

Г.П. Болотов¹ д-р техн.наук, М.Г. Болотов¹, Р.Н. Рыжов² д-р техн.наук

1 - Чернигов. гос. технол. ун-т, г. Чернигов, Украина

2 - НТУ Украины „Киевский политехнический институт“, г. Киев, Украина

ОЧИСТКА ТЛЕЮЩИМ РАЗРЯДОМ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПЕРЕД ДИФфуЗИОННОЙ ВАРКОЙ И ПАЙКОЙ В ВАКУУМЕ

Наведено результати досліджень по активації поверхонь, що з'єднуються, у процесах зварювання тиском і безфлюсовою паянні у вакуумі. Показано, що активаційна дія іонної обробки в тліючому розряді на сталях з різним рівнем легування хромом наближається по якості до хімічного травлення і може служити альтернативою останньому.

Results of researches on activation of connected surfaces in processes of welding by pressure and without flux rations in vacuum are resulted(brought). It is shown that activation action of ionic processing in the decaying category on steels with various level alloyed chrome comes nearer on quality to chemical etching and can serve as alternative to the last.

Поверхностные явления играют решающую роль в образовании прочных связей при соединении разнородных металлов в условиях, когда эти металлы в процессе соединения не доводятся до расплавления.

Большинство соединяемых с помощью пайки и диффузионной сварки металлов и их сплавов обладают заметным сродством к кислороду и покрыты тонкой, а потому гибкой и прочной пленкой окислов. Наличие окислов на поверхности металла понижает ее поверхностную энергию и, соответственно, способность припоя смачивать эту поверхность, а при определенной толщине слоя может полностью воспрепятствовать образованию межатомных связей. При диффузионной сварке эта проблема еще более существенна. Отсутствие жидкой фазы в зоне контакта не обеспечивает отрыв окисной пленки от поверхности и ее диспергацию в расплаве, а ограниченная макропластическая деформация соединяемых поверхностей не создает условий для появления многочисленных разрывов пленки окислов вследствие ее недостаточной пластичности и различия коэффициентов линейного расширения пленки и основного металла. Таким образом, очистка поверхности металлов, в первую очередь от окислов, является важной проблемой в технологии бесфлюсовой вакуумной пайки и твердофазного соединения.

Традиционно применяемым химическим и электрохимическим методам активации (очистки от окислов) поверхностей присущи существенные недостатки: наличие остатков активных моющих веществ на поверхности, которые являются источниками газовой выделенности в вакууме, наводораживание поверхности электролитами, значительное количество вредных отходов производства и большой расход технической воды. В последнее время заметную роль начинают играть ресурсосберегающие, экологически чистые электрофизические методы активации, связанные в первую очередь, с воздействием на поверхность потоков заряженных частиц.

Из вероятных физических методов очистки поверхностей (ионно-лучевая, вакуумно-дуговая, лазерная обработка) наиболее перспективным представляется применение тлеющего разряда, позволяющего обрабатывать поверхности различной конфигурации (в том числе и внутренние полости) и различной площади (от единиц до десятков тысяч квадратных сантиметров). Однако к настоящему времени в литературе встречаются отдельные ограниченные и зачастую противоречивые, в первую очередь относительно режимов процесса, сведения о предварительной обработке металлических поверхностей тлеющим разрядом перед сваркой и нанесением покрытий [1, 2, 3, 4].

Целью настоящей работы является определение оптимальных условий и режимов обработки тлеющим разрядом соединяемых поверхностей перед диффузионной сваркой и пайкой в вакууме широко применяемых конструкционных материалов, соединение которых затруднено наличием на их поверхности термически и химически стойких окисных пленок - хромистых сталей 40X, 20X13 и 12X18H10T.

Качество обработки оценивали по растеканию припоя на обработанных поверхностях и по результатам механических испытаний паяных и диффузионно-сварных образцов. В опытах использовали образцы из листового проката, поверхность которого ранее не подвергалась какому-либо виду обработки, размером $20 \times 20 \times 0,2$ мм при соотношении площади поверхности к объему $S/V=10$ и $20 \times 20 \times 2$ мм при $S/V=1$. В качестве припоя использовали несамоплывающийся припой ПСр-72 с массой навески 0,2г. Для сравнения использовали предварительное химическое травление поверхности образцов в соответствующих реактивах [5], используемых в техпроцессах пайки.

