



**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА УДАЛЕНИЯ
ДЕФЕКТНОГО СЛОЯ С ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛЕЙ ДУГОВЫМ РАЗРЯДОМ
В ВАКУУМЕ**

**EXPERIMENTAL RESEARCHES OF DEFECT LAYER REMOVAL
PROCESSES FROM THE SURFACE OF PARTS WITH ARC DISCHARGE IN
VACUUM**

**САПТОВ Т.Э.
КГТУ им. И.Раззакова,
ste-61@mail.ru**

Conducted research of the distribution of cathode spots on the surface of metals, which have a defect layer. The parameters of the processes that influence the distribution of cathode spots on the surface of the workpiece.

Как известно, большинство деталей машиностроения в процессе изготовления подвергаются термическому, химическому и другим видам воздействий, в результате чего на поверхности детали появляется дефектный слой (окалина, смазка, жировые пленки, окисные пленки, загрязнения), который необходимо удалить с целью подготовки поверхности для последующих технологических операций.

Можно выделить следующие наиболее характерные технологические процессы, требующие предварительного удаления с поверхности дефектного слоя:

- нанесение различных покрытий для повышения ресурса и надежности работы деталей;
- визуальное дефектоскопирование поверхностей на наличие поверхностных трещин;
- сварка и пайка деталей с гарантированной прочностью соединения без появления несваренных участков или сквозных прожогов.

Одним из эффективных методов удаления дефектного слоя с поверхностей деталей является использование дугового разряда в вакууме [1, 2, 3]. При давлении остаточных газов в зоне разряда $10^{-1} \div 10^{-4}$ тор, катодные пятна дуги воздействуют только на поверхностные загрязнения, перемещаясь по поверхности катода (детали), задерживаются преимущественно на окалине и загрязнениях и производят их испарение за счет высокой плотности энергии, выделяющихся в зоне пятен (до $10^7 \text{ Вт} / \text{см}^2$).



Локализация катодных пятен и их управляемое сканирование по обрабатываемой поверхности является важной задачей при разработке технологического процесса удаления дефектного слоя с поверхности деталей.

В данной работе проводится экспериментальное исследование закономерностей распределения катодных пятен на обрабатываемой поверхности.

Экспериментальная установка (рис.1) состоит из вакуумной камеры 1, источника питания 2, системы 3 вакуумной откачки, системы 4 охлаждения, привода вращения 5, привода осевого перемещения 6, блока 7 поджига разряда. Напряжение и ток разряда измерялись вольтметром 8 и амперметром 9, встроенными в источник питания. Остаточное давление в камере контролировалось вакуумметром 10. На рис. 2 показан общий вид экспериментальной установки.

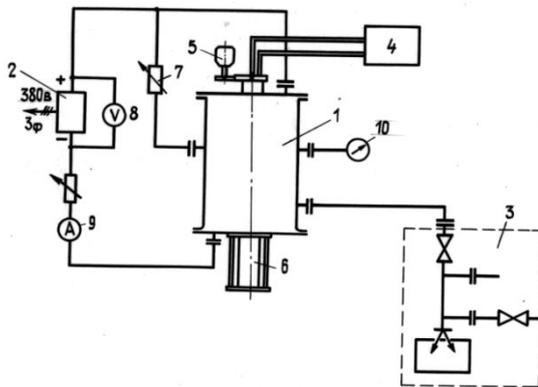


Рис. 1. Функциональная схема экспериментальной установки

Использованный в качестве источника питания экспериментальной установки универсальный сварочный выпрямитель серии ВДУ-504 с падающей внешней характеристикой обеспечивает плавное дистанционное регулирование выходных тока и напряжения, стабилизацию установленного режима удаления ДС и выходных параметров при изменениях напряжения сети. Предел регулирования тока 70-500 А, напряжение на разряде $U = 18-50$ В, напряжения холостого хода $U_{х.х.} = 72-78$ В, мощность 40 кВт.

Система вакуумной откачки выполнена на базе механического насоса типа ВН-2МГ и диффузионного насоса АВП-0,5, и обеспечивала остаточное давление в камере до 10^{-5} кПа, с быстротой откачки $0,200 \text{ м}^3 / \text{с}$.

Блок поджига разряда (в начальнйной установке момент обработки детали) состоит из поджигающего электрода, выполненного из молибденовой проволоки диаметром 6 мм и подключенного к положительному полюсу источника через балластное сопротивление.

