

УДК 621.793.7

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ВИБРАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ ГАЗОПЛАМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ СИСТЕМЫ Ni-Cr-B-Si

Лузан С.А. д.т.н., проф.

(Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет)

*Установлено, что вибрационная обработка повышает износостойкость газопламенных покрытий системы Ni-Cr-B-Si. Определены теоретические зависимости скорости изнашивания газопламенного покрытия порошком ПГ-10Н-01 от параметров виброобработки*

**Введение.** Идея о возможности применения вибрационного воздействия на металл с целью улучшения его свойств впервые была высказана Д.К. Черновым в 1869 году [1]. Спустя 16 лет в США впервые были проведены опыты по промышленному применению вибростабилизирующей обработки. В связи с отсутствием научных исследований в этом направлении вибрационная обработка достаточно долго применялась только на небольшом числе предприятий [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, вызванными 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]. Установление зависимости износостойкости напыленных покрытий от параметров виброобработки позволит управлять процессом обработки для обеспечения требуемого ресурса деталей.

**Анализ публикаций и исследований.** 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. Проведены работы по снижению технологических остаточных напряжений в заготовке кованого вала ротора, в сварных соединениях из алюминиевого сплава АМгб. Разработаны

виброкомплексы серий ВК-79, ВК-86, ВК-89.ЛЭС и ВК-90, обеспечивающие диапазон регулирования частоты вращения электродвигателя от 300 до 8500 об/мин.

В ИЭС имени Е.О. Патона выполнены работы по исследованию метода вибрационной обработки для снижения остаточных напряжений в сварных конструкциях и созданию вибрационной установки [12, 13].

В работе [14] приводятся результаты исследований о влиянии виброобработки на снижение уровня остаточных напряжений в газопламенных покрытиях.

Поэтому проблема повышения качества напыляемых покрытий, в том числе прочности сцепления и его износостойкости, является актуальной.

**Цель исследования.** Установить влияние параметров вибрационной обработки на повышение износостойкости газопламенных покрытий системы Ni-Cr-B-Si.

**Результаты исследования.** Поскольку в реальных условиях часть деталей машин работает под нагрузкой с перерывами и поэтому наработка этих деталей под нагрузкой значительно меньше наработки машины в целом. Оценка скоростей изнашивания, вычисленная по наработке машины, является условной и для таких деталей не может рассматриваться как характеристика фактической износостойкости рабочей поверхности детали.

Поэтому сравнительную оценку износостойкости газопламенных покрытий, напыленных традиционным способом и с применением виброобработки, производили по средней скорости изнашивания покрытия ПГ-10Н-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 см<sup>2</sup>. 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 [15]

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

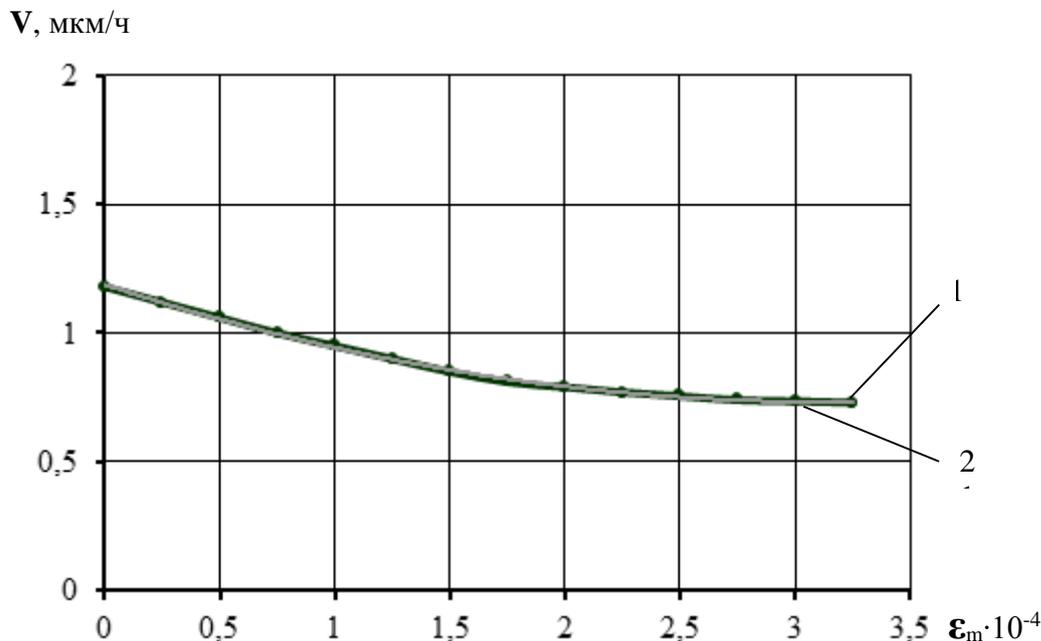
где  $\Delta G$  – изменение массы образца при испытании, кг;