В качестве инструмента обработки использовали аномальный тлеющий разряд, позволяющий в широких пределах изменять падение напряжения в катодной области, т.е. энергию бомбардирующих ионов, в зависимости от давления газа и плотности тока [6]. Для ионной очистки использовали диодную схему травления, обрабатываемые детали служили катодом тлеющего разряда. После обработки производилась разгерметизация камеры, образец с навеской припоя устанавливался в нагреватель и после вакууммирования нагревался до температуры 1103 К. Продолжительность промежутка времени между ионной обработкой и нагревом образца не превышала 15...18 мин.

Основными параметрами ионной обработки являются:

- напряжение на электродах разряда;
- давление газа в камере обработки;
- плотность тока и удельная мощность разряда в зоне обработки;
- длительность обработки.

В качестве рабочей среды использовали инертный газ - аргон, поэтому основным механизмом обработки поверхностей является физическое распыление, скорость которого определяется коэффициентом распыления K_p . Как следует из [7], величина K_p существенно зависит от давления газа в камере и при давлениях более 13,3 Па снижается вследствие образования на поверхности мишени (образца) плотных адсорбированных слоев, препятствующих распылению материала мишени. Поэтому, в данной работе диапазон изменения давления газа устанавливался в пределах 1,33...15,9 Па, при этом нижняя граница определялась условиями существования тлеющего разряда для примененной диодной схемы распыления, а верхняя - указанными выше условиями.

В первую очередь определяли влияние на качество подготовки поверхностей величины напряжения на межэлектродном промежутке, которое варьировали в пределах $U_p = 500 \dots 5000$ В. В этом случае при давлениях газа, используемых в опытах, величина катодного падения потенциала в аномальном тлеющем разряде составляет, согласно [6], ориентировочно от 300 до 4000 В. При более низких напряжениях эффективность катодного распыления заметно снижается [7], верхний предел устанавливаемого напряжения ограничивался появлением в межэлектродном пространстве микродуговых разрядов.

Результаты показывают (Рис. 1), что с увеличением напряжения на электродах при одинаковых прочих условиях площадь растекания припоя S_p на всех образцах возрастает с одновременным снижением краевого угла смачивания. Однако, по достижении определенной величины напряжения для образцов с соотношением $S/V=10$ наблюдается уменьшение S_p (Рис. 1), в то время как для более массивных образцов с $S/V = 1$ такой эффект отсутствует. Это можно объяснить тем, что увеличение напряжения в условиях аномального разряда приводит к одновременному увеличению плотности тока и удельной мощности разряда на поверхности образцов, способствуя их нагреву до температуры 473 К и более, когда на поверхности начинают появляться едва заметные цвета побежалости вследствие наличия кислорода в камере в составе остаточных газов и в напускаемом аргоне. В этом случае эффективность обработки ухудшается, т.к. по-видимому, с нагревом скорость окисления поверхности возрастает и начинает превышать скорость ее распыления. Более массивные образцы заметному нагреву не подвергаются, однако повышение напряжения на разряде выше 2000...3500 В (соответственно содер-

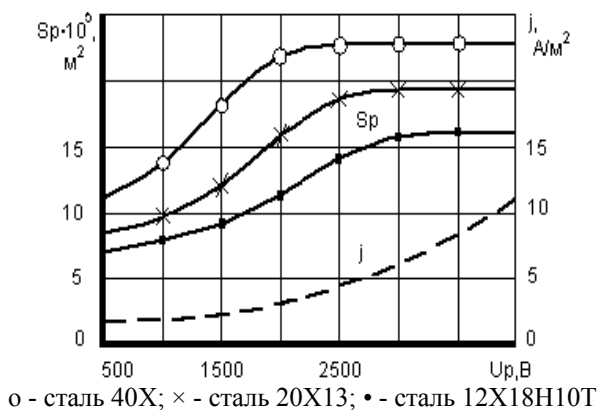


Рис. 1 Зависимость площади растекания S_p припоя ПСр-72 по поверхности стали от напряжения на электродах разряда в процессе предварительной ионной обработки

жанию хрома в материале образцов) уже практически не влияет на качество обработки поверхностей стальных образцов. Как уже отмечалось, процесс ионной обработки характеризуется также плотностью тока разряда j на обрабатываемых поверхностях, которая в газовых разрядах определяется величиной давления газа p в камере обработки. Для рассматриваемого диапазона изменения давления газа было установлено, что при низких давлениях (около 1,33 Па), по-видимому, вследствие недостаточного количества заряженных частиц в плазме (малой степени ионизации) состояние поверхности после обработки несущественно отличается от исходного (Рис. 2). С увеличением давления газа в разряде в процессе обработки площадь растекания припоя по обработанной поверхности возрастает, достигая максимальных значений при давлении 3,99...7,98 Па, после чего начинает несколько снижаться. Последнему, как следует из Рис. 2, соответствуют повышенные плотности тока на поверхности образца, способствующие его нагреву. Кроме того, повышение давления газа одновременно увеличивает содержание в камере кислорода, ускоряющего окисление обрабатываемой поверхности, а также, приводит к снижению величины катодного падения потенциала в разряде, т.е. к снижению энергии бомбардирующих частиц. Сопоставление результатов, приведенных на рисунках 1 и 2 показывает, что наиболее эффективно обработка стальных поверхностей происходит при плотности тока 0,4...0,8 мА/см.

