

ПРИМЕНЕНИЕ ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА ДЛЯ РЕМОНТА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Т. Н. СТЕРХОВА

*ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет»,
г. Ижевск, Удмуртская Республика*

Реферат. Качество выполнения производственного процесса зависит от надежности работы технологического и электротехнического оборудования. Технологический процесс ремонта электродвигателей включает в себя сборку электродвигателя и его монтаж. На сегодняшний день доминирующее положение для выполнения данной операции занимают методы «кувалды» или «масляных ванн». Сборку электродвигателя можно проводить после нагрева его отдельных частей. Оба эти способа сборки довольно трудоемки, занимают много времени и требуют значительных физических сил от обслуживающего персонала. Одной из основных задач является нагрев корпуса электродвигателя до необходимой температуры, при которой обеспечивается свободная установка статора и ротора. Рассмотрена возможность использования индукционного нагрева на окончательном этапе ремонта электродвигателя. Индукционный нагрев – это нагрев токопроводящих тел в электромагнитном поле за счет индуктирования в них вихревых токов. При этом электрическая энергия превращается в тепловую энергию за счет ее трехкратного преобразования. На интенсивность и характер нагрева влияние оказывают частота тока, напряженность электрического и магнитного полей. Изменяя названные величины, можно получить необходимый характер нагрева, его интенсивность и равномерность. Для исследования рассматривались оборудование линии и технологический процесс сборки 14 типоразмеров корпусов электродвигателей серии ДАТА и АИМЛ. Произведен расчет температур нагрева для соединения с натягом корпуса электродвигателя ДАТА 63 со статором и ротором с подшипником. Результаты расчетов температуры нагрева двумя способами показали, что с использованием индукционного метода элементы электродвигателя нагреваются на 15% быстрее, чем при работе ТЭН. При создании установки необходимо учитывать следующие требования: высокий электрический и тепловой КПД, простота в обслуживании, удобство управления процессом нагрева, возможность его полной автоматизации. Использование индукционного нагрева позволяет автоматизировать процесс нагрева электродвигателя, его сборки и дает возможность увеличить точность выполнения процесса, не снижая времени работы, повышая стабильность и качество всего технологического процесса.

Ключевые слова: восстановление электродвигателя, ротор, статор, ремонт электродвигателя, индукционный нагрев, температура нагрева.

Для цитирования: Стерхова Т. Н. Применение индукционного нагрева для ремонта электродвигателей // Научная жизнь. 2020. Т. 15. Вып. 4. С. 528–534. DOI: 10.35679/1991-9476-2020-15-4-528-534.

Введение

Повышение производительности продукции во многом зависит от надежности работы оборудования, скорости его восстановления и проведения ремонта в случае потери работоспособности [1]. Целью ремонта электрического двигателя является восстановление его работоспособности путем замены или ремонта некото-

рых деталей. При этом увеличивается срок службы на определенный промежуток времени. Заключительным этапом ремонта электродвигателя является его сборка, при которой комплектные узлы и отдельные детали соединяются в готовое изделие. Для эффективного монтажа используют механические, гидравлические методы или метод нагрева [2, 3].

Рассматривается возможность применения индукционного нагрева для сборки электродвигателя с целью повышения производительности заключительного этапа, включающего монтаж статора и ротора в алюминиевый корпус электрической машины, не прибегая к помощи «кувалды» или «масляных ванн». При этом необходимо провести выбор оборудования и разработать процесс на основе индукционного метода, который обеспечивал бы высокую скорость и равномерность нагрева.

Методы

Для исследования рассматривалось оборудование линии и технологический процесс сборки 14 типовых корпусов электродвигателей серии ДАТА и АИМЛ. Для нагрева деталей рассматривается использование индукционного метода [4].

На сегодняшний день индукционный нагрев применяется в быту, сельском хозяйстве в обслуживании продукции агропромышленного комплекса, в машиностроении – для различных заготовок, термообработки и технологической подготовки металла и изделий из него [5–7].

