

К 132

ЧЕЛЯБИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

---

На правах рукописи

КАДИРОВ АГАСАФ ДЖАФАР ОГЛЫ

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ СТАТОРОВ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ  
МЕТОДОМ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО ХОНИНГОВАНИЯ

Специальность 05. 02. 08 - "Технология машиностроения"

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени  
Кандидата технических наук

ЧЕЛЯБИНСК - 1992

Работа выполнена в Азербайджанском научно-исследовательском электротехническом институте НПО "Азерэлектромаш" и Азербайджанском индустриальном университете им.М.Азизбекова.

Научный руководитель - доктор технических наук, профессор  
С.Г.Бабаев.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор  
В.П.Пономарев;

кандидат технических наук, доцент  
Г.И.Буторин.

Будущее предприятие - Бакинский электромашиностроительный завод  
(г.Баку).

Защита состоится " \_\_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 1992 г,  
в \_\_\_\_\_ часов, в ауд. \_\_\_\_\_ на заседании специализированного  
совета Д 053. 13. 05 Челябинского государственного технического  
университета по адресу: 454080, г. Челябинск, пр. им. В.И.Ленина, 76.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета.

Автореферат разослан " \_\_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 1992 г.

Ученый секретарь  
специализированного совета,  
доктор экономических наук



И.А.БАЕВ

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Электромашиностроительными предприятиями выпускается большое количество различных типоразмеров электродвигателей. Годовой выпуск их составляет более 10 млн.штук. Технология их изготовления достаточно отработано. Однако при обработке корпусных деталей и при сборке пакета статора возникают погрешности отверстия статора, что приводит к нарушению воздушного зазора, а иногда задеванию ротора о статор.

Для изготовления сердечников статора используется тонколистовая электротехническая сталь ГОСТ 21427.0.75 - 21427.3 - 75, ГОСТ 21427.4 - 78 легированная кремнием от 1 % до 5 %.

Анализ конструктивных особенностей и требований, предъявляемых к статорам электродвигателей, показывает, что статор является наиболее ответственным и трудоемким в изготовлении узлом, определяющим качество и эксплуатационные показатели асинхронных электродвигателей.

Сердечник статора собирается из отдельных отштампованных листов и запрессовывается или шихтуется в корпус. Внутренняя поверхность сердечника статора имеет продольные пазы и поперечно-ступенчатую поверхность.

После сборки пакета статора погрешности геометрической формы отверстия, а также выступание отдельных пластин находится в пределах от 0,2 мм и выше, а в отдельных случаях до 1,0 мм. В виду этих погрешностей невозможно получить минимальный и симметрично расположенный воздушный зазор между ротором и статором электродвигателя, который в свою очередь определяет энергетические и механические показатели электродвигателя.

Причиной появления указанных погрешностей является деформирование листа при вырубке магнитопровода под воздействием усилий штампа, погрешности сборочной оснастки, а также деформирование под воздействием остаточных напряжений корпуса статора. Поэтому одним из важнейших вопросов повышения качества электродвигателей является обеспечение стабильного воздушного зазора путем повышения точности обработки внутренней поверхности статора. При этом одним из важнейших требований предъявляемых к статорам является соосность поверхности отверстия статора и поверхности замка (поверхности,

базирующей крышку с подшипником ротора). Соосность этих поверхностей определяет равномерность воздушного зазора.

Для обеспечения точности и требуемых размеров применяются два варианта: 1) отверстия не обрабатываются; 2) отверстия обрабатываются.

Анализ принятых технологических процессов обработки отверстий показывает, что обработка внутренних поверхностей отверстия происходит без обмотки статора. При этом установлено, что при расточке лезвийным инструментом отверстия статора без обмотки происходит смещение листов в сторону реза, образование заусенца и замыкания листов магнитопровода. А при хонинговании отверстия пакета статора без обмотки после запрессовки его в корпус погрешности внутренней поверхности корпуса и погрешности наружной поверхности пакета статора передаются на внутреннюю поверхность отверстия статора. Кроме того, теоретическими и экспериментальными исследованиями технологического процесса хонингования установлено, что применяемые шарнирно-закрепленные хонинговальные головки не обеспечивают требуемую точность отверстий статора.

Проведенные исследования на партию статоров электродвигателей серии АИ 132 с различными значениями исходной овальности показали, что шарнирно-закрепленными хонинговальными головками овальность уменьшилась лишь менее чем на 50%.