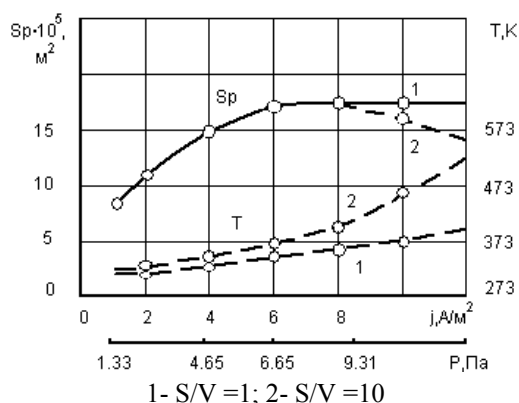
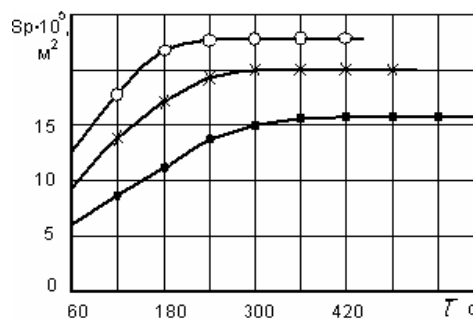


Рис. 2 Зависимость площади растекания припоя по поверхности стали 12Х18Н10Т от плотности тока тлеющего разряда в процессе предшествующей ионной обработки

(T – температура нагрева образца в процессе обработки)



о – сталь 40Х; × – сталь 20Х13;
• – сталь 12Х18Н10Т

Рис. 3 Влияние продолжительности ионной обработки поверхности сталей на растекание по ним припоя

В рассмотренных выше опытах обработку разрядом производили фиксированное время, составляющее 300с, поэтому для определения оптимальной длительности процесса дополнительно производили обработку в достаточно широком временном интервале – от 30 до 600 с на определенных ранее режимах (напряжение разряда 2500...3000В, давление газа 5,32...6,65 Па, плотность тока 0,6...0,8 мА/см). Полученные результаты растекания припоев по обработанным поверхностям (Рис. 3) свидетельствуют, что длительность процесса обработки до достижения лучших показателей определяется объемным содержанием в металле легкоокисляющихся элементов. В частности, для рассматриваемых сталей длительность обработки зависит от содержания в них хрома и составляет от 90...120 с для стали 40Х до 300...360 с для 12Х18Н10Т.

В производственных и исследовательских условиях между процессом подготовки заготовок и их пайкой или сваркой практически всегда существует промежуток времени, составляющий минуты и часы, на протяжении которого обработанная поверхность находится в контакте с атмосферой помещения. Методы химической обработки позволяют, во многих случаях, сохранять в этих условиях требуемое состояние поверхности достаточно длительное время благодаря образованию на поверхности защитной пленки соответствующего химического состава [5]. В связи с этим целесообразно оценить длительность сохранения результатов воздействия на металлические поверхности ионной обработки. Для этого образцы из сталей 12Х18Н10Т и 20Х13, обработанные тлеющим разрядом на режиме: напряжение на разряде 3000 В, давление газа 5,32 Па, плотность тока разряда 0,5...0,6 мА/см, длительность обработки 300 с, выдерживали на воздухе в течение 15 мин., 30 мин., 1-го, 5-ти и 20-ти часов, после чего определяли характер растекания припоя по поверхности.

Результаты показывают, что с течением времени состояние поверхности, характеризуемое площадью растекания припоя и краевым углом смачивания, на обработанных разрядом образцах изменяется быстрее, чем после химической обработки и к концу суток хранения приближается к состоянию исходных

необработанных образцов, что свидетельствует о высокой химической активности поверхности и ее восприимчивости к воздействию загрязнений из окружающей среды. В то же время, заметного ухудшения состояния обработанной разрядом поверхности стали 12X18H10T после 30...60-ти минутной выдержки на воздухе в сравнении с контрольными образцами, прошедшими химическую обработку, не наблюдается.

