

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ БССР

Белорусский ордена Трудового Красного Знамени
политехнический институт

На правах рукописи

КОЛЕСОВ
Борис Климентиевич

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА
ПОЛИРОВАНИЯ КОЛЕЦ
СЛОЖНОГО ПРОФИЛЯ
ПЛОТНЫМ ПОТОКОМ
СВОБОДНОГО АБРАЗИВА

(Применительно к прядильным кольцам)

Специальность 05.03.03.

Обработка материалов резанием

Диссертация написана на русском языке

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

МИНСК 1973

Работа выполнена в Пензенском политехническом институте.

Научный руководитель — член-корреспондент АН БССР, доктор технических наук, профессор **П. И. Ящерицын**.

Официальные оппоненты: академик АН БССР, доктор технических наук, профессор **Е. Г. Коновалов**;

кандидат технических наук **В. А. Аканович**.

Ведущее предприятие — Волжский филиал Всесоюзного научно-исследовательского института абразивов и шлифовзния (Волжск—ВНИИАШ).

Автореферат разослан «*15*» *марта* 1973 г.

Защита диссертации состоится «*11*» *мая* 1973 г. в 10 часов на заседании Объединенного совета по присуждению ученых степеней по механико-технологическим, машиностроительным, автотракторным и торфяным специальностям Белорусского ордена Трудового Красного Знамени политехнического института по адресу: г. Минск, Ленинский проспект, 65, главный корпус БПИ, ауд. 327.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Ученый секретарь совета
кандидат технических наук, доцент **Н. В. Кислов**.

Программой Коммунистической партии Советского Союза предусмотрен дальнейший подъем экономики нашей страны.

"Основная задача промышленности на текущее пятилетие 1971-1975 гг., - записано в Директивах XXIV съезда КПСС по пятилетнему плану развития народного хозяйства, - заключается... в повышении технического уровня и эффективности производства, коренном улучшении качества продукции".

В современном машиностроении широко применяются детали типа колец сложного профиля: прядильные кольца, детали двигателей, детали гидравлической аппаратуры и т.п.

В производстве таких деталей большой удельный вес имеют финишные операции, на которых обеспечивается необходимая чистота и физико-механические свойства поверхностного слоя. Наиболее производительным и распространенным методом отделки фасонных кольцевых поверхностей является полирование абразивным полотном. Сложность механизации полирования таких деталей абразивным полотном и ограниченная интенсивность съема металла, в связи с чрезмерным нагревом поверхности деталей, сдерживают рост производительности труда на операциях отделки. Кроме того, быстрое засорение абразивного полотна продуктами отходов снижает его режущую способность и отрицательно влияет на качество отделки.

В данной работе, на основе комплекса теоретических и экспериментальных исследований, разработан принципиально новый, производительный способ финишной обработки колец сложного профиля свободным абразивным зерном, обеспечивающий качественную поверхность деталей.

СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА, ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

В настоящее время в машиностроении все большее внимание уделяется отделочным операциям. Это объясняется тем, что эксплуатационные свойства деталей машин и их долговечность в значительной степени определяются состоянием их рабочих поверхностей. Тонкий наружный слой деталей является носителем всевозможных геометрических дефектов, а также концентраторов напряжений. Он определяет поверхностную прочность и износостойкость деталей.

Важнейшие эксплуатационные свойства поверхности, т.е. её микро- и макрогеометрия, микротвердость, напряженное состояние, химический состав, цельность поверхности, структура тончайшего поверхностного слоя и другие, формируются на протяжении всего периода обработки деталей, однако, как показали исследования А.А.Маталина, П.И.Ящерицына, А.И.Спришевского, А.П.Бабичева, в технологическом комплексе влияние первых операций обычно слабее, чем финишных.

Несмотря на разнообразие финишных способов обработки, изготовление деталей с высоким классом чистоты поверхности сопряжено с большими материальными затратами.

Особенно трудоемки финишные операции при изготовлении деталей сложной формы и, в частности, ажурных колец фасонного профиля, боковая поверхность которых образована вращением сложной кривой.

Среди существующих способов отделки колец сложного профиля наиболее распространенным является полирование абразивным полотном. Процесс отделки деталей абразивным полотном прост, позволяет получать сравнительно качественную поверхность и поэтому имеет широкое распространение. Тем не менее, обработка фасонных кольцевых поверхностей абразивным полотном имеет существенные недостатки.

Вследствие упругости абразивного полотна, оно не может одновременно находиться в контакте со всеми сложными участками профиля, подлежащего отделке. Поэтому обработка, как правило, производится последовательно, с переходом от участка к участку,

что, естественно, удлиняет цикл обработки. Механизация обработки в таких случаях затруднительна, и контакт абразивного полотна с обрабатываемой поверхностью вращающегося кольца полировщика вынуждены производить вручную.

Эффективность процесса полирования в основном зависит от удельного давления, скорости вращения кольца и полировальных материалов.

Исследования Л.Я.Попилова показали, что с увеличением удельного давления возрастает съем металла, но при этом уменьшается стойкость ленты.

По данным исследований В.И.Богатырева, С.П.Шабашова и Е.И.Студенского, при полировании абразивным полотном зернистостью 6 закаленных сталей удовлетворительный тепловой режим обеспечивается при скорости полирования 15-19 м/сек и давлении полировальника 6-7 кг/см². Повышение скорости полирования и давления полировальника выше указанных приводит к резкому возрастанию температуры в зоне полирования и возникновению ожогов.

Таким образом, интенсивность обработки, а следовательно, и производительность процесса полирования абразивным полотном лимитируется тепловым режимом, что указывает на необходимость разработки новых способов отделки рабочих поверхностей деталей машин, обеспечивающих высокую производительность при низкотемпературном режиме резания.

В отечественном машиностроении и за рубежом все большее распространение получают различные способы отделки деталей свободным абразивом. Анализ способов обработки деталей свободным абразивом показал, что наиболее эффективным из них, при отделке наружных кольцевых поверхностей, является способ погружения деталей в абразивную смесь, быстро вращающуюся в барабане и образующую плотное эластичное кольцо. В этом случае обычно применяют смеси, состоящие из абразивного порошка, древесных опилок и машинного масла.