Цель работы. Создание нового метода последовательного хонингования двумя хонинговальными головками разных конструкций без применения СОЖ, для повышения точности отверстия статора электродвигателя, имеющего необработанную лезвийным инструментом и очень грубошероховатую, с неравномерно расположенными припусками прерывистую поверхность.

Методы исследования. Теоретические исследования проводились на базе научных основ технологии машиностроения, теории резания металлов и теоретической механики.

Экспериментальные исследования проводились как в лабораторных, так и производственных условиях. Объем партии деталей определялся с использованием теории планирования эксперимента. Оценка адекватности проведена методами математической статистики с использованием теории гипотез, в частности, критерия Фишера.

Научная новизна. 1. Разработана методика расчета смещения оси хонинговальной головки в динамическом режиме при обработке отвер-

ствия статора, имеющего необработанную лезвийным инструментом, грубо шероховатую, с неравномерно расположенным припуском прерывистую поверхность.

2. Разработана схема последовательного хонингования двумя хонинговальными головками различных конструкций для повышения точности отверстия статора.

3. Предложены математические зависимости точности обработки при хонинговании разработанным способом от режимов резания.

Практическая ценность. По результатам исследований разработана конструкция хонинговальной головки для исправления больших исходных погрешностей отверстия статора, на которую получено положительное решение на изобретение № 4768368/08 В24В от 28.06.91г.

Разработан руководящий материал в виде типового процесса алмазного хонингования отверстий статоров без применения СОЖ. Разработана методика для расчета теоретического определения припусков на обработку статора.

Реализация работы в промышленности. Полученные результаты исследований использованы при разработке технологического процесса изготовления статоров электродвигателей и комплект хонинговальных головок для алмазного хонингования без применения СОЖ на станках СС 535.

Технологический процесс внедрен на Таллинском заводе "Вольта" и передан для внедрения в НПО "Азербэлектромаш", Экономический эффект от внедрения на Таллинском заводе "Вольта" в масштабе цен 1990г. составляет 80,3 тыс. рублей в год.

Апробация работы. Основные положения работы были доложены и обсуждены: на научно-техническом совете АзНИЭТИ НПО "Азербэлектромаш"; на республиканской научно-технической конференции "Ускорение научно-технического прогресса на электротехнических предприятиях республики в новых условиях хозяйствования" (г. Баку, ноябрь, 1989г.); на IX Всесоюзной научно-технической конференции "Электродвигатели переменного тока средней и малой мощности" (г. Суздаль, март, 1990г.); на республиканской научно-технической конференции "Вопросы производства электрических машин" (г. Баку, октябрь, 1990г.); на научно-технической конференции посвященной 40-летию Азербайджанского Политехнического института им. Ч. Ильдырма (г. Баку, май, 1990г.).

Публикации. Основные положения диссертации опубликованы в 5 научных работах.

Структура и объем работы. Диссертационная работа изложена на 168 страницах и состоит из введения, пяти глав, основных выводов и рекомендаций, а также из приложений. Работа содержит 118 страниц машинописного текста, 36 рисунков, 8 таблиц. Список использованных источников 110 наименований.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В диссертационной работе проанализированы технологические особенности повышения точности обработки статоров электродвигателей.

Анализ конструктивных особенностей и требований предъявляемых к основным узлам электродвигателей показывает, что статор является наиболее ответственным и трудоемким в изготовлении узлом, предопределяющим качество и эксплуатационные показатели асинхронных электродвигателей. Основным требованием предъявляемым к их базовым поверхностям является соосность замковых поверхностей и поверхности отверстия статора. Допустимые отклонения составляют не более 50 мкм.

Однако, в серийном производстве, из-за многочисленных независимых факторов, это условие не обеспечивается. В результате геометрическая форма внутренней поверхности отверстия статора, которая служит базой при обточке по верху, укладке обмотки, сборки пакета с корпусом, а также для окончательной обработки замковых поверхностей статора, имеет несколько видов отклонений от цилиндричности, а также ступенчатую с нерегулярным профилем прерывистую поверхность.

При сборке пакета из отдельных отштампованных листов погрешности геометрической формы отверстия, а также выступание отдельных пластин находится в пределах 0,2 - 0,25 мм, в отдельных случаях может достигать до 1,0 мм. Причиной появления указанных погрешностей является деформирование листа магнитопровода при вырубке под воздействием усилий штампа, погрешности сборочной оснастки. Ввиду этих погрешностей невозможно получить минимальный и симметрично расположенный воздушный зазор между ротором и статором электродвигателя. Поэтому одним из важнейших вопросов обеспечения стабильности воздушного зазора является повышение точности обработки внутренней поверхности статора.

