

Б.И. Ставицкий

### ПРЕЦИЗИОННОЕ ЭЛЕКТРОИСКРОВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ИЗДЕЛИЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ

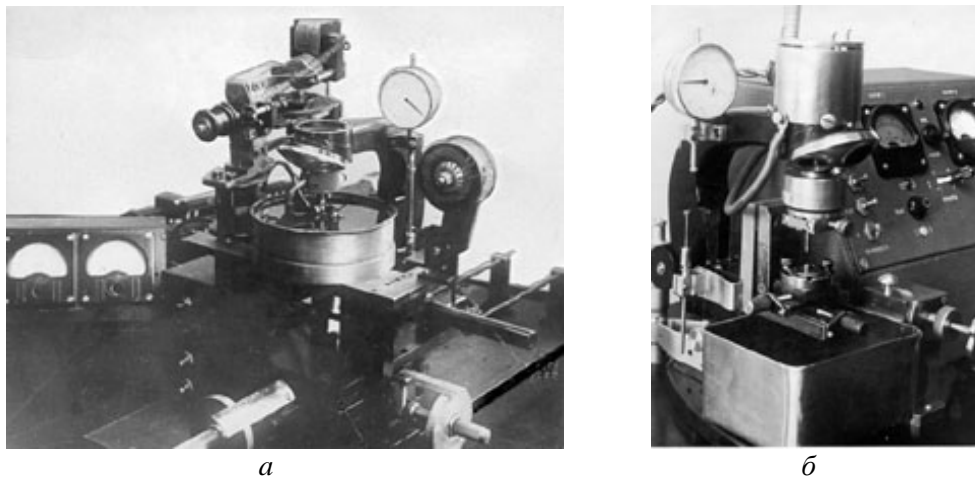
*Государственное научно-производственное предприятие  
"Исток" электронной промышленности,  
ул. Вокзальная, 2, г. Фрязино, 141120, Московская область*

В результате многолетних исследований, проведенных в ГНПП "Исток" (разработки новых методов изготовления особо точных деталей и научных основ технологии электроискрового прецизионного формообразования), накопленного практического опыта создания и эксплуатации экспериментальных установок были разработаны высокопроизводительные автоматизированные электроискровые станки (в том числе и обрабатывающие комплексы, оснащенные системами ЧПУ со встроенными мини- и микро-ЭВМ, а также на базе персональных компьютеров) [1–24 и др.].

Созданное в ГНПП "Исток" электроискровое оборудование можно разделить на несколько "поколений":

**Первое поколение:** экспериментальные электроискровые прецизионные установки для изготовления миниатюрных деталей электровакуумных приборов (сеток клистронов и приемно-усилительных ламп, катодов, замедляющих систем ЛОВ и др.) [1–4, 7–9].

Первая в мире электроискровая установка для прорезания узких пазов электродом-проволокой ВА-3 диаметром 20–30 мкм представлена на рис.1,*а*.



*Рис. 1. Первые в мире электроискровые прецизионные установки для изготовления миниатюрных деталей электронных приборов:*

*а – для прорезания узких пазов (шириной 0,03–0,05 мм) и изготовления электродов-инструментов, предназначенных для электроискрового изготовления медных сеток клистронов электродом-проволокой ВА-3 диаметром 20–40 мкм (1954 г.);*

*б – для изготовления сеток клистронов с перемычками шириной 0,02–0,04 мм. (1957 г.).*

Перемотка проволоки с катушки на приемную катушку диаметром 25 мм осуществлялось электродвигателем СД-2 со скоростью 100–150 мм/мин. Направление проволоки осуществлялось двумя V-образными полированными роликами, а ее натяжение – торможением катушки с проволокой

плоской пружиной. Вертикальное перемещение заготовки обрабатываемой детали (электрода-инструмента для изготовления сеток) осуществлялось микрометрической подачей микроскопа МБМ-1 с точностью отсчета по нониусу 0,002 мм или индикатору 0,01 мм. На приемной катушке проволока раскладывалась соответствующим механизмом.

На рис.1,б показана левая головка одной из первых полуавтоматических электроискровых спаренных установок ЭПС-3 для изготовления цельных сеток, а также одновременного изготовления отверстий различного профиля специальным электродом-инструментом. Технические характеристики установки ЭПС-3 представлены в табл. 1.

Обрабатываемая деталь закрепляется прижимами на сменной оправке, установленной на миниатюрном координатном столике. Электрод-инструмент с прорезанными на торце узкими пазами (шириной 30–50 мкм) закрепляется в призме. Осциллирующее движение ему сообщается электромагнитным вибратором (с амплитудой не более 0,01 мм). Подача электрода-инструмента производится с помощью микрометрического механизма с ценой деления 0,002 мм (аналогичного механизму первой проволочной установки). Один оборот барабана механизма соответствует 0,01 мм.

После предварительной настройки установки и закрепления обрабатываемой заготовки в оправке ванна с межэлектродной жидкостью поднимается. Пуск рабочей головки осуществляется нажатием кнопки. При этом электродвигатель СЛ-161 следящей системы включается по известной мостовой схеме. Электрод-инструмент начинает сближаться с заготовкой детали. Одновременно подается напряжение на электроды. После изготовления сетки (подачи электрода-инструмента на определенную величину) электрод-инструмент быстро отводится в исходное положение, напряжение с электродов снимается.

Таблица 1. Технические характеристики установки ЭПС-3

Тип генератора импульсов	RC
Энергия импульсов, Дж	$10^{-5} - 10^{-6}$
Частота следования импульсов, имп/с	100000–300000
Максимальная потребляемая мощность, Вт	300–500
Наибольшие размеры изготавливаемой детали, мм	
высота	15
ширина и длина	50
Точность изготовления деталей, мм	$\pm 0,002$
Наибольшая величина автоматической подачи электрода, мм	2,4
Объем ванны, л	0,5
Шероховатость обработанной поверхности $R_a$ , мкм	0,1–0,4
Среднее количество сеток $\varnothing$ 3–5 мм с перемычками 30–40 мкм и их шагом 0,25–0,5 мм, изготавливаемых в месяц при односменной работе, шт.	2000–3000

**Второе поколение:** промышленные электроискровые установки для изготовления деталей электронных приборов и технологического инструмента с RC-генераторами (полуавтоматизированные, с системами автоматического регулирования межэлектродного промежутка):

установки для прорезания пазов и изготовления деталей различного профиля непрофилированным обрабатывающим электродом-проволокой (диаметром от 0,02–0,04 мм до 0,10 мм): А207.13, А207.15, А.207.20, А207.23, А207.24, А207.28, А207.33 и др.;

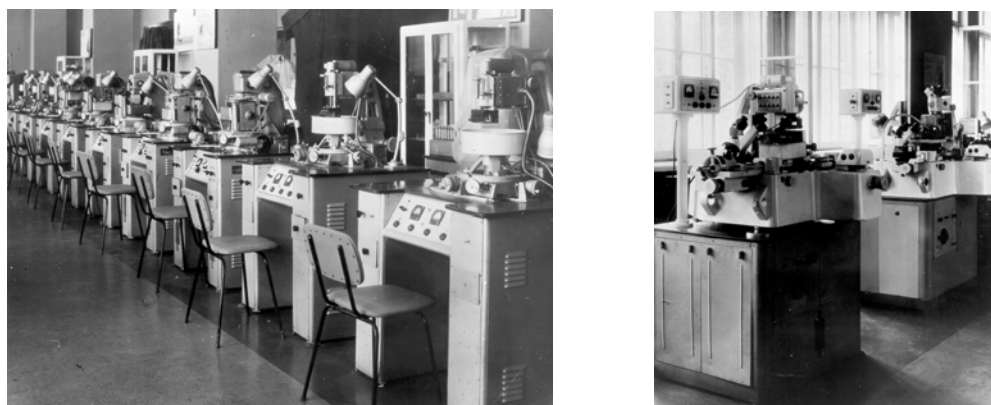
б) установки для изготовления деталей методом копирования профиля электрода-инструмента: А207.03, А207.05, А207.07, А207.08, А207.11, А207.12, А207.16, А207.23 и др.

