

М130593

Министерство высшего и среднего специального образования СССР

**Московское
ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени
высшее техническое училище имени Н. Э. Баумана**

**НА ДОМ
НЕ ВЫДАЕТСЯ**

В. Н. КУРКОВИЧ

**ИССЛЕДОВАНИЕ
РЕЖУЩИХ СВОЙСТВ МАШИННЫХ РАЗВЕРТОК
ИЗ НОВЫХ МАРОК БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ
ПРИ ОБРАБОТКЕ КОНСТРУКЦИОННОЙ СТАЛИ 45**

Специальность 05.171 — Теория обработки резанием

**Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Москва

1971



Куркович В.Н. Исследования

Работа выполнена в Московском высшем техническом училище им. Н. Э. Баумана.

Научный руководитель — д. т. н., проф. Грановский Г. И.

Официальные оппоненты:

доктор техн. наук Лашнев С. И.

канд. техн. наук, доцент Добронович К. В.

Ведущее предприятие — Винницкий инструментальный завод.

Автореферат разослан «...» 1971 г.

Защита диссертации
на заседании Со
зация производст

Отзывы на а
печатью, проси
2-ая Бауманская

С диссертаци

М130593

Развертывание является одним из наиболее распространенных способов обработки точных отверстий и занимает видное место в технологии машиностроения. Поэтому исследование разверток, направленное на улучшение их качества, увеличение стойкости весьма актуально.

Настоящая работа, посвященная указанному исследованию, была выполнена на кафедре "Теория механической обработки и инструмента" МВТУ им. Н.Э. Баумана в период с 1968 по 1971 г.

Диссертация состоит из семи глав и заключения, изложенных вместе с иллюстрациями на 140 страницах машинописного текста.

I

В первой главе рассмотрены результаты исследований процесса развертывания, выполненные до настоящего времени отечественными и зарубежными исследователями.

М130593
З
650611
Хотя в ряде случаев выводы авторов носят противоречивый характер, достаточно полно изучены многие вопросы, связанные с конструкцией и геометрией инструмента и его эксплуатацией, помогающие познанию закономерностей процесса развертывания и его практическому применению при обработке точных отверстий. Однако проведенные исследования относятся к разверткам, изготовленным из углеродистых и легированных сталей, твердого сплава и быстрорежущей стали марки P18.

В настоящее время отечественной металлургией создана гамма новых марок быстрорежущей стали, свойства которых определяются добавками молибдена, кобальта, ванадия и различным содержанием вольфрама.

Широкое применение новых марок быстрорежущей стали для изготовления инструментов, в том числе и разверток, затруднено из-за отсутствия научно-обоснованных рекомендаций, касающихся области их рационального использования. Одновременно с этим изменение содержания составляющих в новых марках быстрорежущей стали по сравнению с P18 оказывает влияние не только на режущие свойства инструмента, но и на обрабатываемость его шлифовальными кругами, как правило, ухудшая ее.

Применение шлифовальных кругов из нового синтети-

метры разверток имели следующие значения: $\alpha = 0^\circ$; $\gamma = 0^\circ$;
 $\varphi = 15^\circ$; $f = 0,2$ мм; $z = 6$.

Отклонение угловых параметров от установленной величины допускалось $\pm 0^\circ 30'$.

Контроль главного угла в плане (φ) осуществлялся на универсальном инструментальном микроскопе УИМ-21, а заднего (α) и переднего (γ) углов - методом координат с помощью индикаторов при закреплении развертки в оптической делительной головке.

Радиальное биение зубьев на режущем и калибрующей частях развертки допускалось не более 0,005 мм, а хвостовика - не более 0,01 мм по отношению к оси развертки и контролировалось на приборе "Цератест" (цена деления 0,001 мм); настройка прибора производилась по контрольному валику. Характер и величина износа определялись фотографированием задней поверхности режущей части каждого из зубьев развертки на специальной установке (с применением МФН-II), а величина радиуса округления лезвия определялась фотографированием округления на специальной установке ЧТЗ с использованием метода светового отражения, с последующим измерением по фотографии на проекторе. Диаметр разверток по калибрующей части измерялся при помощи рычажного микрометра (цена деления 0,002 мм).

