

6

# И Н С Т И Т У Т ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ СОАН С С С Р

ПРЕПРИНТ И Я Ф 70 - 73

Н.А.Кузнецов, Э.М.Трахтенберг

## ОБРАБОТКА ПОЛЮСОВ МАГНИТНЫХ СИСТЕМ УСКОРИТЕЛЕЙ И НАКОПИТЕЛЕЙ ФАСОННЫМИ РЕЗЦАМИ

Новосибирск

1973

Н.А.Кузнецов, Э.М.Трахтенберг

ОБРАБОТКА ПОЛЮСОВ МАГНИТНЫХ СИСТЕМ  
УСКОРИТЕЛЕЙ И НАКОПИТЕЛЕЙ ФАСОННЫМИ  
РЕЗЦАМИ

А Н Н О Т А Ц И Я

Предложен метод точной обработки полюсов магнитных систем с помощью фасонных резцов на продольно-строгальном станке, обеспечивающий получение точности профиля  $\pm 0,02$  мм с чистотой не хуже  $\nabla 6$ . Даны практические рекомендации по конструированию, расчету и эксплуатации таких резцов.

Требования к точности выполнения профиля полюсов магнитных систем ускорителей и накопителей весьма высоки, особенно в малоапертурных жесткофокусирующих системах. Во многих случаях в профиль полюса закладывается коррекция нелинейностей поля, и он представляет собой достаточно сложную кривую /1/.

Метод обработки таких профилей должен удовлетворять следующим требованиям: 1) точность выполнения заданного профиля  $\pm 0,02$  мм;

2) чистота обработки, не хуже  $\nabla 5 + \nabla 6$ ;

3) точность расположения обработанной поверхности полюса относительно базовых поверхностей магнитопровода не хуже  $\pm 0,02$  мм;

4) достаточно высокая производительность метода.

(Первые три требования связаны с получением точной формы поля, последнее необходимо учитывать при изготовлении установок на энергию свыше 1 Гэв - с большим числом элементов магнитной системы.

Рассмотрим с этих точек зрения различные способы формообразования.

### 1. Фасонное шлифование

Это один из наиболее распространенных в промышленности методов обработки точных фасонных поверхностей, обеспечивающий точность обработки до 0,01 мм и чистоту обработанной поверхности до  $\nabla 10$ .

К недостаткам метода, следует отнести: необходимость изготовления сложных копирных приспособлений для заправки круга высоко при обработке по заданному профилю. Кроме того, качество шлифования особенно высокопрочных закаленных сталей. Шлифовка же сталей типа армко, ОВКП, сталь 10 и т.д., из которых обычно изготавливаются магнитопроводы, весьма затруднена из-за быстрого "засаливания" кругов и повышенного их износа.

## 2. Объемное копирование

Этот метод также широко применяется в промышленности, особенно при изготовлении сложных штампов и прессформ и т.п. Он обеспечивает получение требуемой чистоты и точности обработки. Однако, производительность объемного копирования весьма мала; кроме того, метод требует применения дорогостоящих копировально-фрезерных станков.

## 3. Фасонная электрохимическая обработка

Известны данные о получении этим способом фасонных поверхностей с точностью выполнения размеров  $0,08 \pm 0,1$  и чистотой обработки  $\nabla 5 + \nabla 6$  /2/. Но для электрохимической обработки необходимы или специальные станки, или значительная переделка универсального оборудования.

Кроме того данный метод также наиболее эффективен на высокопрочных материалах. На мягких сталях процесс идет <sup>менее</sup> равномерно, что приводит к потере точности и чистоты обработки.

## 4. Фасонное фрезерование

Метод достаточно широко распространен в машиностроении, однако получение точности обрабатываемого профиля лучше  $0,05$  лежит на границе его возможностей. Кроме того изготовление сложного многолезвийного инструмента требует применения дорогостоящей оснастки. Очень сложна и заточка фасонных фрез, причём некачественная заточка приводит к биению фрезы и потере точности обработки.

## 5. Обработка профиля фасонным резцом

Этот способ широко распространен в промышленности при обработке фасонных поверхностей тел вращения. На строгальных станках применяется сравнительно редко и, как правило, используются фасонные резцы с небольшой длиной режущей кромки (до 50 мм). Работа такого резца аналогична однозубой протяжке для наружного протягивания.

Точность метода весьма высока, т.к. изготовление профиля фасонного резца по координатам с точностью до  $\pm 0,01$  мм может быть произведено на профилешлифовальном станке или при его отсутствии вручную квалифицированным лекальщиком на трехкоординатном столе любого станка соответствующей точности под микроскопом.

Стойкость такого резца достаточно велика и составляет не менее 30 + 40 метров обработанной поверхности.

Впервые предложение использовать фасонные резцы с длиной режущей кромки до 180 мм было сделано авторами при обработке фокусирующих и дефокусирующих элементов магнита накопитель ВЭПП-3 (По данным экспериментального научно-исследовательского Института металлрежущих станков-ЭНИМСа - обработка фасонных поверхностей на продольно-строгальных станках резцами с такой длиной режущей кромки не производилась).

Ниже рассмотрены вопросы, связанные с конструированием, изготовлением и эксплуатацией таких резцов (см. рис. 1 + 3).

