

**ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՀԱՆՐԱՊԵՏՈՒԹՅԱՆ ԿՐԹՈՒԹՅԱՆ ԵՎ ԳԻՏՈՒԹՅԱՆ
ՆԱԽԱՐԱՐՈՒԹՅՈՒՆ
ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ՊՈԼԻՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆ**

ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ ՆԱԻՐԻ ՀՐԱՅՐԻ

**ՄԱԿԵՐԵՎՈՒՅԹՆԵՐԻ ԳՐՏՆԱԿՄԱՆ ԳՈՐԾՆԹԱՑԻ
ԱՐԴՅՈՒՆԱՎԵՏՈՒԹՅԱՆ ԲԱՐՁՐԱՑՈՒՄԸ ԳԵՐՁԱՑՆԱՅԻՆ
ՏԱՏԱՆՈՒՄՆԵՐԻ ԿԻՐԱՌՄԱՄԲ**

Ե.02.03 – «Մեքենաշինական արտադրության տեխնոլոգիաներ և
սարքավորումներ» մասնագիտությամբ տեխնիկական
գիտությունների թեկնածուի գիտական աստիճանի հայցման ատենախոսության

ՄԵՂՄԱԳԻՐ

ԵՐԵՎԱՆ 2016

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ АРМЕНИЯ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ АРМЕНИИ**

ХАЧАТРЯН НАИРИ ГРАЙРОВИЧ

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ОБКАТКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ
ПРИМЕНЕНИЕМ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук по
специальности 05.02.03 “Технологии и оборудование машиностроительного
производства”

ЕРЕВАН 2016

Ատենախոսության թեման հաստատվել է Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարանի գիտական խորհրդի կողմից

Գիտական ղեկավար՝ տ.գ.դ., պրոֆ. Բ. Ս . Բալասանյան

Պաշտոնական ընդհմախոսներ՝ տ.գ.դ., պրոֆ, Է.Ա. Նազարյան

տ.գ.թ., դոց. Ա.Վ. Ղարայան

Առաջատար կազմակերպություն.....Հայաստանի ազգային ագրարային համալսարան

Ատենախոսության պաշտպանությունը տեղի կունենա 30.08.2016թ.-ին, ժ.11⁰⁰-ին

Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարանում գործող 034 մասնագիտական խորհրդի նիստում: Հասցեն՝ 0009, Երևան, Տերյան փ., 105

Ատենախոսությանը կարելի է ծանոթանալ ՀԱՊՀ –ի գրադարանում:

Սեղմագիրն առաքված է 2016թ. -ի հունիսի <<15>> -ին

034 Մասնագիտական խորհրդի քարտուղար տ.գ.թ., դոցենտ



Ս. Գ. Հարությունյան

Тема диссертации утверждена ученым советом Государственного инженерного университета Армении.

Научный консультант

д.т.н., проф. Б.С. Баласанян

Официальные оппоненты:

д.т.н., проф. Э.А. Назарян

к.т.н., доц. А.В. Гараян

Ведущая организация:

НАУА

Защита состоится 30 августа 2016г. в 11⁰⁰ч. на заседании Специализированного совета 034 при Национальном политехническом университете Армении по адресу: 0009, Ереван, ул. Терьяна, 105.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке НПУА

Автореферат разослан «15» июня 2016г.

Ученый секретарь Специализированного Совета 034 к.т.н., доцент



М.Г.Арутюнян

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Научно-технический прогресс во всех отраслях современного машиностроения требует от разработчиков и конструкторов постоянного улучшения технико-экономических показателей проектируемых ими машин и оборудования, что, как правило, сопровождается повышением режимов их работы. Это налагает серьезные требования к надежности и долговечности, и связанные с ними, все более ужесточающиеся требования к качеству поверхностного слоя и эксплуатационных свойств деталей машин. Для обеспечения необходимого качества поверхностного слоя деталей машин в технологии машиностроения применяют финишные методы обработки, к числу которых относятся различные способы абразивной и термической обработки, легированием и нанесением на рабочие поверхности деталей машин износостойких покрытий, а также их упрочнением методами поверхностного пластического деформирования (ППД).

Наиболее прогрессивными методами ППД, направленными на повышение качества и эксплуатационных свойств деталей машин, являются технологии выглаживания их поверхностей с наложением на инструмент высокочастотных ультразвуковых колебаний (УЗК) вдоль нормали к обрабатываемой поверхности применением. На основе результатов таких исследований установлено, что методы ППД с радиальными УЗК индентора совмещают в себе лучшие показатели традиционных способов обработки: исходная шероховатость обработанных поверхностей деталей машин из термообработанных сталей и сталей в состоянии поставки, чугуна, сплавов цветных металлов, высокопрочных, коррозионноустойчивых, нержавеющих сталей и сплавов снижается до Ra 0,2; микротвердость поверхностного слоя в зависимости от обрабатываемого материала увеличивается на 20-270%; улучшаются эксплуатационные характеристики деталей машин за счет повышения предела контактной выносливости на 15-25% и т.д.

