

5. Бабурина О.Н. Мировой морской торговый флот: динамика, структура, перспективы [текст] / О.Н. Бабурина, Е.В. Хекерт, Ю.Л. Никулина // Транспортное дело России.– 2017.– № 1.– С. 88-92.
6. Боран-Кешишьян А.Л., Астреин В.В., Кондратьев С.И. *Формализация общей стратегии принятия решений для достижения комплексной безопасности судна* // *Морские интеллектуальные технологии*.– 2019.– № 1-2 (43).– С. 127-131.
7. Боран-Кешишьян А.Л. Исследование наработки до отказа тренажерно-обучающей системы [Текст]/А.Л. Боран-Кешишьян, С.И. Кондратьев // *Журнал университета водных коммуникаций*, №3. - Санкт-Петербург: СБГУВК, 2012. – С. 55-59.
3. Krzysztof Wróbel, Jakub Montewka, Pentti Kujala // Towards the assessment of potential impact of unmanned vessels on maritime transportation safety <https://doi.org/10.1016/j.res.2017.03.029>
4. *Marine Structural Design (Second Edition)* 2016, Pages 39-47.
5. Baburina O.N., Mirovoj morskoy torgovyy flot: dinamika, struktura, perspektivy [tekst] / O.N. Baburina, E.V. Hekert, YU.L. Nikulina // *Transportnoe delo Rossii*. 2017. № 1. S. 88-92.
6. Boran-Keshish'yan A.L., Astrein V.V., Kondrat'ev S.I. *Formalizatsiya obshchey strategii prinyatiya reshenij dlya dostizheniya kompleksnoj bezopasnosti sudna* // *Morskie intellektual'nye tekhnologii*. 2019. № 1-2 (43). S. 127-131.
7. Boran-Keshish'yan A.L. *Issledovanie narabotki do otkaza trenazherno-obuchayushchej sistemy* [Tekst]/A.L. Boran-Keshish'yan, S.I. Kondrat'ev // *Zhurnal universiteta vodnyh kommunikacij*, №3. - Sankt-Peterburg: SBUGUVK, 2012. – S. 55-59.

References

1. Kevin Huang, John B. Goodenough // Introduction to solid oxide fuel cells (SOFCs)
2. Anthony F. Molland // The Maritime Engineering Reference Book ScienceDirect

УДК 629.065

DOI: 10.34046/aumsuomt99/17

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ МАШИН МЕТОДОМ ВИБРОНАКАТЫВАНИЯ

Р.Г. Дубровин, кандидат технических наук

В.Н. Таламанов, кандидат технических наук, доцент

Г.Л. Козенкова, доцент

В.А. Козенков, старший преподаватель

Е.Г. Лебединский

В.В. Шкода, кандидат педагогических наук, доцент,

Наиболее совершенным и универсальным методом образования регулярных микро рельефов в настоящее время является разработанный профессором ЛИТМО Ю.Г. Шнейдером метод вибрационного накачивания, основанный на тонком пластическом деформировании поверхностных слоев металла и сложном относительном перемещении обрабатываемой поверхности и деформирующего элемента. Вибронакачивание для восстановления размеров деталей осуществляется за счет образования выдавленных из канавок наплывов при создании системы канавок. В этом случае основным показателем процесса будет изменение размера с сохранением исходной точности. В номенклатуру параметров и характеристик частично регулярных микро рельефов включена относительная площадь, занимаемая регулярными неровностями – F_H . Параметр F_H представляет собой выраженное в процентном отношении площади занимаемой регулярно расположенным неровностями к площади обрабатываемой поверхности. Если определять параметр F_H на площадке размером $T \cdot 2A$ в границах элемента микро рельефа при различных значениях осевого шага регулярных неровностей, то возможны случаи неоднозначного описания микро геометрии частично регулярного микро рельефа. Во избежание этих случаев необходимо соблюдать кратность отношения амплитуды A и осевого шага S . $S = 2A/k$, $k = 1, 2, \dots$, [А-г]

Ключевые слова: восстановление размеров изношенных деталей; пластическое деформирование, метод вибронакатывания.