Выбор геометрии резца полностью определяется обрабатываемым материалом. В связи с тем, что материал магнитопроводов накопителей мягкая малоуглеродистая сталь (армко, сталь 08КП, сталь 10 и т.п.), передний угол  $\gamma$  - принят максимально возможным  $15^\circ - 20^\circ$ . Для уменьшения износа по задней грани - угол  $\alpha$  также выбран достаточно большим  $6^\circ - 8^\circ$ .

Обычно строгальные резцы с большой длиной режущей кромки снабжаются углом в плане  $\varphi = 15^\circ - 20^\circ$  для уменьшения удара резца при врезании. При обработке профилей типа гиперболических, как это имеет место, например, в квадрупольных линзах, крутизна профиля достаточно высока, благодаря чему режущая кромка при большом переднем угле растянута в направлении движения резца (см. рис. 1).

Врезание резца в деталь происходит достаточно плавно и без удара в плане, а изготовление его упрощается.

Материал режущей кромки резца - быстрорежущая сталь Р18. Применение твердосплавных резцов представляется нецелесообразным из-за больших ударных нагрузок при врезании резца.

Крепление пластины из быстрорежущей стали к державке резца из углеродистой стали осуществляется пайкой медью ( $t \approx 1100^\circ$ ), которая совмещается с заколкой. Державка резца петушкового типа, что уменьшает вибрации резца и вероятность "зарезов" на обрабатываемой поверхности.

На державке резца конструктивно и технологически выполняются три взаимноперпендикулярных базовых плоскости, относительно которых изготавливается профиль резца, а затем производится выставка резца на станке.

Обычно профиль фасонного резца окончательно выполняется на шлифовальном станке. Из-за наличия переднего угла профиль режущей кромки в плоскости передней грани (где он контролируется при изготовлении резца) не совпадает с профилем детали. Методика коррекционного расчета описана в литературе, например, /3/, но при сложном профиле детали этот расчет весьма громоздок.

При мелкосерийном и штучном изготовлении таких резцов окончательную доводку профиля можно делать вручную под микроскопом на трехкоординатном столе любого точного станка. В этом случае координаты профиля можно задавать не в плоскости передней грани, а в плоскости, перпендикулярной направлению движения резца, где они совпадают с координатами исходного профиля обрабатываемой детали. При этом отпадает необходимость в проведении коррекционного расчета для определения профиля резца и контрольных шаблонов.

Оптимальные режимы резания были подобраны после многих экспериментов. Скорость резания  $4 \div 6$  м/мин, глубина резания при черновых проходах  $0,05 \div 0,06$  мм, при чистовых  $0,03 \div 0,04$  мм. (При глубине резания менее  $0,03$  отжим резца и его вибрации резко возрастают) Получение высокой чистоты обработанной поверхности ( $\nabla 6$ ) невозможно без применения смазочно-охлаждающей жидкости, специально подобранной для данного обрабатываемого материала, например, олеиновая кислота + керосин + масло. (Подбор с.о.ж. произведен Лобковым Б.И.).

При работе фасонными резцами с большой длиной режущей кромки усилия резания достаточно велико, т.к. работа такого резца аналогична работе однозубной наружной протяжке, то основное усилие резания (по направлению хода стола) можно определять по формуле:

(4)

$$P = 1,15l [C_1 \alpha^x + C_3 V + C_4 \gamma^\circ + C_5 \alpha^\circ]$$

где  $l$  - длина режущей кромки резца в мм  
 $a$  - глубина резания в мм  
 $V$  - скорость резания в м/мин  
 $\gamma^\circ, \alpha^\circ$  - передний и задний углы в градусах  
 $x, C_1, C_3, C_4, C_5$  - коэффициенты, зависящие от марки обрабатываемого материала

Все элементы крепления резца в резцедержавке и детали к столу станка должны быть выполнены с учетом этого усилия. Особо следует сказать о методе крепления детали к столу станка. Если длина детали достаточно велика (магниты накопителей ВЭПП-3 и ВЭПП-4), прижимать её к столу станка недопустимо, т.к. при этом возникают упругие деформации, нарушающие плоскостность обработанных поверхностей после снятия детали со стола станка. Были изготовлены специальные поперечные упоры для закрепления детали, конструкция которых показана на рис.4.

Весь цикл изготовления фасонной поверхности условно можно разбить на четыре этапа: подготовка станка, установка на станке резца и детали, строжка фасонной поверхности, контроль изготовленного профиля.

### 1. Подготовка станка

Все работы по обработке фасонных поверхностей в Институте ядерной физики Сибирского отделения АН велись на станке 7212, точность обработки которого была приведена в соответствие с паспортом данного станка. Стrojка фасонными резцами производилась только правым суппортом (левым суппортом производилась чистовая обработка базовых плоскостей). В правом суппорте винт и гайка вертикальной подачи резца (рис.5, поз.5) были заменены парой с более мелким шагом, винт горизонтального перемещения суппорта вращали через редуктор (рис.5, поз.7) с передаточным отношением 10 : 1. Эти два небольших изменения позволили довольно просто подавать резец в вертикальном и горизонтальном направлениях на 0,02 ÷ 0,03 мм. Контроль перемещения суппорта осуществлялся индикаторами (рис.5, поз.6).

