

УДК 621.9.04; 621.91

DOI: 10.22213/2413-1172-2024-4-90-100

Исследование и разработка рекомендаций по совершенствованию технологии изготовления и подготовки к эксплуатации твердосплавного режущего инструмента

В. Л. Корюхин, аспирант, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

С. А. Шилев, доктор технических наук, доцент, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

А. В. Щенятский, доктор технических наук, профессор, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

Анализ существующих технологических методов изготовления и подготовки к эксплуатации твердосплавного режущего инструмента показал, что низкая работоспособность твердосплавного инструмента связана с отказами по следующим причинам: разрушение целостности режущей части инструмента; потеря формы режущей части инструмента, а также физико-химическое изнашивание контактных площадок режущего инструмента. Установлено, что на качество пайки напаянных твердосплавных пластин влияет большое количество факторов, таких как марка материала корпуса державки; материал твердосплавной пластинки; марка припоя и флюса; характеристики и мощность индуктора; расстояние между индуктором и зоной пайки; степень смачивания свариваемых поверхностей и др. Работа посвящена вопросам совершенствования технологии изготовления и подготовки к эксплуатации твердосплавного режущего инструмента с целью повышения его производительности, износостойкости, надежности и экономической эффективности. Проведен анализ рекламаций о выявленном несоответствии качества изготовленного инструмента с напаянными твердосплавными пластинами, который показывает несоответствие требованиям нормативно-технической документации в части паяного шва. Основная причина разрушения резов – нарушение технологии пайки – непропай. Проведен обзор работ в области повышения эксплуатационных характеристик режущего инструмента с пластинами из твердого сплава, при этом вопросы, связанные с процессами пайки и подготовки поверхностей под пайку, не решены в полном объеме. Для предотвращения образования дефектов пайки инструмента с пластинами из твердого сплава в первую очередь необходимо строгое соблюдение технологии сварки, а также надежный контроль качества в процессе производства. Проведенные исследования позволяют сформулировать основные вопросы, связанные с разработкой актуализированной технологической инструкции, учитывающей требования нормативно-технической документации.

Ключевые слова: режущие инструменты, напаянные твердосплавные пластины, износостойкость инструментов, твердые сплавы, металлообработка.

Введение

Эффективность качества обработки, обеспечение необходимых параметров режущего инструмента и повышение его эксплуатационных характеристик остаются актуальными в настоящее время. В развитии промышленного производства необходимо повышать эффективность процессов металлообработки, при этом высокие требования, предъявляемые к режущему инструменту, заставляют много работать над технологией пайки, так как невозможно иметь высококачественный недорогой инструмент без прочного паяного шва [1, 2].

При эксплуатации режущий инструмент с напаянными твердосплавными пластинами подвергается высоким нагрузкам, таким как высокая температура при резании и механическая нагрузка при резании, приводящим к скалыванию и отлипанию пластин. Чаще всего причиной поломки является низкое качество пайки.

При изготовлении различных инструментов для токарного и фрезерного оборудования довольно часто в качестве режущей кромки используются твердосплавные напаянные пластины. Они позволяют существенно повысить скорость резания и увеличить подачу, увеличивают срок службы самого инструмента. Напайка твердосплавных пластин проводится в промышленных условиях. Данный этап производства режущего инструмента является наиболее ответственным, так как в случае нарушения режимов пайки, твердосплавные напаянные пластины могут отскочить от основания режущего инструмента.

В настоящее время пайка твердосплавных пластин выполняется в соответствии с требованиями технологической инструкции, разработанной на предприятии. Технологическая инструкция разработана с целью определения единых требований к проведению процесса пайки

инструмента с пластинами из твердого сплава и определяет требования к деталям, материалам, рабочему инструменту (оснастке), оборудованию, персоналу контролю качества при проведении процесса пайки.

Цель исследования – разработка рекомендаций по совершенствованию технологии изготовления и подготовки к эксплуатации твердо-

сплавного режущего инструмента с напаянными пластинами с учетом требований нормативно-технической документации и передового опыта в данном направлении.

Объектом исследования в рамках данной работы являются режущие инструменты с напаянными твердосплавными пластинами производства ПАО «Ижнефтемаш» (табл. 1).

Таблица 1. Режущие инструменты с напаянными твердосплавными пластинами производства ПАО «Ижнефтемаш»

Table 1. Cutting tools with brazed carbide plates manufactured by PJSC Izhneftemash

Наименование инструмента	Державка	Пластина твердосплавная
Резец УС 2217-4034/3	Сталь 45 ГОСТ 4543–2016	Пластина 70561 ГОСТ 25396–90 ВК8; Пластина 70561 ГОСТ 25396–90 Т5К10
Резец УС 2217-4033/2	Сталь 45 ГОСТ 4543–2016	Пластина 70551 ГОСТ 25396–90 Т5К10;
Резец 2130-0005 ГОСТ 18884–73	Сталь 45 ГОСТ 4543–2016	Пластина 13532 ГОСТ 17163–90 Т5К10
Фреза шпоночная 2235-0203	Сталь 45 ГОСТ 4543–2016	Пластина 21270 ГОСТ 25400–90 Т5К10; Пластина 21290 ГОСТ 25400–90 Т5К10; Пластина 21270 ГОСТ 25400–90 Т15К6; Пластина 21290 ГОСТ 25400–90 Т15К6
Фреза УС 2223-4004	Сталь 45 ГОСТ 4543–2016	Пластина 36030 ГОСТ 25414–90 Т5К10; Пластина 36130 ГОСТ 25414–90 Т5К10
Фреза УС 2223-4245	Сталь 45 ГОСТ 4543–2016	Пластина 36430 ГОСТ 25414–90 ВК8; Пластина 36450 ГОСТ 25414–90 ВК8

Анализ качества изготовленного инструмента с напаянными твердосплавными пластинами

