

УДК 621.9

А.Н. Михайлов, д-р техн. наук, проф., С.А. Матвиенко, А.В. Лукичев
ДонНТУ, ДААТ, г. Донецк, ДНР
Тел. +38 (050) 9121721; E-mail: a_lukichov@mail.ru

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЗВУКОРЕЗОНАНСНОЙ ОТДЕЛОЧНОЙ ОБРАБОТКИ В КВАЗИУПРУГОЙ СРЕДЕ

В статье рассматривается изменение основных трибологических характеристик и пары трения поверхности, их исправление звукорезонансным колебанием в упругой среде. Анализ процесса зависимых параметров производственных процессов и действий, системы, диаграммы. Демонстрируются результаты проведенных испытаний механической обработки деталей машин. Вопрос о сокращении времени износа, обкатки и формирования шероховатости поверхности до предела приближается к равновесию.

Ключевые слова: технология, колебание, структура поверхности, износ, шероховатости, трибология

A. Mikhailov, S. Matvienko, V. Lukichev

TECHNOLOGICAL MAINTENANCE OF SOUND RESONANT FINISHING IN QUASIELASTIC ENVIRONMENT

The change of basic tribological characteristic of skin of work surface of friction pair by their sound vibromechanical oscillation treatment in elastic medium is considered in the article. The process-dependent parameters of production process and action chart of system are analysed. The results of conducted test machining of machine parts are demonstrated. The question of reducing of wear and running-in time and the formation of surface roughness to the limit approximate to equilibrium.

Key words: technology, oscillation, structure of surface, wear, roughness, tribology.

Постановка проблемы. Отказы деталей машин, на сегодняшний день в основном связаны с износом рабочих поверхностей деталей, который напрямую зависит от качества поверхности, в том числе от микроструктуры и микропрофиля поверхностного слоя (ПС). Пути решения данной проблемы связаны с технологией финишной отделочно-упрочняющей обработки деталей. По показателю «износостойкость» ресурс свойств исходных материалов и известных применяемых технологий ограничен. Современные технологии требуют сложного оборудования и больших энергетических затрат. Для обеспечения заданного свойства ПС детали необходимо обеспечить характеристики поверхности, которые непосредственно влияют на необходимые свойства, а именно равновесную шероховатость, являющуюся функционально ориентированным показателем, свойственным эксплуатационным свойствам рассматриваемого узла трения.

Анализ последних исследований и публикаций. Вибрационной обработке в различных средах посвящены работы А.П. Бабичева, В.И. Бутенко, А.Н. Михайлова, А.Г. Суслова, Л.Г. Одинцова, В.Ф. Безъязычного, А.А. Маталина, С.В.Ковалевского, И.О. Кудашевой, В.В. Иванова [1-3].

Основное влияние на износостойкость деталей оказывают как качество материала детали и качество рабочей поверхности детали, так и технологические принципы обработки. Износ поверхностей зависит от времени приработки, начального износа ПС и комплексных параметров ПС (шероховатость, остаточные напряжения, макроотклонения, физикомеханических свойств и структуры ПС, параметры волнистости, формообразующая механическая обработка и ОУО). Алгоритм

управления износостойкостью заключается в определении условий работы пары трения выбора технологии финишной обработки и установлении режимов технологического процесса, обеспечивающих получение требуемых значений параметров детали. Для повышения износостойкости трущихся деталей путем уменьшения первичного износа целесообразно создавать поверхности скольжения, шероховатость которых соответствует шероховатости поверхностей приработанных деталей. Если оптимальную для данных условий трения высоту неровностей удастся создать в процессе механической обработки, то в процессе износа она практически не изменяется, а время приработки и износ окажется наименьшим. На износостойкость влияют все виды виброобработки - отделочная, упрочняющая, отделочно-упрочняющая. Анализ работ показал широкие возможности вибрационной отделочной обработки в области улучшения эксплуатационных качеств рабочих поверхностей деталей, которые еще расширяются с применением квазиупругих сред. Использование вибрационных воздействий позволяет усовершенствовать существующие и создавать новые технологические процессы ОУО [1].