Для увеличения жесткости всей системы положение траверсы выбиралось таким образом, чтобы вылеты резца и салазок вертикальной подачи резца были минимальными, одновременно выстав-

кой траверсы обеспечивалась параллельность хода суппорта относительно стола станка; траверсу закрепляли и в процессе работы не перемещали.

Для однозначной выставки и уверенного контроля положения резца относительно элементов станка и обрабатываемой детали дополнительно потребовалось: перемещать салазки вертикальной подачи резца перпендикулярно столу станка с точностью не хуже  $0,01 : 100$  мм, полностью устранить люфты в местах посадок резцедержавки в салазках вертикальной подачи, обеспечить перпендикулярность опорной плоскости резцедержавки к направлению хода стола с точностью не хуже  $0,01$  мм по всей плоскости, планки прижима суппорта к траверсе и салазок вертикальной подачи к суппорту подтянуть таким образом, чтобы перемещение этих элементов было возможно с некоторым достаточно большим усилием.

## 2. Установка резца и детали

Базовую плоскость "В" резца (рис.1) выставляли перпендикулярно плоскости стола, при этом основной контроль осуществляется индикатором, установленным на столе станка, а резец перемещался салазками, ход которых перпендикулярен столу. Дополнительный контроль правильности выставки резца проводили плоскопараллельными плитками, которые ставили в зазор между базовой плоскостью "А" резца (рис.1) и линейкой (рис.5, поз.8), опирающейся на базовые плоскости обрабатываемой детали.

Деталь крепили к столу станка, как уже говорилось, специальными зажимами, исключая возможность её перемещения в вертикальном направлении (во время крепления и во время обработки), а два базовых штифта (рис.6, поз.1), имеющиеся на детали, выставляли параллельно ходу стола с точностью не хуже  $0,01$  мм на базе между штифтами (максимальная база была около  $800$  мм).

Резец окончательно устанавливали относительно детали в горизонтальном направлении по базовым штифтам и по расчетному параметру "А" (рис.5). Контроль осуществлялся индикатором, показания которого проверялись по шаблону.

## 3. Строжка фасонной поверхности

Строжку вели вертикальной подачей резца по  $0,03 \pm 0,04$  мм на ход. Подача осуществлялась до расчетного значения зазора "В"



(рис.5). Большую опасность при этом представляет люфт пары винт-гайка в механизме вертикального перемещения резца (наблюдалось "затягивание" резца в деталь, что опасно при остаточном малом припуске, и сколы резца). На последних чистовых проходах (один-два) суппорт и салазки полностью зажимали в направляющих, что значительно уменьшает вибрации резца и исключает возможность выборки люфтов. При нежестком нижнем конце резца профиль на этом участке несколько деформируется ( $0,02 \div 0,03$  мм); это легко исправляется горизонтальным смещением резца, что практически не сказывается на вертикальных координатах профиля. Этот недостаток полностью отсутствует на симметричных работающих одновременно двумя режущими кромками резцах (рис.1), которые несколько дороже в изготовлении, но позволяют иметь более точное взаимное расположение фасонных поверхностей.

Строжка фасонных поверхностей принципиально не отличается от выше описанной, если резец окончательно установить относительно детали в вертикальном направлении, а подачу осуществлять горизонтальным перемещением суппорта.

Припуск на чистовую строжку поверхности оставляли около 0,2 мм; резцами, потерявшими точность, выполняли черновую строжку.

#### 4. Контроль изготовленного профиля

Контроль выполняли шаблоном, который ставили по базовой плоскости детали и по базовым штифтам (рис.6). Между шаблоном и поверхностью детали необходимо иметь гарантированный зазор, соответствие которого расчетному, определяется щупами. Шаблоны выполняли двумя методами:

- а) профиль шаблона повторяет профиль детали, но только смещен по вертикали на определенную величину (в этом случае зазор между шаблоном и изготовленным профилем разный и рассчитывается для нескольких контрольных точек),
- б) профиль шаблона рассчитывается так, чтобы иметь одинаковый зазор между шаблоном и деталью.

Деталь считалась окончательно обработанной и годной при совпадении контрольных замеров положения фасонного резца относительно баз детали и положения шаблона относительно обработанного профиля.

При большой длине фасонной поверхности (около метра) наблюдались выпадения размеров за пределы допуска на длине  $50 \pm 100$  мм, что, по-видимому, связано с изменением скорости на входе (или выходе) резца.

Фасонными резцами в Институте ядерной физики к настоящему времени выполнена обработка около 350 поверхностей (длина профиля  $50 \pm 170$  мм, длина поверхности  $120 \pm 1100$  мм): это полюса магнитных систем установок ВЭПП-3, ВЭПП-2М, ВЭПП-4.

(См. рис. 7 и 8). Комплексный контроль (точность профиля, положение профиля относительно баз, взаимное расположение профилей в электромагните) готовых изделий осуществлялся магнитными измерениями, которые показали вполне удовлетворительные результаты.

