

Способы микродугового оксидирования поверхностей деталей из титановых сплавов

07, июль 2013

DOI: 10.7463/0713.0583316

Шаталов В. К., Лысенко Л. В., Минаев А. Н., Сулина О. В., Штокал А. О.
УДК 621.794.61

Россия, Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана
Россия, Дальневосточный федеральный университет

vkshatalov@yandex.ru

baldprice@mail.ru

aminaev@mail.ru

m3kf@bmstu-kaluga.ru

cuauthemoc1@yandex.ru

Введение

Модифицирование поверхности микродуговым оксидированием (МДО) позволяет изменить стойкость материалов к действию агрессивных сред, коррозионному и механическому разрушению, действию высоких температур и получить многие другие качества [1]. Способы обработки деталей МДО погружением в ванну с электролитом, нашли эффективное промышленное применение и заслуживают самого широкого распространения. Внедрение существующих способов микродугового оксидирования деталей различных форм и размеров в электролитической ванне связано с известными трудностями, особенно если требуется наносить оксидные слои не по всей поверхности детали, а в её отдельных местах. Решение проблемы вызвало необходимость разработки способов оксидирования локальных мест крупногабаритных конструкций [2-5].

К характерным поверхностям, подлежащим МДО, относятся плоские, наружные и внутренние тела вращения, фасонные, поверхности мест сопряжений фланцев, глухих и сквозных отверстий, труб, а также шлицевых и резьбовых отверстий. Разнообразие конфигураций деталей и изделий, соответственно технологических приемов их изготовления, применяемой оснастки их обработки МДО, определяет необходимость выбора способа обработки с учетом производительности, возможности производства, экономической эффективности.

Решение задачи повышения качества сопрягаемых поверхностей деталей, для обеспечения технических требований к изделиям, работающим в условиях морской среды, изготовленным из титановых сплавов, связано, как с совершенствованием технологии микродугового оксидирования, так и с совершенствованием применяемого оборудования, а также конструктивных решений элементов технологической оснастки. Конструкция приспособлений для выполнения процесса МДО разнообразных поверхностей корпусных изделий машиностроения зависит от многих факторов и может значительно различаться даже при обработке одних и тех же форм поверхностей. Используемая оснастка закрепляется непосредственно на крупногабаритной конструкции (детали, изделия) или крепится в специальном приспособлении. Способ установки оснастки определяется технологическими особенностями обработки, формой конструкции, расположением обрабатываемых поверхностей. Поэтому выбору схемы обработки и конструкции приспособлений необходимо уделять большое внимание. В условиях индивидуального и мелкосерийного производства закрепление оснастки производится непосредственно на обрабатываемой конструкции с помощью различного рода крепежных комплектов.

Опыт применения МДО показал, что внедрение этого способа в производство дает значительный эффект. Поэтому ознакомление инженерно-технических работников с особенностями и преимуществами предлагаемых способов, с областью их применения имеет большое значение.

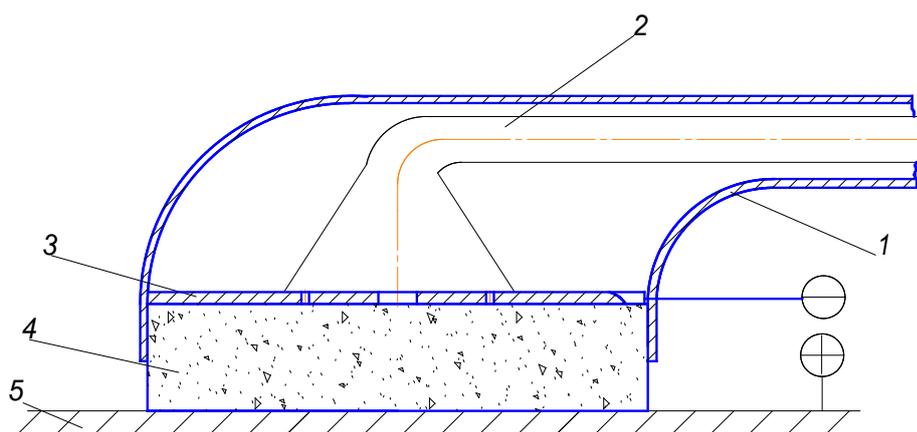
На основании выполненных работ намечены основные пути формирования оксидных покрытий на различных поверхностях крупногабаритных конструкций. Цель работы – обобщить способы оксидирования отдельных поверхностей деталей и разработать рекомендации по выбору оптимального варианта МДО в зависимости от конструктивных особенностей обрабатываемых деталей и предъявляемых требований к качеству поверхности, эксплуатационным свойствам.

1. Обработка поверхностей перемещаемым плоским электродом

Отличительными особенностями МДО перемещаемым электродом являются малая энергоемкость, высокая производительность, способность формировать оксидное покрытие на изделиях в условиях механосборочного цеха [6-9].

Предлагаемая схема МДО, приведенная на рисунках 1, 2, применяется при обработке наружных и внутренних плоских поверхностей, а также поверхностей тел вращения диаметром более 500 мм [2]. Устройство с плоским электродом-катодом 3 перемещают по обрабатываемой поверхности детали-аноду 5. Через электрод и