Цель исследований: Технологическое обеспечение эксплуатационного качества поверхности деталей пар трения на основе разработки энерго- и ресурсосберегающего способа звукорезонансной отделочной обработки в квазиупругой среде (ЗРООКУС).

Основная часть. Поставленная задача решалась основываясь на предположении что поверхность заготовки с исходными параметрами качества поверхности при взаимодействии с упругой (квазиупругой) рабочей средой подвергается изменениям, наиболее эффективно выраженным при достижении резонанса. Была выдвинута гипотеза: при резонансной обработке деталей в упругой (квазиупругой) среде достигается качество рабочей поверхности детали повышающее её долговечность. Обработка в условиях квазиупругой среды влияет на параметры микропрофиля поверхности и в первую очередь уменьшает разновысотность. Направления снижения энергоёмкости УЗ обработки - виброобработка в резонансном режиме; применение колебательных систем (КС) на основе пьезоэлектрических материалов; применение ультразвуковых КС с высоким КПД на основе использования новых конструктивных схем преобразователей, концентраторов, рабочих инструментов и материалов для их изготовления; расчет концентраторов для конкретных групп деталей.

Авторами разработана технология звукорезонансной отделочной вибрационной обработки в упругих средах [4,7]. Создана экспериментальная установка для реализации предложенного способа, позволяющая генерировать импульсы большой мощности и реализовывать обработку в условиях резонанса. [5,6]

Взаимодействие поверхности детали с окружающей средой изменяет параметры ПС. Напряжения на ПС возникающие при колебаниях усиливаются за счет силы сопротивления прилегающего слоя среды. Силы вязкого трения достаточно для изменения параметров шероховатости. Для отделочной пластической деформации достаточно квазиупругой среды без наполнителя. Результат ЗРООКУС - создание совокупности геометрических и физикомеханических свойств ПС, обеспечивающих рациональную износостойкость. Параметры качества поверхности, влияющие на износостойкость, достигаются при механической и отделочной обработке. В процессе колебаний детали возникают напряжения в ПС усиливаемые за счет сопротивления оказываемого квазиупругой средой.