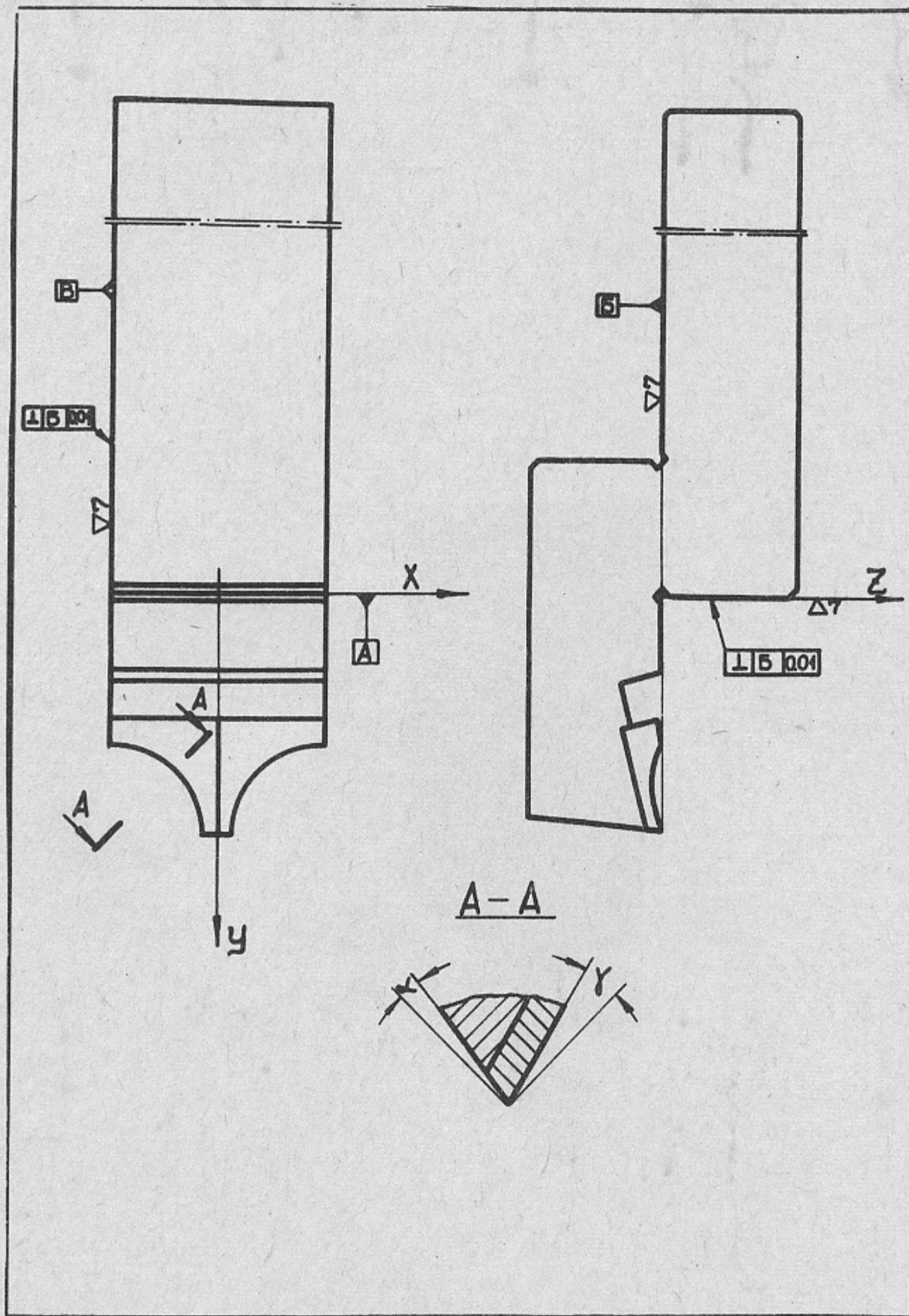


Рис. 1



Рис. 2.

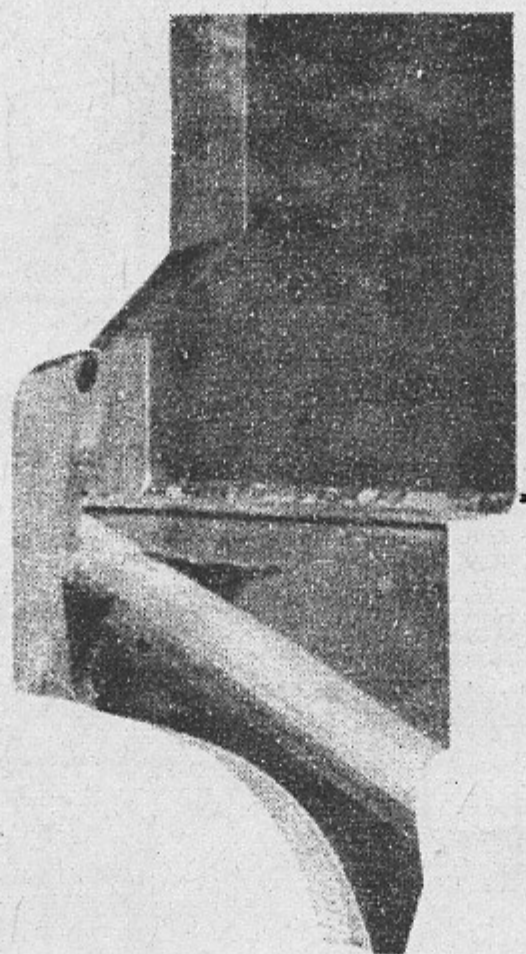


Рис. 3.

