

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВИБРАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ ГАЗОПЛАМЕННЫХ АНТИФРИКЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ

Сергей Лузан, Николай Кириенко

Харьковский национальный технический университет сельскохозяйственного

имени Петра Василенко

Ул. Артема, 44, Харьков, Украина. E-mail: khadi.luzan@gmail.com

Sergey Luzan, Nikolai Kirienko

Kharkiv national technical University of agriculture economy Petro Vasilenko

Artema Street, 44, Kharkov, Ukraine. E-mail: khadi.luzan@gmail.com

Аннотация. Впервые идея о возможности применения вибрационного воздействия на металл с целью улучшения его свойств высказана Д.К. Черновым в 1869 году. После этого в США были проведены экспериментальные работы по применению вибростабилизирующей обработки в промышленных условиях. Дальнейшее развитие и распространение методы вибрационной обработки получили в связи с работами R.A. Claxton, A. Rappen, G.P. Wozney, G.R. Crawler, L.E. Thompson. Исследования, проведенные этими авторами, посвящены различным проблемам: снижению уровня остаточных напряжений, вызванных упрочняющей обработкой или пластической деформацией изгиба, виброобработке литых и сварных изделий.

Из практики эксплуатации машин и оборудования известно, что наиболее распространенной причиной их выхода из строя, в 80 случаях из 100, является не поломка, а износ и повреждение рабочих поверхностей деталей. Поэтому определение зависимости износостойкости антифрикционных покрытий от параметров виброобработки позволит обеспечить необходимый ресурс деталей.

Наработка в реальных условиях деталей машин под нагрузкой значительно меньше наработки машины в целом, поскольку ряд деталей работает с перерывами. Поэтому оценка скоростей изнашивания, вычисленная по наработке машины, является условной и для таких деталей не может рассматриваться как характеристика фактической износостойкости рабочей поверхности детали.

В связи с этим сравнительную оценку износостойкости газопламенных покрытий, напыленных традиционным способом и с применением виброобработки, производили по средней скорости изнашивания покрытия ПГ-19М-01 ТУ У 322-19-004-96.

Сравнительные испытания по изнашиванию газопламенных покрытий проводили на машине трения типа МИ по схеме диск-колодка в среде индустриального масла марки И-20 при следующих режимах: средняя окружная скорость скольжения 0,42 м/с, удельное давление на колодку при нормальном механохимическом процессе изнашивания составляло 8,0 МПа, площадь поверхности трения 1,8 см². Диски и колодки изготавливали из стали 45, покрытие напылялось на диск, колодки подвергались тер-

мообработке (закалка и отпуск) до твердости HRC 52.

Результаты исследований показали, что вибрационная обработка обеспечивает повышение износостойкости газопламенных антифрикционных покрытий на основе меди ПГ-19М-01 до 1,68 раз. Определены теоретические зависимости скорости изнашивания газопламенного покрытия порошком ПГ-19М-01 от параметров виброобработки.

Ключевые слова: газопламенное напыление, покрытие, основа, виброобработка, износостойкость.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Впервые идея о возможности применения вибрационного воздействия на металл с целью улучшения его свойств была высказана Д.К. Черновым в 1869 году [1]. После этого в США были проведены экспериментальные работы по применению вибростабилизирующей обработки в промышленных условиях [2]. Дальнейшее развитие и распространение методы вибрационной обработки получили в связи с работами R.A. Claxton, A. Rappen, G.P. Wozney, G.R. Crawler, L.E. Thompson [3-5]. Исследования, проведенные этими авторами, посвящены различным проблемам: снижению уровня остаточных напряжений, вызванных упрочняющей обработкой или пластической деформацией изгиба, виброобработке литых и сварных изделий.

