

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ОТВЕРСТИЙ В ИЗДЕЛИЯХ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ (ПКМ)

Введение. В последние десятилетие во многих странах, а особенно в странах СНГ, больших объемов достигло производство композиционных материалов, среди которых особое место занимают композиты на основе полимерных материалов. Это связано с тем, что изделия из ПКМ (стеклопластик, стеклоорганопластик, углеорганопластик, почти все органопластики и т.п.) находят свое более широкое применение в отраслях народного хозяйства в сфере материального производства. А именно в таких отраслях промышленности как химия, строительство, транспорт (в особенности авиационный и водный), также все чаще изготавливают разный спортивный инвентарь. Это происходит потому, что ПКМ обладают значительным количеством преимуществ в плане физико-механических свойств, а именно высокой удельной прочностью, твердостью и стойкостью к влиянию окружающей среды по сравнению с металлами и их сплавами [1].

Большое количество наиболее распространенных изделий из ПКМ различного назначения имеют отверстия, к которым предъявляют повышенные требования по качеству их элементов, отклонение которых возникает в процессе обработки.

Несмотря на довольно высокий уровень разработанную технологию механической обработки отверстий, вопрос, который касается обеспечения высокого качества поверхности отверстия при высокой производительности, еще до конца не решен. И в значительной степени это относится и к механической обработке отверстий больших диаметров в изделиях из ПКМ [2].

Постановка проблемы. Наиболее распространенные в общей массе режущих инструментов (используемые для лезвийной обработки отверстий в ПКМ) можно разделить по методу формообразования поверхности: метод копирования – протяжка, прошивка; метод следов – сверло, зенкер, развертка, резец, расточные головки и комбинированный инструмент (сверло-сверло, сверло-зенкер и т. п.); метод обкатки – концевые фрезы. Наряду с этим, сверла нашли свое более широкое применение, так как их используют и для предварительного образования отверстий под дальнейшее зенкерование, растачивание, развертывание, нарезание резьбы и т. п., и для окончательной обработки. В особенности обработка сверлом во многом оправдывается как наиболее экономическое средство получения относительно не больших диаметров отверстий, но не в плане качества обработки. Потому как на расслоение ПКМ вокруг отверстия при сверлении спиральным сверлом влияет главным образом перемычка сверла, которая не режет материал, а выдавливает (сминает), и распределение сил в зоне резания [3, 4].

Также очень часто возникает необходимость обрабатывать отверстия относительно больших диаметров, которые предпочитают выполнять растачиванием, где в качестве немерного инструмента является резец, но данная задача значительно усложняется при необходимости растачивания отверстия в деталях не тел вращения.

К резанию ПКМ как технологическому способу обработки предъявляются следующие основные требования по достижению высокой эффективности: высокое качество обработанной поверхности отверстий, что включает в себя ряд показателей, характеризующихся геометрическими параметрами (точность размеров, формы его элементов и их взаимное расположение, шершавость поверхности, вспучивание кромок, расслоение, ворсистость, усадка отверстий и т.п.) и физико-химическим состоянием поверхностного слоя отверстий (деструкция поверхностного слоя, наличие остаточных напряжений); высокая производительность, экономичность.

Высокое качество поверхности отверстий занимает одно из важ-

нейших мест в эффективности механической обработки. Потому как в сборке подвижных соединений эти отклонения приводят к уменьшению износостойкости поверхностного слоя полимера вследствие повышенного удельного давления на выступлениях неровностей и к нарушению плавности хода и т.п. А в неподвижных соединениях изделий из ПКМ отклонение формы и расположение поверхностей вызовут неравномерность натяжения, вследствие чего снижается прочность соединения, герметичность и точность центрирования. В сборках эти погрешности влекут к погрешностям базирования изделий относительно одного к другому, деформациям, неравномерным зазорам, которые вызовут нарушение нормальной работы отдельных узлов и механизма в целом. Существенным образом влияют на точность и трудоемкость сборки, снижают точность измерения размеров, влияют на точность базирования изделий при изготовлении и контроле и т.п.

Важнейшие количественные показатели геометрических и физико-химических параметров отверстия достигаются на протяжении всего рабочего процесса, осуществляемого с помощью технологической системы, которая включает в себя средства технологического оснащения (станок-приспособление-инструмент) и заготовку, между которыми протекают динамические и кинематические взаимодействия.