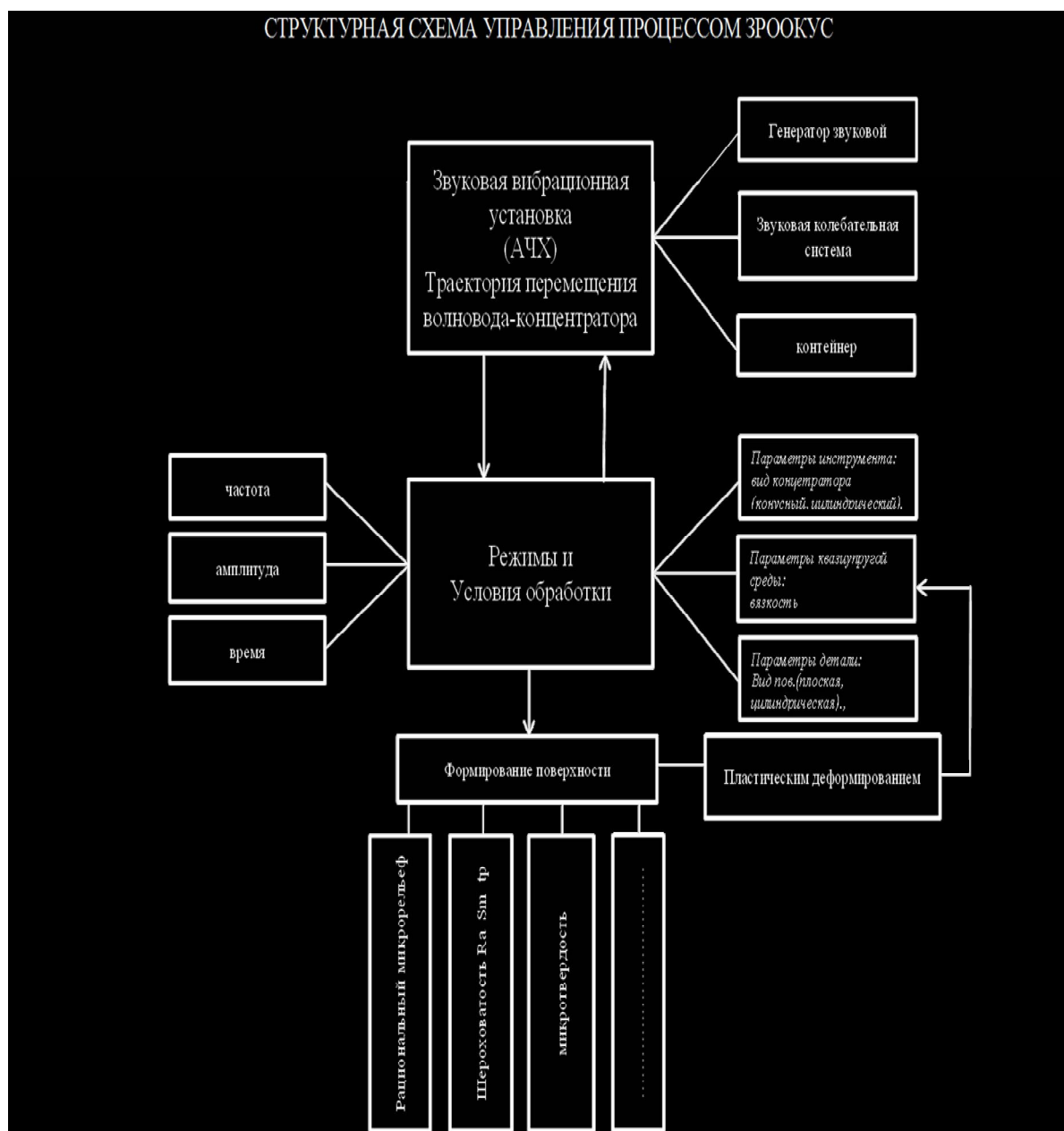


Рис.1. Структурная схема управления процессом ЗРООКУС

На первом этапе с целью сокращения продолжительности экспериментальных исследований и снижение затрат на их реализацию для выбора наиболее приемлемой формы уравнения регрессии были построены графики изменения параметров обработки с временем при фиксированном начальном значении. Это позволило определить, что уравнение регрессии первого порядка не может дать удовлетворительное математического описания, и необходимо перейти к планированию второго порядка, чтобы учесть оценки квадратичных эффектов факторов и построить адекватную математическую модель. На втором этапе в результате обработки экспериментальных данных, с помощью корреляционно-регрессионного анализа были получены уравнения регрессии, которые характеризуют зависимости параметров качества поверхности от времени обработки.

Статистическая обработка экспериментальных данных состояла в вычислении оценок регрессионных коэффициентов за методом наименьших квадратов, проверке их значимости, оценке воспроизводимости экспериментов и установлении адекватности полученного регрессионного уравнения. При этом использовали статистические критерии Кохрена, Стьюдента и Фишера (при доверительной вероятности 95%).

В связи со сложностью расчета принято решение разработки теоретических уравнений на базе экспериментальных данных.

Для проверки гипотезы №2 и разработки системы регрессионных уравнений раскрывающих закономерность R_a от $R_{aисх}$ и времени обработки применяется однофакторный дисперсионный анализ. Уравнение регрессии, которые адекватно описывают зависимости параметров обработки от времени обработки имеют вид для разных типов образцов:

Для пластины

$$\begin{aligned} R_a &= 0,776 * R_a^0 + 0,020 * t - 0,010 * R_a^0 * t \\ S_m &= 0,827 * S_m^0 + 0,007 * t - 0,009 * S_m^0 * t - 0,00004 * S_m^0 * t^2 \\ R_v &= 1,439 * R_v^0 + 0,101 * t - 0,086 * R_v^0 * t + 0,002 * R_v^0 * t^2 \end{aligned}$$