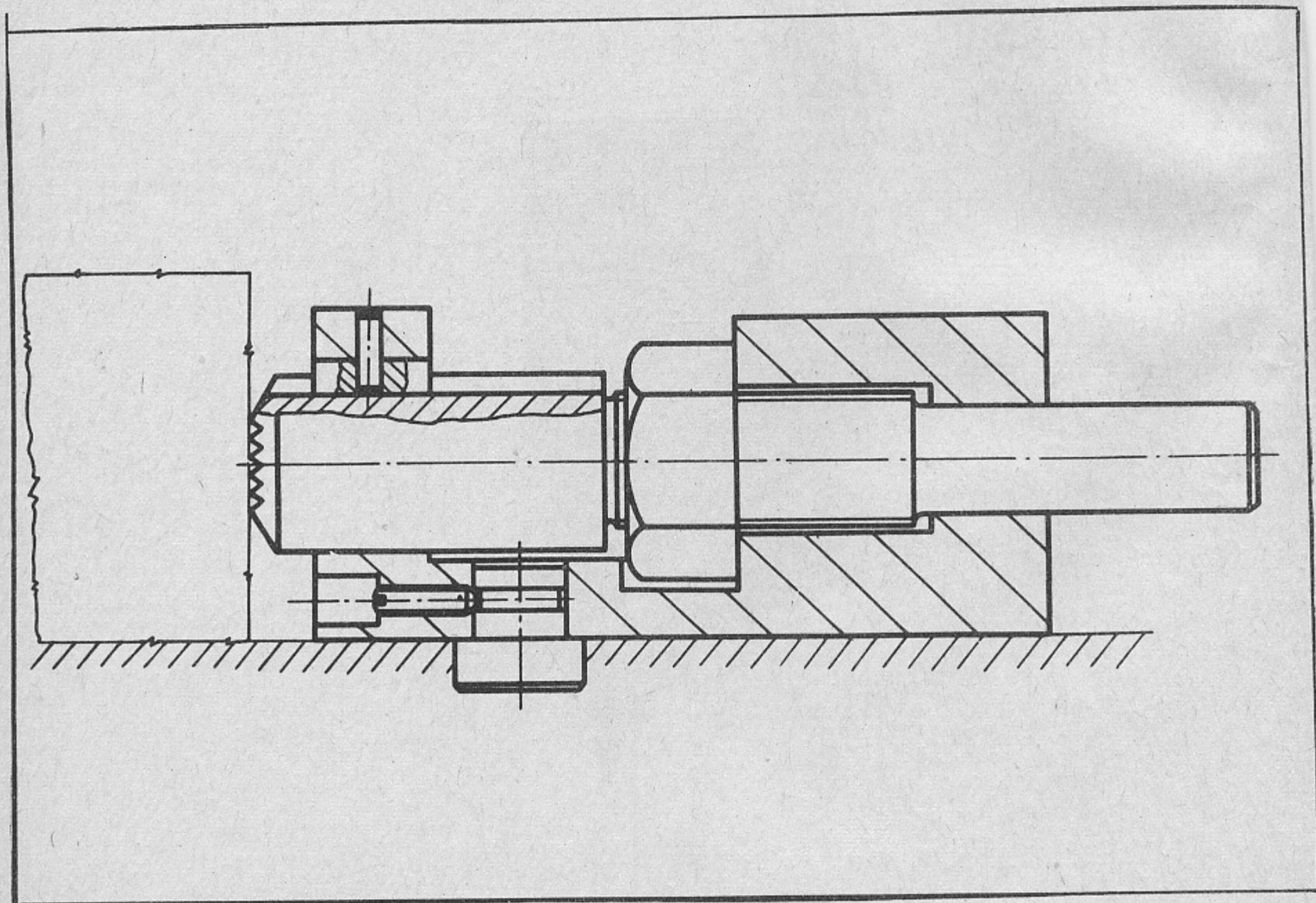


Рис. 4.