Технические требования, предъявляемые к режущему инструменту с напаянными твердосплавными пластинами, устанавливаются в соответствии с требованиями ГОСТ 5688–2015 «Резцы с твердосплавными пластинами. Технические условия», в том числе с учетом требований, заявленных ПАО «Ижнефтемаш»:

- в качестве основного материала державки для всех изготавливаемых на заводе фрез и резцов применяется сталь 45 ГОСТ 4543–2016 (заложено в КД). В качестве замены, по причине отсутствия нормативного материала, могут использоваться марки стали 40Х, 38ХМА, 35;

- применяемые твердосплавные пластины марок Т5К10, Т15К6 и ВК8;

- выступание пластины должно быть не более: 0,5 мм при толщине пластины до 5 мм включительно; 1,0 – при толщине пластины S свыше 5 мм. Выступание пластины у отрезных и прорезных резцов должно быть не более 0,5 мм. Глубина паза под пластину на державках резцов должна составлять 0,5...0,75 толщины пластины. Для резцов с сечением державок до 12×12 мм включительно или с диаметром державок до 12 мм включительно глубина паза может быть равной толщине пластины. Глубина паза под пластину у отрезных резцов должна быть равна толщине пластины;

- шероховатость поверхностей гнезда под пластину $Rz \leq 20$ мкм (Ra 3,2);

- разрывы паяного шва между опорными поверхностями пластины и державки не должны превышать 10 % видимой длины паяного шва на

проходных и подрезных резцах и 5 % на прорезных и отрезных резцах. Разрывы паяного шва под главной режущей кромкой не допускаются;

- на боковых опорных поверхностях пластины общая длина разрывов не должна превышать 50 % длины паяного шва. Допускаются остатки припоя на державке под пластиной на задних и передних поверхностях резцов в том случае, если указанные поверхности выходят за державку;

- на передней и задней поверхностях, образующих режущую кромку и округление вершины, трещины, выкрашивания и следы припоя не допускаются;

- на нерабочих кромках и углах допускаются выкрашивания, значение которых должно быть не более указанных в ГОСТ 5688–2015 «Резцы с твердосплавными пластинами. Технические условия»;

- средний период стойкости резцов должен быть не менее 45 мин, установленный период стойкости – не менее 20 мин при условиях испытаний, указанных в разделе 6 ГОСТ 5688–2015;

- критерием затупления является достижение износа по задней поверхности, указанного в ГОСТ 5688–2015, например, при обработке стальных заготовок проходными прямыми, отогнутыми, упорными и подрезными резцами величина допустимого износа по задней поверхности составляет 0,8 мм.

В процессе эксплуатации режущего инструмента с напаянными пластинами из твердого сплава периодически выявляются недостатки его изготовления. В таблице 2 приведены результаты анализа рекламаций о выявленном несоответствии качества изготовленного инструмента.

Таблица 2. Результаты анализа деталей (образцов) инструментов с напаянными твердосплавными пластинами производства ПАО «Ижнефтемаш»

Table 2. Results of the analysis of parts (samples) of tools with brazed carbide plates manufactured by PJSC Izhneftemash

Реквизиты акта	Объект исследования (анализа)	Результаты анализа	Заключение
Акт от 15.07.2021 № 13/1	Р37-2011 резец расточной плавающий, 10 шт.	<p><i>Резец 1.</i> Пластина твердого сплава полностью отсутствует. По местам пайки непропай около 80 %.</p> <p><i>Резец 2.</i> В работе произошел скол и утеря части твердосплавной пластины. Характер излома пластины фарфоровидный, чистый. По местам отрыва пластины более 50 % непропай.</p> <p><i>Резец 3.</i> Пластина твердого сплава частично утеряна. По состоянию пропавших плоскостей виден непропай более 50 %.</p> <p><i>Резец 4.</i> В работе произошел скол и потеря части твердосплавной пластины. Характер излома пластины фарфоровидный, чистый. Непропай до 60 % площади пайки.</p> <p><i>Резцы 5,6,7,8.</i> Пластины твердого сплава отсутствуют.</p> <p><i>Резцы 9,10.</i> Пластины твердого сплава отсутствуют, износ державки до разрушения, вызванного бесконтрольной работой резца.</p> <p><i>Резец 10</i> с маркировкой «УОМЗ ВК8» (не нашего предприятия).</p> <p>Имеются 5 фрагментов твердосплавных пластин с непропаем до 100 %</p>	Несоответствие ГОСТ 5688–2015 «Резцы с твердосплавными пластинами. Технические условия» в части паяного шва

Продолжение табл. 2

Table 2 (continued)