волоконный экран 4 прокачивают электролит. Таким способом обрабатывают горизонтальные, вертикальные и наклонные поверхности, в том числе сварных конструкций. Оксидирование выполняют на разработанной в КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана установке, изготовленной в транспортируемом варианте, для проведения работ в условиях сборочного цеха, в следующем порядке. Вначале включают насос, подающий электролит. Расход электролита регулируется краном. Расход электролита 4-5 л/мин. Стекающий по поверхностям конструкции электролит попадает в противень. Электрод перемещают со скоростью 15-20 мм/с. Обработка чистых поверхностей деталей с естественной оксидной пленкой вызывает большие токи (до 30 А/дм²) и нагрев металла в зоне обработки, что может привести к оплавлению материала волоконного экрана, контактирующего с обрабатываемой поверхностью. Поэтому первоначально на контакты электродов подают напряжение 50-80 В. Проводят предварительное анодирование поверхности. Напряжение увеличивают на каждый новый проход на 50 В и доводят напряжение до 240-280 В, вызывающего появление и дальнейшее проведение микродугового процесса. Плотность тока в режиме формирования оксидного слоя равна 7-9 А/дм². В этом режиме снижают скорость перемещения электрода. Электрод перемещают со скоростью 5-8 мм/с по поверхности детали на определенную длину, затем смещают влево или вправо на расстояние, равное 0,8 ширины электрода, для обеспечения перекрытия полученного оксидного слоя, и перемещают обратно. Вследствие перекрытия получаемых оксидных следов формируется равномерное по толщине покрытие на всей поверхности детали. Толщина эластичного волоконного экрана не менее 15 мм.



1 – корпус, 2 – трубка подачи электролита, 3 – электрод-катод, 4 – волоконный экран, 5 – деталь-анод

Рисунок 1. Устройство для оксидирования



Рисунок 2. МДО плоским электродом горизонтальных, вертикальных и наклонных поверхностей

Выполняемыми действиями можно получать покрытие по всей поверхности детали длиной в несколько метров.

Таким образом, следует различать два основных режима МДО: 1) начальный анодный режим; 2) рабочий микродуговой режим.

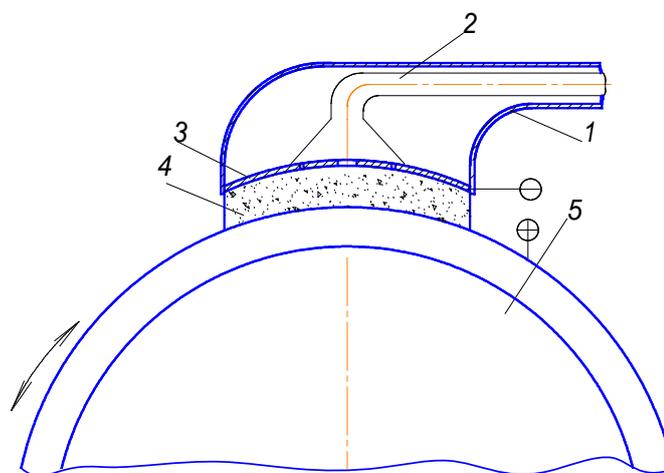
При перемещении электрода сообщают колебательные движения с амплитудой до 10 мм, предотвращая возникновение застойной зоны электролита в межэлектродном зазоре, в которой может происходить образование накипи на поверхности детали. Для получения толщины оксидного слоя, равной 4 мкм, совершают 5-6 -кратное повторное прохождение по обрабатываемой поверхности. Изменением толщины слоя можно управлять, варьируя скорость перемещения электрода.

По окончании обработки поверхность промывают проточной водой и сушат сжатым воздухом.

В процессе МДО идет обильное тепловыделение в зоне обработки. Несмотря на отвод тепла в деталь, а также стекающим электролитом, при многократном прохождении электрода температура на поверхности детали под электродом может достигать 90°C. Появляется паро- и газовыделение в зоне обработки. Для снижения температуры электролита дают возможность детали остыть, останавливая процесс или охлаждая деталь водой. В целях устранения дискомфорта исполнителям при проведении МДО, необходимо вентилирование места работы.

2. Обработка внешних поверхностей тел вращения

Схема микродугового оксидирования, приведенная на рисунке 3, эффективна при обработке наружных поверхностей тел вращения, деталей типа валы, валопроводы, цапфы. Обработку выполняют аналогично вышеописанной схеме на рисунке 1. Отличие состоит лишь в том, что в данном случае, исходя из рассеивающей способности электролита, применяют электрод, копирующий кривизну поверхности. При обработке по такой схеме обеспечивают равный межэлектродный зазор по всей поверхности контакта, что способствует повышению производительности процесса обработки и получению равномерной толщины слоя.



1 – корпус, 2 – трубка подвода электролита, 3 – электрод, 4 – волокнистый экран, 5 – деталь

Рисунок 3. Оксидирование тел вращения больших диаметров

Электрод-катод подается вдоль оси детали, затем перемещается по окружности на расстояние, обеспечивающее перекрытие образованного оксидного следа, и подается в обратном направлении.

На рисунке 4 показана обработанная МДО подвижным электродом типовая деталь. Таким способом обрабатывали детали длиной до 3 м.