В настоящее время в области ультразвукового ППД деталей машин намечается новая тенденция исследований и вместо традиционных схем ультразвукового выглаживания с наложением на индентор радиальных УЗК, авторы начинают разрабатывать и исследовать новые методы ППД с применением тангенциально-осевых, в том числе и амплитудно-модулированных или крутильных УЗК, каждый из которых имеет свои особенности и преимущества.

В этой связи исследования новых возможностей повышения эффективности применения УЗК в процессе ППД рабочих поверхностей деталей машин на основе разработки новых схем наложения УЗК на индентор остается одной из важнейших и актуальных задач машиностроения.

Цель и задачи работы. Целью работы является повышение эффективности процесса ультразвукового ППД рабочих поверхностей деталей машин на основе разработки новых схем наложения УЗК на индентор.

Для достижения намеченной цели в работе поставлены следующие задачи:

1. Выявить основные недостатки известных схем ППД с использованием УЗК и разработать теоретические предпосылки повышения эффективности их применения при условии обеспечения требуемого качества обработки.
2. Разработать новую схему применения УЗК при ППД, исследовать и теоретически обосновать возможность повышения эффективности процесса и установить технологические возможности ее осуществления.
3. Исследовать причины распылки магнитострикционного ультразвукового трансформатора от концентратора УЗК и разработать новый и более надежный способ их соединения.

4. Разработать общую методику проведения комплексных экспериментальных исследований, создать программу для машинной обработки результатов экспериментальных исследований, выявить математические модели исследуемых параметров процесса ППД с использованием УЗК в зависимости от его входных параметров.
5. Провести анализ результатов экспериментальных исследований, разработать технологические рекомендации, обеспечивающие высокую эффективность ППД с использованием УЗК, а также рекомендации для их практического использования.

Методы исследования. Приведенные в работе теоретические и экспериментальные исследования основаны на научных положениях технологии машиностроения, теории пластического деформирования, положениях контактирования твердых тел, инженерии поверхности, принципах системного анализа и математического моделирования, методах многофакторного планирования эксперимента и математической статистики, а также современных методах исследования процессов ППД рабочих поверхностей деталей машин.

Экспериментальные исследования проведены на современном стенде STD.2011 с компьютерным интерфейсом, позволяющим измерять и регистрировать три составляющие силы и амплитуды вибраций при обкатке, а также среднюю температуру процесса в реальном времени и осуществлять сбор результатов экспериментов в специальном файле. Использованы также микроскоп «Axio» (KARL ZEISS), микротвердомер «ПМТ-3», профилограф-профилометр «Абрис-ПМ7».

Работа выполнена в научно-исследовательской лаборатории “Ультразвуковые технологии и техника” кафедры «Автоматизации и комплексная механизации машиностроения» в соответствии с тематикой НИР кафедры и базовой лаборатории «Машиностроительные технологии» НПУА.

Теоретические, справочные и методические основы работы. В качестве теоретической основы работы служили отечественные и зарубежные классические и современные работы. Справочной основой работы являлись изданные официальные справочники, технические периодические издания, ГОСТ-ы и др.

В процессе исследований применены современные компьютерные устройства измерения, регистрации и сбора данных экспериментальных исследований, утвержденные ГОСТ-ом методы измерения физических величин, их регистрации и оценки, классические и современные методы сопоставительного анализа, прикладные и графические компьютерные программы и др.

Научная новизна.

1. Разработаны и впервые исследованы новые метод ППД рабочих поверхностей деталей машин с наложением на индентор УЗК в направлении результирующей силы обкатки (патент РА №3006) и способы соединения магнитострикционного ультразвукового трансформатора с концентратором УЗК (патенты РА №3004, №3005).
2. Аналитически установлено, что в процессе ППД деталей машин с применением радиальных УЗК в плоскости XOZ возникают кажущиеся поперечные и усиленные УЗК, амплитуда которых зависит от радиуса сферического индентора, амплитуды радиальных УЗК и глубины внедрения индентора под действием статической силы. Предложен коэффициент преобразования радиальных УЗК в кажущиеся поперечные и зависимость для его определения.
3. Аналитически установлено, что при определенных режимах обработки и амплитуды УЗК в течение некоторого промежутка времени происходит полный

отрыв поверхности индентора от обрабатываемого материала. Доказано, что при прочих равных условиях, промежутков времени, в течение которого сферический индентор находится в полном отрыве от обрабатываемого материала в случае УЗК индентора вдоль результирующей силы выглаживания на 10...40% больше по сравнению с процессом ППД с радиальными УЗК индентора, а при условии их равенства обеспечивается возможность повышения скорости обкатки до 1,4 и уменьшения средней силы обкатки до 1,2...1,6 и более раза по сравнению с ППД с радиальными УЗК.

