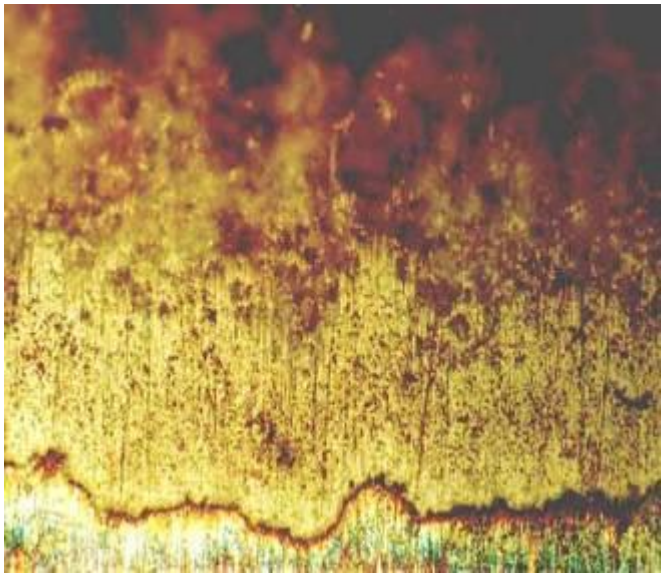
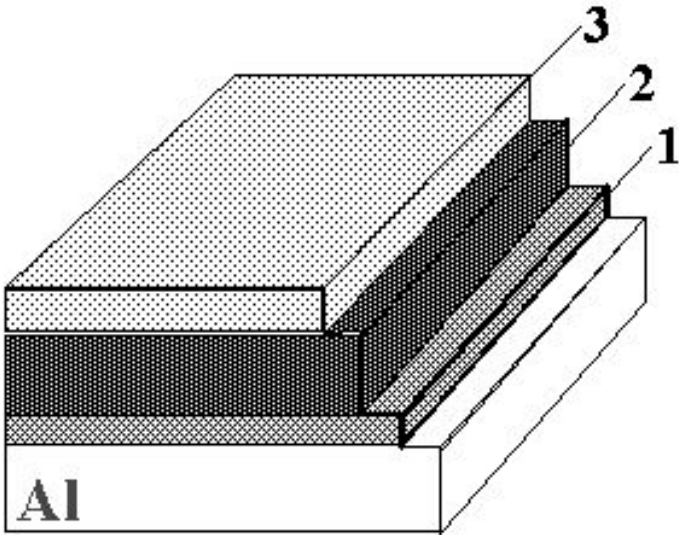
МИКРОДУГОВОЕ ОКСИДИРОВАНИЕ

- ***Микродуговое оксидирование*** - **МДО** - один из наиболее перспективных видов поверхностной обработки (модификаци), получающий в последнее время все более широкое распространение в самых различных отраслях промышленности ***для формирования многофункциональных керамикоподобных покрытий,*** использующихся ***в качестве износо- и коррозионностойких, диэлектрических и теплостойких, а также как декоративные*** покрытия.
- Микродуговое оксидирование ***берет свое начало от традиционного анодирования, однако имеет ряд существенных отличий*** от него, а именно: процесс ведется при напряжениях на 1-2 порядка выше (до 1000 В); используются в основном не постоянный, а переменный и импульсный токи; применяются в основном не кислотные, а слабощелочные электролиты. .
- Таким образом, МДО относится к электро(физико-) химическим процессам, однако его ***главной отличительной особенностью является использование энергии электрических микроразрядов***, хаотично мигрирующих по поверхности обрабатываемых в электролите изделий и оказывающих термическое и плазмохимическое воздействие на само покрытие и электролит.
- ***Характерные особенности процесса МДО***: высокие температуры в разрядных каналах и, как следствие, образование высокотемпературных фаз в покрытии, например, твердого α-Al_2O_3 - корунда - для алюминиевых сплавов и в электролитах, содержащих растворимые алюминаты; термическая деструкция воды с образованием атомарного и ионизированного кислорода; локальное увеличение концентрации электролита и специфические плазмохимические реакции в зоне разряда; локальная последовательная переработка в разряде оксидов, сформированных электрохимическим путем.
- ***Основные преимущества МДО***: экологичность электролитов, отсутствие необходимости специальной предварительной подготовки поверхности перед нанесением покрытий, простота технологии и компактность оборудования.
- ***Состав, структура и свойства формируемых МДО-покрытий*** определяются природой обрабатываемого материала и технологическими параметрами процесса: электролитом, режимом и продолжительностью обработки.
- Технология микродугового оксидирования ***применяется для обработки вентильных металлов и их сплавов*** (Al, Mg, Ti, Ta, Nb, Zr, Be и т. п.), т.е. металлов, чьи оксидные пленки, формируемые электрохимическим путем, обладают униполярной проводимостью в системе металл-оксид-электролит.

