

Министерство высшего и среднего специального
образования СССР

Челябинский политехнический институт
имени Ленинского комсомола

На правах рукописи

КОРЧИАРЬ Филипп Яковлевич

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА
ШЛИФОВАНИЯ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ПРОФИЛЬНЫХ
ПОВЕРХНОСТЕЙ ШИРОКИМИ АБРАЗИВНЫМИ
ЛЕНТАМИ

Специальность 05.02.08 - "Технология машиностроения"

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Челябинск - 1978

Читальный зал
«Профессиональный»

Работа выполнена в Уральском филиале Всесоюзного научно-исследовательского института абразивов и шлифования (УралВНИИАШ).

Научный руководитель - кандидат технических наук, доцент
ВЕРЕЗУЕ В.Н.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
СИПАЙЛОВ В.А.,
кандидат технических наук, доцент
СВИРИДОВ Ю.Н.

Ведущее предприятие - Харьковский турбинный завод им.
С.М.Кирова.

Защита состоится "___" 1978 года, в ___ часов,
в аудитории ___ на заседании специализированного совета
К-597/1 по присуждению ученой степени кандидата технических
наук в Челябинском политехническом институте имени Ленинского
комсомола.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Автореферат разослан "___" 1978 г.

Просьмите Вас и сотрудников Вашего учреждения, интересующихся
темой диссертации, принять участие в заседании совета. Отзывы
на автореферат в двух экземплярах, заверенных печатью, просим
направлять в специализированный совет К-597/1 по адресу:
454044, г.Челябинск, 44, проспект им.В.И.Ленина, 76, ЧПИ.

Ученый секретарь
специализированного совета
кандидат технических наук, доцент 
В.М.МЕНЬШАКОВ

20X

Актуальность проблемы. XXV съезд КПСС определил десятилетнюю пятилетку как пятилетку эффективности и качества. В материалах съезда отмечается, что одним из путей повышения качества продукции является механизация трудоемких технологических процессов.

Формирование профильных поверхностей, в частности, лопаток паровых турбин, занимает в общей доле механической обработки 26...31% и производится вручную абразивными кругами. Операция трудоемка, малопроизводительна, дает нестабильную по качеству поверхность и требует высокой квалификации рабочего. Механизация процесса, с применением в качестве инструмента широкой шлифовальной ленты, позволяет повысить производительность процесса в 15...20 раз и дает стабильное качество поверхности. Несмотря на прогрессивность этого процесса, эффективность его низка. Широкие шлифовальные ленты, применяемые для обработки профильных поверхностей, разрушаются. Это является основным препятствием интенсификации процесса и дает основание для предположения, что физико-механические свойства лент не отвечают требованиям операции.

Анализ отечественной и зарубежной литературы показал, что вопросы определения взаимосвязи физико-механических свойств лент с эксплуатационными показателями процесса профильного шлифования не имеют удовлетворительного решения. Кроме того, эффективному использованию широких шлифовальных лент препятствует отсутствие рекомендаций по выбору рациональных контактных нагрузок. Не ведутся так же исследования свойств контактных элементов, осуществляющих нагружение лент. Необоснованность режимов эксплуатации широких лент при профильном шлифовании резко снижает экономичность процесса.

Изучение этих вопросов является актуальной научной и практической задачей, решение которой послужит основой широкого внедрения прогрессивного и высокопроизводительного процесса обработки широкими шлифовальными лентами профильных поверхностей.

Цель работы. Повышение эффективности процесса шлифования крупногабаритных профильных поверхностей за счет улучшения физико-механических свойств широких шлифовальных лент, совершенствования узлов ленточношлифовальных станков и выбора режимов обработки.

Основные задачи. Для достижения поставленной

цели необходимо решить следующие задачи:

1. Разработать методику определения физико-механических свойств лент и исследовать их влияние на эксплуатационные показатели процесса профильного шлифования.
2. Исследовать изменения физико-механических и эксплуатационных свойств шлифовальных лент в зависимости от технологических параметров изготовления их рабочего слоя. Определить прочностные характеристики рабочего слоя при профильном шлифовании.
3. Исследовать влияние режимов на эксплуатационные показатели процесса шлифования широкими шлифовальными лентами профильных поверхностей.
4. Апробировать предложенные рекомендации и внедрить их в промышленность.

Научная новизна работы состоит в том, что предложены методы определения физико-механических свойств шлифовальных лент; исследована взаимосвязь физико-механических свойств лент с технологическими параметрами изготовления их рабочего слоя; оптимизированы параметры микрорельефа рабочего слоя по минимальной его напряженности и максимальной производительности процесса. Исследованы прочностные характеристики рабочего слоя и определены величины допустимых его нагружений в зависимости от геометрических параметров, механических свойств контактных элементов, профиля обрабатываемой детали и упругих свойств лент. Установлены факторы, вызывающие нерациональный износ рабочего слоя широких лент при профильном шлифовании и даны рекомендации по их устранению. Установлены закономерности влияния режимов на эксплуатационные показатели и предложен метод активного управления процессом эксплуатации широких лент при шлифовании профильных поверхностей.

