



**VEB Berliner Werkzeugmaschinenfabrik  
Berlin-Marzahn**

**Внутришлифовальные станки  
Специальный выпуск 3**

**Технические  
информации**



# Проблемы при внутреннем шлифовании

Dr.-Ing. Wolfgang Frank, KdT

## 0. Введение

К внутришлифовальным станкам предъявляются в возрастающей степени все более жесткие требования относительно точности обработки и производительности.

Эти требования нельзя удовлетворить только такими мероприятиями, как применение более высоких скоростей резания или более производительных шпинделей шлифовального круга; со стороны внутришлифовального станка также необходимо соблюдать определенные параметры и точности.

Задачей перед Вами лежащего выпуска Технических информации является осветить определенные проблемы внутреннего шлифования, при этом рассматриваются не только технологические факторы, но и факторы влияния станка.

## 1. Особенности внутреннего шлифования

При внутреннем шлифовании инструмент и отверстие детали имеют однозначную кривизну, поэтому диаметр инструмента должен быть меньше диаметра шлифуемого отверстия. Шлифовальный круг по сравнению с другими способами шлифования неблагоприятно нагружается вследствие других условий касания. Длина касания инструмента зависит от отношения диаметра шлифовального круга к диаметру отверстия детали; это же действительно для теоретической длины стружки, при этом предполагают, что инструмент и деталь бесконечно жестки и что исходная поверхность детали идеальна. Теоретическая длина стружки больше длины касания шлифовального круга, так как она учитывает касание шлифовального зерна во время движения детали.

Благодаря меньшему диаметру шлифовального круга по сравнению с наружным шлифованием зерна чаще находятся в работе и поэтому подвергаются большему износу.

Теоретическая толщина стружки при внутреннем шлифовании меньше, чем при наружном шлифовании, принимая равные условия наладки; при внутреннем шлифовании она также больше зависит от отношения диаметров.

Развитие шлифовальных кругов допускает сегодня скорости резания порядка 35–50 м/сек. Имеются также шлифовальные круги для скорости больше 50 м/сек, применение которых однако в значительной степени зависит от диаметра шлифовального круга, который совместно с числом оборотов шпинделя дает действующую скорость резания. Поэтому во внутришлифовальных станках в пределах малых диаметров применяются быстрооборотные шпиндели шлифовального круга, для эффективного применения которых делаются уступки относительно жесткости системы «оправка – шпиндель шлифовального круга» в отличие от наружного шлифования, где чаще всего в распоряжении имеются более жесткие шпиндели шлифовального круга. Аналогично обстоит дело с наибольшей обрабатываемой длиной отверстия. В общем, обрабатываются отверстия  $d$  длиной  $l$ , причем

$$l \leq (1,6 \dots 2) d$$

хотя и шлифуются большие длины отверстия, например, специальными оправками и устройствами. При таких длинах отверстий так называемое «производительное шлифование» может применяться только ограничено, соблюдая определенные параметры точности.

В общем, можно установить, что внутреннее шлифование по сравнению с наружным сложнее, особенно, если учесть проблемы отвода тепла, подвода вспомогательного средства, жесткости системы «шлифовальный круг с оправкой – шпиндель шлифовального круга», стойкости шлифовального круга, крепления детали, применения активного контроля и др.

## 2. Влияние на точность обработки и производительность

Шлифование отверстия представляет собой процесс тонкой обработки, при котором достигаются определенные параметры точности, наиважнейшие из которых приводятся ниже:

допуск на диаметр,  
отклонение от окружности,  
конусность,  
форма образующей,  
многогранность и высота профиля,  
шероховатость ( $R_t$ ,  $R_a$ ,  $R_z$ )

Особенно для шлифования отверстий внутренних колец подшипников ставятся относительно большие требования, которые вытекают из желаемых свойств подшипников качения. При шлифовании отверстий этих деталей стремятся к уменьшению штучного времени, осуществление которого зависит не только от самого внутришлифовального станка, но и от качества шлифовального круга, производительности шпинделей шлифовального круга, жесткости системы «шлифовальный круг с оправкой – шпиндель шлифовального круга», применяемого вспомогательного средства и от исполнения применяемого крепления детали.

Ниже частично рассматриваются эти факторы подробнее.

### 2.1. Шлифовальный круг

Правильный выбор шлифовального круга особенно важен при внутреннем шлифовании и зависит от ряда факторов. Для твердых и хрупких материалов применяются мелкозернистые шлифовальные круги, так как вследствие большего количества режущих кромок по сравнению с крупнозернистыми шлифовальными кругами каждая кромка снимает меньший объем материала. При твердых материалах мягкая связка выгоднее, так как затупившиеся зерна легче выламываются из связки и все новые зерна участвуют в процессе резания. Для мягких вязких материалов применяются крупнозернистые шлифовальные круги, при этом шлифовальные зерна глубже входят в материал.

Относительно износа шлифовального круга следует отметить, что затупление зерна уменьшает режущее действие шлифовального круга. Затупление зерна чаще всего вызывается его высокой механической и термической нагрузкой. Выламывание зерна благоприятно влияет на процесс шлифования, так как это, собственно говоря, связано с самозатачиванием шлифовального круга. Но полное выламывание зерна особенно неблагоприятно тогда, когда это происходит во время операции прецизионного шлифования. Вследствие этого могут явиться ясно выраженные риски, которые не только влияют на шероховатость шлифованного отверстия, но и могут касаться высотой профиля, как это показала обработка круглограммы.

На испытательном стенде Берлинского станкостроительного завода испытывались несколько сортов шлифовальных кругов на их применимость в «предварительном шлифовании» отверстий внутренних подшипниковых колец (100 Cr 6, HRc 62). Оказалось, что, например, шлифовальный круг Рокурал 32 j не пригоден для предварительного шлифования, так как его зерна очень быстро затуплялись и «процесс резания» шлифовального круга переходил в «процесс трения». Следствием этого явилось значительное увеличение мощности привода, связанное со значительным уменьшением числа оборотов применяемого электрошпинделя ( $n = 24\,000$  об/мин,  $N_{эфф} = 4,3$  квт). Шлифовальный круг Рокурал 20 к, работающий в тех же условиях и выпускаемый народным предприятием VEB Schleifscheibenwerk Dresden-Reick, дал положительные результаты.

## 2.2. Правка шлифовального круга

Правка шлифовальных кругов для шлифования отверстий чаще всего производится алмазами. Целью процесса правки является заточка шлифовального круга после определенного времени работы. На результат правки в значительной степени влияют форма алмаза в сочетании с размером задней поверхности, угловое положение его относительно точки приложения шлифовального круга, а также скорость и величина правки. Снимаемый при правке объем должен быть приблизительно раз в 10 больше объема износа шлифовального круга при шлифовании; отсюда определяется величина правки. От процесса правки зависит, какой результат достигается после обработки шлифованием. Благодаря правке на шлифовальном круге возникает так называемая «действующая шероховатость», которая изменяется во время шлифования. Для достижения чистой поверхности крупнозернистым шлифовальным кругом необходимо уменьшить скорость правки, чтобы получить меньшую «начальную действующую шероховатость». То же самое относится и к мелкозернистым шлифовальным кругам, применение которых для предварительного шлифования нецелесообразно, так как при тонкой правке возникают большие поверхности зерна, склонные к преждевременному затуплению. Аналогично обстоит дело с силами резания при шлифовании, значения которых больше после тонкой правки, чем после грубой.