Реквизиты акта	Объект исследования (анализа)	Результаты анализа	Заключение
Акт от 25.06.2021 № 0280/2021	2125324 резец проточной 40×25×135 с пластиной № 61151 Т5К10 ГОСТ 25395–90, 160 шт.; 2102940 резец проточной правый Р21-2015 № 61431 ВК8, 20 шт.; 2102199 резец проточной правый Р21-2011 № 61431 Т5К10 40×32, 20 шт.	Фактически разрыв паяного шва превышает 10 %	Несоответствие ГОСТ 5688–2015 «Резцы с твердосплавными пластинами. Технические условия» в части паяного шва
Акт от 01.07.2021 № 0302/2021	2102198 Резец расточной Р2-2011 № 61151 Т5К10 25×32, 160 шт.	Фактически разрыв паяного шва превышает 50 %	Несоответствие ГОСТ 5688–2015 «Резцы с твердосплавными пластинами. Технические условия» в части паяного шва
Акт от 05.08.2021 № 0371/2021	2125324 резец проточной 40×25×135 с пластиной № 61151 Т5К10 ГОСТ 25395–90 чертеж Р21-2020, 160 шт.	Фактически разрыв паяного шва превышает 10 %	Несоответствие ГОСТ 5688–2015 «Резцы с твердосплавными пластинами. Технические условия» в части паяного шва
Акт от 07.06.2021 № 0464/2021	Резец расточной плавающий L70ММ Т5К10 чертеж Р37-2011 (2125319), 250 шт.	При расточке заготовки 300×20 марки стали 17Г1С наблюдается повышенный расход резцов. Это связано с тем, что пластина отваливается по напайке. Также у некоторых резцов есть зазор между пластиной и державкой	Несоответствие ГОСТ 5688–2015 «Резцы с твердосплавными пластинами. Технические условия» в части паяного шва
Акт от 04.06.2021 № 051	Резец расточной плавающий L70ММ Т5К10 чертеж Р37-2011 (2125319), 250 шт.	При расточке заготовки 300×20 марки стали 17Г1С наблюдается повышенный расход резцов. Это связано с тем, что пластина отваливается по напайке. Также у некоторых резцов есть зазор между пластиной и державкой	Несоответствие ГОСТ 5688–2015 «Резцы с твердосплавными пластинами. Технические условия» в части паяного шва
Акт от 22.06.2021 № 0280/2021	2125324 Резец проточной 40×25×135 с пластиной № 61151 Т5К10 ГОСТ 25395–90, 160 шт.; 2102940 резец проточной правый чертеж Р21-2015 № 61431 ВК8, 20 шт.; 2102199 резец проточной правый Р21-2011 № 61431 Т5К10 40×32, 20 шт.	Фактически разрыв паяного шва превышает 10 %	Несоответствие ГОСТ 5688–2015 «Резцы с твердосплавными пластинами. Технические условия» в части паяного шва
Акт от 14.07.2021 № 0327/2021	2102198 резец расточной Р2-2011 № 61151 Т5К10 25×32, 160 шт.	Фактически разрыв паяного шва превышает 50 %. При транспортировке у одного резца произошло отделение пластины от державки. 2. Фактически разрыв паяного шва превышает 10 %.	Несоответствие ГОСТ 5688–2015 «Резцы с твердосплавными пластинами. Технические условия» в части паяного шва
Акт от 06.07.2021 № 0302/2021	2102198 резец расточной Р2-2011 № 61151 Т5К10 25×32, 160 шт.	Фактически разрыв паяного шва превышает 50 %	Несоответствие ГОСТ 5688–2015 «Резцы с твердосплавными пластинами. Технические условия» в части паяного шва

Окончание табл. 2

Table 2 (continued)

Реквизиты акта	Объект исследования (анализа)	Результаты анализа	Заключение
Акт от 02.08.2021 № 0371/2021	2125324 резец проточной 40×25×135 с пластиной № 61151 Т5К10 ГОСТ 25395–90 чертеж Р1-2020, 160 шт.	Фактически разрыв паяного шва превышает 10 %	Несоответствие ГОСТ 5688–2015 «Резцы с твердосплавными пластинами. Технические условия» в части паяного шва

Анализ результатов рекламаций о выявленном несоответствии качества изготовленного инструмента с напаянными твердосплавными пластинами производства ПАО «Ижнефтемпаш» показывает несоответствие их ГОСТ 5688–2015 «Резцы с твердосплавными пластинами. Технические условия» в части паяного шва. Основная причина разрушения резцов – нарушение технологии пайки (непропай 50...100 % площади). Такие резцы нельзя использовать на производстве. В связи с этим задача по совершенствованию технологии изготовления и подготовки к эксплуатации твердосплавного режущего инструмента с целью повышения его износостойкости и надежности путем оптимизации условий пайки твердосплавных пластин с конструктивными сталями является актуальной задачей металлообрабатывающих производств.

Обзор литературы по вопросам повышения эксплуатационных характеристик режущего инструмента с пластинами из твердого сплава

Вопросам повышения эксплуатационных характеристик режущего инструмента посвящено большое количество работ.

Например, возможное решение проблемы повышения режущих свойств инструмента путем выбора рационального сочетания параметров твердых сплавов приведено в [3–5] предложен способ повышения стойкости резцов за счет равномерного изнашивания задних поверхностей, приведена методика определения степени изнашивания сменных многогранных пластин.

Эффективность механической обработки деталей из авиационных материалов путем применения специализированных и специальных конструкций концевых фрез с напаянными пластинками твердых сплавов винтовой формы показана в работе [6].

Экспериментальные исследования по повышению эффективности и стойкости резцов, оснащенных режущей керамикой, при резании труднообрабатываемых сталей показали, что при использовании изоляции резцов от термо-

ЭДС во время точения труднообрабатываемых сталей и обильного охлаждения зоны контакта «заготовки и режущего инструмента», а также упрочнения поверхностного слоя пластин азотом, которыми оснащены резцы, и применения рациональных режимов резания получено повышение эффективности коэффициента стойкости в 6,8 раза [7, 8].

Повысить в 1,5...2 раза период стойкости твердосплавных сменных пластин при точении труднообрабатываемых нержавеющей сталей возможно при использовании инновационных технологий на основе плазменных процессов нанесения покрытий методом конденсации с ионной бомбардировкой [9], путем повышения абразивной износостойкости твердосплавных режущих инструментов вследствие лазерного упрочнения [10], а также применением пневмодробеструйной обработки передней поверхности твердосплавных пластинок после окончательной заточки и доводки [11].

Одной из важных задач при изготовлении инструмента с напаянными твердосплавными пластинами является подготовка поверхности твердосплавной пластины для пайки сверхтвердого материала, которая определяет надежность крепления сверхтвердого материала. В работе [12] представлены результаты исследования влияния электроэрозионной обработки твердосплавных пластин на элементный состав, качество их поверхности и вакуумную пайку режущих элементов из сверхтвердого материала, разработанного для обработки твердозакаленных сталей и чугунов. Для подготовки поверхности твердосплавной пластины с помощью электроэрозионной обработки использовались графитовый и медный электроды, а также латунная проволока.