Для обеспечения точности и требуемых размеров в подотрасли

принято несколько вариантов изготовления статоров. Из них наиболее распространенными являются два варианта: обработка внутренней поверхности отверстия лезвийным инструментом и хонингованием.

Обработка внутренней поверхности отверстия производится без обмотки статора. При этом установлено, что при расточке лезвийным инструментом происходит смещение листов в сторону реза, деформирование поверхности, замыкание листов между собой, погрешности от которых сильно влияют на выходные параметры электродвигателя. При хонинговании же погрешности наружной поверхности пакета статора и погрешности внутренней поверхности отверстия корпуса после запрессовки пакета в корпус передаются на внутреннюю поверхность отверстия статора. Кроме того, при хонинговании шарнирно-закрепленной хонинговальной головкой отверстия статора электродвигателя, имеющего необработанную лезвийным инструментом и очень грубо шероховатую, с неравномерно расположенными припусками прерывистую поверхность, ось хонинговальной головки в динамическом режиме подвергается деформации и имеет колебательные движения под воздействиями неровностей поверхности отверстия статора, что отрицательно влияет на качество поверхности.

По результатам анализа конструктивных особенностей и требований к точности изготовления статоров, существующих технологических схем их изготовления, характеристики исходной геометрической формы поверхности отверстия статора в условиях серийного производства, а также анализа литературы, посвященной хонингованию отверстий, были сформулированы следующие задачи:

- теоретически исследовать радиальные смещения оси хонинговальной головки, приводящие к смещению оси отверстия при обработке отверстий с прерывистыми поверхностями и с большими исходными погрешностями геометрической формы;
- разработать новую схему последовательного хонингования и конструкции хонинговальных головок, обеспечивающие исправление больших исходных погрешностей геометрической формы прерывистых поверхностей;
- исследовать процесс алмазного хонингования без применения СОЖ и разработать рекомендации по выбору характеристик алмазных брусков и рациональных режимов хонингования;
- определить температуру в зоне резания и влияние ее на электроизоляционное покрытие обмотки статора при алмазном хонингова-

нии без применения СОД;

- исследовать влияние процесса алмазного хонингования на энергетические показатели электродвигателя и определить технико-экономическую эффективность процесса;

- разработать и внедрить в производство научно-обоснованный технологический процесс алмазного хонингования предварительно необработанного лезвийным инструментом отверстия статора электродвигателей, обеспечивающий повышение точности.

Теоретическими и экспериментальными исследованиями точности изготовления статоров электродвигателей установлен ряд недостатков в принятых технологических процессах хонингования, приводящих к смещению осей посадочных и других поверхностей отверстий.

Рассмотрена работа типовой шарнирно-закрепленной хонинговальной головки, применяемой для обработки статоров электродвигателей с прерывистыми поверхностями и с большими исходными погрешностями геометрической формы, исследована система сил, действующих на элементы конструкции хонинговальной головки и дан анализ системы в динамическом режиме (см.рис. I).

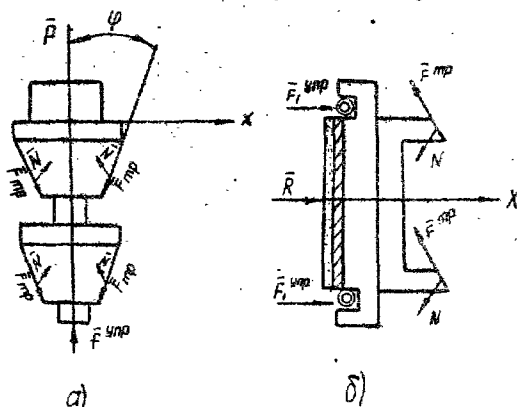


Рис. I Схема сил действующих на конус разжима брусков (а) и колодки в сборе (б) хонинговальной головки

Для того чтобы система сходящихся сил находилась в равновесии необходимо и достаточно равенство нулю равнодействующей этой системы сил, т.е.



$$\sum_{i=1}^n \vec{F}_i = 0 \quad (1)$$

При равновесии тела сумма проекций всех приложенных к телу сил на каждую из координатных осей равно нулю. Таким образом, получено следующее уравнение равновесия:

$$P - F^{уп} + nF^{тр} \cos \varphi - nN \sin \varphi = 0, \quad (2)$$

где  $F^{уп} = C\Delta y$  - упругая сила реакции деформации пружины;  
 $F^{тр} = \mu N$  - сила трения, определяется по закону Амонтона-Кулона;  
 $P$  - внешняя нагрузка;  $N$  - нормальная сила реакции;  $n$  - количество точек приложения сил;  $C$  - коэффициент, зависящий от жесткости пружины;  $\Delta y$  - изменение длины пружины.

