

КОНСТРУКЦИЯ МОДУЛЬНОЙ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ ОСНАСТКИ СО ВСТРОЕННЫМ МНОГОКОМПОНЕНТНЫМ ДАТЧИКОМ ДЛЯ КОНТРОЛЯ СОСТАВЛЯЮЩИХ СИЛЫ РЕЗАНИЯ

В.В. Беломыцев, В.А. Абанин, А.Н. Ромашев

Рассмотрены вопросы совершенствования конструкции и улучшения характеристик модульных систем инструментальной техники в машиностроении с соединительным элементом на основе механической передачи со свободными телами качения. Разработан многокомпонентный датчик силы резания, встроенный в модульную инструментальную оснастку для измерения составляющих силы резания и контроля оптимальных режимов резания.

Ключевые слова: модульная инструментальная оснастка, тяга, передача со свободными телами качения, многокомпонентный датчик силы резания, упругий элемент, тензорезисторы.

В современных условиях в ходе длительного периода реорганизаций для многих машиностроительных предприятий на первый план выдвигаются задачи разработки новых и модификации существующих образцов выпускаемых ими изделий. Предприятиям машиностроительного комплекса, в первую очередь крайне важно выпускать продукцию небольшими сериями или в единичных экземплярах, причем в сжатые сроки, с высоким качеством и существенно по более низким ценам, чем устанавливаемые сегодня на рынке.

Известно, что себестоимость и качество изделий, выпускаемых предприятиями машиностроительного комплекса, в значительной степени определяется формой организации технологического процесса и используемого для обработки изделий режущего инструмента.

В настоящее время наиболее перспективным направлением в использовании режущего инструмента считается применение модульной инструментальной оснастки. Модульная инструментальная оснастка построена на принципе замены инструмента съемными модулями, что по сравнению со стандартным режущим инструментом позволяет: снизить вес инструмента в 3...4 раза, повысить эффективность работы оборудования, повысить производительность труда, сократить сроки подготовки производства, снизить себестоимость механической обработки [1].

Не смотря на очевидные преимущества модульной инструментальной оснастки, технолог на стадии проектирования технологических операций в большинстве случаев

склоняется к выбору стандартного режущего инструмента. Модульный инструмент используется лишь в 10 из 100 случаев, позволяющих значительно повысить эффективность производства изделий. Это объясняется тем, что производители модульной инструментальной оснастки ограничиваются лишь рекомендациями по допустимым режимам обработки. Однако наиболее важный для технолога вопрос обеспечения требуемых показателей точности остается открытым. Технологу на этапе технологической подготовки производства испытывает значительные затруднения при оценке точности получаемого размера на тех или иных режимах обработки. Это связано с отсутствием методик проектирования этапов технологической подготовки производства, в части выбора модульной инструментальной оснастки, математических зависимостей, устанавливающих взаимосвязь между режимами обработки, конструкцией узла крепления и точностью получаемого размера после обработки.

В связи с этим актуальным является необходимость исследования особенностей обработки на токарных станках с ЧПУ при использовании модульной инструментальной оснастки, с целью обеспечения выбора режущего инструмента и прогнозирования обеспечения заданных показателей точности обработанных поверхностей.

Целью работы является разработка модульной инструментальной оснастки с узлом крепления на основе передачи со свободными телами качения со встроенными измерительными преобразователями (датчиками) для получения измерительной информации о со-

ставляющих силы резания, что позволит сократить время простоев автоматизированного оборудования из-за отказов режущего инструмента (РИ) и обеспечить контроль оптимальных режимов резания.

Системы модульного инструмента открывают большие возможности для внедрения систем автоматического контроля состояния РИ, причем встраивание измерительных устройств в базовую деталь узла соединения модулей позволяет получать оперативную информацию для диагностирования режущих элементов, которая поступает из непосредственной близости к зоне резания. Такое расположение измерительных устройств является оптимальным для обеспечения основных требований по выбору места встраивания датчиков в технологическую систему.