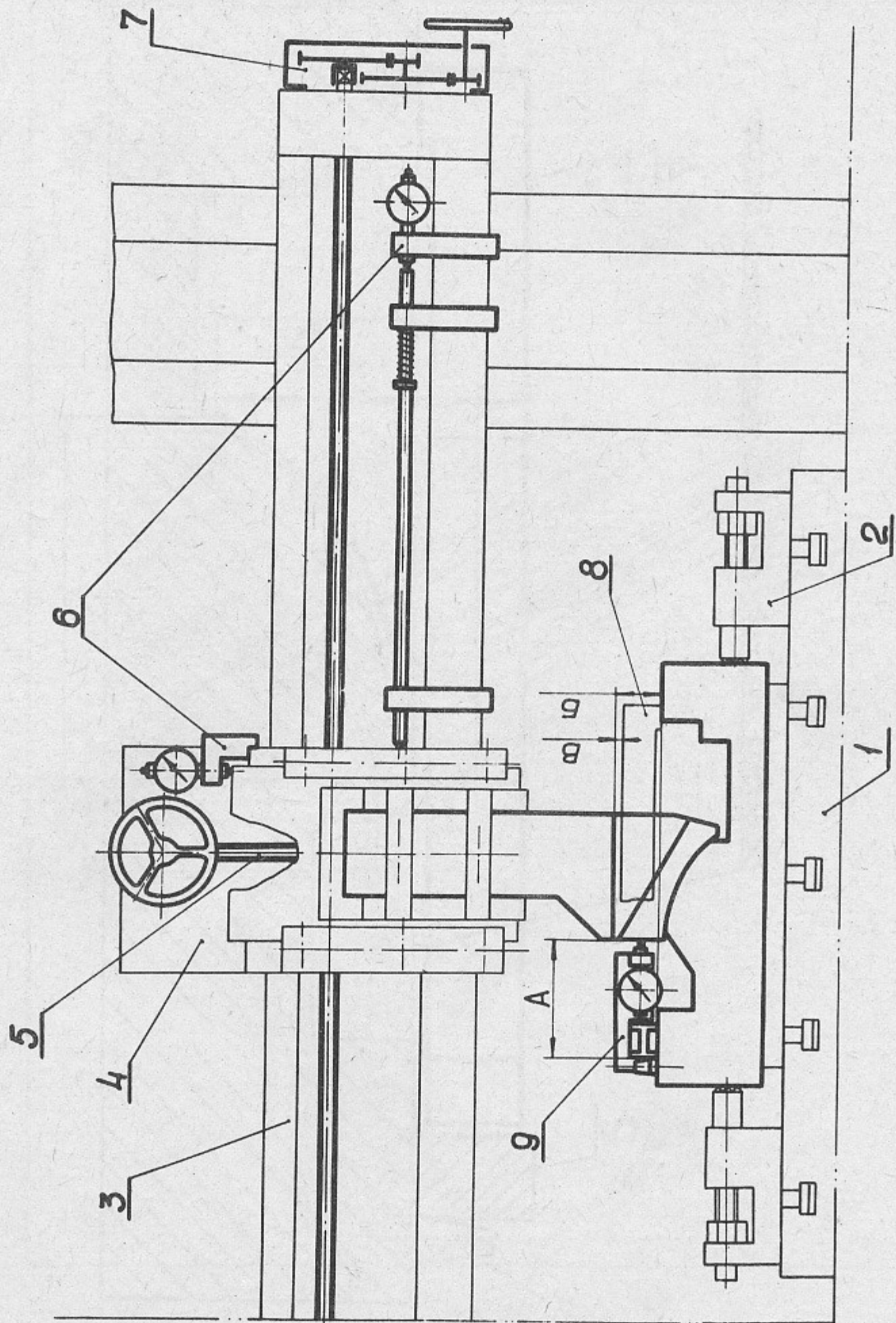


Рис. 5.

