

Способ низкотемпературной пайки спеченных твердых сплавов и углеродистых сталей

Анатолий Парамонов, Владимир Паршутин, Александр Коваль, Николай Шолтоян
Институт прикладной физики Академии наук РМ
paramonov41@mail.ru

Аннотация – В работе рассмотрены способы высокотемпературной и низкотемпературной пайки твёрдосплавного инструмента. Описан новый метод подготовки паяемой поверхности твердых сплавов и углеродистых сплавов. В результате обработки получают прочные паянные соединения сталь-твердый сплав.

Ключевые слова – твердые сплавы, медь, низкотемпературная пайка, электронское легирование.

Основными способами получения неразъемных соединений в машиностроительном производстве являются пайка и сварка. Сварка имеет преимущество в прочности и надежности соединения, но существует ряд ограничений, которые не всегда позволяют её использовать. Высокопрочные стали, жаропрочные сплавы на основе никеля и хрома, титановые и алюминиевые сплавы и др. являются проблемными для процесса сваривания. При сварке традиционными методами эти материалы, нагреваясь и окисляясь, реагируют со многими компонентами газов и флюсов, в результате чего сварное соединение получается не достаточно прочным.

Для соединения таких материалов наиболее подходящий вид соединения – пайка. Она позволяет соединять разнородные металлические и неметаллические материалы при температуре ниже их температур плавления. Соединение деталей получают по поверхности, а не только по контуру и есть возможность, при необходимости, разъединить соединенные материалы. Но пайка имеет существенный недостаток – меньшая прочность соединения по сравнению со сваркой, которая зависит от применяемых припоев, флюсов, но в значительной мере – от качества поверхности спаиваемых материалов.

Основная задача исследования процесса паяния – обеспечение максимального взаимодействия соединяемых поверхностей с расплавленным припоем. Для этого необходимо освободить поверхности от окислов. В настоящее время это обеспечивается не только с помощью флюса, но и без него (ультразвуковая, абразивная пайка и др.). В зависимости от спаиваемых материалов применяются различные припои, способные обеспечить диффузионное взаимодействие со спаиваемыми материалами, высокую прочность и качество шва.

Наибольшие трудности вызывает пайка пластин из металлов типа титана, вольфрама и твердых сплавов, состоящих из карбидов вольфрама, титана, тантала и кобальтовой связки. Пластины используются для изготовления режущих инструментов – припаиваются к корпусу инструмента,

изготовленного из углеродистых или нержавеющей сталей, а также могут припаиваться к другим твердым сплавам. На поверхности нержавеющей сталей и жаропрочных сплавов имеются окисные пленки сложного состава, содержащие окислы хрома, алюминия и титана. В виду этого, основной трудностью, возникающей при пайке данных деталей, является обеспечение хорошего смачивания их поверхности расплавленными припоями. Ещё одной проблемой являются различия коэффициентов линейного расширения сталей и твердых сплавов (у сталей в 2—3 раза больше). Это обстоятельство требует, чтобы нагрев и охлаждение твёрдосплавного инструмента при пайке происходили равномерно, в противном случае на пластинах твердого сплава образуются трещины. Влияние разности коэффициентов линейного расширения стали и твердого сплава снижают, например, применением компенсационных прокладок, изготовленных из сплава железа с никелем (45% никеля) и устанавливаемых при пайке между двумя соединяемыми материалами [1].

Различают два вида пайки – высокотемпературную и низкотемпературную. Но независимо от её вида, сначала проводят предварительную подготовку спаиваемых деталей.

Пластины твердого сплава очищают песком и шлифуют по опорным плоскостям шлифовальными кругами. Пластины не должны иметь трещин, расслоений и посторонних включений. В корпусе инструмента фрезеруют паз по конфигурации пластины, куда устанавливают для припайки предварительно обезжиренную и очищенную пластину, которая должна быть хорошо пригнана к основной грани паза. Чтобы пластина не выпадала из паза во время пайки, её предварительно закрепляют проволокой. Такое крепление неудобно тем, что она всегда припаивается к корпусу и для своего удаления требует дополнительной механической обработки. Кроме того, проволока нагревается быстрее твердого сплава, что приводит к образованию трещин в местах касания пластин с ней. Закрепление хрупких пластин

твердого сплава чеканкой и клиньями иногда приводит к их поломке.