Из уравнения (2) найдена нормальная сила  $N$  на конусе разжима при любом значении  $P$  и силу трения  $F^{тр}$ .

Таким же образом, учитывая все внешние и внутренние силы на колодки с алмазными брусками (см. рис. 2), получено уравнение равновесия в отношении к оси  $X$ :

$$\sum F_{ix} = R - 2F_1^{уп} - nN \cos \varphi - nF^{тр} \sin \varphi = 0, \quad (3)$$

где  $R$  - сила давления на обрабатываемую поверхность.

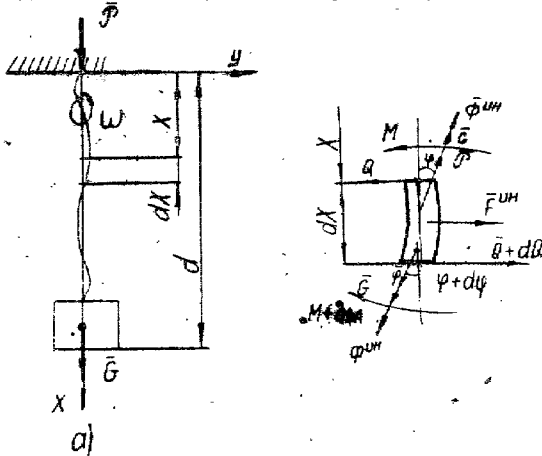


Рис. 2 Схема вращающейся конинговальной головки (а) и его элемента (б) с действующими на них внутренними и внешними силами

При динамическом режиме стержень хонинговальной головки подвергается деформации и имеет поперечно-колебательные движения.

На рис. 2 схематично показан вращающийся с угловой скоростью  $\omega$  стержень хонинговальной головки с действующими на него внешними силами  $\bar{F}$  конуса разжима брусков и силы тяжести  $\bar{G}$  головки. По принципу Даламбера в динамическом режиме к этим силам присоединяется и сила инерции  $\bar{F}^{ин}$  возвратно-поступательного движения головки. Принимая стержень головки постоянного сечения с равномерно распределенной по длине массой, на рис. 2 б показан его элемент  $dx$  с действующими силами. На этот элемент кроме вышеуказанных сил действуют внутренние поперечные усилия  $Q, Q+dQ$  и изгибающие моменты  $M, M+dM$  (где  $dQ$  и  $dM$  представляют собой приращения внутренних усилий на участке  $dx$  стержня).

Приравняв сумму проекций на горизонтальную ось всех сил, приложенных к элементу  $dx$  стержня, произведению массы  $m_0 dx$  этого элемента на его ускорение  $\frac{\partial^2 y}{\partial t^2}$ , получено

$$m_0 dx \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = Q+dQ - Q + F^{ин} - (P+G + \Phi^{ин})(\varphi+d\varphi) + (P+G + \Phi^{ин})\varphi, \quad (4)$$

где  $m_0$  - масса единицы длины стержня;  $\varphi$  - угол поворота элемента стержня;  $y$  - прогиб;  $F^{ин}$  центробежная сила инерции.

Уравнение моментов относительно точки элемента стержня

$$M + dM - M + Qdx - m_0 dx \omega^2 y \cdot \frac{\partial x}{2} = 0. \quad (5)$$

Исключив  $M$  и  $Q$  из уравнений и произведя некоторые упрощения, выведено следующее уравнение поперечного колебательного движения вращающегося стержня хонинговальной головки:

$$\frac{\partial^4 y}{\partial x^4} - \frac{P+G+\Phi^{ин}}{EJ} \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} - \frac{m_0}{EJ} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} - \frac{m_0 \omega^2}{EJ} \cdot y = 0. \quad (6)$$

Для решения этого уравнения сформулированы граничные условия поставленной задачи

$$\left. \begin{array}{l} \text{при } x=0, \quad y(x,t)=0; \quad \frac{dy}{dx}=0; \\ \text{при } x=d, \quad \frac{d^2y}{dx^2}=0; \quad \frac{d^3y}{dx^3}=0, \end{array} \right\} \quad (7)$$

где  $d$  - длина стержня головки.