$\gamma$  – плотность изношенного материала, кг/м<sup>3</sup>;

F – площадь контакта образцов, м<sup>2</sup>

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-10Н-01 от амплитуды деформации ( $\varepsilon$ ), которая представляет полиномиальную функцию второй



1 – экспериментальная кривая, 2 – аппроксимирующая кривая

Рисунок 1 – Скорость изнашивания покрытия ПГ-10Н-01 в зависимости от амплитуды деформации при виброобработке

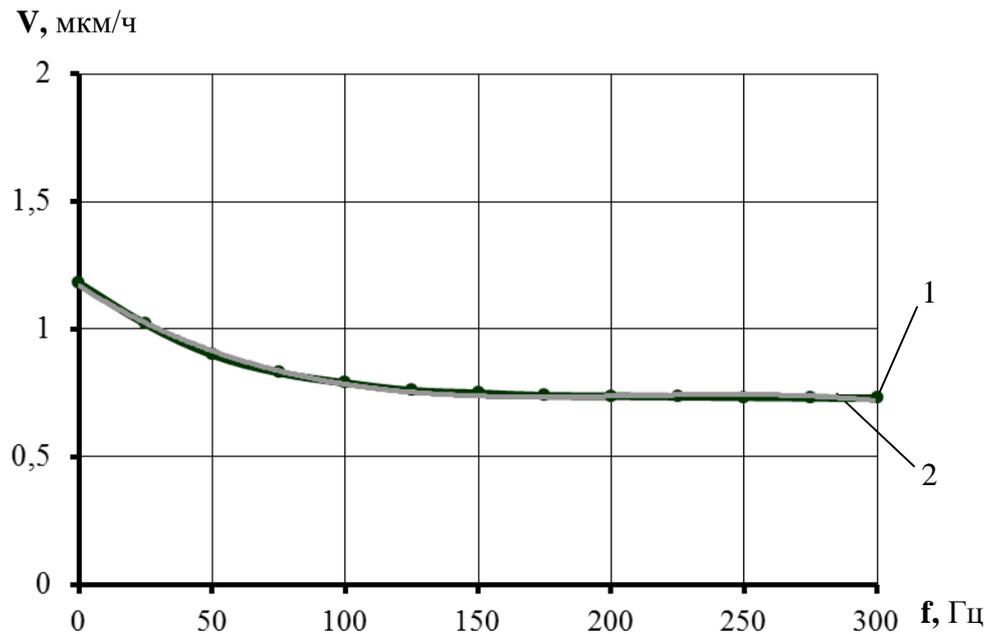
степени: 
$$V = 0,0461\varepsilon^2 - 0,29\varepsilon + 1,1878, \quad (2)$$

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

Определили теоретические зависимости скорости изнашивания покрытия ПГ-10Н-01 от частоты колебаний при виброобработке:

$$V_1 = -5 \cdot 10^{-8} f^3 + 3 \cdot 10^{-5} f^2 - 0,0066f + 1,1691 \quad (3)$$

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-10Н-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 1,18 до 0,73 мкм/ч, т.е. в 1,62 раза.



1 – експериментальна кривая, 2 – апроксимирующая кривая

Рисунок 2 – Скорость изнашивания покрытия ПГ-10Н-01 в зависимости от частоты колебаний при виброобработке

Також раніше проведеними дослідженнями було встановлено, що виброобработка знижує рівень остаточної напруженості [14].

Підводячи ітог існуючим даним і результатам власних досліджень, можна зробити наступні висновки.

Любой известный способ снижения остаточных напряжений предполагает деформационное или термдеформационное воздействие на деталь. Энергетическое воздействие для устранения остаточных напряжений должно быть достаточным для протекания обратных пластических деформаций. Релаксации напряжений способствует активация дислокационных процессов.

Дислокационная структура металла связана с прошедшими в металле пластическими деформациями и определяется плотностью и длиной дислокаций [16]. Первичная плотность дислокаций в металле обуславливается технологией его получения. 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.** На основе проведенных исследований установлено, что вибрационная обработка повышает износостойкость газопламенных покрытий системы Ni-Cr-B-Si.