Способ простой, производительный, обеспечивает качественную отделку, но имеет существенные недостатки.

Как показали исследования, выполненные О.М.Гельфельдом и А.И.Ривкиным, вследствие уплотнения опилок, их истирания и выгорания масла быстро уменьшается объем смеси, что приводит к

неустойчивости процесса обработки. Полирование сопровождается значительным выделением тепла, поэтому для снижения температуры приходится увеличивать объем смеси. Чрезмерное уплотнение смеси в короткий отрезок времени затрудняет полирование фасонных поверхностей.

Указанные недостатки одерживают распространение этого способа отделки деталей.

В данной работе ставится задача исследовать новый способ полирования фасонных колец свободным абразивом, прототипом которого является вышеуказанный способ, в значительной степени освобожденный от перечисленных недостатков.

Цель исследования: определение оптимальных параметров работы установки и наиболее эффективных технологических режимов процесса получения поверхности колец высокого класса чистоты.

Для решения поставленной задачи необходимо проведение комплексных исследований, включающих теоретическую часть, опытно-конструкторские разработки и экспериментальную часть. В соответствии с этим нами принят следующий план исследований:

1. Разработка теоретических предпосылок полирования плотным потоком свободного абразива.
2. Определение основных параметров экспериментальной установки.
3. Исследование усилий, действующих в процессе обработки.
4. Исследование температурного режима процесса полирования.
5. Исследование влияния режима обработки на производительность процесса полирования и основные физико-механические свойства поверхностного слоя деталей.
6. Разработка практических рекомендаций по созданию промышленных установок для полирования колец сложного профиля.

ПОЛИРОВАНИЕ КОЛЕЦ ПЛОТНЫМ ПОТОКОМ СВОБОДНОГО АБРАЗИВА

Для устранения вышеуказанных недостатков, свойственных методу полирования деталей погружением их во вращающуюся в барабане абразивную смесь, нами предложен и исследован новый способ обработки деталей. (Авторское свидетельство № 252114.)

Целью данного предложения является создание производительного способа полирования наружной поверхности фасонных колец, обеспечивающего стабильность процесса резания, что имеет большое значение при механизации и автоматизации процессов обработки, и протекающего при обильном охлаждении детали и рабочей смеси.

Достигается это тем, что при полировании применяется смесь без мягких наполнителей (абразивный порошок с водной эмульсией) и создается её непрерывная циркуляция через барабан.

Вследствие непрерывной циркуляции абразивной смеси через барабан она подвергается лишь кратковременному воздействию центробежных сил, сохраняет свою текучесть и интенсивно охлаждается. Наличие циркуляции абразивной смеси позволяет применять в установках магнитную сепарацию стружки. Так как процесс полирования протекает при наличии эмульсии, содержащей поверхностно активные вещества, он идет более эффективно, а постоянное присутствие жидкости между режущими зернами и поверхностью изделия способствует получению качественной поверхности.

Схема установки вертикального типа для полирования колец по предложенному способу показана на рис. I.

Сущность способа заключается в следующем:

в контейнер 9 загружается абразивная смесь; через окно I, открыв крышку 2, в контейнер вводит изделие 3 и закрепляют на шпинделе I2, вмонтированном в закрытый корпус I3; крышку 2 закрывают. Шпиндель 4 с барабаном 5 быстро опускается настолько, чтобы изделие оказалось в полости барабана. Верхнюю подвижную крышку 6, несущую шпиндель барабана, смещают по направлению, указанному стрелкой "А" так, чтобы контур изделия, подлежащий обработке, расположился над полкой барабана (как указано на рисунке I). Барабану и изделию сообщают вращение. В трубопровод II подается сжатый воздух через регулятор IO. Через коническую насадку 8, путем эжекции, абразивная смесь подается в барабан. Из контейнера воздух отводится в атмосферу через патрубок 7.

Струя абразивной смеси, касаясь дна барабана, под действием центробежных сил отбрасывается к его боковой поверхности, покрытой пористой резиной, и образует, относительно изделия,

плотный кольцевой поток. Набегая на изделие, абразивный поток полирует его. Значительная часть потока при этом разрушается и выпадает в контейнер. Выпадающая в контейнер абразивная смесь вновь подается в барабан, совершая, таким образом, непрерывную циркуляцию между контейнером и барабаном.

Размеры барабана и его угловая скорость ω , при которых абразив будет формироваться в кольцевой поток, определены на основании следующих теоретических предпосылок.

Ударяясь о днище вращающегося барабана, в точке, удаленной от его оси на расстояние ρ_0 , зерно подвергается воздействию переносной силы инерции, кориолисовой силы инерции и силы тяжести, поэтому уравнение движения абразивной частицы, в соответствии с основным законом механики, имеет вид:

$$m\bar{a}_z = m\bar{g} + \bar{F}^{(e)} + \bar{F}^{(k)}, \quad (1)$$

где: m - масса абразивного зерна;

\bar{a}_z - вектор относительного ускорения;

$\bar{F}^{(e)}$ - вектор переносной силы инерции;

$\bar{F}^{(k)}$ - вектор кориолисовой силы инерции.

