этом можно отметить, что на работоспособность данной конструкции оказывает точность исполнения ее элементов, а также правильный подбор материалов.

Для сравнения была также оценена надежность конструкций резцовых блоков, изготавливаемых зарубежными фирмами, на примере резцового блока фирмы «Sandvik Coromant» (Швеция). Расчеты показали, что при статическом нагружении наиболее нагруженным элементом является Г-образный прихват, а также зона прижатия прихватом режущей пластины. В процессе сборки такого резцового блока при зажиме режущей пластины происходит подъем режущей пластины с противоположной стороны от зоны прижатия прихватом и может возникнуть зазор до 0,02 мм. Однако в процессе работы этот зазор

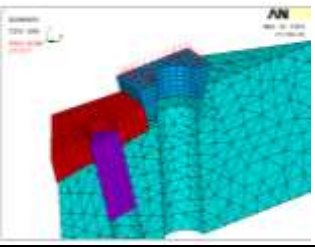
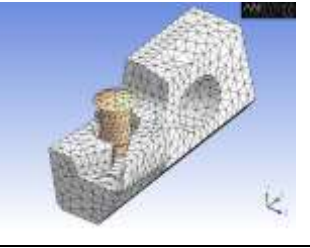
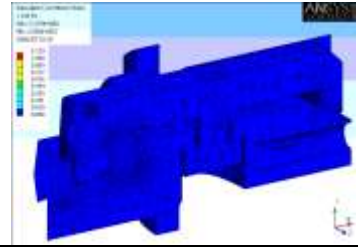
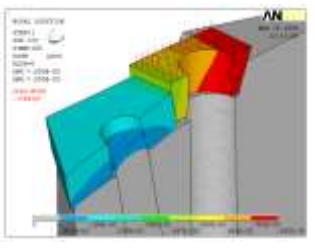
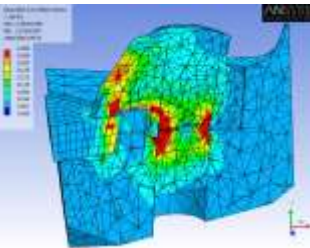
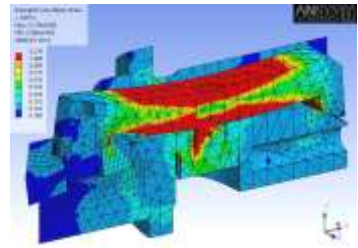
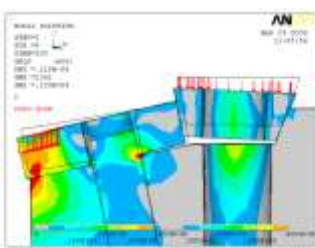
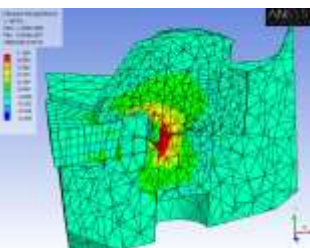
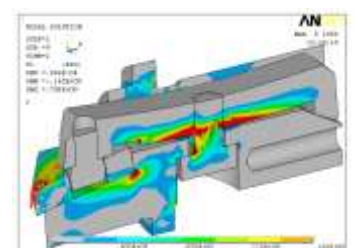
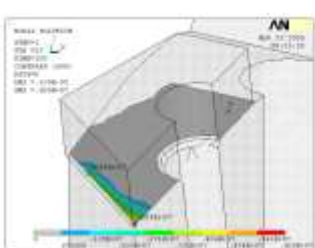
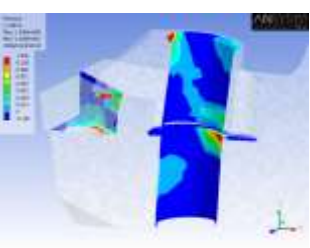
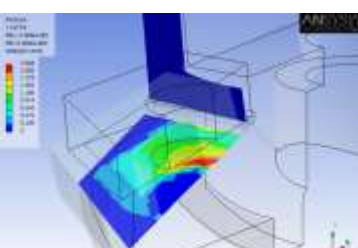
Анализ показывает, что в процессе обработки происходит изменение положения пластины под воздействием силы резания. При этом опасными сечениями являются опорная зона штифта под режущей кромкой и край опорной зоны под режущей пластиной. При этом можно отметить, что на работоспособность данной конструкции оказывает точность исполнения ее элементов, а также правильный подбор материалов.

Для сравнения была также оценена надежность конструкций резцовых блоков, изготавливаемых зарубежными фирмами, на примере резцового блока фирмы «Sandvik Coromant» (Швеция). Расчеты показали, что при статическом нагружении наиболее нагруженным элементом является Г-образный прихват, а также зона прижатия прихватом режущей пластины. В процессе сборки такого резцового блока при зажиме режущей пластины происходит подъем режущей пластины с противоположной стороны от зоны прижатия прихватом и может возникнуть зазор до 0,02 мм. Однако в процессе работы этот зазор

Для сравнения была также оценена надежность конструкций резцовых блоков, изготавливаемых зарубежными фирмами, на примере резцового блока фирмы «Sandvik Coromant» (Швеция). Расчеты показали, что при статическом нагружении наиболее нагруженным элементом является Г-образный прихват, а также зона прижатия прихватом режущей пластины. В процессе сборки такого резцового блока при зажиме режущей пластины происходит подъем режущей пластины с противоположной стороны от зоны прижатия прихватом и может возникнуть зазор до 0,02 мм. Однако в процессе работы этот зазор

ликвидируется под действием сил резания, возникающих в процессе механической обработки. Кроме того, необходимо отметить, что это возможно при соответствующей технологии изготовления элементов конструкции и правильном подборе материалов, взаимодействующих в процессе механической обработки в составе конструкции.