Практическая ценность. Процесс шлифования крупногабаритных профильных поверхностей, к примеру, турбинных лопаток и широкие шлифовальные ленты для его осуществления внедрен на Харьковском турбинном заводе им. С. М. Кирова, Харьковском станкостроительном заводе, Дербентском заводе шлифовальных станков. Технологический процесс производства широких абразивных лент внедрен на Белгородском абразивном заводе и заложен в основу проекта участка широких лент на Запорожском абразивном комбинате. Результаты аналитических исследований рекомендованы для прочностных расчетов контактных и лентопротяжных узлов ленточношлифовальных станков.

Экономический эффект от внедрения составил 343 т.рублей.

Апробация. Основные положения диссертации докладывались: на научно-технических конференциях Челябинского политехнического института им. Ленинского комсомола (1973...1976 гг.), на научно-технической межобластной конференции "Управление качеством в механизированном производстве" (Пермь 1973, 1975 гг.), на областном семинаре "Школа передового опыта" (Челябинск 1974, 1976, 1977 гг.), на Всесоюзном научно-техническом семинаре "Оптимизация условий эксплуатации и выбора характеристик абразивного инструмента в машиностроении" (Челябинск, 1978 г.).

Публикация. По теме диссертации опубликовано 14 статей и получено 1 авторское свидетельство.

Объем работы. Диссертационная работа состоит из введения и шести глав, содержит 119 страниц машинописного текста, 17 таблиц, 38 рисунков, список литературы из 149 наименований и 6 приложений.

Методика исследований

Общая методика проведения исследований включала в себя обоснование и выбор объекта обработки, позволяющего варьировать деформируемостью ленты; оборудования, позволяющего осуществлять деформации ленты в динамическом состоянии; контрольно-измерительной и регистрирующей аппаратуры; методов обработки полученных экспериментальных данных.

При решении поставленных задач, в каждом конкретном случае разрабатывалась частная методика, которая являлась составной частью решаемого вопроса.

В процессе проведения работы для регистрации составляющих усилия резания использовался метод тензометрирования; исследование напряженного состояния рабочего слоя лент проводилось с использованием метода фотоупругости; экспериментальные работы велись с использованием метода активного планирования; при составлении nomogramm использовался метод линейной интерполяции функций многих переменных. Все данные, полученные в результате проведенных экспериментов, обрабатывались на ЭВМ.

Определение физико-механических свойств шлифовальных лент

Шлифовальная лента, работающая в условиях сложных деформаций, во избежание разрушения должна обладать определенными физико-механическими и, в первую очередь, упругими свойствами. Для их определения предложен комплекс критериев: величина упругой деформации, коэффициент поперечной деформации и определен модуль упругости.

Величина упругой деформации (φ) характеризует способность ленты упруго деформироваться (по толщине) под действием контактного нагружения. Методология определения ее величины близка к реальному процессу нагружения лент контактной нагрузкой.

Исследования показали, что величина упругой деформации для различных образцов лент изменяется в пределах 12...64 мкм в интервале нагрузок 2...6 кгс/см² для каждого из исследуемых образцов. В зависимости от вида основы, метода ее обработки (аппретирования) величина упругой деформации изменяется от 12 до 40 мкм; зернистость шлифовального материала на величину влияет незначительно, хотя наблюдается некоторая тенденция к ее уменьшению с увеличением зернистости; при применении в качестве связки синтетических смол вместо мездровых величина упругой деформации лент увеличивается в 1,5 раза.

Коэффициент поперечной деформации (μ) есть отношение поперечного сужения к продольному растяжению и характеризует деформируемость основы ленты под действием силы натяжения.

Величина коэффициента μ исследованных лент находится в интервале 0,23...0,46, между коэффициентом μ и величиной упругой деформации существует корреляционная связь, которая может быть использована для определения коэффициента μ по известной (измеренной) величине упругой деформации:

$$\mu = 0,13 (\varphi - 2,4)^{0,28}.$$

В дальнейших исследованиях коэффициент μ принят основным показателем, характеризующим физико-механические свойства шлифовальных лент.

Модуль упругости (E) - физическая постоянная, характеризующая жесткость шлифовальной ленты. Предложена зависимость для определения модуля упругости

$$E = \frac{5,2 m^2 \cdot N^{0,25}}{\varphi} \cdot K_c \text{ кгс/см}^2,$$

где $m = \frac{1}{\mu}$ - величина, обратная коэффициенту поперечной деформации;

K_c - поправочный коэффициент, учитывающий вид связки, равный 1,0 и 0,4 для синтетических и мездровых связок, соответственно.

Значения величин E для шлифовальных лент находятся в интервале $8,2 \dots 0,9 \times 10^4$ кгс/см².

Влияние механических свойств лент на процесс профильного шлифования

В этом разделе работы исследована неоднородность механических свойств (μ) по ширине ленты, влияние их на характер износа рабочего слоя и устойчивость работы ленты на валах ЛШМ (лентопротяжный механизм).