Исследование режущих свойств разверток проводилось при обработке отверстий в стали 45 ($\sigma_s = 66,4$ кг/мм²; HB=179). Заготовки размером 300x200x30 мм сначала сверлились до диаметра 9,8 мм, затем зенкеровались до диаметра 10 мм. Контроль точности размеров отверстия производился при помощи индикаторного нутромера фирмы "Karl Zeiss" (предел измерения 2-II мм, цена деления 0,002 мм). Шероховатость поверхности вскрытых отверстий измерялась профилографом-профилометром "Калибр-201". Макроструктура этих поверхностей фотографировалась при помощи МФН-2 (увеличение x 20).

Исследования были выполнены на вертикально-сверлильном станке модели 2А-125. Развертки крепились в специальном качающемся патроне. Жесткое крепление заготовок осуществлялось в специальном приспособлении с делительным уст-

ройством, обеспечивающим перемещение рамки с заготовкой в двух взаимно-перпендикулярных направлениях на строго определенную величину.

На приборе ПМТ-3 с нагрузкой 50 г определялась микротвердость по сечению развертки от режущей кромки к центру.

Шероховатость заточенных поверхностей разверток измерялась на оптико-механическом профилографе конструкции МВТУ им. Н.Э. Баумана.

На этом же приборе измерялась шероховатость лезвий с использованием специальной алмазной иглы-лопатки.

На приборе УРС-50 на Со - излучении определялось содержание остаточного аустенита в поверхностном слое разверток после заточки.

Микрофотографии структуры разверток делались на металломикроскопе МИМ-8М при увеличении $\times 500$.

При определении динамических характеристик процесса развертывания использовалась аппаратура, которая состояла из: динамометра конструкции МВТУ им. Баумана, в котором применены проволочные датчики на кольцевой упругой системе с базой 20 мм и сопротивлением 200 ом; четырехканального тензометрического усилителя; млейфового осциллографа Н-700.

III.

В третьей главе описывается методика проведения исследований и обработки полученных данных. Машинные развертки, изготовленные из девяти марок быстрорежущей стали, были разделены на три группы по входящим в них основным легирующим элементам.

1 группа - марки быстрорежущей стали с различным содержанием вольфрама и молибдена (Р18, Р12, Р9, Р6М3);

2 группа - с повышенным содержанием кобальта (Р9К10 и Р9К5);

3 группа - с повышенным содержанием ванадия (Р14Ф4, Р9Ф5 и Р10К5Ф5).

Опыты проводились при скорости резания $2V = 6 - 43,5$ м/мин, подача $S = 0,28 - 0,62$ мм/об и глубина $t =$

= 0,1 мм, с применением в качестве СОЖ 5% раствора эмуль-
сола НГЛ-205, СТУ 36-13-772-63.

С целью выявления закономерности протекания изно-
са разверток периодически после обработки 5-10 отверстий
фиксируются и замерялись величины износа элементов раз-
вертки. В процессе работы развертки наиболее значительной
износу подвергается задняя поверхность в конце режущей
и начале калибрующей части при одновременном увеличении
округления лезвия; изнашивается также ленточка на калиб-
рующей части, что сопровождается незначительным уменьше-
нием диаметра развертки. Износ разверток из всех исследо-
ванных марок быстрорежущей стали носит идентичный харак-
тер; разница только в интенсивности протекания его при
одинаковых условиях резания. Износ имеет вид вытянутого
вдоль режущего лезвия треугольника с максимальной высотой
в месте сопряжения режущего и калибрующего лезвия зуба
развертки. За расчетную величину износа, соответствующую
данному периоду с начала работы развертки, принималось
среднее арифметическое значение из произведенных замеров
на каждом зубе развертки в месте наибольшего его значения.

В результате соответствующей обработки построены
кривые износа задней поверхности разверток из всех иссле-
дованных марок быстрорежущей стали в зависимости от длины
пути резания при различных скоростях резания, которые опи-
саны уравнением

$$h_z = C \cdot L^m$$

где

h_z - износ задней поверхности зуба развертки в
мм;
 L - длина пути резания в м;
 C, m - постоянные, зависящие от конкретных условий
эксперимента.

В интервале скоростей резания от 6 до 17,4 м/мин
интенсивность нарастания износа задней поверхности умень-
шается, а в интервале скоростей от 17,4 до 43,5 м/мин -
увеличивается.