В работе [13] рассматривается процесс индукционной пайки алмазно-твердосплавных резцов различными серебряными припоями и флюсами с разной долей активных веществ. На основе исследований влияния нагрева при пайке на термостабильность поликристалличе-

ского алмаза разработана методика испытаний паяных резцов и получены результаты зависимости износа от применяемых припоев и режима пайки. Установлено, что при выдержке свыше 800 °С более 1 минуты происходит деструкция алмазной пластины. Из-за повышенного легирования серебряных припоев марганцем и никелем обнаружена зависимость смачивания припоями поверхности твердосплавной подложки твердосплавных резцов от состава фторборатного флюса. Лучшие результаты получаются при использовании флюса ПВ209 или ПВ209Х, имеющие более низкое содержание фтора. Установлено, что при выборе припоев следует отдавать предпочтение сплавам на основе серебра с температурой плавления не выше 700 °С, легированных марганцем и никелем, при этом возможно снижение содержания серебра в припоях с 49 до 38 % с сохранением высоких свойств паяных соединений.

Проведенные исследования влияние температуры пайки на работоспособность алмазно-твердосплавных пластин и алмазно-твердосплавных резцов [14] показали, что применение медно-цинковых и медно-марганцовистых припоев для пайки составного резца не является оптимальным из-за высокой температуры нагрева, что приводит к резкой деградации физико-механических свойств алмазного слоя алмазно-твердосплавных пластин вследствие графитизации. Разработанный технологический процесс пайки алмазно-твердосплавных пластин позволяет осуществлять пайку алмазно-твердосплавных резцов без перегрева алмазного слоя алмазно-твердосплавных пластин и сохранить его эксплуатационные характеристики на высоком уровне. Технология пайки алмазно-твердосплавных резцов с охлаждением алмазного слоя позволяет применять припой с температурой пайки более 700 °С без потери работоспособности этого слоя. В результате обобщения комплекса испытаний сделан вывод, что наиболее перспективными являются системы припоев Ag-Cu-Zn-Sn-Ni-Mn и Ag-Cu-Zn-Ni-Mn-Pd.

Влияние электроэрозионной обработки поверхности твердосплавных пластин на их фазовый состав и пайку режущих элементов из нитридной керамики показано в работе [15], где на основе анализа влияния электроэрозионной обработки поверхности твердосплавных пластин на их фазовый состав и вакуумную пайку режущих элементов из сверхтвердой нитридной керамики показано, что наилучшие результаты при электроэрозионной обработке твердосплавной пластины и наиболее прочное сцепление

спаиваемых материалов достигаются при использовании медного электрода и латунной проволоки, так как при этом обеспечиваются максимальное смачивание поверхности пластины припоем на основе Cu-Ti-Sn и отсутствие пор. Соединение твердосплавной резцовой пластины и керамического режущего элемента производилось методом высокотемпературной пайки в вакууме.

Для пайки различного инструмента из твердосплавных пластин и пластин из быстрорежущих сталей рекомендуется применение высокоэффективных индукторов; припоев повышенной пластичности; высокоэффективных флюсов; рациональных методов фиксации твердосплавных пластин (и пластин из быстрорежущих сталей) к державкам; использование оптимальных режимов нагрева под пайку инструмента; применение последующей термообработки инструмента, контроль качества изготовления инструментов и его упрочнение при необходимости [16]. При этом при изготовлении режущего инструмента с напаянными пластинами из твердого сплава, большое значение имеют и вопросы снижения внутренних остаточных напряжений, возникающих в скрепляемых материалах путем напайки твердосплавных пластин к стальной державке с последующей их заточкой. Эти напряжения тоже могут служить причиной образования трещин, быть причиной брака и снижения износостойкости резцов, фрез и других инструментов. Причиной возникновения внутренних остаточных напряжений (при нарушении технологий пайки твердосплавных пластин) чаще всего являются различные значения коэффициентов линейного расширения стали (стальной державки) и твердых сплавов. Коэффициенты линейного расширения твердых сплавов в 2...3 раза меньше коэффициента линейного расширения стали. В работе [17] описан метод прогнозирования остаточных и рабочих напряжений в плоской инструментальной вставке из безвольфрамовых твердых сплавов, спаянных железоуглеродистым сплавом. По результатам исследований сделан вывод о том, что рекомендации по ограничению температуры плавления инструментальных припоев (по разным данным 950...1100 °С) связаны с негативным влиянием на инструмент как композит из разнородных материалов, а не на твердые сплавы как инструментальный материал. В процессе охлаждения в паяном соединении разнородных материалов неизбежно возникают напряжения, которые возрастают с повышением температуры затвердевания припоя.

В работе [18] показана технология последовательности формирования слоистого композитного покрытия на поверхности подложки, состоящей из адгезионного слоя, представляющего собой припой состава CuMnCo и основного функционального слоя на основе сплавов с термоупругими фазовыми превращениями TiNiZr. Сплавы получены с использованием технологии высокоскоростного газопламенного напыления с последующей обработкой подложки с композитным покрытием слоистого типа токами высокой частоты (ТВЧ), обеспечивают нагрев покрытия и поверхности детали до температуры плавления адгезионного слоя CuMnCo ($T_{пл} = 1030$ °С). Предложен способ получения на поверхности деталей покрытий с повышенной адгезионной прочностью с использованием в качестве адгезионного слоя сплава соответствующему составу припоя с последующей обработкой ТВЧ. Такой адгезионный слой на поверхности деталей обеспечивает растекание и смачивание его с контактируемыми с ним поверхностями. При этом указано, что данная технология может обеспечить также высокую адгезионную прочность для покрытий, формируемых из керамических порошковых материалов, что может решить проблему применения технологий газотермического напыления для получения функциональных слоев из керамических материалов.