Особенностью шлифования широкими ($B > 300$ мм) лентами является неравномерный износ их рабочего слоя по ширине. При этом искается геометрический профиль обрабатываемой детали и снижаются (до 30...35%) стойкостные свойства лент. Неравномерность износа в зависимости от ширины ленты выражается уравнением:

$$\Delta = \Delta_{min} + 1,5 \cdot 10^{-3} B^k \text{ мм},$$

где Δ - нормальный износ ленты после 30 мин работы;

Δ_{min} - разность между высотой рабочего слоя при нормальном и повышенном износе;

K - показатель степени $K = 1,9$ (при $0,25 > \Delta > 0,22$);

$K = 2,3$ (при $0,22 > \Delta > 0,19$);

$K = 3,0$ (при $0,19 > \Delta > 0,15$).

Установлено, что причиной неравномерного износа является неравномерное распределение упругих свойств по ширине ленты, что вызвано спецификой производства шлифовальной шкурки. Неравномерность распределения упругих свойств может быть выражена зависимостью:

$$\mu = \mu_{min} + 0,4 \cdot 10^{-3} B^k,$$

где K - показатель степени равен 1,6 (при $0,46 > \mu_{min} > 0,37$), 1,8 (при $0,37 > \mu_{min} > 0,30$), 2,0 (при $0,30 > \mu_{min} > 0,22$);

μ_{min} - наименьший показатель поперечной деформации, характеризующий заданные свойства лент.

Неравномерность распределения упругих свойств вызывает неравномерное распределение сил натяжения по ширине ленты, которая выражается зависимостью

$$H_o = H_{o\max} - 0,046^k \quad \text{кгс/см},$$

где k — показатель степени равен 2,3 (при $7,0 \geq H_{o\max} \geq 5,5$); 2,8 (при $5,0 > H_{o\max} \geq 4,0$); 3,0 (при $4,0 > H_{o\max} \geq 3,0$);

$H_{o\max}$ максимальное заданное натяжение ленты.

Неравномерность распределения сил натяжения приводит к неравномерной деформации (утонению) ленты по ширине, что при постоянном усилии прижима вызывает неравномерное ее нагружение контактным давлением (от 1,5 до 3 раз) и приводит к неравномерному износу рабочего слоя ленты.

Неравномерная деформация, возникающая в связи с неравномерностью распределения упругих свойств по ширине ленты, приводит к неустойчивости ее работы на валах ЛПМ.

В результате исследования скоростей поперечного и продольного перемещения элемента, с учетом деформаций, возникавших на ведущем валу и упругих свойств ленты, установлена закономерность изменения углового коэффициента поперечного перемещения элемента β в зависимости от распределения упругих свойств (M) по ширине (B) ленты:

$$\beta = 1,42 e^{0,73 \cdot 10^{-2} M^{0,96} B^{2,27}} \quad \text{радиан.}$$

Это дало возможность определить величину и характер изменения сил, вызывающих поперечную неустойчивость ленты при неравномерном распределении упругих свойств по ее ширине (рис. I).

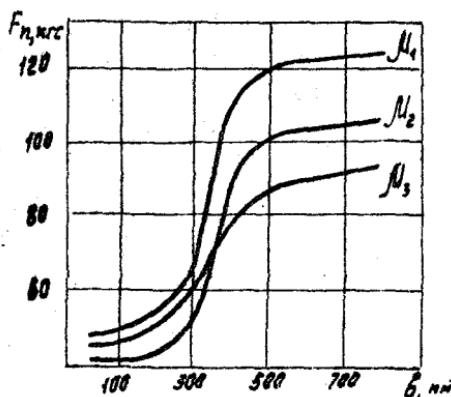


Рис. I. Зависимость сил поперечного перемещения (F_h) от ширины ленты (B):

$$M_1 = 0,32; M_2 = 0,23; M_3 = 0,46$$

Для лент шириной до 300 мм характерны равномерное распределение упругих свойств по ширине, незначительная величина силы F_t и устойчивость работы на валах ЛПИ. У лент выше 300 мм возрастают неравномерность упругих свойств по ширине и резко увеличивается значение силы F_t , что приводит к неустойчивости ленты на валах ЛПИ.

В связи с этим предложено разделение ленты шириной до 300мм обозначить термином "узкая", выше 300 мм "широкая".

Для устранения неравномерности износа и неустойчивости работы ленты предложена конструкция ЛПИ, работающая по принципу перераспределения и выравнивания упругих свойств ленты по ширине.

Исследование механического состояния рабочего слоя в зависимости от технологических параметров его изготовления

Наряду с упругими свойствами эффективность и долговечность использования ленты зависит от способности ее рабочего слоя сопротивляться разрушению. Установлено, что сопротивление разрушению зависит от величины сил, действующих на рабочий слой, от технологических параметров его изготовления – количества и глубины внедрения шлифовальных зерен в слой связки. При этом, величина и характер распределения напряжений, возникающих в слое, характеризует его физико-механическое состояние, что позволяет управлять вышеуказанными параметрами.

