

УДК 621.791.753.042

©Чигарев В.В.¹, Щетинина В.И.², Щетинин С.В.³**ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ПРИРОДА ПРОЦЕССА СВАРИВАНИЯ
ПРИ ФРЕТТИНГ-КОРРОЗИИ ОПОРНЫХ ВАЛКОВ**

Установлена электромагнитная природа процесса сваривания контактирующих поверхностей опорного валка и втулки-цапфы. Разработан основанный на использовании квантовых процессов электромагнитного взаимодействия атомов способ предотвращения фреттинг-коррозии опорного валка.

Ключевые слова: Электромагнитная природа, процесс сваривания, квантовые процессы, фреттинг-коррозия, опорный валок.

Чигарьов В.В., Щетиніна В.І., Щетинін С.В. Електромагнітна природа процесу зварювання при фреттинг-корозії опорного валку. Встановлена електромагнітна природа процесу зварювання контактуючих поверхонь опорного валку і втулки-цапфи. Розроблено заснований на використанні квантових процесів електромагнітної взаємодії атомів спосіб запобігання фреттинг-корозії опорного валку.

Ключові слова: Електромагнітна природа, процес зварювання, квантові процеси, фреттинг-коррозія, опорний валок.

V.V. Chigarev, V.I. Shchetinina, S.V. Shchetinin. Electromagnetic nature of the welding process at fretting corrosion of the back-up roll. The electromagnetic nature of the welding process at fretting corrosion of the back-up roll and pin bushing was found out. The method for prevention of fretting-corrosion of the back-up roll was developed, on the basis of application of quantum processes of atomic electro-magnetic interaction.

Keywords: electromagnetic nature, welding process, quant processes, fretting-corrosion, support shaft.

Постановка проблемы. Опорные валки стана 3000 при прокатке испытывают значительные контактные давления. Под действием высоких удельных давлений, втулка-цапфа сваривается с опорным валком, и происходит фреттинг-коррозия. При фреттинг-коррозии значительно ухудшается качество поверхностей, что приводит к снижению усталостной прочности. Фреттинг-коррозия возникает под действием значительных удельных давлений при относительно колебательном движении, которое при малом значении является достаточным для возникновения фреттинг-коррозии. Существует ряд гипотез о природе, и предлагаются различные методы предотвращения фреттинг-коррозии, физическая природа которой не установлена. Поэтому изучение механизма и разработка способов предотвращения фреттинг-коррозии является важной научно-технической проблемой.

Анализ последних исследований и публикаций. С помощью металлоструктурного, электронномикроскопического и рентгеноструктурного анализов установлено, что при фреттинг-коррозии протекают схватывание, абразивное разрушение, усталостные процессы, сопровождающиеся окислением и коррозией [1]. В зависимости от условий нагружения один из процессов превалирует и оказывает существенное влияние на долговечность работы соединения. При фреттинг-коррозии протекает интенсивная пластическая деформация [1]. В связи с передеформированием материала в поверхностных слоях развиваются усталостные явления, сопровождающиеся образованием микротрещин, так как фреттинг-коррозия и усталость, имеют одну и ту же причину возникновения [2]. Термином «фреттинг-коррозия» (fret – разъедать) [3] пользуются для особого вида разрушения, возникающего на нагруженных металлических поверхностях [4] при их реверсивном относительном микросмещении. Для объяснения фреттинг-коррозии предложены различные механизмы и молекулярная теория фреттинг-коррозии [5, 6].

¹ д-р техн. наук, доцент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

² д-р техн. наук, доцент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

³ канд. техн. наук, доцент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

С учетом того, что для металлов характерно кристаллическое строение, молекулярная теория менее вероятна. Считают [7], что фреттинг-коррозия усиливается присутствием кислорода, что приводит к образованию окислов, действующих как абразив. Существует теория [8, 9], согласно которой фреттинг-коррозия является следствием небольшой амплитуды относительного скольжения контактирующих поверхностей. Несмотря на значительное количество работ, механизм фреттинг-коррозии исследован недостаточно.

Цель статьи – изучение механизма процесса сваривания и разработка способов предотвращения фреттинг-коррозии опорных валков стана 3000.

Изложение основного материала. Опорные валки стана 3000 работают в условиях значительных удельных давлений, которые определяют природу фреттинг-коррозии. Под действием высоких удельных давлений, превышающих предел текучести, происходит пластическая деформация, вследствие чего атомы втулки-цапфы сближаются с конусной поверхностью валка на межатомное расстояние, свариваются, и возникает фреттинг-коррозия. При разборке опорных валков прикладываются значительные усилия для снятия подшипника ПЖТ, подушка деформируется, что приводит к заклиниванию подшипника и выходу из строя гидропресса.

