

УДК 621.397.7

DOI 10.46960/2658-6754_2021_4_81

АДРЕСНАЯ СИГНАЛИЗАЦИЯ ПРОГНОЗИРУЕМОЙ ОСТАТОЧНОЙ ДЕФОРМАЦИИ ПЕРЕГРУЖЕННОГО ЭЛЕМЕНТА ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО СИЛОВОГО АГРЕГАТА

Р.С. Ахметшин

Набережночелнинский институт (филиал)
Казанского (Приволжского) федерального университета
Набережные Челны, Россия
e-mail: zoia_2007@inbox.ru

А.Ф. Анчугова

Набережночелнинский институт (филиал)
Казанского (Приволжского) федерального университета
Набережные Челны, Россия
e-mail: plotnikova_af@mail.ru

В статье предложено техническое решение мониторинга остаточной деформации для прогнозирования отказа перегруженного элемента, узла (участка) электротехнического силового агрегата. Предлагается метод адресного определения места критической величины деформации, который сократит срок ремонта по устранению аварии, а также предлагается технический принцип выполнения устройства мониторинга.

Ключевые слова: механическая перегрузка, электропривод, механическая передача вращающего момента, отказ, остаточная деформация, поломка.

Для цитирования: Ахметшин Р.С., Анчугова А.Ф. Адресная сигнализация прогнозирования остаточной деформации перегруженного элемента электротехнического силового агрегата // Интеллектуальная электротехника. 2021. № 4. С. 81-89. DOI: 10.46960/2658-6754_2021_4_81

ADDRESS SIGNALING OF PREDICTED RESIDUAL DEFORMATION OF OVERLOADED ELEMENT OF ELECTRICAL POWER UNIT

R.S. Akhmetshin

Kazan Federal University – Naberezhnye Chelny Institute
Naberezhnye Chelny, Russia
e-mail: zoia_2007@inbox.ru

A.F. Anchugova

Kazan Federal University – Naberezhnye Chelny Institute
Naberezhnye Chelny, Russia
e-mail: plotnikova_af@mail.ru

Abstract. The article proposes a technical solution for monitoring residual deformation to predict the failure of an overloaded element, node, (section) of an electrical power unit. A method for addressing the location of the critical value of deformation, which will shorten the repair time to eliminate the accident, is proposed, and a technical principle for performing a monitoring device is proposed.

Keywords: breakdown, electric drive, failure, mechanical overload, mechanical transmission of torque, residual deformation.

For citation: R.S. Akhmetshin and A.F. Anchugov, “Address signaling of prediction of residual deformation of an overloaded element of an electrical power unit”, *Smart Electrical Engineering*, no. 4, pp. 81-89, 2021. DOI: 10.46960/2658-6754_2021_4_81

I. Введение

Все экспериментальные методы обнаружения и измерения остаточных напряжений в изделиях в основном определяют эксплуатационные свойства продукции. Эти методы можно разделить (в некоторой степени условно) на химические, механические, рентгенографические, твердости, магнитные, поляризационно-оптические, термические и металлохимические.

Химические методы, чаще всего направленные на обнаружение и определение знака поверхностных напряжений, основаны на явлении влияния остаточных (и не только) напряжений на коррозионную стойкость металла.

Все механические методы являются разрушающими и заключаются в замере деформаций после удаления части металла изделия, за счет которого происходит перераспределение в объеме внутренних напряжений. Механические методы находят ограниченное применение, так как изделие подвергается частичному или полному разрушению.

Методы химического или электролитического травливания, несмотря на разнообразие аппаратуры, базируются на тех же основных принципах, что и механические методы: на основании замеров изменяющихся размеров тела при травливании с его поверхности слоев металла вычисляют деформации, а затем и величину остаточных напряжений.

Рентгенографические методы имеют следующие преимущества перед механическими и химическими: во-первых, сохраняется объект исследования, если ограничиваться измерением напряжений в поверхностных слоях; во-вторых, появляется возможность измерять напряжения в каждой

точке поверхности при любом, даже несимметричном, распределении напряжений.