Одним из возможных методов повышения прочности паяного соединения державки резца и твердосплавной пластины является добавление нового слоя материала и его дальнейшее плавление (спекание) [19], обеспечивающего сцепление твердосплавной пластины с державкой резца.

Однако при использовании подобных методов подготовки поверхностей под пайку с использованием дополнительных слоев, обладающих повышенной адгезионной прочностью, необходимо учитывать особенности процесса пайки инструмента на установках ТВЧ: возможная усадка; коэффициенты температурного расширения соединяемых материалов; возможные объемные изменения материалов; плотность адгезионного слоя и методы его получения, а также подбор состава припоя для соединяемых материалов с возможностью обеспечения протекания процессов пайки, что позволит повысить химическую и механическую составляющие адгезии и, как следствие, эксплуатационные характеристики получаемого твердосплавного инструмента.

Методы исследования

Проведенный анализ показывает, что низкая работоспособность твердосплавного инструмента связана с отказами по следующим причинам: разрушение целостности режущей части инструмента; потеря формы режущей части инструмента; физико-химическое изнашивание контактных площадок режущего инструмента. При этом вопросы, связанные с процессами пайки и подготовки поверхностей под пайку, не решены в полном объеме.

Анализируя дефекты пайки и причины их возникновения, можно утверждать, что для предотвращения образования дефектов в первую очередь необходимо строгое соблюдение технологии сварки и надежный контроль качества в процессе производства. При этом одним из ключевых моментов является разработка и внедрение систем автоматизации технологической подготовки производства, таких как выбор оборудования, режимов резания, заготовки, режущего и измерительного инструмента и оснастки [20] с учетом особенностей процесса изготовления твердосплавного режущего инструмента.

В настоящее время напайка твердосплавных пластин выполняется в соответствии с требованиями технологической инструкции, разработанной на предприятии. Технологическая инструкция, разработанная с целью определения единых требований к проведению процесса пайки инструмента с пластинами из твердого сплава, на данный момент не определяет требования к деталям, материалам, рабочему инструменту (оснастке), оборудованию, персоналу и контролю качества при проведении процесса пайки.

В результате проведенного литературного обзора по вопросам повышения эксплуатационных характеристик режущего инструмента с пластинами из твердого сплава проанализировано достаточное количество технологических решений по совершенствованию технологии изготовления и подготовки к эксплуатации твердосплавного режущего инструмента с целью повышения его производительности, износостойкости, надежности и экономической эффективности. При этом в качестве аналогов возможно использование принципов работы комбинированного инструмента для обработки отверстий: технологическая инструкция пайки инструмента с твердосплавными пластинами и карта технологических процессов изготовления режущих инструментов; применяемый в настоящее время на производстве способ из-

готовления твердосплавного инструмента (патент № 1822041); способ пайки деталей, одна из которых выполнена из карбида титана или сплавов на его основе (патент № 2278007); способ термической обработки режущего инструмента с напаянной твердосплавной пластиной (патент № 2517093).

Проведенные исследования позволяют сформулировать основные направления, связанные с разработкой технологической инструкции, учитывающей требования нормативно-технической документации, разработки Всероссийского научно-исследовательского и проектного института тугоплавких металлов и твердых сплавов и опыта по внедрению разработанной технологии пайки и термообработки металло-режущего инструмента на предприятиях различных отраслей промышленности, ОАО «Кировоградский завод твердых сплавов» и др.

1. Разработка технологии пайки с целью улучшения соединения пластин с телом инструмента.

2. Разработка и проведение экспериментальных исследований с определением эффективности использования разработанного твердосплавного режущего инструмента.

3. Разработка технологических рекомендаций по применению твердосплавного режущего инструмента при точении различных конструктивных материалов.

Технологический процесс пайки инструмента при этом должен включать следующие операции:

- подготовка пластин твердого сплава:
 - входной контроль твердого сплава,
 - очистка от оксидной пленки,
 - проверка на смачиваемость;
- подготовка корпусов инструмента:
 - промывка или дробеструйная очистка;
- подготовка припоя и флюса к пайке:
 - нарезка пластинок припоя и компенсационных прокладок,
 - приготовление флюса к пайке;
- пайка;
- охлаждение, релаксация инструмента;
- очистка инструмента после пайки:
 - промывка в горячей воде и дробеструйная очистка,
 - очистка от остатков натеков или припоя;
- заточка;
- контроль качества пайки и заточки. Качество пайки контролируется 100%-м видимым осмотром инструмента.

Обработка новой технологии включает:

- методику подготовки инструмента и пластин под пайку, требования к качеству поверх-

ностей, анализ сочетаемости материала державки инструмента и твердосплавной пластины;

- методику выбора и подготовки припоя и флюса для пайки твердосплавного инструмента;

- методику пайки инструмента на установках ТВЧ, при этом при пайке инструмента на установках ТВЧ необходимо применять индуктора, обеспечивающие равномерный, преимущественно от корпуса инструмента, нагрев твердого сплава. Необходимо отработать температурные и скоростные режимы процесса пайки, включая нагрев и охлаждение;

- технологическое оснащение, позволяющее автоматизировать процесс пайки и исключать человеческий фактор;

- контрольные мероприятия на каждом этапе процесса изготовления инструмента.

Выводы

Анализ существующих технологических методов изготовления и подготовки к эксплуатации твердосплавного режущего инструмента показал, что низкая работоспособность твердосплавного инструмента связана с отказами по следующим причинам: разрушение целостности режущей части инструмента; потеря формы режущей части инструмента; физико-химическое изнашивание контактных площадок режущего инструмента.

Установлено, что на качество пайки напаянных твердосплавных пластин влияет большое количество факторов, таких как марка материала корпуса державки; материал твердосплавной пластинки; марка припоя и флюса; характеристики и мощность индуктора; расстояние между индуктором и зоной пайки; степень смачивания свариваемых поверхностей и др.