Решение этого уравнения найдено в следующем виде:

$$y(x,t) = u(x) \cos \rho t, \quad (8)$$

где  $\rho$  - частота собственных колебаний стержня;  $u(x)$  - амплитудная функция колебания, зависящая только от переменной величины  $x$ .

Исходя из конструктивных и рабочих параметров станка получена функция  $u(x)$ , решение которой позволило получить уравнение, содержащее

$$u(x) = C_1 \cos \tau_1 x + C_2 \sin \tau_1 x + C_3 e^{\tau_2 x} + C_4 e^{-\tau_2 x}, \quad (9)$$

где  $C_1, C_2, C_3, C_4$  - неизвестные коэффициенты.

На основании решения получено уравнение, содержащее угловую скорость  $\omega$  вращения, давление  $P$  разжима брусков и частоту  $\rho$  собственных колебаний стержня:

$$\begin{aligned} & -2\tau_1^4 - \tau_2^4 - \tau_1^2 \tau_2^2 \cos \tau_1 \alpha (e^{-\tau_2 \alpha} + e^{\tau_2 \alpha}) + \tau_1 \tau_2^3 \sin \tau_1 \alpha \cdot \\ & \cdot (e^{\tau_2 \alpha} - e^{-\tau_2 \alpha}) + \tau_1^3 \tau_2 \sin \tau_1 \alpha (e^{-\tau_2 \alpha} - e^{\tau_2 \alpha}) - \tau_1^2 e^{-\tau_2 \alpha} \cos \tau_1 \alpha = 0 \end{aligned} \quad (10)$$

Вычислив это уравнение с помощью ЭВМ при нижеследующих значениях конструктивных и рабочих параметров станка и хонинговальной головки:  $\alpha = 0,6$  м,  $P = 0,03 - 0,3$  МПа,  $G = 160$  Н,  $E = 2,1 \cdot 10^{11}$  Н/м<sup>2</sup>,  $J = 0,05$  м<sup>4</sup>,  $d = 0,04$  м,  $W = 1$  м/с<sup>2</sup>,  $M_0 = 26,6$  кг, сделан вывод о том, что частота собственных колебаний  $\rho$  стержня головки пропорционально увеличивается в зависимости от ее угловой скорости  $\omega$ , что приводит к нарушению нормального протекания процесса и отрицательно влияет на качество обработанной поверхности.

Таким образом, теоретическими исследованиями установлена непригодность шарнирно-закрепленной хонинговальной головки для обработки отверстий типа статоров.

Теоретические исследования и обобщения процесса хонингования отверстий статоров без применения СОЖ позволили подойти к разработке процесса последовательного хонингования с двумя различными конструкциями хонинговальной головки в двух позициях.

С целью снятия больших исходных погрешностей, в том числе исправления оси с учетом припуска на второй позиции, хонингование производилось за один двойной ход с возможностью изменения направления движения жестко закрепленной хонинговальной головкой, имеющей заходные конусные втулки с обеих сторон и размерную составную втулку с жестко закрепленными брусками, настроенную на необходимый для обработки размер диаметра отверстия статора. Обработку на второй позиции производят шарнирно-закрепленной хонинговальной головкой с радиально перемещающимися брусками, где окончательно формируется геометрически точная форма отверстия и снимается наклеп с поверхности отверстия статора. Такое построение схемы последовательного хонингования в двух позициях с двумя различными конструкциями хонинговальной головки позволяет проводить обработку отверстий статоров с большими исходными погрешностями.

Согласно методике режимы хонингования выбираются с учетом физико-механических свойств обрабатываемого материала, точности и шероховатости поверхности до и после хонингования, припуска под хонингования, характеристики брусков, жесткости и конструктивных особенностей обрабатываемой детали:

$$y = f(v_{\text{к}}, v_{\text{н}}, P) \rightarrow \text{min.}$$

Применение методов планирования экспериментов упрощает задачу по определению оптимальных режимов. Полученные графические зависимости влияния переменных факторов на конечную продукцию описывается одним усредненным уравнением регрессии

$$y = 0,95 + 0,007x_1 + 0,008x_2 + 0,009x_3,$$

( II )

Определены оптимальные значения режимов хонингования для всех типоразмеров отверстий статоров электродвигателей серии АМ132. Произведены экспериментальные исследования влияния режимов резания на производительность и точность в более широком диапазоне. Эксперименты проводились шестибрусковой хонинговальной головкой, оснащенной алмазными брусками АС6200/160 М2-01 100%. В результате экспериментов (см. рис. 3) установлена