Улучшение растекания припоев в результате ионной обработки вызывается изменением физико-химического состояния поверхности. Измерение рельефа поверхности стали 12X18H10T с помощью профилографа - профилометра типа А1 модели 252 показывает, что в результате ионной обработки на указанных режимах шероховатость поверхности изменяется незначительно - от $Rz = 0,04...0,07$ мкм в исходном состоянии до $Rz = 0,06...0,08$ мкм после обработки. Однако, в связи с тем, что качество поверхности со временем заметно изменяется, этот фактор нельзя признать существенным. Определяющую роль в улучшении растекания припоев после ионной обработки играет, по-видимому, изменение структуры поверхности, связанное с удалением адсорбированных слоев и распылением достаточно толстой окисной пленки, образовавшейся в процессе горячей прокатки.

Влияние предварительной ионной обработки на формирование сварных соединений в условиях диффузионной сварки оценивали по результатам механических испытаний на срез сварных нахлесточных соединений указанных сталей. Полученные результаты сравнивали с прочностью аналогичных сварных соединений образцов, соединяемые поверхности которых были предварительно обработаны химическим травлением. Сварку образцов производили в однородном сочетании на режиме: температура 1253 К, усилие сжатия 12 МПа, время выдержки 15 мин. Сваривали образцы как после выдержки на воздухе, так и непосредственно после ионной обработки в сварочном устройстве (на установке имеется винтовая система перемещения нижнего образца на расстояние до 15 мм).

Результаты испытаний, приведенные на Рис. 4, показывают удовлетворительную сходимость прочностных характеристик соединений, полученных после химического травления и спустя ограниченный промежуток времени после ионной обработки. Допустимый промежуток времени между ионной обработкой и сваркой, по прошествии которого прочность сварных соединений снижается не более чем на 15...20%, составляет, как следует из Рис. 4, для стали 12X18H10T не более 1...2 час, для стали 20X13 - до 4...5 час, стали 40X - 20...24 час.

Выводы:

1. Ионная обработка соединяемых поверхностей металлов перед диффузионной сваркой и пайкой в вакууме может служить альтернативой химическому травлению, обеспечивая требуемые механические характеристики соединения при высокой гигиеничности и экологичности процесса.

2. Высокая химическая активность обработанных тлеющим разрядом поверхностей ограничивает длительность их контакта с атмосферой помещения без снижения прочностных характеристик сварных и паяных соединений. Для увеличения длительности этого периода, что может быть необходимо в серийном и массовом производстве, где целесообразно иметь задел заготовок, необходим поиск методов консервации поверхностей после ионной обработки материалами, наносимыми из жидкой или паровой фазы, способными разлагаться без остатка при нагреве в вакууме и не влиять на последующий процесс формирования соединения.

Список литературы

1. Диффузионное соединение в вакууме металлов, сплавов и неметаллических материалов /Сб. научн. Трудов V научно-техн. конф./ Под ред. Н.Ф.Казакова. – М.: МТИММП, 1970. – 363 с.
2. Ройх И.Л., Колтунова Л.Н. Защитные вакуумные покрытия на стали. – М.: Машиностроение. 1971. – 279 с.
3. Кострицкий А.И. Лебединский ОВ Многокомпонентные вакуумные покрытия – М.: Машиностроение, 1987–208с
4. Морозов А.И., Левченко Ю.М., Зельцер Ю.Г. Применение ускорителей ионов для плазменной очистки поверхности стальной полосы / 4-я Всесоюзная конференция по плазменным ускорителям. М.: ВНИИЦ. – 1978. С. 413-414.
5. Лашко Н.Ф., Лашко С.В. Пайка металлов. – М.: Машиностроение, 1977. – 327 с.
6. Акто́н Д., Свифт Д. Газоразрядные лампы с холодным катодом М.: Энергия, 1965. – 479 с.
7. Габович М.Д., Плешивцев Н.В., Семашко Н.Н. Пучки ионов и атомов для управляемого термоядерного синтеза и технологических целей. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 249 с.

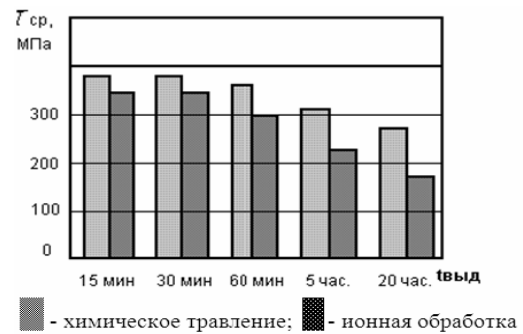


Рис. 4 Зависимость прочности диффузионно-сварных соединений от продолжительности выдержки между ионной обработкой соединяемых поверхностей и сваркой