Некоторые из этих установок второго поколения представлены на рис.2.

На рис.3 представлен общий вид опытно-производственного электроискрового участка отдела электроискровой обработки материалов НИИЭТ МЭП СССР (ныне ГНПП "Исток"), созданный в начале 60-х годов.

На переднем плане группа электроискровых установок для изготовления деталей методом копирования профиля электрода-инструмента. Справа – три установки модели А207.08, за ними координатные установки модели А207.16. Слева – двухпозиционные установки модели А207.07, затем координатные установки модели А207.12. Далее – установки для изготовления деталей электродом-проволокой: А207.23, А207.13, ЭХ 1331, ЭХ 1333, А207.27 и др. Всего на участке около 50 установок.

**Третье поколение:** промышленные электроискровые установки для изготовления деталей электронных приборов и технологического инструмента с *РС* генераторами и электромеханическими системами программного управления (по типу экспериментальных) или простейшими системами ЧПУ с заданием программ на перфоленте:



а

б

Рис. 2. Электроискровые координатные установки А207.16, А207.13 и другие (а) и А207.12.(б).



Рис. 3. Общий вид опытно-производственного электроискрового участка отдела электроискровой обработки материалов НИИЭТ МЭП СССР (ныне ГНПП "Исток").

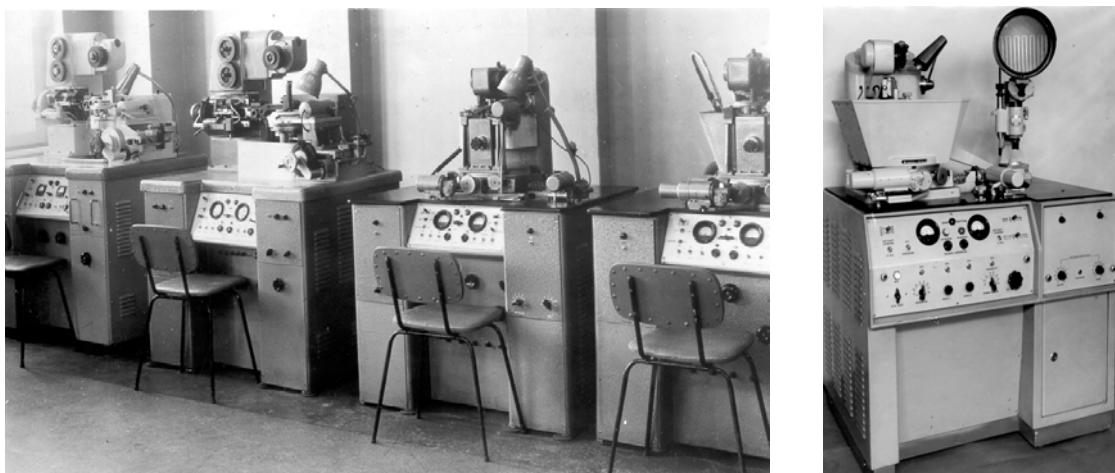
а) установки для прорезания пазов и изготовления деталей различного профиля непрофилированным обрабатывающим электродом-проволокой (диаметром от 0,02-0,04 до 0,10 мм): А207.10, А207.14, А207.18, А207.46, и др.

**Четвертое поколение:** промышленные электроискровые установки (полуавтоматизированные с системами автоматического регулирования межэлектродного промежутка) для изготовления деталей электронных приборов и технологического инструмента в обычной воде из водопровода с тиратронными генераторами импульсов, позволившие в 2,5–15 раз увеличить интенсивность процесса и улучшить условия труда (рис. 4):

а) установки для прорезания пазов непрофилированным обрабатывающим электродом – проволокой диаметром от 0,03 – 0,04 до 0,20 мм и изготовления деталей различного профиля (крупногабаритных анодных блоков магнетронов и амплитронов, замедляющих систем ЛОВ и ЛБВ, катодов, антенных решеток и многих других деталей ЭП): ЭХ1331, ЭХ1333, А207.13/20, А207.19, А207.26, А207.27, А207.60, А207.61, А207.62. Применение их позволило, по крайней мере, в 2,5–4,5 раза повысить скорость формообразования в диапазоне режимов, обеспечивающих шероховатость обработанной поверхности  $R_a$  в пределах 1,5–2,5 мкм (до очистки ее стеклянными шариками);

б) установки для изготовления деталей (сеток, электродов, катодов, замедляющих систем, волноводов, миниатюрных анодных блоков и других деталей СВЧ-приборов; пунсонов, матриц и

съемников вырубных штампов; фильер, сит и др.) методом копирования профиля электрода-инструмента: А207.07М, А207.26, А207.30, А207.40, применение которых позволило по крайней мере в 10–15 раз повысить скорость формообразования.



а

б

Рис. 4. Группа электроискровых установок для изготовления деталей ЭП электродом-проволокой с тиратронным генератором импульсов, обеспечивающим использование в качестве межэлектродной среды обычной воды без ее деионизации: А207.27 и ЭХ1333 (а), А 207.13/20 (б).

**Пятое поколение:** электроискровые обрабатывающие комплексы с тиратронными или транзисторными генераторами импульсов и системами ЧПУ на базе мини- или микро-ЭВМ для инструментального производства и изготовления деталей электронных приборов:

а) с управлением по 2 – 3 осям и использованием в качестве межэлектродной среды обычной воды из водопровода: "Электроника-77М", "Электроника-77Б", А207.78, А207.79, А207.81, А207.86, "Элизен-1" (на базе А.207.86 с микропроцессорным устройством ЮЩ2.559.008 с цветным монитором), А207.89 и А207.92;

б) с управлением по 2 – 3 осям и использованием в качестве межэлектродной среды дистиллированной воды: А207.87 и А207.90;

в) с управлением по 5 осям с использованием обычной воды из водопровода: А207.88 и А207.93;

г) с управлением по 5 осям и использованием воды с последующей ее деионизацией: "Элиур-90" (ЭХ 2214).

Появление пятого поколения электроискрового прецизионного оборудования стало возможным благодаря тому, что за годы X пятилетки (1976–1980) НПО "Исток" совместно с НПО "Феникс" были разработаны первые отечественные электроискровые обрабатывающие комплексы "Электроника" двух моделей и освоено их серийное производство.

За три года (1978–1980) выпущено около 200 комплексов двух моделей: 04ИВ-250 (А207.78, А202.01) и 04ИВ-200 (А207.81, А202.03), которые показаны на рис.5–6.

На базе комплекса "Электроника-78м" модели А207.81 создан прецизионный координатно-прошивочный комплекс 04ИП-200 модели А207.84 (рис. 7) с полем обработки до 200x100 мм. Относительные перемещения электрода-инструмента и обрабатываемой детали осуществляется по трем осям от системы ЧПУ 15ИПЧ-3-001.

В связи с необходимостью освоения в производстве новых изделий на предприятиях отрасли были созданы прецизионные электроискровые обрабатывающие комплексы "Электроника 04ИВ-140" (модель ЭХ1893) и "Электроника 04ИВ-125" (модель ЭХ1925), обеспечивающие автоматическое изготовление миниатюрных деталей электронных СВЧ приборов с точностью до 2 мкм электродом-проволокой диаметром 0,01–0,05 мм.

Вместо комплекса А207.81, А202.03, выпускавшегося серийно до 1982 года на базе универсального измерительного микроскопа УИМ-21 фирмы "Карл Цейс", был разработан прецизионный электроискровой обрабатывающий комплекс "Электроника 04ИВ-200" (модель А207.86, рис. 7) для автоматического изготовления деталей ЭП с точностью расположения элементов по шагу до  $\pm 3$  мкм с максимальным полем обработки 200 x 125 мм.

Внедрение в промышленность партии (более 700 шт.) этих комплексов позволило не только повысить точность и качество изготавливаемых деталей (в 1,6 раза), но и существенно (в 1,7 раза) уменьшить занимаемую площадь.