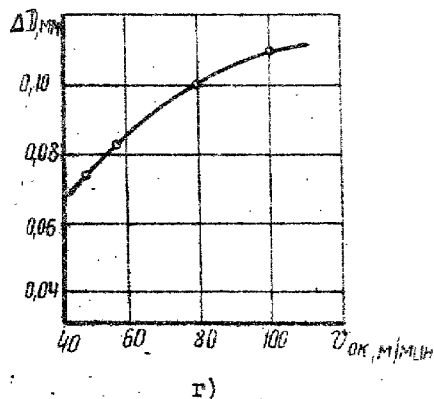
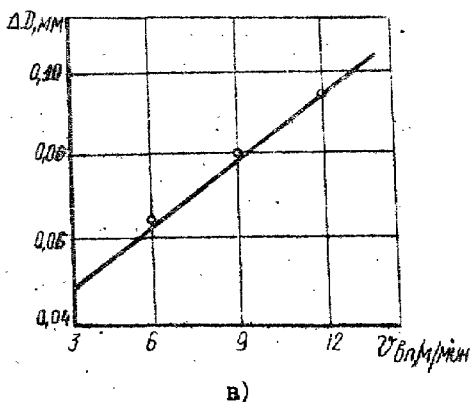
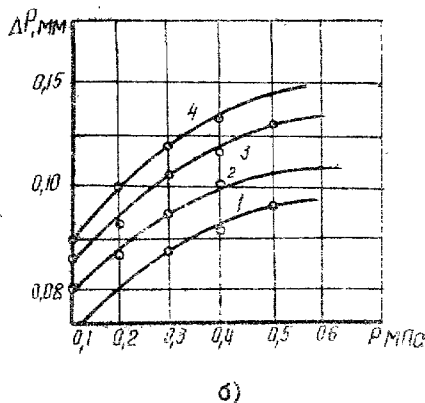
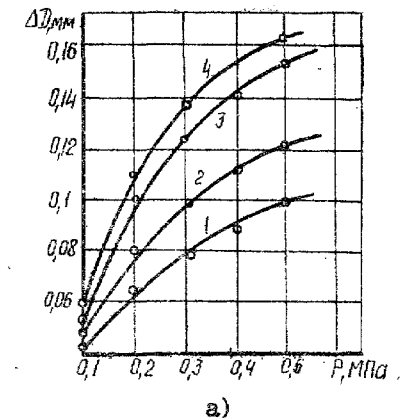


Рис. 3 Зависимость увеличения диаметра отверстия статора ( $\Delta D$ ) от режимов резания:

- а) от давления резания брусков при  
 $1. v_{ок} = 44, 1 \text{ м/мин}$ ;  $2. v_{ок} = 55, 1 \text{ м/мин}$ ;  $3. v_{ок} = 72, 7 \text{ м/мин}$ ;  $4. v_{ок} = 96, 5 \text{ м/мин}$  при постоянной  $v_{вп} = 12 \text{ м/мин}$ ;
- б)  $1. v_{вп} = 6 \text{ м/мин}$ ;  $2. v_{вп} = 10 \text{ м/мин}$ ;  $3. v_{вп} = 12 \text{ м/мин}$ ;  $4. v_{вп} = 14 \text{ м/мин}$  при постоянной  $v_{ок} = 72, 7 \text{ м/мин}$ ;
- в) от скорости возвратно-поступательного движения при постоянных  $v_{ок} = 72, 7 \text{ м/мин}$ ;  $P = 0, 3 \text{ МПа}$ ;
- г) от скорости вращения конинговальной головки при постоянных  $v_{вп} = 12 \text{ м/мин}$ ;  $P = 0, 3 \text{ МПа}$

зависимость влияния режимов резания на процесс увеличения диаметра отверстия, определены наиболее эффективные режимы хонингования для диапазонов отверстий  $\varnothing 125-160$  мм. Установлена интенсивность исправления ( $K_{И}$ ) исходной погрешности от режимов хонингования. Исследования показали, что увеличение окружной скорости и давления брусков способствуют снижению коэффициента  $K_{И}$ , а с увеличением скорости возвратно-поступательного движения  $K_{И}$  заметно возрастает (см. рис. 4).