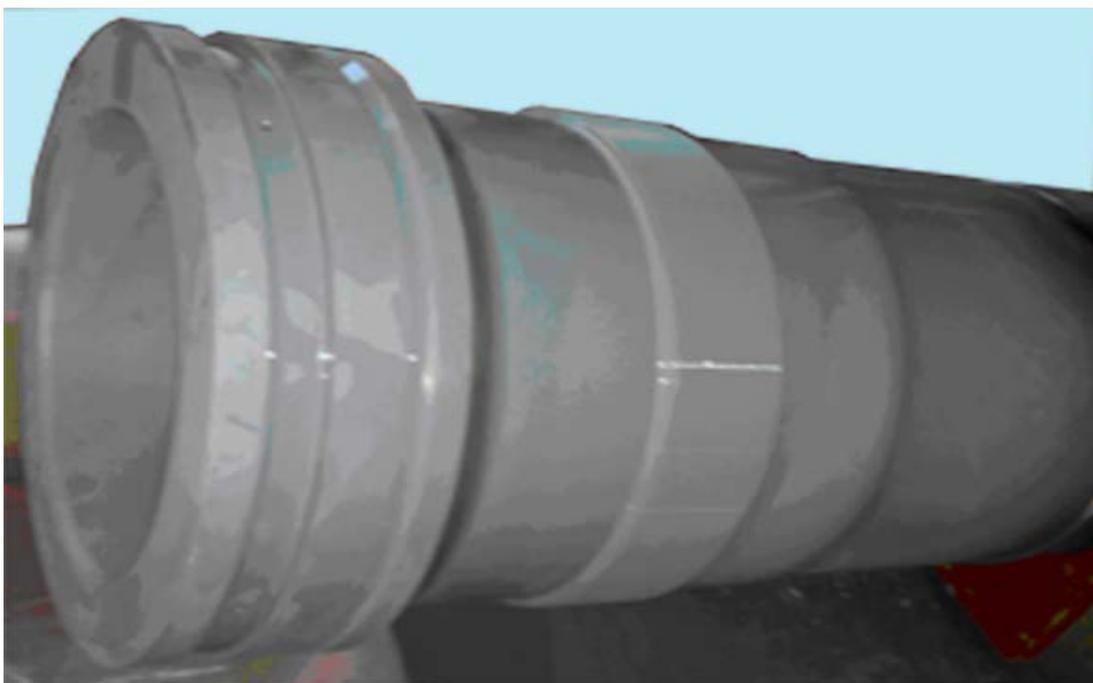
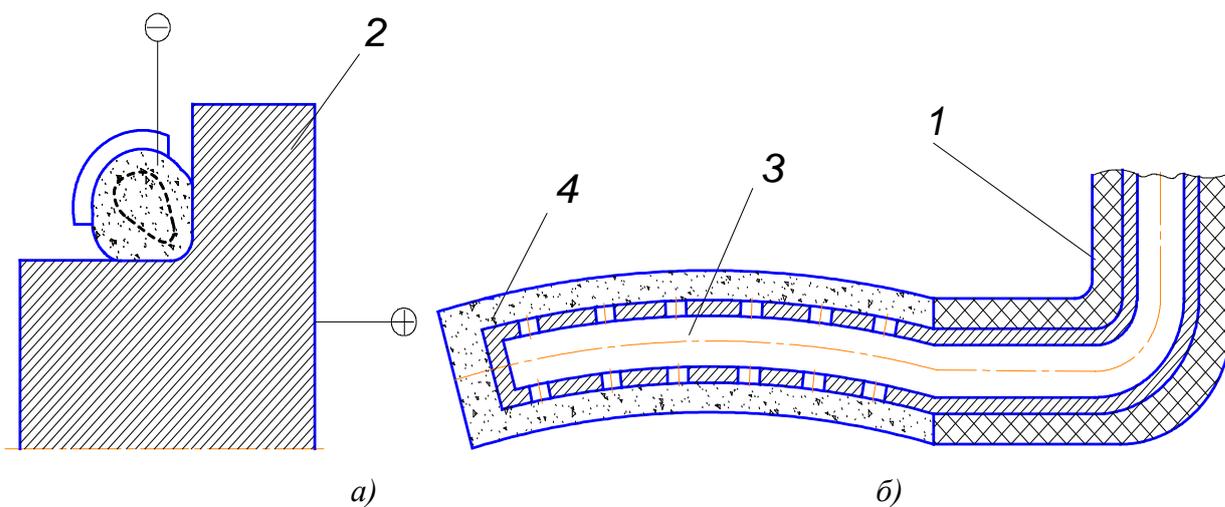


Рисунок 4. МДО тел вращения

3. Обработка фланцевых переходов

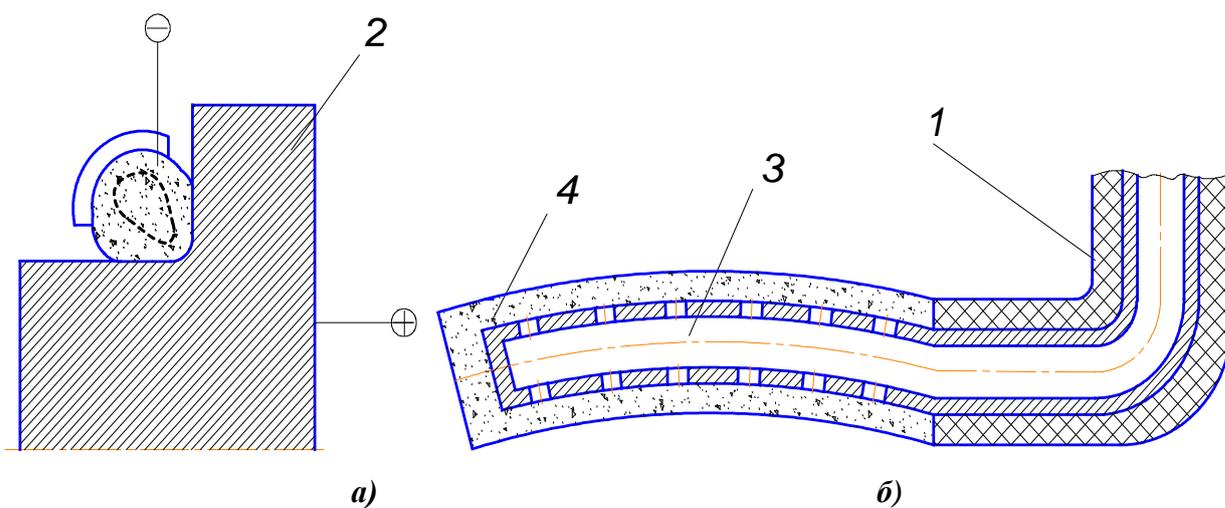
Схема МДО, приведенная на рисунке 5, применяется при обработке фланцевого перехода, а также пазов и кольцевых канавок. При этом используется трубчатый изогнутый электрод 3 из нержавеющей стали. Особенностью обработки детали, имеющей фланец, соответственно цилиндрическую и торцовую поверхности, является возможность получения оксидного покрытия по схемам, приведенным на рисунках 1, 3. Однако пластмассовый корпус электродного устройства, упираясь в сопрягаемую поверхность, как со стороны цилиндра, так и со стороны торца, не обеспечивает на переходной поверхности формирование качественного оксидного покрытия.