Предлагаемая конструкция [2] включает: корпус, предназначенный для размещения в гнезде револьверной головки и для базирования в нем других конструктивных элементов оснастки; центрирующую втулку, предназначенную для центрирования сменного модуля относительно корпуса; инструментальный модуль, установленный в коническом отверстии центрирующей втулки; тягу, имеющую наклонные прорези для закрепления инструментального модуля. Зажимной узел включает в себя пазы на хвостовике сменного инструментального модуля и в корпусе, тягу, пакет тарельчатых пружин и шарики.

Форма корпуса не требует никаких доработок револьверной головки, и нет необходимости в специальных адаптерах. Поэтому традиционные станки с ЧПУ могут быть легко переоснащены на быстросменную оснастку при использовании стандартных базовых блоков.

Для создания усилия закрепления инструментального модуля в данной конструкции использовано устройство на основе механической передачи со свободными телами качения. Зажим сменного блока осуществляется шариками, находящимися в прорезях тяги. Тяга, за счет наклона прорезей, при перемещении в осевом направлении дает возможность шарикам перекатываться по канавке на хвостовике инструментального модуля. Форма канавки позволяет шарикам, перекатываясь по прорезям в тяге, из впадин паза в корпусе попадать во впадины паза на хвостовике инструментального модуля. При этом происходит силовое замыкание инструментального модуля с режущим элементом через шарики.

После чего сменный инструментальный модуль надежно закреплен.

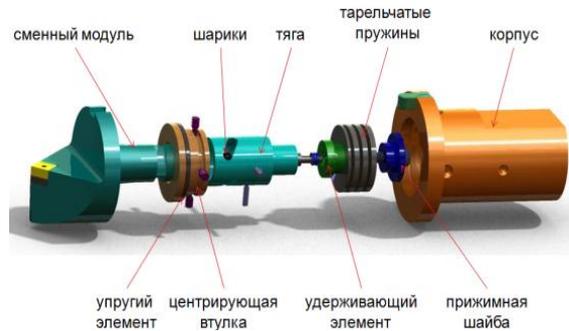


Рисунок 1 - Конструкция модульной инструментальной оснастки

Материалом для базовых деталей оснастки была выбрана сталь 45, для шариков – ШХ15, а для тяги – 40ХС. Сила закрепления сменного модуля, которая равна силе, создаваемой пакетом тарельчатых пружин $F_{общ} = 22050$ (Н).

Выбор оптимальной конструкции и материала её элементов, а также расчет прочностных характеристик модульной инструментальной оснастки проведен с использованием универсальной программной системы конечно-элементного анализа ANSYS.

Из анализа результатов расчетов установлено, что основные детали узла крепления инструментального модуля при данных условиях нагружения испытывают незначительные деформации, которые практически не повлияют на точностные параметры обрабатываемых изделий при использовании представленной конструкции модульной инструментальной оснастки для различных видов механической обработки. Такой вывод сделан на основании того, что используемая для расчетов величина силы резания определялась для условий чернового точения, а сила закрепления всегда остается постоянной.

При теоретическом исследовании зависимостей технологических параметров при эксплуатации устройства на обеспечение работоспособности модульной инструментальной оснастки было выявлено, что форма паза на тяге напрямую влияет на напряжения, возникающие в деталях модульной инструментальной оснастки при закреплении сменного модуля. Сравнение результатов производилось при изменении формы паза, используя метод конечных элементов. Паз выполнялся не прямым, как было ранее, а ра-

КОНСТРУКЦИЯ МОДУЛЬНОЙ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ ОСНАСТКИ СО ВСТРОЕННЫМ МНОГОКОМПОНЕНТНЫМ ДАТЧИКОМ ДЛЯ КОНТРОЛЯ СОСТАВЛЯЮЩИХ СИЛЫ РЕЗАНИЯ

диусным. Так же менялось направление закругления.