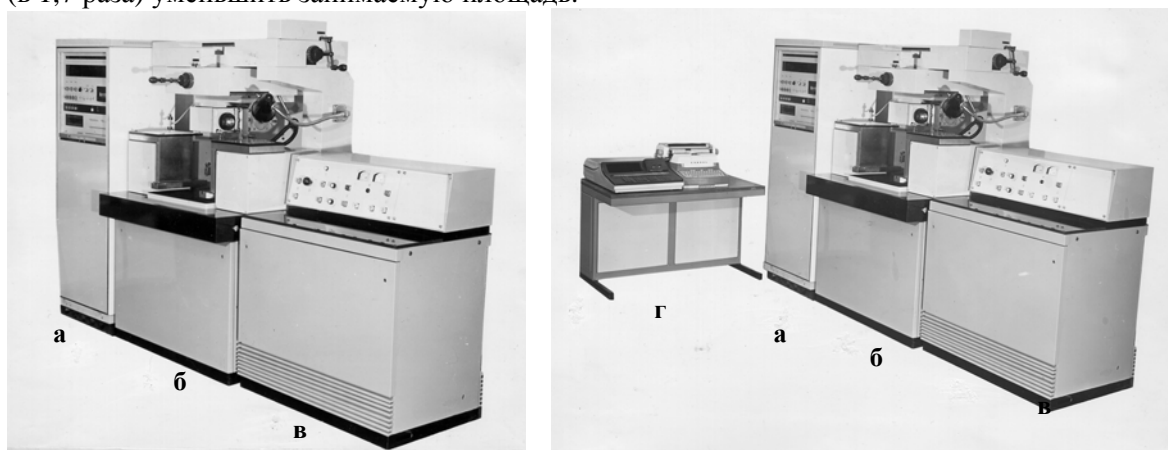


Рис. 5. Электроискровой комплекс “Электроника-78Б” модели А207.78 (слева) и модели А202.01 (справа): а – система ЧПУ 15ИПЧ-3-001 (И5М1.409.006); б – станочный модуль 04ИВ8250 (А207.78-1); в – генератор импульсный тиратронный (А207.54-50); г – система подготовки программ 15ИПГ-16-001 (А745.34).

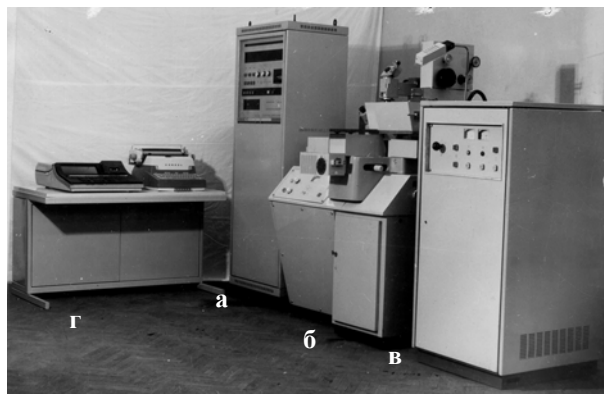
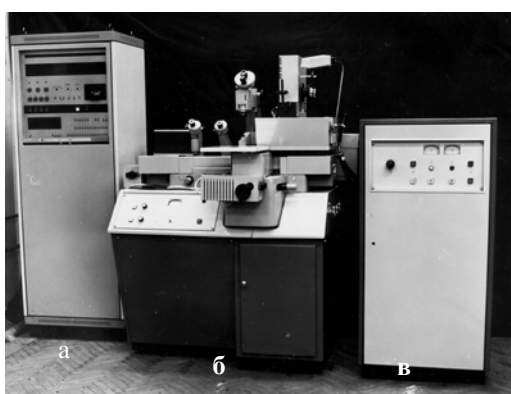


Рис. 6. Электроискровой комплекс “Электроника-78М” модели А207.81(слева) и модели А202.03 (справа): а – система ЧПУ 15ИПЧ-3-001 (И5М1.409.006); б – станочный модуль 04ИВ-200 (А208.112) на базе УИМ-21; в – генератор импульсный тиратронный (А671.57); г – система подготовки программ 15ИПГ-16-001 (А745.34).

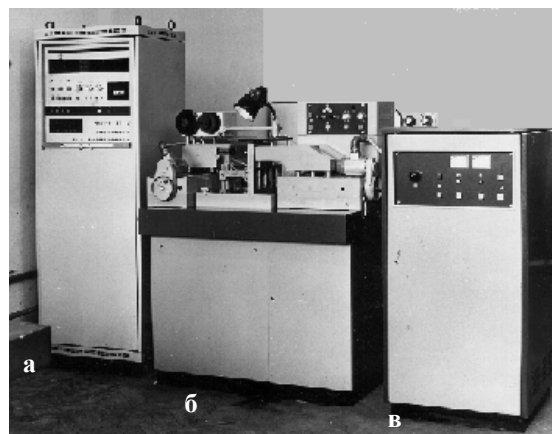
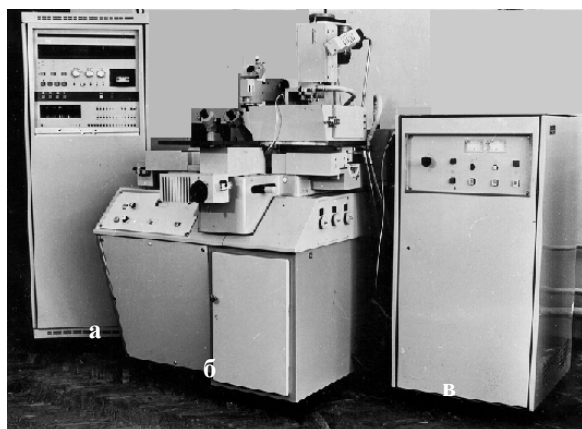


Рис. 7. Электроискровые обрабатывающие комплексы – “Электроника 04ИП-200” модели А207.84 слева (координатно-прошивочный) и справа “Электроника 04ИВ-200” модели А207.86 (для изготовления деталей электродом-проволокой): а – система ЧПУ 15ИПЧ-3-001 (И5М1.409.006); б– станочный модуль 04ИВ -200 (на базе УИМ-21); в – генератор импульсный тиратронный А671.57.

Планомерное усовершенствование комплексов, отработка конструкций отдельных узлов, повышение их жесткости, применение новых керамических материалов с малым коэффициентом линейного расширения способствовало появлению новых моделей и модификаций.

Так, например, на серийных комплексах А207.78 и А202.01 погрешности перемещения кареток координатного стола уменьшены в 2–3 раза по сравнению с первыми образцами комплексов “Электроника 78Б”, а точность комплексов модели А207.79, которые начали выпускаться с 1983 года вместо модели А207.78, увеличена еще в 1,6 раза (см. рис. 8).

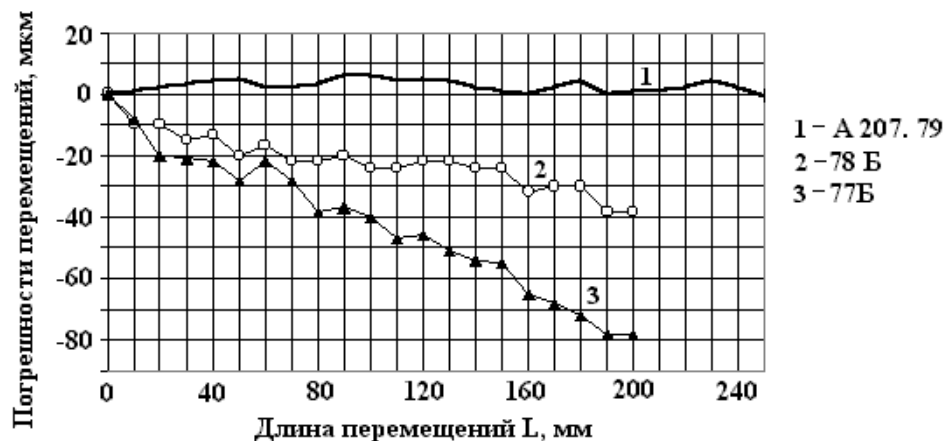


Рис. 8. Погрешности перемещений на электроискровых комплексах “Электроника” (77Б, 78Б) и А207.79 (без коррекции перемещений).