С момента начала механической обработки отверстия технологическая система действует, как многофакторная автоматическая система, которая находится под влиянием разных факторов. При этом реакция технологической системы приводит к нарушению заданного режима работы процесса и, как следствие, к отклонению геометрических и физико-химических параметров обрабатываемого отверстия.

При формировании отклонения геометрических параметров и параметров качества поверхностного слоя отверстия при механической обработке влияет совокупность входных параметров этой системы, а также возмущающие воздействия, которые нарушают условия обработки. Все это можно выразить в общем виде следующей зависимостью:

$$\Delta_{\Sigma} = f(K, \varepsilon, \Delta Y, \Delta_H, \Delta_U, \Delta_M, \Delta_{\varepsilon, U}, \Delta t, \Delta S, \Delta_{\varepsilon H}, \Delta_{\varepsilon H}, \Delta_K, \Sigma \Delta \Phi, \Delta A_{\text{кол}}, \Delta \Gamma_{\text{стр}}), \quad (1)$$

где K – принципиальная кинематическая схема резания; ε – отклонение из-за погрешности установки заготовки; ΔY – отклонение через упругие деформации элементов технологической системы; Δ_H – погрешность наладки на размер; Δ_U – отклонение, вызванное износом режущего инструмента; Δ_M – отклонение, вызванное физико-механическими свойствами материала (анизотропия материала и т.п.); $\Delta_{\varepsilon, U}$ – отклонение, вызванное неравномерно предназначенными геометрическими параметрами режущего инструмента; Δt – отклонение, вызванное тепловыми деформациями элементов технологической системы; ΔS – отклонение от неравномерности режима резания, $\Delta_{\varepsilon H}$ – отклонение, вызванное геометрическими неточностями оборудования; $\Delta_{\varepsilon H}$ – отклонение, вызванное остаточными внутренними напряжениями; Δ_K – погрешность текущего и окончательного контроля (измерений); $\Sigma \Delta \Phi$ – суммарная погрешность формы; $\Delta A_{\text{кол}}$ – погрешности, обусловленные амплитудой колебаний элементов в технологической системе; $\Delta \Gamma_{\text{стр}}$ – погрешность, вызванная нарушениями нормального

течения процесса резание.

Две последние составные $\Delta A_{кол}$ и $\Delta \Gamma_{стр}$ определяют не только величину погрешности, но и вообще возможность реализации процесса резания с запрограммированными технологическими параметрами.

Для уменьшения результирующей погрешности формообразования отверстия обычно достаточно целеустремленно изменять, в первую очередь, любой один из входных или возмущающих параметров, влияние которых на точность в конкретной ситуации оказывается превосходящей.

Анализируя виды дефектов, которые возникают в процессе механической обработки отверстий различных диаметров в изделиях из ПКМ лезвийным инструментом, и их отрицательное проявление при эксплуатации изделия, можно сделать вывод о том, что превосходящим дефектом при обработке отверстия являются геометрические параметры его элементов, причина которых силы резания, действующие на поверхность отверстия со стороны инструмента.

Анализ последних исследований и публикаций. На практике и в научной литературе исследования относительно рекомендаций по возможному уменьшению наиболее распространенных дефектов, которые возникают в процессе механической обработки отверстий резанием в изделиях из ПКМ, в большинстве своем направлены к разработке и созданию оптимальной формы инструмента и его геометрических параметров и назначению рациональных режимов резания с использованием разнообразных смазочно-охлаждающих технологических средств (СОТС), в особенности широко используют гидрофобные смазочно-охлаждаемые жидкостные средства (СОЖ) и газообразные охлаждающие средства [5].

При этом все больше изготавливаются универсальные инструменты, используемые для довольно широкой номенклатуры обрабатываемых полимерных материалов. А специальным инструментам для конкретных условий обработки (в основном это комбинированные осевые инструменты), которые обеспечивают более или менее высокую продуктивную обработку и удовлетворительное качество обработки относительно небольшого количества марок материалов, уделяют меньше внимание. Это в частности обусловлено большим разнообразием типов и марок ПКМ и значительное отличие их по физико-механическим свойствам, что становится экономически невыгодно использование специальных инструментов. На этой почве стали использовать методы, сущность которых состоит в направленном изменении свойств обрабатываемого материала в зоне резания с целью обеспечения благоприятных условий для обработки и использования дополнительных технологических покрытий, которые укрепляют кромки отверстий в основном материале, что, к сожалению, тоже не всегда экономически выгодно [5].