Из практики эксплуатации машин и оборудования известно, что наиболее распространенной причиной их выхода из строя, в 80 случаях из 100, является не поломка, а износ и повреждение рабочих поверхностей деталей [6-9]. Поэтому определение зависимости износостойкости антифрикционных покрытий от параметров виброобработки позволит обеспечить необходимый ресурс деталей.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

В последние годы выполнены исследовательские работы по применению вибрационной обработки сварных конструкций из низкоуглеродистых сталей [10]. В Донбасской государственной машиностроительной академии А.И. Дрыгой выполнен комплекс работ по исследованию влияния вибростабилизирующей обработки на снижение остаточных

напряжений [11]. Исследован процесс снижения остаточных напряжений в ответственных деталях подшипниковых узлов крупных электрических машин при воздействии вибростабилизирующей обработки поэтапно после операций сварки, механообработки и сборки. В процессе изготовления сварного нефтеперерабаты-вающего и нефтехимического оборудования одновременно со сваркой возможно применять вибрационную обработку свариваемых изделий с различной частотой и амплитудой вибрации. При этом место приложения и направление вибрационных нагрузений, как правило, не определяются. Основным условием вибрационной обработки является создание в зоне сварного стыка соответствующей амплитуды вибрации и частоты. В работах Я.А. Колесникова [12] и А.Н. Салмина [13] приведены результаты исследования влияния направления приложения вибрационной нагрузки. Результаты исследований Я.А. Колесникова показали, что максимальное снижение отклонений и минимальные деформации происходят в случае, если производить обработку в поперечном направлении к оси шва в плоскости заготовки. В работе А.Н. Салмина рассмотрено влияние как вида вибрационной обработки, так и частотных характеристик. Проведены исследования на поличастотных характеристиках вибрационной обработки.

В ИЭС имени Е.О. Патона выполнены работы по исследованию метода вибрационной обработки для снижения остаточных напряжений в сварных конструкциях и созданию вибрационной установки [14, 15].

А.Н. Салмин на основе работ исследователей Г.В. Сутьрина, В.М. Сагалевича, А.С. Эльдарханова, А.М. Файрушина, Я.А. Колесникова и показал, что применение вибрационной обработки в процессе получения сварных соединений может позволить как снизить неоднородность структуры металла шва в жидкой фазе, так и повысить его микрохимическую неоднородность в пределах кристаллитов в процессе кристаллизации, уменьшить размер аустенитного зерна за счет более эффективного теплоотвода и увеличения количества центров кристаллизации. Также рассмотрел современные представления о процессе кристаллизации и их согласование с природой влияния вибрации [16]. Им получена зависимость характера вибрационной обработки (направления приложения вибрации, типа вибрации) на механические свойства, в том числе непосредственно после вибрационной обработки и после дополнительной термической обработки. Выявлено, что наиболее эффективной, с точки зрения однородности механических свойств является сварка с вибрационной обработкой круговыми колебаниями с частотой 47,5 Гц с амплитудой 0,8-1 мм [16].

В работах [17, 18] приводятся результаты исследований о влиянии виброобработки на снижение уровня остаточных напряжений в газопламенных и плазменных покрытиях.

Сведения о влиянии параметров вибрационной обработки на износостойкость газопламенных антифрикционных покрытий, что важно знать с точки зрения прогнозирования ресурса детали, в научно-

технической литературе отсутствуют.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Установить влияние параметров вибрационной обработки на повышение износостойкости газопламенных антифрикционных покрытий на основе меди порошком ПГ-19М-01.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Наработка в реальных условиях деталей машин под нагрузкой значительно меньше наработки машины в целом, поскольку ряд деталей работает с перерывами. Поэтому оценка скоростей изнашивания, вычисленная по наработке машины, является условной и для таких деталей не может рассматриваться как характеристика фактической износостойкости рабочей поверхности детали.

В связи с этим сравнительную оценку износостойкости газопламенных покрытий, напыленных традиционным способом и с применением виброобработки, производили по средней скорости изнашивания покрытия ПГ-19М-01 ТУ У 322-19-004-96.

Для определения средней скорости изнашивания напыленного покрытия были выполнены исследовательские работы по определению величины износа от наработки сопряжения. Сравнительные испытания по изнашиванию газопламенных покрытий проводили на машине трения типа МИ по схеме диск-колодка в среде индустриального масла марки И-20 при следующих режимах: средняя окружная скорость скольжения 0,42 м/с, удельное давление на колодку при нормальном механохимическом процессе изнашивания составляло 8,0 МПа, площадь поверхности трения 1,8 см². Диски и колодки изготавливали из стали 45, покрытие напылялось на диск, колодки подвергались термообработке (закалка и отпуск) до твердости HRC 52. Оценка величины линейного износа производили по формуле [19]:

$$И = \frac{\Delta G}{\gamma \cdot F}, \quad (1)$$

где: ΔG – изменение массы образца при испытании, кг; γ – плотность изношенного материала, кг/м³; F – площадь контакта образцов, м².