базовая плоскость обрабатываемой детали

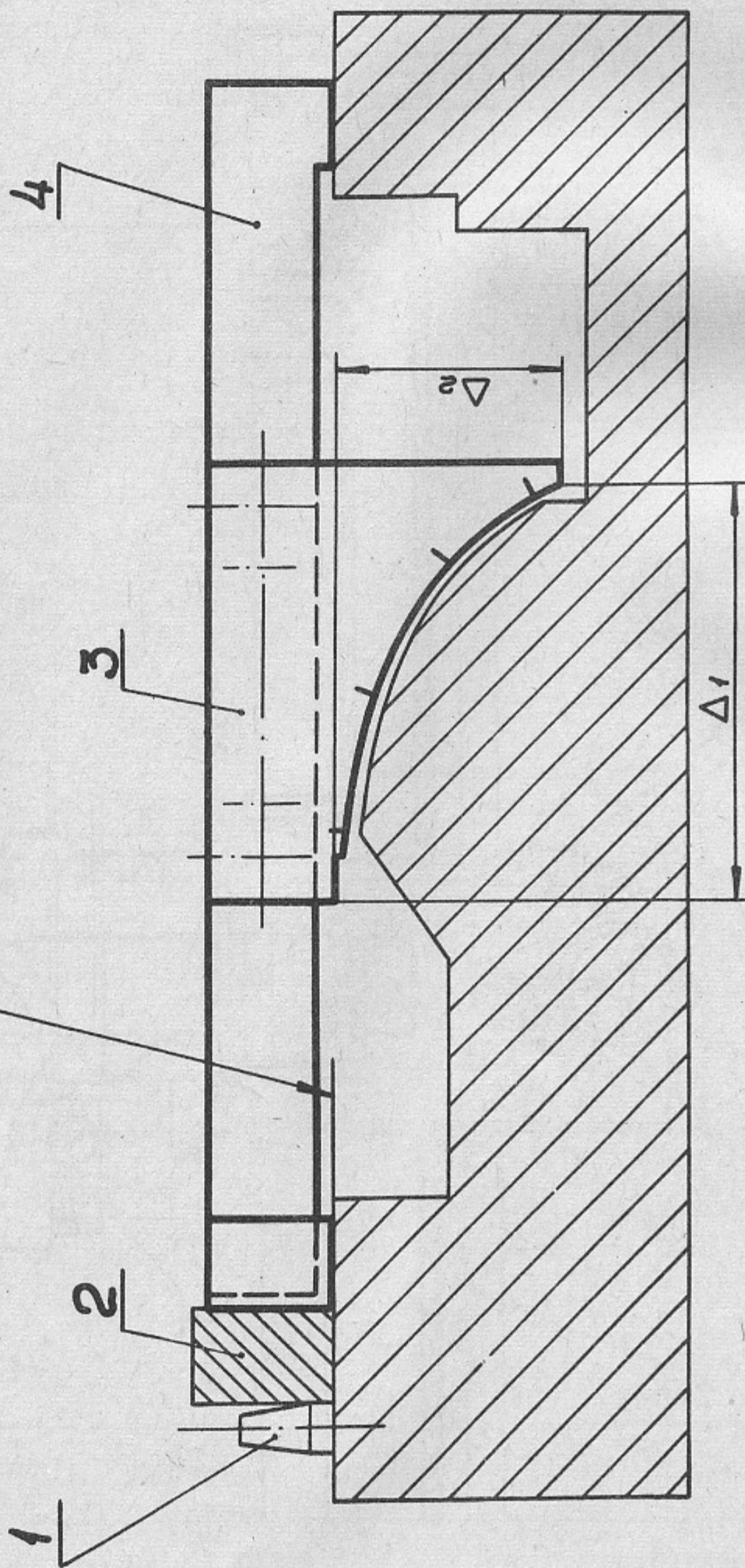


Рис. 6.



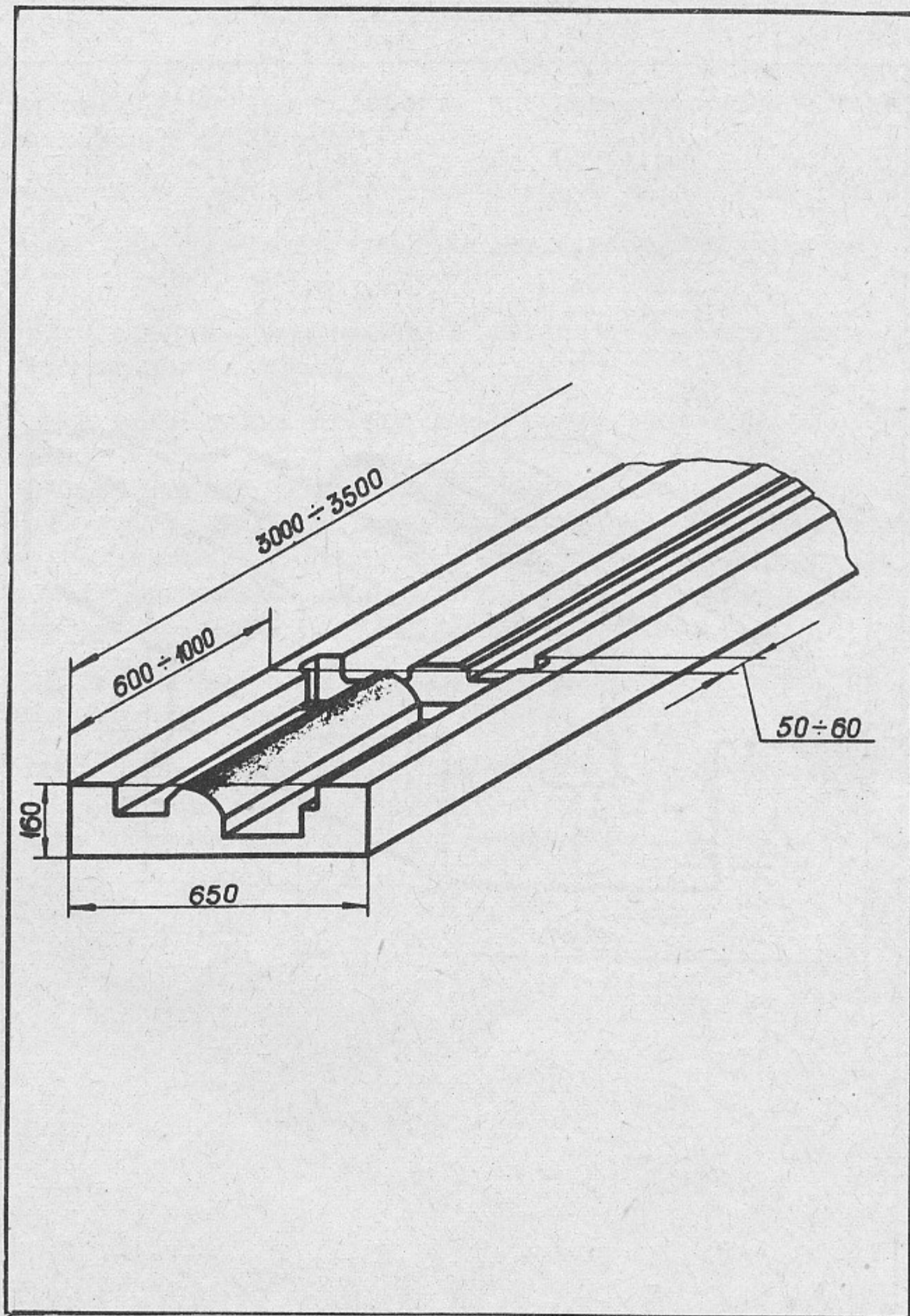


Рис. 7.