В работах [6–8] рассмотрен один из методов уменьшения вынужденных колебаний и упругих деформаций в технологической системе механообрабатывающего оборудования, которые в большинстве вызваны статической и динамической нагрузкой результирующей силой резания и предложен ряд полезных моделей практического воплощения этого направления.

Предлагаемая конструкция устройства для растачивания отверстий [9] предусматривает компенсирование сил резания и крутящих моментов в зоне резания, но конструкция имеет значительные недостатки в плане отсутствия возможности регулировать крутящие моменты резания из-за единого приводного вала, который кинематически связан с расточными головками; низкое качество обработанной поверхности отверстия, так как режущие головки обрабатывают методом следов, вследствие чего на поверхности образуется винтовая линия.

Постановка задачи. Для растачивания отверстий в изделиях из ПКМ применяют два основных метода обработки, которые различаются тем, что вращение в процессе работы выполняет заготовка или инструмент. Вращение заготовки характерно для токарных групп станков, а расточной инструмент (резец, резцовые головки и т. п.) обеспечивает только продольную подачу (рис. 1, а).

При составлении шести уравнений равновесия пространствен-

ной системы сил (технологической системы) (рис. 1, а)

$$\sum_{k=1}^n P_{kx} = 0, \quad \sum_{k=1}^n P_{ky} = 0, \quad \sum_{k=1}^n P_{kz} = 0, \quad \sum_{k=1}^n M_x(\bar{P}_k) = 0, \\ \sum_{k=1}^n M_y(\bar{P}_k) = 0, \quad \sum_{k=1}^n M_z(\bar{P}_k) = 0, \quad (2)$$

при условии, что крутящий момент станка $M_{ер}$ будет равен моменту сопротивления резанию M_x , получим: $X_A = P_x$; $Y_A = P_y$; $Z_A = P_z$; $M_{ер} = P_z \cdot d/2 = M_x$; $M_y = P_z \cdot L$; $M_z = P_y \cdot L + P_x \cdot d/2$.

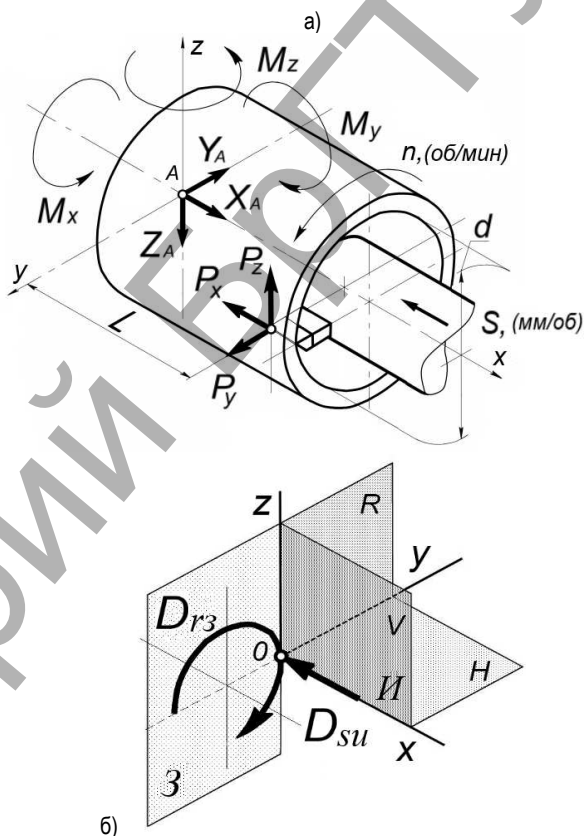


Рис. 1. а – расчетная схема растачивания отверстия на станке токарной группы; б – принципиальная кинематическая схема растачивания отверстия

Как мы видим, составные силы резания напрямую действуют на элементы технологической системы, очевидно, что её упругие перемещения влияют на периодическое изменение толщины среза, что влечет за собой к выше указанным погрешностям обработки. Ранее во избежание этих упругих перемещений инженеры-конструкторы при проектировании аналогового оборудования усиливали составные части системы, что в большинстве случаев сопровождается увеличением общих габаритов оборудования.