Для цилиндрического образца

$$\begin{aligned} R_a &= 1,255 * R_a^0 - 0,042 * t + 0,004 * t^2 - 0,038 * R_a^0 * t \\ R_{sm} &= 2,420 * R_{sm}^0 + 0,010 * t - 0,292 * R_{sm}^0 * t + 0,010 * R_{sm}^0 * t^2 \\ R_p &= 1,152 * R_p^0 + 0,167 * t - 0,098 * R_p^0 * t + 0,003 * R_p^0 * t^2 \\ R_v &= 1,994 * R_v^0 + 0,085 * t - 0,221 * R_v^0 * t + 0,009 * R_v^0 * t^2 \\ t_p 20\% &= 1,067 * t_p 20\%^0 + 0,161 * t - 0,055 * t_p 20\%^0 * t \\ t_p 50\% &= 2,145 * t_p 50\%^0 + 0,976 * t - 0,182 * t_p 50\%^0 * t + 0,005 * t_p 50\%^0 * t^2 \end{aligned}$$

Таким образом, в результате теоретических исследований получены формулы для нахождения основных параметров ЗРООКУС на основе коэффициентов перекрытия и обработанности и определены области значений этих коэффициентов, позволяющие назначать режимы обработки, обеспечивающие высокую износостойкость поверхности

Алгоритм расчета технологического обеспечения разработан в программе ANSYS 13. Для стали 45 уравнение движения в матричной форме выглядит так:

$$M \cdot \ddot{U} + C \cdot \dot{U} + K \cdot U = F,$$

На узлы концентратора действует нагрузка

$$\begin{aligned} u &= u_0 \sin(2\pi f t), \\ u_0 &= 3 \text{ мкм}, f = 700 \div 9000 \text{ Hz}. \end{aligned}$$

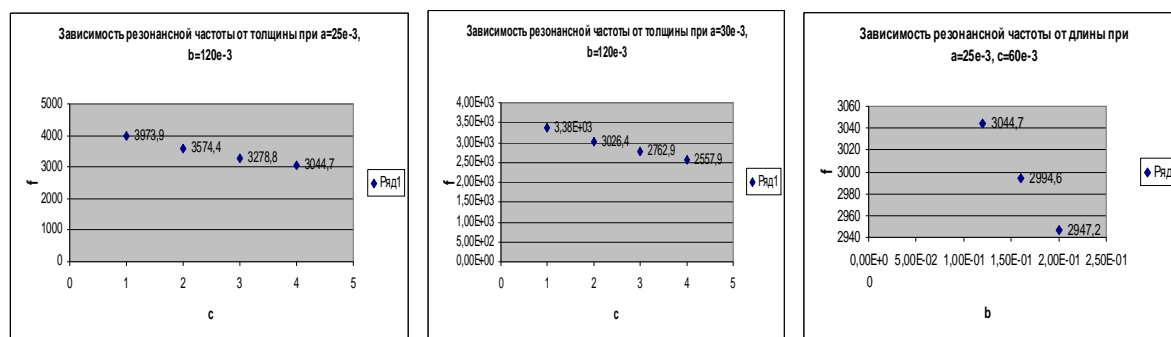


Рис.2. Зависимость резонансной частоты продольных колебаний акустического концентратора от его геометрических параметров.