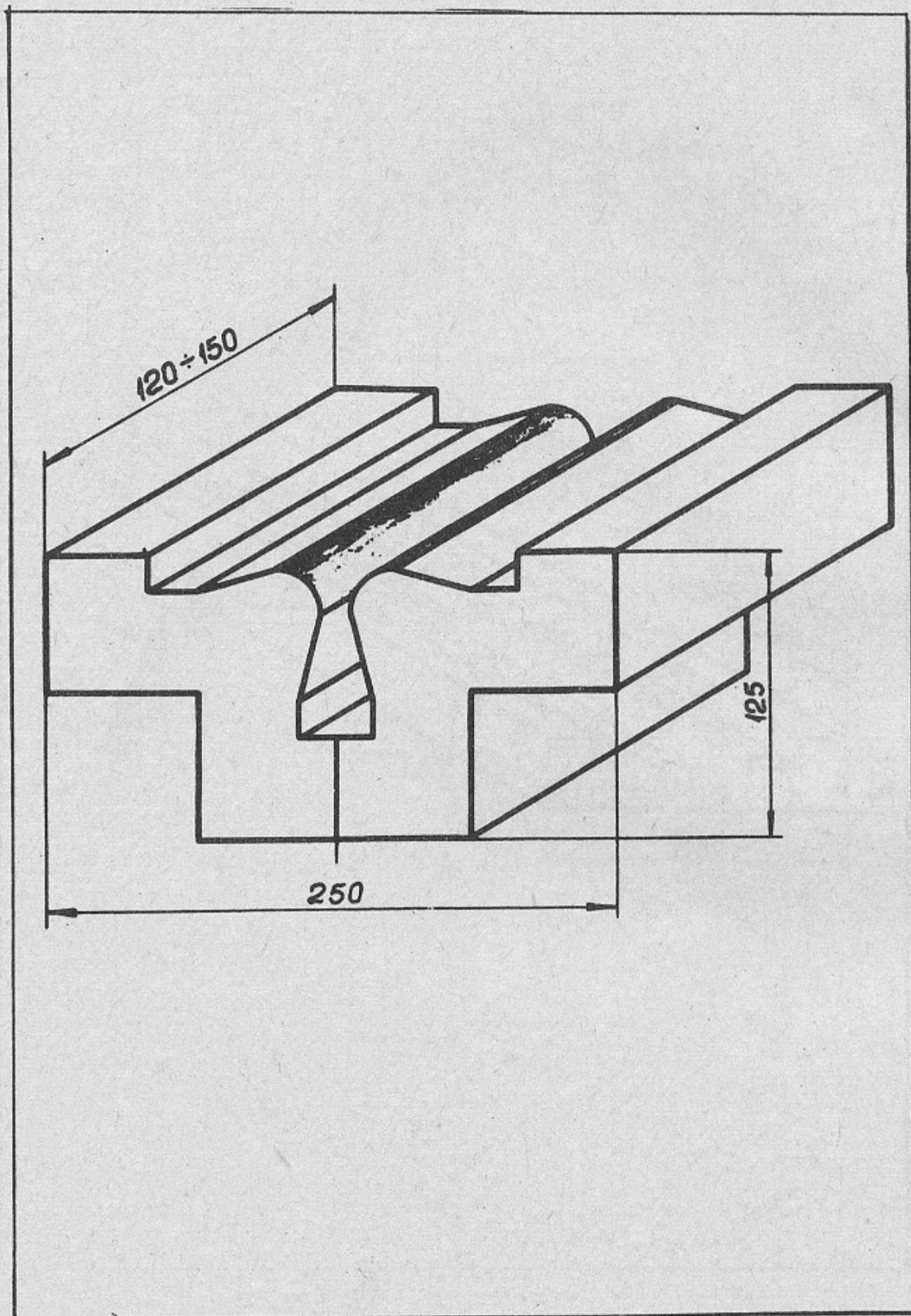


Рис. 8.

## Подписи к рисункам

Рис.1. Чертеж резца для обработки профиля квадрупольных линз накопителя ВЭПП-2М.

Рис.2. Резец для обработки полюса магнита накопителя ВЭПП-3.

Рис.3. Резец для обработки профиля квадрупольных линз накопителя ВЭПП-2М.

Рис.4. Приспособление для зажима деталей на столе продольно-строгального станка.

Рис.5. Схема подготовки станка и взаимной установки детали и резца.

1. Стол станка; 2. Зажимное приспособление; 3.Траверса; 4. Суппорт; 5. Винт вертикальной подачи; 6. Индикаторы вертикальной и горизонтальной подачи; 7.Редуктор горизонтальной подачи. 8. Линейка; 9. Контрольный индикатор положения резца.

А,Б и В - расчетные параметры положения резца при последнем проходе.

Рис.6. Схема контроля профиля, обработанного фасонным резцом.

Рис.7и Рис.8. Типовые детали, обрабатываемые фасонными резцами.

## Л и т е р а т у р а

1. Будкер Г.И., Кузнецов И.А., Кулипанов Г.И. и др. "Магнитная система накопителя ВЭПП-3". Доклад на Всесоюзном совещании по ускорителям заряженных частиц, Москва, 1968 г.
2. Головачев В.А., Петров Б.И. и др. "Электрохимическая размерная обработка деталей сложной формы", Москва, 1969 г.
3. Грановский Г.И. "Конструирование режущего инструмента". Москва, 1951 г.
4. Щеголев А.Р. "Протяжки", Машгиз, 1953 г.

---

Ответственный за выпуск С.Н.Родионов  
Подписано к печати 15.8.73г. МН 08434  
Усл. 0,9 печ.л., тираж 150 экз. Бесплатно  
Заказ № 70. ПРЕПРИНТ

---

Отпечатано на ротапринтере в ИЯФ СО АН СССР.в.г.