После разборки опорного валка поверхности конусных шеек опорного валка и втулок-цапф зачищаются шлифмашинкой, что является трудоемкой операцией, которая приводит к увеличению шероховатости и уменьшению контактных поверхностей. В результате удельные давления в процессе прокатки возрастают, что усиливает схватывание и фреттинг-коррозию.

При фреттинг-коррозии значительно ухудшается качество поверхностей, что приводит к снижению усталостной прочности.

Фреттинг-коррозия возникает под действием значительных удельных давлений при относительном колебательном движении, которое при малом значении является достаточным для возникновения фреттинг-коррозии. Из анализа поврежденных поверхностей конических шеек опорного валка и втулок-цапф следует, что под действием высоких удельных давлений вначале происходит упругая деформация, в процессе которой вследствие незначительных перемещений контактирующих поверхностей, вызванных проскальзыванием в области шпонки, удаляются окисные пленки, и образуются ювенильные поверхности. Механическая энергия трения трущихся поверхностей превращается в тепловую, что подтверждается наличием на поверхности конической шейки опорного валка и втулки-цапфы черных пятен в результате выгорания смазки под действием высокой температуры. Под действием тепловой энергии поверхностным атомам сообщается энергия активации, необходимая для повышения энергии поверхностных атомов до уровня энергетического барьера схватывания. Энергия активации сообщается в виде теплоты (термическая активация) и упругопластической деформации (механическая активация). Пластическая деформация, которая начинается при достижении напряжений предела текучести, приводит к сближению атомов контактирующих поверхностей на межатомное расстояние и возникновению межатомных сил, имеющих электромагнитную природу, вследствие создания электромагнитных сил притяжения движущимися вокруг ядра электронами и микро-токами.

Из электромагнитной природы межатомных сил связей следует, что фреттинг-коррозия является результатом возникновения электромагнитных сил притяжения при сближении атомов втулки-цапфы и опорного валка на межатомное расстояние под действием удельных давлений, превышающих предел текучести.

Сваривание опорного валка с втулкой-цапфой и фреттинг-коррозия происходят при микросмещении атомов контактирующих поверхностей, что обеспечивает одинаковое направление микротоков вращающихся вокруг ядра электронов контактирующих поверхностей и свидетельствует об электромагнитной природе процесса сваривания при фреттинг-коррозии.

Для подтверждения электромагнитной природы процесса сваривания при фреттинг-коррозии опорных валков разработана модель процесса с профрезерованной канавкой (рис. 1), при которой по валу диаметром $25 \cdot 10^{-3}$ м пропускается ток (рис. 1, а), и производятся измерения индукции магнитного поля внутри ферромагнитного вала Тесламетром ЭМ4305. Аналогично производятся измерения индукции магнитного поля при протекании тока по втулке (рис. 1, б) с внутренним диаметром $25 \cdot 10^{-3}$ м и внешним диаметром $40 \cdot 10^{-3}$ м и при протекании тока по валу, расположенному внутри втулки (рис. 1, в), который является моделью опорного валка и втулки-цапфы.

Для адекватности модели реальным условиям сварки исследования магнитного поля проводили при величине тока 2100А. В качестве источника питания использовали сварочный выпрямитель ВМГ-5000.

