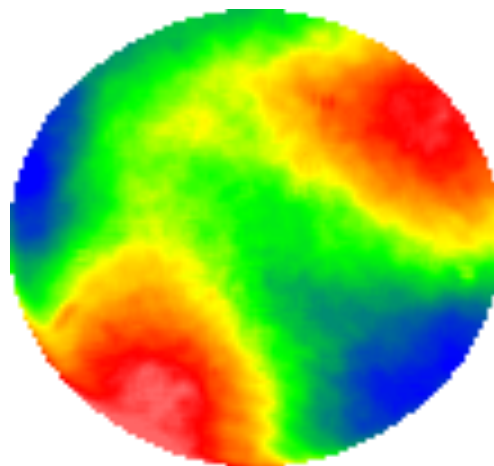


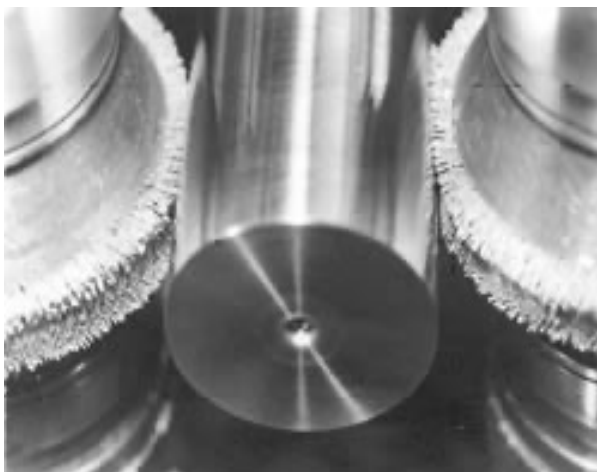
Научно-инженерное республиканское унитарное  
предприятие **ПОЛИМАГ** (УП “ПОЛИМАГ”)

**ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ  
МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ:**

**полирование, зачистка, модифицирование**

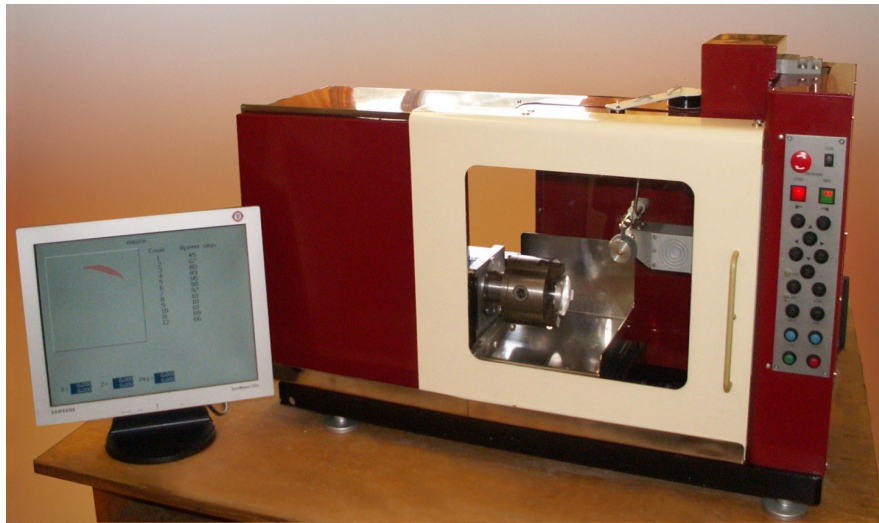


Minsk 2024

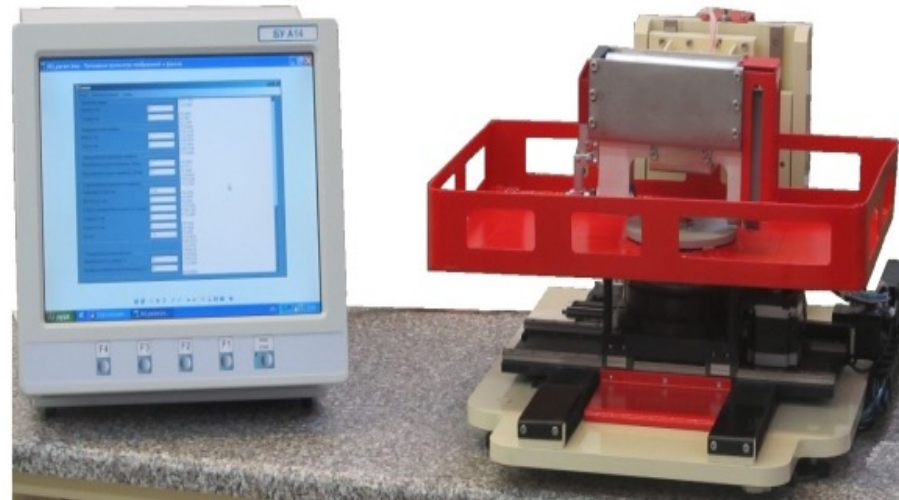


# ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СУПЕРТОНКОГО МАП ОПТИКИ

## Экспериментальные образцы

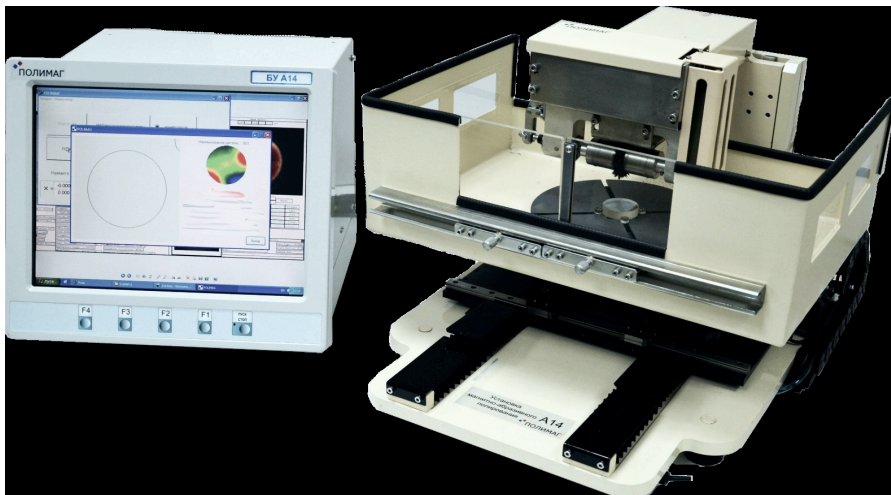


**A09**

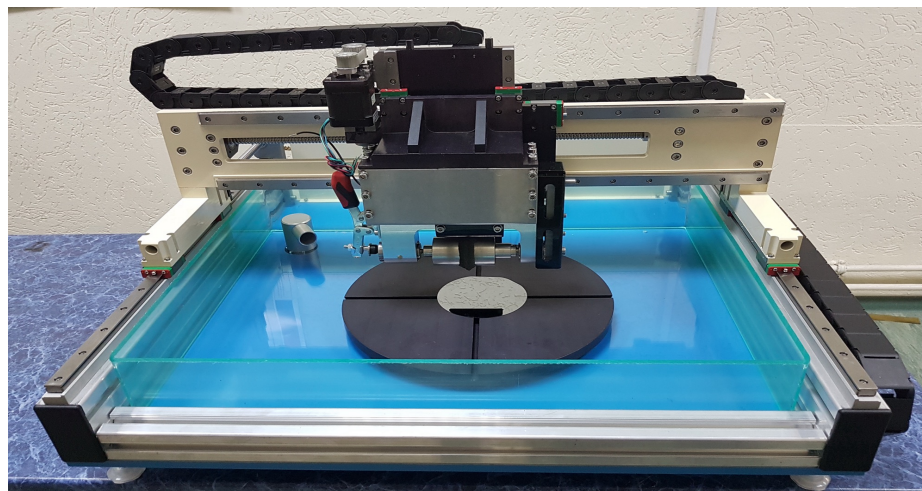


**A14**

## Промышленные образцы



**A17**

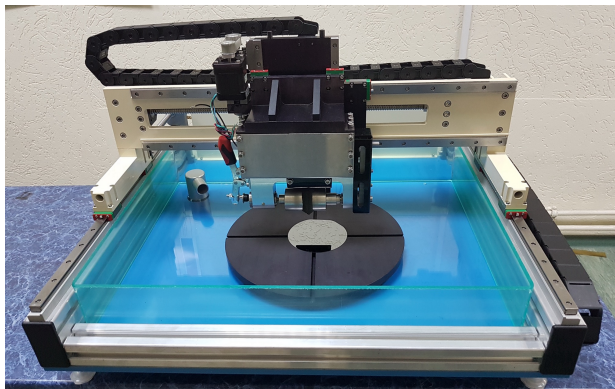


**A20-300**

# СУПЕРТОНКОЕ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЕ ПОЛИРОВАНИЕ (МАП) ДЕТАЛЕЙ ОПТИКИ, ЛАЗЕРОВ, МЕДИЦИНСКОЙ И ДРУГОЙ ТЕХНИКИ

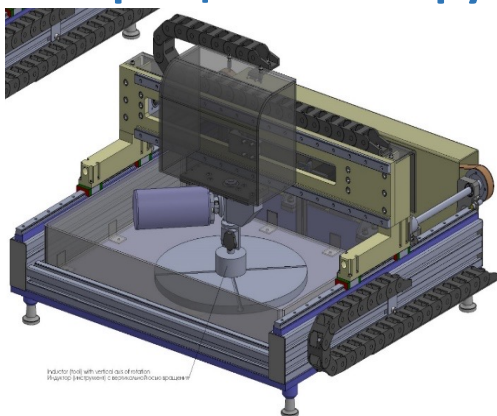
**ПРОГРАММНО УПРАВЛЯЕМАЯ УСТАНОВКА А20-300 реализует 2 схемы МАП:**

**Схема №1** с горизонтальной осью вращения инструмента-индуктора



**Схема № 1** с инструментом-индуктором с горизонтальной осью вращения осуществляет полирование (по оцифрованной интерферограмме исходной поверхности) периферией кольца-щеткой, сформированного магнитным полем из ферроабразивного порошка. Площадь контакта порошка с полируемой поверхностью составляет около 1 кв. см. Обеспечиваются нанорельеф с  $Ra < 3 \text{ nm}$  и параметр формы  $PV < 30 \text{ nm}$ . По этой схеме можно полировать плоские, сферические и асферические поверхности. В отдельных случаях можно полировать поверхности сложной формы.