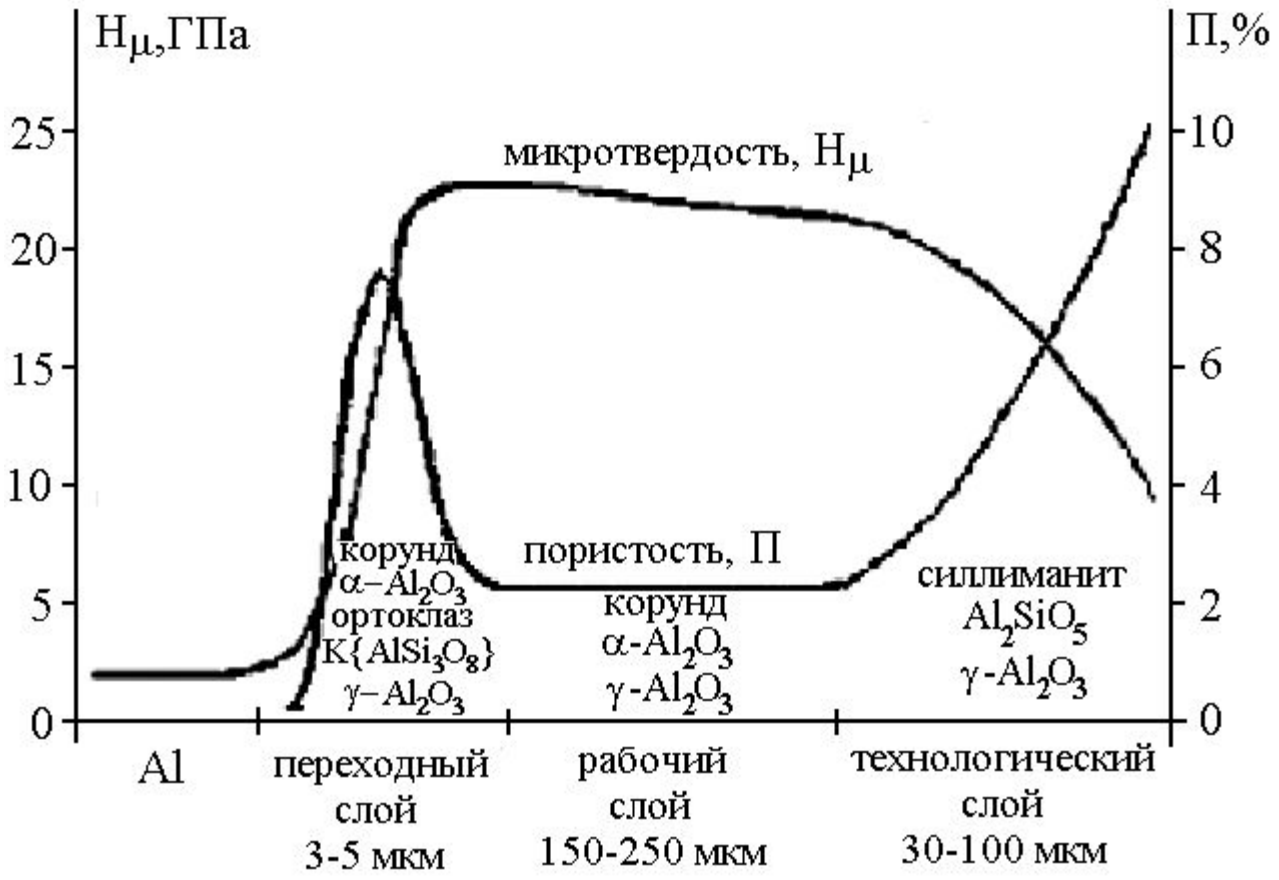
СТРУКТУРА МДО-ПОКРЫТИЯ НА АЛЮМИНИИ



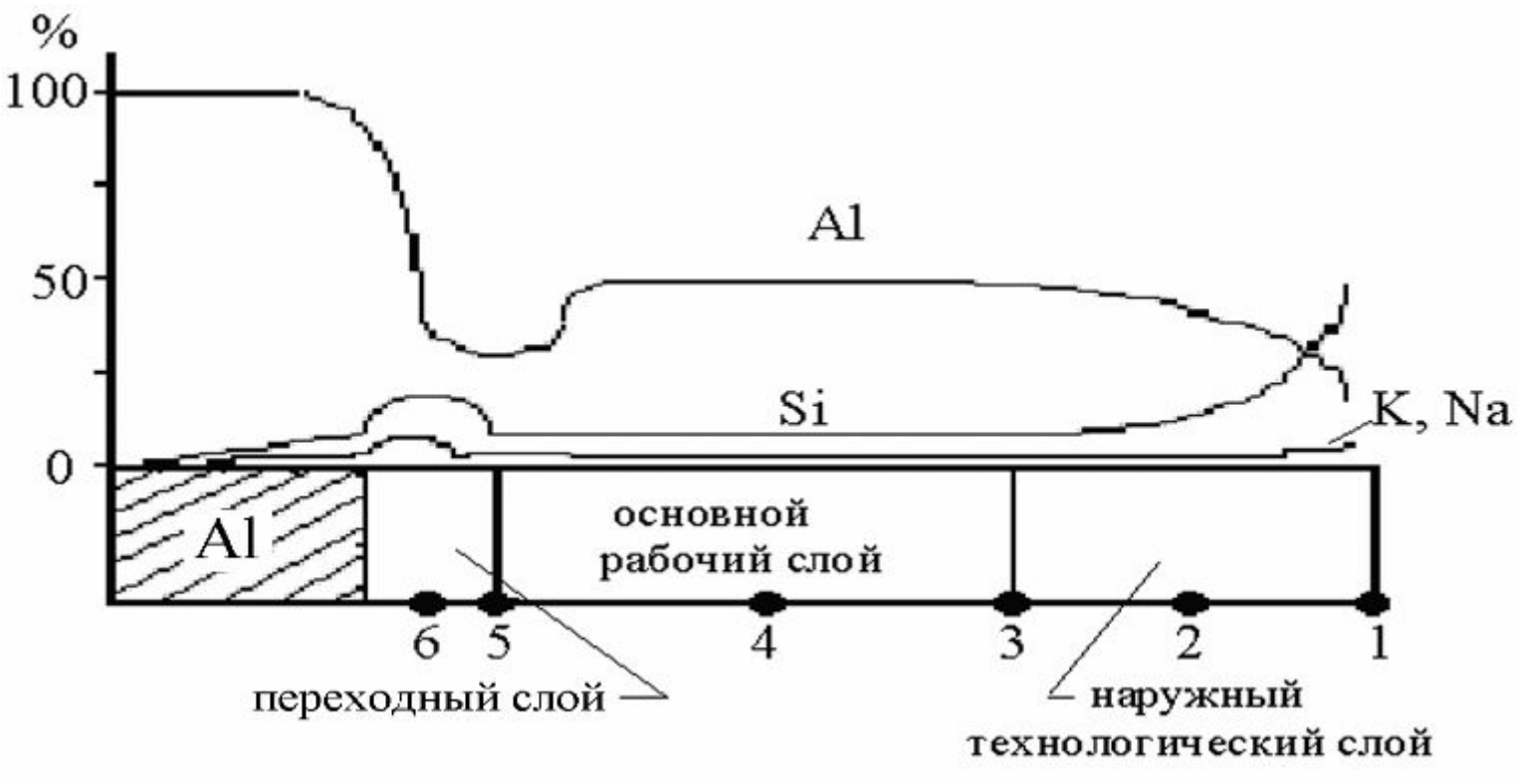


1 **–переходный слой**
2 **– рабочий слой**
3 **– технологический слой**

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МИКРОТВЕРДОСТИ, ПОРИСТОСТИ И ОСНОВНЫХ ФАЗ ПО ТОЛЩИНЕ МДО-ПОКРЫТИЯ, СФОРМИРОВАННОГО В СИЛИКАТНО-ЩЕЛОЧНОМ ЭЛЕКТРОЛИТЕ

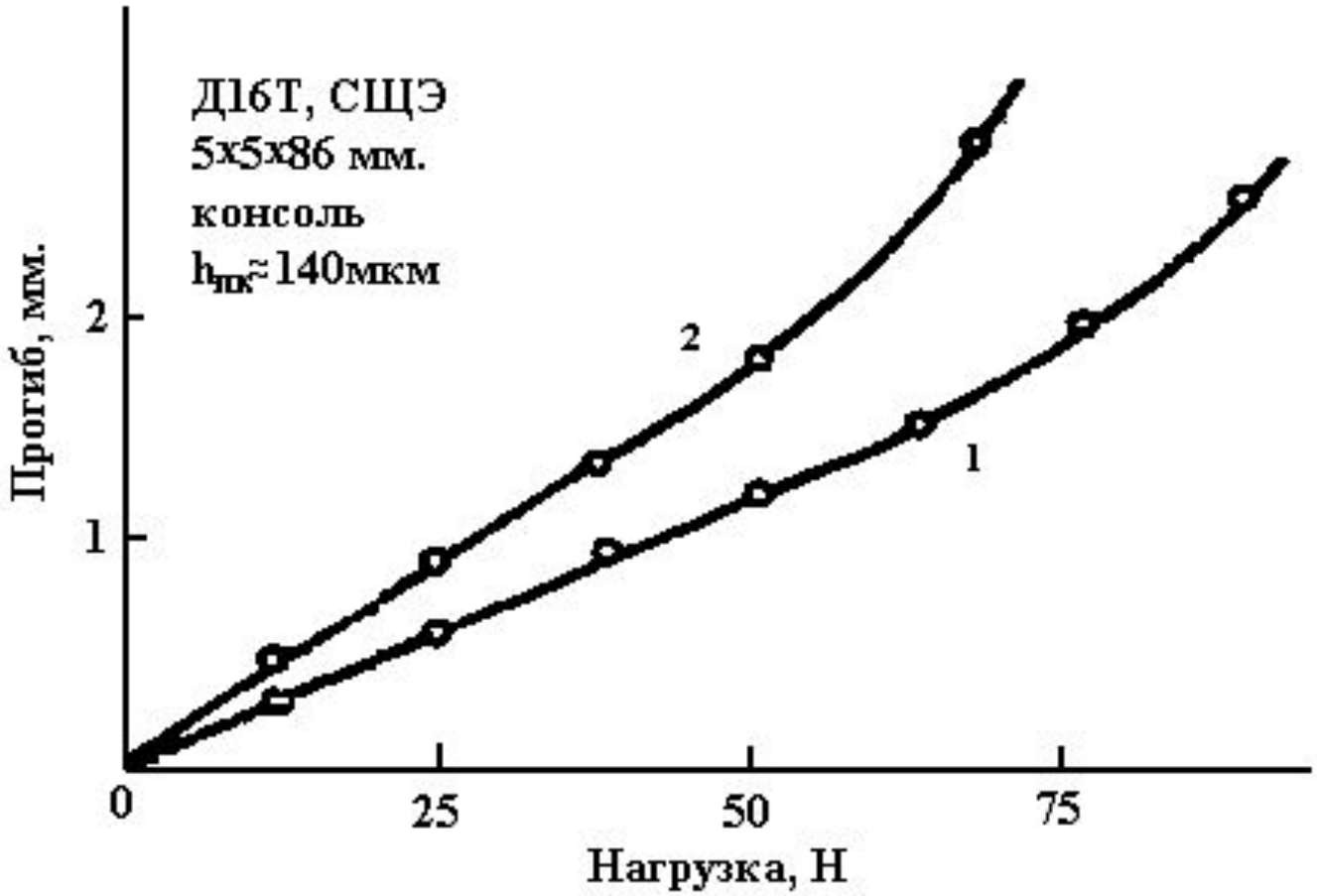


РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ПО ТОЛЩИНЕ МДО-ПОКРЫТИЯ

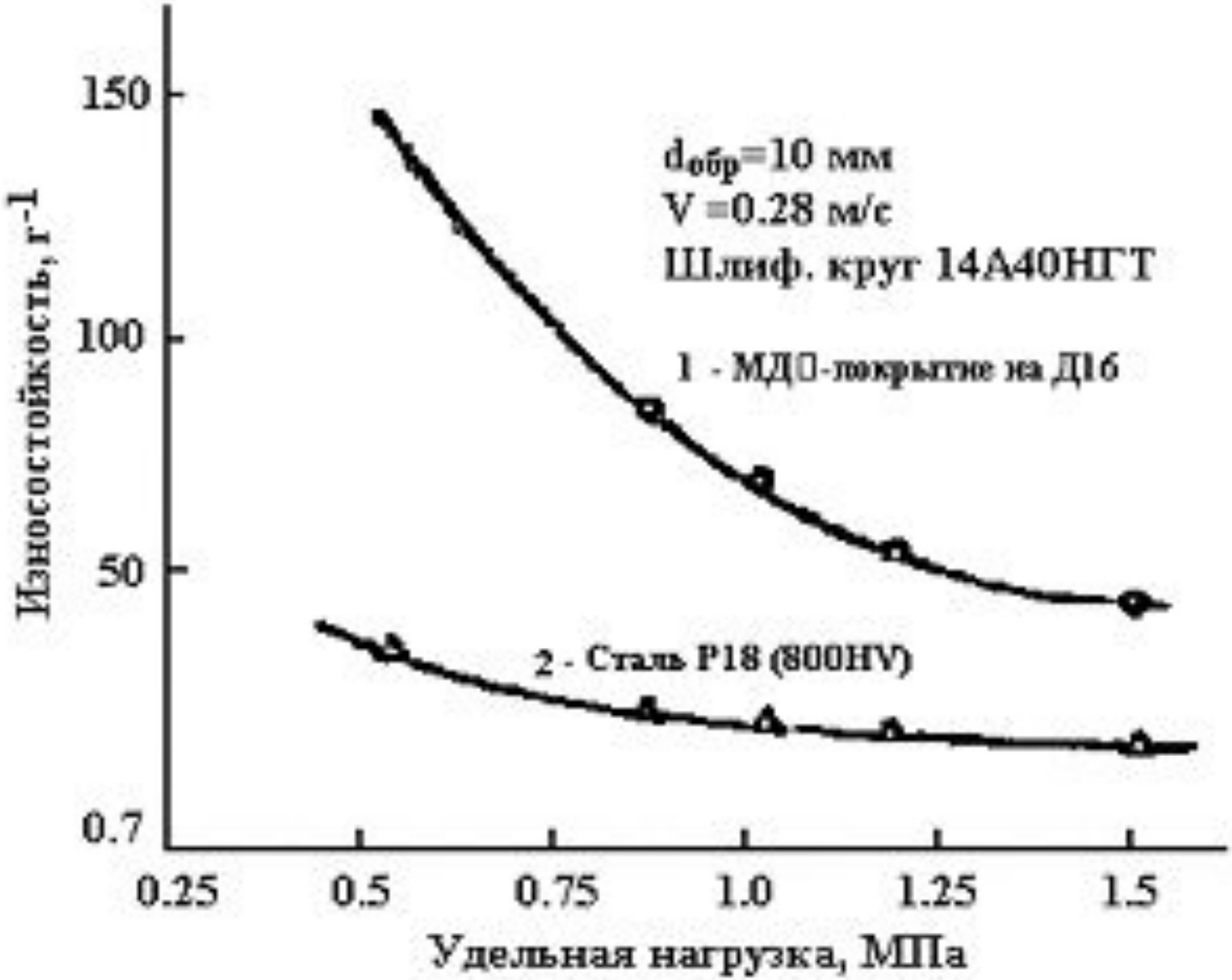


Слой покрытия	Кристаллическая фаза		
	основа слоя покрытия	в меньшем количестве	идентифицирована по слабым дифракционным максимумам
1. Поверхность покрытия	γ-Al_2O_3 – $I_{отн}$ = 100 Al_2SiO_5 – $I_{отн}$ = 83 (силлиманит)	α-Al_2O_3 – $I_{отн}$ = 40 (корунд) $K\{AlSi_3O_8\}$ – $I_{отн}$ = 31 (ортоклаз) $Na\{AlSiO_4\}$ – $I_{отн}$ = 14 (нефелин) SiO_2 – $I_{отн}$ = 11 (α-кристобалит) SiO_2 – $I_{отн}$ = 11 (α-кварц)	$KAlO_2$ Al
2. Наружный технологический слой	Al_2SiO_5 – $I_{отн}$ = 100 γ-Al_2O_3 – $I_{отн}$ = 95 α-Al_2O_3 – $I_{отн}$ = 84	$K\{AlSi_3O_8\}$ – $I_{отн}$ = 43 SiO_2 – $I_{отн}$ = 7 (α-кварц) $KAlO_2$ – $I_{отн}$ = 16	$Na\{AlSiO_4\}$
3. Граница между технологическим и рабочим слоями	α-Al_2O_3 – $I_{отн}$ = 100 γ-Al_2O_3 – $I_{отн}$ = 53	Al_2SiO_5 – $I_{отн}$ = 11	SiO_2 (α-кристобалит) Al $KAlO_2$ $K\{AlSi_3O_8\}$
4. Основной рабочий слой	α-Al_2O_3 – $I_{отн}$ = 100	γ-Al_2O_3 – $I_{отн}$ = 39 Al – $I_{отн}$ = 35	SiO_2 (α-кристобалит) SiO_2 (α-кварц) $K\{AlSi_3O_8\}$
5. Граница между рабочим и переходным слоями	α-Al_2O_3 – $I_{отн}$ = 100 Al – $I_{отн}$ = 70	γ-Al_2O_3 – $I_{отн}$ = 47 $K\{AlSi_3O_8\}$ – $I_{отн}$ = 21	SiO_2 (α-кварц)
6. Переходный слой	Al – $I_{отн}$ = 100	α-Al_2O_3 – $I_{отн}$ = 20 $K\{AlSi_3O_8\}$ – $I_{отн}$ = 14 γ-Al_2O_3 – $I_{отн}$ = 10	SiO_2 (α-кварц)