Различная величина износа, являющаяся следстви-

ем длины пути резания и отражающая условия резания, определяет точность размера и шероховатость поверхности отверстия. По достижении износа задней поверхности, равного 0,15 мм, обрабатываемые отверстия соответствуют 2-3 классам точности и 6 классу чистоты.

Дальнейшее возрастание h_z до 0,2 мм вызывает снижение точности до 3-4 класса, а шероховатости до 4 класса чистоты. На основании изложенного за критерий затупления была принята величина $h_z = 0,15$ мм.

Истирание калибрующей части, сопровождающееся уменьшением диаметра, характеризует способность материала развертки сопротивляться износу и может быть выражено величиной размерного износа калибрующей части (U_o) при прохождении определенной длины пути резания, например 1000 м. Если d_p - диаметр неизношенной развертки в мм, d_p' - диаметр развертки в мм после прохождения пути 1000 м, тогда

$$U_o = \frac{d_p - d_p'}{2} \cdot 1000 \text{ мк.}$$

Сравнительная оценка размерного износа разверток из различных марок быстрорежущей стали может быть выражена коэффициентом относительного износа K_o , который определяется как отношение U_o для данной марки быстрорежущей стали к U_o быстрорежущей стали P18:

$$K_o = \frac{U_o(P12 \text{ или } P9 \text{ или } \dots)}{U_o(P18)};$$

При определении точности каждое отверстие измерялось в трех сечениях в двух взаимноперпендикулярных направлениях. Обработка результатов измерений погрешностей отверстий проводилась с использованием методов математической статистики.

Подсчитывались средние арифметические значения и средние квадратичные отклонения разбивки, овальности, конусности и строились точечные диаграммы. Проверка репрезентативности выборок проводилась способом последовательных разностей. Расхождение в величинах

дисперсий оценивалось по критерию Фишера, средних - по критерию Стьюдента.

Оценка качества затачивания и шлифования разверток из новых марок быстрорежущей стали кругами из электрокорунда и кубического нитрида бора осуществлялась путем сопоставления величин:

- шероховатости граней и лезвий;
- радиуса округления лезвий;
- микротвердости материала рабочей части;
- содержания остаточного аустенита в поверхностном слое.

IV.

В четвертой главе представлены результаты экспериментального исследования режущих свойств машинных разверток, изготовленных из новых марок быстрорежущей стали, заточенных и шлифованных кругами из электрокорунда.

Построенные графические зависимости стойкости разверток от скорости резания в координатах $T-v$ имеют немонотонный горбообразный характер. От скорости резания 6 до 17,4 м/мин идет непрерывное возрастание стойкости. При дальнейшем увеличении скорости резания стойкость сначала падает значительно, а затем интенсивность падения замедляется. Такой характер зависимости, имевший место для разверток из всех исследованных марок быстрорежущей стали, не позволяет получить их адекватное математическое описание общепринятой степенной функцией $v = \frac{C_T}{T^m}$ и поэтому они аппроксимированы рядами Фурье вида:

$$T = \alpha_0 + \alpha_1 \cos x + \dots + \alpha_n \cos nx + \beta_1 \sin x + \dots + \beta_n \sin nx$$

где $\alpha_0, \alpha_1, \dots, \alpha_n, \beta_1, \dots, \beta_n$ - коэффициенты ряда, отражающие влияние на стойкость различных условий работы, значение которых подсчитаны для разверток из всех исследованных марок быстрорежущей стали.

Построенная зависимость стойкость-скорость, но в координатах $vT-v$, где vT - характеризует

суммарный путь резания или количество обработанных отверстий за период стойкости, носит также экстремальный характер, но максимальное количество обработанных отверстий достигается при несколько более высокой скорости резания, чем максимальная стойкость в минутах. В отличие от предыдущей зависимости ($T - v$), влево имеем значительно более крутое падение, чем вправо от экстремума. Сравнение полученных зависимостей показывает, что стойкость инструмента в минутах не всегда является наилучшим показателем эффективности его использования, более показательной будет стойкость, выраженная числом обработанных отверстий или суммарным путем резания.