На Берлинском станкостроительном заводе проводились соответствующие исследования с целью выявления наиболее благоприятных скоростей правки после предварительного шлифования отверстия внутренних подшипниковых колец (100 Ст 6, НРс 62) при применении шлифовального круга Рокурал 20 к для предварительного и окончательного шлифования в одной операции.

При первоначальном диаметре шлифовального круга 40 мм скорость правки 1 м/мин дала при одном проходе наилучшие результаты.

Шероховатость  $R_a$  в среднем имела значения 0,4 мк.

## 2.3. Охлаждение

При шлифовании возникают большие температуры, которые могут быть выше точки плавления стали, если применяются высокие скорости резания и снимается относительно большой объем стружки в определенный промежуток времени. Вследствие этих высоких температур при шлифовании и дополнительном нагревании, возникающем благодаря трению между шлифовальным кругом и деталью, могут возникать ожоги детали и преждевременный износ шлифовального круга.

На износ шлифовального круга влияют вид, количество и подача применяемого вспомогательного средства.

При шлифовании отверстий чаще всего применяются эмульсии, а, например, при фасонном шлифовании – масла, так как они уменьшают износ шлифовального круга. Необходимо учесть, что вода обладает лучшей теплопроводностью (примерно в 4 раза больше, чем масло) и поэтому ее целесообразнее применять для отвода тепла. Подвод вспомогательного охлаждающего средства играет решающую роль при шлифовании и производится в большинстве случаев тангенциально к шлифовальному кругу и к детали. Но к самому месту шлифования оно не попадает из-за непосредственного касания детали с инструментом.

Во внутришлифовальных станках Берлинского станкостроительного завода, оснащенных калибровым измерительным устройством, возможен дополнительный подвод вспомогательного средства через трубу измерительного калибра. Благодаря этому, подводится относительно большое количество вспомогательного охлаждающего средства к месту обработки. Бак вспомогательного средства, имеющий достаточно большой объем, гарантирует хорошее охлаждение, при этом фильтр-автомат производит очистку вспомогательного средства, возвращающегося обратно в бак.

### 2.4.3. Некруглость отверстия

Некруглость шлифованного отверстия зависит от ряда факторов, из которых в рамках ниже изложенного подробнее рассматриваются влияние станка и определенные технологические величины.

У большинства внутришлифовальных станков, особенно, если они предусмотрены для универсальной обработки, детали закрепляются в приспособлениях различных исполнений. Так как эти приспособления жестко связаны со шпинделем изделия, некруглость последнего прямо отражается на шлифуемом отверстии. Приспособления тщательно должны быть сбалансированы, точно выверены на шпинделе изделия и прочно закреплены, так как они влияют на некруглость обрабатываемого отверстия. На практике часто применяется обозначение «овальность», что, по всей вероятности, происходит от применения в цеху двухточечных измерительных приборов для определения формы отверстия. Особенно в тех случаях, где проверка производится на закрепленной в станке детали, указывается разность диаметров как величина «овальности».

Точность вращения шпинделя изделия в решающей степени зависит от качества применяемых подшипников качения и от точности размеров и формы сопрягаемых с наружным и внутренним кольцами деталей. Как показали опыт из подшипниковой промышленности и наши собственные исследования, желаемая точность вращения шпинделей изделия на 70 % зависит от точности изготовления названных сопряженных деталей, если предположить, что применяются подшипники определенного качества. Так как подшипниковые кольца не являются абсолютно жесткими, они стремятся принимать форму деталей, сопряженных с ними. Установкой подшипников повышенной точности достигается дальнейшее улучшение радиального биения, при этом, благодаря повышенному классу точности этих подшипников, необходимо установить повышенные требования к точности формы и размеров сопряженных деталей. Наличие устройства для регулировки зазора в подшипниках шпинделя изделия во внутришлифовальных станках является желательным. При этом положительным явилось

то, что подшипники монтируются с предварительным натягом, не зависящим от случайных факторов при сборке шпинделя изделия. Что касается применяемого вида подшипников для опор шпинделей изделия внутришлифовальных станков, то в большей степени применяются радиально-упорные шарикоподшипники и конические роликоподшипники повышенной точности.

На заводском опытном стенде испытывались, например, два шпинделя изделия с различными опорами на осевое удлинение, влияние температуры и на колебание. Сопряженные детали подшипников имели одинаковые отклонения формы.

**Шпиндель № 1:** Исполнение с радиально-упорными шарикоподшипниками повышенной точности, передний подшипник – неподвижный, подшипники имели определенный предварительный натяг.

**Шпиндель № 2:** Исполнение передней опоры – двухрядный роликоподшипник с цилиндрическими роликами с упорным шарикоподшипником, задняя опора – радиальный роликоподшипник с цилиндрическими роликами. Передний подшипник – неподвижный.

Опыты производились на холостом ходу при числе оборотов 450 об/мин. Размах колебаний и осевое удлинение шпинделей измерялись на ходу. Размах колебаний составил у шпинделя № 1 0,5 мк, у шпинделя № 2 1,2 мк. Со шпинделем № 1 получилась при внутреннем шлифовании втулки из 100 Cr 6 с HRC 62 некруглость, показанная на рис. 2.

Припуск на шлифование составил 0,06 мм, шлифованное отверстие имело длину 15 мм и диаметр 25 мм.

На рис. 3 показано осевое удлинение и влияние температуры этих двух вариантов шпинделей.

Оказалось, что шпиндель № 1 и в осевом удлинении, и в нагреве опор также дал лучшие значения.

Оба шпинделя являлись «втулочными шпинделями»; измерение температуры производилось на наружном диаметре втулки у опор.