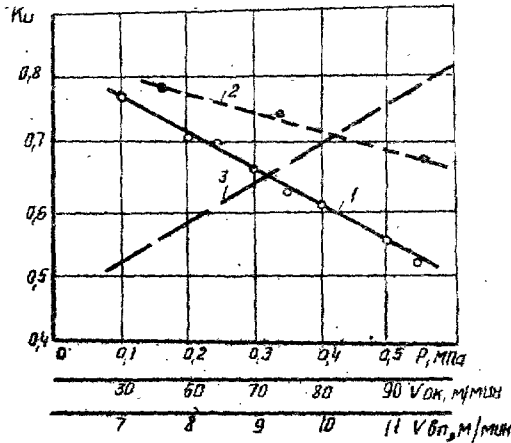


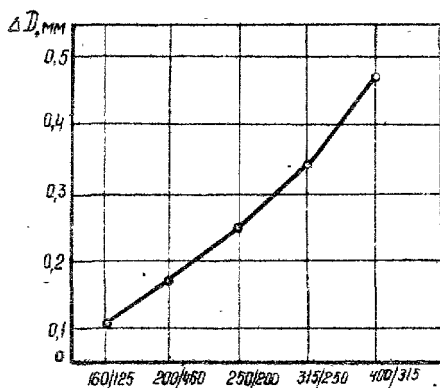
Рис. 4 Влияние режимов хонингования на коэффициент интенсивности исправления ( $K_{И}$ ) исходной погрешности отверстия статора.

1-давление разжима брусков ( $P$ )

2-окружная скорость вращения хонинговальной головки ( $V_{ок}$ )

3-скорость возвратно-поступательного движения хонинговальной головки ( $V_{вп}$ )

Однако увеличение скорости возвратно-поступательного движения свыше 12 м/мин вызывает другие виды погрешностей формы. Кроме того, установлена зависимость съема металла и исправления овальности от ширины брусков по времени. Эксперименты показали, что с увеличением ширины брусков съем металла растет, а время для исправления овальности уменьшается. С увеличением зернистости алмазных брусков пропорционально увеличивается и диаметр отверстия статора (см. рис. 5).



### Зернистость алмазных брусков

Рис.5 Увеличение диаметра отверстия статора ( $\Delta D$ ) за одну минуту хонингования в зависимости от зернистости брусков

Для выбора характеристики произведены сравнительные исследования с различными марками брусков; наиболее стойкими оказались бруски марки АРВ1 и АРК4.

Таким образом, произведенными исследованиями процесса алмазного хонингования, определены рациональные режимы резания, характеристики алмазных брусков, построена математическая модель и исследованы закономерности, отражающие влияние режимов резания без применения СОЖ на производительность и геометрическую точность обрабатываемой поверхности отверстия статора.

Установлено, что в процессе алмазного хонингования при обработке прерывистых поверхностей отверстия статоров без применения СОЖ в отличие от гладких цилиндрических поверхностей самозатачивание алмазных зерен происходит автоматически по всему циклу обработки. Затупление алмазных зерен происходит во много раз медленнее, а износ брусков — неравномерно. Это объясняется тем, что отверстие статора имеет как поперечные, так и продольные прерывистые поверхности, а также хаотично расположенные выступания отдельных пластин, что и обеспечивает постоянное самозатачивание зерен и очищение от засаливания брусков. Однако, по мере выравнивания поверхности и исправления формы отверстия, этот процесс затухает, так как через некоторое время съём металла уменьшается,

почти прекращается процесс резания, происходит повышение температуры.

Обработка следующей детали начинается с очистки поверхности бруска и самозатачивания зерен, дальше все повторяется по описанному циклу. Поэтому назначение режимов обработки с учетом теплового эффекта позволяет избежать снижения электроизоляционной прочности материалов.

Не углубляясь в теплофизические исследования, проведены измерения максимальных температур  $\theta_{max}$ , образующихся при обработке в различных режимах. Регистрация измерений производилась самопишущим ампервольтметром типа НЗ99.

В результате проведенной работы установлен интервал максимальных значений повышения температуры в зоне резания  $\theta_{max} = 72 \dots 80^\circ\text{C}$  при минутной обработке отверстия статора.

Анализ результатов исследований показал, что образующаяся при обработке максимальная температура не оказывает отрицательного влияния как на поверхность обработки, так и на теплопрочность изоляции обмотки статора, так как теплостойкость применяемых электроизоляционных материалов по классу "В" ГОСТ 8865-87 составляет  $\theta_{max} = 130^\circ\text{C}$ .

По результатам теоретических и экспериментальных исследований разработаны и внедрены в производство руководящие технические материалы для Таллинского завода "Вольта".