Процесс высокотемпературной пайки проводится при температурах 500-1100 °С, поскольку при более низких температурах не обеспечивается хорошая адгезия. Для пайки используются литые серебряные припои, легированные для повышения теплостойкости небольшими добавками никеля, марганца или алюминия, что позволяет добиться наибольшей долговечности инструмента [2]. Также используются медно-цинковые припои, припои на основе никеля, марганца, палладия. Наряду с литыми припоями используются также и порошковые сплавы.

Нагрев при высокотемпературной пайке осуществляют в вакууме и активной среде газообразного флюса в смеси с аргоном различными источниками энергии (методами электросопротивления, нагревом ТВЧ, в печи с восстановительной средой или погружением в расплавленный припой (с тремя основными операциями, в том числе с предварительным нагревом в соляной ванне до 800-850°С)). Для обеспечения равномерного нагрева спаиваемых деталей, их помещают в индуктор так, чтобы в первую очередь нагреть корпус инструмента и за счет его теплопроводности прогреть пластину твердого сплава. После прогрева для выравнивания температуры инструмент передвигают и производят нагрев места пайки. В результате нагрева изделия при пайке твердость корпуса инструмента снижается, поэтому он нуждается в дополнительной термической обработке. Если требуется закалка, то ее производят сразу же после пайки. Для того, чтобы не произошло коробления корпуса и припаяваемой твёрдосплавной пластины, спаянный инструмент охлаждают в печи на спокойном воздухе, при этом инструменту дают отпуск при 200-250 °С в течение 6 часов. Но даже такие сложные и долговременные процедуры из-за высокой температуры пайки не гарантируют сохранения неизменными структуры и свойств соединяемых металлов, что зачастую приводит к большому браку инструмента.

Высокотемпературная пайка инструмента имеет ряд существенных недостатков: высокие температуры пайки, многочисленность операций, сложность и энергоёмкость оборудования, опасные для здоровья обслуживающего персонала флюсы (в состав которых входят фторсодержащие компоненты, делают операции экологически опасными). Однако эти флюсы (наряду с высокой температурой) необходимы, поскольку только они позволяют улучшить адгезию припоя к твёрдому сплаву и обеспечить прочное соединение. Кроме того, используемые припои многокомпонентны и дороги, особенно содержащие серебро и палладий.

Значительно проще выглядит процесс низкотемпературной пайки указанных материалов (производимой при рабочей температуре ниже 450°С). Её выполняют оловянно-свинцовыми припоями с наиболее активными кислотными флюсами. Пайку ведут различными способами: электрическим паяльником, с применением плиток, ванн с

расплавленным припоем, паяльных ламп, газовых горелок, светового луча и др.

Иногда для улучшения смачивания, проводят нанесение промежуточного покрытия (не являющегося припоем), которое впоследствии станет паяемой поверхностью. Покрыть, например, титан оловом (серебром или медью) можно, погрузив изделие в расплав олова, серебра, хлористой меди при температуре 650-700 °С на 10-20 мин. Также используют электрохимические и химические методы активирования поверхности спаиваемых деталей и нанесения на них промежуточного покрытия.

Поскольку прочность сцепления электролитических металлических покрытий с основным металлом определяет прочность последующего соединения пайкой, требуется самым тщательным способом готовить рабочую поверхность перед их нанесением. Для этого необходимо снять с нее все оксидные пленки, для чего обезжирить, протравить и активировать, например, химическим травлением. Сталь обычно травят в холодной соляной кислоте или горячей серной кислоте; твердые сплавы – в растворах, содержащих щелочь или серную кислоту.

Основной недостаток этих операций – активируется не вся поверхность твердых сплавов, состоящих из электрохимически разнородных материалов: например, из карбида вольфрама и кобальтовой связки или более сложные композиции – карбид вольфрама, карбид титана и кобальтовая связка и др. При использовании вышеуказанных растворов можно активировать только кобальтовую связку, тогда как на поверхности карбидной фазы остаются оксидные пленки. Из-за этого не обеспечивается полное сцепление электролитического покрытия с паяемой поверхностью, и покрытие отлетает в местах выхода на поверхность карбидной фазы.

Был разработан способ [3] позволяющий проводить активацию поверхностей под нанесение покрытия, не являющегося припоем для низкотемпературной пайки (проводится при рабочей температуре ниже 450°С) с помощью электрохимии. При применении данного способа перед нанесением электролитического покрытия поверхность твердого сплава предварительно активируют, используя сплав в качестве анода в электролите, г/л: NaOH 25-200 и NaNO₃ 25-200 при плотности тока 1-100 А/дм² и температуре 20-25°С.