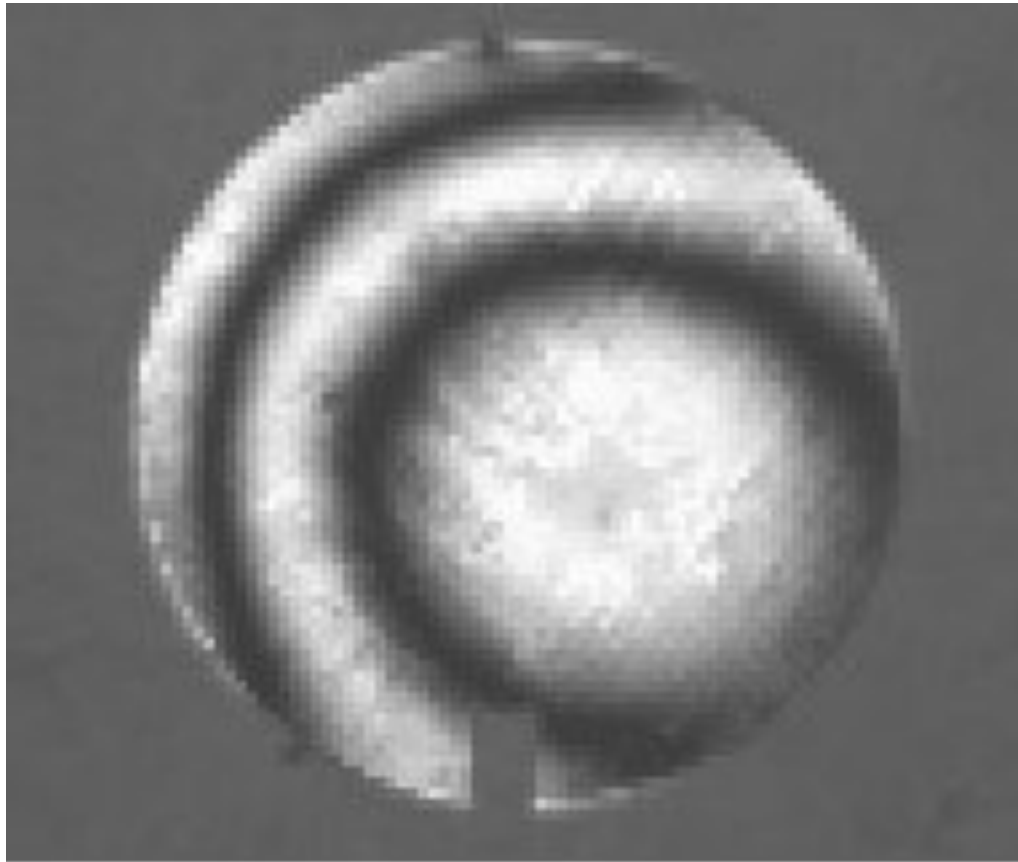
**Схема №2** с вертикальной осью вращения инструмента-индуктора



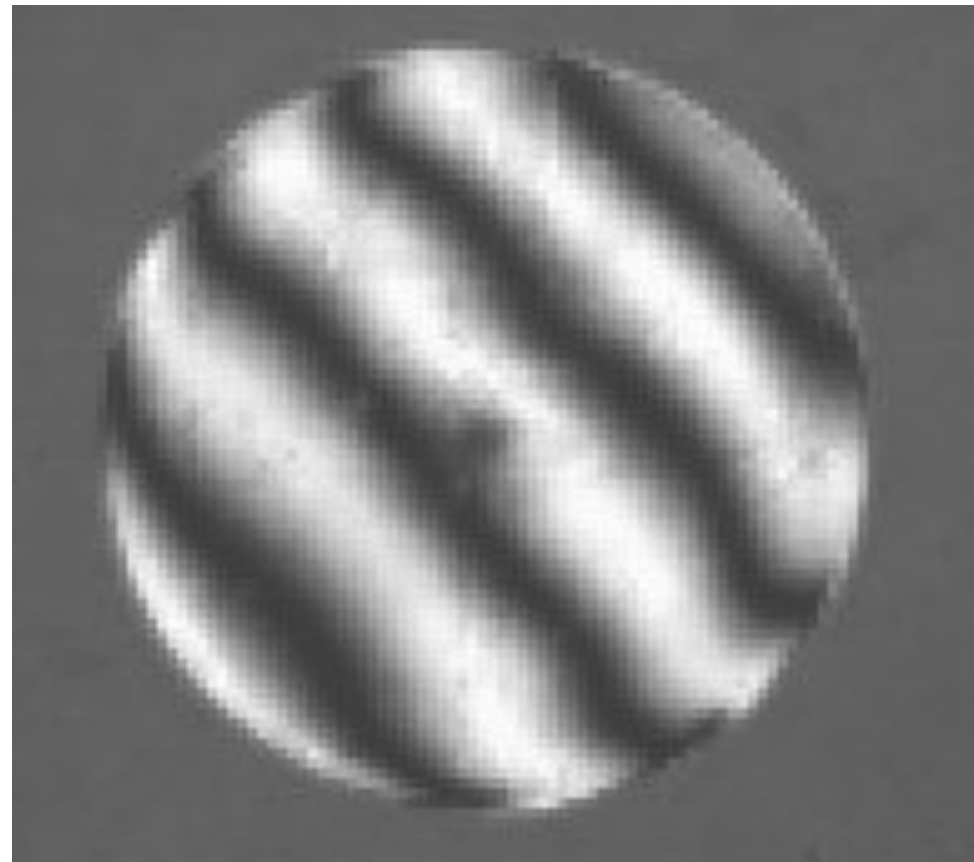
**Схема № 2** с инструментом-индуктором с вертикальной осью вращения осуществляет МАП торцом кольца-щеткой (по аналогии с торцовым фрезерованием) с обеспечением  $Ra < 3 \text{ nm}$  и улучшением на 30-50% характеристик формы поверхности. Площадь контакта порошка с полируемой поверхностью составляет около 60 кв. см. Обеспечиваются нанорельеф с  $Ra < 3 \text{ nm}$  и параметр формы  $PV < 30 \text{ nm}$ . По этой схеме можно полировать плоские и близкие к ним поверхности.

- Переналадка установки с одной схемы на другую не более 15-и минут.

# Программно управляемая технология супертонкого МАП оптической линзы



а)  $PV = 158 \text{ нм}$ ,  $Ra = 20 \text{ нм}$

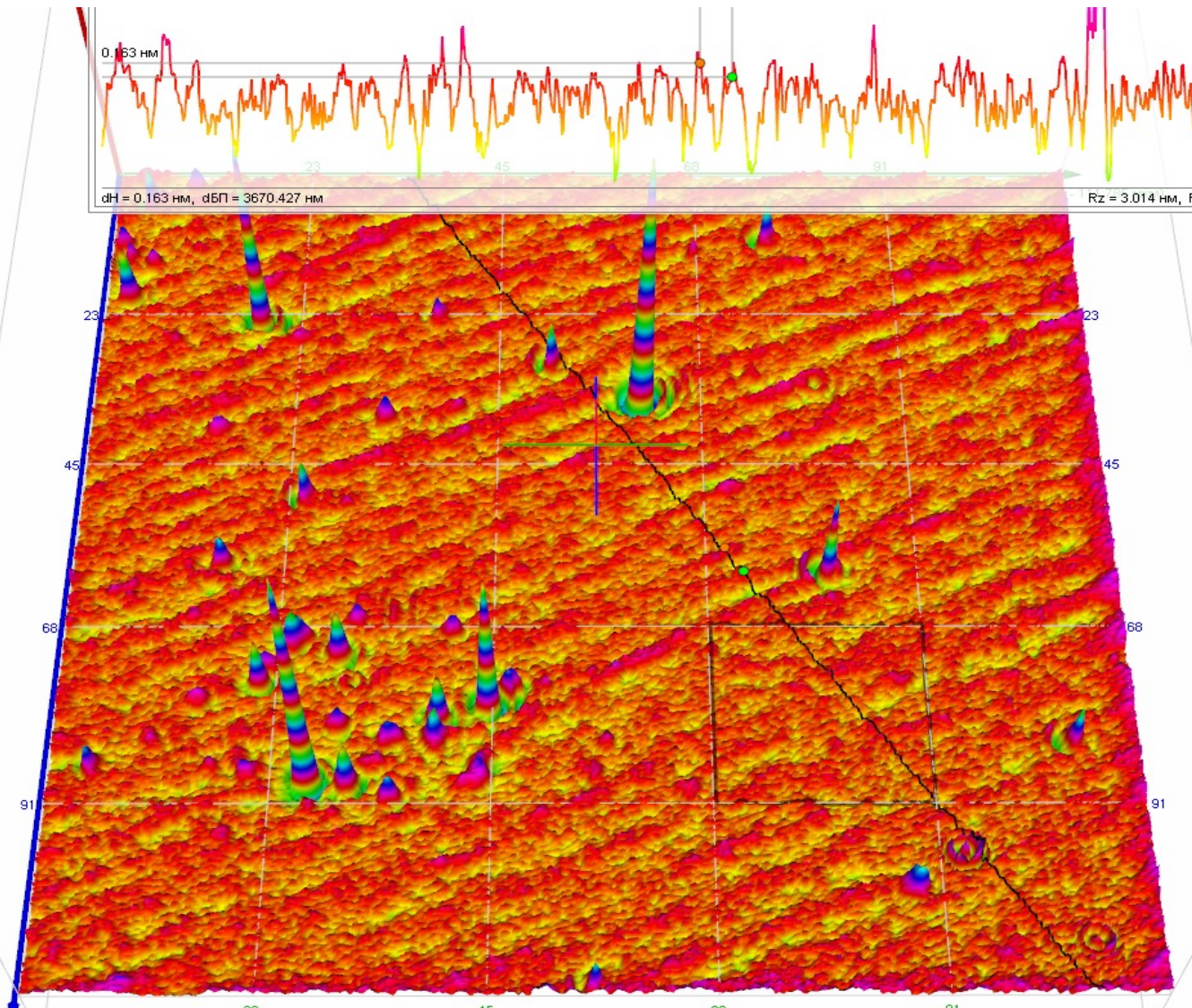


б)  $PV = 30 \text{ нм}$ ,  $Ra = 1,4 \text{ нм}$

Интерферограммы поверхности оптического стекла  
до (а) и после (б) МАП

# НАНОРЕЛЬЕФ ОПТИЧЕСКОЙ ЛИНЗЫ ПОСЛЕ МАП

- Измерение в дециметрах
- Оси
- Сетка
- Текст
- Границы
- Чёрные оси
- [ Измерения ]
- БП
- Мышь БП
- СП
- Мышь СП
- Уст. T1
- Уст. T2
- В сетке
- Линия сечения
- [ Панели ]
- Гистограмма
- Фактор 50
- Сечение



Rz 2.021 нм  
Ra 0.245 нм  
RMS 0.307 нм

T1 z = 0.437 нм (0 0)  
T2 z = 0.274 нм (0 0)

**Ra = 0,245 нм**

(ИЗМЕРЕНИЯ ВЫПОЛНЕНЫ В КТИ НП СО РАН)