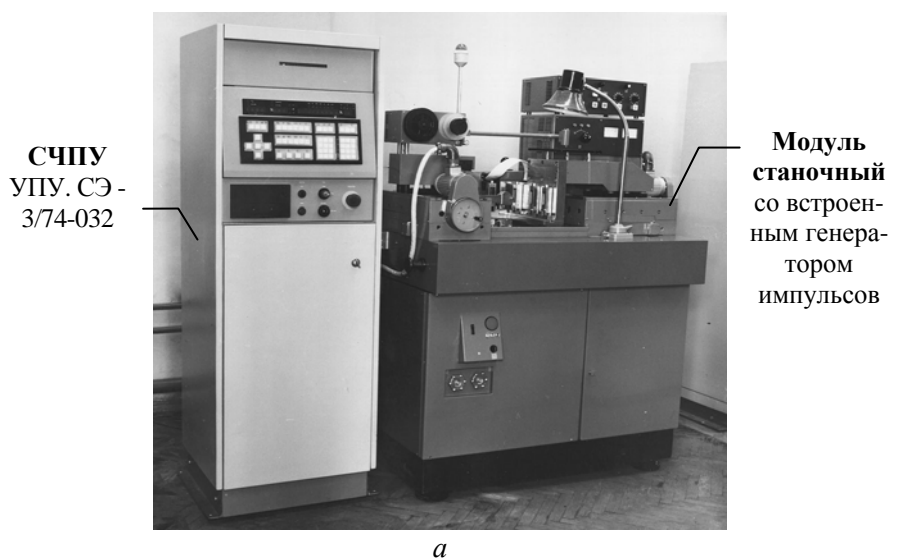
Таблица 2. Основные технические характеристики электроискровых комплексов

Характеристики комплексов	Модели комплексов				
	А207.79	А207.90	А207.92	А207.93	Элиур-90
Максимальные размеры заготовок, мм					
длина	430	100	250	250	600
ширина	270	53	160	160	320
высота	120	5	80	80	160
Перемещение кареток, мм					
поперечное	250	80	200	200	400
продольное	250	50	125	125	250
Перемещение полускобы, мм:					
горизонтальное	–	–	–	±20x20	±30x30
вертикальное	–	–	–	80	160
Накопленная погрешность перемещения (без коррекции), мкм	10–20	3	8	8	10
Скорость формообразования при $R_a \leq 2 - 2,5$ мкм, мм <sup>2</sup> /мин	40–60	–	40–60	40–60	60
СЧПУ	15ИПЧ-3-001		УПУ СЭ 3/74-032	УПУ СЭ 5/74-036	CNC PC
Число осей	2 + 1		3	5	5
Генератор	Тиратронный	Транзисторный	Тиратронный		Транзисторный
Потребляемая мощность, кВА	3,5	1,5	2,5		4,0
Диаметр электрода-проволоки, мм	0,05–0,3	0,006–0,015	0,05–0,25		0,1–0,3
Межэлектродная среда	Вода питьевая	Вода дистиллированная	Вода питьевая		Вода деионизованная
Занимаемая площадь, м <sup>2</sup>	2,5	1,1	1,2		16

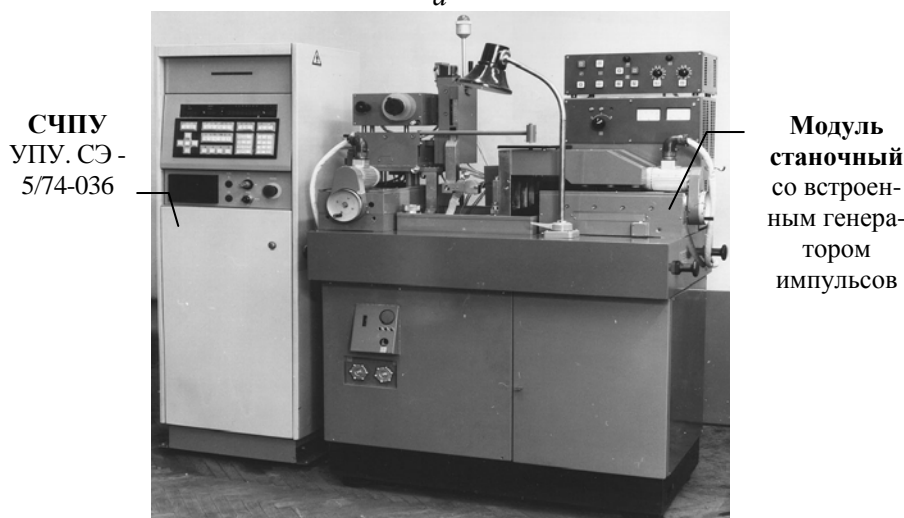
Фотографии электроискровых комплексов последних модификаций (А207.79, А207.90, А207.92, А207.93, Элиур-90), предназначенных для изготовления деталей электродом-проволокой, представлены на рис. 9–12, а их основные технические характеристики – в табл. 2.



Рис. 9. Электроискровой комплекс «Электроника-04ИВ-250» модели А207.79: а – система ЧПУ 15ИПЧ-3-001 (И5М1.409.006); б – станочный модуль 04ИВ-250; в – генератор импульсный тиристорный А671.57.



а



б

Рис. 10. Электроискровые комплексы 04ИВ-200 моделей А207.92 (а) и А207.93 (б).

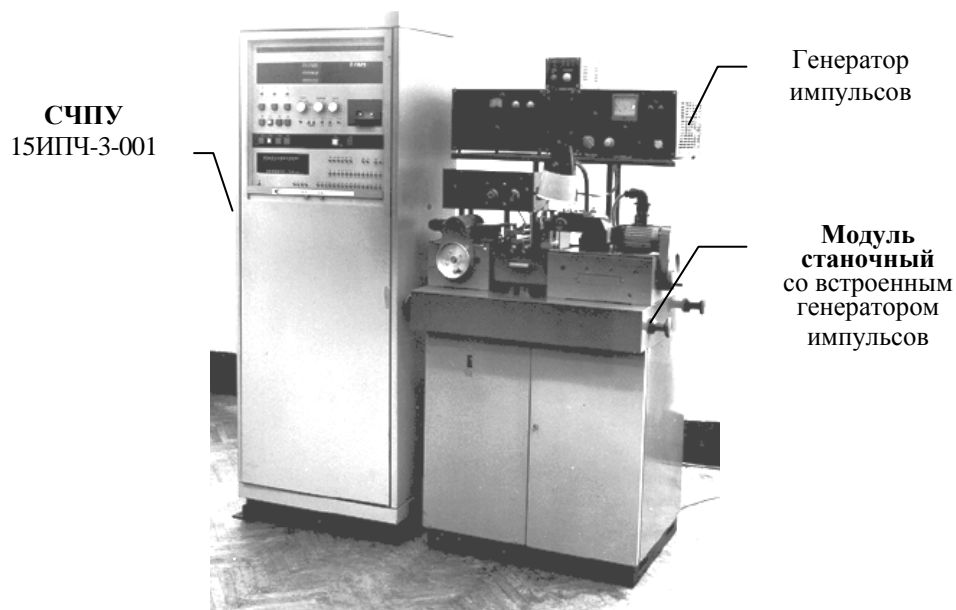


Рис. 11. Электроискровой комплексы 04ИВ-100 модели А207.90 для изготовления деталей ЭВП СВЧ электродом-проволокой  $\varnothing 0,006-0,015$  мм.



Рис. 12. Электроискровой комплекс "Элиур-90" (ЭХ 2214) с автоматической заправкой электрода-проволоки и управлением по 5 осям.

Комплекс А207.90 оснащен малогабаритным транзисторным генератором, формирующим биполярные импульсы длительностью не более 0,5 мкс, обеспечивая обработку в чистой питьевой воде из водопровода без ее очистки и деионизации.