1 – корпус, 2—деталь, 3 – электрод, 4 – волокнистый экран
 Рисунок 5. Оксидирование переходных поверхностей фланцев:
 а) – схема обработки, б) – электрод

Рабочие приемы, выполняемые при формировании оксидного покрытия, остаются теми же, что и при обработке фланца или цилиндра. Электролит поступает через поролон 4 на обрабатываемую поверхность детали 2 по трубке-катоде, которая закреплена в пластмассовом корпусе 1. Расход электролита 4 л/мин.

На рисунке 6 показан элемент типовой детали, обработанной данным способом.



1 – корпус, 2—деталь, 3 – электрод, 4 – волокнистый экран
 Рисунок 5. Оксидирование переходных поверхностей фланцев:
 а) – схема обработки, б) – электрод



Рисунок 6. МДО переходных поверхностей

4. Обработка отверстий

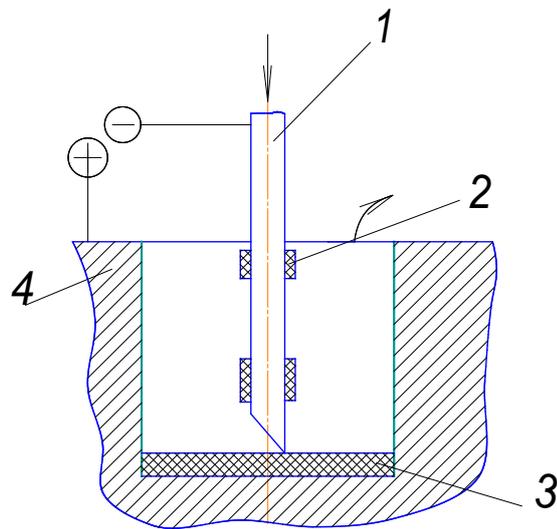
Наличие отверстий в деталях типа тел вращения, а также корпусных конструкциях с их многообразием форм и размеров, подлежащих МДО, требует использования различных приемов. Выбор схемы обработки определяется размером отверстия, соотношением диаметра и глубины, наличием резьбы, шлицев, места отверстия в конструкции и т. д.

В корпусных крупногабаритных конструкциях обработка отверстий малого диаметра (до 20 мм) и глубиной до одного диаметра возможна по схеме, приведенной на рисунке 1.

Схема МДО, приведенная на рисунке 7, применяется при нанесении оксидных покрытий на стенки поверхностей глухих отверстий. На дно отверстия детали 4 устанавливается изолирующая пластина 3 из оргстекла или винипласта. Катод-трубка 1 из нержавеющей стали со срезанной передней частью вводится в отверстие. На трубке возможна установка изолирующих колец, предотвращающих короткое замыкание при случайном смещении катода и контакте с деталью. Электролит поступает в отверстие от насоса или самотеком и стекает свободно в противень. Расход электролита до 4 л/мин должен обеспечивать температуру в отверстии до 30°C. Напряжение на электроды постепенно повышается, доводя до напряжения формирования оксидного слоя, и выдерживается время, необходимое для получения требуемой толщины.

Таким способом обрабатывают резьбовые и шлицевые отверстия.

На рисунке 8 показано шлицевое отверстие, оксидированное по данному способу.



1 – электрод-трубка, 2 – изолятор, 3 – изолятор, 4 – деталь

Рисунок 7. Оксидирование поверхностей отверстий

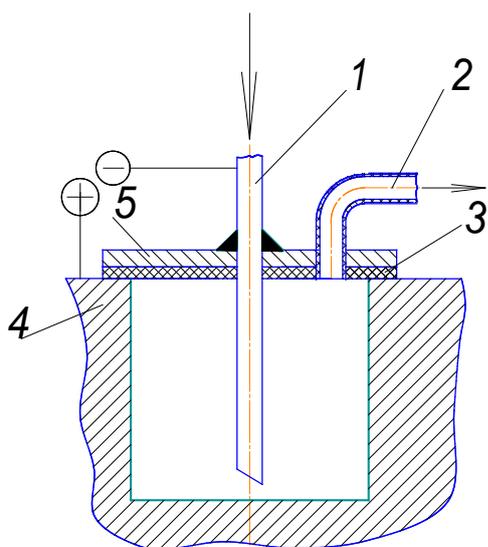


Рисунок 8. МДО отверстий

5. Обработка МДО отверстий на изделиях

Схема МДО, приведенная на рисунке 9, применяется при формировании оксидных покрытий на поверхности глухих отверстий в тех случаях, когда не допускается разлив электролита по поверхности обрабатываемой крупногабаритной конструкции – корпус или изделие в сборе. Катод-трубка 1 из нержавеющей стали вваривается в заглушку 5. К заглушке также приварена отводящая электролит труба 2. Заглушка с электродом через герметизирующую прокладку 3 из вакуумной резины прижимается к детали 4. Электролит поступает в отверстие от насоса и по шлангу отводится в охлаждающий бак. Расход электролита 3-4 л/мин. Напряжение постепенно повышают, доводят до напряжения формирования МДО-процесса и выдерживают время, необходимое для получения требуемой толщины слоя.

На рисунке 10 показана обработанная данным способом деталь.