Метод твердости заключается в использовании влияния внутренних напряжений на величину твердости напряженных тел. Магнитный метод основан на зависимости между магнитными свойствами металла и упругими напряжениями. Поляризационно-оптический метод базируется на исследовании деформаций на поверхности металла с использованием оптически активных пленок. Термический метод заключается в определении остаточных напряжений, используя способность металлических изделий изменять размеры при отжиге.

Применение того или иного метода обуславливается конкретными условиями исследования.

Научная новизна данной работы состоит в разработке новой методики определения остаточной деформации перегруженного элемента электротехнического силового агрегата. Предлагается метод адресного определения места критической величины деформации, который сократит срок ремонта по устранению аварии, а также предлагается технический принцип выполнения устройства мониторинга. Статья в большей степени носит информационный характер.

II. Постановка задачи

Остаточная деформация, возникающая при превышении действующими нагрузками пределы упругости, относится к механическим повреждениям. Вредное действие остаточных напряжений сказывается в повышении общей химической активности металла. Остаточные напряжения могут вызвать искажение формы и изменение размеров изделия во время его обработки, эксплуатации или хранения [1, 2].

В промышленности известны технические решения по определению остаточной деформации для прогнозирования отказа, например, [3, 4].

Устройство для определения внутренних остаточных напряжений объектов (изделий), прогнозирующее аварию механического агрегата, содержит: блок для контроля создавшегося напряженно-деформированного состояния, измеритель деформации на поверхности, содержащий объектив. При этом измеритель деформации выполнен в виде голографического интерферометра, а блок для определения напряженно-деформированного состояния и объектив закреплены на корпусе интерферометра так, чтобы рабочая зона первого и фокус объектива совпали с геометрическим центром контролируемой зоны.

Устройством мониторинга внутренних остаточных напряжений [5-7] технически сложно получить корректный результат в производственных цехах, где возможны значительные вибрации и перепады температур, невозможно соблюдать чистоту измерений, а также отсутствует возможность

определения местоположения элемента в многоэлементном объекте с максимальным внутренним остаточным напряжением.

На практике находит применение также способ для определения внутренних остаточных напряжений в объекте [8], предназначенный для мониторинга остаточной механической деформации в участке или звене механического силового агрегата для прогнозирования аварии. Способ заключается в том, что повышение точности, производительности и расширение класса исследуемых объектов, зоны релаксации напряжений производят динамическим ударом с помощью сферического элемента диаметром в диапазоне 7-11 мм² из твердосплавного материала по направлению нормали к поверхности с силой, обеспечивающей образование на поверхности отпечатка диаметром 0,1-0,15 мм² сферического элемента.

Способ определения остаточных напряжений в объекте [9] обладает существенным недостатком: при использовании его в крупных цехах металлопроката определение внутренних остаточных напряжений в объекте некорректно по причине резко переменных температур и вибраций. Определение местоположения внутренних остаточных напряжений с наибольшей величиной не представляется возможным. Причем этот способ можно отнести к разрушительным, так как удар с остаточным отпечатком чреват появлением микротрещин.

III. Адресное определение места остаточной механической деформации

В статье приводится техническое решение адресного определения прогнозируемого возможного места возникающей с большей по величине остаточной механической деформации в участке (звене) силового агрегата.

Сущностью предлагаемого технического решения является устройство адресного мониторинга остаточной механической деформации во всех участках (звеньях) механического силового агрегата, содержащего двигатель (синхронный электродвигатель), движители участков или звеньев механического силового агрегата, дополненных на торцах валов двигателя и всех движителей особыми точками (метки, риски), например, их точечным намагничиванием. Напротив торцов валов двигателя и всех движителей, имеющих особые точки (метки, риски) на неподвижных частях (статорах, станинах механизмов), предусмотрены датчики отбора сигнала от точек с метками (рисками), что на торце вала двигателя и каждого движителя. Причем датчики закреплены на корпусе силового агрегата, и полученные сигналы в датчиках трансформируются в предусмотренном блоке, имеющем в свою очередь адаптер, регистратор и согласующий узел. Для возможности приведения по частоте вращения вала каждого движителя к базовой частоте вращения вала двигателя, дополнительно предусмотрен аналого-цифровой