В результате воздействия этих сил абразивное зерно будет совершать сложное движение, характеризующееся следующей системой уравнений:

$$\begin{aligned} x &= \rho_0 \omega t \cos \omega t - \rho_0 \sin \omega t; \\ y &= \rho_0 \omega t \sin \omega t + \rho_0 \cos \omega t; \\ z &= \frac{gt^2}{2}. \end{aligned} \quad (2)$$

Для того, чтобы абразив не выпадал из барабана и формировался в кольцевой поток, за время t падения его на величину H , равную внутренней высоте барабана, он должен достигать его полки, т. е. проекция пути абразивного зерна на плоскость, перпендикулярную оси барабана за время

$$t = \sqrt{\frac{2H}{g}},$$

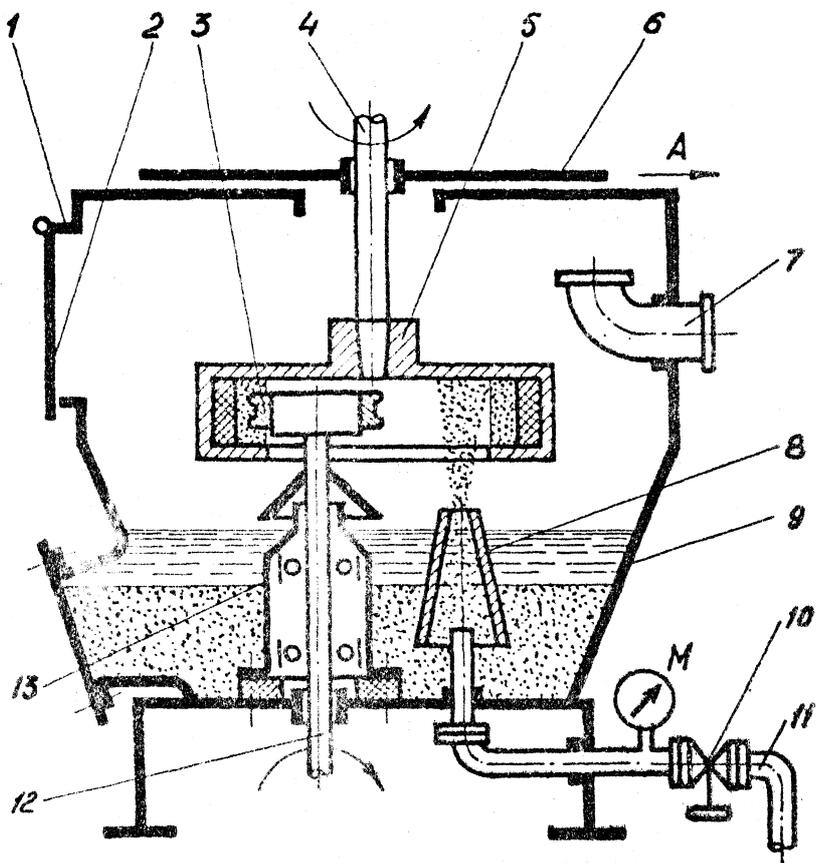


Рис. I. Схема экспериментальной установки

должна иметь значение $\rho_1 \geq R - b$.

где R - радиус барабана;
 b - ширина полки.

Для этих условий

$$\omega = \sqrt{\left(\frac{\rho_1^2}{\rho_0^2} - 1\right) \frac{g}{2H}}. \quad (3)$$

Траектория резания-царапания абразивным зерном поверхности детали в данном случае определяется системой уравнений

$$\begin{aligned} x &= R \left(\sin \alpha \pm \frac{V_d}{60V_\sigma} \right), \\ y &= R(1 - \cos \alpha), \end{aligned} \quad (4)$$

где R - внутренний радиус кольцевого потока абразивной смеси;

α - угол контакта детали с кольцевым потоком абразивной смеси;

V_σ - скорость барабана;

V_d - скорость детали.

Угол и длина дуги контакта детали с абразивным потоком, по аналогии с процессом внутреннего шлифования, могут быть определены соответственно по формулам (5) и (6):

$$\alpha = \sqrt{\frac{Dh}{d(D-d)}}, \quad (5)$$

$$L = \left(1 \pm \frac{V_d}{60V_\sigma}\right) \sqrt{\frac{Ddh}{D-d}}, \quad (6)$$

где D - внутренний диаметр кольцевого потока абразивной смеси;

d - диаметр обрабатываемого кольца;

h - глубина погружения детали в кольцевой поток абразивной смеси.

Данная схема резания имеет благоприятную особенность, заключающуюся в том, что деталь и плотный поток абразивной смеси имеют

однозначную кривизну, вследствие чего обеспечивается большая длина дуги контакта, в пределах которой одновременно действует большое количество абразивных зерен. Кроме того, при такой схеме резания абразивное зерно снимает стружку незначительной толщины, что весьма важно для отделочных методов обработки.

Благодаря своей текучести и податливости кольцевой поток абразивной смеси охватывает весь сложный контур полируемой детали.

Для определения мощности привода рабочих органов установки, прочности и жесткости шпинделей барабана и изделия необходимо знать, воздействию каких усилий они будут подвергнуты. Так как обработка ведется текучей абразивной смесью, воздействие последней на деталь можно рассматривать как гидродинамическое давление P потока. В общем случае воздействие потока на стенку, в заданном направлении, измеряется проекцией на это направление изменения количества движения. При установке стенки под углом к потоку

$$\begin{aligned} P &= Q \rho V_s \sin \varphi; \\ P_x &= Q \rho V_s \sin^2 \varphi; \\ P_y &= Q \rho V_s \sin \varphi \cos \varphi, \end{aligned} \quad (7)$$

где Q - расход смеси;
 ρ - плотность потока;
 V_s - средняя скорость потока.

В нашем случае задача осложняется тем, что поток криволинейный и действует на криволинейную стенку, вследствие чего угол давления φ потока на поверхность кольца по длине дуги контакта изменяется от значения α , до 0 (рис.2).

Принимая во внимание, что

$$Q = S V_s,$$

где S - площадь сечения потока,
нормальное давление потока на элементарную площадку кольца определится выражением