Влияние нагрузки на прогиб образцов с МДО-покрытием (1) и без покрытия (2)



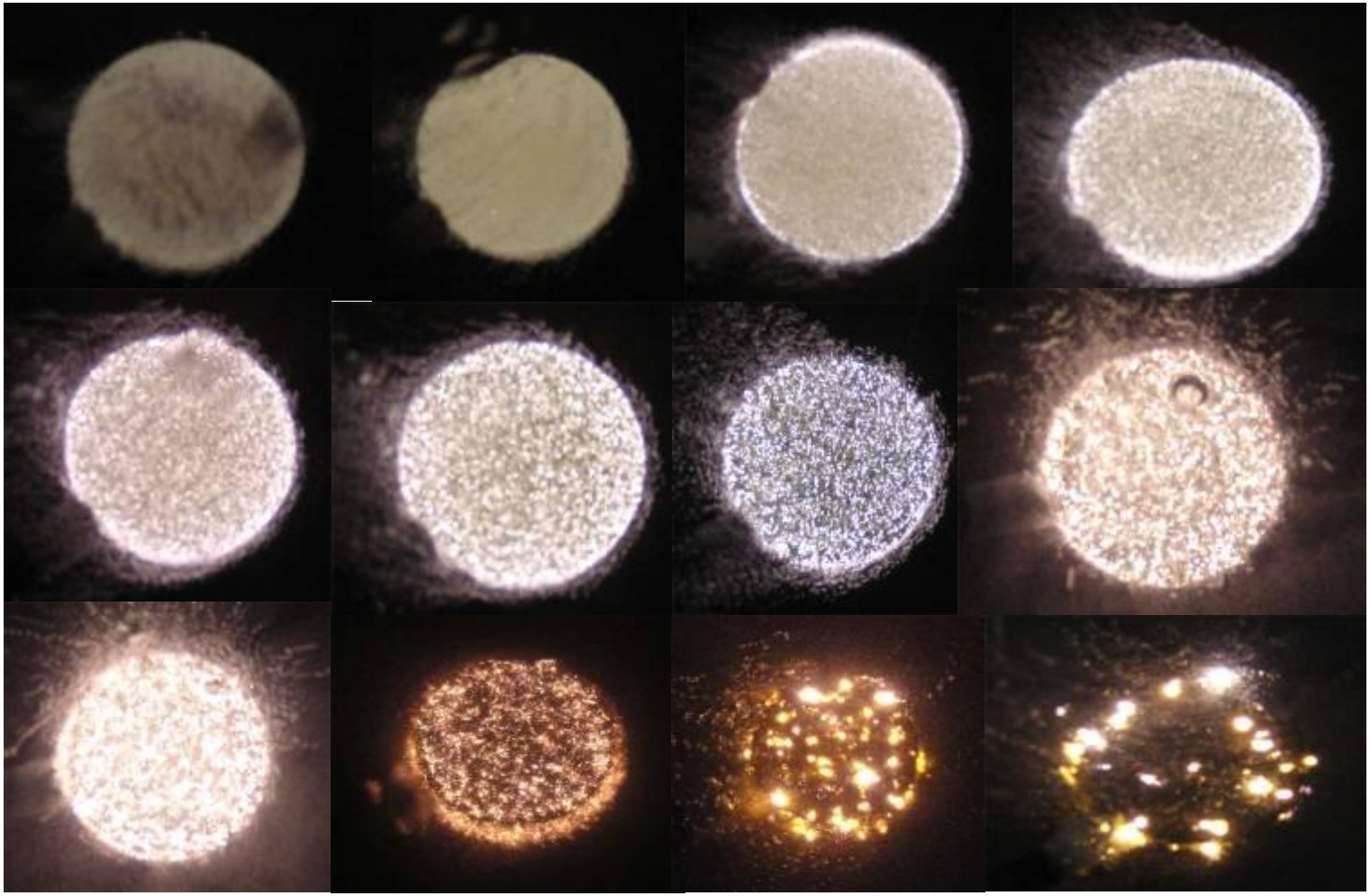
Зависимость износостойкости от удельной нагрузки



ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МДО-ПОКРЫТИЙ, ПОЛУЧАЕМЫХ НА АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВАХ В СИЛИКАТНО-ЩЕЛОЧНОМ ЭЛЕКТРОЛИТЕ

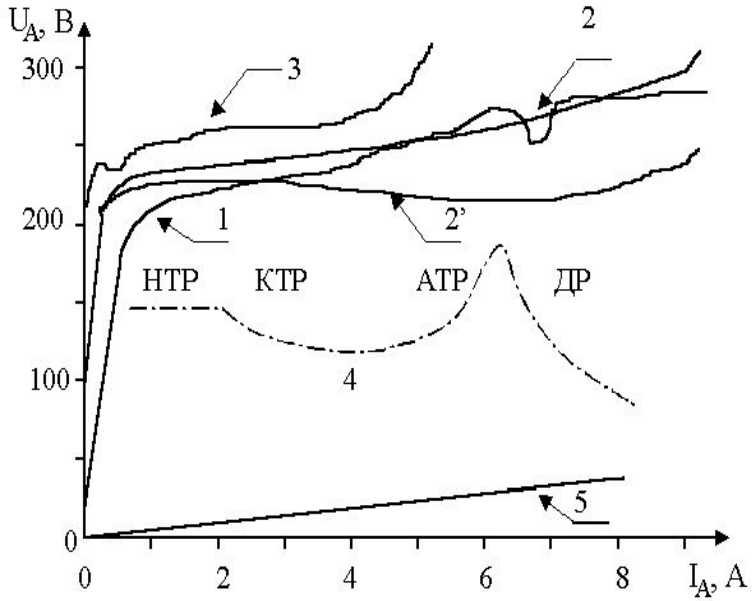
● **толщина**	**– до 400 мкм**
● **микротвердость**	**– до 2500 кг/мм^2**
● **пробойное напряжение**	**– до 6000 В**
● **теплостойкость**	**– выдерживает тепловой удар до 2500 ^{0}С**
● **коррозионная стойкость**	**– 1-й балл по десятибалльной шкале (высший)**
● **износостойкость**	**– на уровне твердых сплавов**
● **пористость**	**– от 2 до 50 % (регулируемая)**

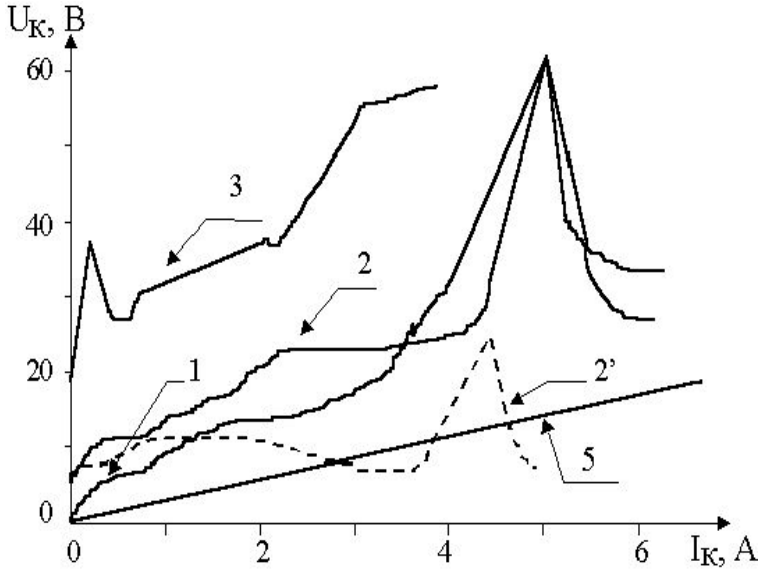
ДИНАМИКА РАЗВИТИЯ МИКРОРАЗРЯДОВ НА ОБРАБАТЫВАЕМОЙ ПОВЕРХНОСТИ В ПРОЦЕССЕ МДО



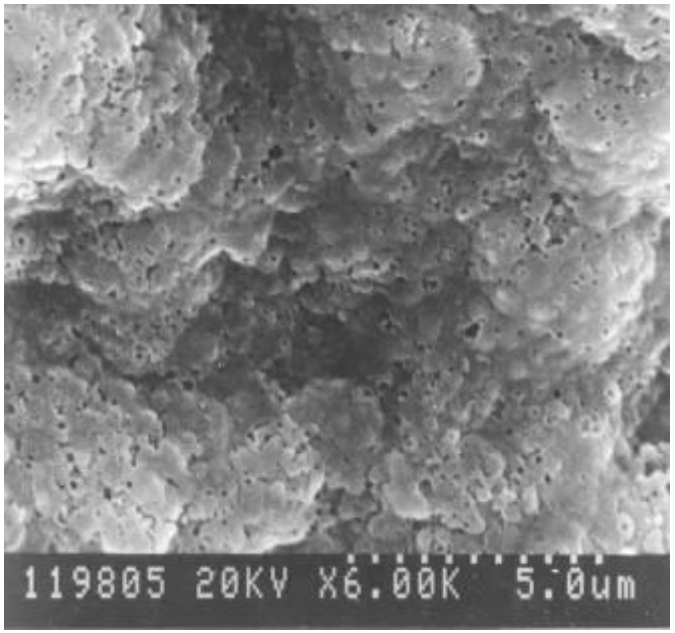
слева направо и сверху вниз:
люминесценция, искрение, микродуговой и дуговой микроразряды