1 – электрод-трубка, 2 – трубка отвода электролита, 3 – изолятор,
4 – деталь, 5 – крышка

Рисунок 9. Оксидирование поверхностей отверстий с отводом электролита



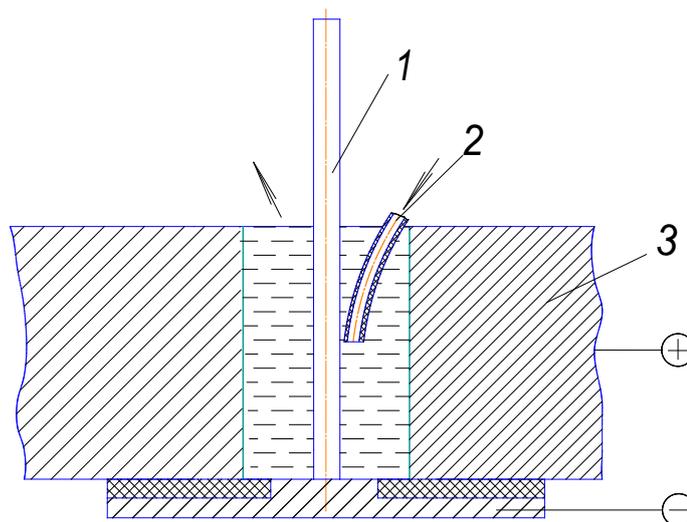
Рисунок 10. Обработка МДО отверстий

6. Обработка сквозных отверстий

Схема МДО, приведенная на рисунке 11, применяется при нанесении оксидных покрытий на стенки поверхностей сквозных отверстий. Электрод-катод – стержень или трубка 1, в зависимости от диаметра отверстия, приваренный к заглушке устанавливается

в отверстие и прижимается через прокладку из вакуумной резины к обрабатываемому корпусу-аноду 3. Электролит подается из расходного бака насосом (или самотеком) по шлангу 2, поступает в отверстие и стекает свободно в противень. Расход электролита 4-5 л/мин. Напряжение между анодом и катодом постепенно повышают, доводят до напряжения формирования оксидного слоя и выдерживают время, необходимое для получения требуемой толщины.

На рисунке 12 показана обработка резьбовых отверстий детали данным способом.



1 – электрод, 2 – трубка подвода электролита, 3 – деталь

Рисунок 11. Оксидирование поверхностей отверстий:

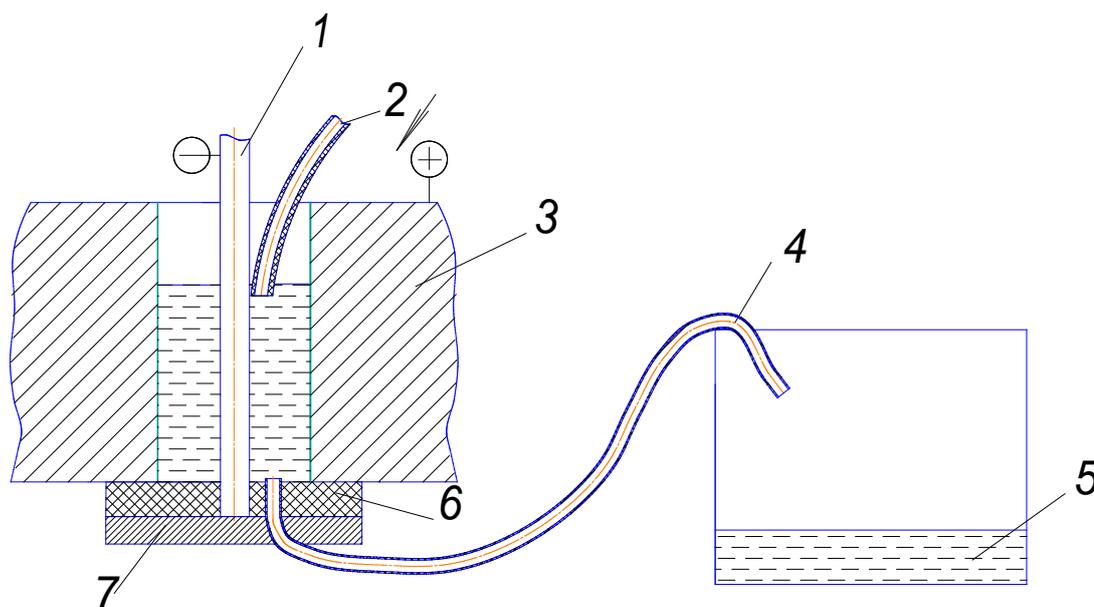


Рисунок 12. Обработка резьбовых отверстий

7. Микродуговое оксидирование поверхностей в отверстиях

Схема МДО, приведенная на рисунке 13, применяется при нанесении оксидных покрытий на стенки поверхностей сквозных глубоких отверстий деталей типа валопроводов, муфт и др. В таких отверстиях, диаметром до 200 мм, поверхность оксидируется не полностью, а только шлицевая или резьбовая часть.

Катод-трубка 1 из нержавеющей стали приваривается в заглушке 7. К заглушке также приварена отводящая электролит трубка со шлангом 4. Заглушка с электродом через герметизирующую прокладку 6 из вакуумной резины прижимается к детали 3. Электролит заполняет отверстие, поступая сверху от насоса, и по шлангу отводится в охлаждающий бак 5. Уровень электролита в обрабатываемом отверстии выдерживается подъемом или опусканием отводящего шланга. Расход электролита до 5 л/мин. Напряжение анодирования постепенно повышают, доводят до напряжения формирования МДО-процесса и выдерживают время, необходимое для получения требуемой толщины слоя.