Либо поверхность активируют, проводя анодную химико-термическую обработку в электролитах, г/л: NH₄Cl 100 и NH₄OH 50 или NH₄Cl 110 и NaNO₃ 110 при напряжении на электродах 150-220 В, плотности тока 1-2 А/см² и температуре анода 750°С. Затем гальваническим способом на очищенную поверхность деталей наносятся покрытия меди или никеля [4]. Также могут наноситься покрытия: кадмиевые, никелевые, хромовые с подслоем никеля, оловянные, оловянно-никелевые и т. п. Пайку ведут одним из способов, указанных выше.

Хотя данный способ обеспечивают высокое качество подготовленной поверхности, надо признать, что он имеет некоторые недостатки: сложность

гальванической обработки, наличие в составе электролитов опасных веществ (щелочь, аммиак, кислоты), которые в процессе обработки выделяются из электролита.

Целью исследований являлось повышение качества паяного соединения путем нанесения на поверхности спеченных твердых сплавов и углеродистых сталей промежуточного покрытия, не являющегося припоем, из меди, латуни или никеля, которое имеет хорошую сцепляемость с основой и обеспечит прочное соединения при последующей пайке.

Для решения поставленной задачи было решено воспользоваться методом электроискрового легирования, который широко используется для восстановления и изменения физико-химических свойств деталей машин и инструмента. Простота, экономичность, мобильность, локальность обработки поверхностей, незначительный нагрев рабочей зоны, возможность формирования требуемых эксплуатационных характеристик поверхностей, высокая прочность сцепления покрытия с основным материалом являются главными достоинствами этого способа [5-8].

Работа проводилась на установках для электроискрового легирования: универсальной – ПЭЛ-28 (рис. 1) и высокочастотной ПЭЛ-2000 (рис. 2). Отметим, что установка «ПЭЛ-28» используется для работы на грубых режимах [9]: энергия в импульсе – 10-15 Дж, частота – до 200 Гц, толщина наносимого покрытия – до 0,3-0,4 мм. Однако в работах [10, 11] было показано, что для получения сплошного покрытия с малой шероховатостью необходимо повышать частоту обработки. В связи с этим в Институте прикладной физики АН РМ была разработана установка «ПЭЛ-2000» предназначенная для высокочастотного легирования [10]: энергия в импульсе – 1-5 Дж, частота – до 2000 Гц, толщина наносимого покрытия – до 0,1-0,15 мм. Также к ней был разработан новый вибратор, который позволяет работать на частоте до 2000 Гц (в отличие от стандартных, работающих на частотах до 300-400 Гц). В отличие от некоторых установок, которые выпускаются в Молдове и России, в этой установке искровые импульсы синхронизированы с движением вибратора.



Рис. 1. Установка для электроискрового легирования ПЭЛ-28.



Рис. 2. Установка для электроискрового легирования ПЭЛ-2000.

Поскольку режущий инструмент обычно состоит из двух частей – стальная заготовка и пластина из твёрдого сплава, было разработано два варианта обработки – для сталей и для твердых сплавов.

Процесс легирования сталей проходил следующим образом. Наносилось медное покрытие толщиной порядка 100-150 мкм в несколько этапов: начинали с низкочастотного легирования с длительностью импульсов до 200 мкс при частоте 200 Гц. Затем длительность импульсов увеличивалась до 400-600 мкс, а частота уменьшалась до 50-100 Гц. На финишной стадии проводили высокочастотное легирование – длительность импульсов до 100 мкс при частоте 500-1500 Гц. При этом ранее нанесенное покрытие выглаживалось, становилось более однородным и сплошным.

Легирование твердых сплавов проходило следующим образом. Также наносилось медное покрытие толщиной порядка 100-150 мкм. В данном случае обработку начинали с высокочастотного легирования: длительность импульсов до 100 мкс при частоте до 1000 Гц. В результате получили покрытие с низкой шероховатостью и малым числом пор. Затем легировали на низкочастотной установке - длительность импульсов 300-400 мкс, частота 100-200 Гц. На финишной стадии снова проводили высокочастотное легирование – длительность импульсов до 100 мкс при частоте 1000-1500 Гц.

Удельное время легирования составляло для высокочастотного режима 1-1,5 мин/см², а для остальных режимов – 2-3 мин/см².

Необходимо отметить, что для нанесения более толстых покрытий хорошего качества необходимо проводить послойное нанесение, чередуя мягкие и грубые режимы.