RESTORATION OF MACHINE PARTS BY VIBRATION ROLLING METHOD

R. G. Dubrovin, V. N. Talamanov, G. L. Kozenkova, V. A. Kozenkov, E. G. Lebedinsky, V. V. Shkoda

The most perfect and universal method of forming regular microreliefs is currently developed by Professor LITMO Yu. The method of vibration rolling, based on the thin plastic deformation of the surface layers of the metal and the complex relative movement of the treated surface and the deforming element. Vibration rolling to restore the dimensions of the parts is carried out due to the formation of indentations squeezed out of the grooves when creating a system of grooves. In this case, the main indicator of the process will be the change in size while maintaining the original accuracy. The nomenclature of parameters and characteristics of partially regular microreliefs includes the relative area occupied by regular irregularities-FH. The FH parameter is expressed as a percentage of the area occupied by regularly spaced irregularities to the area of the surface to be treated. If the FH parameter is determined on a site of size $T \cdot 2A$ within the boundaries of a microrelief element

at different values of the axial pitch of regular irregularities, then there may be cases of an ambiguous description of the microgeometry of a partially regular microrelief. To avoid these cases, it is necessary to observe the multiplicity of the ratio of the amplitude A and the axial step S . $S = 2A/\kappa$, $\kappa = 1, 2, \dots$, $[A-r]$

Keywords: restoration of the dimensions of worn parts; plastic deformation, vibration rolling method.

Новое направление в теории микрогеометрии поверхностей – регуляризация микрорельефа – было предложено профессором ЛИТМО Ю.Г. Шнейдером, который разработал научные основы создания новых, основанных на тонком пластическом деформировании способов образования на рабочих поверхностях деталей машин регулярных микрорельефов вместо шероховатых [1]. Наиболее совершенным и универсальным методом образования регулярных микрорельефов в настоящее время является вибронакатывание [4]. Схема процесса вибронакатывания [3], определяющая его кинематику и возможность варьирования всех параметров режима, обеспечивает и возможность получения различных видов создаваемых регулярных микрорельефов и значений всех их параметров [2].

В зависимости от свойств обрабатываемого металла и усилия вибронакатывания значительно изменяются не только размеры, но и форма выдавливаемых канавок, а также соотношение высот исходных неровностей и образующихся с двух сторон канавки из выдавленного металла – наплывов.

При вибронакатывании с целью образования системы канавок наплывы должны учитываться, поскольку они определяют не только размер обработанной поверхности детали, но и величину исходной опорной поверхности в первый период ее приработки, а также площадь и объем выдавливаемых канавок и соответственно эксплуатационные свойства вибронакатываемых поверхностей. В этом случае основным показателем процесса будет изменение размера с сохранением исходной точности. Возможно применение этого способа обработки с целью восстановления размеров деталей в пределах 8-10 мкм (на диаметр) термически необработанных сталей и цветных металлов и 4-6 мкм – закаленных сталей твердостью до HRC 60. При этом форма деталей в осевом и радиальном сечениях остается практически неизменной. Известно использование способа вибронакатывания для восстановления деталей, в частности, типа прецизионных закаленных валов и измерительных калибров-пробок [1].

Высокая степень однородности микрогеометрии по всей поверхности, образованной вибронакатыванием, позволяет характеризовать ее микрорельеф геометрическими параметрами, со-

храняющими однозначность на всей рабочей поверхности, а не усредненными статистическими значениями параметров микрорельефа, как это сделано в ГОСТ 2789. Однако, несмотря на существенный прогресс, достигнутый в нормировании качества поверхности, в связи с введением в действие стандарта на регулярные микрорельефы – ГОСТ 24773, такой важный параметр как F_H – относительная площадь, занимаемая регулярными неровностями неоднозначно описывает микрогеометрию регулярного микрорельефа. Приведем пример в подтверждение выше сказанного.

Согласно, ГОСТ24773 параметр F_H представляет собой выраженное в процентном отношении площади занимаемой регулярно расположенными неровностями к площади обрабатываемой поверхности. Представляет интерес определение параметров F_H на площадке размером $T \times 2A$ в границах элемента микрорельефа при различных значениях осевого шага S регулярных неровностей.