$$\Delta p = V_s^2 \rho \Delta s \sin \varphi.$$

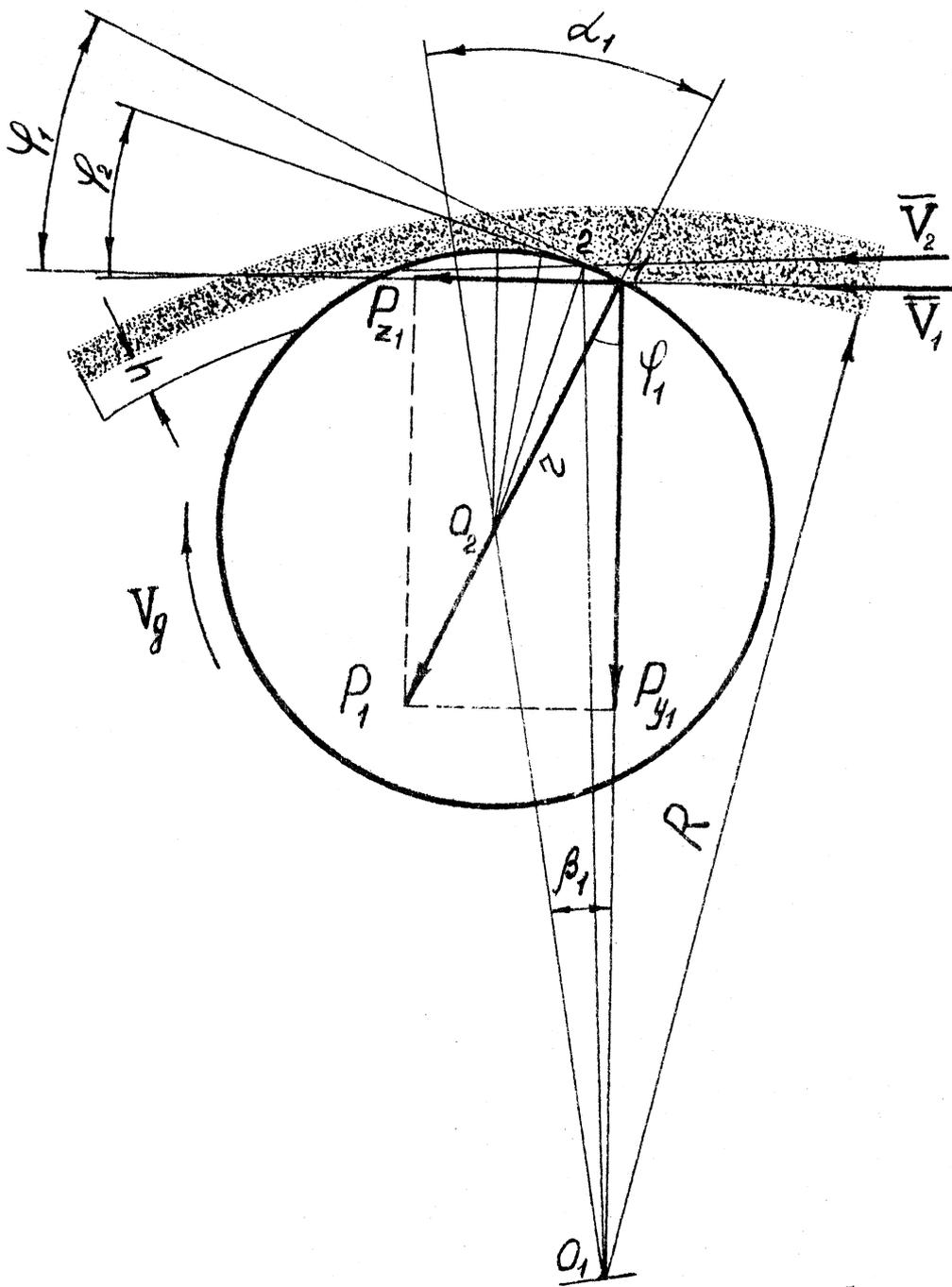


Рис.2. Определение сил резания

Так как

$$\varphi = \alpha - \arcsin\left(\frac{r}{R} \sin \alpha\right),$$

полное нормальное давление потока на кольцо будет

$$P = V_g^2 \rho \int_0^{\alpha_1} b^2 \left(\sin \alpha \sqrt{1 - \frac{r^2}{R^2} \sin^2 \alpha} - \frac{r}{2R} \sin 2\alpha \right) d\alpha, \quad (8)$$

где b - ширина кольца.

Составляющие P_x и P_y определяются аналогичным образом.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ

Экспериментальное исследование процесса полирования плотным потоком свободного абразива производилось на специальной установке, построенной по схеме, указанной на рис. I. Установка имеет бесступенчатое регулирование оборотов двигателей барабана и изделия, контролируемых с помощью тахогенераторов. Параметры эжектора подбирались таким образом, чтобы обеспечивался достаточный для ведения процесса полирования расход абразивной смеси через барабан. Оптимальное давление сжатого воздуха, подаваемого в эжектор P_3 , т.е. давление, обеспечивающее наибольший расход абразивной смеси, подбиралось непосредственно в процессе резания и оценивалось по мощности, потребляемой двигателем барабана. Как показали эксперименты, наибольшая мощность потребляется при давлении $P_3 = 0,2 \text{ Мн/м}^2$, что соответствует наибольшему притоку суспензии в барабан.

Количество измерений в экспериментах определялось методами математической статистики по оценке генеральной средней с помощью доверительных интервалов.

Установлено, что силы резания, действующие в процессе полирования, и потребляемая мощность зависят, главным образом, от скорости вращения барабана и глубины погружения детали в поток абразивной смеси.

Зависимость мощности, потребляемой двигателем барабана W_d и изделия W_w , а также сил резания от скорости вращения бара-

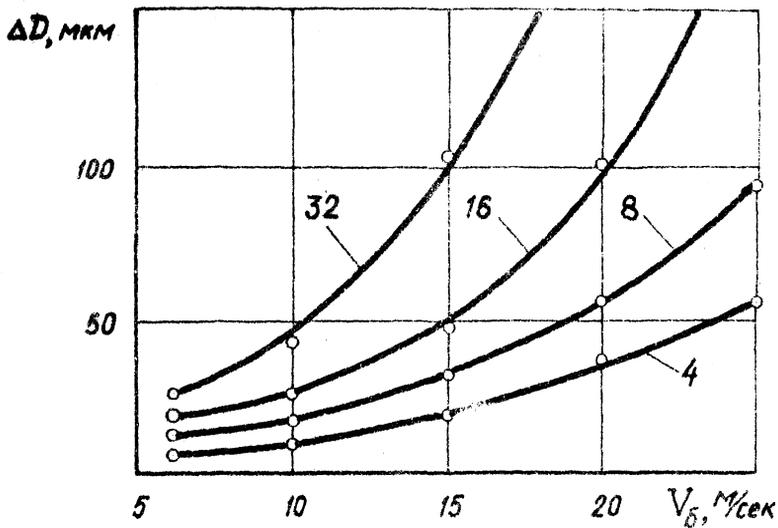


Рис.3. Зависимость съема металла ΔD от скорости вращения барабана V_{δ} и зернистости абразива. (Время обработки $t = 30$ сек.)