Проведенные исследования показали, что при пайке инструмента на установках ТВЧ необходимо применять индукторы, обеспечивающие равномерный, преимущественно от корпуса инструмента, нагрев твердого сплава. Зазор между индуктором и корпусом инструмента должен быть в пределах 5...10 мм. Детали нагреваются и паяются в установке ТВЧ на частоте 60...66 кГц. Сначала нагревается державка до 700...800 °С, затем нагревается остальная часть детали, продвигая ее в индуктор. Между деталью и инструментом поддерживается зазор 10...15 мм. Скорость нагрева определяется толщиной пластинки и марки сплава. Средняя скорость нагрева под пайку не должна превышать 10 °С/с. Окончательный разогрев державки должен быть равен температуре плавления припоя. После заполнения всех пустот припоем

инструмент необходимо вынуть из индуктора и подправить пластину, чтобы под ней не оставалось пустот.

Библиографические ссылки

1. Hao T., Du J., Su G. (2020) Mechanical and cutting performance of cemented carbide tools with Cr/x/DLC composite coatings. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 106, no. 11, pp. 5241-5254. DOI: 10.1007/s00170-020-05014-5. EDN EIRQGN.
2. Rechenko D.S., Popov A.Y., Balova D.G., Gritsenko B.P. (2018) Research on the high quality replacement carbide plates operability with Al-Si-N hardening coating. *Journal of Physics*, vol. 1050, p. 012067. DOI: 10.1088/1742-6596/1050/1/012067. EDN YBIZWX.
3. Vereshchaka A.A., Tabakov V.P., Grigoriev S.N. (2018) Investigation of wear and diffusion processes on rake faces of carbide inserts with Ti-TiN-(Ti,Al,Si)N composite nanostructured coating. *Wear*, vol. 416-417, pp. 72-80. DOI: 10.1016/j.wear.2018.10.004. EDN YYICJN.
4. Vereschaka A., Tabakov V., Grigoriev S. (2020) Investigation of the influence of the thickness of nanolayers in wear-resistant layers of Ti-TiN-(Ti,Cr,Al)N coating on destruction in the cutting and wear of carbide cutting tools. *Surface and Coatings Technology*, vol. 385, pp. 125402. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2020.125402. EDN IDPDNS.
5. Fedotov I.V., Suchkov A.N., Ivannikov A.A. (2023) Active Brazing of Silicon Carbide with Rapidly Quenched TiZrCuBe Filler Metal. *Journal of Materials Engineering and Performance*, vol. 32, no. 10, pp. 4691-4701. DOI: 10.1007/s11665-022-07413-z. EDN OLBVTT.
6. Балла О.М. Особенности проектирования и изготовления концевых фрез с напайными пластинками твердых сплавов винтовой формы для обработки деталей из авиационных материалов // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2018. Т. 22, № 11(142). С. 10–33. DOI: 10.21285/1814-3520-2018-11-10-33. EDN YPWUFF.
7. New manufacturing technology of carbide plates used in metal machining. *International Journal of Mechatronics and Applied Mechanics*, 2023, vol. I, no. 13. DOI: 10.17683/ijomam/issue13.29. EDN GJEQKO.
8. Твердосплавные пластины и покрытия к ним для точения труднообрабатываемых нержавеющей сталей / Б. Я. Мокрицкий, В. Ю. Шелковников, Э. С. Ситамов [и др.] // Транспортное машиностроение. 2022. № 1-2(1-2). С. 60–68. DOI: 10.30987/2782-5957-2022-01-02-60-68. EDN KHVZXY.
9. Korusenko P.M., Nesov S.N., Povoroznyuk S.N. (2020) The structure of composite coatings based on titanium nitride, formed using condensation with ion bombardment. *Journal of Physics*, vol. 1441, p. 012010. DOI: 10.1088/1742-6596/1441/1/012010. EDN BAGDDF.
10. Pinahin I.A., Yagmurov M.A., Vrublevskaia S.S. (2021) The Effect of Wear Resistance of Carbide Cutting Tools on the Technological Process Efficiency under Severe Cutting Conditions. *Journal of Friction and Wear*, vol. 42, no. 6, pp. 473-477. DOI: 10.3103/S1068366621060064. EDN DZKWM.
11. Влияние износостойкости твердосплавных режущих инструментов на эффективность технологического процесса при тяжелых условиях резания / И. А. Пинахин, М. Моради, М. А. Ягмуров [и др.] // Трение и износ. 2021. Т. 42, № 6. С. 717–724. DOI: 10.32864/0202-4977-2021-42-6-717-724. EDN HLPWLS.
12. Straka L., Kuchta P. (2023) Surface Quality of Carbide Metal After Electrical Discharge Machining. *International Journal of Engineering and Management Sciences*, vol. 8, no. 2, pp. 31-38. DOI: 10.21791/ijems.2023.2.4. EDN PVDNRH.
13. Pashkov I.N., Misnikov V.E., Morozov V.A. (2021) Influence of solder and flux composition on thermal stability of brazed PDC cutters. *Welding International*, vol. 35, iss. 1-3. DOI: 10.1080/09507116.2021.1963535. EDN EDMEVO.
14. Влияние состава припоя и флюса на термическую стабильность паяных PDC резцов / И. Н. Пашков, В. Е. Мисников, В. А. Морозов [и др.] // Сварочное производство. 2021. № 1. С. 44–50. DOI: 10.34641/SP.2021.1034.1.003. EDN XTZQZM.
15. Влияние электроэрозионной обработки поверхности твердосплавных пластин на их фазовый состав и пайку режущих элементов из нитридной керамики / В. С. Урбанович, Т. Д. Маликина, Е. О. Лавыш [и др.] // Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия физико-технических наук. 2019. Т. 64, № 3. С. 286–295. DOI: 10.29235/1561-8358-2019-64-3-286-295. EDN STWSLK.
16. Михайлов М. И., Самсонов Д. В., Струневская Н. В. Анализ прочности напаянных резцов при отрезке прибыли корпусной осесимметричной заготовки // Вестник Гомельского государственного технического университета им. П. О. Сухого. 2016. № 4 (67). С. 3–12. EDN XXQHXC.
17. Konovodov V.V., Valentov A.V., Retunskiy O.Yu., Esekuev Sh.B. (2016) Methods to Predict stresses in cutting inserts brazed using iron-carbon brazing alloy. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: All-Russia Scientific and Practical Conference on Materials Treatment: Current Problems and Solutions*, Yurga, November 26–28, 2015. IOP Publishing Ltd, 2016, p. 12026. DOI: 10.1088/1757-899X/125/1/012026. EDN VXXGTH.
18. Использование паяльного сплава cumnco для формирования адгезионного слоя, слоистого композитного покрытия (cumnco-tinizr) высокоскоростным газопламенным напылением с финишной ТВЧ-обработкой покрытия (cumnco-tinizr)-подложка (ст.45) для повышения адгезии / Э. Ю. Балаев, Д. А. Клепиков, В. Н. Елисеев, Г. В. Шилов // *International Journal of Advanced Studies*, 2022, vol. 12, no. 3, pp. 66-82. DOI: 10.12731/2227-930X-2022-12-3-66-82. EDN ZJXJZ.
19. Исследование влияния параметров селективного лазерного плавления на структуру и физико-механические свойства заготовки из нержавеющей хромоникелевой стали / А. А. Хлыбов, Д. А. Рябов,