# ЛАЗЕРНЫЙ КРИСТАЛЛ CaF<sub>2</sub> ПОСЛЕ МАП

Ra = 1.537 nm



## Contour Plot

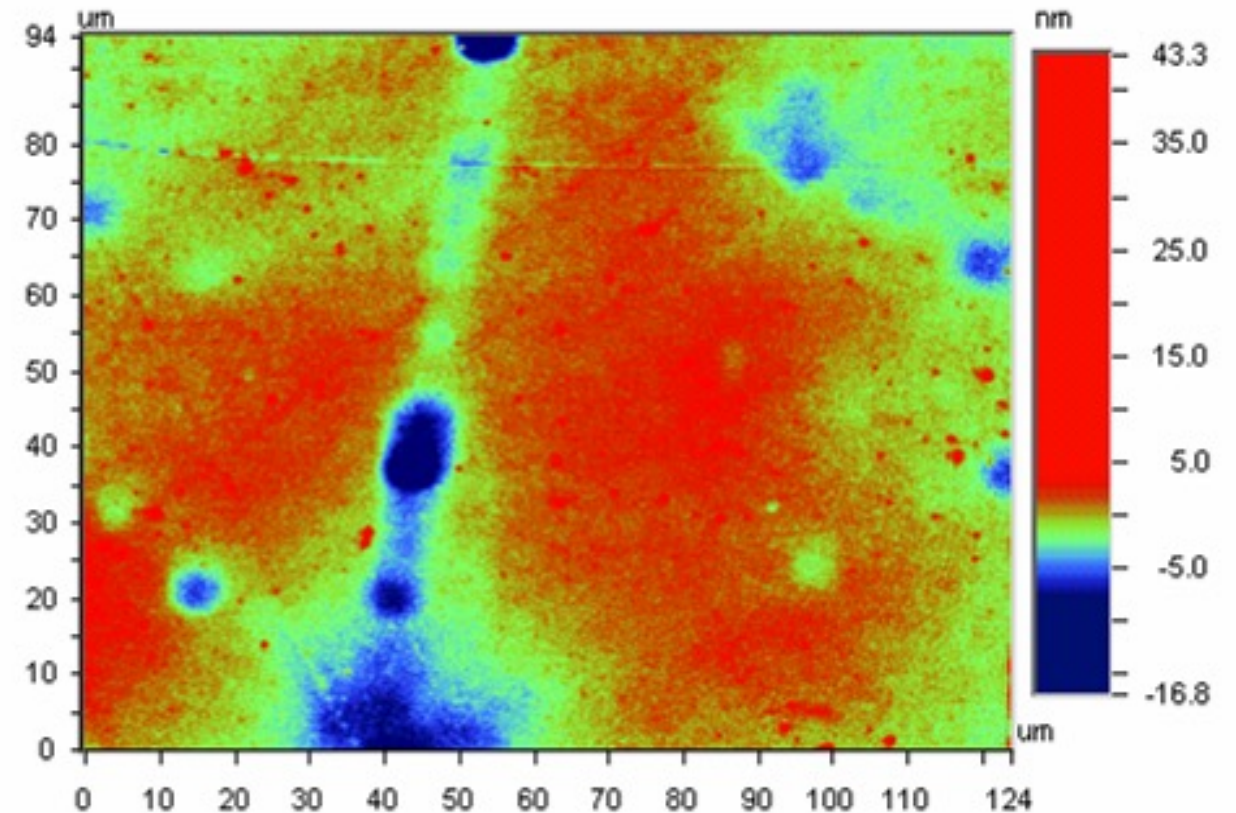
Measurement Parameters	
File:	CaF2-Rand
Wavelength	605.40 nm
Wedge	0.50
X/Y Size	736 X 480
Pixel size	168.48 nm
Date	04/10/2003
Time	08:39:40
Averages	1

Analysis Results	
Ra	1.537 nm
Rms	2.126 nm
20 Pt. PV	41.879 nm
2 Pt. PV	60.19 nm

Analysis Parameters	
Terms	Tilt
Masks:	
Filtering	None
Data Restore	No
Valid Points	353280



# ЛУЧЕВАЯ ПРОЧНОСТЬ ОПТИЧЕСКОГО СТЕКЛА ПОСЛЕ МАП



LIDARIS LTD  
 25, Krasnaya Zvezda St.  
 of Tver, Tver region, Russia  
 170000, Russia  
 Tel: +7 (4842) 22-11-11  
 E-mail: lidaris@lidaris.com

Phone: +7 (4842) 22-11-11  
 E-mail: lidaris@lidaris.com  
 www.lidaris.com

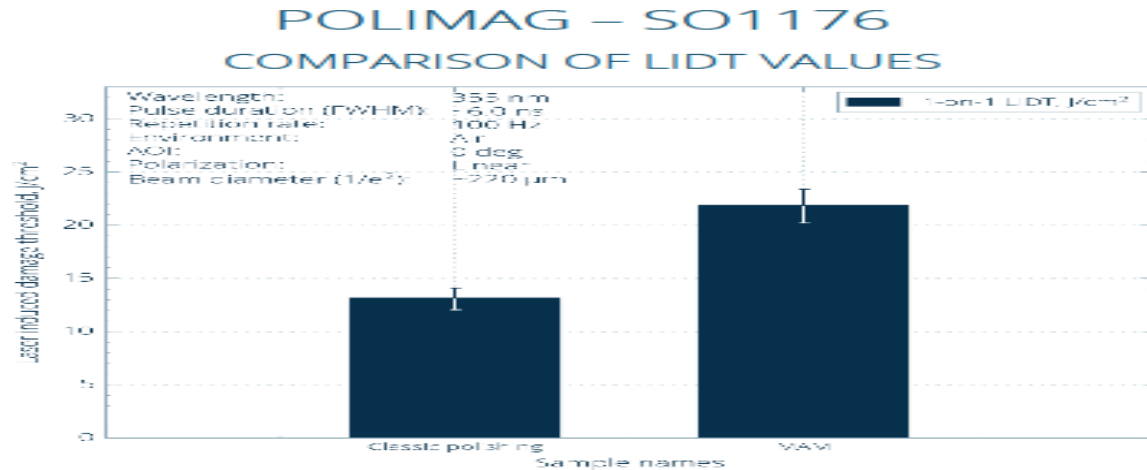


Figure 1: Comparison of SO1176 measurements.

Table 1: SO1176 data spreadsheet

Sample	Threshold (1-on-1)	Error lower	Error upper
MAM	21.80	1.58	1.58
Classic polishing	13.13	1.07	0.96

**ЛУЧЕВАЯ ПРОЧНОСТЬ ОПТИЧЕСКОГО СТЕКЛА ПОСЛЕ МАП  
 НА 80% ВЫШЕ, ЧЕМ ПОСЛЕ МЕХАНИЧЕСКОГО ПОЛИРОВАНИЯ**

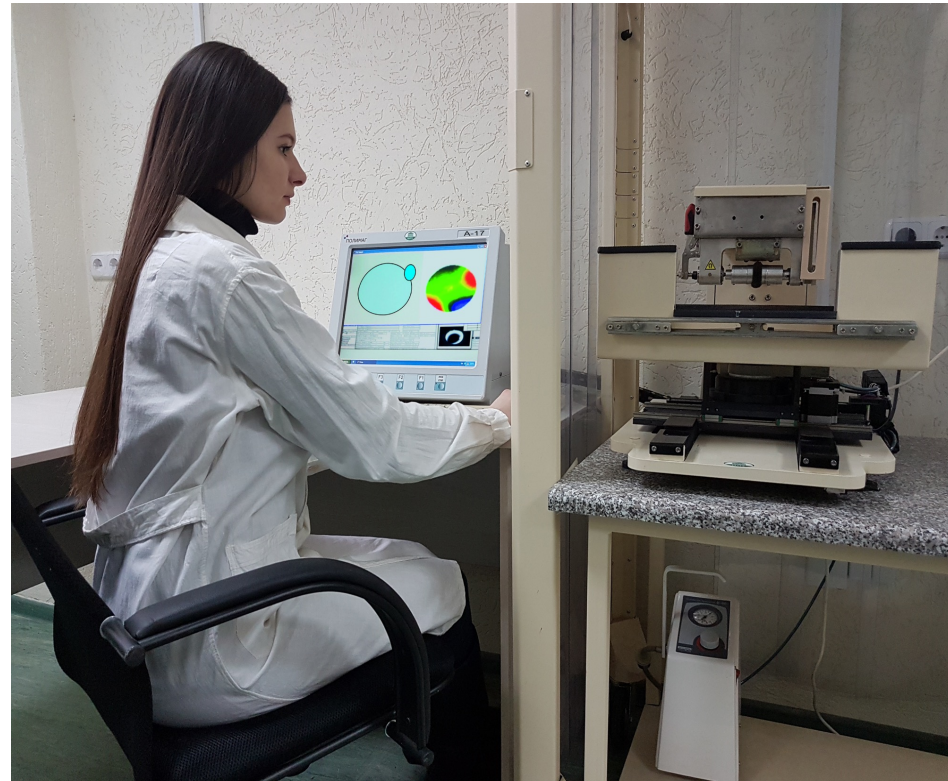
# ВОЗМОЖНОСТИ СУПЕРТОНКОГО МАП

## Модель А17

Q-flex 300



Аналог  
MRF – ТЕХНОЛОГИЯ



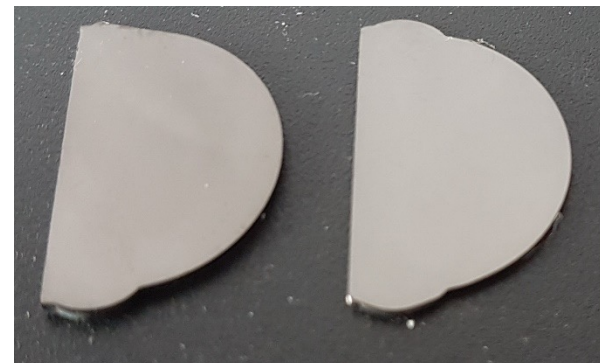
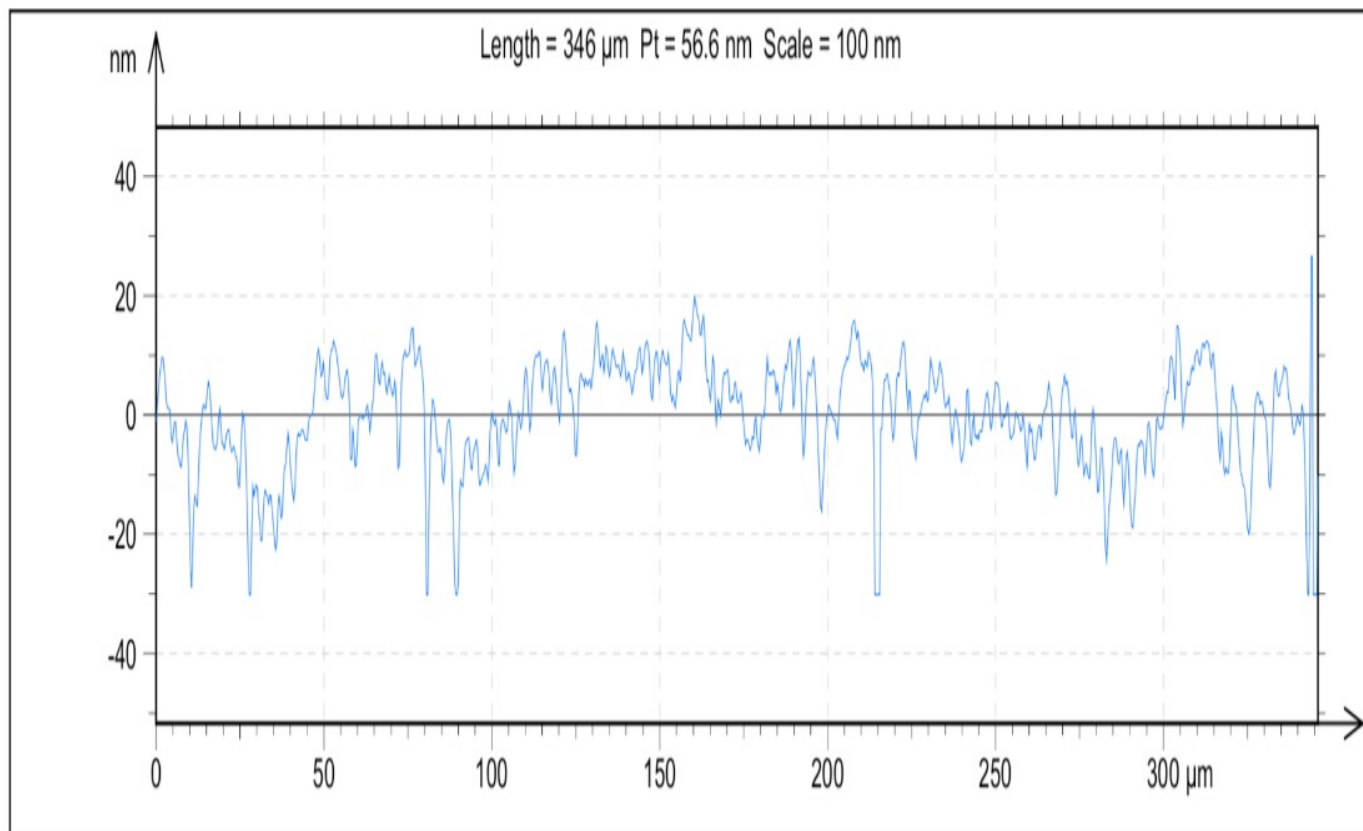
	До МАП	После МАП
Sa	0.27 nm	<b>Sa 0.14 nm</b>
Sq	0.37 nm	Sq 0.19 nm
Sp	4.58 nm	Sp 1.13 nm
Sv	3.66 nm	Sv 0.74 nm
Sz	8.24 nm	Sz 1.87 nm