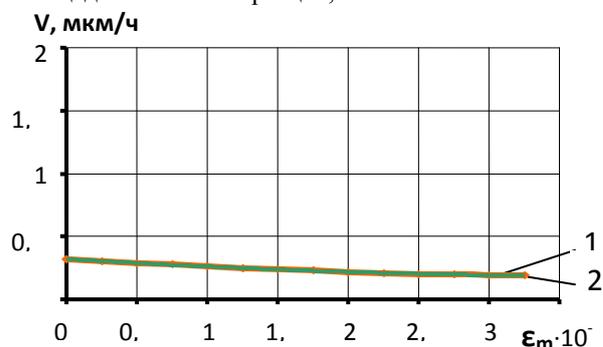


Рис. 1. Скорость изнашивания покрытия ПГ-19М-01 в зависимости от амплитуды деформации при виброобработке: 1 – экспериментальная кривая, 2 – аппроксимирующая кривая

Fig. 1. The rate of wear coating PG-19M-01 depending on the amplitude of deformation at vibroobrabotke: 1 – experimental curve 2 – approximating curve

Результаты экспериментальных исследований скорости изнашивания в зависимости от амплитуды деформации приведены на рис. 1.

Аппроксимируя экспериментальную кривую, получили теоретическую зависимость скорости изнашивания (V) покрытия ПГ-19М-01 от амплитуды деформации (ε), которая представляет полиномиальную функцию второй степени:

$$V = 0,0085 \varepsilon^2 - 0,0682 \varepsilon + 0,3203. \quad (2)$$

На рис. 2 приведена экспериментальная кривая скорости изнашивания от частоты колебаний при виброобработке.

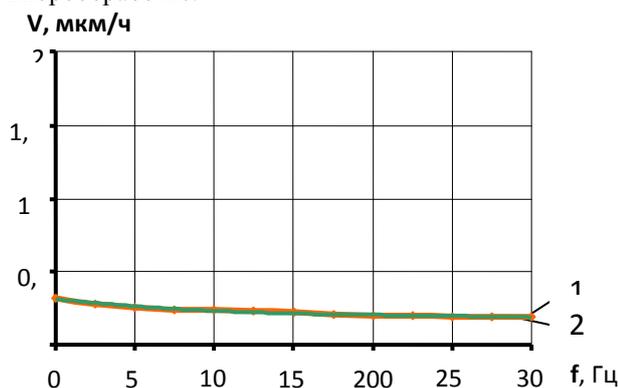


Рис. 2. Скорость изнашивания покрытия ПГ-19М-01 в зависимости от частоты колебаний при виброобработке: 1 – экспериментальная кривая, 2 – аппроксимирующая кривая.

Fig. 2. The rate of wear coating PG-19M-01, depending on the oscillation frequency at vibroobrabotke: 1 – experimental curve 2 – approximating curve-yuschaya

Определили теоретические зависимости скорости изнашивания покрытия ПГ-19М-01 от частоты колебаний при виброобработке:

$$V = -7 \cdot 10^{-9} f^3 + 5 \cdot 10^{-6} f^2 - 0,0012 f + 0,3127. \quad (3)$$

Анализ результатов экспериментальных исследований, представленных на рис. 1 и 2, подтверждает предположение о том, что вибрационная обработка повышает износостойкость газотермических покрытий. Так скорость изнашивания напыленных покрытий ПГ-19М-01 с увеличением амплитуды деформации (от 0 до $3,2 \cdot 10^{-4}$) и частоты колебаний (от 0 до 300 Гц) при виброобработке уменьшается с 0,32 до 0,19 мкм/ч, т.е. в 1,68 раз.

Подводя итог имеющимся данным и результатам собственных исследований, можно сделать следующие выводы.