Графические и математические выражения полученных стойкостных зависимостей показывают, что наибольшую стойкость во всем исследованном диапазоне скоростей резания и подачи имеют развертки из быстрорежущей стали с повышенным содержанием ванадия (P14Ф4, P9Ф5, P10K5Ф5), а наименьшую - из стали P12.

В таблице I представлены значения коэффициентов относительного износа (K_o) разверток из подвергавшихся исследованию марок быстрорежущей стали, подтверждающие наиболее высокую сопротивляемость износу разверток из быстрорежущей стали с повышенным содержанием ванадия.

Исследование точности обработанных отверстий показало, что изменение скорости резания не оказывает существенного влияния на меру рассеивания разбивки, овальности и нецилиндричности, а средняя величина этих же параметров изменяется существенно.

В зоне скоростей от 6 до 9 м/мин имеет место минимальная разбивка, при $v = 17,4$ м/мин - разбивка максимальная. Дальнейшее увеличение скорости резания до 43,5 м/мин приводит к незначительному снижению разбивки по сравнению с той, которая соответствовала скорости

$v = 17,4$ м/мин.

Таблица I

Марка быстро- режущей стали	Скорость резания v				в м/мин			
	6				8,7	17,4	30,4	43,5
	подача S				в мм/об			
	0,28	0,36	0,48	0,62	0,48			
Коэффициент относительного износа K_0								
PI2	1,33	1,37	1,40	1,54	1,70	1,83	1,07	1,24
P9	1,11	1,12	1,14	1,15	1,08	1,08	0,84	0,88
P6M3	0,59	0,56	0,57	0,50	0,66	0,66	0,61	0,58
P9KI0	0,59	0,57	0,60	0,61	0,70	0,66	0,55	0,54
P9K5	0,66	0,66	0,67	0,65	0,75	0,75	0,62	0,60
PI4Ф4	0,22	0,22	0,20	0,19	0,21	0,25	0,18	0,20
P9Ф5	0,40	0,40	0,38	0,41	0,42	0,42	0,35	0,38
PIOK5Ф5	0,55	0,56	0,53	0,50	0,62	0,58	0,42	0,44

Шероховатость поверхности отверстий при $v = 6-9$ м/мин соответствовала 7-9 классам чистоты, при $v = 17,4$ м/мин - высота микронеровностей максимальная (4-5 класс чистоты). В интервале скоростей $v = 20 - 43,5$ м/мин класс чистоты такой же, как и при $v = 17,4$ м/мин.

При чистовом развертывании оптимальными являются скорости резания до 9 м/мин, а при черновом - до 20 м/мин, в зависимости от требований, предъявляемых к отверстиям.

В пятой главе приводятся результаты исследования эффективности шлифования и затачивания разверток из различных марок быстрорежущей стали кругами из КНБ. Стойкостные исследования, проведенные аналогично описанным в главе IV, развертками из девяти марок быстрорежущей стали, абразивная обработка которых производилась кругами из КНБ, показали, что зависимость стойкость-скорость имеет такой же немонотонный характер, как и для разверток, обработанных кругами из электрокорунда, но интенсивность протекания износа различна. Данные зависимости аппроксимированы тригонометрическими полиномами.

Сопоставление влияния характера абразивной обработки разверток на их стойкость производилось при значениях

стойкости, соответствующей величинам износа задней поверхности 0,07; 0,10 и 0,15 мм, для которых построены зависимости стойкость-скорость.

Установлено, что развертки из всех исследованных марок быстрорежущей стали с абразивной обработкой кругами из КНБ имеют во всем диапазоне скоростей более высокую стойкость, чем развертки с абразивной обработкой кругами из электрокорунда. При величине износа задней поверхности, равной 0,07 мм, наибольшее повышение стойкости разверток от абразивной обработки кругами из КНБ наблюдается при минимальном значении скорости резания и составляет 26-28%, в то время, как при максимальном значении оно не превышает 12%. При $h_3 = 0,10$ мм повышение стойкости как при U_{min} , так и при U_{max} находится в пределах 20-27%. При $h_3 = 0,15$ мм наибольшее повышение стойкости (23-28%) наблюдается при U_{max} , а наименьшее (6-7%) - при U_{min} . В зоне скоростей резания 16-20 м/мин для разверток из всех исследованных марок быстрорежущей стали стойкость повышается незначительно (2-3%). Абразивная обработка разверток кругами из КНБ приводит к уменьшению интенсивности истирания цилиндрической части их, по сравнению с абразивной обработкой кругами из электрокорунда. Отношение размерных износов разверток с различной абразивной обработкой при $U = 6$ м/мин $S = 0,48$ мм/об характеризуется следующими данными:

Таблица 2.