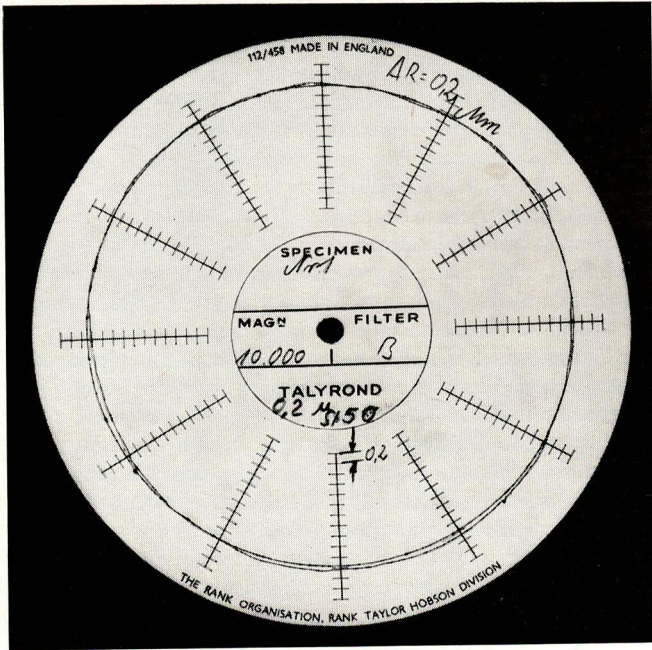
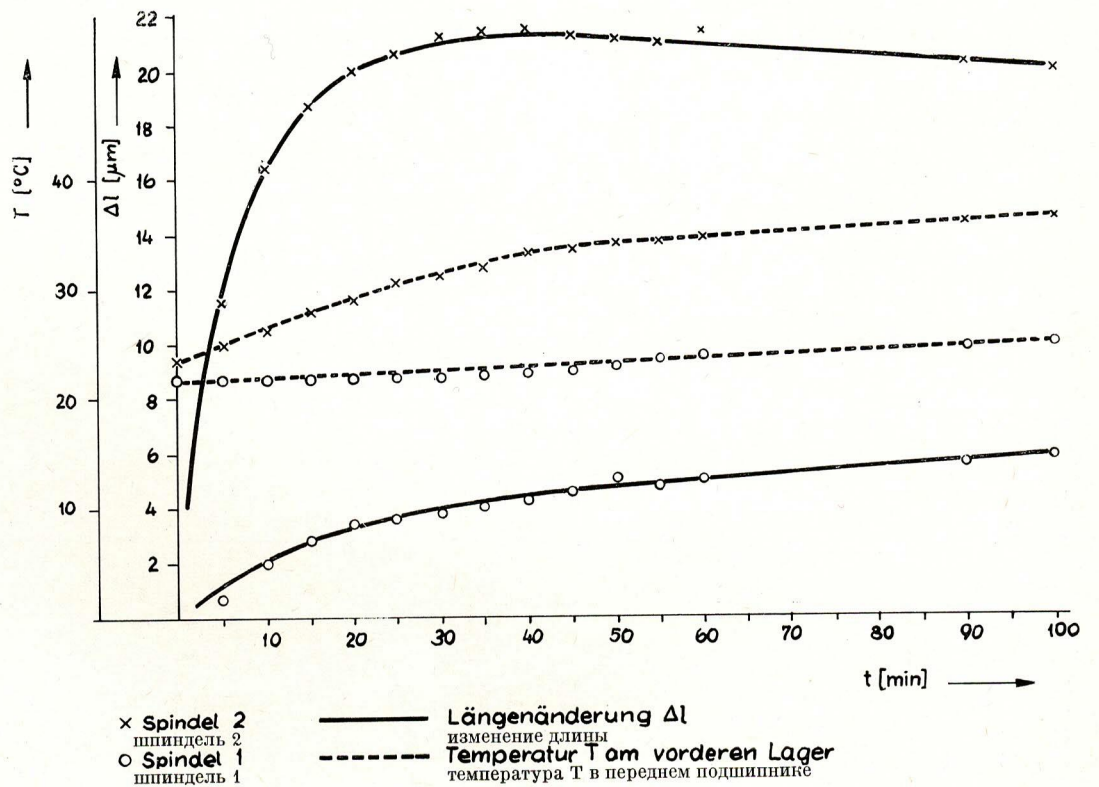


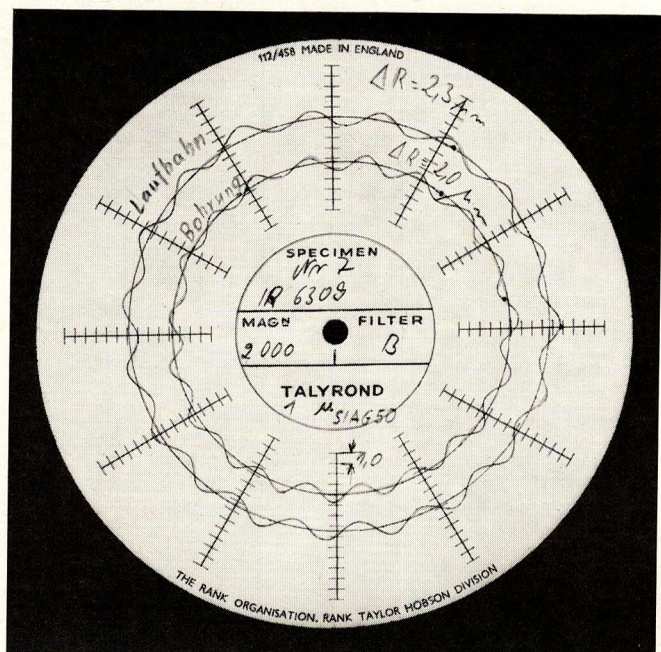
Рис. 2 Круглограмма втулки, шлифованной шпинделем № 1

Рис. 3 Диаграмма удлинения шпинделя и влияния температуры



Шпиндели изделия шлифовального станка мод. SI 50 оснащены втулочными шпинделями в исполнении, как у шпинделя № 1, чем была дана гарантия, что при шлифовании отверстия будет достигнута удовлетворительная некруглость.

Рис. 4 Круглограмма внутреннего подшипникового кольца 6309



Конструкция и изготовление зажимных приспособлений имеют большое значение для достигаемой некруглости шлифуемого отверстия. В рамках этих изложений эта проблема подробнее не рассматривается; она будет опубликована в другом издании Технических информации Берлинского станкостроительного завода.

При установке деталей на башмаках при внутреннем шлифовании шлифованное отверстие часто копирует форму детали, установленной на башмаках.

На рис. 4 показана некруглость шлифованного отверстия и некруглость беговой дорожки внутреннего подшипникового кольца. Установка на башмаках производилась по беговой дорожке, при этом в целях демонстрации умышленно применялась деталь с неудовлетворительной некруглостью беговой дорожки.

На «овальную форму» шлифованных отверстий влияет ширина шлифовального круга. Как показали практические опыты, хорошие результаты достигаются с помощью шлифовальных кругов, ширина которых больше длины обрабатываемого отверстия, так как шлифуемая поверхность постоянно находится в контакте со шлифовальным кругом, что гарантирует равномерный износ его. Однако, применение такой ширины шлифовальных кругов возможно только при относительно малой длине шлифования.

На «овальность» шлифованных отверстий также влияет отношение диаметра шлифовального круга к диаметру отверстия. При меньших значениях этого соотношения, т.е. при малых диаметрах шлифовального круга, достигаются худшие результаты в то время, как отношение

$$\frac{\text{Ø шлифовального круга}}{\text{Ø отверстия}}$$

в пределах 0,8...0,9 дает определенную корректировку овальной формы. При этом большая длина окружности положительно отражается на режущей способности шлифовального круга, так как большее количество зерен участвует в процессе шлифования.

#### 2.4.4. Отклонение диаметра отверстия

Международное стремление получить при шлифовании отверстий деталей более высокую точность для отклонения диаметра шлифованного отверстия привело к тому, что процесс шлифования отверстия управляется во многих внутришлифовальных станках прибором активного контроля. Эти приборы активного контроля в основном имеют задачу включать определенные операции по достижении заданных значений, как, например, правку шлифовального круга или окончание обработки шлифованием.