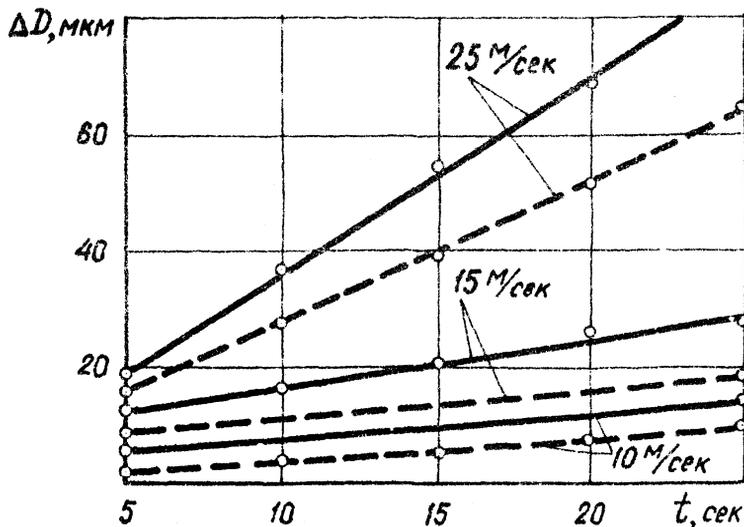


Рис.4. Зависимость съема металла ΔD от времени t и скорости полирования;
 --- без поверхностно-активных веществ,
 — с добавлением 2% олеиновой кислоты

бана приводятся в табл. I. Как следует из приведенных данных, мощность, потребляемая двигателем барабана, пропорциональна квадрату скорости вращения барабана, что согласуется с теоретическими расчетами гидродинамического воздействия потока на деталь.

Мощность, потребляемая двигателем изделия, в 15-20 раз меньше мощности, расходуемой на вращение барабана.

Таблица I

V_{δ} м/сек	W_{δ} вт	P_x н	P_y н	P н	V_a м/сек	W_a вт
10,50	200	19,5	72,0	75,0	1,30	31
15,75	680	44,0	162,5	169,0	1,30	47
21,00	1370	66,6	246,0	256,0	1,30	64
26,25	2740	106,0	384,0	400,0	1,30	132

Основным технико-экономическим показателем любого процесса обработки является его производительность. Производительность процесса полирования оценивается количеством металла, снятого в единицу времени, т.е. интенсивностью съема металла.

Объектом обработки служили стальные закаленные кольца следующих размеров: $D = 50$ мм, $d = 40$ мм, $\delta = 10$ мм. Опыты показали, что полирование плотным потоком свободного абразива обеспечивает интенсивный съем металла. Практически заметный съем металла, при полировании электрокорундом нормальной зернистостью 4+8, начинается при скорости $V_{\delta} = 5+6$ м/сек. С увеличением скорости барабана и зернистости абразива съем металла закономерно возрастает (рис.3).

Каждое в отдельности абразивное зерно снимает мельчайшую стружку, что и требуется от отделочных методов обработки, но, набегая на контур детали плотным потоком, абразивные зерна, в совокупности, в короткий отрезок времени удаляют значительный слой металла.

Тонкая и одновременно производительная обработка обусловле-

на также и тем, что свободные абразивные зерна, ударяясь о поверхность детали и двигаясь по ней, производят резание-параллельные поочередно несколькими гранями, вследствие чего режущая способность зерна используется более полно, чем в процессах со связанным абразивом.

Влияние времени полирования на съем металла исследовалось при обработке образцов абразивным порошком зернистостью 8. Зависимость съема металла от времени обработки показана на рис.4.

При тонкой абразивной обработке значительную роль играют химические процессы, происходящие на обрабатываемой поверхности. В наших экспериментах в качестве химически активного вещества использовалась олеиновая кислота, часто применяющаяся в практике отделки стальных деталей. Эксперименты показали, что при вводе в абразивную смесь 2% олеиновой кислоты, при полировании абразивом зернистостью 8, съем металла возрастает на 35+40% (рис.4).

По данным исследований В.И.Богачева, С.П.Шабашова и Е.И.Студенского, съем металла при полировании закаленной стали ШХ15 шлифполотном, зернистостью 6+8, составляет около 1 мкм/сек. Такая интенсивность съема металла достигается при скорости полирования 15 м/сек и при давлении полировальника 6+7 кг/см². (Данные режимы обеспечивают бесприжоговое полирование.) Полирование плотным потоком свободного абразива, при аналогичной зернистости и скорости полирования, обеспечивает примерно такую же интенсивность съема металла, как и абразивное полотно. Но при полировании плотным потоком свободного абразива, вследствие отсутствия связки, а следовательно, и лишней сил трения, обильного охлаждения детали и абразива происходит незначительный нагрев поверхности детали. Благоприятный тепловой режим нового способа обработки позволяет увеличивать скорость вращения барабана и интенсифицировать процесс полирования. В наших экспериментах при скорости барабана 25 м/сек (рис.4) съем металла составлял 2,5 мкм/сек (без поверхностно активных веществ), с вводом в абразивную смесь олеиновой кислоты съем металла составлял более 3 мкм/сек.

В результате математической обработки экспериментальных данных получена зависимость съема металла от основных режимов полирования вида

$$\Delta D = 0,513 \cdot 10^{-3} (k + 1) t V_{\delta}^2, \quad (9)$$

где K - номер зернистости абразива в метрической системе;
 t - продолжительность обработки в сек;
 V_f - скорость барабана в м/сек.

Проверочные расчеты показали удовлетворительную адекватность рассчитываемого по формуле (9) и получаемого экспериментом съема металла.