Рассмотрим представленные на рис. 1 образующие вибронакатыванием элементы частично регулярного микрорельефа в системе непересекающихся регулярных неровностей [5].

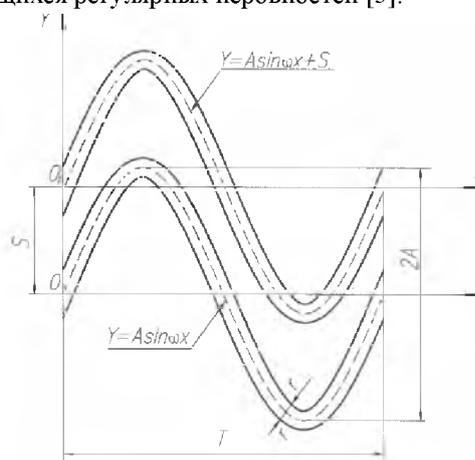


Рисунок 1 – Элементы частично регулярного рельефа

Траектория центра деформирующего элемента описывается уравнением

$$y = A \cdot \sin \omega x$$

С целью упрощения расчета предположим, что верхняя и нижняя границы синусоидальной канавки описываются уравнением

$$y = A \sin \omega x \pm r$$

где: r – радиус отпечатка деформирующего элемента на плоскости.

Для соседней синусоидальной канавки,

смещенной на величину поперечной подачи S , траектория центра деформирующего элемента имеет вид

$$y = A \sin \omega x \div S$$

Зафиксируем систему координат ХОУ, тогда уравнения траекторий центра деформирующего элемента запишутся в виде

$$y_j = A \sin \omega x + js, \quad j=0; \pm 1; \pm 2$$

Рассмотрим параметр F_H на площадках размером $T \cdot 2A$, где $T=2\pi/\omega$ при различных значениях поперечной подачи S . Пусть вначале имеем площадку

$$П_0 = [(0, -A), (0, A), (T, A), (T, -A)]$$

$$\text{При } S = 2A/k, \quad k = 1, 2, \dots, [A-r] \quad (1)$$

На площадке $П_0$ располагается ровно k синусоидальных канавок и в силу симметрии на каждой площадке

$$П_T = [0, -A+\tau), (0, A+\tau), (T, A+\tau), (T, -A+\tau)]$$

Отсюда, как следствие, постоянство параметра F_H на любой из площадок $П_T$.

При $2A/(k+1) < S < 2A/k$ симметрия нарушается.

Рассмотрим эту ситуацию при $k = 2$,

Таким образом:

$$F_H(П_0) = \frac{2r}{T \cdot 2A} (3T + T(2 \arcsin 0,2 - 2 \arcsin 0,6) / \pi) = \frac{r}{A} \left[3 - \frac{2}{\pi} \left(\frac{37}{300} \cdot 2\pi - \frac{11,5}{300} \cdot 2\pi \right) \right] = \frac{r}{A} \cdot 2,71$$

$$F_H(П_{-0,4A}) \left[2T + 2T(\arcsin 0,6 - \arcsin 0,2) \cdot \pi^{-1} \right] = \frac{r}{A} \cdot 2,29$$

В частности, при $r=0,3$ мм и $A=2,5$ мм $F_H(П_0) = 0,3252$, а

$$F_H(П_{-0,4A}) = 0,2748$$

Рассмотрим также случай $k=1$ $S = 4A/3$ для площадок $П_0$ и $П_{-2A/3}$

На площадке $П_0$ расположена одна полная синусоидальная канавка и дуги соседних синусоидальных канавок.

$$A \sin \omega x - S < -A \quad \text{в окрестности } x > 0$$

$$-A - 2A/3 < A \sin \omega x - S < -A \quad \text{в окрестности } \omega x = \pi$$

$$-A - 2A/3 < A \sin \omega x - S \quad \text{в окрестности } \omega x \leq 2\pi$$