преобразователь и цифровой вычислитель автоматического счета небаланса угла смещения между меткой (риском) на точке на валу каждого двигателя (или разница времени появления сигнала) относительно метки (риски) на точке на валу двигателя. Небаланс угла или разница времени образуется при наличии остаточной деформации в каком-либо элементе силового агрегата. Анализатор – компьютер предусмотрен с функциями исполнительного органа и сигнализатора предельной остаточной деформации.

При достижении критической величины измеренного угла или разницы времени передается сигнал предупреждения диспетчеру пульта.

На рис. 1 изображено устройство мониторинга остаточной механической деформации в участке или звене механического силового агрегата.

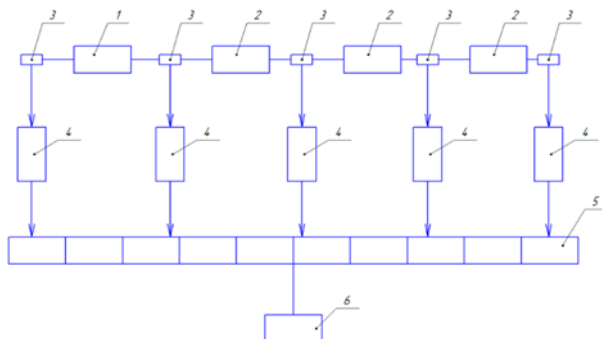


Рис. 1. Устройство мониторинга остаточной механической деформации в участке или звене механического силового агрегата
Fig. 1. Device for monitoring residual mechanical deformation in a section or link of a mechanical power unit

Обозначения на рис. 1: 1 – двигатель механического силового агрегата; 2 – движитель звена механического силового агрегата; 3 – датчик отбора сигнала от метки точки на торце вала двигателя 1 и каждого движителя 2 (при этом условно не показана метка (намагниченная точка или риска) на торце вала двигателя 1 и движителей 2); 4 – блок содержит адаптер, регистратор и согласующий узел отбора сигнала с метки (риски) (намагниченная точка) на торце вала двигателя 1 и точки с меткой (риской), точка на валу каждого движителя 2. Появляющиеся сигналы от датчиков в блоке 4, в котором показания от датчиков приводятся по частоте вращения вала каждого движителя 2 к базовой частоте вращения вала двигателя 1. Далее, 5 – аналогово-цифровой преобразователь (АЦП) и цифровой вычислитель определяют небаланс угла смещения между меткой (риской) на точке на валу движителя 2 (или разница времени появления сигнала) относительно

метки (риски) на точке на валу двигателя 1. Небаланс угла или разница времени образуется при появлении остаточной деформации в каком-либо элементе силового агрегата. 6 – анализатор – компьютер с функциями исполнительного органа и сигнализатора предельной остаточной деформации.

Предлагаемое техническое решение работает следующим образом.

Появившаяся остаточная деформация на элементах деталей, подверженных импульсным механическим давлениям, фиксируется в накопительном процессе работы механического силового агрегата. Она напрямую зависит от возникающих механических сил и моментов в динамических режимах работы и описывается следующими математическими моделями [10] по совокупности сил:

$$\sum F = m \cdot \frac{dv}{dt} + v \cdot \frac{dm}{dt}, \quad (1)$$

по совокупности моментов:

$$\sum M = J \cdot \frac{d\omega}{dt} + \omega \cdot \frac{dJ}{dt}, \quad (2)$$

где m и J – масса и момент инерции элемента, ω и v – угловая и линейная скорости движения элемента, t – время.

Если процесс соответствует установившемуся номинальному механическому режиму, то совокупность сил и моментов (1), (2) равны 0.