Исследования напряжений, проведенные с использованием оптически-поляризационного метода, позволили установить следующие закономерности их распределения в рабочем слое: при действии на слой сил натяжения $H \leq 7$ кгс/см величина напряжения слоя незначительна, но резко повышается при увеличении натяжения выше 7 кгс/см; при увеличении сил натяжения выше 12 кгс/см величина напряжения превосходит предел прочности рабочего слоя и приводит к его разрушению. Зависимость $\sigma = f(H)$ выражается уравнением

$$\sigma = 48 H^{1/6} \text{ кгс/см}^2$$

При приложении к шлифовальному зерну усилия резания, в слое связки возникают сжимающие и растягивающие напряжения, величина которых выражается зависимостью:

$$\sigma_p = 117.5 \beta^{1/4} \text{ кгс/см}^2$$

$$\sigma_{\text{сф}} = 26,9 \beta^{0,7} \text{ кгс/см}^2,$$

где $\beta = \frac{\rho_x}{\rho_y}$ - силовой динамический коэффициент.

Установлено, что растягивающие напряжения наиболее опасны для прочности крепления зерна в слое, так как, суммируясь с напряжениями от действия сил натяжения, могут превзойти предел прочности слоя связки и привести к его разрушению. Величина напряжений от действия сил резания в 2,5...3,0 раза меньше напряжений, возникающих в слое под действием сил натяжения.

Глубина внедрения зерна в слой больше 0,7 его наибольшего размера (d), равно как и меньше $0,3d$, вызывает резкий рост напряжений за счет уменьшения толщины слоя связки, удерживающего зерно. В то же время, чем больше величина выступающей части зерна из связки, тем выше его рабочий ресурс. Рекомендованной величиной глубины внедрения шлифовального зерна в слой по минимальной величине напряжений слоя и максимальному сохранению рабочего ресурса зерна является $(0,3...0,35)d$.

Характер распределения напряжений в слое зависит от количества зерна и их расположения (расстояния между ними) в слое связки.

Установлено, что при расстоянии между зернами, равном $0,3d$ (табл.2), напряжения между зернами и под зерном практически равны и слой работает как единое целое.

Таблица 2.

Расстояние между зернами ℓ , им	Напряжение под зерном σ_1 , кгс/см ²	Суммарное напряжение между зернами $\Sigma\sigma$, кгс/см ²	$\sigma_1 - \Sigma\sigma$, кгс/см ²
$0,1d$ — 0,04		55,7	-18,2
$0,2d$ — 0,08		43,5	-8,0
$0,3d$ — 0,12	37,5	37,7	0,2
$0,4d$ — 0,2		21,3	16,2
$0,5d$ — 0,24		17,1	20,4

В результате исследования влияния высоты выступания зерна (h_0) из связки на эксплуатационные показатели процесса (рис.2) установлено: с увеличением h_0 возрастает производительность шлифования для всех зернистостей, которая достигает максимальных значений при h_0 равном $0,6...0,68$ максимального размера зерна (рис.2 а).

Одновременно установлено, что при расстоянии между зернами, равном $0,3 \dots 0,4 d$ производительность максимальная, износ рабочего слоя носит характер истирания шлифовальных зерен, в пламе присутствует 45...50% мелкой фракции (рис.2.б)

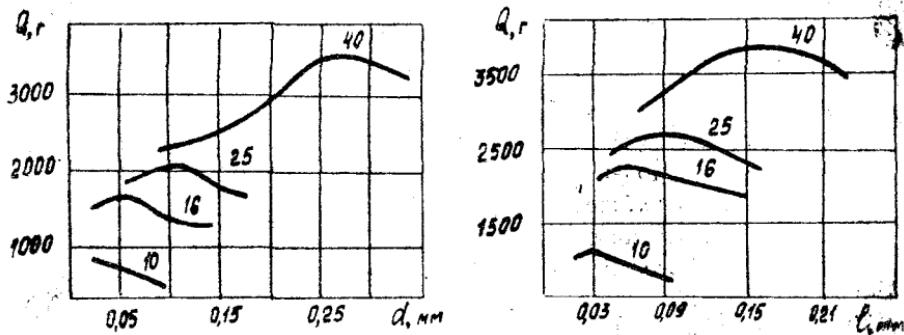


Рис.2. Изменение суммарного съема металла Q_M , при шлифовании лентами различной зернистости в зависимости от: а - высота выступания зерна из связки (h_0); б - расстояние между зернами (l).

Анализ влияния расстояния между зернами или плотности их нанесения на упругие свойства лент показал, что наблюдается тенденция к увеличению величины упругой деформации с уменьшением плотности нанесения. Величина упругой деформации стабилизируется при плотности нанесения равной $0,3 \dots 0,4 d$.

Определение площадей контактов при шлифовании профильных поверхностей

Работоспособность обоснованного, в результате исследования, микрорельефа рабочего слоя зависит от величины давления, приложенного к определенной площадке контакта. Величина площадки контакта инструмента и детали зависит, в свою очередь, от механических свойств ленты, размеров, геометрических параметров и материала рабочей поверхности контактных роликов, профиля обрабатываемой детали.

В процессе исследования изменений площадей контактов выведены зависимости для определения полуэмпирических площадок контакта

(8). Сравнительный анализ зависимостей показал, что при одинаковом изменении параметров контактных элементов, интенсивность изменения величины (8) у роликов цилиндрических с эластичной рабочей поверхностью значительно выше, чем у стальных торOIDальных. При этом давление на площадке контакта цилиндрических роликов с обрабатываемой поверхностью резко падает, что приводит к снижению нагрузления шлифовальных зерен.