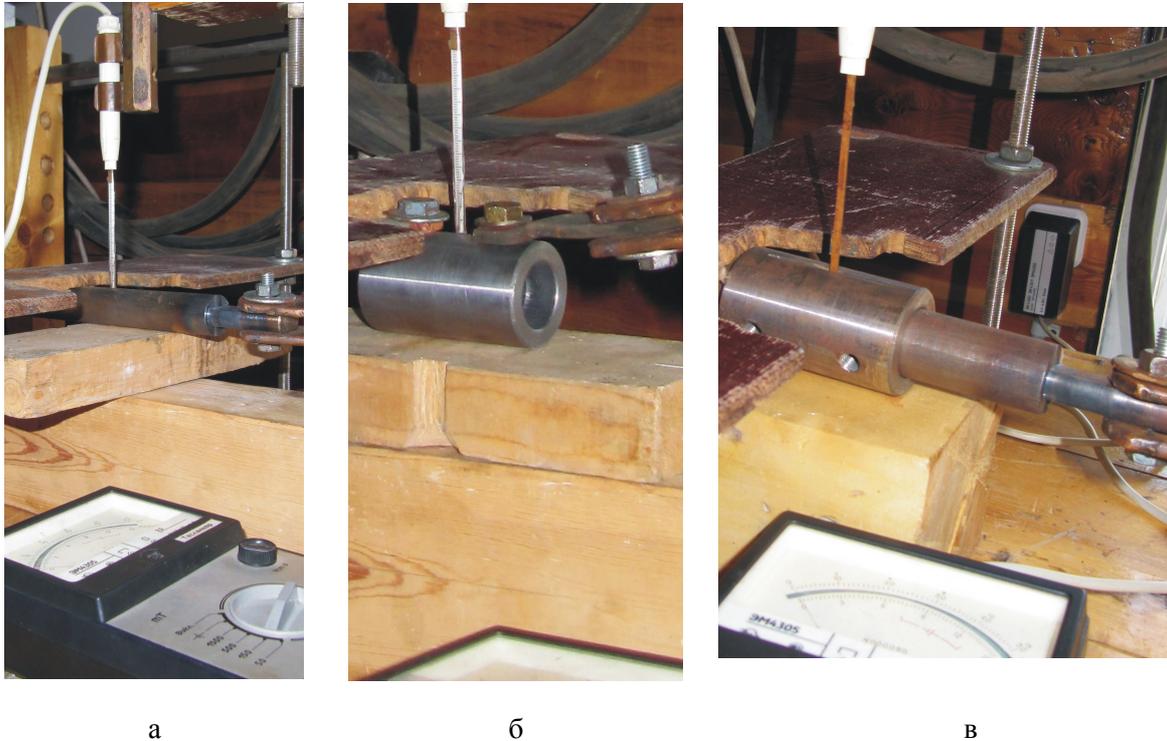


Рис. 1 – Модель вала (а), втулки-цапфы (б) и опорного вала с втулкой-цапфой (в)

Как установлено, при протекании тока по ферромагнитному валу индукция на оси равна нулю, при приближении к поверхности индукция возрастает и достигает максимального значения на поверхности, что соответствует закону Био-Савара [10]. При переходе от одной поверхности к другой индукция изменяет направление на противоположное. В соответствии с индукцией на поверхности имеют максимальное значение электромагнитная сила [10] и магнитное давление [11].

Индукция магнитного поля внутри цилиндрического проводника с током [10]:

$$B = \mu\mu_0 \frac{I r_1^2}{2\pi r^2}, \text{ Т,}$$

где I – величина тока, А;

μ – магнитная проницаемость воздуха, $4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м;

μ_0 – относительная магнитная проницаемость ферромагнетика;

r – радиус проводника с током, м;

r_1 – текущий радиус, м.

Расчет индукции по данной формуле затруднен вследствие зависимости относительной магнитной проницаемости от напряженности магнитного поля. Однако закономерность распределения индукции свидетельствует, что максимальное значение индукции располагается на поверхности, когда текущий радиус равен радиусу проводника с током. Это хорошо согласуется с экспериментальными данными, полученными при моделировании процесса.

При протекании тока по втулке (рис. 1, б) индукция магнитного поля тока аналогична трубе [10]:

$$B = \mu\mu_0 \frac{I(r^2 - r_1^2)}{2\pi r(r_2^2 - r_1^2)}, \text{ Т,}$$

где I – величина тока, А;
 μ – магнитная проницаемость воздуха, $4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м;
 μ_0 – относительная магнитная проницаемость ферромагнетика;
 r – текущий радиус, м;
 r_1 – внутренний радиус трубы, м;
 r_2 – внешний радиус трубы, м.

Расчет по данной формуле дает распределение индукции магнитного поля с максимумом на поверхности. Согласно экспериментальным данным максимальное значение индукции располагается на середине толщины трубы вследствие выпучивания силовых линий магнитного поля в зазоре и уменьшения индукции на поверхности.

Особенно усиливается магнитное поле при протекании тока по валу внутри ферромагнитной втулки. При этом максимальное значение индукции, электромагнитной силы и магнитного давления располагается на границе вала и втулки.

При протекании тока по валу и втулке (рис. 2) закономерность распределения индукции изменилась. Максимальное значение индукции сместилось с границы вала и трубы на середину толщины трубы и уменьшилось до 0,45 Т. Это является результатом увеличения площади поперечного сечения, по которой протекает ток, и снижения плотности тока. Магнитный поток остался неизменным.