Минимальная ширина пазов прорезаемых на комплексе – 0,008–0,02 мм. Минимальный радиус в углах – 0,004–0,01 мм (в зависимости от диаметра электрода-проволоки и режимов обработки). Отклонения ширины пазов от номинала не превышает 0,002 мм, а точность их расположения по шагу – 0,003 мм.



Модель А207.90 не имеет аналогов. Она обеспечивает изготовление электродом-проволокой диаметром 6–15 мкм миниатюрных деталей СВЧ-электронных приборов субмиллиметрового диапазона длин волн, некоторые элементы деталей которых не превышают 5–10 мкм

На рис. 13 показана динамика выпуска в ГНПП "Исток" электроискровых комплексов ( $N$ ), изменение их средней стоимости ( $C$ ) и объема производства ( $Q$ ) в долларовом эквиваленте в 1978–1991 гг.

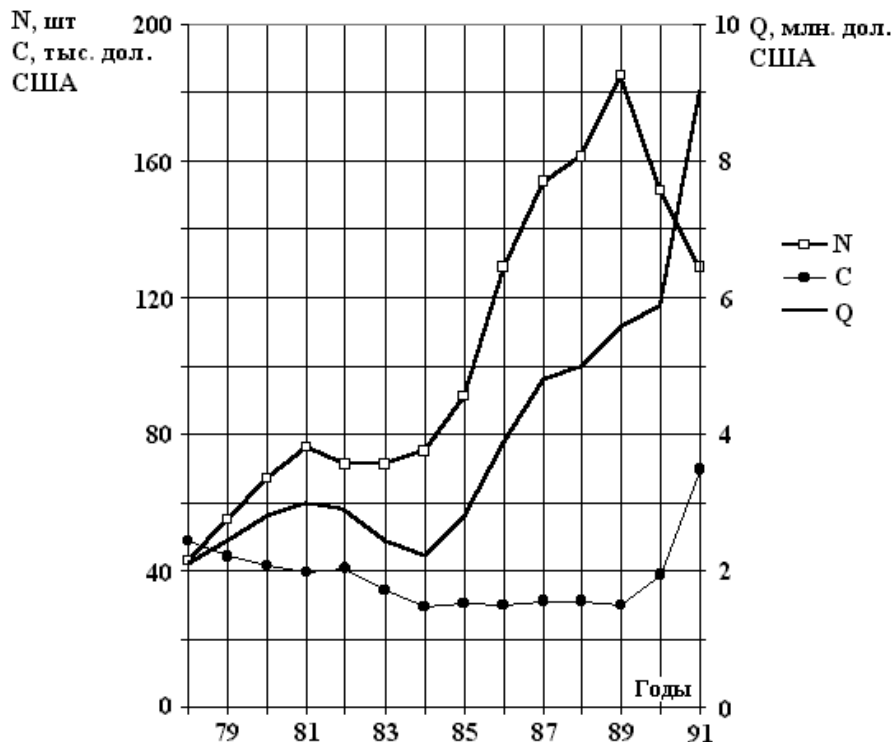


Рис. 13. Выпуск электроискровых комплексов ( $N$ ), их средняя стоимость ( $C$ ) и объемы производства ( $Q$ ).

Электроискровой комплекс ЭХ1970 для изготовления большого количества отверстий малого диаметра (в несколько десятых долей миллиметра) в деталях из сплава меди с молибденом на глубину до 20–25 мм (пролетных каналов в блоках многолучевых электронных СВЧ приборов) показан на рис. 14.

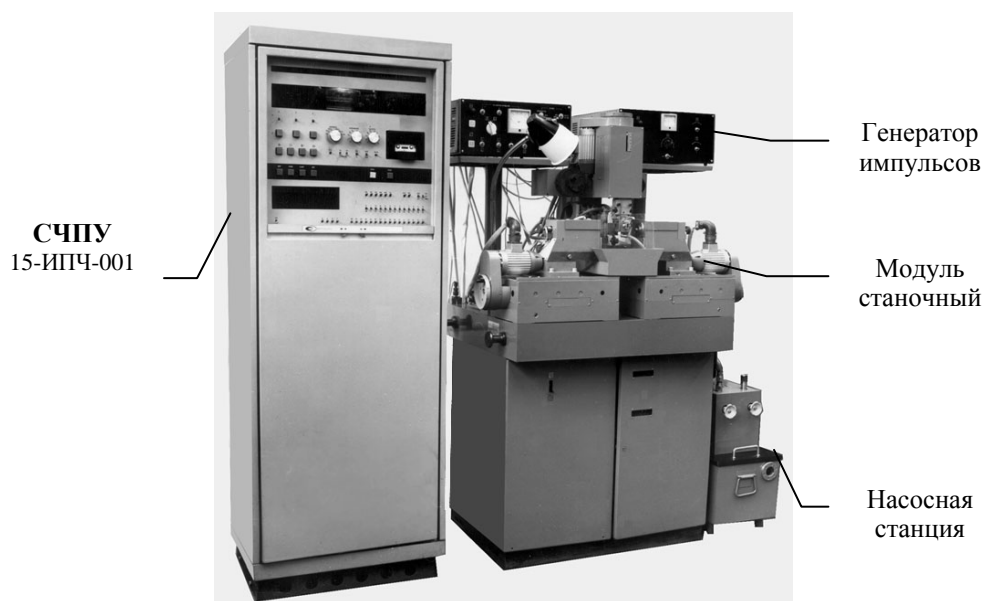


Рис. 14. Комбинированный электроискровой комплекс ЭХ1970 с системой ЧПУ 15ИПЧ-3-001 для изготовления пролетных каналов малого диаметра многолучевых электронных СВЧ приборов (МЛП).

Отверстия пролетных каналов (18–19 шт., а иногда и больше)  $\varnothing$  0,3–0,5 мм должны быть густо расположены по концентрическим окружностям с перемычками между ними до 50–70 мкм (рис. 15).

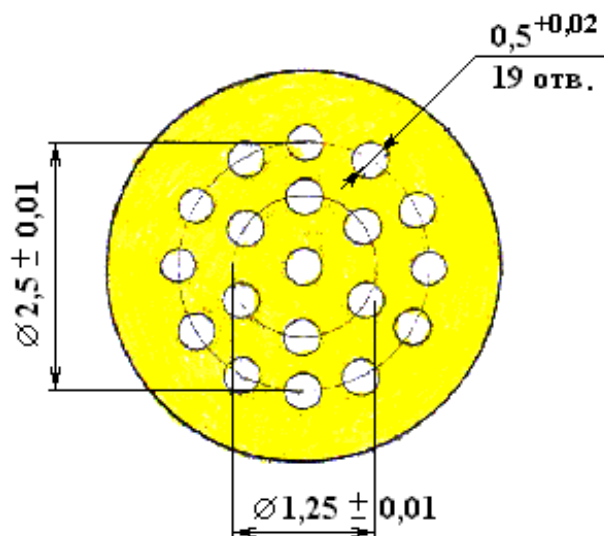


Рис. 15. Сечение пролетных каналов малого диаметра многолучевых электронных СВЧ приборов (МЛП).

Основные технические характеристики комплекса ЭХ1970 представлены в табл. 3.

Таблица 3. Основные технические характеристики комплекса ЭХ1970 для изготовления пролетных каналов малого диаметра многолучевых электронных СВЧ приборов

Перемещения кареток, мм продольные X1 и X2 поперечная Y вертикальная Z	80 125 80
Число шпинделей	2
Скорость вращения шпинделей, об/мин	до 5000
Диаметр обрабатываемых отверстий (при $D/h =$ до 100), мм	от 0,3–0,5 до 1,0
Глубина обрабатываемых отверстий, наибольшая, мм	22
Точность координатных перемещений, мкм	6–10
Скорость обработки, наименьшая, мм/мин обточки электродов прошивки отверстий $\varnothing$ 0,5 мм	1,5–2,0 1,0–1,5
Диаметр электрода–проволоки для обточки электрода-инструмента, мм	0,05–0,1
Число управляемых координат	4
Система ЧПУ	15ИПЧ-3-001
Потребляемая мощность, кВА	1,5
Габариты, мм	1700x1100x1730
Объем насосной станции, л	30
Межэлектродная среда	вода

Зарубежных аналогов комплексу ЭХ1970 нет.