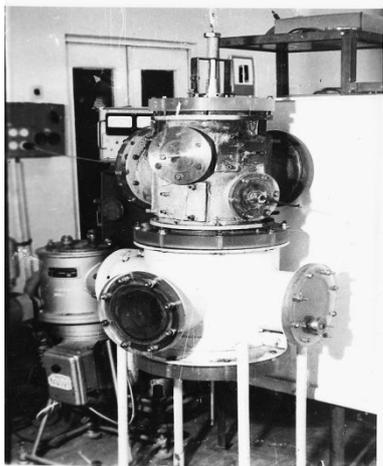


Рис. 2. Общий вид экспериментальной установки

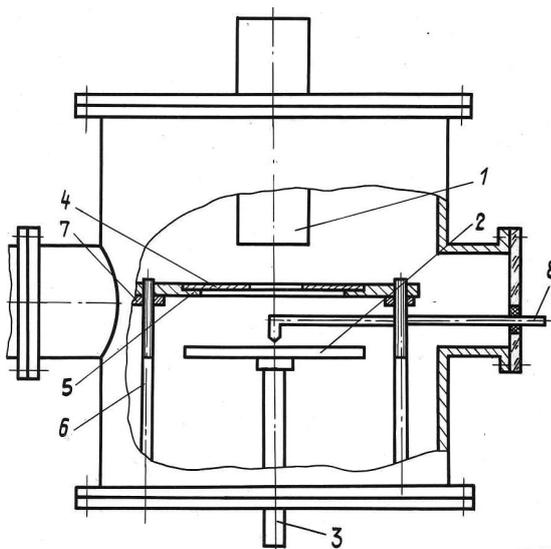
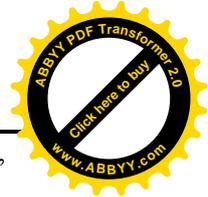


Рис. 3. Внутрикамерное приспособление

При проведении данных исследований использовалась нижняя камера экспериментальной установки, в которой установлено внутрикамерное приспособление (рис. 3). Между электродом 1 и образцом 2, установленных на катоде 3, находится электроизолированный экран 4, размещенный на держателе 5, причем держатель 5 крепится на камеру с помощью болтов 6, на которых имеются регулировочные гайки 7 для регулировки по высоте. Поджиг разряда осуществлялся через дополнительный электрод 8 в виде молибденовой проволоки диаметром 6 мм.

В качестве образцов для исследования применялись пластины (160X200) из стали 11КП толщиной окислы около 5÷7 мкм. В табл. 1 даны размеры использованных электроизолированных экранов и электродов.



Диаметр электрода d_A , мм	Ширина паза в экране d , мм
30	15, 20, 30
60	35, 40, 60

Данные исследования включали в себя изучение влияния на распределение катодных пятен на обрабатываемой поверхности таких параметров процесса, как ток J разряда, время t воздействия, также – межэлектродное расстояние h , диаметр d щели в экране, расстояние K до места токосъема с катода (рис.4).

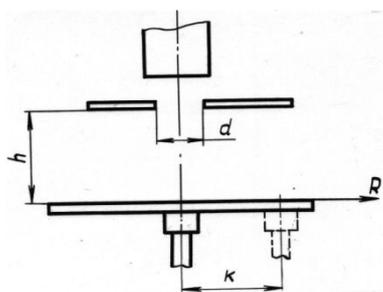
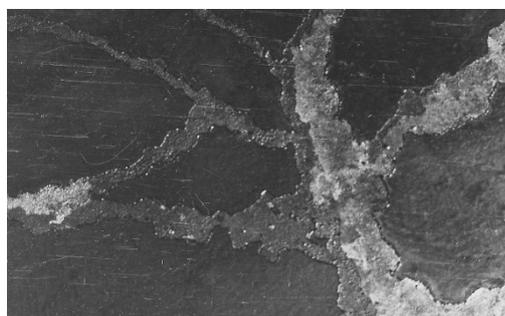


Рис. 4. Схема конструктивных параметров

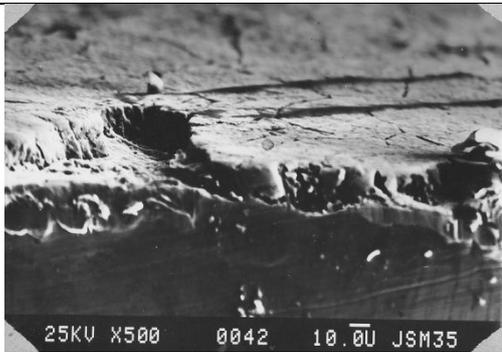
Изучение поверхности обработанных образцов проводилось методом “автографов”, то есть следов оставляемых катодными пятнами на поверхности.