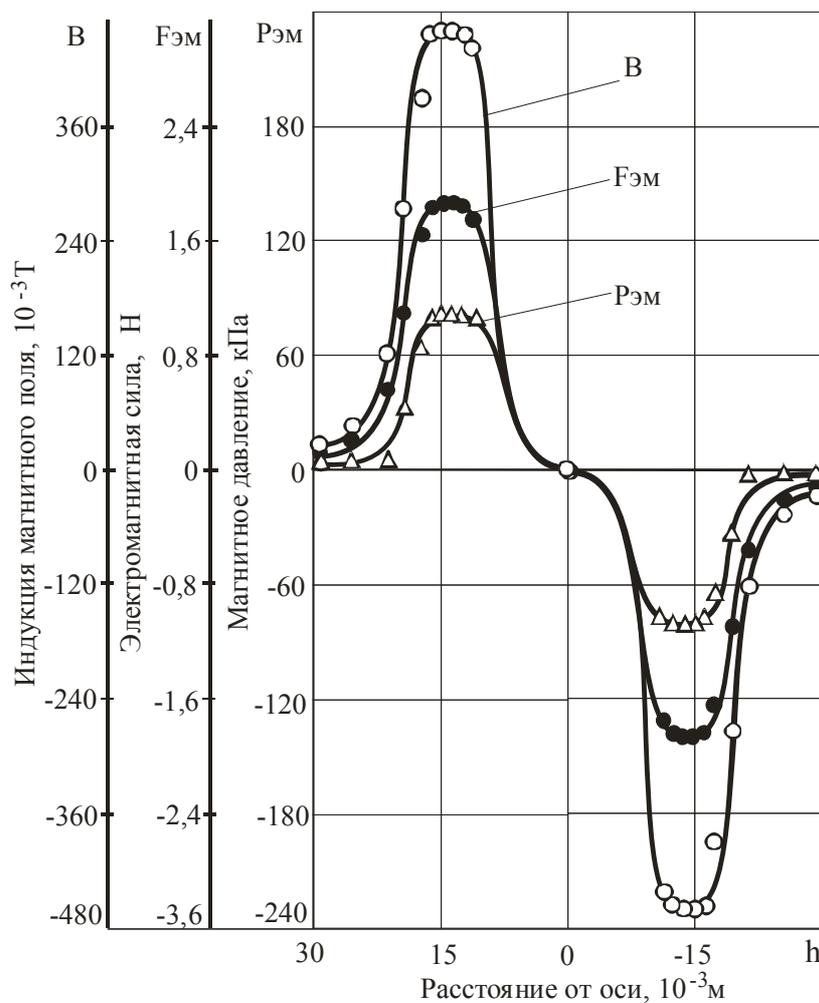


Рис. 2 – Магнитное поле при протекании тока по валу и втулке

Существующие способы предотвращения фреттинг-коррозии основаны на механических процессах исключения микросмещений контактирующих поверхностей путем натяга, примене-

ния смазки под давлением, коррозионноустойчивых сталей, нанесения плазменных покрытий и порошка дисульфита молибдена, подбора пар.

На основании установленных закономерностей можно сделать вывод, что наиболее эффективным является электромагнитный способ предотвращения фреттинг-коррозии.

Разработан основанный на использовании квантовых процессов электромагнитного взаимодействия атомов способ предотвращения фреттинг-коррозии за счет намагничивания контактных поверхностей с противоположным направлением силовых линий магнитного поля, создания электромагнитных сил и магнитного давления отталкивания, которые при сближении атомов на межатомное расстояние под действием высоких давлений возрастают, что предотвращает фреттинг-коррозию.

Эффективность разработанного способа предотвращения фреттинг-коррозии подтверждена при промышленном опробовании намагничивания контактных поверхностей опорных валков и втулок-цапф стана 3000 на ПАО «Мариупольский металлургический комбинат им. Ильича».

Установленные закономерности влияния формы изделия на магнитное поле сварочного тока и разработанный способ могут быть использованы для предотвращения фреттинг-коррозии опорных валков цеха холодного проката.

Дальнейшие исследования в данном направлении являются перспективными, так как позволят разработать новые процессы сварки, основанные на использовании квантовых процессов электромагнитного взаимодействия.