Дислокационная структура металла связана с прошедшими в металле пластическими деформациями и определяется плотностью и длиной дислокаций [20]. Первичная плотность дислокаций в металле обуславливается технологией его получения. Специфика формирования газопламенного покрытия приводит к повышенной плотности дислокаций в материале. Через плотность дислокаций выражают энергию накопленную деформацией кристаллической решетки. При отсутствии силовых воздействий дислокации находятся в устойчивом состоянии. В процессе виброобработки пластическая деформация

в металле образуется в первую очередь в зонах повышенной плотности дислокаций, т.е. там, где действуют максимальные остаточные напряжения. Скорость этой деформации зависит от величины плотности потока движущихся дислокаций. Величина активного силового воздействия при вибрации будет являться энергией активации вибрационного процесса.

При виброобработке производится закачка избыточной энергии, которая приводит к повышению плотности и подвижности дислокаций, высвобождение которой происходит при движении потоков дислокаций, что в свою очередь способствует возникновению дополнительных пластических деформаций, достигающих предела текучести в области полей остаточных напряжений, и снижению уровня остаточных напряжений. При этом в некоторых металлах происходит снижение статического предела текучести, что способствует меньшим внешним энергетическим затратам, которые требуются для осуществления процесса снижения остаточных напряжений и его износостойкости.

ВЫВОДЫ

1. На основе проведенных исследований установлено, что вибрационная обработка повышает износостойкость газопламенных антифрикционных покрытий на основе меди порошком ПГ-19М-01.

2. Результаты экспериментальных исследований показали, что скорость изнашивания напыленных покрытий ПГ-19М-01 с увеличением амплитуды деформации (от 0 до $3,2 \cdot 10^{-4}$) и частоты колебаний (от 0 до 300 Гц) при виброобработке уменьшилась с 0,32 до 0,19 мкм/ч, т.е. в 1,68 раз.

3. Установлены теоретические зависимости скорости изнашивания газопламенного покрытия порошком ПГ-19М-01 от параметров виброобработки (амплитуды деформации и частоты колебаний).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Чернов Д.К. 1983.** Избранные труды по металлургии и металловедению. – М.: Наука, 256.
2. **Gnirss G. 1988.** Vibration and vibratory stress relief. Historical development, theory and practical application. *Welding in the World*. – 1988. – Vol. 26, № 11-12, 284-291.
3. **Claxton R.A. 1979.** Vibratory stress – relieving practice and theory. *Heart Treat. Meth. And media*. 5th annual conf. and Exhib. – Birmingham: Exhib. Inst. Met. Techn., 34-45.
4. **Rappen A. 1972.** Vibration nach dem VSR. *Verbahen zur vermindering des eigenspannungsverzugs*. *Lastechnik*. – В. 38. – № 10, 223-233.
5. **Wozney G.P., Crawler G.R. 1968.** An investigation of vibrational stress relief in steel. *Welding Journal*. – № 2, 411-419.
6. **Гаркунов Д. Н. 2002.** Триботехника (конструирование, изготовление и эксплуатация машин): [учебник]. М.: МСХА, 632.