СТАТИЧЕСКИЕ ВАХ АНОДНОГО И КАТОДНОГО МДР





МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ ПЕРЕХОДНОГО СЛОЯ МДО-ПОКРЫТИЯ В ПРОЦЕССЕ ОКСИДИРОВАНИЯ



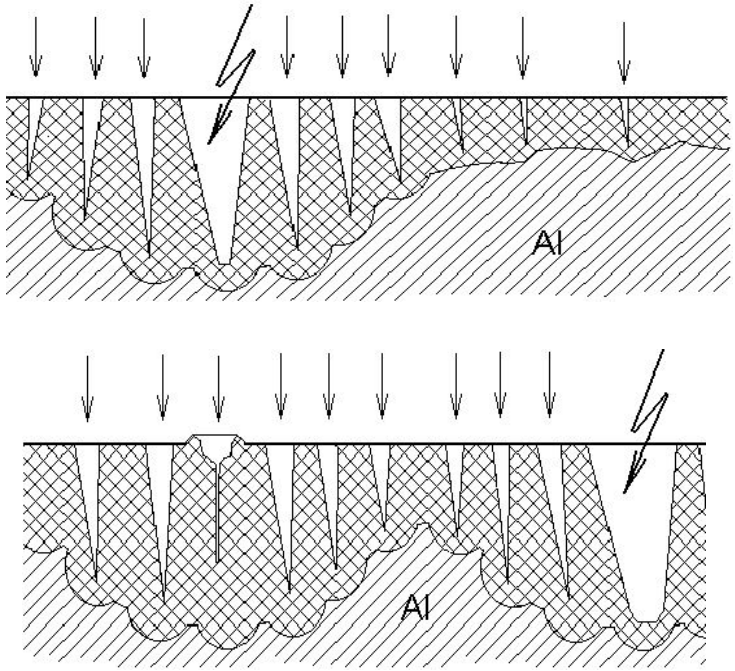
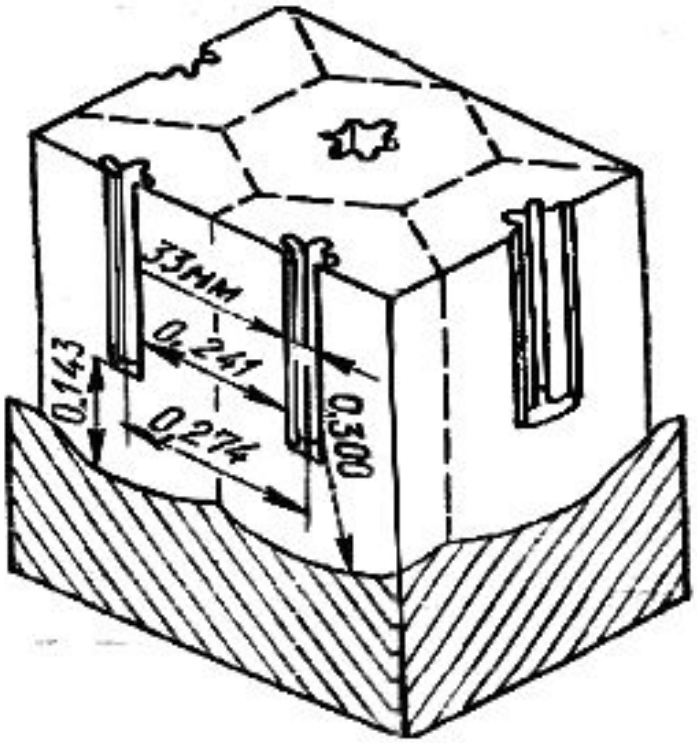
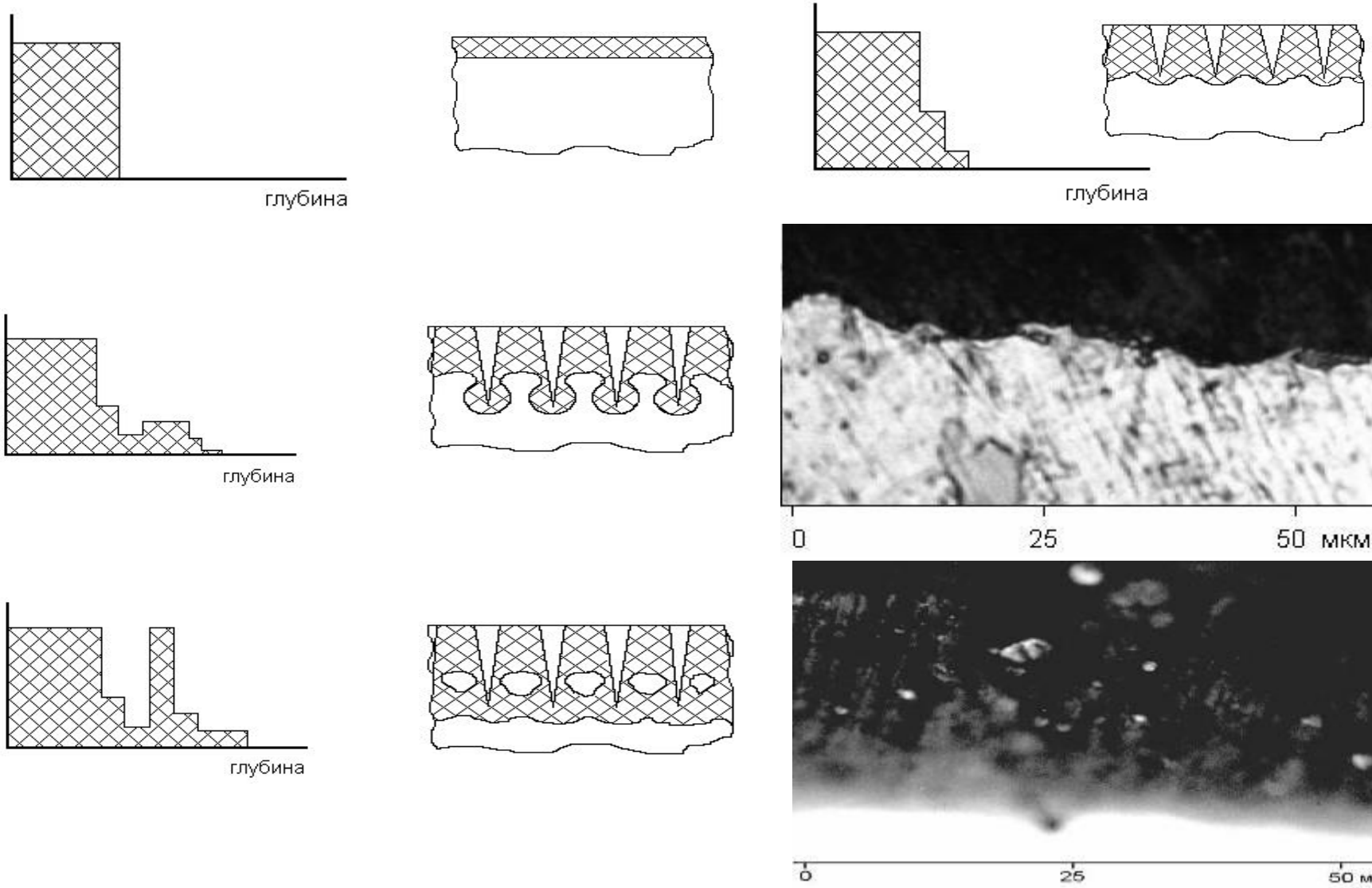


СХЕМА «ИДЕАЛЬНОЙ» СТРУКТУРЫ ПОРИСТОЙ АНОДНОЙ ОКСИДНОЙ ПЛЕНКИ



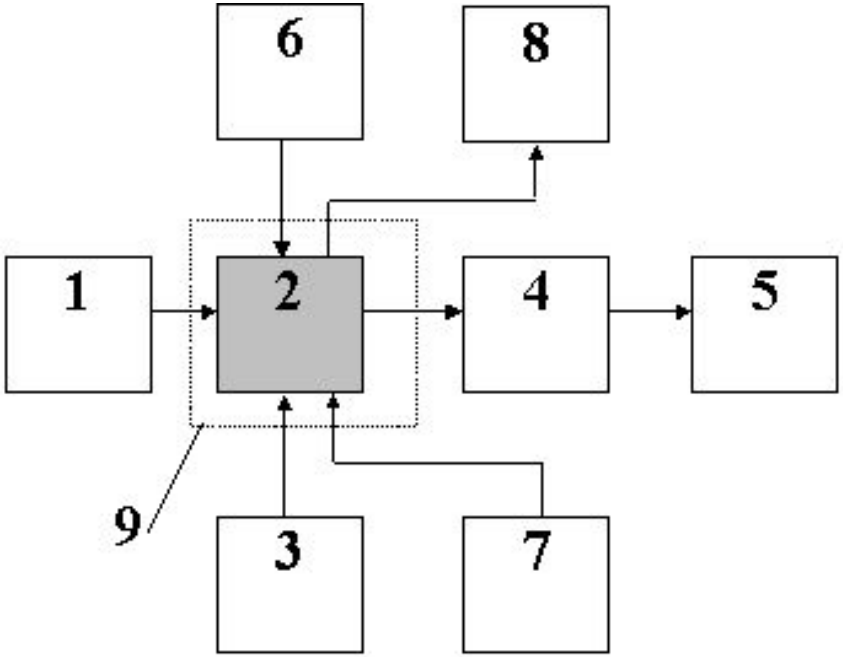
КЕЛЛЕРОВСКИЕ ЯЧЕЙКИ,
(размеры в мкм, если не указано иначе)

МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ ПЕРЕХОДНОГО СЛОЯ МДО-ПОКРЫТИЯ В ПРОЦЕССЕ ОКСИДИРОВАНИЯ



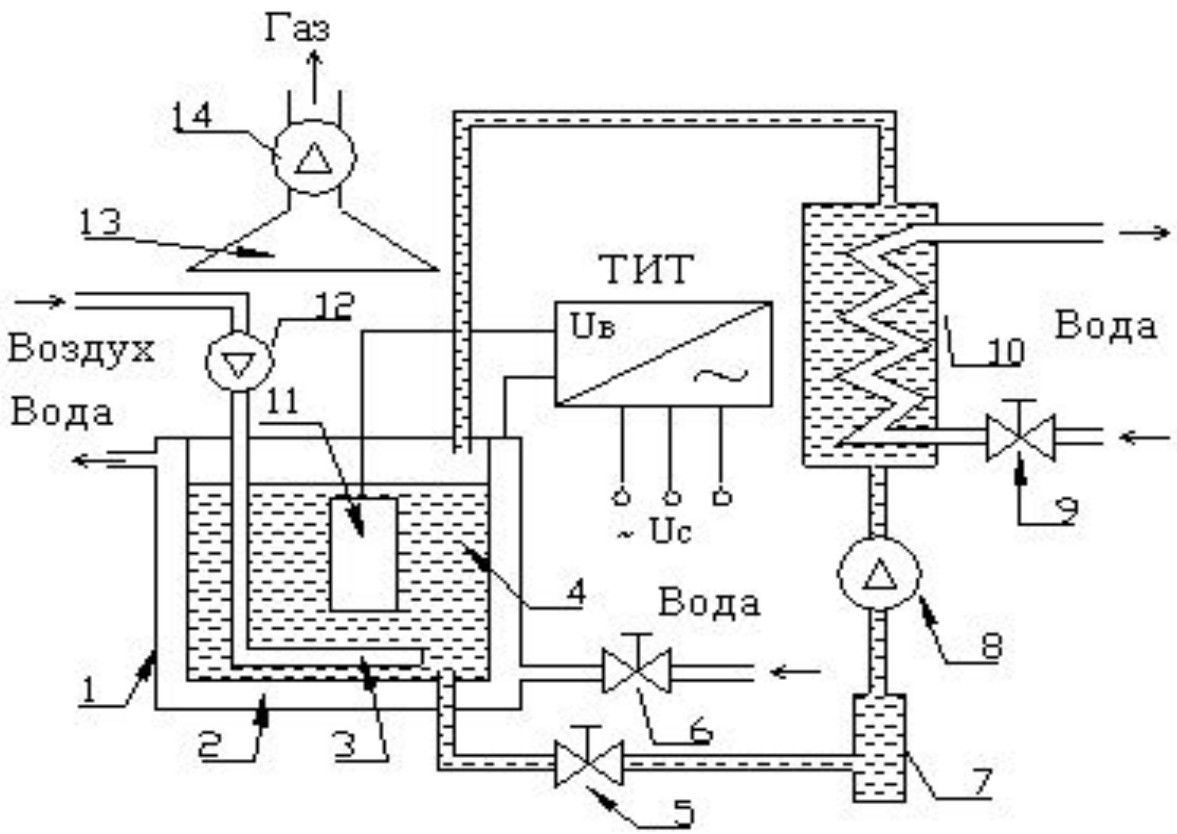
ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ ПРИ МДО

СХЕМА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УЧАСТКА МДО



1 – ванна очистки (обезжиривания) перед нанесением покрытий (применяется только для сильно загрязненных деталей); 2 – водоохлаждаемая рабочая электролитная ванна для нанесения покрытий; 3 – технологический источник тока для реализации режимов МДО; 4 – ванна для промывки готовых деталей в воде; 5 – сушильный шкаф для сушки готовой продукции (используется при большом потоке продукции); 6 – система перемешивания электролита в рабочей ванне; 7 – система дистилляции или деминерализации воды (используется только на стадии заполнения и корректировки электролитной ванны); 8 – вытяжная вентиляция; 9 – защитное ограждение электролитной ванны

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СХЕМА УСТАНОВОК МДО



1 **– электролитная ванна;** *2* **– рубашка водяного охлаждения;**
3 **– барботер;** *4* **– электролит;** *5, 6, 9* **– запорная арматура;** *7* **– фильтр;**
8 **– водяной насос;** *10* **– бак с теплообменником;** *11* **– деталь;**
12 **– воздушный компрессор;** *13* **– вытяжной зонт;**
14 **– вытяжной вентилятор**

Установка МДО-200

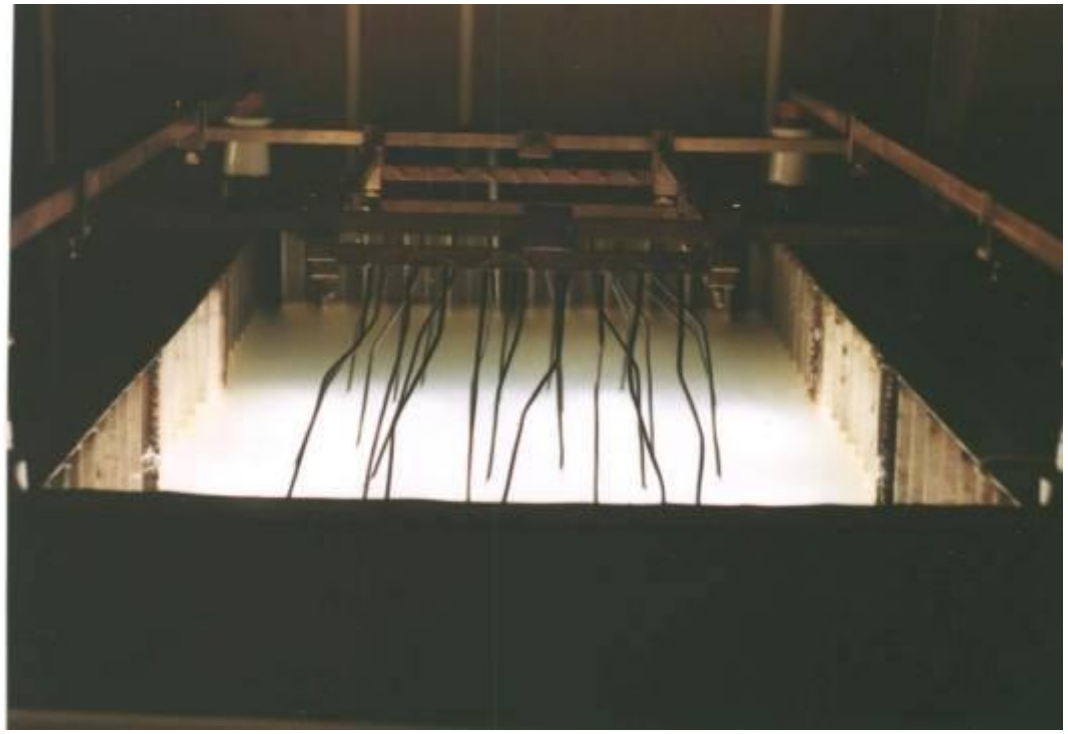
НАИМЕНОВАНИЕ	НОРМА
1. Тип	Стационарная
2. Номинальная мощность, кВт	200
3. Максимальный ток, А	500
4. Рабочая емкость, м3	1,6
Электрическое напряжение питающей сети при частоте 50 Гц ±2,5%, В	380
6. Габаритные размеры, мм, не более - ванна в сборе с подставкой, шинами и токосъемниками длина ширина высота - электрошкаф в сборе с пультом управления длина ширина высота	1942 1000 1540 1350 650 1315
7. Масса, кг, не более	1200
8. Количество обслуживающего персонала, чел.	1

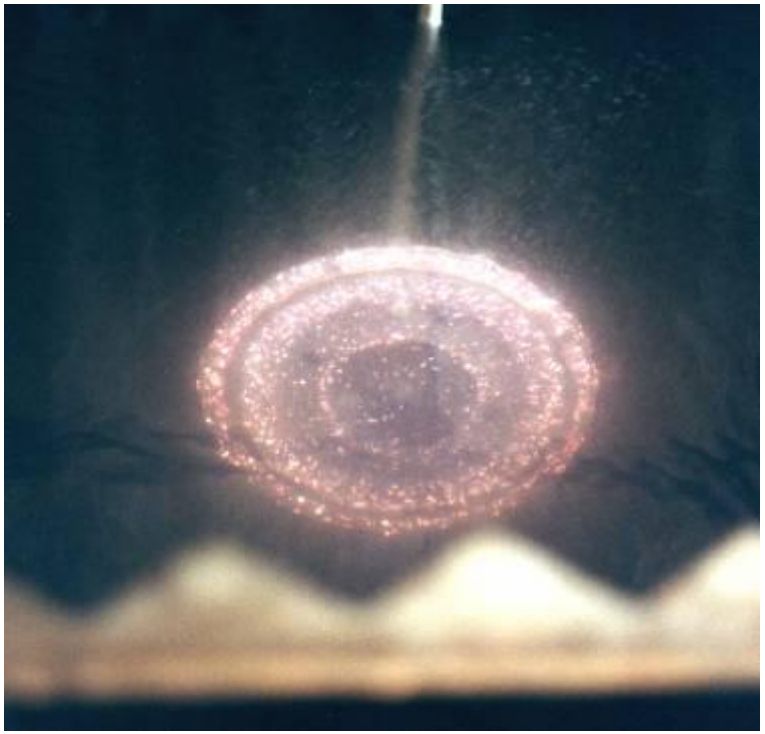
Требования по размещению оборудования для МДО

1. Электрические параметры: трехфазная сеть: ~ 380 В; 50 Гц.
2. Наличие проточной воды для охлаждения ванны.
3. Наличие сжатого воздуха для барботажа и перемешивания электролита.
4. Наличие вытяжной вентиляции с поверхности ванны или из изолированного бокса, в котором размещена ванна.
5. Требуемая площадь для размещения оборудования для МДО мощностью 200 кВт - около 20 -25 м^2.
6. Наличие защитного ограждения электролитной ванны.

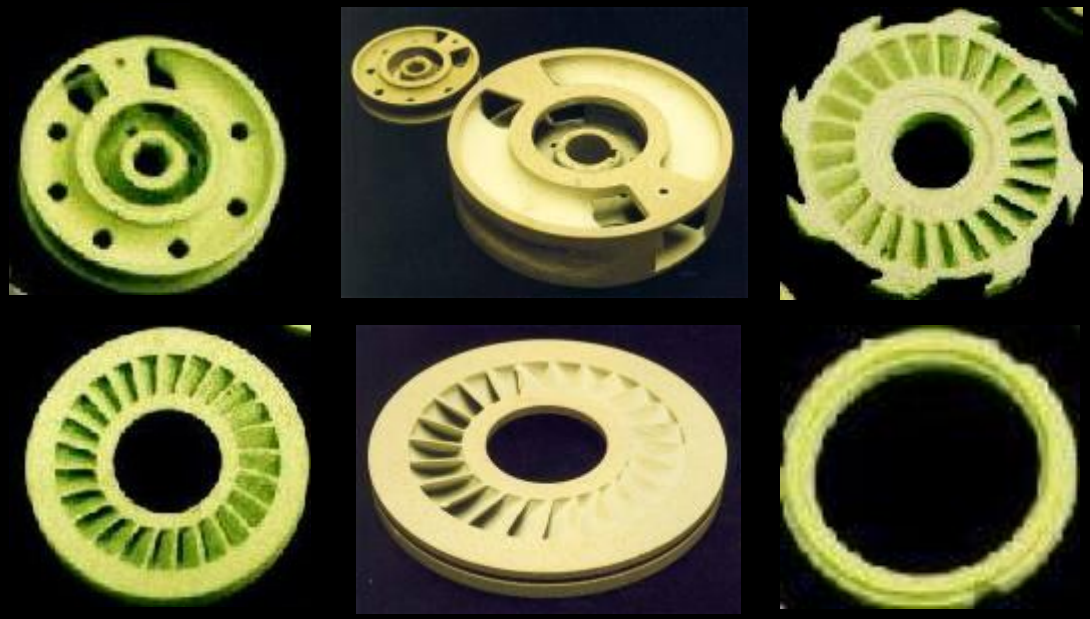
Манипулятор и блок автоматизации установки МДО