А. А. Соловьев [и др.] // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2023. Т. 26, № 4. С. 33–41. DOI: 10.22213/2413-1172-2023-4-33-41. EDN CXEZPE.

20. Девятков Д. А., Чернова А. А. Оценка возможности автоматизации формирования технологических процессов в мелкосерийном производстве / Д. А. Девятков, // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2023. Т. 26, № 3. С. 67–74. DOI: 10.22213/2413-1172-2023-3-67-74. EDN BPFQQA.

References

- Hao T., Du J., Su G. (2020) Mechanical and cutting performance of cemented carbide tools with Cr/x/DLC composite coatings. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 106, no. 11, pp. 5241-5254. DOI: 10.1007/s00170-020-05014-5. EDN EIRQGN.
- Rechenko D.S., Popov A.Y., Balova D.G., Gritsenko B.P. (2018) Research on the high quality replacement carbide plates operability with Al-Si-N hardening coating. *Journal of Physics*, vol. 1050, p. 012067. DOI: 10.1088/1742-6596/1050/1/012067. EDN YBIZWX.
- Vereshchaka A.A., Tabakov V.P., Grigoriev S.N. (2018) Investigation of wear and diffusion processes on rake faces of carbide inserts with Ti-TiN-(Ti,Al,Si)N composite nanostructured coating. *Wear*, vol. 416-417, pp. 72-80. DOI: 10.1016/j.wear.2018.10.004. EDN YYICJN.
- Vereschaka A., Tabakov V., Grigoriev S. (2020) Investigation of the influence of the thickness of nanolayers in wear-resistant layers of Ti-TiN-(Ti,Cr,Al)N coating on destruction in the cutting and wear of carbide cutting tools. *Surface and Coatings Technology*, vol. 385, pp. 125402. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2020.125402. EDN IDPDNS.
- Fedotov I.V., Suchkov A.N., Ivannikov A.A. (2023) Active Brazing of Silicon Carbide with Rapidly Quenched TiZrCuBe Filler Metal. *Journal of Materials Engineering and Performance*, vol. 32, no. 10, pp. 4691-4701. DOI: 10.1007/s11665-022-07413-z. EDN OLHBTT.
- Balla O.M. (2018) [Features of design and manufacture of end mills with brazed plates of hard alloys of helical shape for machining parts from aviation materials]. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, vol. 22, no. 11, pp. 10-33 (in Russ.). DOI: 10.21285/1814-3520-2018-11-10-33. EDN YPWUFF.
- New manufacturing technology of carbide plates used in metal machining. *International Journal of Mechatronics and Applied Mechanics*, 2023, vol. I, no. 13. DOI: 10.17683/ijomam/issue13.29. EDN GJEQKO.
- Mokritsky B.Ya., Shelkovnikov V.Yu., Sitomov E.S. (2022) [Carbide plates and coatings for turning hard-to-machine stainless steels]. *Transportnoe mashinostroenie*, no. 1-2, pp. 60-68 (in Russ.). DOI: 10.30987/2782-5957-2022-01-02-60-68. EDN KHVZXY.
- Korusenko P.M., Nesov S.N., Povoroznyuk S.N. (2020) The structure of composite coatings based on titanium nitride, formed using condensation with ion bombardment. *Journal of Physics*, vol. 1441, p. 012010. DOI: 10.1088/1742-6596/1441/1/012010. EDN BAGDDF.
- Pinahin I.A., Yagmurov M.A., Vrublevskaya S.S. (2021) The Effect of Wear Resistance of Carbide Cutting Tools on the Technological Process Efficiency under Severe Cutting Conditions. *Journal of Friction and Wear*, vol. 42, no. 6, pp. 473-477. DOI: 10.3103/S1068366621060064. EDN DZKWM.
- Pinakhin I.A., Moradi M., Yagmurov M.A. (2021) [Effect of wear resistance of carbide cutting tools on the efficiency of the technological process under severe cutting conditions]. *Trenie i iznos*, vol. 42, no. 6, pp. 717-724 (in Russ.). DOI: 10.32864/0202-4977-2021-42-6-717-724. EDN HLPWLS.
- Straka L., Kuchta P. (2023) Surface Quality of Carbide Metal After Electrical Discharge Machining. *International Journal of Engineering and Management Sciences*, vol. 8, no. 2, pp. 31-38. DOI: 10.21791/ijems.2023.2.4. EDN PVDNRH.
- Pashkov I.N., Misnikov V.E., Morozov V.A. (2021) Influence of solder and flux composition on thermal stability of brazed PDC cutters. *Welding International*, vol. 35, iss. 1-3. DOI: 10.1080/09507116.2021.1963535. EDN EDMEVO.
- Pashkov I.N., Misnikov V.E., Morozov V.A. (2021) [Influence of solder and flux composition on thermal stability of brazed PDC cutters]. *Svarochnoe proizvodstvo*, no. 1, pp. 44-50 (in Russ.). DOI: 10.34641/SP.2021.1034.1.003. EDN XTZQZM.
- Urbanovich V. S., Malikina T. D., Lavyshe E. O. (2019) [Influence of electrical discharge machining of the surface of carbide plates on their phase composition and brazing of cutting elements made of nitride ceramics]. *Izvestiya Nacional'noj akademii nauk Belarusi. Seriya fiziko-tekhnicheskikh nauk*, vol. 64, no. 3, pp. 286-295 (in Russ.). DOI: 10.29235/1561-8358-2019-64-3-286-295. EDN STWSLK.
- Mikhailov M.I., Samsonov D.V., Strunevskaya N.V. (2016) [Analysis of the strength of brazed cutters when cutting off the riser of a block-shaped axisymmetric workpiece]. *Vestnik Gomel'skogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. P. O. Suhogo*, no. 4, pp. 3-12 (in Russ.). EDN XXQHXC.
- Konovodov V.V., Valentov A.V., Retuynskiy O.Yu., Esekuev Sh.B. (2016) Methods to Predict stresses in cutting inserts brazed using iron-carbon brazing alloy. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: All-Russia Scientific and Practical Conference on Materials Treatment: Current Problems and Solutions, Yurga, November 26-28, 2015. IOP Publishing Ltd, 2016, p. 12026. DOI: 10.1088/1757-899X/125/1/012026. EDN VXXGTH.
- Balaev E.Yu., Klepikov D.A., Eliseev V.N., Shilov G.V. (2022) [Using cumnco solder alloy to form an adhesive layer, a layered composite coating (cumnco-tinizr) by high-velocity flame spraying with finishing high-frequency current treatment of the coating (cumnco-tinizr)-substrate (Art. 45) to improve adhesion]. *International Journal of Advanced Studies*, vol. 12, no. 3, pp. 66-82 (in Russ.). DOI: 10.12731/2227-930X-2022-12-3-66-82. EDN ZJXJJZ.