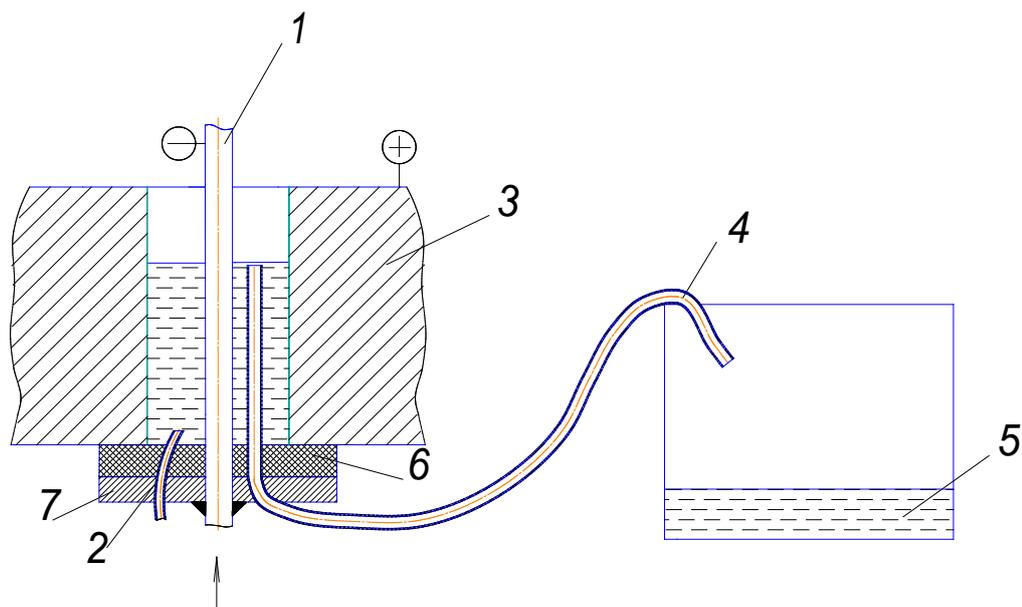


1 – электрод, 2 – трубка подвода электролита, 3 – деталь, 4 – трубка отвода электролита,
5 – бак с электролитом, 6 – изолятор, 7 – крышка

Рисунок 13. Оксидирование поверхностей в отверстиях

Схемы МДО, приведенные на рисунках 14, 15, применяются при нанесении оксидных покрытий на стенки поверхностей сквозных глубоких отверстий в корпусах, когда подвод электролита сверху невозможен. Катод-трубка 1 из нержавеющей стали приваривается в заглушке 7. К заглушке также приварена отводящая электролит трубка со

шлангом 4. Заглушка с электродом через герметизирующую прокладку 6 из вакуумной резины прижимается к детали 3. Электролит поступает в отверстие от насоса через заглушку и по шлангу отводится в охлаждающий бак 5. Уровень электролита в обрабатываемом отверстии выдерживается подъемом или опусканием отводящего шланга. Расход электролита до 5 л/мин. Напряжение анодирования постепенно повышают, доводят до напряжения формирования МДО-процесса и выдерживают, время необходимое для получения требуемой толщины слоя.



1 – электрод, 2 – трубка подвода электролита, 3 – деталь, 4 – трубка отвода электролита,
5 – бак с электролитом; 6 – изолятор, 7 – крышка

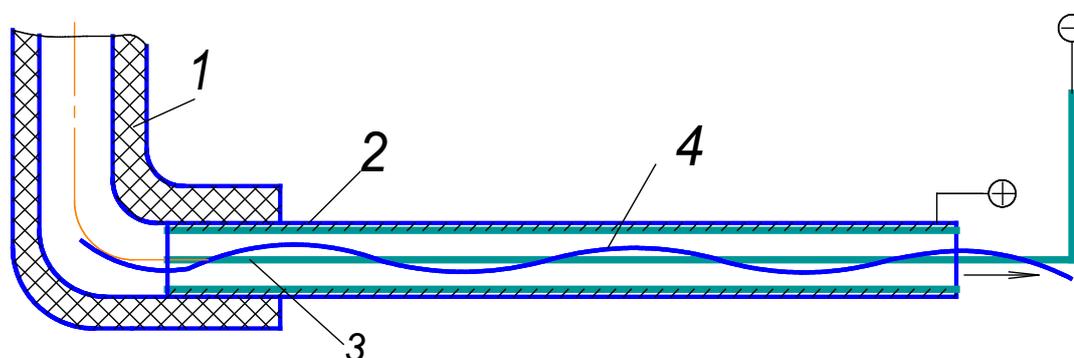
Рисунок 14. Оксидирование поверхностей в отверстиях



Рисунок 15. Обработка отверстий МДО в корпусах

9. Обработка МДО внутри трубы

Схемы МДО, приведенные на рисунках 16, 17, применяются при нанесении оксидных покрытий на внутренние поверхности отверстий титановых труб 2. Для электрода-катода 3 берется пруток или проволока из нержавеющей стали 12Х18Н10Т. В качестве изолятора, для предотвращения контакта проволоки с анодом-трубой, на проволоку наматывается спираль 4 из прутка винипласта. Спираль из винипласта обеспечивает свободное протекание электролита по трубе. Труба с катодом вставляются в корпус 1, через который подается насосом электролит. Расход электролита до 6 л/мин. Напряжение подают на анод-трубу и катод-проволоку со стороны выходного отверстия трубы, доводят до напряжения формирования оксидного слоя и выдерживают время, необходимое для получения требуемой толщины оксидного слоя.