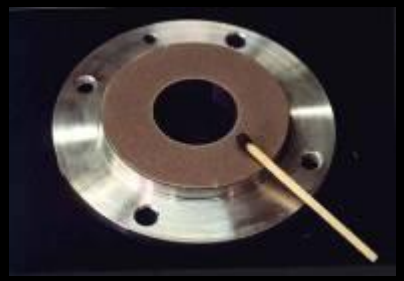
Начало и завершение процесса МДО

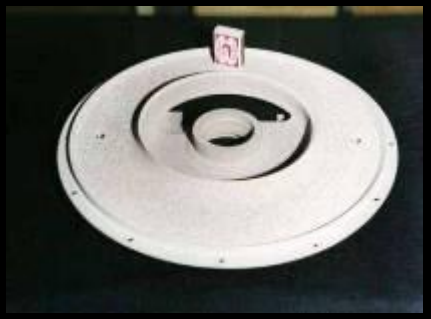


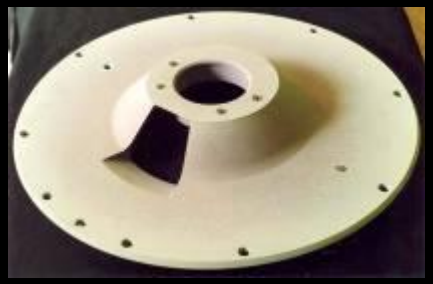
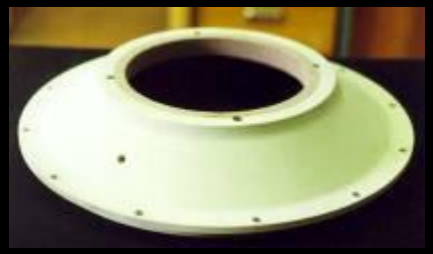
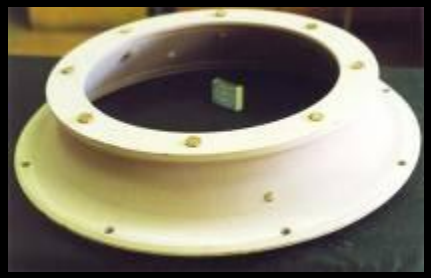


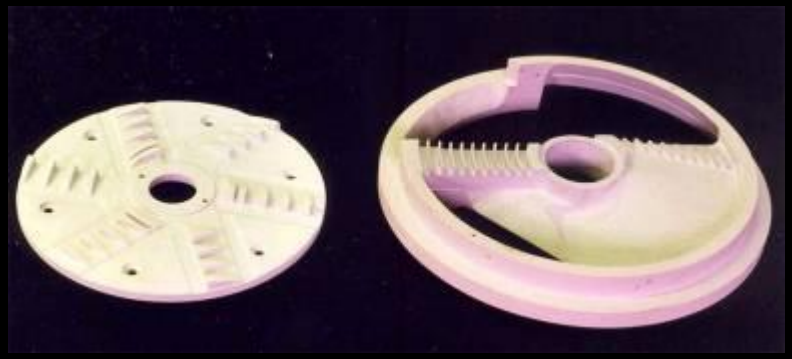
Области применения МДО-покрытий

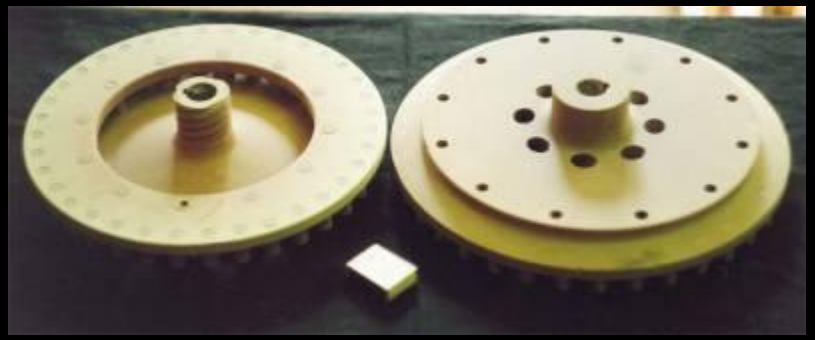


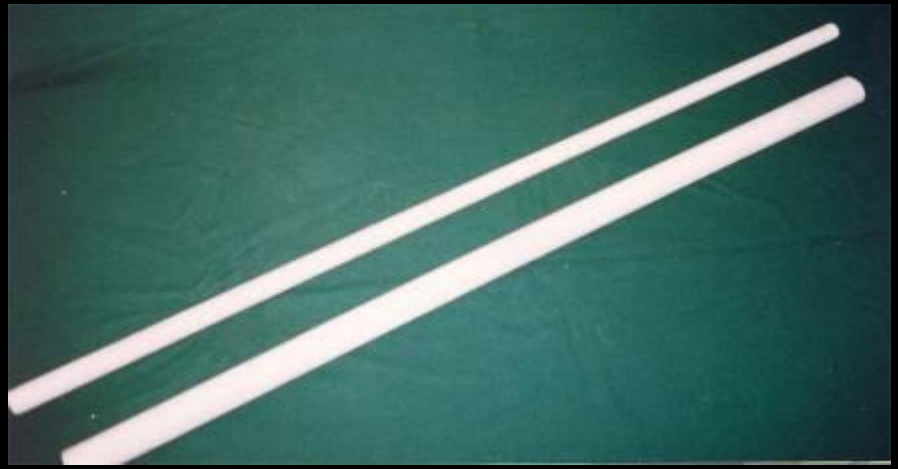




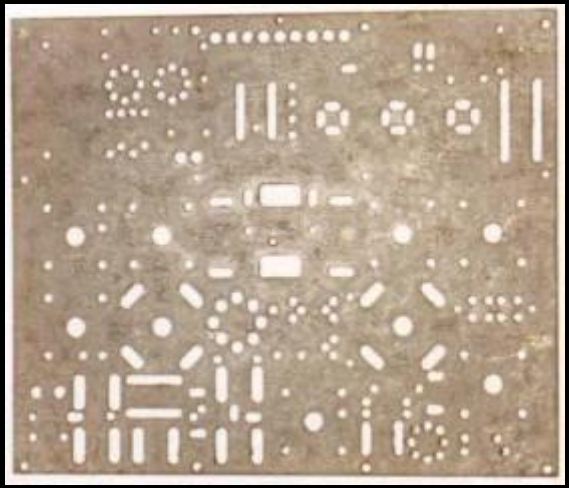




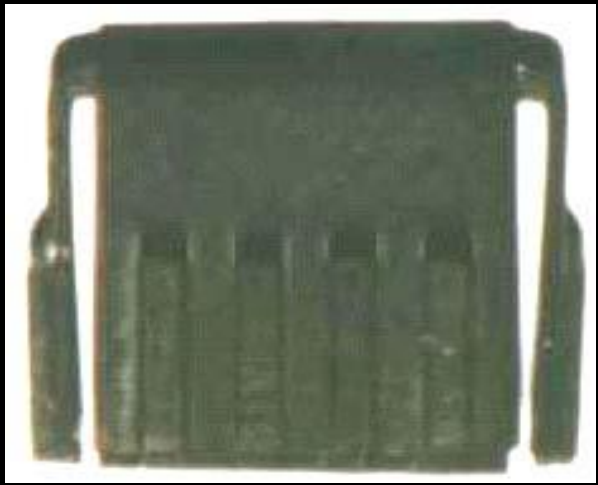


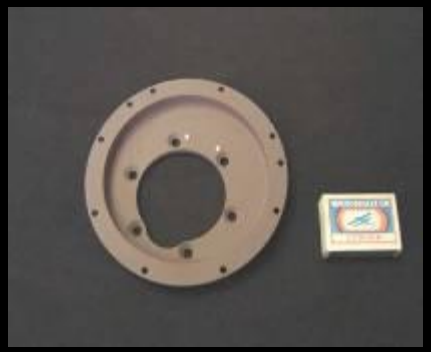
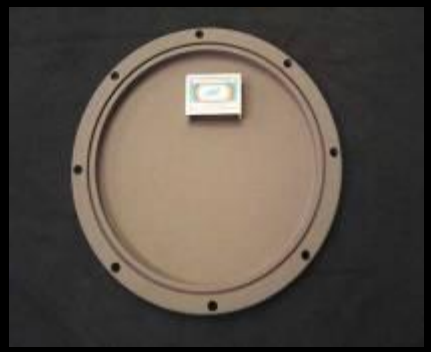