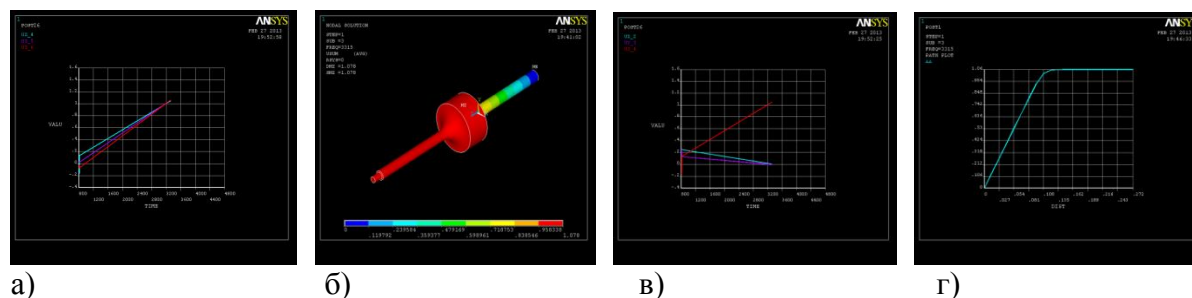


Рис.3. Результаты расчёта в программе ANSYS 13:
 а) зависимость амплитуды продольных колебаний;
 б) распределение изолиний смещений \vec{U} на резонансной частоте;
 в) зависимость компонент вектора смещений $\vec{U} = (UX, UY, UZ)$ от частоты в узле;
 г) изменение UZ компоненты перемещений вдоль оси концентратора на резонансной частоте.

Для исследований использовались концентраторы различной формы (рис. 4, 5), что позволило управлять амплитудой колебаний и передаваемой на обработку мощностью. Также к управляемым технологическим параметрам ЗРООКУС относятся: наличие резонанса, частота колебаний, время обработки, рабочая среда, размер контейнера.



Рис.4. Концентратор №1



Рис. 5. Концентратор №2

ЗРООКУС влияет на топографию поверхности. При этом изменения положительно влияют на трибологические характеристики, так как устраняются максимальные впадины и выступы, влияющие на время приработки и трещино- и дефектообразование.

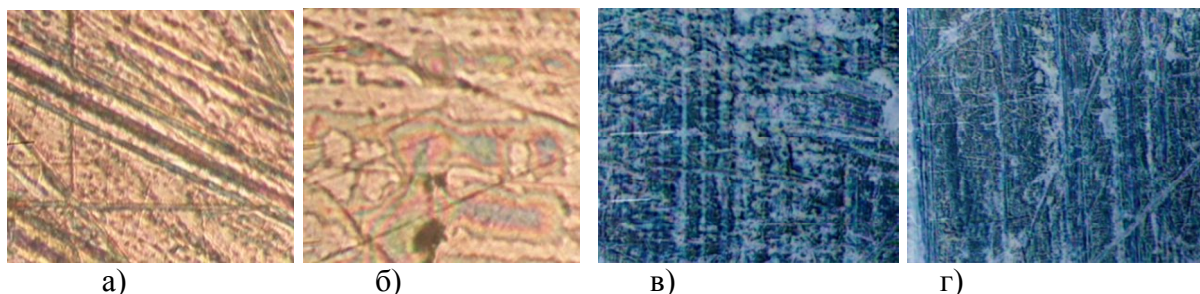


Рис. 6. Структура поверхностного слоя (топография, увеличение 400:1): а) исходная - полированный АЛ8; б) после ЗРООКУС; в) прокат сталь 45; г) после ЗРООКУС

Проанализировано влияние конструктивных параметров звуковой КС на режимы обработки (рис. 7, 8). При этом очевидно, что для разных материалов необходимо использовать разные КС, проектировать их исходя из функционально ориентированного подхода к постановке задания.