Результаты экспериментальных исследований показали, что скорость изнашивания напыленных покрытий ПГ-10Н-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 1,18 до 0,73 мкм/ч, т.е. в 1,62 раза.

Установлены теоретические зависимости скорости изнашивания газопламенного покрытия порошком ПГ-10Н-01 системы Ni-Cr-B-Si от параметров виброобработки (амплитуды деформации и частоты колебаний).

### Список литературы:

1. Чернов Д.К. Избранные труды по металлургии и металловедению. – М.: Наука, – 1983. – 256 с.
2. Gnriss G Vibration and vibratory stress relief. Historical development, theory and practical application // *Welding in the World*. – 1988. – Vol. 26, № 11-12. – P. 284-291.
3. Claxton R.A. Vibratory stress – relieving practice and theory. *Heart Treat. Meth. And media* // 5th annual conf. and Exhib. – Birmingham: Exhib. Inst. Met. Techn. – 1979. – P. 34-45.
4. Rappen A. Vibration nach dem VSR. Verbahen zur verminderung des eigenspannungsverzugs.// *Lastechnick*. – 1972. – В. 38. - № 10. – S. 223-233.
5. Wozney G.P. An investigation of vibrational stress relief in steel/ G.P. Wozney, G.R. Crawler // *Welding Journal*. – 1968. – № 2. – P. 411-419.
6. Гаркунов Д. Н. Триботехника (конструирование, изготовление и эксплуатация машин): [учебник] / Гаркунов Д. Н. – М. : МСХА, 2002. – 632 с.
7. Хебды М., Теоретические основы. Справочник по триботехнике в трех томах / М. Хебды, А. В. Чичинадзе. – М. : Машиностроение, 1989. – Т. 1. – 400 с.
8. Чичинадзе А. В. Основы трибологии (трение, износ, смазка) / Чичинадзе А.В. – М. : Центр «Наука и техника», 1995. – 284 с.
9. Кухтов В. Г. Долговечность деталей шасси колёсных тракторов / Кухтов В. Г. – Харьков : ХНАДУ, 2004. – 292 с.
10. Файрушин А.М. 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» / А.М. Файрушин. – Уфа, 2003. – 25 с.

11. Дрыга А.И. Вибростабилизирующая обработка сварных и литых деталей в машиностроении. Теория, исследования, технология.– Краматорск: ДГМА, 2004. - 157с.

12. Махненко В.И., Пивторак Н.П. Перераспределение остаточных напряжений в сварных балках при вибрационной обработке // Автоматическая сварка. – 1978. - № 9. – С. 28-31.

13. Эффективность методов снижения остаточных сварочных напряжений / А.Я. Недосека, А.А. Грудз, О.И. Зубченко [и др.] // Автоматическая сварка. – 1974. - № 3. – С. 66-69.

14. Лузан С.А. Обоснование параметров виброобработки газопламенных покрытий, снижающих уровень остаточных напряжений // Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета. Вып. 27. Технические науки. – Симферополь : НИЦ КИПУ, 2011. – С. 83-87.

15. Обеспечение износостойкости изделий. Методы оценки износостойкости восстановленных деталей : ГОСТ 23.224-86. – [Действующий с 1987-01-01]. – М. : Госкомитет СССР по стандартам, 2005 – 20 с.

16. Макклиток Ф. Деформация и разрушение материалов / Ф. Макклиток, А. Аргон – М. : Мир, 1970. – 183 с.

## Анотація

### **Дослідження впливу параметрів вібраційної обробки на зносостійкість газополуменевих покриттів системи Ni-Cr-B-Si**

Лузан С. О. д. т. н., проф.

*Встановлено, що вібраційна обробка підвищує зносостійкість газополуменевих покриттів системи Ni-Cr-B-Si. Визначено теоретичні залежності швидкості зношування газополуменевого покриття порошком ПГ-10Н-01 від параметрів віброобробки*

## Abstract

### **Research of influence of parameters of vibration treatment on the wear resistance of the gasoflame coating system Ni-Cr-B-Si**

Luzan S. d.t.s., prof.

*It is established that vibration treatment increases the gasoflame resistance of the coating system Ni-Cr-B-Si. Defined theoretical dependence of the wear rate of gasoflame coating powder PG-10H-01 from the parameters of the vibrating processing*