Повышение частоты (искровых импульсов и вибрации электрода) играет существенную положительную роль. Так, на начальном этапе легирования, когда происходит очистка поверхности сплава от оксидных слоев и загрязнений, на высокой частоте при малой энергии импульсов получается покрытие высокого качества: с малым числом пор, низкой шероховатостью. Высокая частота способствует накоплению энергии в месте обработки,

благодаря чему улучшается сцепляемость нанесенного покрытия с твердым сплавом.

За счет чередования режимов (низкочастотный – высокочастотный) в процессе обработки расширяются технологические возможности процесса: уменьшается локальная температура в месте обработки в широком диапазоне рабочих режимов и обеспечивается поэтапное формирование толщины и шероховатости покрытий. А температурный режим особенно важен при обработке спеченных твердых сплавов (BK8, T15K6 и др.), когда локальное повышение температуры приводит к выгоранию кобальтовой связки и разрушению твердосплавного инструмента.

После обработки детали лудят и паяют легкоплавкими припоями с $T_{пл} \leq 200 \text{ } ^\circ\text{C}$ с применением канифольных флюсов.

Пример обработки сплава T15K6 на высокочастотном режиме показан на рис. 3. В данном случае было нанесено медное покрытие под пайку: длительность импульсов до 50 мкс при частоте 1200-1500 Гц.

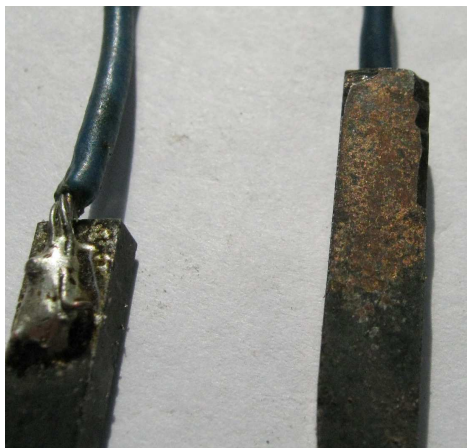


Рис. 3. Нанесение медного покрытия на сплав T15K6.

Возможно наносить покрытие (медь, латунь) на деталь, которая была легирована твердым сплавом (рис. 4). На рисунке показаны результаты легирования на двух режимах – высокочастотном (слева) и низкочастотном (справа).



Рис. 4. Поверхность, легированная твердым сплавом и медью.

Литература

- [1] Справочник по пайке. Под. ред. И. Е. Петрунина. М., Машиностроение, 1984.
- [2] Машиностроительные материалы. Краткий справочник. М., Машиностроение, 1980.
- [3] Способ электрохимического активирования поверхности твердых сплавов для осуществления низкотемпературной пайки, варианты. Патент Молдовы, кл. В23 Н 1/20, С25 F 1/08, С25 F 5/00, № 3606.
- [4] Справочное руководство по гальванотехнике. Ч. 3. Неорганические покрытия. Окраска металлов. Коррозия. Испытание покрытий. М., 1972.
- [5] Лазаренко Б. Р., Красюк Б. А. Способ нанесения слоя износостойчивого металла или сплава на режущий инструмент. Авт. свид. № 68283. – Свод. изобр. СССР, 1947, вып. 4, с. 379-380.
- [6] Парамонов А.М., Сафронов И.И., Семенчук А.В. Исследование перспектив использования безвибрационного электроискрового легирования. //Электронная обработка материалов 1997, №5-6, с.28-32.
- [7] Парамонов А.М. Закономерности формирования покрытий при электроискровом легировании на повышенных частотах. Безвибрационное электроискровое легирование. // Отчёт НИР ИПФ АН РМ. № гос. регистр. 81019453. Кишинёв, 1985.
- [8] Фурсов С. П., Парамонов А. М., Добында И. В., Семенчук А. В. Источники питания для электроискрового легирования. Кишинёв: Штиинца, 1983.
- [9] А. М. Парамонов, В. В. Паршутин, А. В. Коваль, Н. С. Шолтоян, В. И. Иванов. Нанесение электроискровым способом коррозионностойких покрытий. Том 106. Москва: ГОСНИТИ, 2010. С. 91-93.
- [10] В. В. Паршутин, А. М. Парамонов, Пасинковский Е. А., А. В. Коваль, Н. С. Шолтоян, В. И. Иванов. Повышение коррозионной стойкости электроискровых покрытий на сталях. Том 112 ч. 2. Москва: ГОСНИТИ, 2012. С. 120-123.
- [11] А. М. Парамонов, И. И. Сафронов, А. В. Семенчук, И. В. Цуркан. Исследование перспективы использования безвибрационного электроискрового легирования. // Электронная обработка материалов, 1997, № 5-6. С. 28-32.