Испытанным и надежным способом является активный контроль с помощью калибра. Благодаря возвратно-поступательному движению стола поднимается калибр, связанный с измерительным устройством, при входе шлифовального круга в отверстие детали и опускается на деталь при выходе его из отверстия. Если диаметр отверстия соответствует диаметру калибра, то последний входит в отверстие — если это допускает направление движения стола. При входе включается контакт, который управляет последующей операцией. Так, например, непосредственно после входа калибра в отверстие процесс шлифования может прерываться, или с помощью реле времени включаться выхаживание в течение предварительно выбранного времени. Здесь может

быть большое количество возможностей, которые могут быть реализованы в сочетании с различными системами подачи. На Берлинском станкостроительном заводе уделялось особое внимание дальнейшей разработке этого измерительного устройства. Этот способ измерения усовершенствовался например, в части, компенсации неравномерного износа шлифовального круга во время процесса шлифования, износа алмаза для правки или непредвиденного нагрева. Как показали многочисленные опыты на заводском испытательном стенде, этот способ измерения также положительно зарекомендовал себя при относительно сильном колебании припуска.

На рис. 5 показаны отклонения диаметра ста колец, шлифованных друг за другом, с диаметром отверстия 30 мм и припуском 0,3 . . . 0,4 мм. Кольца закреплялись в торцовом зажимном патроне при двухместной установке.

Во внутришлифовальных автоматах для обработки внутренних подшипниковых колец часто применяются приборы активного контроля, датчик которых входит спереди в шлифуемую деталь.

Большинство измерительных систем работает на базе пневматики или электроники и датчики могут иметь один или два щупа.

Рис. 5 Отклонение диаметра при применении усовершенствованного измерительного калибра

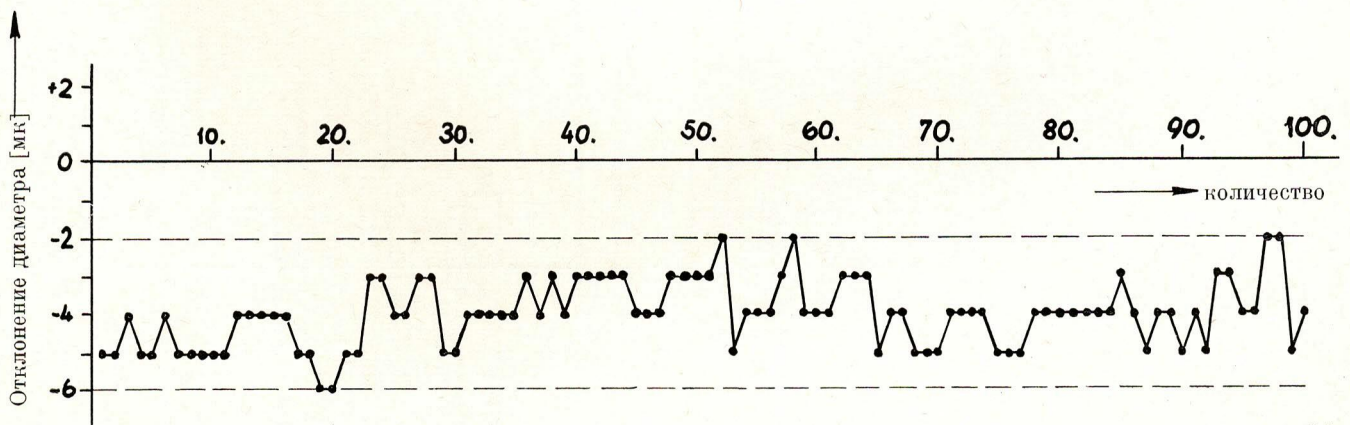




Рис. 6 Расположение щупа в системе с одним щупом

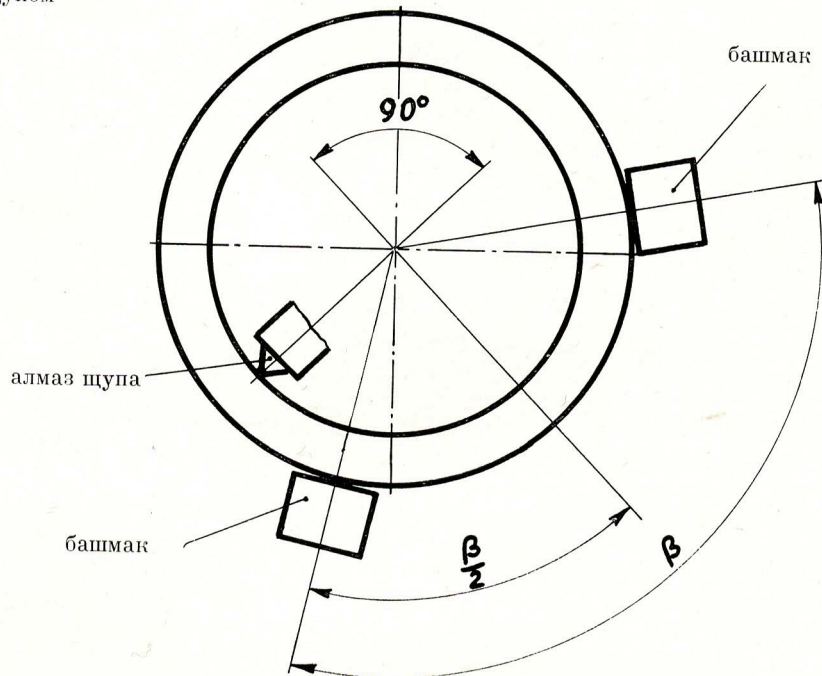
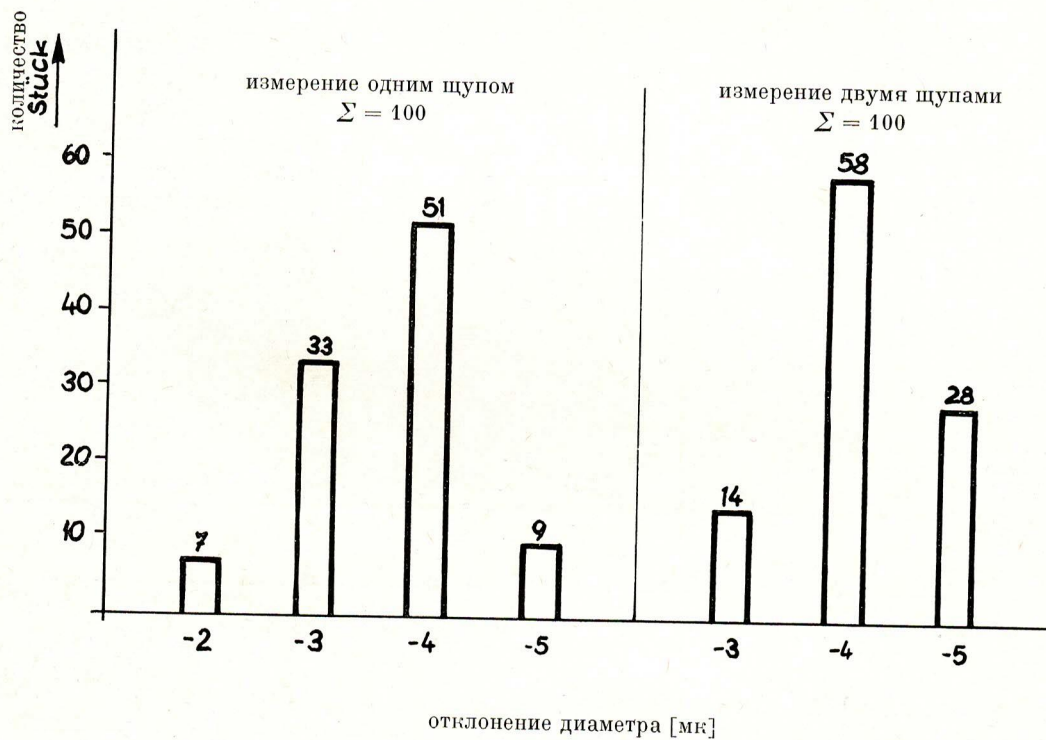


Рис. 7 Отклонение диаметра при шлифовании внутренних подшипниковых колец 6309 на внутришлифовальном автомате SIAG 50 при применении двух различных систем активного контроля.