Полученные зависимости не учитывают, что между контактирующими поверхностями находится шлифовальная лента, обладающая определенными упругими свойствами.

Экспериментально установлено, что полуширина площадки контакта δ изменяется в зависимости от зернистости шлифовального материала N , упругих свойств ленты μ и величины контактного давления P_k на величину $\Delta\delta$ и выражается зависимостью:

$$\Delta\delta = 0,26 + 0,064 \mu^{-1/2} \left(\frac{112,5}{N} \right) P_k^{1/6} \text{ mm}$$

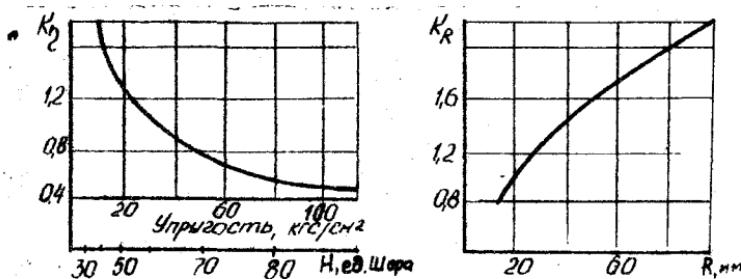


Рис.3. Зависимости для определения коэффициентов K_2 и K_R при изменении механических свойств и размеров рабочей поверхности контактных элементов

В общем случае зависимость для расчета величин площадок контакта, с учетом наличия между контактирующими поверхностями (цилиндрическим роликом и обрабатываемым профилем) шлифовальной ленты имеет вид:

$$S = (2,25 \sqrt{\frac{q \cdot h}{\Sigma K}} + \Delta\delta) \cdot K_2 \cdot K_R \cdot \ell \text{ mm}^2,$$

где q - линейная интенсивность распределения нагрузки по длине цилиндрического ролика;

$\approx 0,03 \text{ см}^2/\text{кгс}$ - упругая постоянная контактируемых тел, характеризующая их механические свойства (для роликов с твердостью $H = 60$ ед. Шора)

K - кривизна тела, величина обратная радиусу тела

- ΣK - сумма главных кривизн, контактируемых тел;
 $(\Sigma K = K_{12} + K_{22})$; $K_{12} = \frac{1}{R_{12}}$ - кривизна ролика, $K_{22} = \frac{1}{R_{22}}$ - кривизна детали; $K_{22} > 0$ - для выпуклых и $K_{22} < 0$ для вогнутых поверхностей)
- K_f и K_R - коэффициенты, учитывающие изменение полуширины площадки контакта, для роликов с различными радиусами и твердостью рабочей поверхности (рис.3).
- ℓ - длина рабочей поверхности контактного ролика.

Определение прочности и допустимых нагрузений рабочего слоя широких лент

При расчете рабочего слоя на прочность решались следующие задачи: определялись распределение напряжений в рабочем слое и допустимость напряженного состояния с точки зрения его прочности.

В результате решения первой задачи определены величины главных напряжений для любой произвольной точки рабочего слоя на площадке линейного контакта. Практическое решение второй задачи реализовано нахождением эквивалентного напряжения по гипотезе наибольших касательных напряжений.

Таблица 3.

Нагрузка, кгс/см ²	Зернистость шлифовального материала					Допустимые контактные напряжения
	50П	40П	25П	15К	10П	
	Расчетные напряжения слоя σ_{ekf} , кгс/см ²					[σ] _k , кгс/см ²
2	380	340	300	280	260	
4	470	430	420	370	350	
6	440	580	500	420	390	1000...1300
8	860	700	620	480	430	
10	1140	920	830	620	580	

В табл.3 приведены расчетные значения эквивалентных (равнозначных) напряжений (σ_{ekf}) слоя на участках ленты под контактными элементами, из анализа которых следует: с уменьшением зернистости шлифовального материала ленты (при $R_k = const$) напряжения в ее рабочем слое уменьшаются, с увеличением нагрузки интенсивность роста напряжений значительно выше в рабочем слое с более крупной зернистостью шлифовального материала; при малых нагрузках величина напряжений слоя с уменьшением зернистости уменьшается незначительно.

При наложении напряжений, вызванных силами натяжения, расчетные напряжения в слое увеличиваются на 14...16% и для зернистостей 40П...50П при нагрузках 9...10 кгс/см² могут превзойти допустимые. Для шлифовальных лент зернистостей 25П...10П расчетные величины напряжений в слое от действия сил натяжения изменяются незначительно.

Экспериментально установлено, что допустимыми значениями нагрузок, при которых наблюдается максимальная производительность процесса, являются: 8...8,5 кгс/см² - для лент зернистостью 40П...50П и 12...13 кгс/см² - для лент зернистостью 25П...10П.

Увеличение нагрузок выше указанных пределов влечет за собой резкое снижение интенсивности съема металла и стойкости шлифовальных лент. При этом наблюдается интенсивное разрушение рабочего слоя лент, что дает основание считать указанные нагрузки критическими для его прочности.