7. **Хебды М., Чичинадзе А. 1989.** Теоретические основы. Справочник по триботехнике в трех томах / М. Хебды, – М.: Машиностроение, – Т. 1, 400.
8. **Чичинадзе А.В. 1995.** Основы трибологии (трение, износ, смазка). М.: Центр «Наука и техника», 284.
9. **Кухтов В.Г. 2004.** Долговечность деталей шасси колёсных тракторов. Харьков: ХНАДУ, 292.
10. **Файрушин А.М. 2003.** Совершенствование технологического процесса изготовления корпусов аппаратов с применением вибрационной обработки: автореф. дисс. на получение научн. степени канд. техн. наук: спец. 05.02.13 «Машины, агрегаты и процессы». Уфа, 25.
11. **Дрыга А.И. 2004.** Вибростабилизирующая обработка сварных и литых деталей в машиностроении. Теория, исследования, технология.– Краматорск: ДГМА, 157.
12. **Колесников Я.А., Ризванов Р.Г., Файрушин А.М. 2006.** Влияние направления приложения вибрационного воздействия в процессе сварки на поле остаточных напряжений в стыковом сварном соединении. Электронный научный журнал "Нефтегазовое дело". № 2, 15.
13. **Салмин А.Н., Файрушин А.М., Ибрагимов И.Г. 2010.** Исследование влияния вибрационных колебаний в процессе сварки на технологи-ческую прочность и механические свойства сварных соединений из стали 11Х11Н2В2МФ. Электронный научный журнал "Нефтегазовое дело". № 2, 8.
14. **Махненко В.И., Пивторак Н.П. 1978.** Перераспределение остаточных напряжений в сварных балках при вибрационной обработке. Автоматическая сварка. № 9, 28-31.
15. **Недосека А.Я., Грудз А.А., Зубченко О.И. 1974.** Эффективность методов снижения остаточных сварочных напряжений. Автоматическая сварка. № 3, 66-69.
16. **Колесников Я.А. 2006.** Совершенствование технологии изготовления сварного оборудования нефтеперерабатывающей промышленности из жаропрочных сталей типа 15Х5М: дисс. ... канд. техн. наук: 05.02.13. Уфа, 110.
17. **Лузан С.А. 2011.** Обоснование параметров виброобработки газопламенных покрытий, снижающих уровень остаточных напряжений. Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета. Вып. 27. Технические науки. Симферополь: НИЦ КИПУ. 83-87.
18. **Пузряков А.Ф. 2003.** Теоретические основы технологии плазменного напыления. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 360.
19. **ГОСТ 23.224-86. 2005.** Обеспечение износостойкости изделий. Методы оценки износостойкости восстановленных деталей. [Действующий с 1987-01-01]. М.: Госкомитет СССР по стандартам, 20.
20. **Макклиток Ф., Аргон А. 1970.** Деформация и разрушение материалов. М.: Мир, 183.

INFLUENCE OF PARAMETERS OF THE VIBRATORY THE DURABILITY OF GASOFLAME ANTI-FRICTION COATINGS

Summary.The idea about the possibility of using vibration exposure of the metal to improve its properties expressed by D. K. Chernov in 1869. After that, in the United States were conducted experimental work on the application vibrostimulation processing in an industrial environment. Further development and dissemination of methods for the vibrational treatment received in connection with the works of R. A. Claxton, A. Rappen, G. P. Wozney, G. R. Crawler, L. E. Thompson. Studies conducted by these authors on various issues: reducing the level of residual stresses caused by hardening treatment or plastic deformation of the bend, the vibratory treatment of castings and weldments.

From the practice of exploitation of machines and equipment it is known that the most common cause of their failure, in 80 cases out of 100, is not breakage, and wear and tear on the working surfaces of parts. Therefore, determination of the dependence of wear resistance anti-friction coatings on the parameters vibroobrabotki will provide the necessary resource details.

Operating in real conditions of machine parts under load is much less than the operating time of the machine in General, since a number of parts working intermittently. Therefore, the evaluation of the wear as velocities, calculated according to the operating time of the machine is conventional and for such parts cannot be regarded as a characteristic of the actual wear of the working surface of the part.

In this regard, a comparative evaluation of wear resistance of gas-flame coatings, sprayed in the traditional way and with the use of vibroobrabotki, produced by the average wear rate of the coating PG-19M-01 TU 322-19-004-96.

Comparative tests on the wear of the gas-flame coatings were carried out on the machine friction of the MI scheme disk block in an environment industrial oil And 20 with the following modes: average circumferential sliding velocity of 0.42 m/s, the specific pressure on the pad during normal mechanochemical process of wear was 8.0 МПа, friction surface area of 1.8 cm². Discs and pads were made of steel 45, the coating was evaporated onto the disk, the pads were subjected to heat treatment (quenching and tempering) to a hardness of HRC 52.

The results showed that vibratory treatment provides increased wear resistance flame antifriction coatings based on copper PG-19M-01 to 1.68 times. Defined theoretical dependence of the wear rate of oxy-powder coating PG-19M-01 from the parameters vibroobrabotki.

Key words: flame spraying, coating, base, vibratory treatment, wear resistance.