1 – корпус, 2 – труба, 3 – электрод, 4 – изолятор-спираль

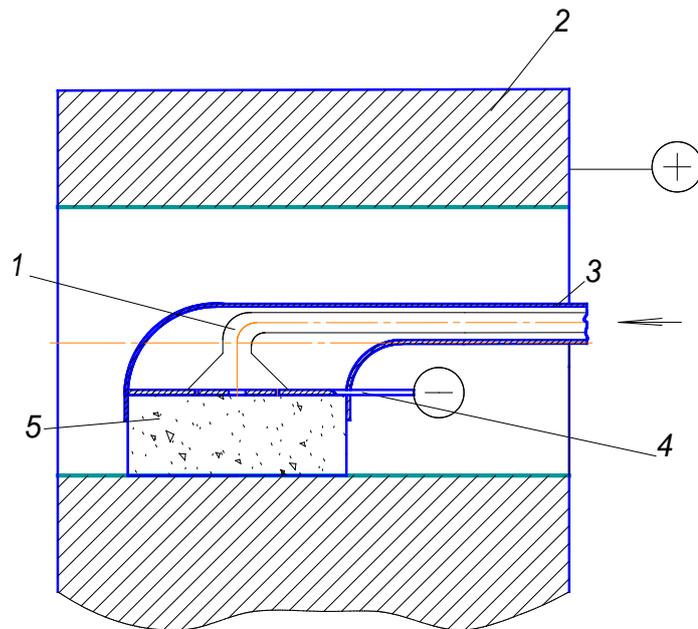
Рисунок 16. Оксидирование внутренних поверхностей труб



Рисунок 17. Оксидирование поверхности отверстия трубы

4.10. Обработка МДО отверстий большого диаметра

Схемы МДО, приведенные на рисунках 18, 19, применяется при нанесении оксидных покрытий на внутренние поверхности отверстий с использованием перемещаемого устройства 3. По данной схеме выполняют оксидирование поверхностей тел вращения диаметром от 300 до 2000 мм. Поскольку такие поверхности имеют малую кривизну, то обработка возможна плоским перемещаемым электродом. Процесс получения оксидного слоя на таких поверхностях деталей аналогичен процессу обработки плоских поверхностей. Электрод перемещают в осевом направлении отверстия и со смещением возвращают обратно. Оксидный слой толщиной 4-6 мкм формируется в результате нескольких проходов перемещаемого электрода. Как правило, требуется 5-6 проходов. Последние два прохода выполняют при напряжении 280 В.



1 – трубка подвода электролита, 2 – деталь, 3 – корпус, 4 – электрод,
5 – стол, 6 – волоконный экран

Рисунок 18. Оксидирование поверхностей отверстий большого диаметра

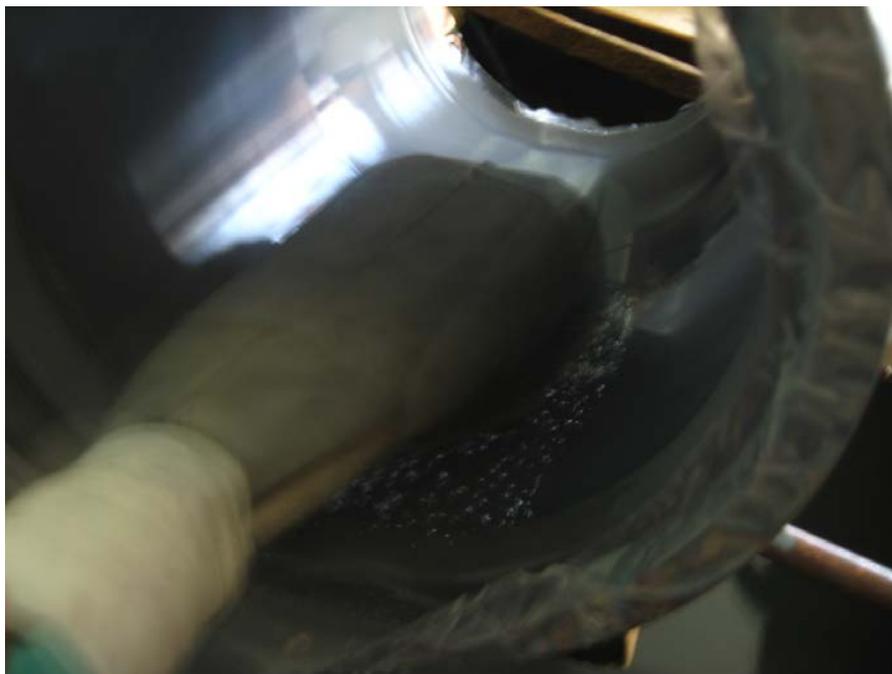


Рисунок 19. Обработка МДО отверстий большого диаметра

Опыт проведения МДО показывает, что для обеспечения противозадирных свойств сопрягаемых деталей, по сравнению с термическим оксидированием, производительность увеличивается более чем в 3 раза. Получение или восстановление

оксидных покрытий на поверхностях крупных изделий, изделиях в сборе другими способами не представляется возможным.

Предлагаемые способы МДО, несмотря на относительно высокие показатели производительности, имеют и ряд недостатков. Наиболее существенным является требование к обеспечению электрической безопасности для исполнителей при проведении работ. Применительно к крупносерийному и массовому производству некоторые изделия, представленные классификацией как типовые для МДО перемещаемым электродом, могут быть получены и другими способами. В том числе и комбинированным – в электролитной ванне с последующей обработкой перемещаемым электродом. Поверхности небольших деталей из прутков и трубчатых заготовок, а также мелкие корпусные детали обрабатывают по традиционной технологии в электролитных ваннах.

Заключение

1) Экспериментально подтверждено, что применение МДО на основе предложенных принципов позволило получать или восстанавливать оксидные покрытия на поверхностях крупных изделий, изделиях в сборе, что другими способами не представляется возможным.

2) Описанные способы получения оксидных покрытий на различных поверхностях деталей из титановых сплавов позволяют обеспечить высокое качество и могут быть успешно использованы в технологиях создания крупногабаритных конструкций.

3) При предварительном сопоставлении вариантов технологического процесса нанесения оксидного покрытия останавливаются на таком, который обеспечивает лучшие качества поверхностного слоя и экономическую эффективность.