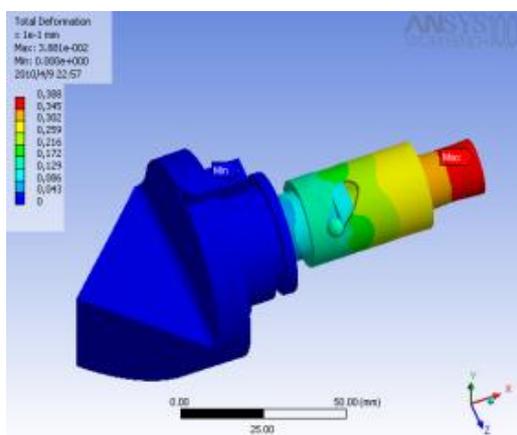


Рисунок 2 - Общая деформация

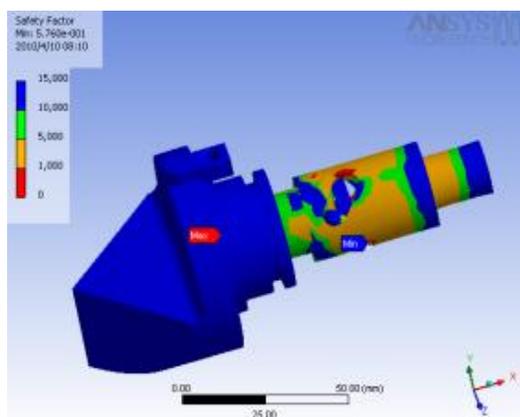


Рисунок 3 – Запас прочности

Максимальные напряжения, возникающие в деталях оснастки, изменяются в пределах от 515 МПа до 866 МПа. При этом деформация фактически не меняется.

Для анализа результатов расчетов необходимо сравнивать полученные значения на одной детали и в одном и том же месте. Этим местом является свободный конец паза, выполненный на тяге, так как именно эта часть оснастки претерпевает конструктивные изменения.

По данным расчета был построен график зависимости напряжений, возникающих в пазе, от величины скругления паза.

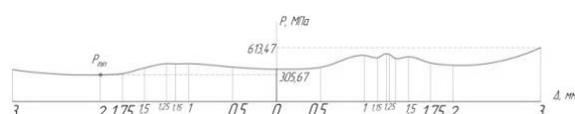


Рисунок 4 - График зависимости напряжений от величины скругления паза

На графике величина Δ - расстояние от линии центров прямого паза до максимально удаленного положения шарика в пазе.

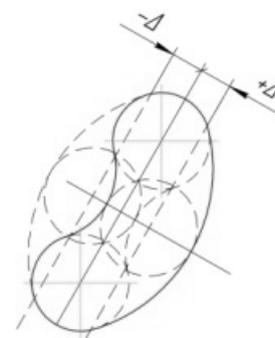


Рисунок 5 - Величина Δ

Анализируя полученный график видно, что в зависимости от величины и направления скругления паза, возможно, добиться результата при котором, возникающие напряжения в деталях будут минимальны, при одной и той же силе закрепления сменного модуля.

По полученным данным, была выбрана оптимальная форма паза с величиной $\Delta_{\min}=2$ мм [3].

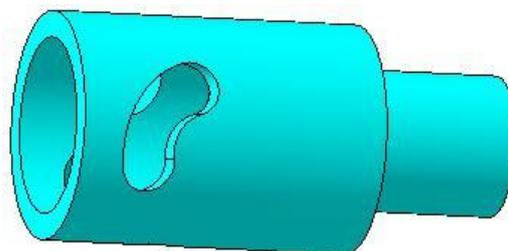


Рисунок 6 - Форма паза на тяге

Для получения диагностической информации разработан многокомпонентный датчик силы резания [4], адаптированный для конструкции модульной инструментальной оснастки, позволяющий получать измерительную информацию как для поиска оптимальных конструкций измерительных систем, так и оптимизации режимов резания.

Для выбора базовой конструкции встроенного измерительного модуля проводилось моделирование силовых процессов в модульной инструментальной оснастке. Методика проведения моделирования включала анализ полей деформации во внутреннем объеме инструментальной оснастки с учетом усилия прижатия инструментальной оснастки к корпусу, а также различных значений силы резания и направлений ее действия в пространстве [5]. Результаты моделирования

позволили обосновать конструкцию упругого элемента, зоны размещения тензорезисторов, их геометрические параметры с учетом ограничений на предельные перемещения модульной оснастки при ее работе.