В общем виде уравнение движения принимает вид:

$$M - M_C = J \cdot \frac{d\omega}{dt} = M_{\text{дин}}, \quad (3)$$

где M – момент двигателя, M_C – момент нагрузки, $M_{\text{дин}}$ – динамический момент.

Если динамический момент увеличивается до критического, то будет наблюдаться деформация, которая может вызвать остаточную деформацию, последствием которой может стать отказ или поломка.

Устройство постоянно или периодически производит мониторинг остаточной деформации опросом угла расхождения меток (рисок) на точках на торцах, вращающихся валов каждого звена двигателей 2 (рис.1), механического силового агрегата при больших крутящих моментах, относительно метки (риски) на точках на торце вала двигателя 1, принятого за начало отсчёта. Это производится путём приведения частоты вращения валов двигателей 2 к базовой частоте вращения вала двигателя 1. И далее

путем опроса и сбора информация с каждого датчика 3 поступает информация через блок 4 (адаптер с регистратором) от движителей 2 о расположении меток на торцах валов движителей силового агрегата относительно расположения меток на торцах вала двигателя 1. Информация преобразуется в АЦП 5, вычисляются углы расхождения между метками, далее информация анализируется с помощью программного обеспечения анализатор - компьютера 6. Анализ позволяет определить место остаточной деформации, возможно предельной величины, то есть предельного угла расхождения между метками на торцах валов движителей 2 и двигателя 1.

IV. Заключение

Известные в промышленности технические решения по определению остаточной деформации для прогнозирования отказа обладают определенными недостатками:

- отсутствует адресность определения критических остаточных деформаций в звеньях (участках);
- определение местоположения внутренних остаточных напряжений с наибольшей величиной в существующих методах не представляется возможным.

Рассматриваемое устройство мониторинга остаточной механической деформации лишено указанных ранее недостатков, присутствующих в применяемых методах обнаружения и измерения остаточных напряжений. Адресность предлагаемого технического решения позволяет сократить сроки ремонта по устранению аварии за счет уменьшения времени поиска места аварии.

©Ахметшин Р.С., 2021

©Анчугова А.Ф., 2021

Поступила в редакцию 12.11.2021

Received 12.11.2021

Библиографический список

- [1] Буркин С.П., Шимов Г.В., Андрюкова Е.А. Металлургия. Остаточные напряжения в металлопродукции. Москва: Юрайт, 2021. – 247 с.
- [2] ГОСТ 27.302-86. Надежность в технике. Методы определения допустимого отклонения параметра технического состояния прогнозирования остаточного ресурса составных частей агрегатов и машин. Введ. 1987-01-01 (отменен).
- [3] Чернышев Г.Н., Попов А.Л., Козинцев В.М. Полезные и опасные остаточные напряжения // Природа. 2002. № 10 (1046). С. 17-24.
- [4] Тутушкин В.И., Фандеев Е.П. Методический подход к выбору диагностических параметров для прогнозирования технического состояния аппаратуры // Известия Высших Учебных Заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2011. №3 (19). С. 124-131.

- [5] Вишняков М.А., Кравченко Б.А. Применение термомеханического упрочнения для повышения характеристик качества поверхности высоконагруженных деталей // Справочник. Инженерный Журнал. 2002. № 12. С. 15–18.
- [6] Лешерн П.И., Мацюк В.И., Пылайкин П.А., Петухов А.В. Способ определения величины остаточной деформации и устройство его осуществления, Пат. SU 787888, заявл. 01.09.1978; опубл. 15.12.1980. – Бюл. № 46.
- [7] Антонов А.А., Чернышев Г.Н., Морозов В.К. Устройство для определения внутренних остаточных напряжений изделий, Пат. SU 953438, заявл. 21.04.1980; опубл. 25.08.1982. – Бюл. № 31.
- [8] Игнатъев А.Г., Шахматов М.В., Костюченко В.П., Способ определения остаточных напряжений в объекте и устройство его осуществления, Пат. SU 1717941, заявл. 31.08.1989; опубл. 07.03.1992. – Бюл. № 9.
- [9] Шимов Г.В., Ковин Д.С. Остаточные напряжения в медных и латунных трубах // Известия вузов. Цветная Металлургия. 2015. № 5. С. 46-49. DOI: 10.17073/0021-3438-2015-1s-46-49
- [10] Москаленко В.В. Электрический привод. М.: Академия, 2007. – 368 с.