Марка стали	PI8	PI2	P9	P6M3	P9K10	P9K5	PI4Ф4	P9Ф5	PIOK5Ф5
U_0 (КНБ)	0,9	0,95	0,91	0,88	0,85	0,9	0,83	0,83	0,87
U_0 (ЭГ)									

Проведенные исследования по выявлению влияния абразивной обработки на:

- шероховатость граней и лезвий;

- величину радиуса округления лезвий;
- изменение микротвердости по сечению от поверхности, подвергнутой абразивной обработке, к центру;
- изменение исходной структуры закаленной быстрорежущей стали в поверхностном слое,

показали, что

1. поверхности рабочей части разверток, обработанные кругами из КНБ, имели 9 класс чистоты, а шероховатость поверхностей, обработанных кругами из электрокорунда, на 1-2 класса ниже;
2. лезвия разверток, обработанных кругами из КНБ, имели высоту микронеровностей на 1-1,5 мк меньше, чем развертки, обработанные кругами из электрокорунда;
3. величина радиусов округления лезвий разверток, обработанных кругами из КНБ, как это видно из таблицы 3, меньше чем при обработке электрокорундом.

Таблица 3.

Радиус округления лезвий	ρ мк								
	PI8	PI2	P9	P6M3	P9KI0	P9K5	PI4Ф4	P9Ф5	PI0 K5Ф5
марка стали разверток									
обработка кругами из Э9	10	15	18	17	17	16	19	20	18
обработка кругами из КНБ	7	11	9	8	9	8	8	9	8

4. Микротвердость поверхностного слоя разверток из всех марок быстрорежущей стали, обработанных кругами из КНБ, выше микротвердости разверток, обработанных кругами из электрокорунда;
5. содержание остаточного аустенита в поверхностном слое после абразивной обработки кругами из КНБ во всех случаях меньше, чем после обработки кругами из электроко-

рунда.

VI.

В шестой главе изложены результаты динамометрических исследований при разворачивании, целью которых являлось выявление влияния марки быстрорежущей стали, используемой для изготовления разверток, а также вида абразивного материала, применяемого для затачивания и шлифования разверток, на осевую силу и крутящий момент. В результате исследования установлено, что:

1. величина осевой силы и крутящего момента не зависит от марки быстрорежущей стали, из которой изготовлена развертка;
2. заточка и шлифовка режущих элементов разверток кругами из КНБ снижает значение осевой силы по сравнению с обработкой кругами из электрокорунда;
3. зависимость между осевой силой и скоростью резания, а также между крутящим моментом и скоростью резания, имеет подобный характер и согласуется с общими закономерностями динамических характеристик при возрастании скорости резания;
4. изменение подачи не меняет характера зависимостей $P_{ос}-v$ и $M_{кр}-v$.

УП.

Седьмая глава посвящена экономическому обоснованию эффективности применения новых марок быстрорежущей стали для производства машинных разверток и их обработки шлифовальными кругами из кубического нитрида бора. Целесообразность использования той или иной марки быстрорежущей стали для изготовления разверток определяется не только эксплуатационными свойствами инструмента, но и совокупностью затрат, связанными с их изготовлением, включающими в себя и стоимость материала. В каче-

стве комплексного критерия оценки экономической эффективности применения той или иной марки быстрорежущей стали для изготовления разверток использована технологическая себестоимость обработки одного отверстия и стоимость работы одной минуты развертки.

В результате произведенных расчетов выявлено, что в зоне оптимальных режимов резания экономия от замены разверток из быстрорежущей стали Р18 другими марками составляет:

Таблица 4.

Марка быстрорежущей стали	Экономия от замены Р18 другими марками быстрорежущей стали в % при скоростях резания v в м/мин	
	6	17,4
Р14Ф4	26	18
Р9Ф5	15,4	10,02
Р10К5Ф5	13,0	3,94
Р6М3	7,5	5,2
Р9К10	0,67	2,46

Применение кругов из КНБ для затачивания и шлифования машинных разверток снижает удельные затраты, отнесенные к одной минуте работы развертки, и целесообразно для всех исследованных марок быстрорежущей стали.