Температурный режим поверхностного слоя детали исследовался с помощью искусственной нихром-константановой термопары с диаметром спая 0,25 мм. Термопара зажималась в блок между двумя плоскими стальными кольцами, на торцы которых наклеивались пластинки слюды. Собранный блок устанавливался на заторможенный шпиндель изделия и подвергался полированию при скорости барабана 10, 15 и 25 м/сек. Термопара подключалась к вибратору осциллографа Н700. Процесс нагрева поверхностного слоя детали фиксировался на пленке. Координаты точек кривой возбуждения ТЭДС измерялись при пятикратном увеличении.

Осциллограммы показали, что при полировании плотным потоком свободного абразива происходит незначительный нагрев полируемой поверхности - максимальное значение температуры ее нагрева при скорости барабана $V_f = 25$ м/сек не превышало 70°C . При таких значениях температур фазовые и структурные превращения в закаленных сталях происходить не могут. Указанная температура зафиксирована при невращающейся детали, когда значительно ухудшен теплообмен ее с абразивной смесью. В нормальных условиях полирования колец (при их вращении) температура полируемой поверхности, очевидно, будет еще ниже.

Низкотемпературное резание, присущее данному способу обработки, является хорошей предпосылкой для получения высоких физико-механических свойств поверхностного слоя деталей, а следовательно, и повышения их надежности и долговечности.

ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ КОЛЕЦ, ПОЛИРОВАННЫХ ПЛОТНЫМ ПОТОКОМ СВОБОДНОГО АБРАЗИВА

В первой серии экспериментов, связанных с исследованием чистоты поверхности, полировались цилиндрические кольца ($D = 60$ мм,

$\delta = 12$ мм) и прядильные кольца ($D = 50$ мм, $\delta = 10$ мм), подвергнутые нитроцементации и закалке до твердости *HR* C60 с исходной шероховатостью $\nabla 5$. Измерение шероховатости и запись профилограмм, до и после обработки, производились на приборе "Калибр ВЭИ". Обработка велась электрокорундом нормальным зернистостью 32 при $V_{\delta} = 18$ м/сек; $V_{\partial} = 50$ м/мин. В течение 18+20 сек чистота поверхности улучшалась с $\nabla 5$ по $\nabla 8$ класс. Дальнейшая обработка шероховатости не изменяла.

В следующей серии экспериментов полировались шлифованные цилиндрические кольца с исходной шероховатостью $\nabla 8$. В качестве абразива применялся электрокорунд нормальный зернистостью 32, 16, 8 и 4. Обработка велась на следующих режимах:

$V_{\delta} = 15$ м/сек; $V_{\partial} = 50$ м/мин; $t = 20$ сек. Результаты экспериментов приводятся в табл. 2.

Таблица 2

Размеры зерен основной фракции K мкм	Параметр шероховатости R_a							Класс чистоты поверхности
	Исходная шероховатость	Шероховатость после полирования					Среднее значение	
400-320	0,58	0,72	0,66	0,74	0,74	0,76	0,72	7в
200-160	0,58	0,39	0,40	0,36	0,38	0,38	0,38	8в
100- 80	0,58	0,22	0,20	0,22	0,22	0,24	0,19	9б
50- 40	0,58	0,11	0,11	0,12	0,09	0,12	0,10	10б

Как следует из приведенных данных, с уменьшением размера зерна в два раза, параметр шероховатости поверхности R_a уменьшается примерно на один класс; величина шероховатости связана с размером зерна соотношением

$$R_a = \left(\frac{1}{400} \div \frac{1}{500} \right) K. \quad (10)$$

Исследование влияния скорости вращения барабана на шероховатость поверхности проводилось при обработке абразивом зернис-

тостью 16, 8 и 4. Эксперименты показали, что с увеличением скорости барабана шероховатость поверхности увеличивается (рис.6), так как большей скорости соответствует большая кинетическая энергия абразивного зерна и снимается более крупная стружка. Скорость вращения барабана в меньшей степени влияет на шероховатость поверхности при мелкозернистом абразиве, что можно объяснить большим демпфирующим влиянием жидкости на мелкий абразив.

Таким образом, при одной и той же зернистости абразива, в зависимости от скорости вращения барабана, можно получать различную шероховатость поверхности.

Закономерность изменения шероховатости в зависимости от времени полирования характеризуется кривыми, приведенными на рис.5. Наиболее интенсивное снятие гребешков шероховатостей происходит в первые 5+10 сек, после чего процесс нивелирования поверхности идет медленнее. В процессе полирования быстро удаляются вершины гребешков неровностей, но затем абразивные зерна сами создают определенную шероховатость, зависящую от зернистости абразива, т.е. в данном процессе абразивной обработки значительное влияние на шероховатость поверхности оказывает геометрический фактор - размеры и форма режущих кромок зерна.

Выполненные исследования показывают, что изменение скорости вращения обрабатываемой детали в интервале 100+200 м/мин не оказывает влияния на шероховатость поверхности. Дальнейшее увеличение скорости детали в интервале 200+500 м/мин приводит к увеличению шероховатости примерно на один разряд.

В данном способе полирования целый ряд важнейших функций выполняет жидкость. С помощью жидкости абразив эжектируется в барабан и создается его циркуляция между барабаном и контейнером. Наличие жидкостной пленки на поверхности металла оказывает демпфирующее действие, благодаря которому процесс резания протекает "мягко", а также уменьшает трение при диспергировании металла абразивным зерном. Жидкость может быть носителем химически активных веществ, облегчающих воздействие частиц абразива на обрабатываемую поверхность.