Индукционный нагрев – это нагрев токопроводящих тел в электромагнитном поле за счет индуктирования в них вихревых токов. При этом электрическая энергия превращается в тепловую энергию за счет ее трехкратного преобразования [8].

На интенсивность и характер нагрева влияние оказывает частота тока, напряженность электрического и магнитного полей. Изменяя названные величины, можно получить необходимый характер нагрева, его интенсивность и равномерность.

Разрабатываемая установка должна соответствовать следующим требованиям: высокий электрический и тепловой КПД, простота в обслуживании, удобство управления процессом нагрева, возможность его полной автоматизации.

При этом установка должна обеспечивать:

- нагрев корпусов двигателей внешним диаметром от 101 до 207 мм, высота необходимой зоны нагрева – от 108 до 198 мм;

- сборку 15 двигателей в час; на нагрев, сборку и контроль отводится не более 4 мин, при этом на нагрев корпуса двигателя – 1,5–2 мин;

- конструкцию индукторов стойких к механическому воздействию и электрически изолированных от случайного прикосновения;

- достижение требуемой температуры корпуса двигателя, что возможно обеспечить длительностью индукционного нагрева и подводимой мощности по каждому типу корпуса индивидуально.

Корпус двигателей ДАТА и АИМЛ изготовлен методом литья из сплава алюминия АК7ч ГОСТ 1583-93. В нем жестко посажен статор, в нем есть сердечник, в пазах которого расположена обмотка. Ротор в сборе состоит из вала, сердечника (здесь в пазах – короткозамкнутая алюминиевая обмотка), исполнительного механизма и подшипника. Сердечники статора и ротора набираются из изолированных листов электротехнической стали обычно толщиной 0,5 мм. Изоляция листов статора – лаковая пленка, ротора – окалина, образующаяся в процессе прокатки.

В данном направлении производится 14 типов электродвигателей с различными габаритами и характе-

ристиками. Из них 4 электродвигателя выпускают в двух вариантах конструктивного исполнения по способу монтажа.

Индукционный нагрев – метод бесконтактного нагрева токами высокой частоты электропроводящих материалов. В особенности при нагреве хорошо проводящих материалов, таких как сплавы алюминия. Для этого металла электрический КПД индукционных установок составляет всего 40–60% [9].

Это связано с тем, что алюминий обладает маленьким удельным сопротивлением. При нагреве таких немагнитных металлов мощность потерь в обмотках катушки больше, чем все прочие потери, вместе взятые.

Одна из основных задач – нагрев корпуса электродвигателя до необходимой температуры, при которой обеспечивается свободная установка статора и ротора. То есть на одном рабочем месте необходимо производить нагрев всего корпуса электродвигателя, включая основание.

Рассмотрим в качестве примера корпус электродвигателя ДАТА 63 с закрытым основанием. Так как нагрев боковых стенок имеет больший диаметр, процесс будет происходить быстрее, чем на местах запрессовки подшипника, поэтому произведем расчет нагрева основания корпуса [10].

При сборке цилиндрического соединения с нагревом необходимая разность температур Δt соединяемых деталей определяется по формуле

$$t = \frac{N_{\max} + \delta_0}{\alpha d}, \text{ C,}$$

где N_{\max} – наибольший натяг выбранной посадки, мкм; δ_0 – зазор, необходимый для свободного соединения деталей, принимаемый равным

$\delta_0 = 10$ мкм, при $d = 30\div 80$ мм; d – номинальный диаметр соединяемых поверхностей, мм; α – коэффициент линейного расширения нагреваемой или охлаждаемой детали, $\alpha \cdot 10^{-6}$, °С.