Сравнительный анализ конечно-элементных моделей крепления режущей пластины в резцовом блоке и инструменте

Элемент анализа	Вариант крепления режущей пластины с отверстием, базирующейся своим отверстием на неподвижный штифт	Вариант крепления режущей пластины без отверстия Г-образным прихватом в резцовом блоке	Вариант крепления режущей пластины с отверстием Т-образным прихватом в резцовом блоке
Разбиение конструкции на конечные элементы			
Статическое нагружение (при сборке)			
Динамическое нагружение (при резании)			
Площадки контакта			

Совокупный анализ площадок контакта взаимодействия режущей пластины и поверхности под ней показал:

- в варианте крепления ПР с отверстием, базирующейся своим отверстием на неподвижный штифт, ПР и державка резца контактируют на малом участке вследствие приподнятия ПР под действием сил зажима и уменьшения площадки контакта под действием сил резания;
- в резцовых блоках фирмы «Sandvik Coromant» (Швеция) и предлагаемой конструкции происходит увеличение площадок контакта вследствие ликвидации возникшего зазора под действием сил резания, что позитивно влияет на надежность работы резцовых блоков в различных типах инструментов.

Для проверки надежности закрепления ПР в резцовом блоке были проведены предварительные испытания фрезерного блочно-модульного инструмента, оснащенного восемью резцовыми блоками с

креплением ПР Т-образным прихватом (рис. 3) в условиях лаборатории кафедры металлорежущих станков и инструментов Полоцкого государственного университета.



Рис. 3. Испытания на стойкость фрезерного блочно-модульного режущего инструмента

Испытания проводились в соответствии с рекомендациями [5] на следующем режиме обработки:

- глубина резания:  $t = 1..3$  мм;
- подача:  $S = 170..400$  мм/мин;
- частота вращения фрезы диаметром 125 мм:  $n = 315..630$  мин<sup>-1</sup>.

Износ по задней поверхности  $h_z$  при обработке стали 45 составил в среднем 1 мм при среднем периоде стойкости  $T = 110$  мин, что соответствует требованиям ГОСТ 26596-85 «Фрезы торцовые с механическим креплением многогранных пластин. Технические условия» и ГОСТ 23726-79 «Инструмент металлорежущий. Правила приемки». Производилась также обработка заготовок из сталей У8А, 65Г, 9ХС, чугуна СЧ 15.

Производственные испытания проходили в условиях РУП «Минский тракторный завод». Производилась обработка плоскости детали 1021-2308076 на операции 005 вертикально-фрезерной. Станок – вертикально-фрезерный мод. 6Т13; материал заготовки – сталь 40Х ГОСТ 4543-71; твердость НВ составляла 241...285; структура поверхности – ковочная окалина.

Режим обработки:

- глубина резания –  $t = 1..3$  мм;
- подача –  $S = 250$  мм/мин;
- частота вращения фрезы –  $n = 250$  мин<sup>-1</sup>;
- пластина – РНЕА 110408;
- материал сменных неперетачиваемых пластин – Т15К6 без покрытия.

Средний период стойкости инструмента ( $T$ ) составил 125 мин.

**Заключение.** Предложенные конструкции резцовых блоков и блочно-модульных режущих инструментов не уступают по надежности зарубежным аналогам. Применение при проектировании БМРИ межтиповой унификации с использованием унифицированного резцового блока с размерами, соответствующими стандартным типоразмерным рядам, позволяет создать гамму блочно-модульных режущих инструментов, обеспечивающих импортозамещение сборных режущих инструментов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Новые инструменты от Sandvik Coromant. Дополнение к основным каталогам: токарный инструмент и вращающийся инструмент. – 2004. – Вып. 2.
2. Попок, Н.Н. Разработка гаммы блочно-модульного режущего инструмента / Н.Н. Попок, В.А. Терентьев, А.В. Сидикевич // Теоретические и технологические основы упрочнения и восстановления изделий машиностроения: сб. науч. тр. – Минск: Технопринт, 2001. – С. 699 – 703.
3. Попок, Н.Н. Автоматизированное проектирование модульных режущих инструментов: в 2-х т. / Н.Н. Попок [и др.]. – Минск: Технопринт, 2004. – Вып. 20, Т. 2. – С. 145 – 150.
4. Попок, Н.Н. Модульное проектирование режущих инструментов: в 2-х т. / Н.Н. Попок [и др.] // Республ. межведомств. сб. науч. тр. БНТУ, 2005. – Вып. 21, Т. 1. – С. 125 – 130.
5. Фрезы торцовые с механическим креплением многогранных пластин. Технические условия: ГОСТ 26596-85. – М.: Изд-во стандартов, 1985.

Поступила 24.01.2007