Станочный модуль состоит из монолитной плиты, на которой расположены две продольные (X1 и X2) и одна поперечная каретка (Y), с расположенными на ней кареткой (Z) вертикального перемещения обрабатываемого изделия, механизмами перематки и натяга электрода-проволоки, скобой для ее направления, а также устройствами для выверки обрабатываемой детали и ее крепления.

На продольных каретках установлены механизмы вращения электрода-инструмента. Их оси строго соосны.

На комплексе вначале изготавливаются электроды-инструменты обточкой их заготовок, закрепляемых в механизмах вращения, электродом-проволокой (рис.15), а затем прошиваются отверстия в блоках МЛП (рис. 16).

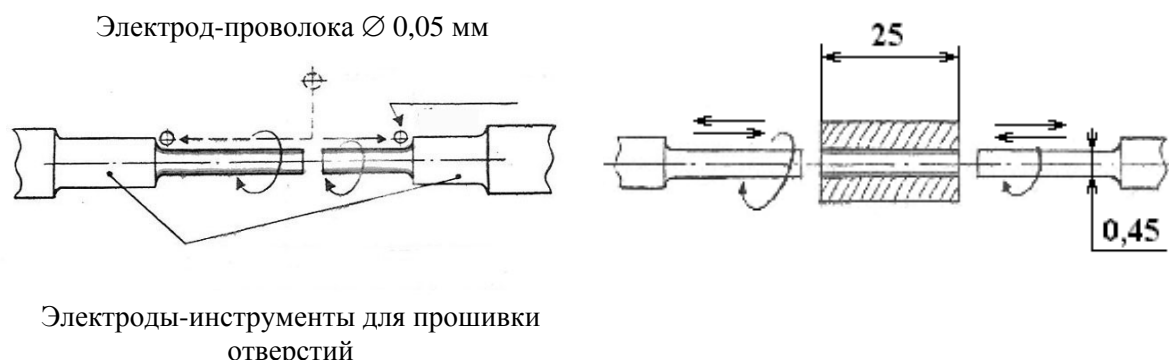


Рис. 16. Слева схема обточки электрода-инструмента для изготовления пролетных каналов малого диаметра многолучевых электронных СВЧ приборов (МЛП) на комплексе ЭХ1970, справа – схема прошивки пролетных каналов на этом же комплексе.

В качестве заготовок электродов-инструментов используются обычно стержни квадратного сечения соответствующего размера и длиной до 30–40 мм (из твердого сплава ВК3, ВК6 или вольфрамо-медной композиции) с припуском под обточку предварительно вырезанные электроискровым способом электродом-проволокой из куска твердого сплава, закрепленного в поворотном приспособлении. Вначале прорезаются пазы на длину 30–40 мм в одном направлении с шагом, равном размеру будущей заготовки электрода, а затем – в перпендикулярном направлении и получившиеся стержни квадратного сечения отрезают. Таким образом, из куска твердого сплава можно получить несколько десятков заготовок с минимально возможными отходами материала.

Показанные выше комплексы могут также использоваться и для осуществления операций копирования профиля электрода-инструмента (так называемой “прошивки”), а в случае необходимости и легирования (упрочнения) поверхностей токопроводящих материалов при дополнительном оснащении их соответствующими устройствами (приспособлениями для закрепления электродов-инструментов, базирования заготовок деталей и др.).

Примеры анодных блоков магнетронов, различного инструмента и других деталей, изготовленных на указанном оборудовании, представлены на рис. 17–20.

**Новая модель пятикоординатного комплекса "Элиур-90"** (рис. 12) с автоматической заправкой электрода-проволоки предназначена преимущественно для изготовления деталей разнообразных инструментов (деталей вырубных штампов и прессформ, дюз для экструзии металлов, пластмасс и других материалов; фасонных резцов, шаблонов и др.) с вертикальными и наклонными образующими профиля.

Генератор импульсов с блоками коммутаторов на мощных полевых транзисторах обеспечивает широкий диапазон режимов и скорость формообразования деталей не менее  $60 \text{ мм}^2/\text{мин}$  при  $R_a$  более  $2,5 \text{ мкм}$  (до очистки стеклянными шариками).

**Главные преимущества базовых моделей** последних модификаций, выпускавшихся серийно (А207.79, А207.92 и А207.93), по сравнению с зарубежными аналогами:

- в 5–6 раз меньший расход электрода-проволоки и электрической энергии (не более 2 м/мин и 3 кВА);
- на порядок меньшая занимаемая площадь (от 1,1 до  $2,5 \text{ м}^2$ );
- использование обычной воды из водопровода без ее деионизации (благодаря применению генераторов импульсов, исключающих растравливание поверхности);
- шероховатость обработанной поверхности  $R_a$  не более  $1,5\text{--}2,5 \text{ мкм}$  на форсированных режимах;
- низкая стоимость (значительно меньше аналогов);
- наименьшие эксплуатационные расходы.

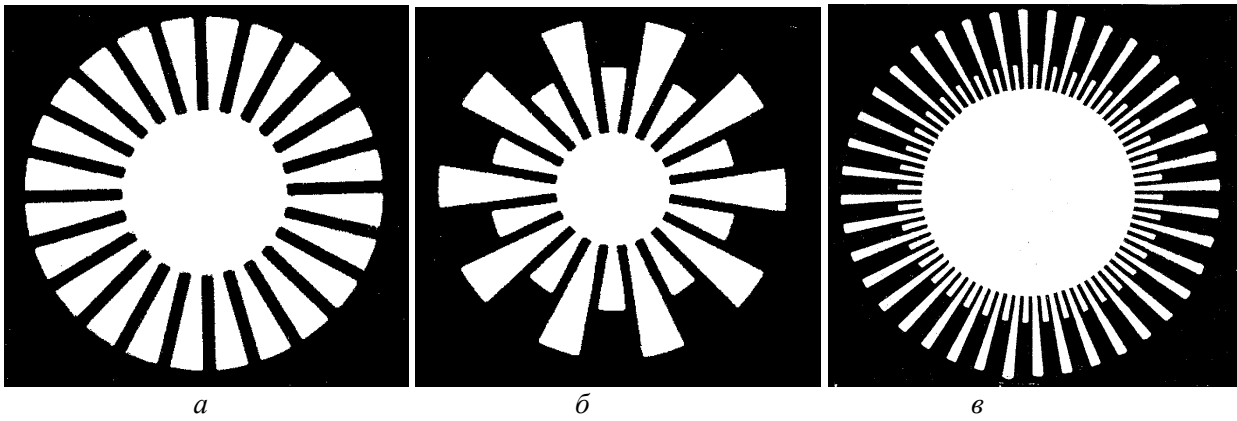


Рис. 17. Силуэты анодных блоков магнетронов лопаточного типа (а) и "восходящее солнце" (б, в): а – 24-резонаторный анодный блок: ширина ламели  $0,5^{+0,02}$  мм;  $d=9^{+0,02}$  мм,  $D=20^{+0,02}$  мм,  $h = 5$  мм; б – 20-резонаторный анодный блок: ширина ламели  $0,4^{+0,02}$  мм;  $d = 5,5^{+0,02}$  мм;  $D_1 = 12^{+0,02}$  мм,  $D_2 = 17^{+0,02}$  мм,  $h = 3,6$  мм; в – 80-резонаторный анодный блок: ширина ламели  $0,165^{+0,002}$  мм;  $d = 8,4^{+0,01}$  мм,  $D_1 = 10,7^{+0,01}$  мм,  $D_2 = 15,2^{+0,01}$  мм,  $h = 2,3$  мм. Периметр контура  $\approx 403$  мм.