# МАП СТВОРОК ИСКУССТВЕННОГО КЛАПАНА СЕРДЦА

Материал створок (запирающие элементы):  
пиролитический углерод (ситалл)

## НАНОРЕЛЬЕФ ПОВЕРХНОСТИ СТВОРОК



ПОСЛЕ МАП, нм

$R_z = 24,39$

$S_q = 9,41$

**$R_a = 3,91$**

# НАНОРЕЛЬЕФ ПЛАСТИНЫ КРЕМНИЯ ПОСЛЕ МАП



Mag: 49.9 X

Mode: PSI

## Surface Data

### Surface Statistics:

Ra: 0.72 nm

Rq: 0.89 nm

Rz: 6.77 nm

Rt: 10.39 nm

### Set-up Parameters:

Size: 736 X 480

Sampling: 168.48 nm

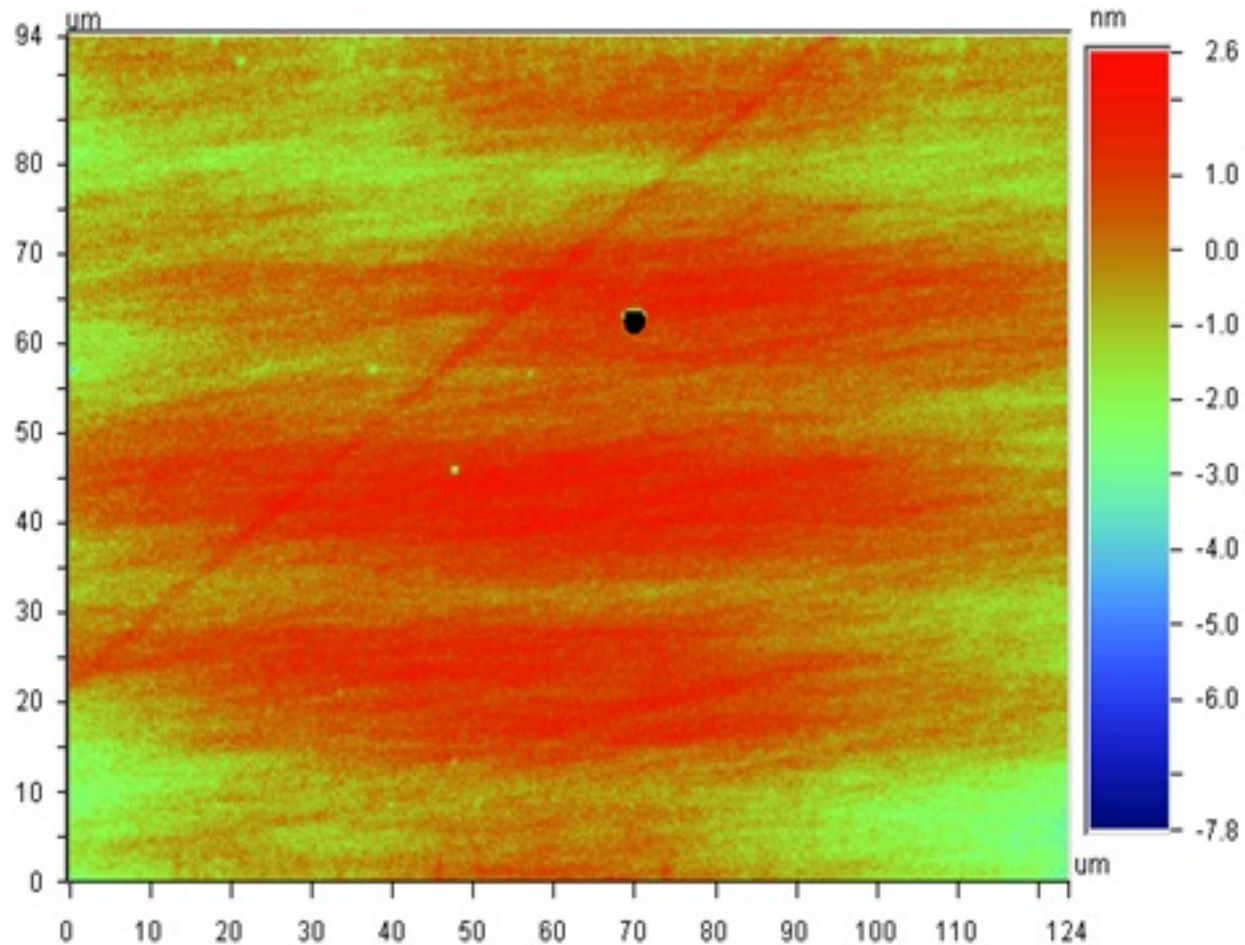
### Processed Options:

Terms Removed:

Tilt

Filtering:

None



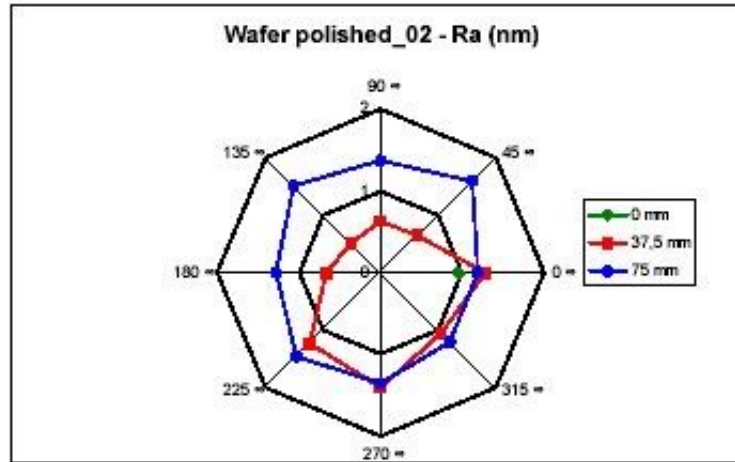
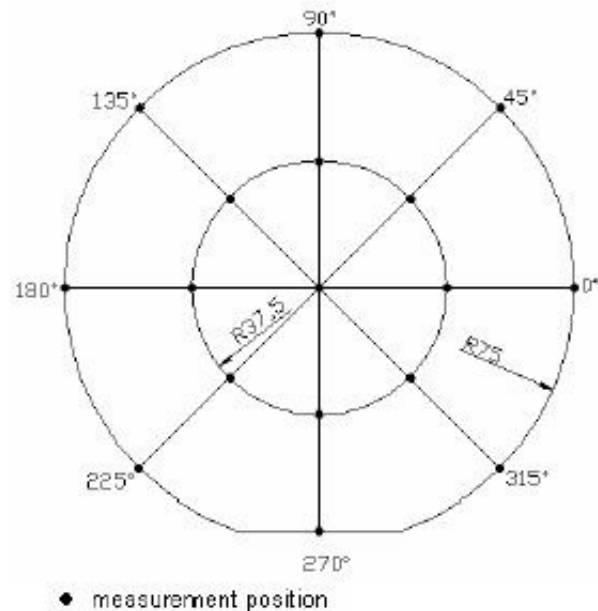
**Ra = 0.72 nm**

**TTV = 2.9 μm**

# СУПЕРТОНКОЕ МАП ПЛАСТИНЫ МОНОКРИСТАЛЛА КРЕМНИЯ

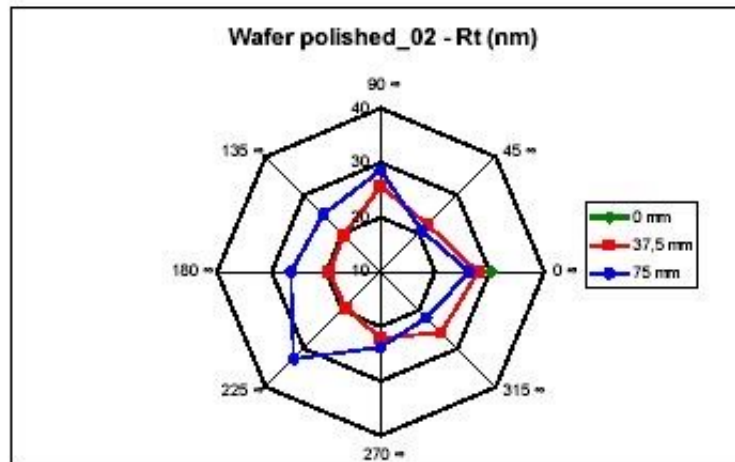
**Ra = 0,51 ... 1,57 нм**

- Equipment: Wyco NT1100
- Amplification: 10x PSI
- Wafer: polished – 150 mm



Ra  $\bar{n}$  values (nm)

Angle/Radius	0 mm	37,5 mm	75 mm
0 °	0,95	1,28	1,18
45 °		0,65	1,57
90 °		0,64	1,37
135 °		0,51	1,51
180 °		0,66	1,28
225 °		1,23	1,44
270 °		1,41	1,36
315 °		1,05	1,21



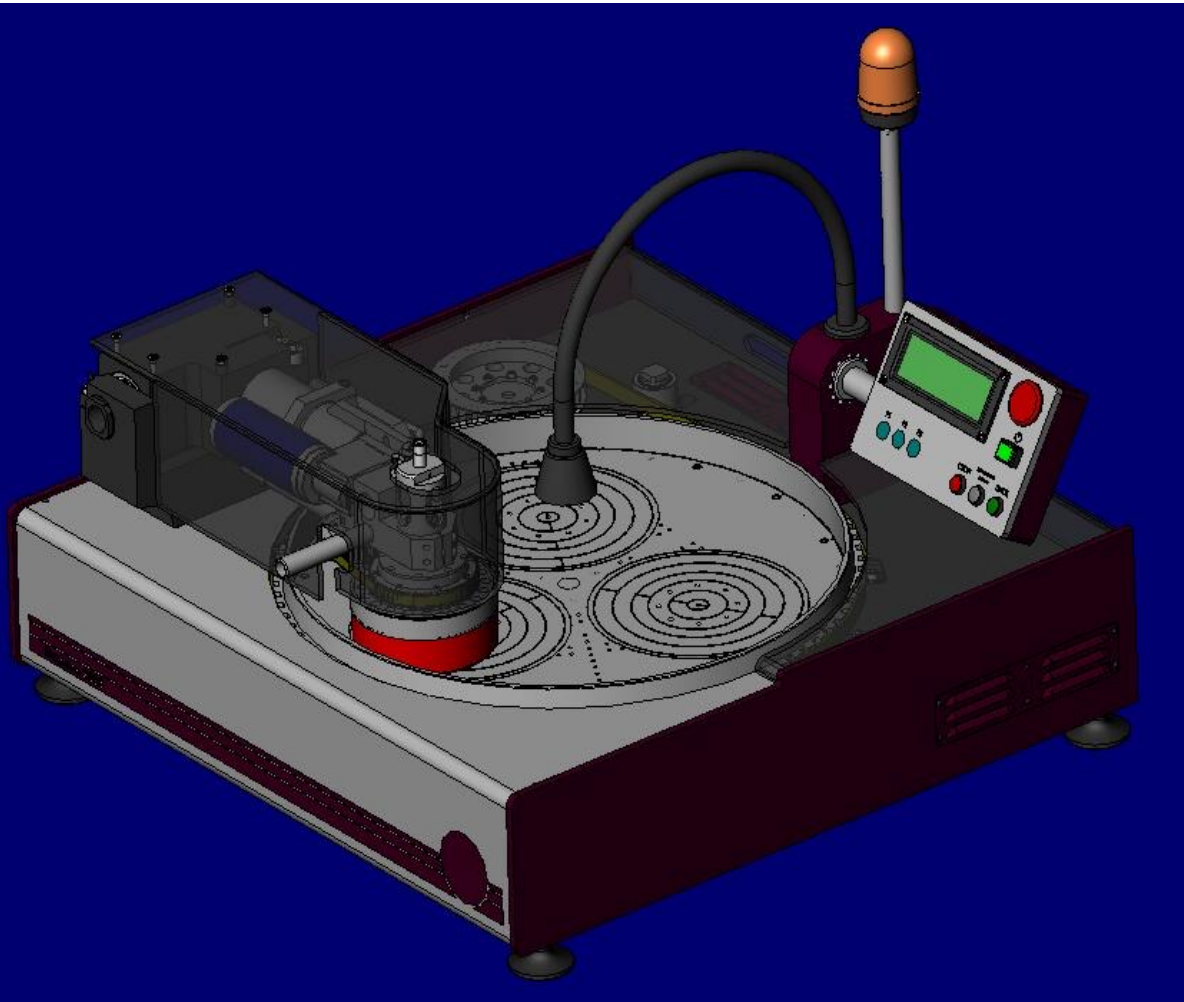
Rt  $\bar{n}$  values (nm)