а)



б)



в)

Рис. 5. «Автографы» катодных пятен на поверхности стали 11КП. а) – вид поверхности металла после воздействия пятен, б) – увеличенный участок, в) – шлиф окончания следа катодного пятна, увеличенный 500 раз.

Производится оценка количества следов, их длина и ширина. На рис. 5 представлены следы, оставленные пятнами на обрабатываемой поверхности стали 11КП. Также изображен шлиф окончания следа пятна, увеличенный в 500 раз.

Оценивалось отношение площади S_0 поверхности подвергнутой воздействию катодными пятнами, ко всей площади S - обработки, на различных расстояниях от центра проекции электрода на обрабатываемой поверхности. Измерение площади S_0 проводилось с помощью прозрачного шаблона, который накладывался на обработанную поверхность. При этом на шаблоне прочерчены концентричные окружности различных диаметров. Отношение S_0/S оценивалось по длинам дуг окружностей характеризующих участки, где удален ДС. Для наглядности, на всех графиках экспериментально полученные точки не указывались а были аппроксимированы в плавные линии.

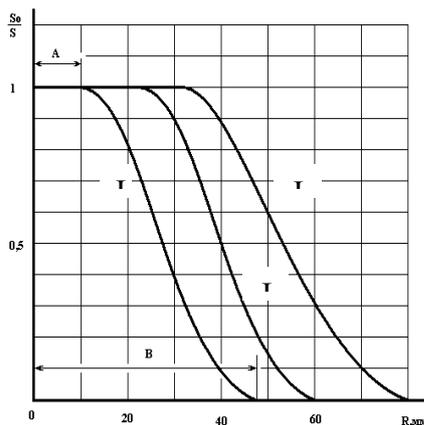
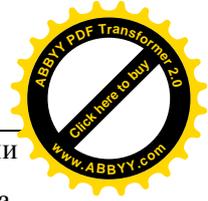


Рис.6. Зависимость изменения относительной площади, подверженной воздействию пятен, от расстояния R : I - $Jt = 500$ Кл; II - $Jt = 1000$ Кл; III - $Jt = 1500$ Кл



Представлена также зависимость отношения S_0/S от расстояния R от центра проекции электрода на обрабатываемую поверхность при различном заряде Jt за время горения разряда. Как видно, в центре зоны обработки достигается полное удаление ДС, и по мере увеличения расстояния R удельная площадь воздействия пятен уменьшается. С увеличением величины заряда Jt протекшего при горении разряда, расстояние A , характеризующее зону полного удаления ДС ($S_0/S=1$), возрастает, величина B , характеризующая максимальное расстояние, на которое воздействуют катодные пятна, также увеличивается, но более медленно.

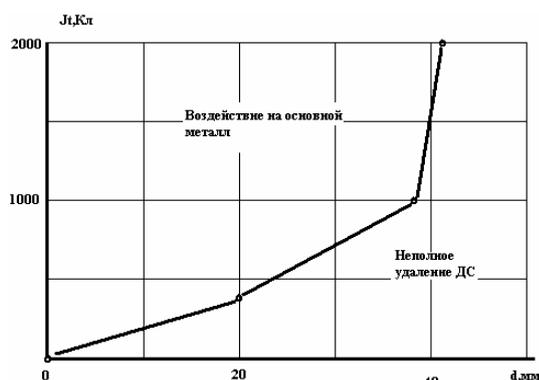


Рис. 7. Зависимость величины заряда от ширины щелевого паза на экране.

Рост величины A вместе с возрастанием площади полного удаления ДС ведет к увеличению эрозии основного материала в центре ($R=0$), что приводит к неравномерности обработки и нежелательным изменениям структуры поверхностного слоя основного металла. Степень эрозии основного металла оценивалась косвенно, через шероховатость поверхности (т.е. отношение шероховатостей поверхности после и до обработки). Для достижения однородности распределения катодных пятен в зоне обработки необходимо привести в соответствие значения Jt , что является технологическим параметром процесса, и такого конструктивного параметра как d -размер отверстия в экране. На рис. 7 показан график зависимости протекшего заряда Jt от размера d отверстия в экране при условии максимума полностью обработанной площади. Видно, что оптимальный диапазон размеров отверстия (щели) в электроизолированном экране лежит в пределах от 10 мм до 20.