В наших исследованиях в качестве жидкости применялась вода и эмульсии, содержащие олеиновую кислоту. Наиболее чистая поверх-

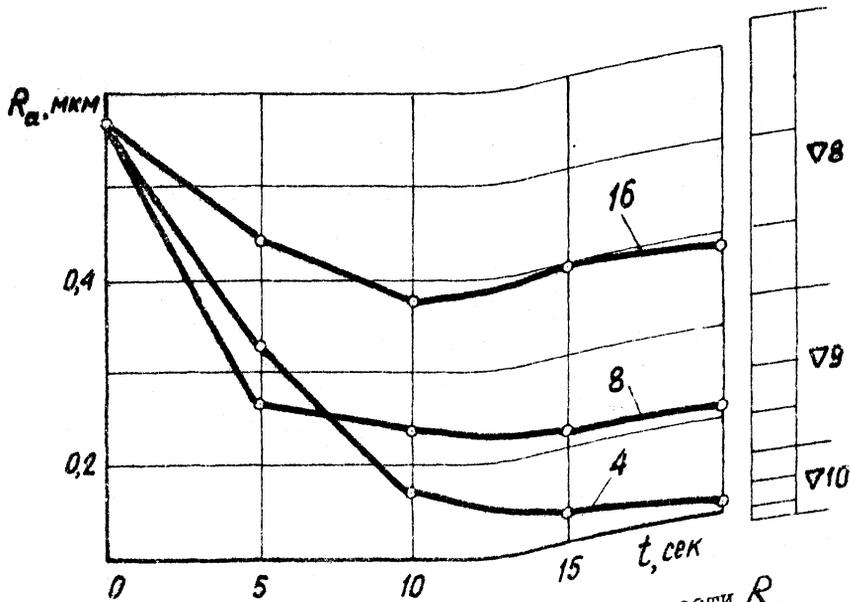


Рис. 5. Зависимость параметра шероховатости R_a от времени обработки t и зернистости абразива

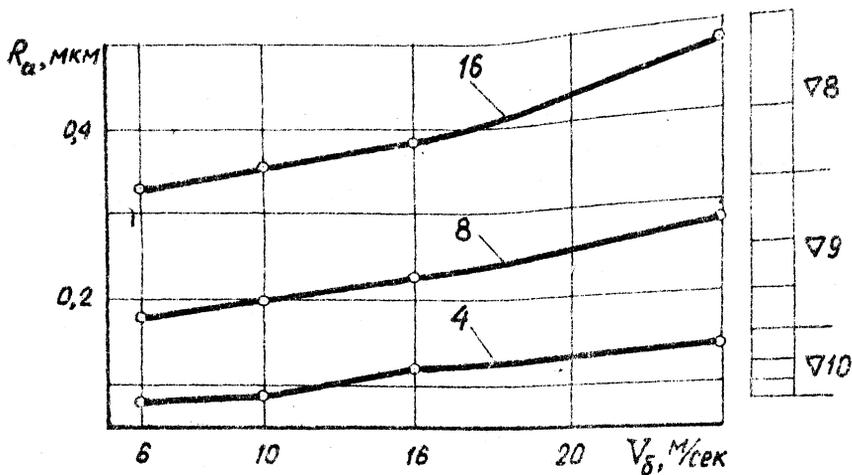


Рис. 6. Зависимость параметра шероховатости R_a от скорости вращения барабана V_g и зернистости абразива

ность была получена при применении керосина с 2,5% олеиновой кислоты: поверхность, полированная абразивом зернистостью 4, имела ∇ II класс. Однако применение керосина может быть допустимо при наличии хорошей индивидуальной вытяжной вентиляции, так как, расширяясь при эжекции, керосин опасен в противопожарном отношении. Применение более вязких жидкостей, таких, как машинное или веретенное масло, в установках подсобного рода нецелесообразно, так как процесс резания достаточно "тонкий"; кроме того, снижение текучести смеси приводит к нарушению равномерности ее эжекции.

При измерении шероховатости поверхности с помощью приборов, отдельные глубокие царапины не могут заметно изменить ее численное выражение, тем не менее они существенно снижают физико-механические свойства поверхности. В частности, они могут явиться началом усталостного выкрашивания металла. Известно, что вредное действие одного концентратора напряжения сильнее, чем нескольких, расположенных рядом.

Как показали микроскопические исследования, поверхности, полированные в плотном потоке свободного абразива, характеризуются множеством мелких, коротких и часто расположенных штрихов. Такие поверхности выгодно отличаются от поверхностей, полированных абразивным полотном, так как у последних на общем гладком фоне просматриваются глубокие и длинные риски от абразивных зерен, не успевающих полностью раздробиться и отделиться от полотна.

При полировании абразивным полотном шероховатости поверхности заглаживаются и значительно уменьшаются за счет частичного размягчения металла и размазывания его вместе с продуктами отхода по поверхности детали. Уменьшение высоты шероховатости поверхности таким способом нельзя рассматривать как положительное явление.

Низкотемпературный процесс полирования плотным потоком свободного абразива не приводит к размягчению поверхности и не сопровождается явлением размазывания металла по полируемой поверхности.

В результате такой обработки поверхностный слой деталей получает значительный упрочняющий наклеп, степень которого на 15-18% выше, чем при полировании абразивным полотном. Повышение

микротвердости происходит вследствие пластической деформации и диспергирования металла, протекающих без существенного нагрева.

Исследования показали, что на поверхности образцов, обработанных плотным потоком свободного абразива, возникают сжимающие остаточные напряжения. Величина этих напряжений выше, чем в образцах, полированных абразивным полотном.

При полировании деталей данным способом, как и при других видах финишной обработки свободным абразивом, овальность, конусность и другие дефекты макрогеометрии не могут устраняться, так как инструмент не имеет жесткой механической связи со станком.

Своеобразие метода обработки указывает на целесообразность постановки вопроса о сохранении геометрической формы фасонного профиля колец. Нарушение формы может быть вызвано неравномерностью съема металла вследствие погружения разновысоких участков профиля в поток абразива на различную глубину h .

Полученные экспериментом зависимости $\Delta D = f(h)$, построенные для различных значений V_s и K , линейны и монотонны. На основании этих данных радиальная неравномерность съема металла определяется выражением

$$\Delta R = \frac{\Delta D_2 - \Delta D_1}{2} = (h_2 - h_1) ct, \quad (II)$$

где h_2 и h_1 - наибольшая и наименьшая глубина погружения контура детали в поток абразива;
 c - угловой коэффициент функции $\Delta D = f(h)$;
 t - продолжительность полирования.

Расчеты и экспериментальная проверка показали, что при полировании прядильных колец данным способом неравномерность съема металла в несколько раз меньше допускаемых отклонений на точность формы профиля.