В многокомпонентном датчике силы резания упругий элемент выполнен в виде кольца с четырьмя независимыми плоскими балками, воспринимающими деформацию от действия составляющих силы резания. У каждой балки имеется свой узел ввода, размещенный в середине балки. Кроме того, упругий элемент устанавливается в плоскости разреза модульной инструментальной оснастки, позволяющей использовать различные по форме и геометрическим параметрам режущие элементы.

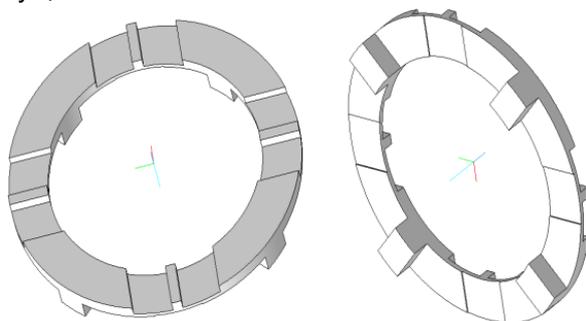


Рисунок 7 - Внешний вид упругого элемента

Упругий элемент, представленный на рисунке 7, представляет собой кольцо, на половине высоты которого выполнены симметрично относительно друг друга в плоскости перпендикулярной вертикальной оси кольца четыре плоские балки, воспринимающие деформацию от действия вектора силовой нагрузки, узлы ввода силы размещены в середине балок. Нижняя сторона кольца опирается на четыре выступа, являющиеся силоопорными элементами балок, а на противоположных сторонах каждой балки размещены тензорезисторы, соединенные в гальванически независимые мостовые цепи.

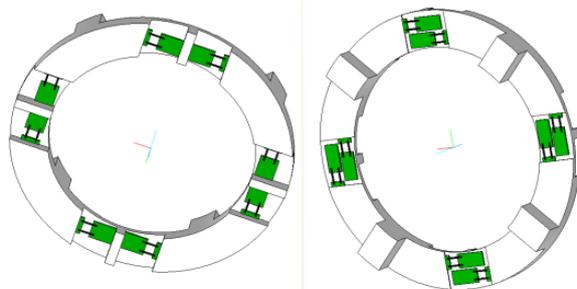


Рисунок 8 - Упругий элемент с размещенными на нем тензорезисторами

Расположение измерительного модуля во внутреннем объеме инструментальной оснастки выбрано близко к зоне резания для восприятия трех составляющих усилия резания. Упругий элемент измерительного модуля с тензорезисторами установлен в специальном кольцевом вырезе [6].

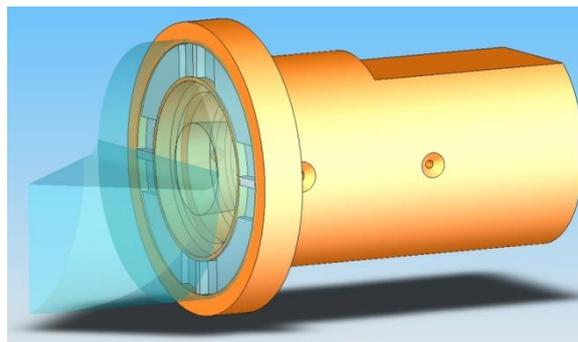


Рисунок 9 - Место под установку измерительного модуля

При закреплении сменного инструментального модуля 3 происходит начальное деформирование упругого элемента 1 за счет того, что толщина упругого элемента h больше глубины паза, в котором он находится, при этом деформирование упругого элемента 1 ограничивается усилием закрепления инструментального модуля 3. Таким образом, происходит требуемая первоначальная деформация упругого элемента 1 и обеспечивается необходимая жесткость модульной инструментальной оснастки. При точении на режущий элемент инструментального модуля 3 действует сила резания. При этом деформация инструментального модуля 3 через узлы ввода упругого элемента 1, соприкасающиеся с торцом инструментального модуля 3, передается на плоские балки упругого элемента 1 за счет имеющегося зазора Δ между торцами корпуса 2 и инструментального модуля 3.

Тензорезисторы, наклеенные на плоские балки упругого элемента 1, изменяют свое сопротивление пропорционально деформации плоских балок, которая, в свою очередь, пропорциональна приложенной нагрузке, вследствие чего на выходе мостовых цепей возникают электрические сигналы, пропорциональные составляющим силы резания.