В системе с одним щупом датчик вводится в отверстие обрабатываемой детали от неподвижной точки станка, при этом измеряется увеличение радиуса в процессе шлифования. При установке деталей на башмаках необходимо расположить щуп со своим алмазом таким образом, чтобы вершина алмаза стояла перпендикулярно к биссектрисе угла между башмаками (рис. 6).

Этим достигается то, что при перемещении центра детали вследствие колебаний диаметра, по которому установлена деталь, в направлении измерения действует только ошибка второго порядка.

Приборы активного контроля с одним щупом часто работают на базе пневматики, при этом, соответственно движению щупа заслонка изменяет свое положение относительно сопла. Возникающие перепады давления переводятся в приборе в отклонения стрелки и включают с помощью регулируемых контактов соответствующие операции в процессе шлифования. Применением датчиков с двумя щупами контролируется шлифуемый диаметр. В приборах активного контроля, работающих на базе электроники, с помощью непосредственного ощупывания переводится механическая величина в электрическую, пропорциональную первой.

Решающим фактором для применения различных систем активного контроля является наличие требований, поставленных перед внутришлифовальным станком, а также экономические соображения, относящиеся в основном к прибору активного контроля. На рис. 7 приводится сравнение прибора активного контроля на базе электроники с двумя щупами и пневматического прибора с одним щупом. На внутришлифовальном автомате мод. SIAG 50 шлифовались внутренние подшипниковые кольца типа 6309 из материала 100 Сг 6 при наличии обеих систем активного контроля в равных условиях (часовая производительность около 240 штук с припуском 0,2 . . . 0,25 мм).

## 2.5. Влияние станка

На результат обработки влияют различные особенности станка. К шлифовальным станкам, в общем, предъявляют высокие требования к точности их направляющих, к реверсированию возвратно-поступательного движения стола, к точности вращения шпинделя изделия и др. При серийной приемке большей частью применяются статические методы проверки.

Но, кроме этого, необходимо предусматривать определенные динамические проверки, как это делается, например, на народном предприятии – Берлинский станкостроительный завод – при определении качества вращения шпинделей изделия. Этой динамической внутризаводской приемке предшествовали многочисленные опыты на заводском опытном стенде, на факультете металлорежущих станков Дрезденского Технического университета, на испытательном стенде института металлорежущих станков и в Высшем Техническом училище города Карл-Маркс-Штадт.

Заводской испытательный стенд оборудован современными измерительными приборами, из числа которых два показаны на рис. 8 и 9.

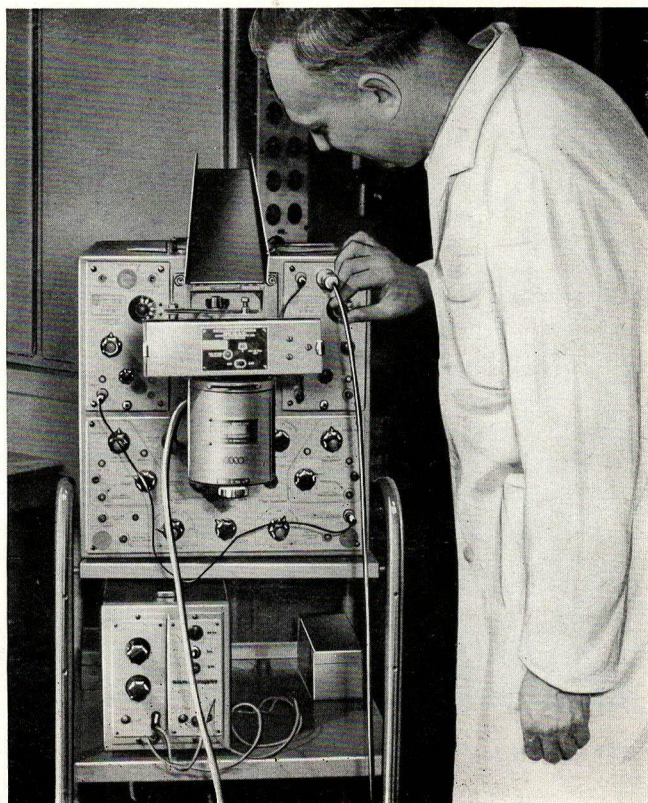
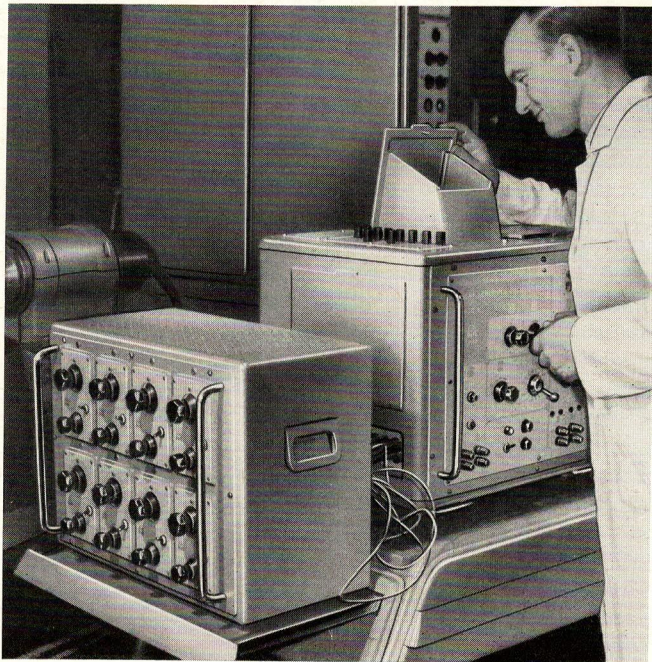


Рис. 8 Применение осциллографа

Рис. 9 Применение восьмишлейфового осциллографа



На этом испытательном стенде проводятся исследования на внутришлифовальных станках, при этом определяются причины и проявления неполадок. В последних особенно интересуют перемещение детали относительно инструмента и его влияние на деталь и на инструмент.

#### 2.5.1. Влияние магнитных клапанов

В старых исполнениях внутришлифовального станка мод. SI 50 магнитные клапаны, необходимые для управления станком, находились на плите, закрепленной в основании станка. Хотя плита была виброизолирована, «магнитные удары» вызывали перемещение детали относительно инструмента. Особенно на обратном ходу системы подачи после окончания процесса шлифования это перемещение отрицательно сказывалось на результате обработки, так как инструмент и деталь кратковременно сближались при подаче команды соответствующего магнитного клапана, как это показано на рис. 10. Вместо шпинделя шлифовального круга закреплялся емкостный датчик вибраций, который воспринимал перемещение относительно детали. Вертикальное расстояние между линиями сетки составило при этом 1 мк.