При шлифовании крупногабаритных профильных поверхностей практикуется дискретное нагружение широких шлифовальных лент контактной нагрузкой. При этом напряжения в рабочем слое ленты возникают не только под контактными элементами, но и на участках между ними.

Экспериментальные исследования нагрузок (P') на участках ленты, находящихся между контактными элементами, с учетом величины прилагаемой к контактным элементам нагрузки (H_k), упругих свойств ленты (μ) и расстояния между контактными элементами (L) (при $H_0 = 7$ кгс/см = const) позволили установить закономерности их изменения.

Анализируя в комплексе напряжения, возникающие в слое при дискретном нагружении, и его износ, установлено, что при $L < 70\text{мм}$

70 мм перепады экстремальных напряжений в рабочем слое составляют 20...24% при равномерном характере их распределения. Износ слоя характеризуется равномерным затуплением шлифовальных зерен с частичным их вырыванием. В шламе преобладает мелкая фракция (свыше 60%) и небольшое количество основной (8...%), а величины суммарного съема и стойкости составляют 92 и 97% соответственно от съема и стойкости при непрерывном контакте.

Вышеизложенное позволяет рекомендовать расстояние между контактными элементами $L \leq 70$ мм рациональным для шлифования профильных поверхностей.

Выбор рациональных характеристик, типа контактных элементов и допустимых величин нагружения

Обоснованный выбор характеристик лент типа контактных роликов, их взаимного расположения, допустимых контактных давлений, обеспечивает наилучшие условия эксплуатации широких лент при шлифовании профильных поверхностей.

Вышеперечисленные факторы и эксплуатационные показатели процесса - интенсивность съема металла q и стойкость широких лент T связаны между собой следующими зависимостями:

$$q = 0,03 P_k^{0,645} N^{0,85} H^{0,25} \text{ г/мин},$$

$$T = 120,3 P_k^{-0,22} N^{0,14} H^{-0,15} \text{ мин},$$

где P_k - контактная нагрузка, кгс/см²;
 N - зернистость рабочего слоя ленты, мкм;
 H - твердость рабочей поверхности контактных роликов, ед. Шора.

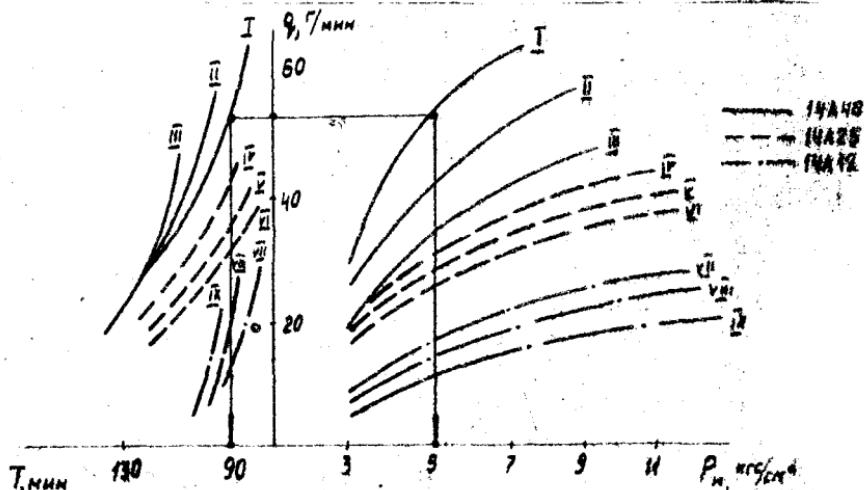


Рис. 4. Номограмма для определения контактных давлений и эксплуатационных показателей, по известной характеристики и твердости поверхности контактных роликов:

I, IV, VII - $H = 90$ ед. Шора; II, V, VIII - $H = 60$ ед. Шора;
III, VI, IX - $H = 30$ ед. Шора.

На рис.4 приведена номограмма, позволяющая по известной характеристике ленты, например I4A40, твердости контактных роликов, например 90 ед. Шора, и требуемой интенсивности съема металла, например 52 г/мин, определить контактные давления и стойкость широких шлифовальных лент. Для этого достаточно провести прямую, параллельную оси абсцисс вправо и влево до пересечения с кривыми и из точек пересечения опустить перпендикуляры до пересечения с осью абсцисс (слева от оси ординат — стойкость, справа контактное давление).

Так как номограмма построена для случая, когда кривизна обрабатываемой поверхности и радиусы роликов были соответственно равны $R_{22} = 0,1 \text{ мм}^{-1}$ и $R_{12} = 50 \text{ мм}$, на рис.3.б и 5 приведены графические зависимости, позволяющие определить поправочные коэффициенты для любых значений кривизны обрабатываемой поверхности (K_k), и радиуса контактного ролика (K_r).

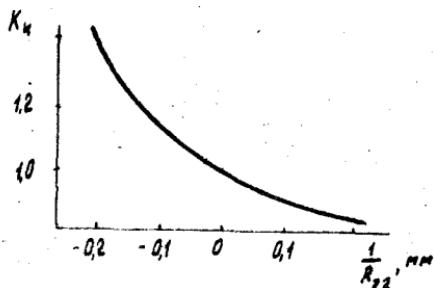


Рис.5. Зависимость для определения коэффициента кривизны (K_k)

Номограмма позволяет практически использовать результаты исследования при конструировании контактных узлов ленточношлифовальных станков и расчете технологических процессов шлифования профильных поверхностей широкими шлифовальными лентами.