4. Установлена зависимость шероховатости обкатанной поверхности при ППД с УЗК в направлении результирующей силы от условий обработки. Разработана новая математическая модель описания процесса ППД с УЗК, которая позволяет выявление для пяти входных параметров таким образом, что от первых трех параметров она носит квадратичный характер с учетом их линейных взаимовлияний, остальных двух только линейный.
5. Разработаны программы в среде LabVIEW для расчета шероховатости обкатанной поверхности при ППД с УЗК в направлении результирующей силы от условий обработки, определения промежутков времени холостого и рабочего ходов индентора и средней силы при ультразвуковой обкатке.
6. Экспериментально установлены математические зависимости параметров шероховатости обкатанной поверхности, степени ее упрочнения и глубины упрочненного слоя от исходной шероховатости заготовки, амплитуды УЗК, статической силы, подачи и числа проходов.

Практическая ценность.

1. Разработанный новый метод ППД рабочих поверхностей деталей машин с наложением на индентор УЗК в направлении результирующей силы обкатки при условии обеспечения требуемого качества обработки позволяет до 1,4 и более раза увеличить скорость обкатки по сравнению с ППД с радиальными УЗК.
2. Разработанные новые способы соединения магнитострикционного ультразвукового трансформатора с концентратором УЗК позволяют практически изготовить преобразователи УЗК с неисчерпаемым ресурсом по надежности их пайки и могут быть использованы для изготовления малогабаритных акустических систем.
3. Разработанные программа в среде LabVIEW могут быть использованы для расчета шероховатости обкатанной поверхности при ППД с УЗК в направлении результирующей силы от условий обработки, для определения промежутков времени холостого и рабочего ходов индентора в течение одного периода УЗК и средней силы при ультразвуковой обкатке, которая может быть использована для управления нагруженностью индентора.
4. Полученные теоретические и экспериментальные результаты исследований, а также разработанные программы в среде LabVIEW могут быть использованы также в учебных программах обучения магистров и стажеров исследователей.

Основные положения диссертационной работы, выносимые на защиту:

1. Новый метод ППД рабочих поверхностей деталей машин с наложением на индентор УЗК в направлении результирующей силы обкатки.

2. Зависимости амплитуды кажущихся УЗК в поперечном сечении обрабатываемой заготовки и коэффициента преобразования радиальных УЗК в кажущиеся поперечные от радиуса сферического индентора, амплитуды радиальных УЗК и глубины деформации.
3. Условие полного отрыв поверхности индентора от обрабатываемого материала при ППД с радиальными УЗК индентора.
4. Зависимость шероховатости обкатанной поверхности при ППД с УЗК в направлении результирующей силы от условий обработки.
5. Способы соединения магнитострикционного ультразвукового трансформатора с концентратором УЗК.
6. Математическая модель описания процесса ППД с УЗК.
7. Программы в среде LabVIEW для расчета шероховатости обкатанной поверхности при ППД с УЗК в направлении результирующей силы от условий обработки, определения промежутков времени холостого и рабочего ходов индентора в течение одного периода УЗК и средней силы при ультразвуковой обкатке.
8. Экспериментальные математические модели параметров шероховатости обкатанной поверхности, степени ее упрочнения и глубины упрочненного слоя от исходной шероховатости заготовки, амплитуды УЗК, статической силы, подачи и числа проходов процесса ультразвуковой обкатки.

Апробация работы. Основные положения диссертации и рекомендации доложены на годичных научно-технических конференциях НПУА за 2014-2015 гг., на научных семинарах проблемной лаборатории «Машиностроительные технологии» и кафедры «Автоматизация и комплексная механизация машиностроения» НПУА, международных научно-технических конференциях в г. Минске («Наука-образованию, производству, экономике», Минск, БНТУ, 2014г.), в г. Ереване («Машиностроительные технологии и техника автоматизации-2014», Ереван, НПУА, 2014 г.).

Публикации. Основные результаты исследования опубликованы в 11 статьях и научных работах, в том числе за пределами РА, три из которых патенты РА.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, 4 разделов, основных выводов и рекомендаций, списка литературы из 124 наименования. Изложена на 117 страницах, содержит 61 рисунок, 5 таблицы.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, приведены научные положения и результаты, выносимые на защиту, а также представлена структура работы.

В первой главе изложено состояние вопроса и проблемы традиционных и ультразвуковых методов ППД рабочих поверхностей деталей машин.