Стремление избавиться от перечисленных недостатков привело к разработке новых подходов к обработке отверстий резанием в изделиях из ПКМ, сущность которых состоит в направленном изменении принципиальной кинематической схемы резания, которая рассматривает систему движений, имеющих место в процессе резания с момента, когда лезвие режущего инструмента вступает в контакт с обрабатываемой поверхностью заготовки, и к моменту, если этот контакт прекращается. При этом ориентация лезвия относительно обрабатываемой поверхности является целенаправленной, так как под резанием в общем виде понимают конкретный метод формообразования деталей, основанный на удалении определенного слоя материала из обрабатываемой поверхности. Можно сделать следующие выводы: с изменением принципиальной кинематической

схемы резания и кинематического соотношения «инструмент-изделие» изменяются характер траектории и величина скорости относительного рабочего движения и одновременно с этим также и очертания образованного контура обрабатываемого изделия; трение и снос контактных площадок на передних и задних поверхностях инструмента происходят лишь в направлениях траекторий относительного рабочего движения, по которым в процессе резания осуществляются соответствующее взаимное перемещение и взаимодействие материала инструмента, изделий и стружки [10].

При растачивании принципиальная кинематическая схема предусматривает два одновременно действующих движения – вращательное D_{R3} и поступательное D_{Su} (рис. 1, б), тогда траектория относительного движения – винтовая линия, где плоскость движения заготовки Z и инструмента I .

Так например, особенностью ротационных инструментов является наличие резцов, которые имеют возможность вращаться вокруг фиксированной оси.

Исследования динамики процесса ротационного растачивания показали, что суммарная сила резания для большей части ее режимов выше силы резания обычными резцами. Это, а также меньшая жесткость ротационного инструмента в результате использования дополнительного шпиндельного узла, определяет необходимость широкого изучения вибрации в процессе резания.

Практика использования ротационных инструментов показала, что при недостаточной жесткости технологической системы в процессе резания возникает интенсивная вибрация системы, которая значительно ухудшает качество обработанной поверхности и вызовет дополнительные нагрузки на оборудование и инструмент. В ряде случаев из-за сильной вибрации процесс ротационного резания вообще не удастся осуществить. Из-за этого широкое внедрение этих инструментов в промышленное производство сдерживается [11].

Поэтому ставим перед собой задачу разработать устройство для обработки отверстий в изделиях из ПКМ, которое бы разрешило уравновесить силу резания и крутящий момент, действующие на поверхности отверстия со стороны режущих элементов.

Основной материал. Предложенное устройство для обработки отверстий состоит из шпинделя 1, в котором на подшипниках 2 установлен вал 3, на одном из концов которого выполнен конический зубчатый венец 4, сцепленный с коническими зубчатыми венцами 5 и 6, выполненными на режущих дисках 7 и 8, установленных на подшипниках 9 на жестко закривленной к шпинделю оси 10 (рис. 2).

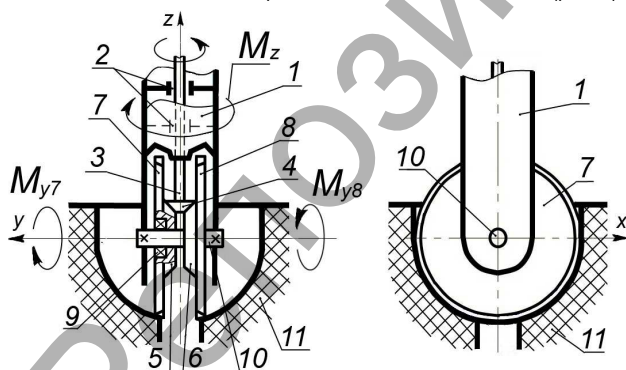


Рис. 2. Конструкция устройства для обработки отверстий в изделиях из ПКМ

При расфрезеровании отверстия необходимо, чтобы в заготовке 11 предварительно было выполнено отверстие диаметром более, чем расстояние между дисковыми фрезами 7 и 8. Так как при условии если диаметр предварительного отверстия меньше за расстояния между дисковыми фрезами 7 и 8, будет выполняться кольцевая обработка отверстия.

С вращением вала 3, на конце которого выполнен конический зубчатый венец 4, который входит в зацепление с двумя коническими

ми зубчатыми венцами 5 и 6, выполненными на дисковых фрезе 7 и 8, передает последним вращательное движение. Причем вращаются в противоположные стороны относительно друг друга. В это же время отдельным приводом придается противоположное вращательное движение шпинделю 1 относительно вала 3. После чего по главной оси Z устройства подается заготовка 11 (рис. 2).