Отсюда, площадь синусоидальных канавок, расположенных на площадке $П_0$ равна

$$2rT + 2r \left(\frac{\pi}{2} - \arcsin \frac{1}{3} \right) \cdot \omega^{-1},$$

а на площадке $П_{-2A/3}$

$$2r \left(T + 2 \cdot 2 \cdot \frac{1}{\omega} \arcsin \frac{1}{3} \right)$$

Таким образом:

$$F_H(П_0) = \frac{2r}{2AT} \left(2T - \frac{2T}{\pi} \arcsin \frac{1}{3} \right) = \frac{r}{A} 2 \left(1 - \frac{1}{\pi} \arcsin \frac{1}{3} \right) = \frac{r}{A} 1,784$$

$$F_H(П_{-2A/3}) = \frac{2r}{2AT} \left(T + \frac{2T}{\omega} \arcsin \frac{1}{3} \right) = \frac{r}{A} \left(1 + \frac{2}{\omega} \arcsin \frac{1}{3} \right) = \frac{r}{A} 1,216$$

В частности, при $A = 4,5$ г, $F_H(П_0) = 0,4$; $F_H(П_{-2A/3}) = 0,266$

$$S = \frac{4A}{2k+1} = \frac{4A}{S} \quad \text{для площадок } П_0 \text{ и } П_{-0,4A}.$$

На площадке $П_0$ расположены две полные синусоидальные канавки и дуги последующих синусоидальных канавок.

$$s - A \sin \omega x + r < A, \quad \text{в окрестности } x=0$$

$$A - 0,4A < A \sin \omega x + s < A, \quad \text{в окрестности } \omega x = \pi$$

$$A - 0,4A < A \sin \omega x + s < s, \quad \text{в окрестности } \omega x = 2\pi$$

$$A \sin \omega x + 2s < A, \quad \text{в окрестности } \omega x = 3\pi/2$$

$$-A < A \sin \omega x - 2s, \quad \text{в окрестности } \omega x = \pi/2$$

Аналогично на площадке $П_{-0,4A}$ расположены две полные синусоидальные канавки и дуги последующих синусоидальных канавок.

$$-A - 0,4A < A \sin \omega x - 2s < -A \quad \text{при } 0 < \omega x < \pi$$

$$-A - 0,8A < A \sin \omega x + s < -A - 0,4A \quad \text{при } \pi < \omega x < 2\pi$$

Учитывая симметрию, получим, что площадь синусоидальных канавок, расположенных на площадке $П_0$ равна

$$2r \cdot 2T + 2 \cdot 2r (2 \arcsin 0,2) \cdot \omega^{-1} + 2 \cdot 2r (\pi - 2 \arcsin 0,2) \cdot \omega^{-1} + 2 \cdot 2r (\pi - 2 \arcsin 0,6) \omega^{-1};$$

Площадь синусоидальных канавок, расположенных на площадке $П_{-0,4A}$ равна

$$2r \cdot 2T + 4 \cdot 2r (\arcsin 0,6 - \arcsin 0,2) \omega^{-1}$$

Таким образом, только при соблюдении кратности отношения между параметрами режима вибронакатывания S и $2A$ параметр F_n будет однозначно описывать микрогеометрию созданного регулярного микрорельефа.

Литература:

1. Шнейдер Ю.Г. Эксплуатационные свойства деталей с регулярными микрорельефами.– Л.: Машиностроение, 1982.
2. ГОСТ 24773-81 Поверхности с регулярным микрорельефом. Классификация, параметры и характеристики.
3. Шнейдер Ю.Г. Технология финишной обработки давлением. Справочник – СПб.: Политехника, 1998.
4. Кабатов А.А. Анализ финишных методов обработки поверхностным пластическим деформированием // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии.– 2013.– №58.– С44-54.
5. Таламанов В.Н., Козенкова Г.Л., Катрюк И.С. Оптимизация режимов вибронакатывания регулярных микрорельефов.// Материалы II-ой национальной научно-практической конференции.– Новороссийск. РИО ФГБОУ ВО «ГМУ имени адмирала Ф.Ф. Ушакова», 2018.
6. Епихин А.И., Кондратьев С.И., Хекерт Е.В. Прогнозирование многомерных нестационарных временных рядов с использованием нейромоделирования// Морские интеллектуальные технологии.– 2020.– № 4-4 (50).– С. 23-27.
7. Кондратьев С.И. Максимизация надежности процессов в условиях межсистемных взаимодействий с не вполне определенными параметрами [Текст] / С.И. Кондратьев, А.П. Лицкевич В сборнике: Стратегия развития транспортно-логистической системы Азово-Черноморского бассейна. Проблемы безопасности морского судоходства, технической и коммерческой эксплуатации морского транспорта Материалы 1-й международной научно-технической и 6-й региональной научно-технической конференции. Ответственные за выпуск: академик РАТ, д.т.н., проф. В.В.Демьянов, академик РАТ, д.э.н., проф. В.Е.Деружинский,