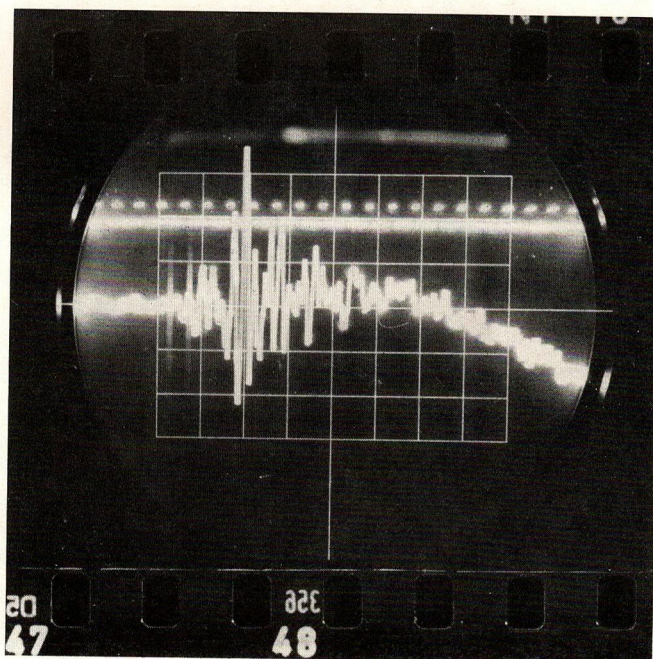


Рис. 10 Колебательное движение между деталью и инструментом на обратном ходу системы подачи, вызванное работой магнитных клапанов.

Это отрицательное влияние устранялось тем, что все магнитные клапаны переводились из шлифовального станка на отдельный электро-гидрошкаф (рис. 11).

Другим преимуществом при этом является то, что магнитные клапаны легко доступны и просто заменяются или исправляются при возможных неполадках.

Положительное влияние этого расположения на колебательное движение между деталью и инструментом показано на рис. 12.

### 2.5.2. Влияние вращающихся масс

Вращающиеся детали вызывают вынужденные колебания, которые могут проявляться как перемещение детали относительно инструмента. Особенно при приводе шпинделя шлифовального круга через ремень с помощью высокооборотных электродвигателей определенная частота колебаний соответствует частоте вращения этих двигателей с наложенной частотой шпинделя шлифовального круга. Помехи этого рода полностью никогда не устраняются, однако точность вращения приводных двигателей и шпинделей шлифовального круга влияет на величину размаха колебаний между деталью и инструментом. У шпинделей шлифовального круга с ременным приводом от качества приводного ремня также зависит точность вращения шпинделей. Рекомендуется применять только бесконечные ремни, чтобы не возникало дополнительного возбуждения от стыка ремня в виде удара. Как это показали исследования, очень хорошо показали себя в этом отношении ремни повышенной мощности из дедерона с соответствующей пропиткой.

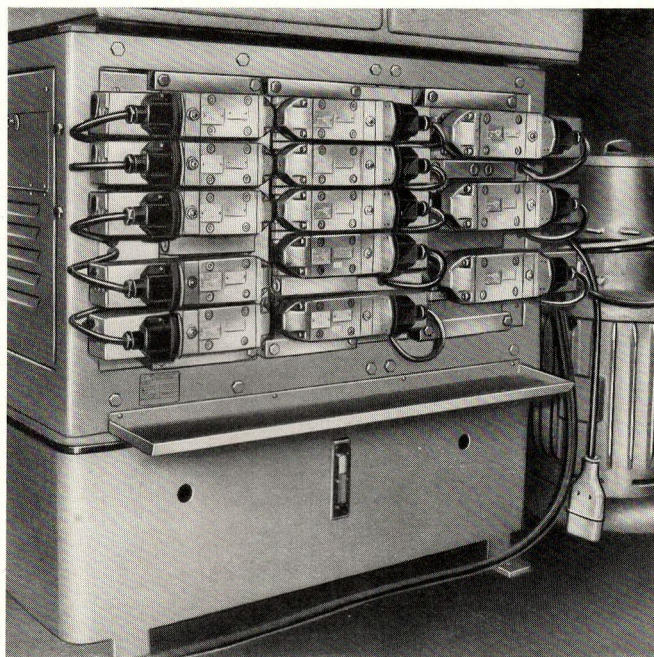


Рис.11 Расположение магнитных клапанов на электро-гидрошкафу

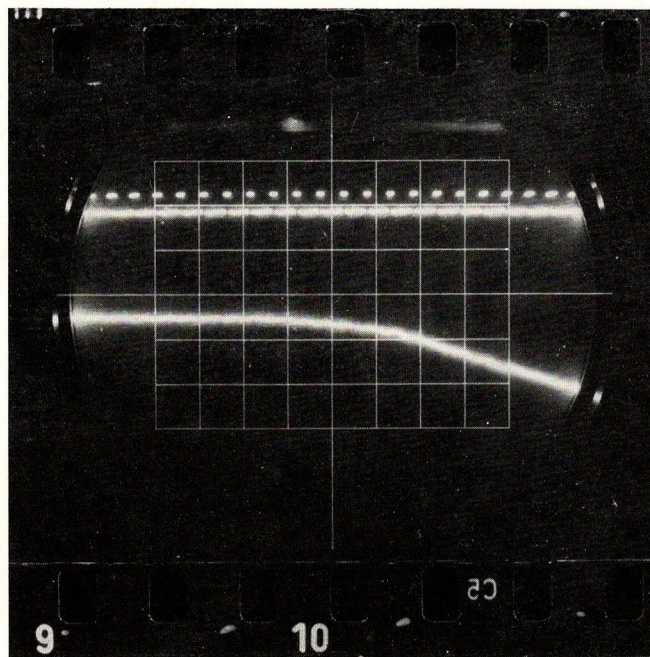


Рис.12 Обратный ход системы подачи при расположении магнитных клапанов вне станка

### 2.5.3. Автоколебания (дрожание)

В процессе чистовой обработки, какой представляет собой шлифование, колебания любого рода нежелательны, если они отрицательно влияют на качество шлифованных деталей и на стойкость инструмента. Часто при шлифовании имеются колебания, возникающие от самого процесса шлифования. Поэтому они называются автоколебаниями; часто применяется и название «дрожание». За последние годы был проведен ряд исследований, в которых большое внимание уделялось причинам возникновения этих колебаний. Эти экспериментальные и теоретические исследования привели к следующим результатам: автоколебания возникают в процессе резания. Вследствие перемещения детали относительно инструмента возникают изменения усилия резания, которое в свою очередь благодаря волнистости шлифовального круга возбуждает колебания в системе СПИД. Взаимодействие между износом шлифовального круга, волнистостью шлифовального круга и колебательными движениями создает так называемую обратную связь.