Рассматривая равнодействующую реакцию силы резания P (рис. 3, а, б), которую можно разложить на три составляющие – P_{τ} , P_n и P_y , где P_{τ} – направлена по касательной к окружности по направлению вращения фрезы, P_n – по нормали к ней и P_y – вдоль оси y устройства. Так и составляющую $P_{n\tau}$ можно разложить на вертикальную P_z и на горизонтальную P_x силы.

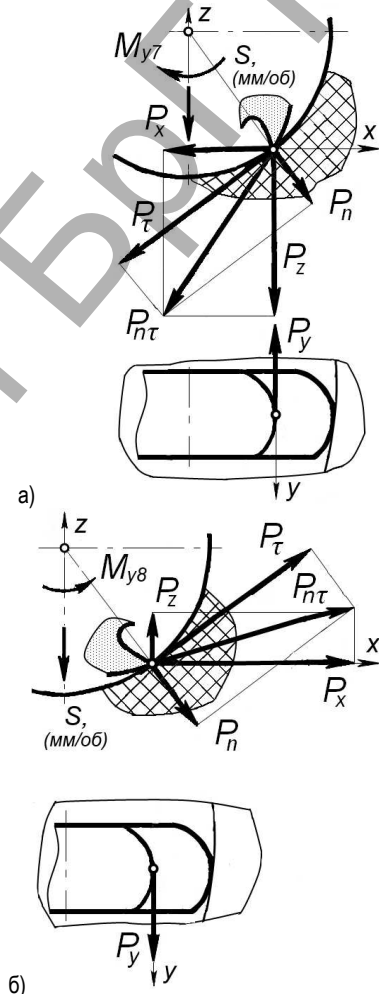


Рис. 3. Схемы действия составляющих силы резания со стороны дисковых фрез на поверхность отверстия: а – дисковой фрезы 7; б – дисковой фрезы 8

Для понимания действия уравновешивания сил, которые действуют на изделие 11 со стороны дисковых фрез, необходимо составить шесть уравнений равновесия (2) относительно всей конструкции, с условием, что крутящие моменты $M_{y7} = M_{y8} = const$, (Hm); момент инерции $I_7 = I_8 = const$, ($кг \cdot м^2$); угловая скорость $\omega_7 = \omega_8 = const$, ($рад/с$); масса $m_7 = m_8 = const$, ($кг$); подача $S_7 = S_8 = const$, ($мм/об$); скорость резания $V_7 = V_8 = const$, ($м/мин$) дисковых фрез на протяжении всего процесса резания, то получим, что реакции и крутящие моменты в опорах устройства уравновешиваются, вследствие чего будем иметь минимальные упругие перемещения.

Заключение. Результаты практических экспериментов показали, что при использовании этого устройства значительно повышается эффективность обработки отверстий относительно использования классических методов получения отверстий в изделиях из ПКМ. В особенности это проявляется в производительности работы за счет использования относительно большого количества режущих элементов (зубьев фрез) с разнонаправленными режущими кромками, в плане получения высокого качества обработанной поверхности отверстия, которое достигается уравниванием сил и крутящих моментов, действующих на изделие.