Исследование влияния параметров режима на процесс шлифования профильных поверхностей

Исследования закономерностей процесса шлифования профильных поверхностей производилось при изучении явлений, происходящих при съеме металла и износе широкой шлифовальной ленты, которые определяются параметрами режима шлифования.

Исследовано влияние скорости (V_A), натяжения (H_0) и глубины резания (t_n) лент, с различными упругими свойствами (M) на эксплуатационные показатели процесса: стойкость (T) и интенсивность съема металла (q_y).

Математическая обработка результатов исследований позволила выразить процесс линейной моделью, геометрическая интерпретация которой представлена номограммами (рис.6), для построения которых применен метод линейной интерполяции функций многих переменных.

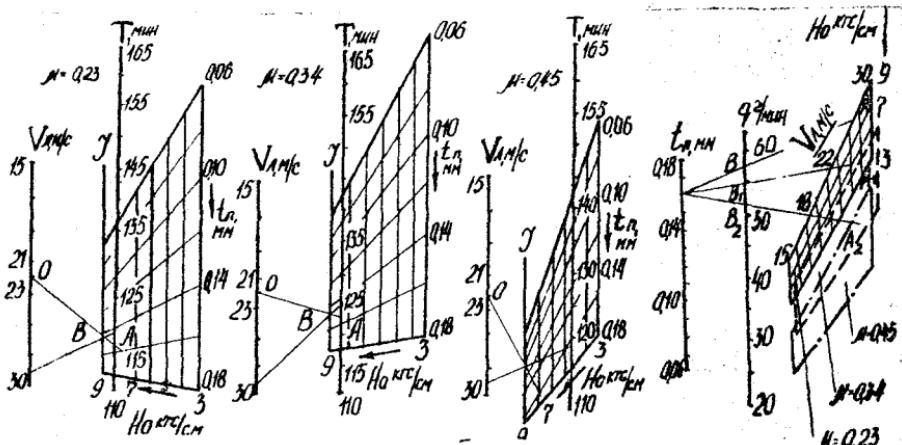


Рис.6. Номограммы для выбора режимов шлифования.

Определение стойкости ленты осуществляется следующим образом: от заданных значений глубины резания и натяжения проводим лучи, которые при пересечении на бинарном поле дают точку А; соединяя точку А с фиксированной (средней на шкале скорости V_A) точкой О прямой, которая при пересечении немой оси J дает точку В; из заданного значения скорости ленты через точку В проводим прямую до пересечения с осью стойкости.

Определение интенсивности съема металла производится следующим образом: точка А на шкале t_n , соответствующая заданной глубине резания, соединяется с точкой В на бинарном поле, соответствующей определенным значениям скорости ленты и величины натяжения. Точка пересечения этой прямой со шкалой Q определяет съем металла при выбранных режимах шлифования.

Полученные номограммы позволяют выполнять обратную интерполяцию при определении режимов резания по требуемым значениям интенсивности съема металла и стойкости ленты.

В табл.5 приведены зависимости эксплуатационных показателей процесса (интенсивности съема металла и стойкости ленты) от каждого из параметров режима в отдельности.

Таблица 5.

Параметры режима	Зависимости	Размерность
t_n - глубина резания	$T = 3890 (t_n - 0,18)^2 + 86$	мин
V_1 - скорость	$q = 170 (t_n - 0,06)^{0,7} + 20$ $T = 0,28 (V_1 - 15)^{1,33} + 121$	г/мин
H_0 - натяжение	$q = 2,24 (V_1 - 15)^{0,46} + 386$ $T = 0,27 (H_0 - 12)^{1,83} + 112$ $q = 6,92 (H_0 - 3)^{0,12} + 23$	г/мин

Полученные зависимости и nomограммы могут быть использованы при расчетах технологических процессов обработки профильных поверхностей широкими шлифовальными лентами.

В И В О Д Н

Основные результаты проведенного исследования процесса шлифования широкими шлифовальными лентами крупногабаритных профильных поверхностей сводятся к следующему:

Г. Разработана методика определения упругих свойств шлифовальных лент; установлено влияние упругих свойств широких лент на равномерность износа рабочего слоя и устойчивость их работы на валах ЛШМ; по величине силы, вызывающей неустойчивость ленты, предложено классификационное разделение ленты на категории "узкая" и "широкая", что вошло в проект ГОСТа на широкие шлифовальные ленты. Даны рекомендации по устранению неравномерности износа лент по ширине и неустойчивости их работы за счет механического перераспределения сил натяжения ленты по ширине, осуществляющего специальной конструкцией ЛШМ.

2. Определены напряжения, возникающие в рабочем слое от действия сил натяжения и резания, их изменение в зависимости от параметров изготовления рабочего слоя, влияние напряжений на работоспособность широких лент. Установлена взаимосвязь технологических параметров изготовления рабочего слоя (высоты выступания из связки шлифовальных зерен и плотности их нанесения) с механическими и эксплуатационными свойствами шлифовальных лент.