Произведем расчет температур нагрева для соединения с натягом корпуса электродвигателя ДАТА 63 со статором и ротором с подшипником при следующих данных:

- диаметр посадочного места подшипника $D_2 = 35$ мм;
- материал корпуса электродвигателя – алюминий;
- температурный коэффициент линейного расширения для сплава алюминия АК7ч ГОСТ 1583-93, $\alpha = 21,8 \cdot 10^{-6}$;
- наибольший натяг выбранной посадки берем из таблицы допусков и посадок N_{\max} .

$$t = \frac{0,072 + 0,01}{21,8 \cdot 10^{-6} \cdot 35} = 107 \text{ }^\circ\text{C.}$$

К расчетному значению разности температур Δt соединяемых деталей прибавляем температуру соединяемого тела, то есть температуру окружающей среды (25 °С), получаем расчетную температуру нагрева.

С учетом тепловых потерь алюминия округляем расчетную температуру в большую сторону [4].

Результаты расчета температур нагрева корпусов, других типоразмеров электродвигателя представлены в таблице 1.

Рассмотренный процесс сборки электродвигателей после ремонта его составляющих позволяет автоматизировать процесс нагрева. Легкая автоматизация оборудования – циклов нагрева и охлаждения, регулировка и удерживание температуры, подача и съём заготовок – еще одно преимущество индукционного нагрева.

Таблица 1 – Результаты расчета температуры нагрева корпуса электродвигателя

Тип корпуса	N_{\max} , мм	Внутренний диаметр корпуса, D_2 , мм	Температура расчетная, °С	Температура нагрева, °С
ДАТА 63	0,072	35	132	160
ДАТА 71	0,072	35	132	160
ДАТА 90	0,087	52	110	130
ДАТА 112	0,093	62	101	120
АИМЛ 63(032)	0,072	35	132	160
АИМЛ 63(033)	0,072	35	132	160
АИМЛ 71(010)	0,072	35	132	160
АИМЛ 71(034)	0,072	35	132	160
АИМЛ 80 (036)	0,087	52	110	130
АИМЛ 80 (035)	0,087	52	110	130
АИМЛ 90(022)	0,087	52	110	130
АИМЛ 90 ск.	0,087	52	110	130
АИМЛ 100 ск.	0,093	62	101	120
АИМЛ 112 ск.	0,093	62	101	120

Возможность автоматизации процесса позволит улучшить условия труда обслуживающего персонала [11, 12].

Результаты

Проведенные инженерные расчеты температуры нагрева корпусов электродвигателей показывают, что при нагреве электродвигателя индукционным способом температура нагрева, необходимая для сборки электродвигателя ниже, чем при включении ТЭН, в среднем на 15%. При этом уменьшается время нагрева, что повышает производительность труда.

Выводы

Предложенный индукционный метод нагрева электродвигателя для последующей его сборки является перспективным и может быть использован для повышения качества

сборки производительности труда при ремонте оборудования. Кроме того, автоматизация процесса нагрева электродвигателя и его сборки позволит увеличить точность выполнения процесса, не снижая времени работы, повышая стабильность и качество процесса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Стерхова Т. Н. Повышение надежности работы электродвигателя насоса на дожимной насосной станции // Collected Papers XXVII International Scientific-Practical conference «Advances in Science and Technology» (15 марта 2020 г.). – М. : Научно-издательский центр «Актуальность.РФ, 2020. – С. 75–77.
2. Мосиндуктор [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://mosinductor.ru/info/articles/>