Также затронуты в статье проблемы и актуальное направление их решений, позволяет сделать вывод о необходимости дальнейших разработок и исследований по данному вопросу в плане усовершенствования конструкции (например, регулировка величины нарезаемого отверстия, нарезка отверстия в сплошном материале и т.п.), геометрии зубьев дисковых фрез и их износа, назначения оптимальных режимов резания для каждого вида ПКМ при различном припуске на обработку и исследования степени деструкции поверхностного слоя и т.п.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Крыжановский, В.К. Производство изделий из полимерных материалов [Текст]: учеб. пособие / В.К. Крыжановский, М.Л. Кербер, В.В. Бурлов, А. Д. Паниматческо. – СПб: Профессия, 2004. – 464 с.
2. Степанов, А.А. Обработка резанием высокопрочных полимерных композитов [Текст] / А.А. Степанов. – Л.: Машиностроение, 1987. – 176 с.
3. Криштопа, Н.А. Обработка отверстий в композитных и неметаллических материалах [Текст] / Н.А. Криштопа, С.П. Радзевич, А.И. Бобко. – К.: Техніка, 1980. – 126 с.
4. Davim, J. Paulo. Machining: fundamentals and recent advances [Text] / J. Paulo Davim. Springer-Verlag London Limited, 2008. – 368 p.
5. Наука и образование: высокоэффективные технологии обработки изделий из полимерных материалов [Электронный ресурс] / В.М. Ярославцев. – Режим доступа: URL: <http://technomag.edu.ru/doc/361759.html>. – Дата доступа: 08.08.2013.
6. Тарасюк, А.П. Про напрям проектування механообробного устаткування [Текст] / А.П. Тарасюк, Ю.І. Сичов, В.В. Самчук, Б.Г. Лях, І.С. Аракелян // Машинобудування: збірник наукових праць. Випуск 10 – Харків: УІПА, 2012. – 128-140 с.
7. Сичов, Ю.І. Розробка безвібраційних обробних комплексів [Текст] / Ю.І. Сичов, А.П. Тарасюк, Б.Г. Лях, В.В. Самчук // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – Харьков: Технологический Центр, 2011. – № 3/7 (51). – С. 46–49.
8. Сичов, Ю.І. Пристрій для безвібраційного механічного розпилювання матеріалу [Текст] / Ю.І. Сичов, А.П. Тарасюк, В.В. Самчук, Б.Г. Лях, І.С. Аракелян // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – Харьков: Технологический Центр, 2012. – № 2/7 (56). – С. 70–73.
9. Сичов, Ю.І. Пристрій для безвібраційної обробки отворів [Текст] / Ю.І. Сичов, А.П. Тарасюк, В.В. Самчук, Б.Г. Лях, І.С. Аракелян // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – Харьков: Технологический Центр, 2011. № 6/7 (54). – С. 33–46.
10. Грановский, Г.И. Кинематика резания [Текст] / Г.И. Грановский. – М.: Госуд. науч.-техн. изд. маш. лит., 1948. – 110 с.
11. Ящерицын, П.И. Ротационное резание материалов [Текст] / П.И. Ящерицын, А.В. Борисенко, И.Г. Дривотин, В.Я. Лебедев // Мн.: Наука и техника, 1987. – 229 с.

Материал поступил в редакцию 28.08.13

SAMCHUK V.V. The quality improvement of holes in goods made of polymeric composite materials (PCM)

During the past 10 years composite materials production has reached high volumes, among them composites made of polymeric materials take the significant place. While making goods of PCM the necessity to process holes of a little bit large diameter can often arise, they processed by means of boring, but this task is complicated in making holes in goods of not rotary bodies. In article the device design is considered when using which will increase quality of holes in goods made of PCM. The work of which consists in of force balance of cutting, acting on the processed surface from the side of cutting device.

УДК 621.9.025.7

Левданский А.М., Левданский С.А.

ОБРАБОТКА РЕЗЦОМ С МЕХАНИЧЕСКИМ КРЕПЛЕНИЕМ ВСТАВКИ ИЗ ИСКУССТВЕННОГО АЛМАЗА АЛЮМИНЕВО-МАГНИЕВО-КРЕМНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Введение. Переход к рыночным отношениям в экономике выдвинул на передний план проблемы, связанные с выпуском конкурентоспособной продукции машиностроения.

Обработка резанием остается наиболее распространенным способом чистового формообразования в промышленности. В силу этого процессы и явления, имеющие место в технологических станочных системах, являются объектом постоянного изучения и оптимизации.

При автоматической обработке деталей для получения большой точности геометрических размеров и высокого класса чистоты поверхностей необходимо иметь такой режущий инструмент, который обладал бы высокой размерной стойкостью. Этим требованиям удовлетворяет алмазный режущий инструмент.

Инструменты из кристаллов алмаза используются в металлообрабатывающей промышленности для тонкого точения и

расточивания, фрезерования, гравирования, волочения и резки стекла; в оптико-механической промышленности.

Особенно эффективно применение алмазных резцов при точении цветных металлов, сплавов (в частности силуминов). В этой связи актуальной становится проблема, связанная с созданием научных основ технологии обработки точных поверхностей алмазными резцами. А также поиск путей повышения эффективности технологического процесса алмазного точения, разработка новых способов управления предшествующей и окончательной обработки, расширение технологических возможностей оборудования и режущего инструмента.

Изготовленную ранее конструкцию сборного резца со вставками из искусственных алмазов [1] опробовали на работоспособность. Испытания проводились в мастерских нашего университета. В качестве оборудования использовался румынский токарно-винторезный

Левданский Алексей Маратович, ст. преподаватель кафедры технологии машиностроения Брестского государственного технического университета.

Левданский Сергей Алексеевич, студент заочного факультета Брестского государственного технического университета. Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.