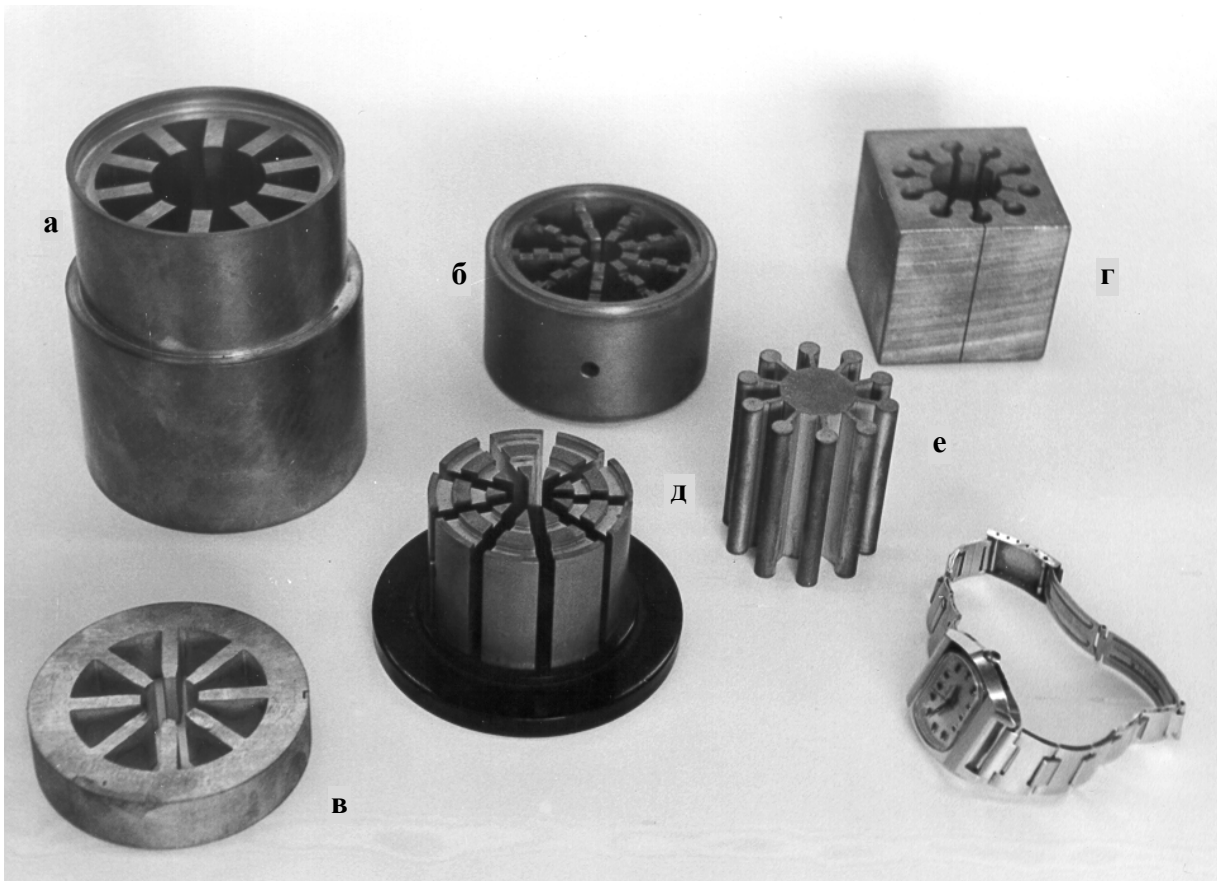


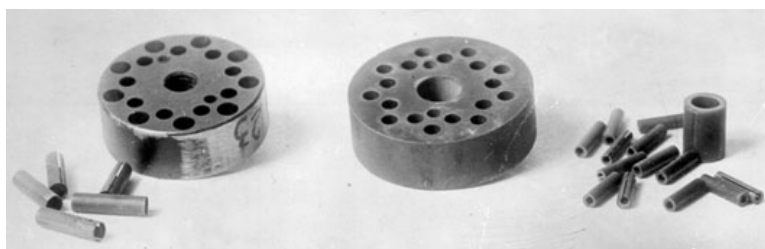
Рис. 18. Анодные блоки лопаточного типа (а–в) и "цель-отверстие" (г). Отходы металла (д, е); а – 10-резонаторный: ширина ламели – 6,4 мм, высота – 90 мм,  $d = 34$  мм,  $D = 68$  мм; б – 9-резонаторный: ширина ламели – 4 мм, высота – 50 мм,  $d = 14$  мм,  $D = 62$  мм; в – 8-ми резонаторный: ширина ламели – 4 мм, высота – 12 мм,  $d = 10$  мм,  $D = 40$  мм; г – 10-резонаторный: ширина щели – 2,2 мм, высота – 60 мм,  $d = 8$  мм,  $D = 24$  мм, межэлектродная среда – вода из водопровода, наполненная в ванну.

Электрод-инструмент – медная проволока  $\varnothing 0,15-0,2$  мм.

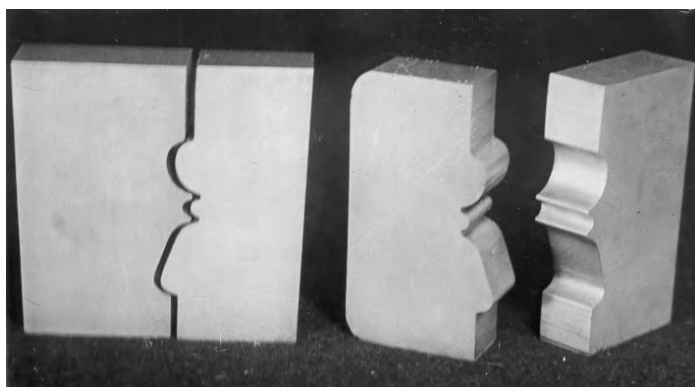
Средняя скорость формообразования  $50-80$  мм<sup>2</sup>/мин при  $R_a \leq 2-3$  мкм.



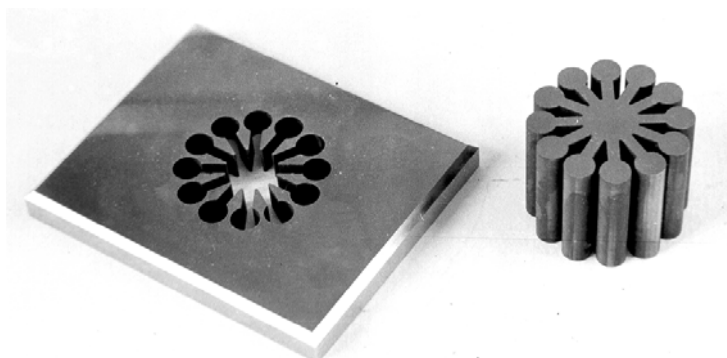
*Детали из нержавеющей стали толщиной 1,0 мм, Ø80 мм.*



*Кондукторные вкладыши: стальной (слева) и твердосплавный (справа). Рядом – отходы. По 20 отверстий  $\varnothing (1,5-3)^{+0,002}$  мм. Точность расположения отверстий по углу  $\pm 5'$ . Изготовлено на электроискровой установке А207.23 электродом-проволокой.*

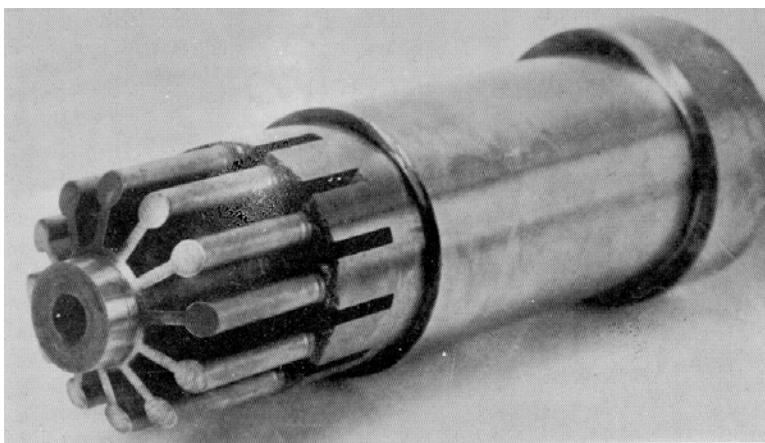


*Гибочный штамп. Толщина 10 мм.*



*Матрица ( $h = 5$  мм, 12 отверстий  $\varnothing 6$  мм, пазы 2 мм) и пуансон ( $h = 30$  мм).  
Материал – сталь Х12М.*