- современные-индукционные/
kuznechnyenagrevateli.ru.
3. Лихачев В. Л. Справочник обмотчика асинхронных электродвигателей. – М. : СОЛОН-Пресс, 2004. – 240 с.
 4. Быков И. А. Разработка высокоэффективной технологии и оборудования индукционного нагрева корпуса электродвигателя для запрессовки подшипников // Молодежь и научно-технический прогресс : материалы межвузовской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. В 4 т. Т. 1 / сост. В. Н. Рощупкина, В. М. Уваров. – Губкин ; Старый Оскол : ООО «Ассистент плюс», 2017. – 461 с.
 5. Geetha V., Sivachidambarathan V. An overview of designing an induction heating system for domestic applications // International Journal of Power Electronics and Drive Systems. – 2019. – № 10(1). – P. 351–356.
 6. Serrano J., Acero J., Alonso R., Carretero C. and etc. Design and implementation of a test-bench for efficiency measurement of domestic induction heating appliances // ENERGIES. – 2016. – Vol. 9, Release 8.
 7. Kachanov A. N., Kachanov N. A., Korenkov D. A. Classification and scope of low-temperature induction heating systems with open magnetic circuits // Bulletin of the Moscow Energy Institute. – 2016. – № 2. – P. 36–40.
 8. Басов А. М. [и др.]. Электротехнология. – М. : Агропромиздат, 1985. – 256 с.
 9. Буканин В. А. Обеспечение безопасности при проектировании и эксплуатации индукционных электротермических установок. – СПб. : ОАО «Искусство России», 2011. – 176 с.
 10. Кацман М. М. Электрические машины. – М. : КноРус, 2020 – 480 с.
 11. Loshkarev I. Y., Shirobokova T. A., Shuvalova L. A. Automation of artificial lighting design for dairy herd cows // Journal of Physics: Conference Series The proceedings International Conference “Information Technologies in Business and Industry”. – 2019. – Oct. – P. 042018.
 12. Воробьев В. Е., Кучер В. Я. Прогнозирование срока службы электрических машин // Письменные лекции. – СПб. : СЗТУ, 2004. – 56 с.

Стерхова Татьяна Николаевна,
канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой
общинженерных дисциплин, ФГБОУ ВО
«Удмуртский государственный университет»:
Россия, 426034, Удмуртская
Республика, г. Ижевск, ул. Университетская, 1.

Тел.: (341-2) 68-16-10

E-mail: tatiana.sterh@mail.ru

USE OF INDUCTION HEATING FOR REPAIRING ELECTRIC MOTORS

Sterkhova Tatyana Nikolaevna, Cand.
of Tech. Sci., Head of General Engineering
Disciplines Depart., Udmurt State University,
Izhevsk, Russia.

Keywords: electric motor restoration,
rotor, stator, electric motor repair, induction
heating, heating temperature.

For quoting: Sterkhova, T. N. (2020).
Use of induction heating for repairing electric
motors. *Nauchnaya zhizn' [Scientific
Life]*, vol. 15, iss. 4. pp. 528–534. DOI:
10.35679/1991-9476-2020-15-4-528-534
[in Russian].

Abstract. The quality of the production process depends on the reliability of technological and electrical equipment. The technological process of repairing electric motors includes the assembly of the electric motor and its installation. To date, the dominant position for performing this operation is occupied by the methods of “sledgehammers” or “oil baths”. The assembly of the electric motor can be carried out after heating of its individual parts. Both of these assembly methods are quite time-consuming, time-consuming and require significant physical strength from the maintenance staff. One of the main tasks is to heat the motor housing to the required temperature, which ensures the free installation of the stator and rotor. The possibility of using induction heating at the final stage of repair of an electric motor is considered. Induction heating is the heating of conductive bodies in an electromagnetic field due to the induction of eddy currents in them. In this case, electrical energy is converted into thermal energy due to its triple conversion. The intensity and nature of the heating are influenced by the current frequency, the strength

of the electric and magnetic fields. By changing the indicated values, it is possible to obtain the necessary character of heating, its intensity and uniformity. For the study, the line equipment and the assembly process of 14 sizes of electric motor housings of the DATA and AIML series were considered. Calculation of heating temperatures for connection with interference fit of the DATA 63 electric motor housing with a stator and a rotor with a bearing was made. The calculation results of the heating temperature in two ways showed that using the induction method, the elements of the electric motor heat up 15% faster than during the operation of the heater. When creating the installation, the following requirements must be taken into account: high electrical and thermal efficiency, ease of maintenance, ease of controlling the heating process, and the possibility of its full automation. The use of induction heating allows one to automate the heating process and assembly of the electric motor, and makes it possible to increase the accuracy of the process without reducing operating time, increasing the stability and quality of the entire process.