АЛ 8



медь



сталь

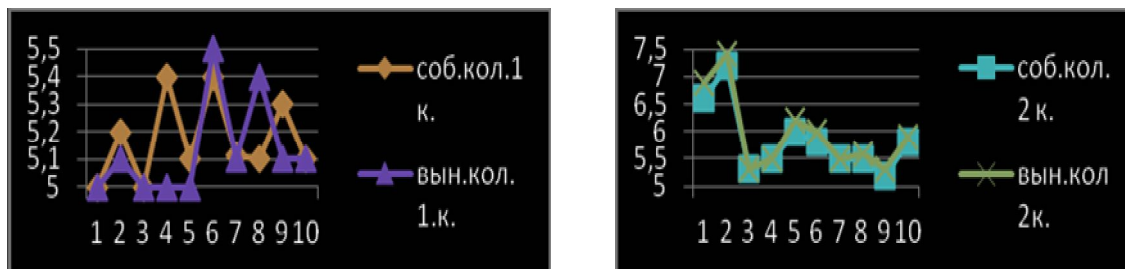


Рис.7. Частота резонансных колебаний

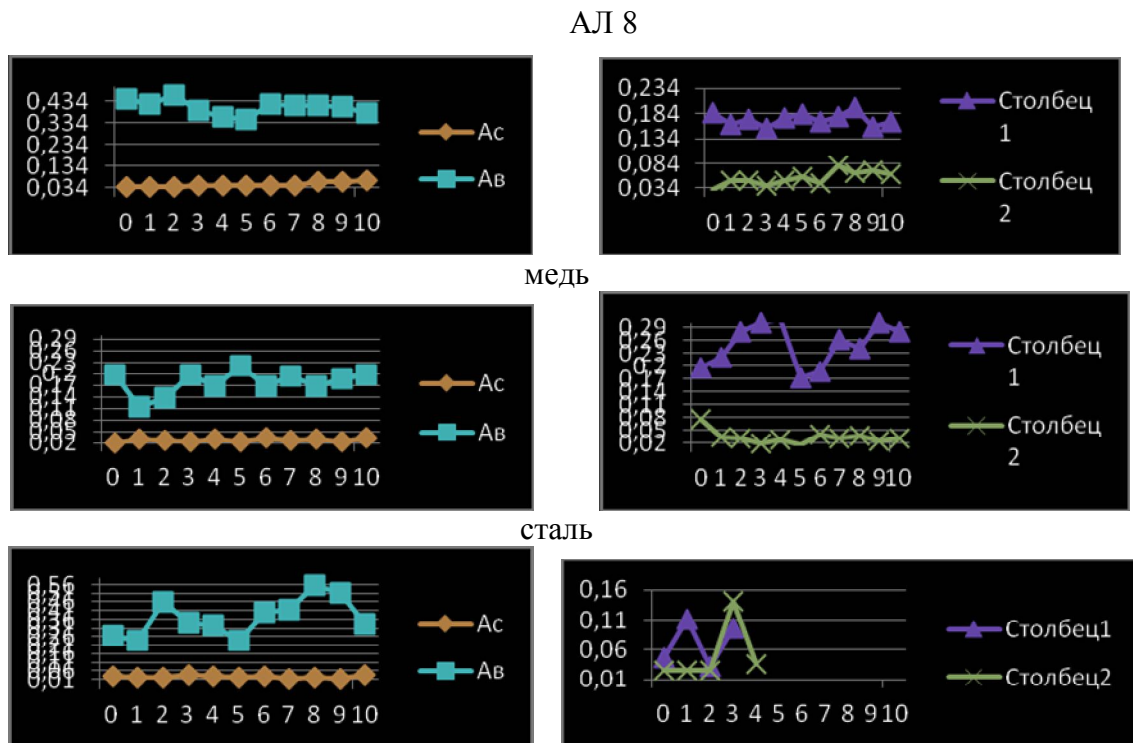


Рис.8 Амплитуда колебаний при резонансных частотах

Исследовано влияние времени обработки ЗРООКУС на параметры качества поверхностного слоя (рис. 9).