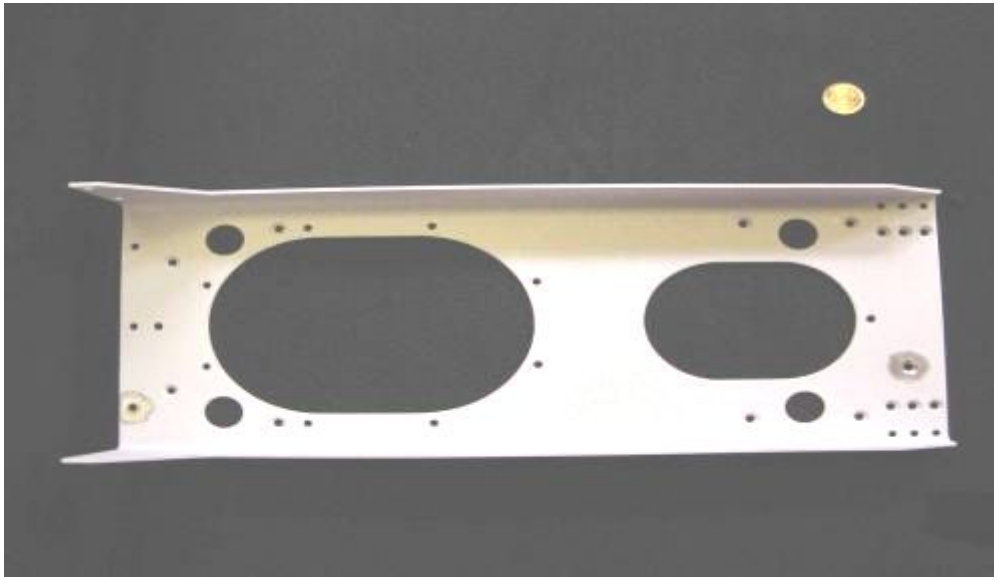


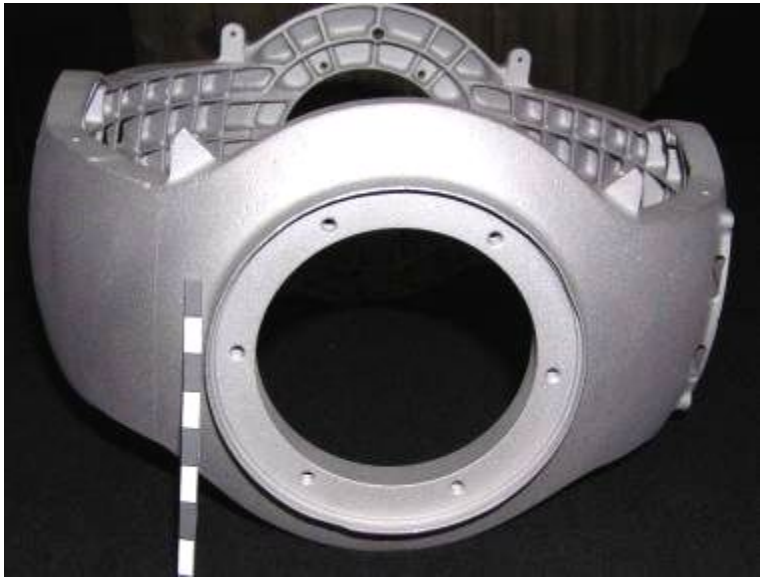
СПИЧКИ

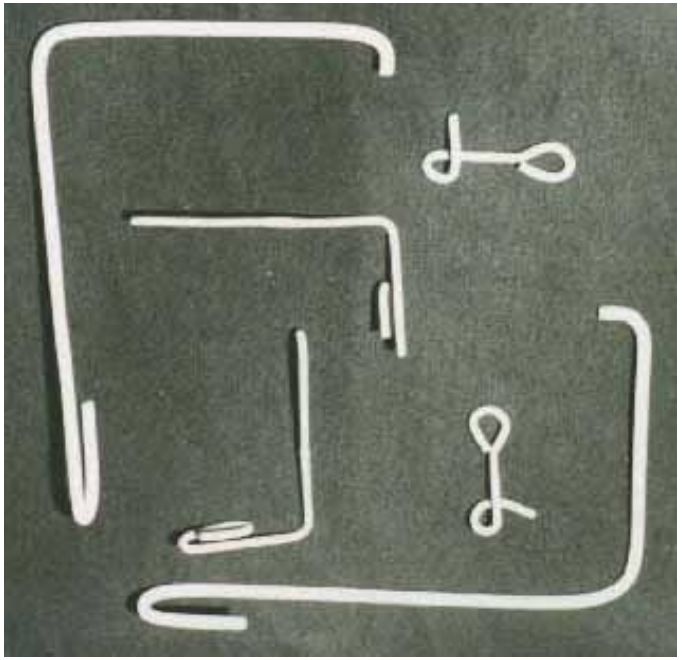


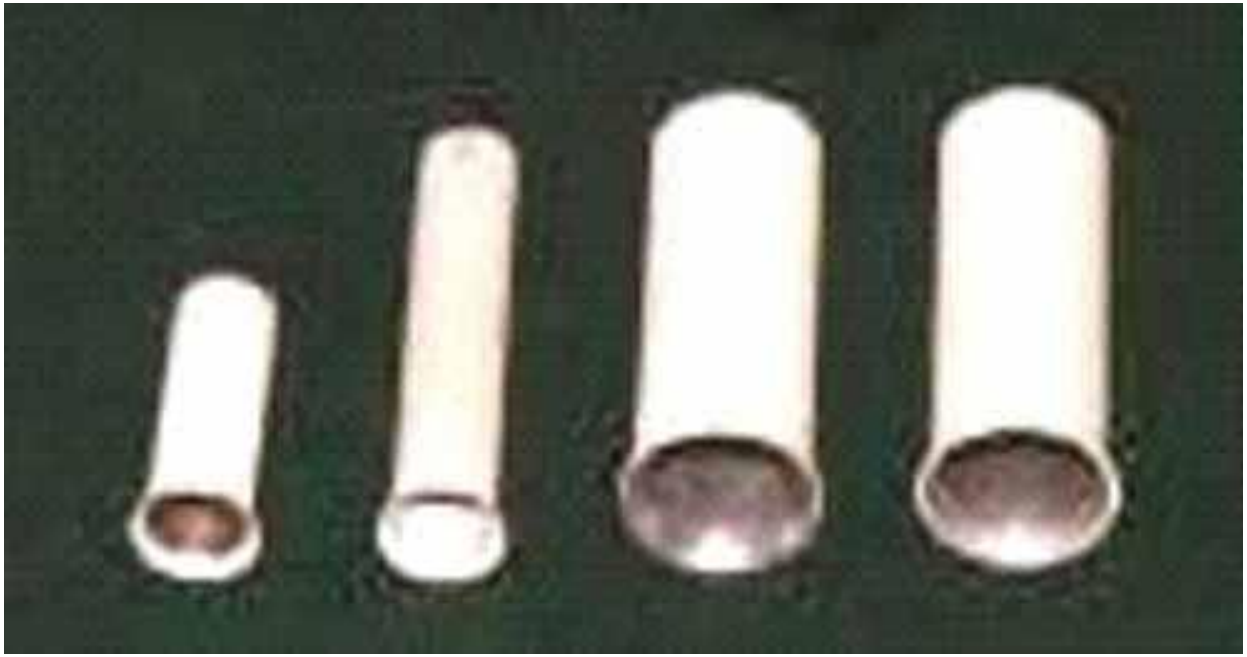


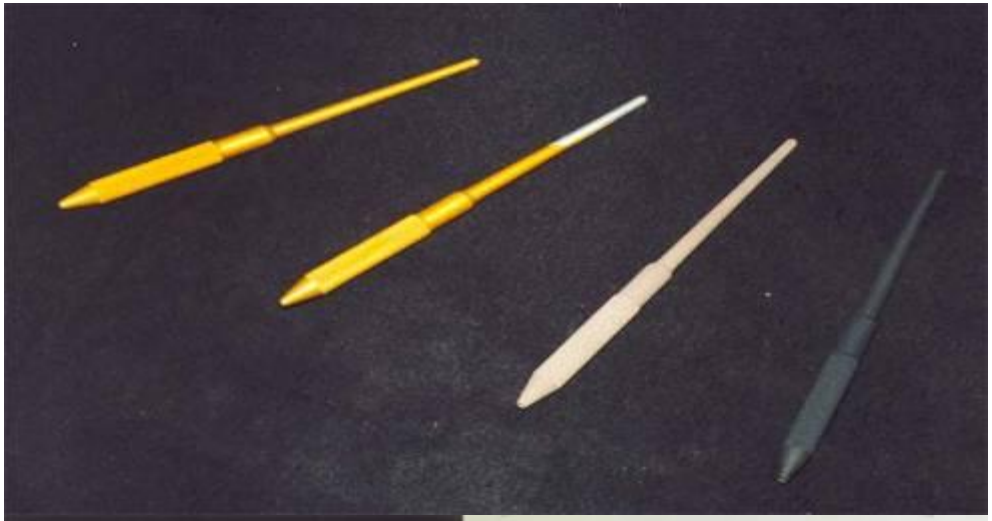



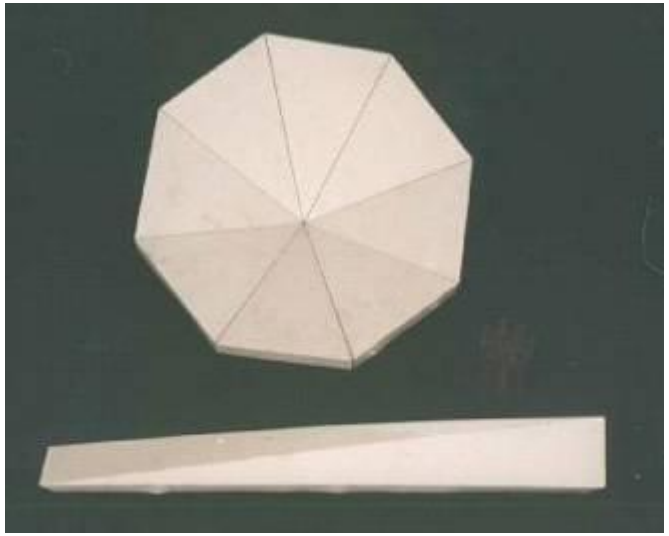


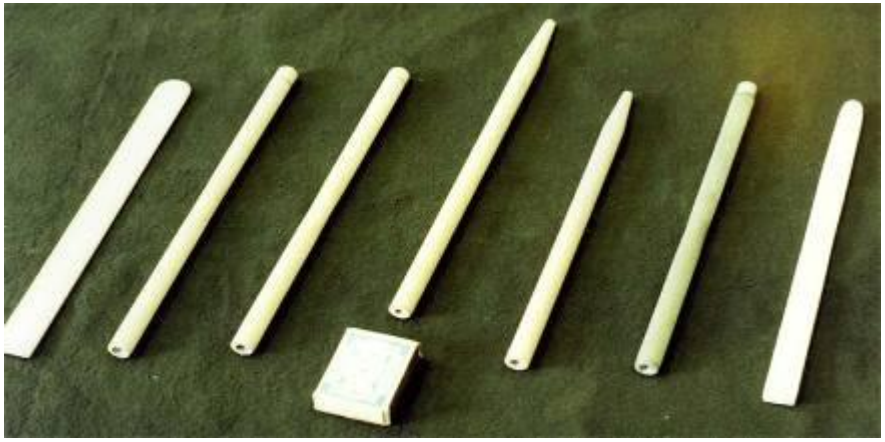


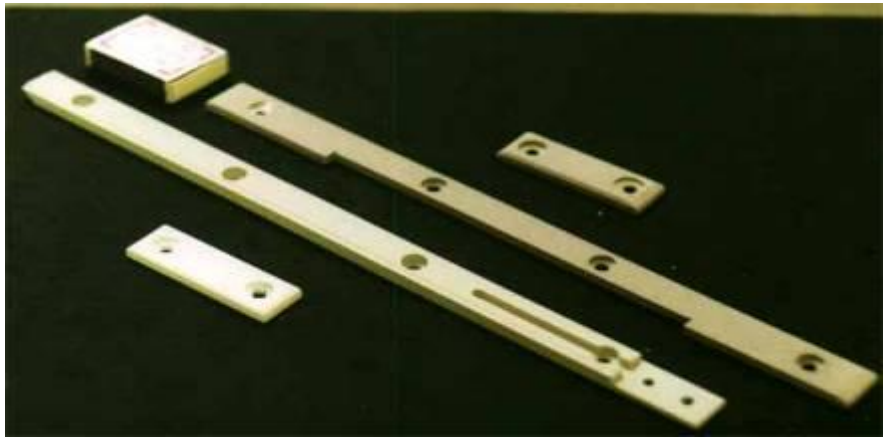




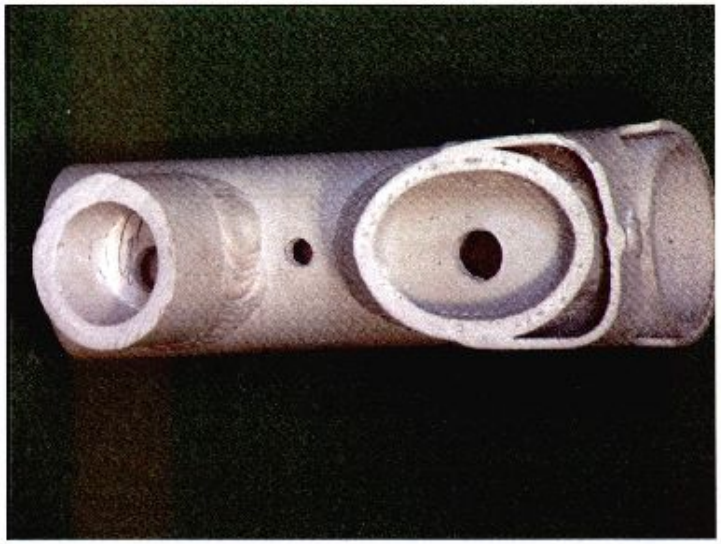




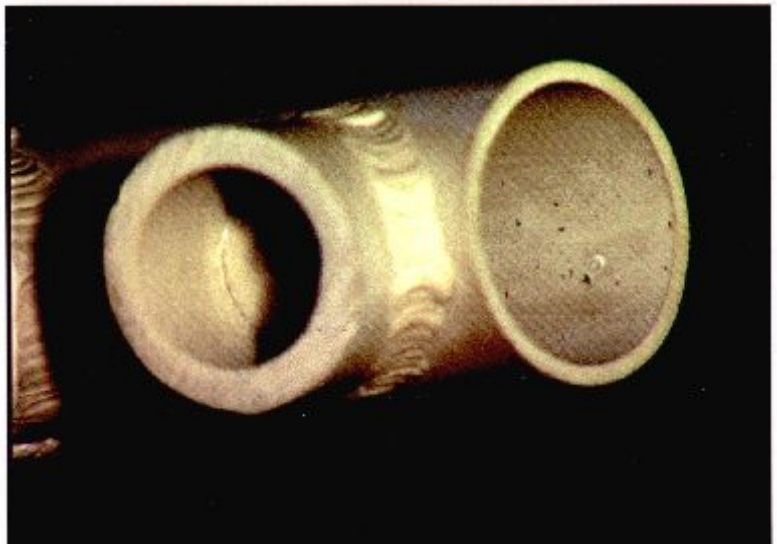


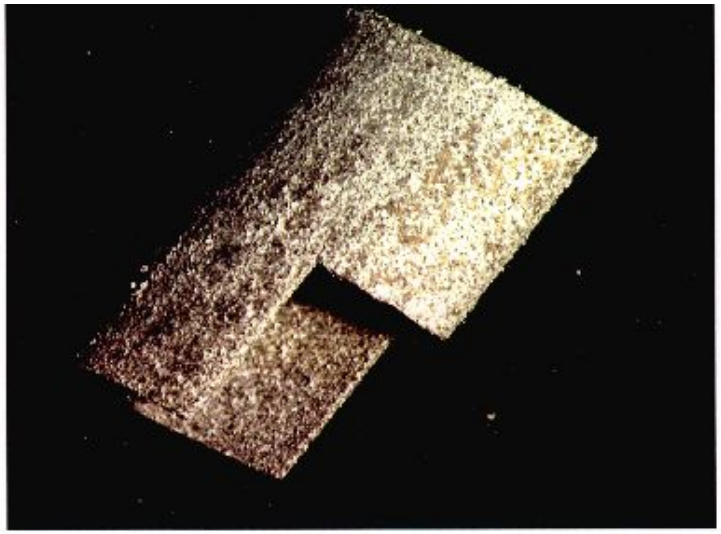


Changes caused by corrosion in external surface of facial tube



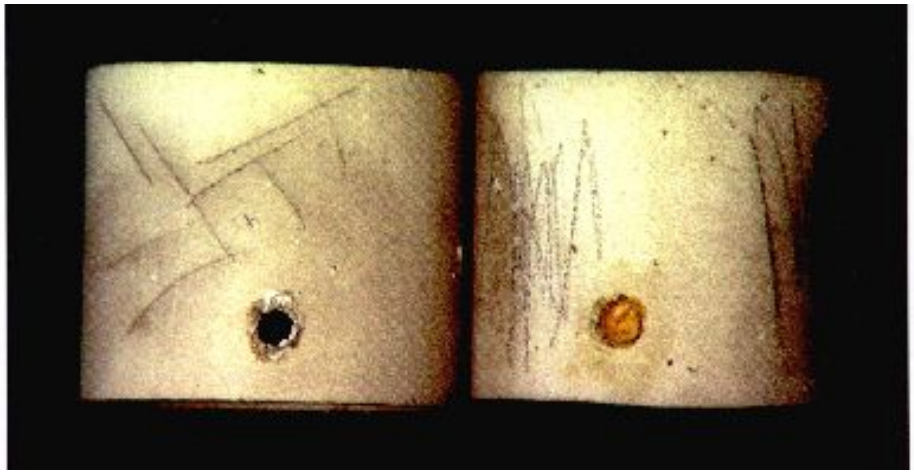
Changes caused by corrosion in internal surface of facial tube