Частота автоколебаний не совпадает с собственной частотой или частотой от вынужденных колебаний, а соответствует собственной частоте системы, заключенной в обратную связь. Влияние имеют демпфирование, жесткость, собственная частота деталей и агрегатов и направление собственных колебаний всей системы. При внутреннем шлифовании шпиндель шлифовального круга в сочетании с оправкой и шлифовальным кругом можно рассматривать как самый податливый элемент. Более жесткие шпиндели дают более высокие частоты дрожания, что объясняется тем, что во время шлифования происходит увеличение жесткости системы СПИД.

С увеличением интенсивности автоколебаний ухудшается качество поверхности. На качество поверхности при шлифовании отверстия также влияет уже процесс правки. Правка шлифовального круга тупым алмазом уже ведет к автоколебаниям, при этом наблюдается худшее качество поверхности детали при применении шлифовального круга, правленного таким образом.

Увеличение усилия резания, которое, например, вызывается при большей скорости подачи системы, ведет к более быстрому возникновению и увеличению интенсивности автоколебаний.

При внутреннем шлифовании как следствие автоколебаний наблюдались волнистости на шлифовальном круге и ухудшалось качество поверхности. При обработке круглограмм шлифованных отверстий до сих пор не установлена непосредственная связь между глубиной волнистости и количеством волн на детали, амплитудой и частотой колебаний при шлифовании.

До сих пор известные исследовательские работы о автоколебаниях при шлифовании занимались влиянием их на деталь при внутреннем и наружном врезном шлифовании.

### 3. Заключение

Внутреннее шлифование является видом обработки, который применяется в тех случаях, когда обрабатываемую деталь нельзя подвергнуть более экономичному способу обработки резанием или когда ставятся определенные требования относительно точности размеров и формы.

Однако применение внутришлифовальных станков имеет предел, когда экономические соображения стоят на первом плане. Так, например, почти нельзя обрабатывать очень твердые материалы, как керамику или твердый сплав, обычными шлифовальными кругами. Для обработки твердых сплавов эффективно применять алмазные шлифовальные круги. Нередко при внутреннем шлифовании закаленных деталей имеется припуск на шлифование, который не допускает экономичное шлифование. Каждое увеличение припуска требует непосредственное увеличение штучного времени, так как свойства шлифовального круга позволяют снимать только определенный объем в единицу времени. Если нельзя избежать повышенного припуска на шлифование, то от случая к случаю требуется многократная правка во время цикла шлифования, чтобы шлифовальный круг получал свою первоначальную режущую способность. Относительно большой припуск на шлифование требуется часто у закаленных тонкостенных деталей потому, что после закалки получается сильно овальная исходная форма шлифуемого отверстия. При массовом производстве, например, внутренних подшипниковых колец целесообразно, если соответствующей предварительной обработкой достигается экономичный припуск на шлифование. Этим повышается штучная производительность, что приводит к росту производительности труда.

### Литература :

В журнале Технических информационных, лежащего перед Вами, использовались ряд научных опубликований, из числа которых ниже приводятся наиболее важные. Так как в рамках этих изложений затрагивались только общие проблемы внутреннего шлифования, то подробности могут быть взяты из указанных и опубликованных источников:

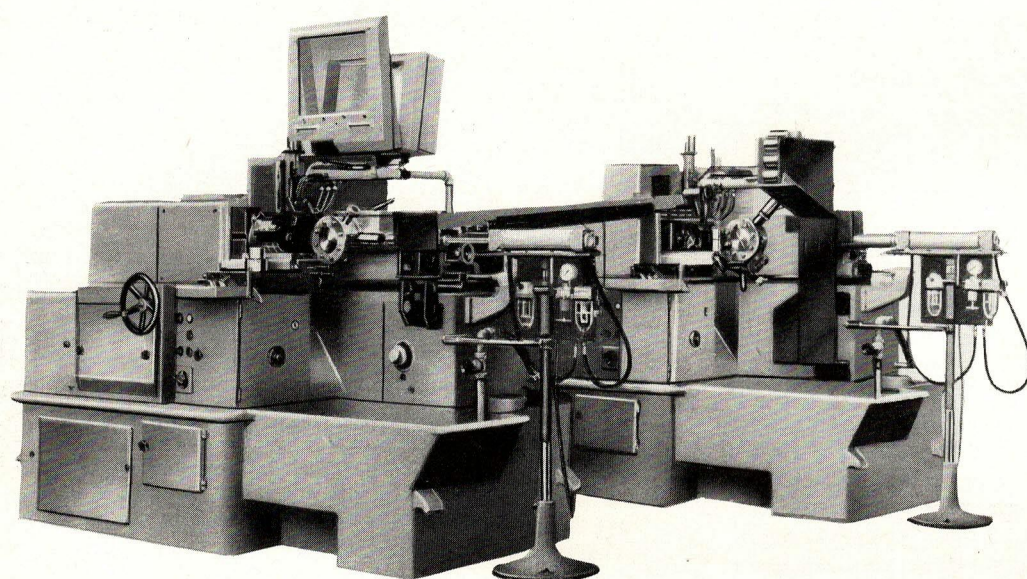
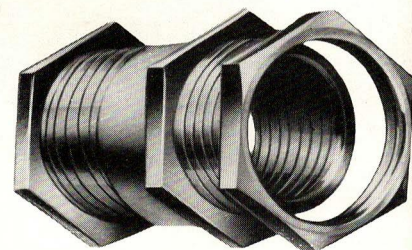
- Pahlitzsch      Gegenwärtiger Stand von Technik und Forschung auf dem Gebiete des Präzisions-Schleifens  
MICROTECNIC, Vol. XVII, Nr. 2-1963  
(там же и другие указания литературы)
- Pahlitzsch, Cuntze      Entstehung und Minderung von Rattern - Schwingungen beim Schleifen  
Forschungsbericht VDJ-Zeitschrift  
Reihe 2 Nr. 6  
(там же и другие указания литературы)
- Opitz, Heiermann      Untersuchungen beim Innenrundscheifen
- Rupprecht      Forschungsberichte des Wirtschafts- und Verkehrsministeriums  
Nordrhein-Westfalen Nr. 672  
(там же и другие указания литературы)
- Piegert      Untersuchung der Einflußfaktoren auf die Bearbeitungsfehler beim Innenschleifen  
Dissertation TH Karl-Marx-Stadt  
(там же и другие указания литературы)
- Polacek, Pluhar      Der gegenwärtige Stand der Forschungsarbeiten über selbsterregte Schwingungen beim Schleifen  
Schwerindustrie der ČSSR Heft 5/1964  
(там же и другие указания литературы)
- P. I. Yascherisin      Betrachtungen über die Genauigkeit beim Innenschleifen  
Technische Rundschau Nr. 24 vom 1. 6. 62  
(перевод с русского)
- не опубликованные исследования      Institut für Werkzeugmaschinen der TU Dresden  
Institut für Werkzeugmaschinen  
Karl-Marx-Stadt  
Berliner Werkzeugmaschinenfabrik  
Versuchsfeld