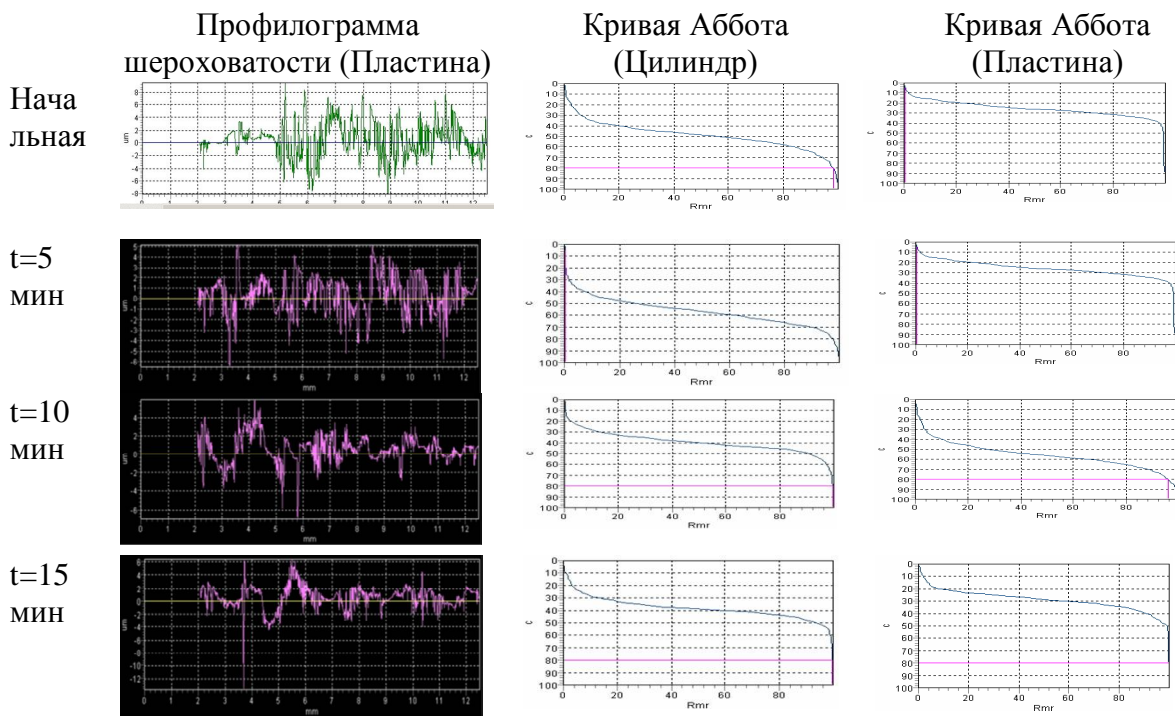


Рис. 9. Изменение основных параметров шероховатости в зависимости от времени ЗРООКУС

Также исследованы параметры шероховатости R_a , S_m , R_p , R_v , t_p и микротвердость, определяющие износостойкость поверхности (Рис. 10, табл. 1). Время обработки значительно влияет на шероховатость обрабатываемой детали и данное влияние зависит от формы и материала детали и предварительной обработки.

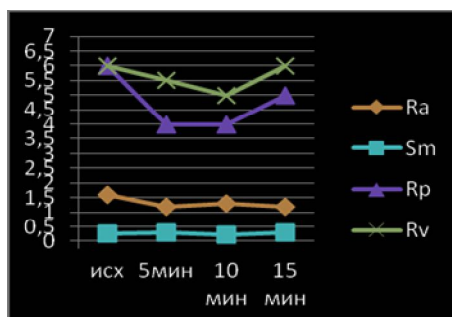


Рис. 10. Зависимость параметров шероховатости от времени обработки

Таблица 1. Результаты измерений поверхностной твердости для алюминия после обработки, НВ

Квазиупругая среда	Номер образца	Время влияния резонансной частоты, минут			
		0	5	10	15
Масло индустриальное И-40	1	74,3	79	82	82
	2	75,6	80	84	83
	3	73,6	77	83	83
	4	72,9	76	82	84
Вода	5	75,8	78	81	83
	6	74,6	76	79	81
	7	74,5	77	80	82
	8	72,5	76	78	81
Вода с ПАВ (поверхностно активными веществами)	9	72,8	77	81	81
	10	73,6	78	82	80
	11	74,2	79	82	81
	12	75,6	79	83	82