Результаты исследования легли в основу разработанного техпроцесса изготовления лент с высокими режущими свойствами их рабочего слоя.

3. Установлено, что работоспособность рабочего слоя ленты

зависит от величины контактного нагружения и его прочностных свойств. В свою очередь, величина допустимого контактного нагружения зависит от величины контактной площадки, на которую действует нагрузка. Выведены аналитические зависимости для расчета площадей контактов с учетом геометрической формы, материала рабочей поверхности контактных элементов и профиля обрабатываемой детали; разработана эмпирическая зависимость для определения изменений площадей контакта, учитывающая упругие свойства и зернистость шлифовального материала ленты, находящейся между контактирующими поверхностями.

4. По максимальной производительности процесса и минимальной напряженности рабочего слоя определены допустимые величины контактного нагружения широких лент при шлифовании профильных поверхностей с учетом их упругих свойств, зернистости шлифовального материала, характера приложения нагрузки. Высены причины, вызывающие нерациональный износ рабочего слоя широких лент, и даны рекомендации по их устранению. Разработана nomogramma по практическому выбору величин нагружения, контактных элементов и стойкостных показателей с учетом размеров, твердости рабочей поверхности контактных элементов и кривизны обрабатываемой поверхности.

Результаты исследования рекомендованы для прочностных расчетов контактных узлов денточношлифовальных станков.

5. Исследовано влияние параметров режима на производительность процесса шлифования профильных поверхностей. Построены nomogramma для определения эксплуатационных показателей процесса профильного шлифования по заданным режимам. Использование nomogramma рекомендовано для расчетов технологических процессов обработки крупногабаритных профильных поверхностей широкими шлифовальными лентами.

6. Проведено апробирование и внедрение результатов исследований в производство. Экономический эффект от внедрения процесса шлифования крупногабаритных деталей широкими шлифовальными лентами составил 343 т. рублей.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах автора:

1. Стенд для исследования процесса шлифования деталей сложного профиля широкими абразивными лентами. - Абразивы, 1972, № 10.
2. Зависимость эксплуатационных параметров широких абразивных лент от их натяжения при шлифовании профильных поверхностей. - Абразивы, 1974, № 7.

3. Износ широких абразивных лент при шлифовании крупногабаритных лопаток.- Самолетостроение и техника воздушного флота, Харьков, 1973, № 32 (соавтор Верезуб В.Н.).

4. Силы резания при широколенточном шлифовании профильных поверхностей.-В кн.: "Технологические методы повышения качества, долговечности и эксплуатационной надежности деталей машин". Сб. научных трудов № 143. Пермь, ПТИ, 1974 (соавтор Паньков Л.А.).

5. Износ абразивного слоя широких лент при шлифовании профильных поверхностей.-Аbrasivy, 1974, № 6.

6. Определение некоторых физико-механических характеристик абразивных лент.- Аbrasivy, 1976, № 2 (соавтор Хшибо Л.Н.).

7. Особенности эксплуатации широких абразивных лент при обработке профильных поверхностей.-Аbrasivy, 1975, № 8 (соавторы: Хшибо Л.Н., Сарайкин А.И.).

8. Колебания широких абразивных лент при шлифовании профильных поверхностей.-Аbrasivy, 1975, № 7 (соавтор Дементьева Л.Д.).

9. Частота колебаний и стойкость широких лент.-В сб.: "Управление качеством в машиностроительном производстве". Пермь, 1975.

10. Напряжения в абразивном зерне при ленточном шлифовании.- В кн.: "Вопросы теории и прогрессивной технологии процессов абразивной обработки". Труды ВНИИАШ, Ленинград, 1976 (соавтор Ковалев Л.И.).

11. Оптимизация режимов эксплуатации широких лент.-Аbrasivy, 1976, № 1 (соавтор Угликова Н.С.).

12. Контактные элементы площадки контакта и удельное давление при шлифовании широкими абразивными лентами профильных поверхностей.-В кн.: "Прогрессивная технология чистовой и отделочной обработки". Сб. научных трудов ЧПИ. Челябинск, 1976 (соавторы Ковалев Л.И., Сарайкин А.И.).

13. Напряжение и износ абразивного слоя широких лент при дискретном шлифовании профильных поверхностей.- В кн.: "Прогрессивная технология чистовой и отделочной обработки". Сб. научных трудов ЧПИ. Челябинск, 1976 (соавтор Сарайкин А.И.).

14. Выбор оптимальных условий эксплуатации широких абразивных лент при шлифовании профильных поверхностей.-В кн.: "Оптимизация условий эксплуатации и выбора характеристик абразивного инструмента в машиностроении". Тезисы докладов первого Всесоюзного научно-технического семинара. Челябинск, 1978 (соавтор Чистосердов В.Н.).

15. Способ изготовления широкой абразивной ленты, А.С. № 523794. Бюллетень изобретений, 1976, № 29 (соавторы: Фоссель Е.З., Соколов В.Ф., Ковалев Л.И.).