Angle/Radius	0 mm	37,5 mm	75 mm
0 °	30,15	27,56	25,97
45 °		21,95	20,49
90 °		25,51	28,53
135 °		19,41	24,67
180 °		19,48	26,43
225 °		19,18	32,11
270 °		22,10	23,64
315 °		25,54	21,86

## УСТАНОВКА А23 ДЛЯ СУПЕРТОНКОГО МАП Si-ПЛАСТИН



# УСТАНОВКА МА08.01 ДЛЯ СУПЕРТОНКОГО МАП Si-ПЛАСТИН (В СТАДИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ)



## Технические характеристики установки МА08.01:

диаметр обрабатываемых деталей, мм	10 - 300
толщина обрабатываемых деталей, мм	0,1-30
точность формы (min), PV, мкм	0,02
шероховатость поверхности Ra, нм	< 5
время обработки, мин	3 - 15
мощность, кВт	1,5
габаритные размеры (ДхШхВ), мм	700x700x500
масса (ориентировочно), кг	80



## РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ «СТАРЕНИЕ ЧИПОВ»

### Рисунок – ЧИП «состарился» и разрушился

Для промышленной реализации технологий производства наноэлектроники уровня менее 10-и нанометров требуется совершенствование процесса супертонкого полирования полупроводниковых пластин (например, Si-Wafer) с параметром нанорельефа  $Ra < 1 \text{ nm}$  и минимумом дефектов структуры приповерхностного слоя.

Применяемая в настоящее время технология газового травления поверхности пластин является экологически ущербной и имеет крупный недостаток: на поверхности пластин остаются дефекты атомно-молекулярного уровня в виде электрохимических ячеек структуры, остающихся после завершения процесса травления. Операции тщательной промывки пластин не решают проблему удаления этих дефектов, размеры которых близки размерам проводников и транзисторов, формируемых по технологии менее 10-и нм.

В дефектах в виде электрохимических ячеек на поверхности сформированных чипов в условиях эксплуатации (например, в автомобилях) под воздействием влажности, температуры и вибраций активируются химические реакции окисления и механического разрушения подложки чипа и его элементов. Этому явлению в последнее время дали название «старение чипов». В итоге «старения» электроника автомобиля (вся или частично) выходит из строя.

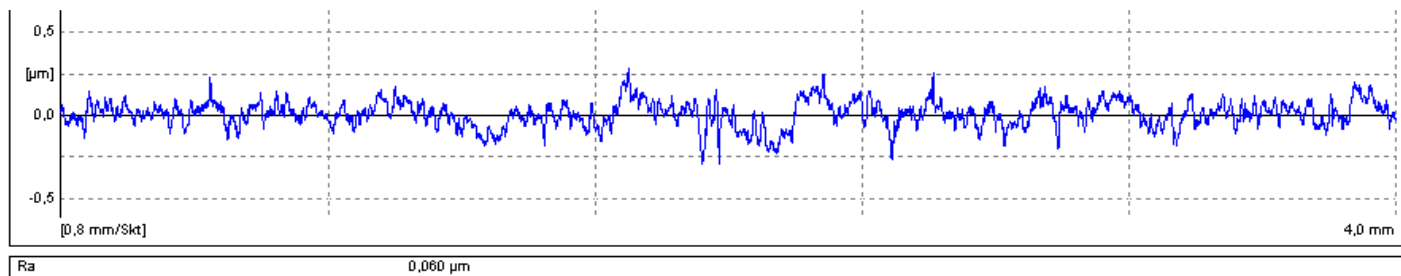
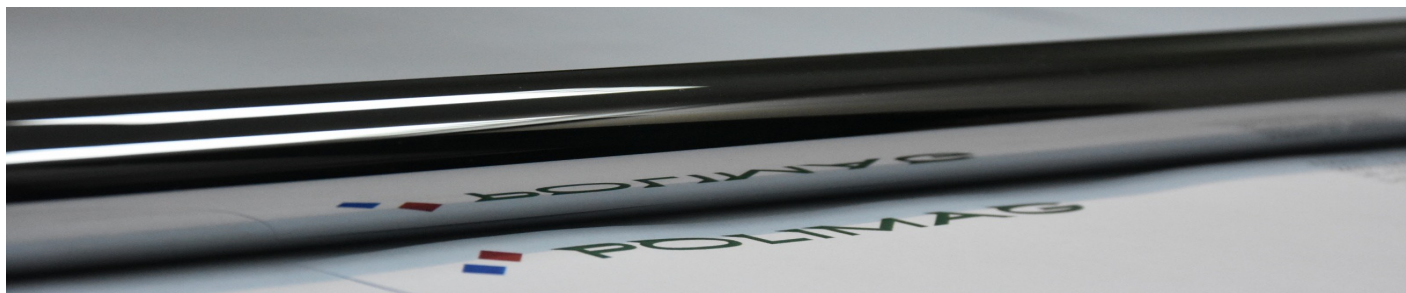
При массовом применении технологии менее 10-и нм в производстве наноэлектроники «старение чипов» при эксплуатации значительно снижает их надежность и является актуальной проблемой.

Для значительного замедления процесса «старения чипов», повышения их надежности и продления срока службы необходимо на финишной операции супертонкого полирования пластин Si-Wafer формировать супергладкую поверхность с минимально возможным количеством дефектов структуры. Эту задачу значительно лучше можно решить, применяя технологию супертонкого магнитно-абразивного полирования (МАП) вместо технологии газового травления. В процессе МАП импульсное магнитное поле воздействует на слабозакрепленные дефекты структуры приповерхностного слоя полируемой пластины, «встряхивает» их и выводит на поверхность пластины, где они удаляются полирующей «эластичной щеткой» из ферроабразивного порошка-инструмента. В результате МАП формирует нанорельеф пластины с параметром  $Ra < 1 \text{ nm}$  и с минимальным количеством дефектов структуры приповерхностного слоя. Создаются условия для изготовления чипов с обеспечением их высокой надежности и сопротивления «старению».

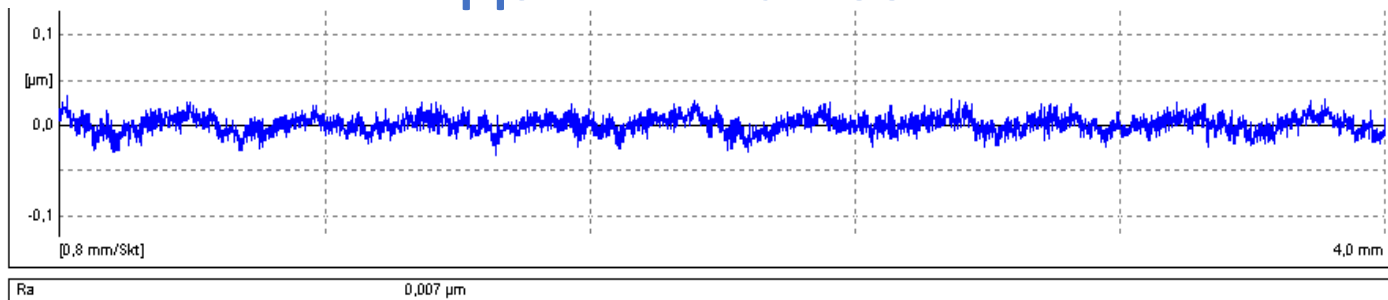
**В производстве наноэлектроники по технологии менее 10-и нм основные показатели метода МАП (качество, производительность, экономика и экология) значительно лучше, чем у применяемого сейчас процесса газового травления.**

# МАП ПОВЕРХНОСТИ ИЗДЕЛИЯ ИЗ СПЛАВА WC - Co

Цилиндрический образец (D x L = 22 x 280 мм) из сплава WC - Co



До МАП Ra = 53 нм



После МАП Ra = 7 нм

Измерение №	Ra, нм	
	До МАП	После МАП
1	56	7
2	48	7
3	52	7
4	60	8
5	47	7
Среднее	53	7