При $d/2 > 20$ мм происходит резкое увеличение требуемого заряда для полного удаления ДС. Снизу этот диапазон ограничен по соображениям обеспечения необходимой интенсивности обработки. Также важным конструктивным параметром, влияющим на распределение катодных пятен, является межэлектродное расстояние h . От значения h во многом зависит максимальное расстояние B ухода катодных пятен от центра (от начала координат R). Из зависимости представленной на рис. 8, видно, что значение B прямо пропорционально h .

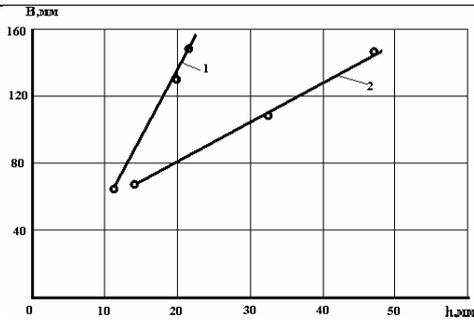


Рис. 8. Зависимость величины V от межэлектродного расстояния h :

$$1 - z = 10 \dots 12 \text{ мкм}; 2 - z = 40 \text{ мкм}$$

Это подтверждает тот факт, что в зоне прямой видимости между поверхностями анода (электрода) и катода (детали) создаются более благоприятные условия для эмиссии электронов с поверхности катода внутри этой зоны. С другой стороны, резкое увеличение зоны воздействия пятен приводит к уменьшению доли поверхности с равномерно удаленным ДС (рис. 9).

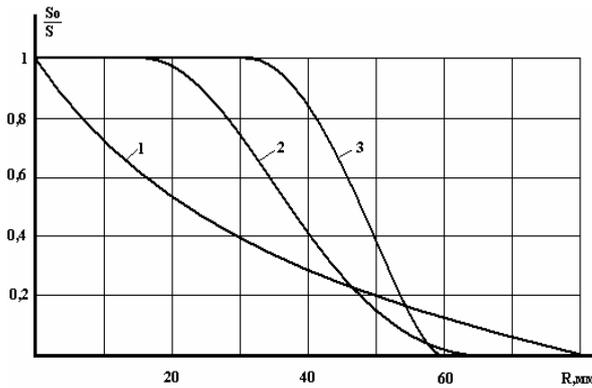


Рис. 9. Зависимость изменения относительной площади, подверженной воздействию

пятен по R и межэлектродному расстоянию:

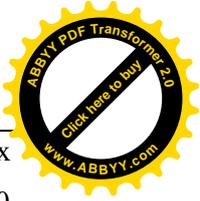
$$1 - h = 60 \text{ мм}; 2 - h = 30 \text{ мм};$$

$$3 - h = 15 \text{ мм}.$$

При больших h величина A уменьшается, что приводит к уменьшению равномерного удаления ДС. Полная равномерность обработки достигается при малых значениях h . В принципе для плоских поверхностей деталей легко достичь равномерности удаления ДС, выбирая межэлектродное расстояние очень маленьким, при этом оставив зазоры между электродом и экраном, экраном и поверхностью детали.

В результате указанных исследований было экспериментально определено следующее:

- на распределение катодных пятен на обрабатываемой поверхности внутри зоны стабилизации оказывают влияние величина протекающего заряда Jt , межэлектродное расстояние h , размер щели в экране;



- для достижения однородности распределения катодных пятен при минимальных энергозатратах рекомендуется размер ширины паза в экране выдерживать в пределах 10...20 мм;
- с увеличением межэлектродного расстояния h увеличивается площадь возможного воздействия катодных пятен, но при этом доля обработанной поверхности уменьшается; полная равномерность обработки достигается при минимально возможных h , которая зависит от геометрических размеров обрабатываемой детали.

Литература

1. Булат В.Е., Эстерлис М.Х. Очистка металлических изделий от окалины, окисной пленки и загрязнений электродуговым разрядом в вакууме // Физика и химия обработки материалов. – 1987. - №3. – С. 49-53.
2. Л.И. Волчкевич, М.Э. Эстерлис, В.В. Жуков, Т.Э. Сартов. Обработка полузакрытых внутренних поверхностей изделий избирательным разрядом в вакууме // Тезисы докладов Всесоюзной научно-технической конференции «Разработка и промышленная реализация новых механических и физико-химических методов обработки». – М., 1988. – С. 161.
3. Сартов Т.Э. Тепловая модель катодного пятна вакуумной дуги // Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова. – 2011. - №24. – С. 472-476.