Выводы

1. Разработана модель опорного валка и втулки-цапфы, которая позволила установить закономерности распределения магнитного поля. При протекании тока по валу и втулке максимальные значения индукции, электромагнитной силы и магнитного давления снижаются и располагаются на середине толщины втулки.
2. Установлено, что фреттинг-коррозия опорного валка является результатом сваривания контактирующих поверхностей опорного валка и втулки-цапфы и электромагнитная природа процесса сваривания при фреттинг-коррозии опорного валка.
3. Необходимым условием процесса сваривания является микросмещение контактирующих поверхностей, что подтверждает электромагнитную природу межатомных сил связей.
4. На основании электромагнитной природы межатомных сил связей установлено, что наиболее эффективным способом предотвращения фреттинг-коррозии является электромагнитная обработка контактирующих поверхностей.
5. Разработан основанный на использовании квантовых процессов электромагнитного взаимодействия атомов способ предотвращения фреттинг-коррозии за счет намагничивания контактных поверхностей с противоположным направлением силовых линий магнитного поля, создания электромагнитных сил и магнитного давления отталкивания, которые при сближении атомов на межатомное расстояние под действием высоких давлений возрастают, что предотвращает фреттинг-коррозию.

Список использованных источников:

1. Голего Н.Л. Фреттинг-коррозия металлов / Н.Л. Голего, А.Я. Алябьев, В.В. Шевеля. – К. : Техника, 1974. – 272 с.
2. Эванс Ю.Р. Коррозия и окисление металлов / Ю.Р. Эванс. – М. : Машиностроение, 1962. – 277 с.
3. Campbell W.E. The current status of fretting corrosion / W.E. Campbell. – ASTM. : Spec. Techn. Public. Symposium on Fretting Corrosion, 3, 1953. – 144 с.
4. Eden E.M. The endurance of metals / E.M. Eden, W.N. Rose, E.L. Cunningham. – Proc. Inst. Mech. Eng., 1911. – 839 с.
5. Tomlinson G.A. The rusting of steel surfaces in contact / G.A. Tomlinson. – Proc. Roy. Soc. A. 115, 1927. – 472 с.
6. Tomlinson G.A. An investigation of the fretting corrosion of closely fitting surfaces / G.A. Tomlinson, P.L. Thorpe, H.J. Gough. – Proc. Inst. Mech. Eng., 141, 1939. – 323 с.

7. Райт К.Г.Р. Исследование контактной коррозии / К.Г.Р. Райт. – Прикладная механика и машиностроение, 1954. – №6. – С. 11-15.
8. Feng I-Ming. A new theory of metal transfer and wear / Feng I-Ming // Lubrication Eng, 34, 1954. – 235 с.
9. Feng I-Ming. The mechanism of fretting / Feng I-Ming, B.G. Rightmire // Lubrication Eng. June 9 – 1953. – С. 134-158.
10. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электромагнитное поле / Л.А. Бессонов. – М. : Гардарики, 2001. – 317 с.
11. Абрамович Г.П. Прикладная газовая динамика / Г.П. Абрамович. – М. : Наука, 1969. – 824 с.

Bibliography:

1. Dolego N.L. Metal fretting corrosion / N.L. Golego, A.Y. Alybev, V.V. Schevely. – К. : Technic, 1974. – 272 p. (Rus.)
2. Evans U.R. Metal corrosion and oxidation / U.R. Evans. – М. : machanebuilding, 1962. – 277 p. (Rus.)
3. Campbell W.E. The current status of fretting corrosion / W.E. Campbell. – ASTM. : Spec.Techn. Public. Symposium on Frreting Corrosion, 3, 1953. – 144 p.
4. Eden E.M. The endurance of metals / E.M. Eden, W.N. Rose, E.L. Cunningham. – Proc. Inst. Mech. Eng., 1911. – 839 p.
5. Tomlinson G.A. The rusting of steel surfaces in contact / G.A. Tomlinson. – Proc. Roy. Soc. A. 115, 1927. – 472 p.
6. Tomlinson G.A. An investigation of the fretting corrosion of closely fitting surfaces / G.A. Tomlinson, P.L. Thorpe, H.J. Gough. – Proc. Inst. Mech. Eng.141, 1939. – 323 p.
7. Rayt K.G.R. Contact corrosion research / K.G.R. Rayt. – Applied mechanic and machanebuilding, 1954. – №6. – P. 11-15. (Rus.)
8. Feng I-Ming. A new theory of metal transfer and wear / Feng I-Ming // Lubrication Eng, 34, 1954. – 235 с.
9. Feng I-Ming. The mechanism of fretting / Feng I-Ming, B.G. Rightmire // Lubrication Eng. June 9 – 1953. – С. 134-158.
10. Bessonov L.A. Electrotechnics basses theoretical. Electromagnetic field / L.A. Bessonov. – М. : Gardariky, 2001. – 317 p. (Rus.)
11. Abramovich G.P. Applied gas dynamic / G.P. Abramovich. – М. : Sience, 1969. – 824 p. (Rus.)

Рецензент: С.С. Самоутугин
д-р техн. наук, проф. ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 24.11.2011