# МАП КЕРАМИКИ: ПЛАСТИНЫ ДЛЯ РЕЗЦОВ И ФРЕЗ

До МАП  
 $r = 7.86 \text{ мкм}$

После МАП  
 $r = 45.24 \text{ мкм}$

Материал

Микротвердость,  
ГПа

Diamond

100

Borazon

88

SiC

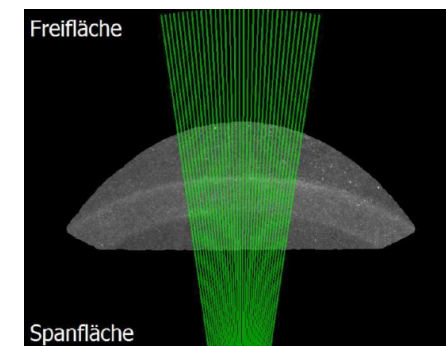
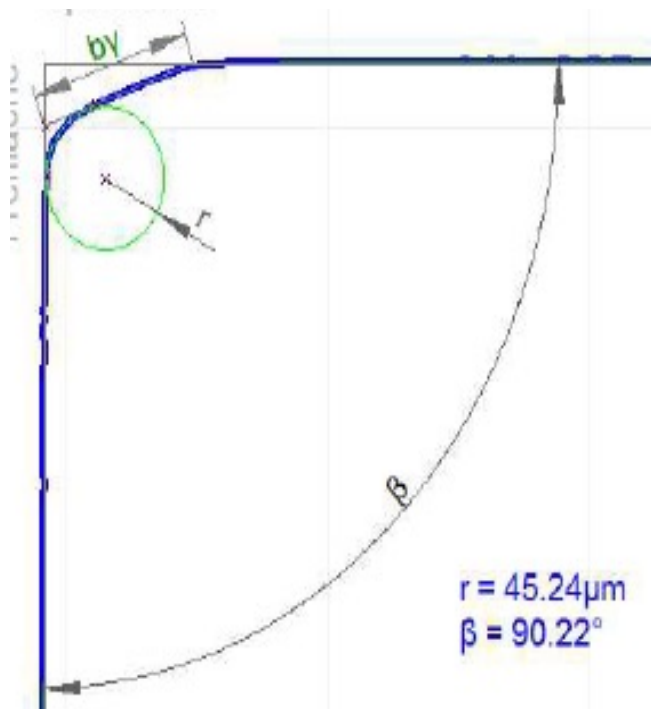
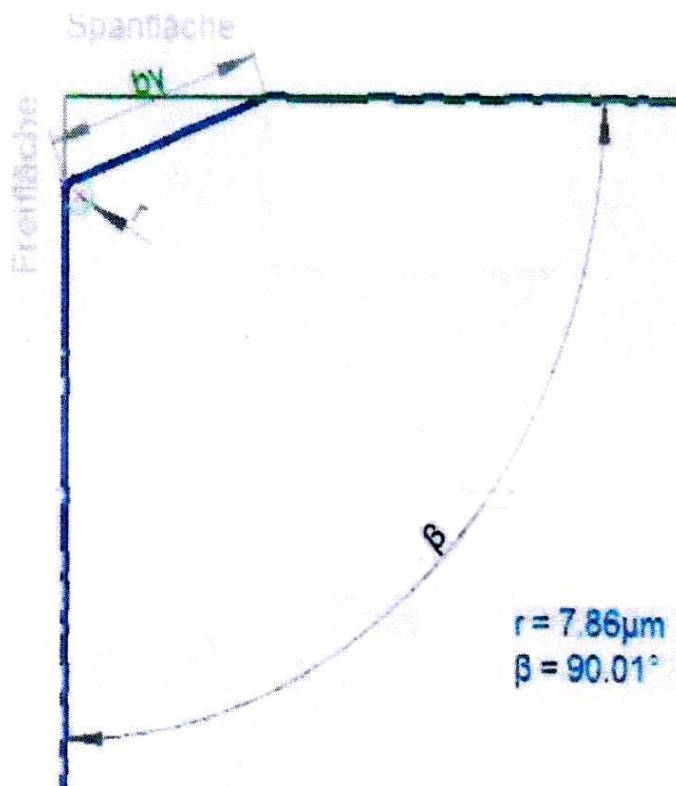
33

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

20

Si

12



Vandurit GmbH, Germany

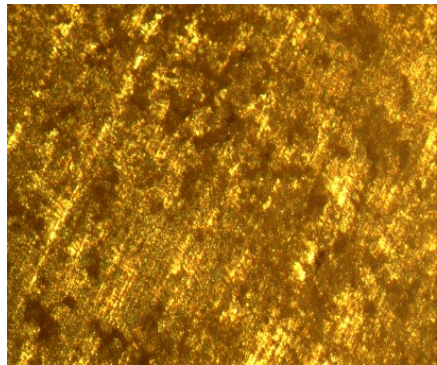


# МАП ПОВЕРХНОСТЕЙ ПУАНСОНОВ

До МАП



После МАП



100x

200 мкм

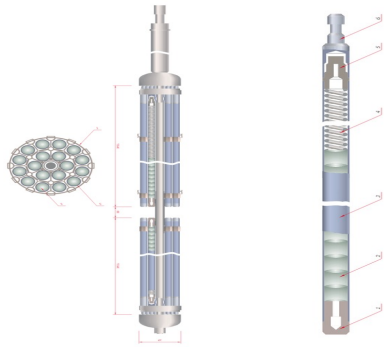


100x

200 мкм

Измерение №	Шероховатость Ra, мкм		
	До МАП	После МАП	
		Количество проходов	
		20	30
1	2,897	0,328	0,024
2	2,761	0,413	0,021
3	2,555	0,382	0,029
4	2,671	0,384	0,040
5	2,437	0,685	0,040
6	2,634	0,623	0,034
7	2,666	0,449	0,026
8	2,664	0,325	0,038
9	2,660	0,379	0,098
10	2,788	0,510	0,052

# МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЕ ПОЛИРОВАНИЕ (МАП) ТРУБ-ОБОЛОЧЕК ТЕПЛОЫДЕЛЯЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ АТОМНЫХ РЕАКТОРОВ



Тепловыделяющий элемент



Сборка твэлов

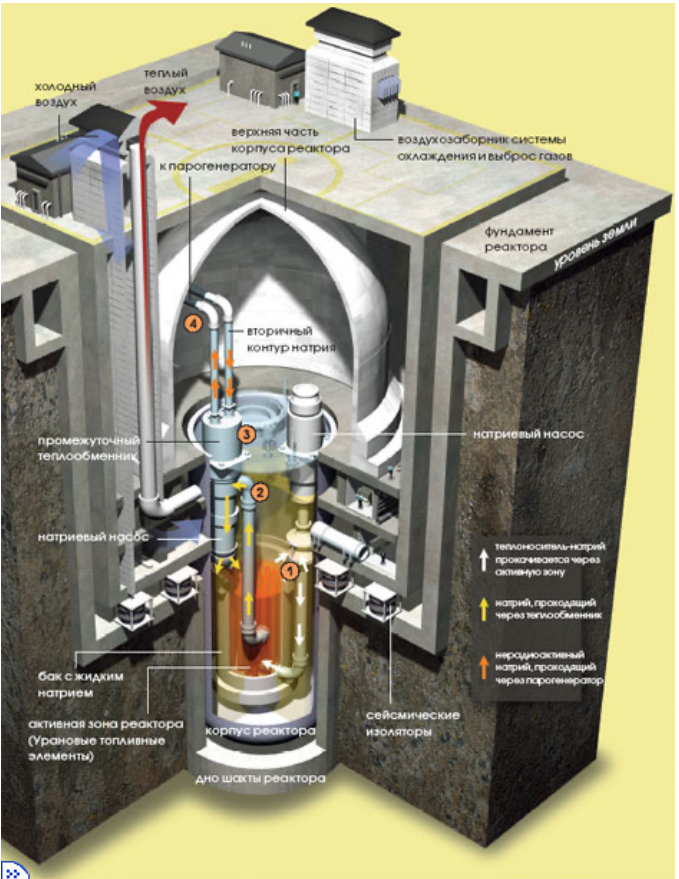


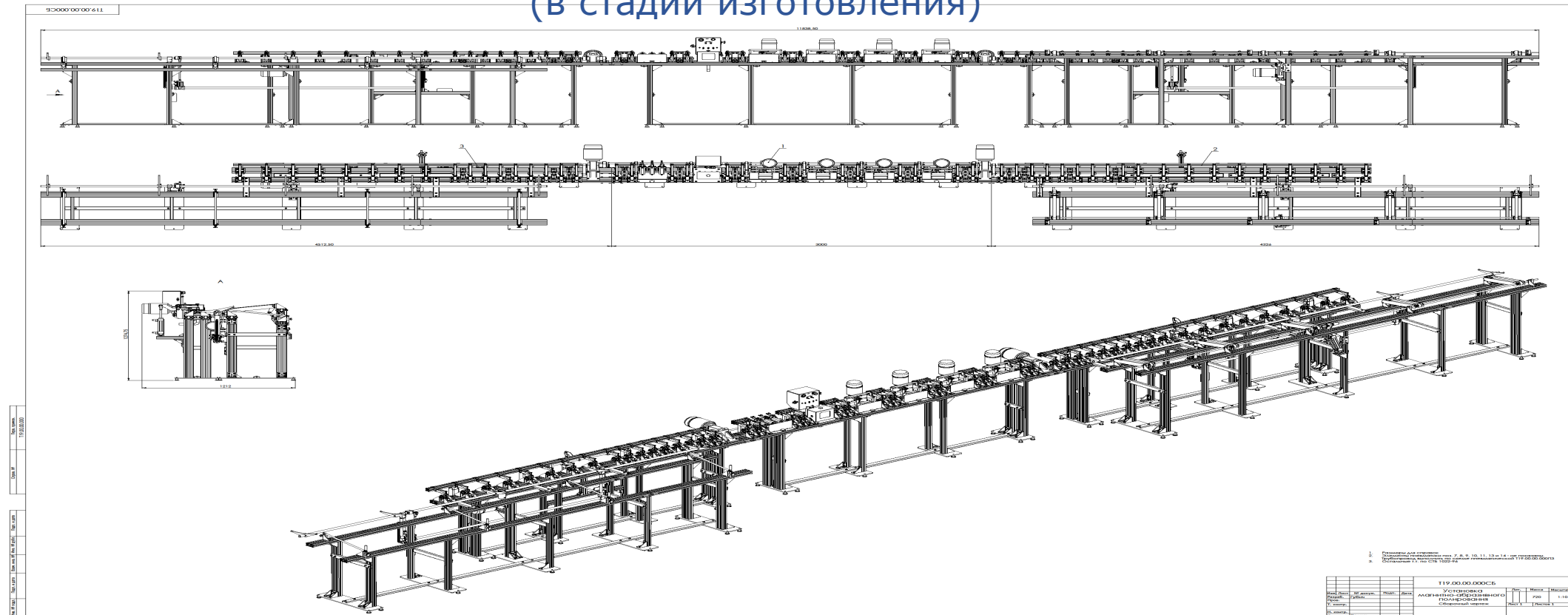
Схема атомного реактора



Установка Т15 для МАП труб-оболочек твэлов

**Технология МАП на 20-50% повышает качество оболочек твэлов по сравнению с традиционными технологиями химического травления и шлифования**

# АВТОМАТИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА Т19 ДЛЯ МАП ТРУБ-ОБОЛОЧЕК ТВЭЛОВ (в стадии изготовления)