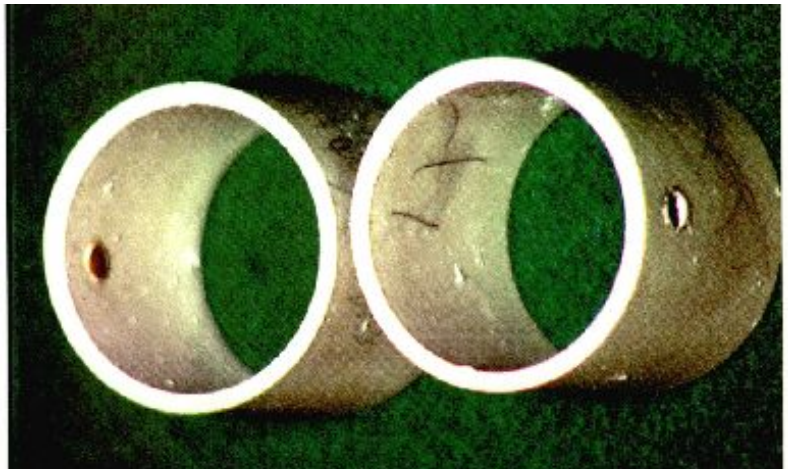


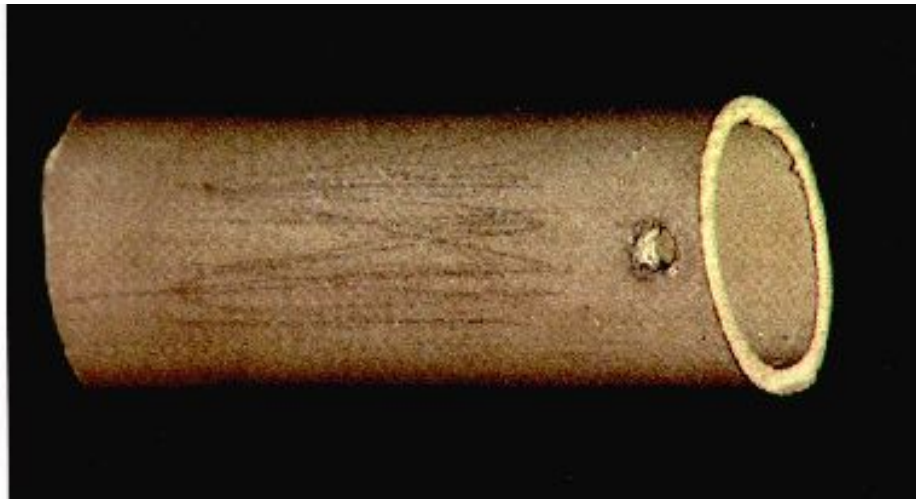
Changes caused by corrosion in external and internal surfaces of magnesium raw material

Changes caused by corrosion in external surface of frame tubes with threading hole, tight joint

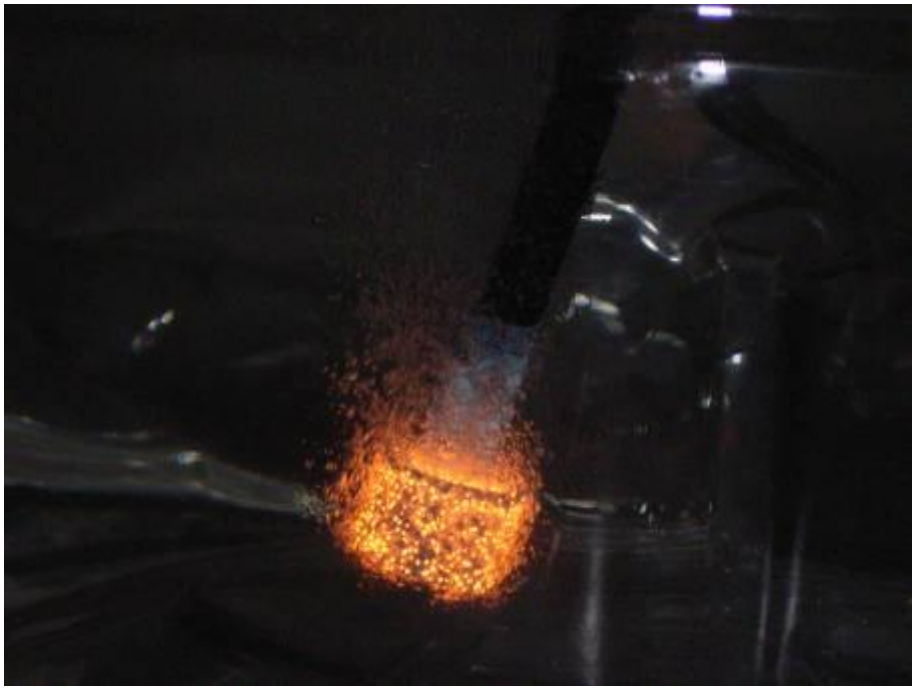


Changes caused by corrosion in internal surface of frame tubes with threading hole, tight joint





Changes caused by corrosion in external and internal surfaces of supporting fork

Changes caused by corrosion in both external and internal surface of magnesium tube No6(310/97)

Changes caused by corrosion in both external and internal surface of magnesium tube No 7(311 /97)