Список литературы

1. Гордиенко П.С., Гнеденков С.В. Микродуговое оксидирование титана и его сплавов. Владивосток: Дальнаука, 1997. 179 с.
2. Шаталов В.К., Лысенко Л.В. Способ получения защитных покрытий на поверхности металлов и сплавов : пат. 2194804 РФ. 2002.
3. Лысенко Л.В., Шаталов В.К. Формирование оксидных покрытий на крупногабаритных изделиях из титановых сплавов // Судостроение. 2005. № 1. С. 58-60.
4. Шаталов В.К., Лысенко Л.В., Горелова Г.П. Местное микродуговое оксидирование поверхностей деталей из титановых сплавов // Коррозия: материалы, защита. 2005. № 4. С. 45-48.

5. Лысенко Л.В., Шаталов В.К. Теория диффузионно-кинетической модели при микродуговом оксидировании // Коррозия: материалы, защита. 2006. № 10. С. 40-42.
6. Шаталов В.К., Карабахина Т.Ю. Технологические средства формирования покрытий микродуговым оксидированием на крупногабаритных конструкциях // Научные технологии. 2009. Т. 10, № 5. С. 65-71.
7. Шаталов В.К., Карабахина Т.Ю. Микродуговое оксидирование поверхностей крупногабаритных сварных конструкций // Коррозия: материалы, защита. 2009. № 3. С. 25-27.
8. Шаталов В.К., Лысенко Л.В. Закономерности роста оксидных пленок при микродуговом оксидировании. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. 100 с.
9. Шаталов В.К., Лысенко Л.В., Сулина О.В. Технология микродугового оксидирования различных поверхностей крупногабаритных конструкций // Научные технологии. 2012. Т. 13, № 2. С. 35-41.

Micro-arc oxidizing methods for surfaces of details made of titanium alloys

07, July 2013

DOI: 10.7463/0713.0583316

Shatalov V.K., Lysenko L.V., Minaev A.N., Sulina O.V., Shtokal A.O.

Russia, Bauman Moscow State Technical University, Kaluga Branch
Russia, Vladivostok, Far Eastern Federal Universityvkshatalov@yandex.rubaldprice@mail.ruaminaev@mail.rum3kf@bmstu-kaluga.rucuauthemoc1@yandex.ru

Use of titanium alloys in marine environment imposes high requirements on the material quality of contacting parts. Micro-arc oxidation (MAO) is a widely used technique for forming a stable oxide layer with anti-scoring protection. Electrochemical techniques may be difficult to implement for treatment of large size structures, since they require large capacity electrolytic baths as well as high power current sources. Untraditional technical approaches are sought for forming a localized oxide layer on large size structures. This paper describes micro-arc oxidation techniques and equipment which simplify the oxidation bench design, reduce its overall dimensions and electrolyte consumption, as well as electric energy consumption, providing quality anode coating on large nomenclature of titanium alloy parts. The specified problem is tackled due to use of devices that provide local oxidation and are moved along the whole surface of a detail or just along necessary areas. This fact leads to a significant reduction in required power of current sources because MAO occurs in a small area. It also simplifies the cooling process.

Publications with keywords: [electrode](#), [titan](#), [surface](#), [oxide layer](#)

Publications with words: [electrode](#), [titan](#), [surface](#), [oxide layer](#)

References

1. Gordienko P.S., Gnedenkov S.V. *Mikrodugovoe oksidirovanie titana i ego splavov* [Microarc oxidation of titanium and its alloys]. Vladivostok, Dal'nauka, 1997. 179 p.
2. Shatalov V.K., Lysenko L.V. *Cposob polucheniya zashchitnykh pokrytiy na poverkhnosti metallov i splavov* [The method of obtaining protective coatings on the surface of metals and alloys]. Patent RF, no. 2194804. 2002.

3. Lysenko L.V., Shatalov V.K. Formirovanie oksidnykh pokrytiy na krupnogabaritnykh izdeliyakh iz titanovykh splavov [Forming of oxide coatings upon large-dimension products made of titanium alloys]. *Sudostroenie*, 2005, no. 1, pp. 58-60.
4. Shatalov V.K., Lysenko L.V., Gorelova G.P. Mestnoe mikrodogovoe oksidirovanie poverkhnostey detaley iz titanovykh splavov [Local microarc oxidation of surfaces of parts made of titanium alloys]. *Korroziya: materialy, zashita* [Corrosion: Materials, Protection], 2005, no. 4, pp. 45-48.
5. Lysenko L.V., Shatalov V.K. Teopiya diffuzionno-kineticheskoy modeli pri mikpodugovom oksidipovanii [Theory of diffusion-kinetic model during microarc oxidation]. *Korroziya: materialy, zashita* [Corrosion: Materials, Protection], 2006, no. 10, pp. 40-42.
6. Shatalov V.K., Karabakhina T.Yu. Tekhnologicheskie sredstva formirovaniya pokrytiy mikrodogovym oksidirovaniem na krupnogabaritnykh konstruktsiyakh [Technological means of formation of coverings microarc oxygenating on large-sized welded designs]. *Naukoemkie tekhnologii*, 2009, vol. 10, no. 5, pp. 65-71.
7. Shatalov V.K., Karabakhina T.Yu. Mikrodogovoe oksidirovanie poverkhnostey krupnogabaritnykh svarnykh konstruktsiy [Microarc oxidation of surfaces of large-dimension welded structures]. *Korroziya: materialy, zashita* [Corrosion: Materials, Protection], 2009, no. 3, pp. 25-27.
8. Shatalov V.K., Lysenko L.V. *Zakonomernosti rosta oksidnykh plenok pri mikrodogovom oksidirovanii* [Patterns of growth of oxide films at microarc oxidation]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2010. 100 p.
9. Shatalov V.K., Lysenko L.V., Sulina O.V. Tekhnologiya mikrodogovogo oksidirovaniya razlichnykh poverkhnostey krupnogabaritnykh konstruktsiy [Microarc oxidation of various surfaces of large size structures]. *Naukoemkie tekhnologii*, 2012, vol. 13, no. 2, pp. 35-41.