2007.– С. 204-207.

References

1. SHnejder YU.G. Ekspluatacionnye svojstva detalej s reguljarnymi mikrorel'efami. L.: Mashinostroenie, 1982.
2. GOST 24773-81 Poverhnosti s reguljarnym mikrorel'efom. Klassifikaciya, parametry i harakteristiki.
3. SHnejder YU.G. Tekhnologiya finishnoj obrabotki davleniem. Spravochnik – SPb.: Politehnika, 1998.
4. Kabatov A.A. Analiz finishnyh metodov obrabotki poverhnostnym plasticheskim deformirovaniem // Otkrytye informacionnye i komp'yuternye integrirovannye tekhnologii. 2013 №58-S44-54
5. Talamanov V.N., Kozenkova G.L., Katryuk I.S. Optimizaciya rezhimov vibronakatyvaniya reguljarnyh mikrorel'efov. Materialy II-oy nacional'noj nauchno-prakticheskoj konferencii. Novorossijsk. RIO FGBOU VO «GMU imeni admirala F.F. Ushakova», 2018 g.
6. Ephin A.I., Kondrat'ev S.I., Hekert E.V. Prognozirovaniye mnogomernyh nestacionarnyh vremennyh ryadov s ispol'zovaniem nejromodelirovaniya// Morskie intellektual'nye tekhnologii. 2020. № 4-4 (50). S. 23-27.
7. Kondrat'ev S.I. Maksimizaciya nadezhnosti processov v usloviyah mezhsistemnyh vzaimodejstvij s ne vpolne opredelennymi parametrami [Tekst] / S.I. Kondrat'ev, A.P. Lickevich V sbornike: Strategiya razvitiya transportno-logisticheskoj sistemy Azovo-CHernomorskogo bassejna. Problemy bezopasnosti morskogo sudohodstva, tekhnicheskoy i kommercheskoj ekspluatcii morskogo transporta Materialy 1-j mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy i 6-j regional'noj nauchno-tekhnicheskoy konferencii. Otvetstvennye za vypusk: akademik RAT, d.t.n., prof. V.V.Dem'yanov, akademik RAT, d.e.n., prof. V.E.Deruzhinskij. 2007. S. 204-207.

УДК 629.5.015

DOI: 10.34046/aumsuomt99/18

ПРОЦЕСС СГОРАНИЯ ТОПЛИВА. ОСОБЕННОСТИ ГАЗООБРАЗНОГО ТОПЛИВА

В.А. Башкатов

А.В.Игнатенко,

С.А.Худяков, доктор технических наук, профессор

Появление на судах морского флота двигателей с двухтопливной (газ/жидкое топливо) привело к необходимости изучения и исследования процесса сгорания газообразного топлива в таких двигателях. Этот факт дает возможность создания тепловых расчетов подобных машин. Статья посвящена рассмотрению классических и современных теорий сгорания топлива. Рассмотрены цепные реакции горения, их виды на примере простейших реакций каждого вида. Оценено влияние температуры смеси на скорость сгорания топлива. Отдельно рассмотрены проблемы воспламенения и сгорания газообразного топлива

Ключевые слова: топливо, горение, цепные реакции, скорость сгорания, смесь, газообразное топливо, детонация