References

- [1] S.P. Burkin, G.V. Shimov and E.A. Andriukova, *Metallurgiya. Ostatochnye napryazheniya v metalloprodukcii [Metallurgy. Residual stresses in metal products]*. Moscow: Yurayt, 2021 (in Russian).
- [2] Industrial product dependability. Evaluation methods of admissible state-deviation and prognosis of the residual machine components, GOST 27.302-86, Jan. 1987.
- [3] G.N. Chernyshev, A.L. Popov and V.M. Kozintsev, “Useful and hazardous residual stresses”, *Priroda*, no. 10, pp. 17-24, Oct. 2002.
- [4] E.P. Fandeev and V.I. Tutushkin, “Metodicheskiy podhod k vyboru diagnosticheskikh parametrov dlya prognozirovaniya tekhnicheskogo sostoyaniya apparatury [Methodical approach to the choice of diagnostic parameters for predicting the technical condition of equipment]”, *University Proceedings. Volga Region. Technical Sciences*, no. 3 (19), pp. 124-131, 2011 (in Russian).
- [5] M.A. Vishnyakov and B.A. Kravchenko, “Primenenie termomekhanicheskogo uprochneniya dlya povysheniya harakteristik kachestva poverhnosti vysokonagruzhennykh detalej [Application of thermomechanical hardening to improve the surface quality characteristics of highly loaded parts]”, *Spravochnik. Inzhenernyi Zhurnal*, no. 12, pp. 15-18, 2002 (in Russian).
- [6] P.I. Leshern, V.I. Matsyuk, P.A. Pylaikin and A.V. Petukhov, “Sposob opredeleniya velichiny ostatochnoy deformatsii i ustrojstvo ego osushchestvleniya [A method for determining the magnitude of residual deformation and a device for its implementation]”, Patent SU 787888, Dec. 15, 1980 (in Russian).
- [7] A.A. Antonov, G.N. Chernyshev and V.K. Morozov, “Ustrojstvo dlya opredeleniya vnutrennih ostatochnyh napryazhenij izdelij [Device for determining the internal residual stress of the products]”, Patent SU 953438, Aug. 25, 1982 (in Russian).
- [8] A.G. Ignat'ev, M.V. Shakhmatov and V.P. Kostyuchenko, “Sposob opredeleniya ostatochnyh napryazhenij v ob'ekte i ustrojstvo ego osushchestvleniya [Method of determination of residual stresses in the object and device for its implementation]”, Patent SU 1717941, March 07, 1992 (in Russian).

- [9] G.V. Shimov and D.S. Kovin, “Residual stresses in copper and brass pipes after drawing”, *Izvestiya Vuzov. Tsvetnaya Metallurgiya (Izvestiya. Non-Ferrous Metallurgy)*, no. S, pp. 46-49, 2015. DOI: 10.17073/0021-3438-2015-1s-46-49
- [10] V.V. Moskalenko, *Elektricheskij privod [Electric drive]*. Moscow: Academy, 2007 (in Russian).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Ахметшин Роберт Султанович, кандидат технических наук, доцент Набережночелнинского института (филиала) Казанского (Приволжского) Федерального Университета, г. Набережные Челны, Российская Федерация.

Robert S. Akhmetshin., Cand. Sci. (Eng.), associate professor of the Kazan Federal University – Naberezhnye Chelny Institute, Naberezhnye Chelny, Russian Federation.

Анчугова Алевтина Флегентьевна, старший преподаватель Набережночелнинского института (филиала) Казанского (Приволжского) Федерального Университета, г. Набережные Челны, Российская Федерация

Alevtina F. Anchugova, assistant professor of the Kazan Federal University – Naberezhnye Chelny Institute, Naberezhnye Chelny, Russian Federation.