В случае обработки деталей с более высокой точностью соотношения радиальных размеров, неравномерность съема металла можно компенсировать путем коррекции исходного профиля.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ.
ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПРОЦЕССА
ОБРАБОТКИ

Как показали эксперименты, полирование плотным потоком свободного абразива можно выполнять также и на устройствах с горизонтальной компоновкой шпинделей барабана и изделия, причем для этих целей могут быть использованы готовый привод и несущие конструкции токарных и токарно-револьверных станков. Возможна одновременная обработка нескольких деталей. Простота модернизации станков делает данный способ обработки доступным как для мелких, так и для крупных предприятий.

Качественные и экономические характеристики полирования в значительной степени зависят от выбора режима обработки и зернистости абразива.

Зернистость абразива и число переходов определяются как исходной шероховатостью, так и шероховатостью, которую необходимо иметь после отделки. Так как прядильные кольца перед полировкой имеют шероховатость $\nabla 5$, обработку целесообразно вести в два перехода. Первый - абразивом зернистостью 32, до получения шероховатости $\nabla 7$, и второй - абразивом зернистостью 4, до получения окончательной шероховатости $\nabla 10$.

Скорость барабана и продолжительность обработки назначаются с учетом интенсивности съема металла. При зернистости абразива 32 процесс резания идет достаточно интенсивно при скорости барабана 15 м/сек. За 12+15 сек на этом переходе удаляется слой в 25 мкм. Второй переход целесообразно вести с более высокой скоростью вращения барабана - 25+26 м/сек. В течение 15 сек на втором переходе удаляется 12+15 мкм металла.

Ниже приводятся некоторые технико-экономические показатели процессов полирования прядильных колец плотным потоком свободного абразива и абразивным полотном.

Показатели процесса обработки	Полирование абразивным полотном	Полирование плотным потоком свободного абразива
Интенсивность съема металла, мкм/сек:		
предварительное	1,5	3,3
окончательное	1,0	1,8
Степень автоматизации процесса обработки	-	0,47
Штучное время обработки, мин	1,5	0,33
Разряд оператора	3	2
Производительность обработки, %	100	455
Микротвердость полированной поверхности, Мн/м ²	8300 + 8400	8900 + 9000
Остаточные напряжения сжатия в поверхностном слое металла, Мн/м ²	50 + 70	180 + 200

Результаты исследований использованы на Пензенском машиностроительном заводе, на Рижском заводе технологической оснастки и Пермском моторостроительном заводе.

Метод обработки колец сложного профиля плотным потоком свободного абразива демонстрировался на ВДНХ СССР 1970-71 гг.

ВЫВОДЫ

I. Анализ существующих методов отделки колец сложного профиля показал, что производительная и качественная обработка их обычными абразивными инструментами затруднительна. Наиболее перспективными методами их отделки являются методы, основанные на применении свободных абразивных зерен.

2. Изучение различных методов обработки свободным абразивом указало на целесообразность применения для отделки кольцевых поверхностей быстровращающейся, уплотненной абразивной смеси. С целью стабилизации процесса резания и улучшения качества отделки предложен и исследован новый способ обработки, главной отличительной особенностью которого является непрерывное обновление плотной абразивной смеси в зоне резания посредством её циркуляции между барабаном и контейнером.

3. На основании теоретических исследований выведена аналитическая зависимость для определения основных размеров барабана и скорости его вращения, при которых возможно формирование плотного потока абразивной смеси в установках вертикального типа.

4. Определена теоретически и подтверждена экспериментально зависимость сил резания от режимов работы установки. Определено влияние основных технологических режимов на мощность, потребляемую установкой.

5. Установлено, что плотный, обновляющийся кольцевой поток свободного абразива обладает высокой и стабильной режущей способностью. Получена математическая зависимость интенсивности съема металла от режимов полирования.

6. Измерения температуры поверхностного слоя деталей показали, что несмотря на более интенсивный, по сравнению с абразивным полотном, съем металла, процесс резания протекает при низких температурах, исключаящих фазовые и структурные превращения в закаленных сталях.

7. Микроскопические исследования полированных поверхностей показали, что свободные абразивные зерна, удаляя, в совокупности, значительный слой металла, в отдельности производят тончайшее резание-царапание с меньшей степенью разрушения поверхности, чем при полировании абразивным полотном. Установлена степень влияния зернистости абразива, скорости барабана и продолжительности обработки на шероховатость поверхности.

8. Поверхностный слой металла в процессе обработки данным способом получает упрочняющий наклеп, на что указывает увеличение микротвердости и переход растягивающих напряжений в сжимающие.

9. Исследования показали, что плотный поток свободного абразива имеет широкие технологические возможности. Он позволяет выполнять как грубую зачистку и удаление заусенцев, так и тонкое полирование до IO-II классов чистоты.

10. На основании выполненных исследований разработаны рекомендации по созданию промышленных установок и выбору режимов обработки.

При обработке прядильных колец данным способом производительность труда возрастает в 4,5 раза. Значительно улучшаются условия труда полировщиков.

Результаты выполненных исследований докладывались:

1. На научно-технических конференциях профессорско-преподавательского состава Пензенского политехнического института совместно с работниками промышленности по итогам научно-исследовательских работ за 1969-1971 гг.

2. На научно-технической конференции "Совершенствование абразивного инструмента и методов его эксплуатации". Волжск - ВНИИМШ, 1969 г.

Содержание диссертации отражено в следующих печатных работах и изобретениях:

1. Колесов Б.К. Способ обработки изделий. Авторское свидетельство № 252114, 30.VI.69.

2. Колесов Б.К. Полирование колец сложного профиля. - "Вестник машиностроения", 1970, № 10.

3. Яцерицын П.И., Колесов Б.К. Устройство для полирования деталей. - "Машиностроитель", 1971, № 10.

4. Колесов Б.К. Отделка деталей плотным потоком свободного абразива. Пензенский ЦНТИ, информационный листок № 133-72, 23.VI.72.

5. Яцерицын П.И., Колесов Б.К. Интенсификация финишной обработки деталей свободным абразивом. - "Промышленность Белоруссии", 1972, № 11.