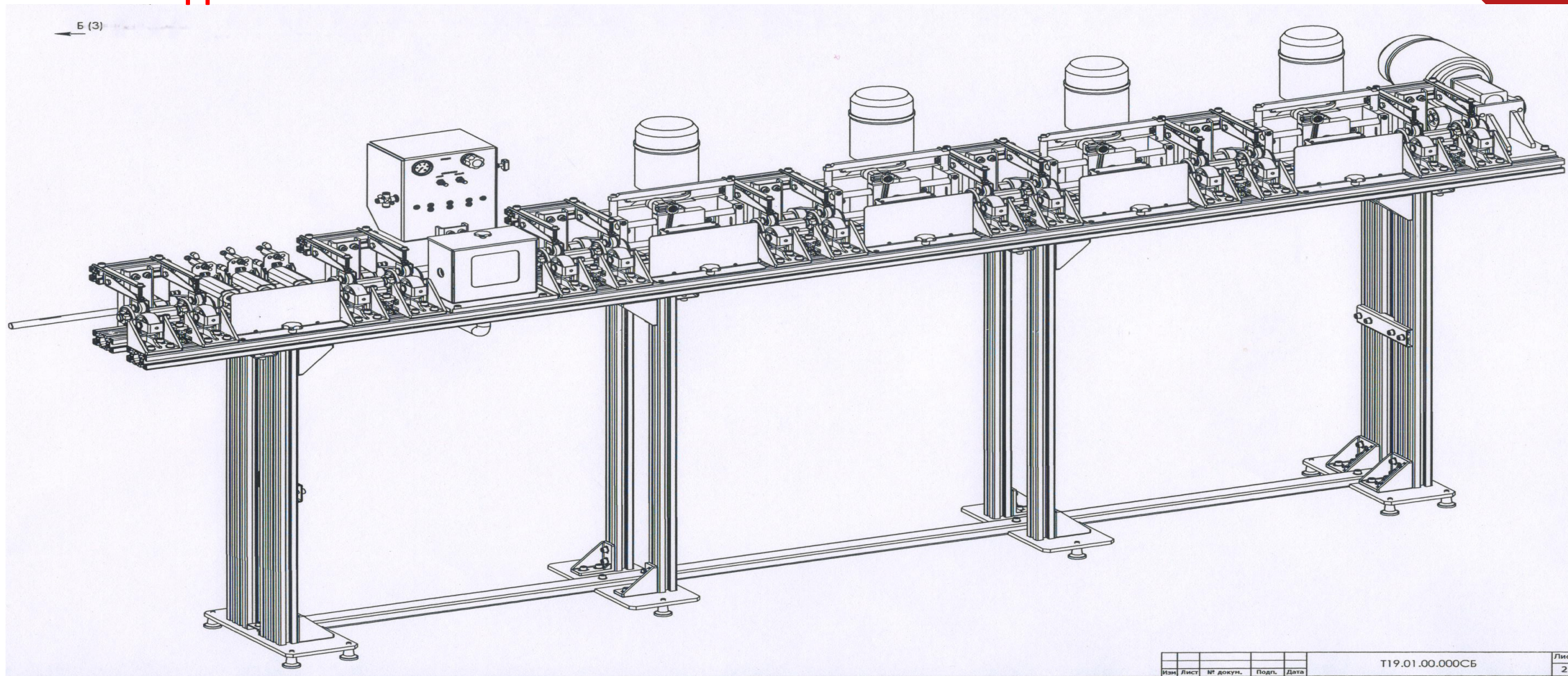


## Технические характеристики установки Т19:

- частота вращения трубы, об/мин: 100 - 500 об/мин;
- подача трубы (производительность МАП), м/мин: 0,5 - 2,0;
- энергопотребление установки, кВт: 2,5;
- размеры установки (ДхШхВ), м: 13,0х1,0х1,5

# РАБОЧИЙ МОДУЛЬ УСТАНОВКИ Т19

УСТАНОВКА Т19 ОДНОВРЕМЕННО ПОЛИРУЕТ НАРУЖНУЮ И ВНУТРЕННЮЮ ПОВЕРХНОСТИ ТРУБЫ



Рабочий модуль содержит 4 автономных полировальных блока, аппараты мойки и сушки труб, механизмы-автоматы загрузки и выгрузки труб из рабочей зоны

# Результаты испытаний образцов труб $\varnothing 9,13 \times 7,73$ мм из сплава Э110 с МАП

## Механические свойства образцов труб $\varnothing 9,13 \times 7,73$ мм из сплава Э110 с МАП

Номер образца	Механические свойства									Коэффициент анизотропии
	Тисп.=20°C			Тисп.=380°C						
	$\sigma_{\perp}$ , кгс/мм <sup>2</sup>	$\sigma_{0,2 \perp}$ , кгс/мм <sup>2</sup>	$\delta_{\perp}$ , %	$\sigma_{\perp}$ , кгс/мм	$\sigma_{0,2 \perp}$ , кгс/мм <sup>2</sup>	$\delta_{\perp}$ , %	$\sigma_{\parallel}$ , кгс/мм <sup>2</sup>	$\sigma_{\parallel 0,2}$ , кгс/мм <sup>2</sup>	$\delta_{\parallel}$ , %	
1	39	35	34	19	16	39	20	10	62	1,6
2	39	34	36	19	16	42	20	10	56	1,6
3	41	35	36	20	17	42	20	12	62	1,6
Требования ТУ 95 2594-96	не менее 28	не менее 21	не менее 28	не менее 15	не менее 13	не менее 33	–	не менее 8	–	не менее 1,4
Требования ТУ 001.392-2006	не менее 28	не менее 21	не менее 24	не менее 15	не менее 13	не менее 33	–	не менее 8	–	не менее 1,4

## Результаты коррозионных испытаний труб $\varnothing 9,13 \times 7,73$ мм из сплава Э110 с МАП

Номер образца	Привес, мг/дм <sup>2</sup>	Качество поверхности
1	13	Удовлетворительное
2	14	Удовлетворительное
3	14	Удовлетворительное
Требования ТУ 95 2594-96	не более 22	Удовлетворительное
Требования ТУ 001.392-2006	не более 22	Удовлетворительное

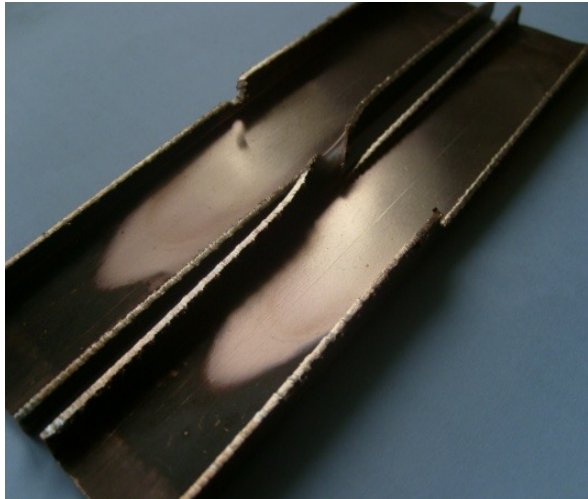
## Проект **ТВЭЛ-МАП** ориентирован на решение основных задач:

- 1. Освоение на предприятиях отрасли технологий магнитно-абразивного полирования (МАП) труб-оболочек твэлов взамен устаревших технологий химического травления и шлифования.

---

- 2. Улучшение в результате МАП важнейших функциональных характеристик поверхностей труб - сопротивление коррозии, износу, наводораживанию и механическому разрушению. Повышение срока службы и надежности эксплуатации сборок твэлов и реакторов.
- 3. Экологическая безопасность: отказ от применения экологически вредных процессов транспортировки, применения и хранения агрессивных кислот (фторная, азотная). Нет необходимости в больших затратах на утилизацию отработанных растворов кислот.
- 4. Импортозамещение: установки и инструменты для МАП российские – нет необходимости в импорте оборудования и расходных материалов (абразивные ленты и пасты).
- 5. Улучшение и оздоровление условий труда работающих. Автоматизация процессов МАП.
- 6. Оборудование, технологии и инструменты для МАП запатентованы и конкурентоспособны на мировом рынке (Китай, Франция, Ю.Корея и др.)
- 7. Стоимость реализации технологий МАП ниже затрат на применение существующих технологий травления и шлифования.

# МАП ВНУТРЕННИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ВОЛНОВОДОВ



**Материалы волноводов:**  
**сплавы Cu, Al, Si, стали и др.**  
**До МАП: Ra = 0,80 мкм.**  
**После МАП: Ra = 0,08 мкм.**

# ПОЛИРОВАНИЕ ЛОПАТОК АВИАЦИОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

имеется опыт ПОЛИРОВАНИЯ КОМПРЕССОРНЫХ И ТУРБИННЫХ ЛОПАТОК ДЛИНОЙ ДО 100 ММ  
обеспечивается закругление рабочей кромки лопатки  
за 5 – 20 минут параметр Ra снижается с Ra = 1,0 мкм до Ra = 0,08 мкм

## МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЕ ПОЛИРОВАНИЕ

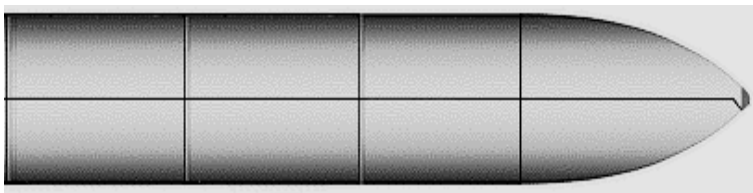
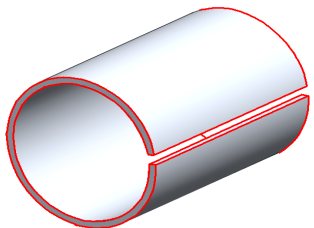


## ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННОЕ ПОЛИРОВАНИЕ





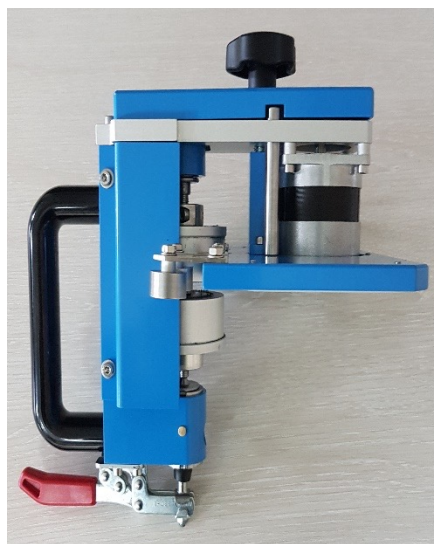
# МАГНИТНО-АБРАЗИВНАЯ ЗАЧИСТКА КРОМОК ДЕТАЛЕЙ ПЕРЕД СВАРКОЙ



Зачистка кромок корпусных элементов перед сваркой в авиакосмической, судостроительной и других отраслях промышленности



Установка  
СФТ2.126



Модуль К23

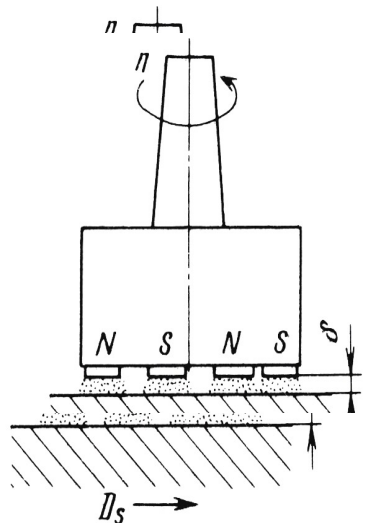
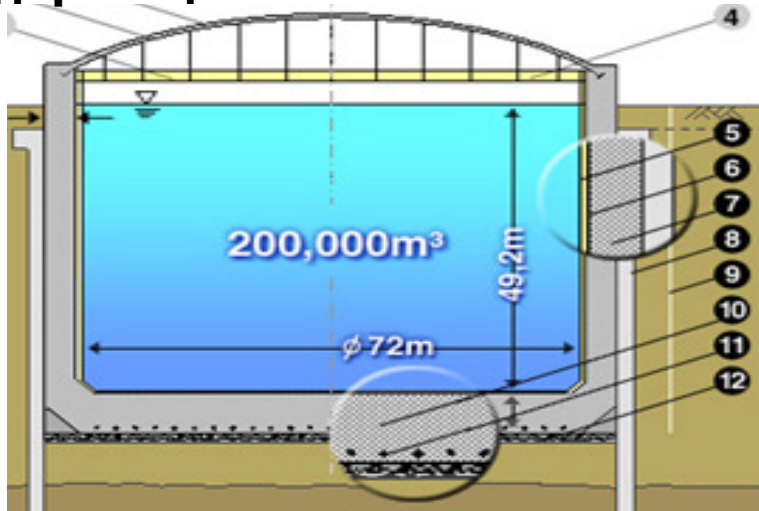
- Технические характеристики:
- одновременная зачистка торца кромки и боковых поверхностей;
  - толщина зачищаемой кромки, мм: 1- 12;
  - ширина зачистки, мм: 10 – 15;
  - скорость зачистки, м/мин: 0,5 – 3,0;
  - материал кромок: сплавы Al-Mg, Ti, нержавеющие стали и др.