Эффективность затачивания и шлифования кругами из КНБ максимальна на развертках, изготовленных из марок быстрорежущей стали Р14Ф4, Р9Ф5 и Р10К5Ф5.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанная методика исследования машинных разверток из различных марок быстрорежущей стали в широком диапазоне режимных факторов, заключающаяся

в изучении характера и закономерностей износа режущих элементов, их связи с параметрами, определяющими качество обработанного отверстия в оценке стойкости по времени и длине пути резания и их связи с качеством поверхностей режущих элементов в сочетании с большим количеством опытов, дает возможность получить достоверные данные о причинности явлений и на основании их анализа выработать следующие основные выводы и рекомендации:

1. У машинных разверток, вне зависимости от марки быстрорежущей стали износ режущих элементов имеет определенный характер, отличаясь только величиной. Наиболее значительному износу подвергается задняя поверхность в конце режущей и начале калибрующей части, определенная величина которого может служить надежным критерием затупления развертки.

2. Экспериментально выявлены и математически описаны зависимости стойкости от скорости резания для машинных разверток из всех исследованных марок быстрорежущей стали. Зависимость стойкости в минутах и длине пути резания от скорости резания имеет экстремальный характер и описать ее математически общепринятой степенной функцией невозможно. Данные зависимости с достаточной точностью аппроксимированы рядами Фурье.

3. Наиболее высокую стойкость во всем исследованном диапазоне режимов резания имеют машинные развертки, изготовленные из марок быстрорежущей стали с повышенным содержанием ванадия; по стойкости они располагаются в следующем порядке: P14Ф4, P9Ф5 и P10K5Ф5.

4. Добавка молибдена и кобальта к быстрорежущей стали незначительно улучшает режущие свойства машинных разверток по сравнению с режущими свойствами разверток из быстрорежущей стали марки P18.

5. Замена машинных разверток из быстрорежущей стали марки P18 развертками из быстрорежущей стали P14Ф4 обеспечивает повышение стойкости на 26%, а замена

развертками из стали марок Р9Ф5 и П10К5Ф5 - соответственно на 15-16% и 12-14%.

6. Применение шлифовальных кругов из КНБ для заточивания и шлифования рабочих элементов машинных разверток из различных марок быстрорежущей стали повышает их режущие свойства по сравнению с развертками, обработанными шлифовальными кругами из электрокорунда на 20-27%.

7. Увеличение работоспособности машинных разверток, заточенных и шлифованных кругами из КНБ, объясняется лучшими режущими свойствами этого абразивного материала, что выражается:

- а) в уменьшении шероховатости обрабатываемых поверхностей и лезвий;
- б) в уменьшении радиуса округления лезвий;
- в) в более высокой микротвердости поверхностей, подвергавшихся абразивной обработке;
- г) в уменьшении глубины и объема структурных превращений в поверхностном слое, выражаемых снижением процентного содержания остаточного аустенита.

Основные положения работы доложены автором:

- 1. На XV научно-производственной конференции ФПИ 24 апреля 1969 года.
- 2. На XVI научно-производственной конференции ФПИ 18 апреля 1970 года.
- 3. На заседании кафедры "Теория механической обработки и инструмента" МВТУ им. Н.Э. Баумана 27 мая 1970 года.
- 4. На научно-техническом семинаре кафедры "Теория механической обработки и инструмента" МВТУ им. Н.Э. Баумана 23 декабря 1970 года.

По теме диссертации опубликованы следующие работы:

- 1. "Исследование влияния добавок вольфрама, молибдена, кобальта и ванадия в быстрорежущей стали на стойкость инструмента".

Технический отчет по НИР № АМ-256. Раздел IV. МВТУ им. Н.Э. Баумана, 1970 г.

2. В.Н. Куркович "Стойкость разверток из новых марок быстрорежущей стали".

Вестник машиностроения № 1, 1971 г.

3. В.Н. Куркович, Е.Д. Баклунов, В.А. Самсонов

"Эффективность применения шлифовальных кругов из КНБ (альбора) при изготовлении и эксплуатации режущего инструмента".

Сб. "Абразивы" № 3. 1971 г.