Все основные показатели шероховатости, которые влияют на износоустойчивость, улучшились на 15-35%. Для заданных условий обработки и мощности экспериментальной установки оптимальное время обработки 10-12 минут. [9]

Выводы

В результате проведенных исследований решена актуальная научно-техническая задача в области технологии машиностроения, которая имеет важное народнохозяйственное значение и состоит в разработке прогрессивной технологии ЗРООКУС рабочих поверхностей малогабаритных деталей, которая обеспечивает повышение долговечности изделий при эксплуатации и сокращении энергетических затрат при изготовлении. Исследовано влияние конструктивно-технологических

параметров ЗРООКУС на качество ПС. Построена математическая модель зависимостей параметров шероховатости поверхности от режимов обработки. Разработано математическое обеспечение для расчета конструктивных параметров основных элементов звуковых КС.

Литература

1. Кулинский А.Д., Бутенко В.И. Комбинированные методы обработки поверхностей деталей трибосистем. – Таганрог: Изд-во ЮФУ, 2013. - 220 с.
2. Суслов А.Г., Фёдоров В.П., Горленко О.А. и др. Технологическое обеспечение и повышение эксплуатационных свойств деталей и их соединений / под общ. Ред. А.Г. Суслова. М.: Машиностроение, 2006. 448 с.
3. Бабичев А.П. Применение вибрационных технологий на операциях отделочно-зачистной обработки деталей / А.П. Бабичев, П.Д. Мотренко, Л.К. Гиллеспи и др. – Ростов н/Д : Издательский центр ДГТУ, 2010. – 285 с.
4. Матвієнко О.П., Сакно О.П., Лукічов О.В. Розробка ресурсозберігаючої фінішної зміцнюючої вібраційно-резонансної обробки деталей / Матеріали III-ої міжвузівської науково-технічної конференції «Енерго- та ресурсозберігаючі технології при експлуатації машин та устаткування», 29-30 листопада 2011 р., Донецьк, ДонІЗТ, 2011. – С. 150-152
5. Ковалевський С.В. Технологічне забезпечення зносостійкості поверхневого шару деталей автомобілів при фінішній зміцнювальній віброобробці в пружному середовищі /С.В. Ковалевський, С.А. Матвієнко, О. В. Лукічов// Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка/Ресурсозберігаючі технології, матеріали та обладнання у ремонтному виробництві.-Харків : ХНТУСГ, 2012. – Вип. 122.- С. 122-127.
6. Ковалевський С.В. Моделювання коливальних процесів при фінішній зміцнювальній віброобробці в пружному середовищі/ С.В. Ковалевський, С.А. Матвієнко, О.Ю. Деньщиков, О.В.Лукічов//Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво). – Полтава: ПолтНТУ, 2012.- Вип. 2(32), т.1. – С. 93-99.
7. Ковалевський С., Матвієнко С., Лукічов О. Спосіб зміцнювальної вібраційної обробки в пружному середовищі та установка для його здійснення // Теорія та практика раціонального проектування, виготовлення і експлуатації машинобудівних конструкцій. 3-я Міжнародна науково-технічна конференція: Тези доповідей. – Львів: КІНПАТРИ ЛТД. – 2012. – С. 72-73.
8. С.В. Ковалевський Автоматизація управління установкою для здійснення процесу зміцнюючої вібраційної обробки в пружному середовищі / С.В. Ковалевський, С.А. Матвієнко, О.П. Сакно, О.В. Лукічов // Вісник Національного університету «Львівська політехніка», №746, Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні та приладобудуванні, Львів, Видавництво Львівської політехніки, 2012, С. 128-131.
9. С.В. Ковалевський, С.А. Матвієнко, О.П. Сакно, О.В. Лукічов Метод звукової вібраційної обробки та його експериментальні дослідження / Наукові нотатки Міжвузівський збірник (за галузями знань «Машинобудування та металообробка», «Інженерна механіка», «Металургія та матеріалознавство»). Випуск 37 (червень, 2013). – Луцьк, 2013. – С. 177-182.

Поступила в редколлегию.03.05.2015