КОНСТРУКЦИЯ МОДУЛЬНОЙ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ ОСНАТКИ СО ВСТРОЕННЫМ МНОГОКОМПОНЕНТНЫМ ДАТЧИКОМ ДЛЯ КОНТРОЛЯ СОСТАВЛЯЮЩИХ СИЛЫ РЕЗАНИЯ

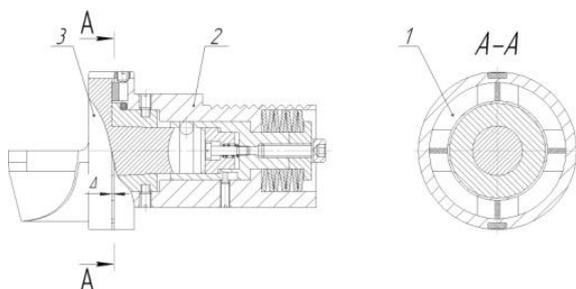


Рисунок 9 - Модульная инструментальная оснастка со встроенным упругим элементом

При использовании данного датчика возможна более простая и потенциально более совершенная технология закрепления тензорезисторов, адаптированная как к широко применяемой технологии наклейки тензорезисторов на поверхности плоских балок, так и микроэлектронной технологии изготовления тензорезисторов на поверхности балок, исключающая применение клеевых соединений. Микроэлектронная технология изготовления тензорезисторов не только повышает точность передачи деформации напрямую к тензорезисторам, но и обеспечивает изготовление тензорезисторов с идентичными параметрами (начальными сопротивлениями, коэффициентами тензочувствительности).

Преимущество наклейки тензорезисторов у многокомпонентного датчика силы резания достигается за счет возможности закрепления тензорезисторов только с двух параллельных сторон плоских балок, что позволяет применять технологическую оснастку для одновременной наклейки всех 16 тензорезисторов. Это позволяет уменьшить разбросы по толщине клеевого слоя, ухудшающие точность передачи деформации балок к тензочувствительному материалу тензорезисторов. При использовании микроэлектронной технологии изготовления тензорезисторов они изготавливаются в два этапа. На первом этапе 8 тензорезисторов с одной стороны балок, на втором еще 8 тензорезисторов. Указанные факторы позволяют повысить точность результатов измерений.

В то же время, у многокомпонентного датчика силы резания активными являются все 4 тензорезистора мостовой цепи. Это существенно повышает мощность выходных электрических сигналов, повышает их помехоустойчивость и точность результатов измерений.

Применение средств автоматизированного диагностирования модульной инструментальной оснастки позволит снизить простои оборудования, связанные со случайными выходами инструмента из строя, а также сократить затраты времени на подналадку инструмента (его размерное регулирование) за период его работы без замены.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. С.Н. Григорьев, М.В. Кохомский, А.Р. Маслов. Инструментальная оснастка станков с ЧПУ: Справочник / Под общ. ред. А.Р. Маслова. – М.: Машиностроение, 2006 – 544 с.: ил.
2. Патент RU № 97662, 2010 г.
3. Патент RU № 111472, 2011 г.
4. Приоритетная справка № 2011-101037 от 12.01.2011 г.
5. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике / Под ред. Подебри. – М.: Мир, 1975. – 541 с.
6. Абанин В.А., Германенко А.С., Беломыцев В.В., Ромашев А.Н. Разработка информационной системы моделирования измерительных процессов в модульной инструментальной оснастке // Измерение, контроль, информатизация. Материалы 12-й международной научно-технической конференции 29-30 марта. – Барнаул, 2011. – с. 149-153.

Беломыцев В.В. – инженер кафедры МРСиИ
БТИ (филиал) ФГБОУ ВПО АлтГТУ,
г. Бийск,
(3854) 43-99-30,
bvv_22rus@mail.ru

Абанин В.А. – профессор, д.т.н.,
БТИ (филиал) ФГБОУ ВПО АлтГТУ,
г. Бийск,
(3854) 36-72-92,
aba@bti.secna.ru

Ромашев А.Н. – доцент, к.т.н.,
БТИ (филиал) ФГБОУ ВПО АлтГТУ,
г. Бийск,
alniro@yandex.ru