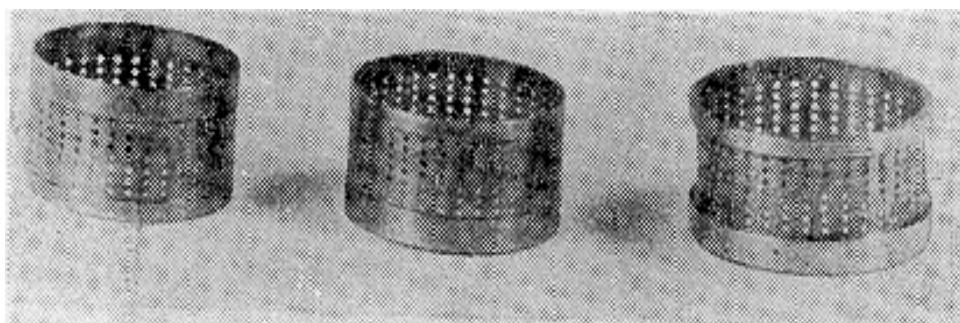
*Рис. 19. Образцы деталей, изготовленных электродом-проволокой.  
Шероховатость обработанной поверхности  $R_a = 0,08-1,6$  мкм.*



Пуансон для холодного выдавливания медных анодных блоков магнетронов  
 $\varnothing \approx 50$  мм,  $L = 120$  мм. Материал сталь ХВГ.



Сложнопрофильный стальной пуансон  $\varnothing 60$  мм.



Элементы фильтра  $\varnothing 6$  мм из трех деталей (по 224 отв.  $0,2 \times 0,2$  мм).



Силуэты отверстий фильтр для получения искусственных волокон.  
 Ширина пазов  $0,07$  мм.

Рис. 20. Образцы деталей, изготовленных методами последовательного копирования профиля электрода-инструмента. Шероховатость обработанной поверхности  $R_a = 0,08-1,6$  мкм.

Применение электроискровых обрабатывающих комплексов пятого поколения (“Электроника”, А207.78, А207.79 А207.81, А207.86, А207.92 и А207.93 и др.) при изготовлении инструмента (например, вырубных штампов с периметром 0,5 м) вместо традиционного механического способа обеспечивает полную автоматизацию процесса изготовления деталей, исключает применение ручного труда, в 5 раз уменьшает длительность цикла обработки, в 20 раз уменьшает занятость рабочего и в 23 раза сокращает объем механических работ.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Ставицкий Б.И., Голант М.Б., Шевелев Ю.А.* Авторское свидетельство № 105478 с приоритетом от 26 января 1955 г.
2. *Ставицкий Б.И.* Электроискровое изготовление прецизионных деталей (опыт НИИ МРТП) // Стенограмма сообщения на семинаре по теоретическим основам и опыту применения новых методов обработки металлов. Институт машиноведения АН СССР, 12–13 февраля 1957 г.
3. *Ставицкий Б.И.* Электроискровое изготовление прецизионных деталей электровакуумных приборов // Труды НИИ МРТП СССР. 1957. №11(47). С. 67–88.
4. *Ставицкий Б.И.* Исследование возможности применения электроискровой обработки для изготовления прецизионных деталей электровакуумных приборов. Кандидатская диссертация, ГС НИИ ГК СМ СССР по радиоэлектронике, г. Фрязино, 1958.
5. *Гуларян К.К.* Электроискровые координатные прецизионные установки с программным управлением // Практика применения электроискровой обработки металлов. Сб. № 2, МДНТП им. Ф.Э. Дзержинского. М., 1959. С. 1–18.
6. *Кравченко В.Л.* Электроискровые прецизионные установки. // Практика применения электроискровой обработки металлов. Сб. № 3, МДНТП им. Ф.Э. Дзержинского. М., 1959. С. 1–24.
7. *Ставицкий Б.И., Холоднов Е.В., Гуларян К.К.* Электроискровая прецизионная обработка токопроводящих материалов. ЦИТЭИН, тема 9, № М-60-127/4. М., 1960.
8. *Ставицкий Б.И.* Электроискровое изготовление прецизионных деталей электровакуумных приборов // Электроискровая обработка металлов. Вып. 2, Изд. АН СССР. 1960. С. 67–113.
9. *Ставицкий Б.И.* Электроискровые прецизионные установки // Техническая информация, ГКЭТ СССР, 1963.
10. *Кравченко В.Л.* Электроискровая прецизионная координатная установка с импульсным генератором // Электроника СВЧ. Вып. 7. 1964. С. 27–30.
11. *Ставицкий Б.И.* Некоторые виды оборудования для прецизионной электроискровой обработки металлов // Электронная обработка материалов, 1966. №1. С. 11–27.
12. *Stavitsky V. I.* Equipment for precision electrosparkmachining of metals. // Applied electrical phenomena, Consultants bureau 1966. №1. Translated from Elektronnaya obrabotka materialov. №. 1. P.11 – 27, January – February.
13. *Ставицкий Б.И.* Электроискровое прецизионное оборудование. // Машиностроитель. 1967. № 1. С. 10–12.
14. *Дмитров Д.К.* Полуавтомат для электроискрового разрезания тонкой металлической трубки // Электронная обработка материалов. 1968. № 1. С.81–87.
15. *Ставицкий Б.И.* Современный уровень и перспективы развития электроискровой прецизионной обработки материалов // Электронная обработка материалов. 1967. № 5. С. 20–35.
16. *Дмитров Д.К., Жуков Г.А., Кацман В.А. и др.* Прецизионная координатно-прошивочная электроискровая установка с тиратронным генератором импульсов (типа А207.40) // Электронная обработка материалов. 1970. № 2. С. 90–92.
17. *Ставицкий Б.И., Гуларян К.К., Изюмин А.П.* Новая электроискровая установка // Советский экспорт. 1970. №4/67.
18. *Кравченко В.Л.* Электроискровое оборудование с тиратронным генератором импульсов // Электронная техника. Серия 7. Технология и организация производства. Вып.1/49. 1972. С. 27–32.
19. *Ставицкий Б.И., Кравченко В.Л.* Новые электроискровые прецизионные машины // Машины и оборудование из СССР. 1974. №4/35. С.17–19.
20. *Кравченко В.Л.* Прецизионные электроискровые проволочно-вырезные установки с тиратронным генератором импульсов // Электронная обработка материалов. 1975. № 1. С. 76–79.
21. *Ставицкий Б.И., Кравченко В.Л.* Высокопроизводительный электроискровой станок модели А207.61 // Электронная обработка материалов. 1976. № 1. С. 80–83.

22. Ставицкий Б.И., Кузнецов Л.Н., Рыбачук В.М. Электроискровые вырезные станки 04ИВ-200 // Электронная обработка материалов. 1986. № 4. С. 75–79.
23. Ставицкий Б.И., Гуларян К.К., Жуков Г.А. и др. Пятикоординатный электроискровой вырезной станок // Электронная обработка материалов. 1989. № 4. С. 78–81.
24. Ставицкий Б.И. Электроискровая обработка материалов – способ Лазаренко на рубеже столетий и третьего тысячелетия // Электронная обработка материалов. 2000. № 5. С. 25–40.

*Поступила 19.01.2001*

### **Summary**

The totals of an almost 50-year's development of a high-tension precision machine industry in the State Scientifically industrial Plant "Source" of electronic industry (former State Allied Scientifically Research institute of State Committee of ministerial Council USSR on a radioelectronics, Scientifically Research institute of an electron Technology of the Ministry of electronic industry USSR) are brought. As a result of long-term researches (development of new methods of manufacture it is apart of precise details and scientific bases of technique high-tension precision forming, of accumulated practical experience of creation and maintenance of experimental installations the high-performance automated high-tension machine tools including treating complexes equipped with systems of a PNC with built-in mini- and the micro-computer designed and also on the basis of personal computers, the analogies with which abroad have appeared only after 10-15 years. Some of them tills now have no analogs.

---