Примеры зачистки кромок изделия из сплава Al-Mg (пригодность к сварке):

- после химического травления – 8 часов,
- после механической зачистки – 48 часов,
- **после магнитно-абразивной зачистки – 720 часов.**

# Магнитно-абразивная зачистка кромок листов из легированных сталей перед сваркой

Схема конструкции резервуара СПГ  
Мембрана из нержавеющей стали,  
содержащей 18% Cr и 8% Ni



Магнитный индуктор

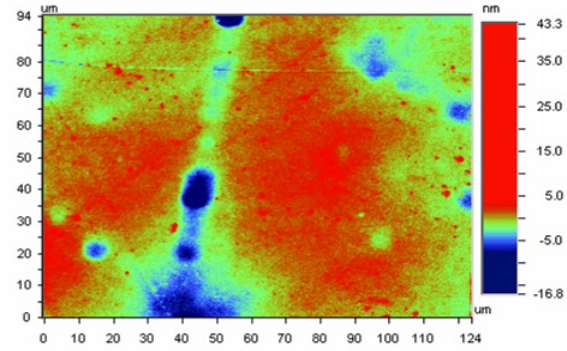


Модуль K23 зачистки кромок листов

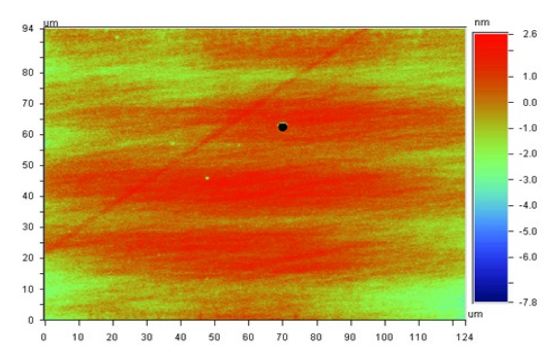
# ОБРАЗЦЫ ДЕТАЛЕЙ ДЛЯ МАП



**Оптика**



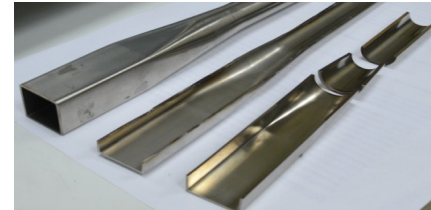
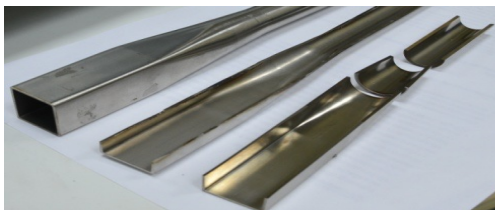
**Лазеры**



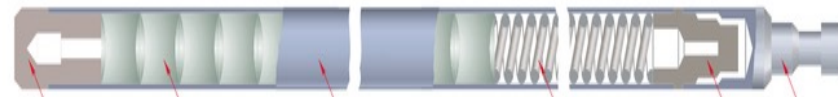
**Электроника**



**Инструмент: резцы, пуансоны, метчики, сверла**



**Трубы: наружные и внутренние поверхности**

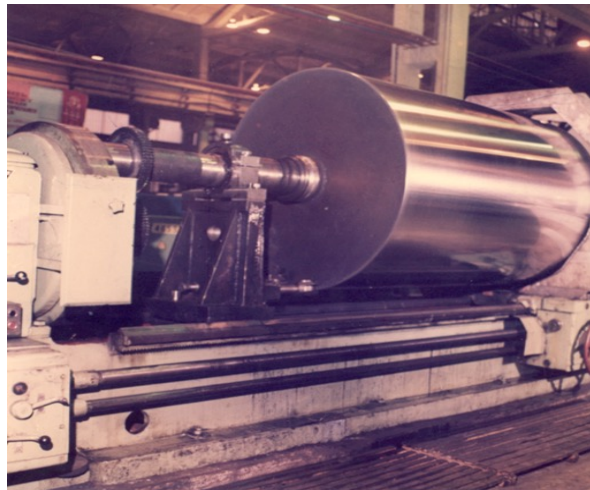


**Трубы-оболочки ТВЭЛОВ**

# ИСТОРИЧЕСКАЯ СПРАВКА О РАННИХ РАЗРАБОТКАХ МЕТОДА МАГНИТНО-АБРАЗИВНОГО ПОЛИРОВАНИЯ (МАП) (1975 – 1995 ГОДЫ)



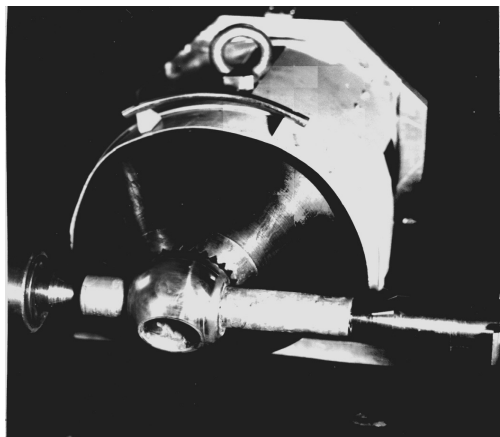
Зачистка кромок перед сваркой



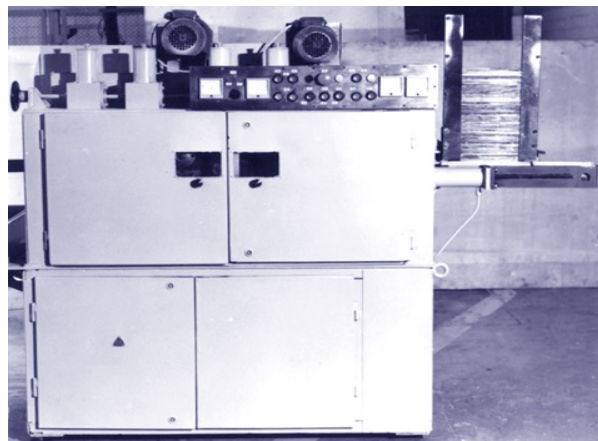
МАП валов



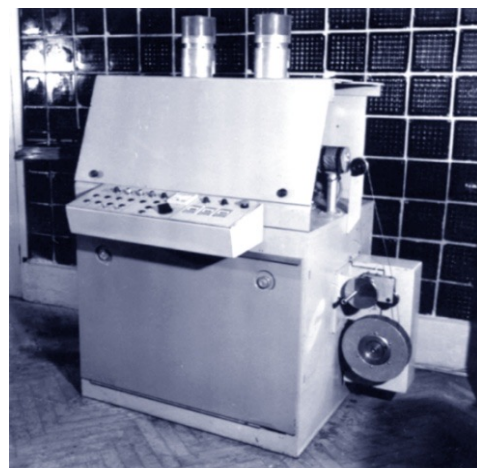
МАП винтов



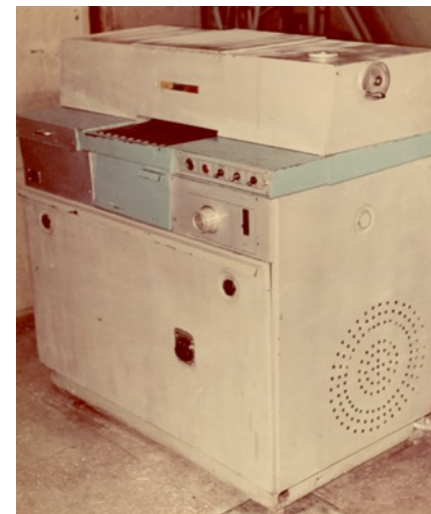
МАП сфер



МАП труб



МАП проволоки



МАП листов и лент

# ОСОБЕННОСТИ И ПРЕИМУЩЕСТВА ТЕХНОЛОГИЙ СУПЕРТОНКОГО МАГНИТНО-АБРАЗИВНОГО ПОЛИРОВАНИЯ (МАП)

1. **ФЕРРОАБРАЗИВНЫЙ ПОРОШОК В МАГНИТНОМ ПОЛЕ ПРИОБРЕТАЕТ ВИД «ЭЛАСТИЧНОЙ ЩЕТКИ И ПОЛИРУЕТ ПОВЕРХНОСТЬ ДЕТАЛИ**
2. **ИМПУЛЬСНОЕ МАГНИТНОЕ ПОЛЕ УЛУЧШАЕТ СТРУКТУРУ ПРИПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ДЕТАЛИ ЗА СЧЕТ МАГНИТОПЛАСТИЧЕСКОГО, ЭЛЕКТРОПЛАСТИЧЕСКОГО И МАГНИТОСТРИКЦИОННОГО ЭФФЕКТОВ**
3. **МАП ВЫПОЛНЯЕТСЯ В РЕЖИМАХ СУБМИКРОРЕЗАНИЯ И ВЫГЛАЖИВАНИЯ С ПРЕОБЛАДАНИЕМ СДВИГОВЫХ НАПРЯЖЕНИЙ**
4. **ФОРМИРУЕТСЯ НАНОРЕЛЬЕФ ПОВЕРХНОСТИ С  $Ra < 0,2$  НАНОМЕТРА И ПРИПОВЕРХНОСТНЫЙ СЛОЙ С МИНИМУМОМ ДЕФЕКТОВ СТРУКТУРЫ – ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ОЧАГОВ КОРРОЗИИ, ИЗНОСА И МЕХАНИЧЕСКОГО РАЗРУШЕНИЯ**
5. **ТЕХНОЛОГИИ МАП УСПЕШНО ЗАМЕНЯЮТ ТРУДОЕМКИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИ УЩЕРБНЫЕ ПРОЦЕССЫ ХИМИЧЕСКОГО ТРАВЛЕНИЯ И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ПОЛИРОВАНИЯ**
6. **ПРОЦЕССЫ МАП ПРЕВОСХОДЯТ ЛУЧШИЕ АНАЛОГИ ПО ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ВОЗМОЖНОСТЯМ, ЭКОНОМИЧЕСКИМ И ЭКОЛОГИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ**

## НАГРАДЫ

Оргкомитет Международной выставки HI-TECH (Санкт-Петербург, 17-20 апреля 2023 г.) по итогам рассмотрения 83-х поданных заявок на конкурс «Лучший инновационный проект и лучшая научно-техническая разработка года» признал победителем конкурса проект УП «ПОЛИМАГ» «Технологии и оборудование супертонкого магнитно-абразивного полирования» с вручением специального приза и 3-х дипломов



# Публикации

176 научных публикаций  
74 патента

# Партнеры

## Китай

nm 内蒙金属材料研究所  
INNER MONGOLIA METALLIC MATERIALS RESEARCH INSTITUTE

浙江师范大学  
ZHEJIANG NORMAL UNIVERSITY

Changchun Institute of Optics,  
Fine Mechanics and Physics,  
Chinese Academy of Sciences

兰州大学  
LANZHOU UNIVERSITY

Harbin Institute of Technology

## Южная Корея



## Россия

РОСАТОМ

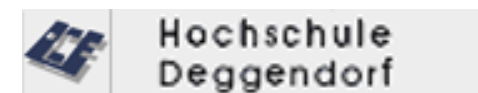
РОСКОСМОС

ВНИИНМ  
имени А.А. Бочвара

## University of Ferrara



## Германия



## Италия

POLIMAG

ul. Surganova 37/1, 220013 Minsk, Belarus

Tel: +375 17 252 87 32

E-mail: [polimag@mail.ru](mailto:polimag@mail.ru)

[www.polimag.eu](http://www.polimag.eu)

ПОЛИМАГ

ул. Сурганова 37/1-302, Минск 220013, Беларусь

Тел/факс +375 17 2528732, моб. +375 29 6110160

E-mail: [polimag@mail.ru](mailto:polimag@mail.ru)

[www.polimag.by](http://www.polimag.by)