19. Khlybov A.A., Ryabov D.A., Soloviev A.A. (2023) [Study of the influence of selective laser melting parameters on the structure and physical and mechanical properties of a stainless chromium-nickel steel work-piece. *Vestnik IzhGTU imeni M. T. Kalashnikova*, 2023, vol. 26, no. 4, pp. 33-41 (in Russ.). DOI: 10.22213/2413-1172-2023-4-33-41. EDN CXEZPE.

20. Deviatov D.A., Chernova A.A. (2023) [Assessment of the possibility of automation of the formation of technological processes in small-scale production]. *Vestnik IzhGTU imeni M. T. Kalashnikova*, 2023, vol. 26, no. 3, pp. 67-74 (in Russ.). DOI: 10.22213/2413-1172-2023-3-67-74. EDN BPFQA.

Research and Development of Recommendations for Improving the Technology of Manufacturing and Preparing for Operation of Hard-Alloy Cutting Tools

V.L. Koryukhin, Post-graduate, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia

S.A. Shilyaev, DSc in Engineering, Associate Professor, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia

A.V. Shchenyatsky, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia

Analysis of existing technological methods of manufacturing and preparation for operation of carbide cutting tools showed that low performance of carbide tools is associated with failures due to the following reasons: destruction of the integrity of the cutting part of the tool; loss of shape of the cutting part of the tool, as well as physical and chemical wear of the contact pads of the cutting tool. It was found that the quality of soldering of brazed carbide plates is affected by a large number of factors, such as the grade of the holder body material; carbide plate material; solder and flux grade; inductor characteristics and power; distance between the inductor and the soldering zone; degree of wetting of the welded surfaces, etc. The work is devoted to the issues of improving the technology of manufacturing and preparation for operation of carbide cutting tools in order to increase its productivity, wear resistance, reliability and cost-effectiveness. The analysis of complaints about the identified non-compliance of the quality of the manufactured tool with soldered carbide plates is carried out, which shows non-compliance with the requirements of regulatory and technical documentation in terms of the soldered seam. The main reason for the destruction of cutters is a violation of the soldering technology - unsoldered. A review of works in the field of improving the performance characteristics of cutting tools with hard alloy plates is carried out, while issues related to the soldering processes and preparation of surfaces for soldering have not been fully resolved. To prevent the formation of soldering defects in tools with hard alloy plates, strict adherence to welding technology and reliable quality control in the production process are primarily necessary. The conducted studies allow us to formulate the main issues related to the development of an updated process instruction that takes into account the requirements of regulatory and technical documentation.

Keywords: cutting tools, brazed carbide plates, tool wear resistance, hard alloys, metalworking.

Получено 22.10.2024

Образец цитирования

Корюхин В. Л., Шильяев С. А., Щенятский А. В. Исследование и разработка рекомендаций по совершенствованию технологии изготовления и подготовки к эксплуатации твердосплавного режущего инструмента // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2024. Т. 27, № 4. С. 90–100. DOI: 10.22213/2413-1172-2024-4-90-100

For Citation

Koryukhin V.L., Shilyaev S.A., Shchenyatsky A.V. (2024) [Research and Development of Recommendations for Improving the Technology of Manufacturing and Preparing for Operation of Hard-Alloy Cutting Tools]. *Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova*, vol. 27, no. 4, pp. 90-100 (in Russ.). DOI: 10.22213/2413-1172-2024-4-90-100