REFERENCES

1. Sterkhova, T. N. (2020). Povyshenie nadezhnosti raboty elektrodvigatelya nasosa na dozhimnoy nasosnoy stantsii [Improving the reliability of the pump motor at the booster pump station]. *Collected Papers XXVII International Scientific-Practical onference «Advances in Science and Technology» (15 marta 2020 hoda)*. (pp. 75–77). Moscow: Nauchno-izdatel'skiy tsentr «Aktual'nost'.RF [in Russian].
2. Mosinduktor [Mosinductor]. *mosinductor.ru/info/articles/sovremennye-induktsionnye/kuznechnyenyagrevateli.ru*. Retrieved from <http://mosinductor.ru/info/articles/sovremennye-induktsionnye/kuznechnyenyagrevateli.ru>. [in Russian].
3. Likhachev, V. L. (2004). *Spravochnik obmotchika asinkhronnykh elektrodvigateley. [Handbook wrapper induction motors]*. Moscow: SOLON-Press [in Russian].
4. Bykov, I. A. (2017). Razrabotka vysokoeffektivnoy tekhnologii i oborudovaniya induktsionnogo nagreva korpusa elektrodvigatelya dlya zapressovki podshipnikov [Development of high-performance technology and equipment for induction heating of the motor housing for pressing bearings]. *Molodezh' i nauchno-tekhnicheskiy progress: materialy mezhvuzovskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh. – Youth and scientific and technological progress: materials of the inter-university scientific and practical conference of students, graduate students and young scientists*. (Vol. 1, pp. 199–203). Staryy Oskol: OOO «Assistent plyus» [in Russian].
5. Geetha, V. & Sivachidambaranathan, V. (2019). An overview of designing an induction heating system for domestic applications. *International Journal of Power Electronics and Drive Systems*, iss. 10 (1), pp. 351–356.
6. Serrano, J., Acero, J., Alonso, R., Carretero, C., Lope, I. & Burdio, J.M. (2016). Design and implementation of a test-bench for efficiency measurement of domestic induction heating appliances. *Energies*, vol. 9, Release 8.
7. Kachanov, A. N., Kachanov, N. A. & Korenkov, D. A. (2016). Classification and scope of low-temperature induction heating systems with open magnetic circuits. *Bulletin of the Moscow Energy Institute*, iss. 2, pp. 36–40.
8. Basov, A. M. et al. (1985). *Elektrotekhnologiya [Electrotechnology]*. Moscow: Agropromizdat [in Russian].
9. Bukanin, V. A. (2011). *Obespechenie bezopasnosti pri proektirovani i ekspluatatsii induktsionnykh elektrotermicheskikh ustanovok [Ensuring safety in the design and operation of induction electrothermal plants]*. Sankt-Petersburg: OAO «Iskusstvo Rossii» [in Russian].
10. Katsman, M. M. (2020). *Elektricheskie mashiny [Electric machines]*. Moscow: KnoRus [in Russian].
11. Loshkarev, I. Y., Shirobokova, T. A. & Shuvalova, L. A. (2019). Automation of artificial lighting design for dairy herd cows. *Journal of Physics: Conference Series The proceedings International Conference “Information Technologies in Business and Industry”*, vol. 1333, 042018, doi. 10.1088/1742-6596/1333/4/042018.

12. Vorob'ev, V. E. & Kucher, V. Ya. (2004). Prognozirovanie sroka sluzhby elektricheskikh mashin [Prediction of the life of electric machines]. Sankt-Petersburg: SZTU.