DAR 12,5/20

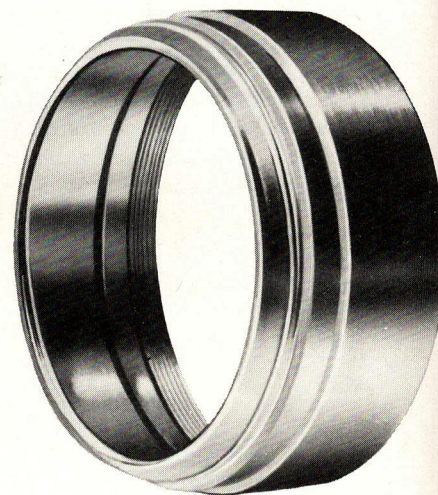
DAR 25/40

DAR 50/63

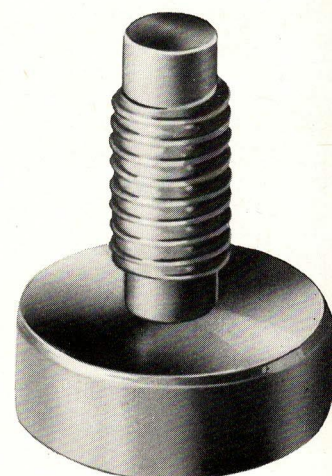
Токарно-револьверные автоматы



Связь двух станков мод. DAR 63

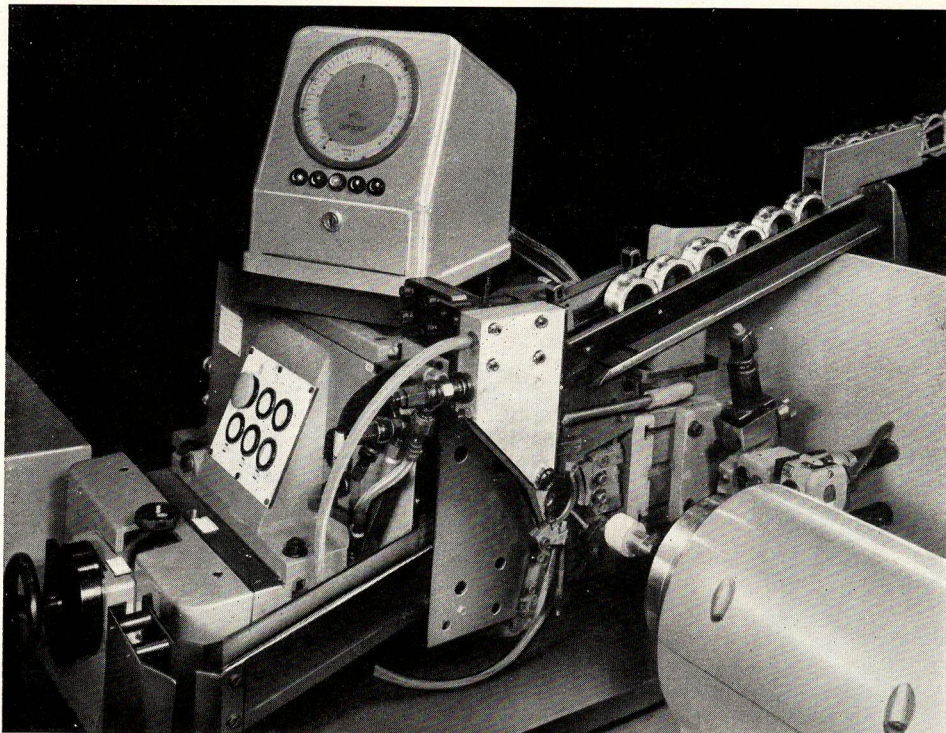


Загрузка от магазина и установка наших токарно-револьверных станков в поточных линиях обеспечивают оптимальное решение рентабельного производства.

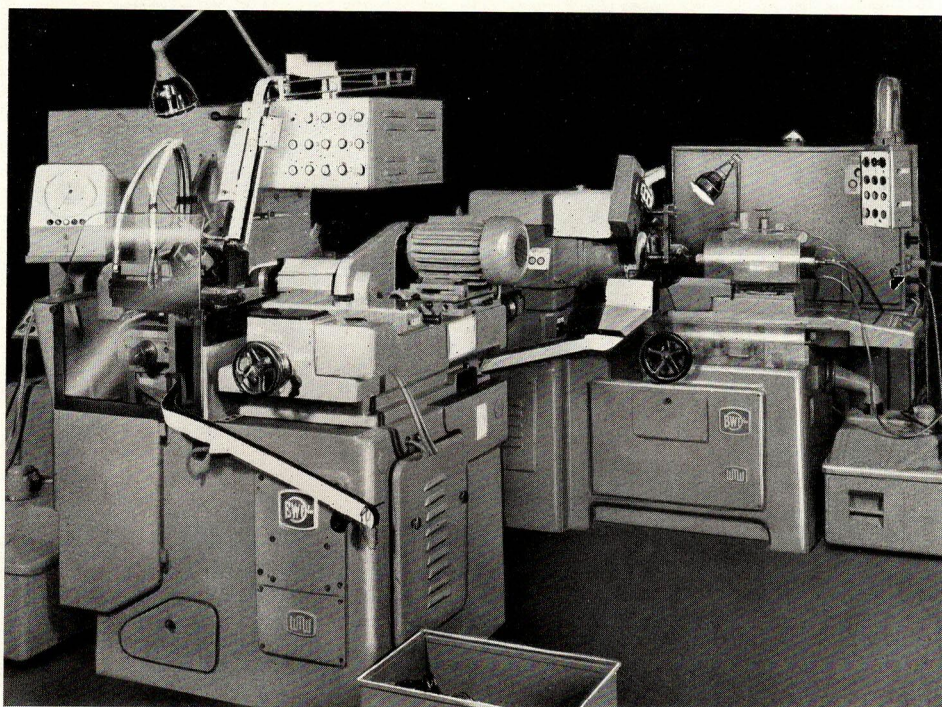








Наши внутришлифовальные автоматы с загрузочно-разгрузочным устройством и установкой в поточных линиях для производства подшипников качества особенно отвечают требованиям, предъявляемым к ним, обеспечивают высокую производительность и точность в крупносерийном производстве.



**Внутришлифовальные станки**  
 SI 125 × 175  
 SI 50 (автоматиз.)

**Внутришлифовальные автоматы**  
 SIA 50

**Внутришлифовальные автоматы**  
 SIAG 50 с установкой деталей на башмаках

**Внутришлифовальные автоматы для врезного шлифования**  
 SIAE 50

**Внутришлифовальные автоматы для врезного шлифования**  
 SIAGE 50 с установкой деталей на башмаках

**Автомат для шлифования желобов внутренних колец шарико-подшипников**  
 SWäAAGR 100 с установкой деталей на башмаках

**Автомат для шлифования желобов наружных колец шарико-подшипников**  
 SWäAIGR 125 с установкой деталей на башмаках

**За информациями по экспорту просим обращаться в**

**WMW-Export-Import  
Volkseigener Aussenhandelsbetrieb  
der Deutschen Demokratischen Republik  
DDR - 108 Berlin - Mohrenstrasse 61**

**Германская Демократическая Республика**

Nr. 5223/r/1968 - Ag 09/353/67

Übersetzung: Dipl.-Ing. Herzhoff, 90 Karl-Marx-Stadt