Экономический эффект, с учетом величины капитальных вложений на примере Таллинского завода "Вольта" и снижения себестоимости, только за счет ликвидации брака от задевания ротора о статор, составляет 57,7 тыс. руб. Кроме того, обеспечена экономия важнейших видов сырья, материалов, в том числе: меди - 7548 кг, электротехнической стали - 33300 кг, что дает дополнительный экономический эффект в масштабе цен 1990г. в 22,6 тыс. рублей.

Кроме того, введение обработки статоров хонингованием способствует стабилизации энергетических показателей за счет увеличения равномерности воздушного зазора между статором и ротором, что является важнейшим фактором повышения эксплуатационных качеств машины.

## ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

I. Проведенные теоретические и экспериментальные исследования подтвердили возможность эффективного применения метода последовательного хонингования отверстия статора электродвигателей без



применения СОЖ с целью исключения задевания ротора о статор и повышения точности.

2. Установлены виды наиболее распространенных в серийном производстве отклонения от цилиндрической формы отверстия статора для различных типов электродвигателей. Так у двигателей с высотой оси вращения 132 мм отклонение формы выходит за допустимые пределы у 59% статоров, у двигателей с высотой оси вращения 280-355 мм - соответственно у 65-68% статоров. Дана краткая характеристика геометрической формы их поверхности, проанализированы существующие конструкции хонинговальных головок. Обоснована эффективность применения хонингования для обработки отверстия статора.

3. Теоретическими исследованиями установлена непригодность шарнирного закрепления хонинговальной головки для предварительной обработки отверстий типа статоров. Так как из партии обработанных шарнирно-закрепленной хонинговальной головки статоров исходная погрешность исправлена менее чем на 50%. В результате исследования разработан метод последовательного хонингования с двумя различными конструкциями хонинговальной головки, при которых исключаются возможные нарушения нормального протекания процесса и ухудшения точности обработанной поверхности.

4. Обобщены результаты экспериментальных исследований по определению условий и режимов алмазного хонингования статоров электродвигателей без применения СОЖ. Построена математическая модель и исследованы закономерности, отражающие влияние основных технологических факторов на производительность. Установлено, что при определенных оптимальных режимах в зависимости от величины припуска среднее машинное время составило 0,5-1,0 мин. Определены технологические возможности созданных новых конструкций хонинговальных головок, обеспечивающих исправления больших исходных погрешностей. Установлено, что при обработке отверстия с исходной погрешностью 150 мкм брусками шириной 16 мм величина погрешности уменьшалась до 10 мкм.

5. В результате проведенных исследований разработан типовой технологический процесс механической обработки статоров, включающий операцию алмазного хонингования отверстия статора без применения СОЖ.

6. Разработанные рекомендации обеспечивают также создание эффективного технологического процесса хонингования прерывистых поверхностей отверстий в различных областях машиностроения.

7. По результатам теоретических и экспериментальных исследований разработаны и внедрены в производство руководящие технические материалы для Таллинского завода "Вольт".

Экономический эффект, с учетом величины капитальных вложений на примере Таллинского завода "Вольт" и снижения себестоимости



6. Кадиров А.Д., Бабаев С.Г. Некоторые вопросы обработки отверстий статоров методом хонингования // Тезисы докладов к IX Всесоюзной научно-технической конференции "Электродвигатели переменного тока средней и малой мощности". - Владимир, ВПИ, 1989. - С. 145-147.

7. Кадиров А.Д. Выбор конструкции и исследование эксплуатационных свойств хонинговальных головок для обработки статоров электродвигателей // Тезисы докладов к республиканской научно-технической конференции "Ускорение научно-технического прогресса на электрических предприятиях республики в новых условиях хозяйствования". - Баку, АЗИИПТИ, 1989. - С.28-29.

8. Кадиров А.Д. Хонингование отверстия с прерывистыми поверхностями без охлаждения жидкостью. Тематический сборник научных трудов. - "Конструктивно-технологические методы повышения качества и надёжности нефтепромышленного оборудования". - Баку: АЗИИФТЕХИМ, 1990. - С. 60-64.

9. Положительное решение на а.с. № 4768368/08, МКИ<sup>3</sup> В 24 В 33/08 от 28.06.91. Однопроходной хон/ С.Г.Бабаев, А.Д.Кадиров, Н.А.Микаилов, Ю.А.Алексеев, Л.С.Керимова (СССР).

---

Подписано к печати 12.03.92. Формат 60X90 1/16. Печ. л. 1.  
Уч.-изд. л. 1. Тираж 100 экз. Заказ 56/160.

---

УОП ЧГТУ. 454080. Челябинск, пр. им. В.И.Ленина, 76.