В период второй половины прошлого столетия изучению процессов традиционных методов ППД посвящено большое количество научных исследований. Среди них работы Аскинази Б.М., Бабичева А.П., Балтера М.А., Бараца Я.И., Башкова Г.П., Блюменштейна В. Ю., Бобровского Н.М., Браславского В.М., Грановского Э.Г., Каледина Б.А., Коновалова Е. Г., Корсакова В.С., Кудрявцева И.В., Лебедева В. А., Маркуса Л. И., Одинцова Л.Г., Папшева Д. Д., Резникова А. Н., Смелянского В. М., Сулимы А. М.,

Сулова А.Г., Хворостухина Л.А., Чекина Г.И., Чепа П.А., Чистосердова П. С., Школьника Л. М., Шнейдера Ю. Г., Яценко В.К. и др.

У истоков становления и развития теории и практики ППД с применением УЗК стояли Марков А.И., Казанцев В.Ф., Клубович В.В., Розенберг Л.Д., Северденко В.П., Степаненко А.В., Таратынов О.В., Мицкевич А.М., Муханов И.И., Рахимьянов Х.М., Устинов И.Д., Холопов Ю.В. и др. Способ ультразвукового выглаживания был предложен и впервые осуществлен в 1965г. Холоповым Ю.В. и Мицкевичем А.М., и, вначале, использовался как способ ультразвуковой полировки металлических деталей машин, который вызвал большой интерес у машиностроителей. В 1968 г. Муханов И.И. показал, что под действием колеблющегося с ультразвуковой частотой индентора в нормальном к обрабатываемой поверхности направлении (ППД с наложением на индентор радиальных УЗК), в зоне обработки возникают чередующиеся деформации сжатия и сдвига, вследствие которого наблюдается снижение шероховатости, повышение микротвердости и формирование сжимающих остаточных напряжений. Эти научные работы явились основой для дальнейших исследований и развития теории и практики применения ППД с наложением на индентор УЗК, которые успешно продолжают до настоящего времени.

В последнее десятилетие, особенно в России, интенсивно продолжают исследования в этом направлении, к числу которых можно отнести диссертационные работы Боровина Ю.М., Горбенко А.В., Ким Чанг Сика, Селиванов А.С., Семеновой Ю.С., Степановой Т.Ю., Смелянского В.М., Степошина С.В., Степчевой З.В., Харченко В.В., Осипенкова Г.А., Пегашкина В.Ф. и др. Анализ этих работ показывает, что в области ультразвукового ППД деталей машин намечается тенденция исследований новых методов их осуществления с применением тангенциально-осевых, амплитудно-модулированных или крутильных УЗК.

Проведенный анализ научных результатов этих исследований показал, что технологические возможности процессов ППД с применением УЗК имеют достаточно большой резерв для своего развития, в том числе совершенствованием методов их осуществления, на основе которого сформулированы цель и задачи диссертационной работы, приведенные во введении.

Вторая глава диссертационной работы посвящена теоретическим исследованиям особенностей кинематики и силовой нагруженности инструмента в процессах ППД с наложением на индентор УЗК как в радиальном, так и в направлении результирующей силы процесса обкатки.

Анализ известных методов осуществления ППД с применением тангенциально-осевых или крутильных УЗК показал, что в этих процессах, в определенные промежутки времени t_x , передний и боковой фронт сферического индентора при определенных режимах обработки находятся в отрыве от обрабатываемой заготовки, улучшая тем самым условия ультразвукового выглаживания. Около вершинная задняя поверхность индентора, которая является наиболее нагруженной его частью, по направлению нормали к поверхности обрабатываемого материала на ее определенной глубине находится с ним в постоянном контакте, что способствует увеличению длины траектории ее относительного движения и соответствующему увеличению износа инструмента.

Это явление отсутствует в случаях осуществления ППД с применением радиальных УЗК, при котором задняя поверхность индентора по направлению нормали к поверхности обрабатываемого материала в определенные промежутки времени t_x периодически отрывается от него, вследствие которого улучшаются условия работы этой поверхности. К сожалению, до настоящего времени отсутствуют сведения о наличии контакта по переднему и боковому фронтам сферического индентора в случаях осуществления ППД с применением радиальных УЗК. Для восполнения этого пробела снова рассмотрим

методику ППД деталей машин с применением радиальных УЗК, схема осуществления которого приведена на рис.1.

За исходное положение примем (рис.1):

точка С - точка контакта сферического сегмента индентора с точкой контакта выглаживаемой поверхности детали в момент времени, когда индентор под действием статической силы Рст внедрен в обрабатываемый материал на наибольшую глубину $h_{\max}$;

индентор совершает радиальные УЗК от своей нулевой линии на глубине h_0 от выглаживаемой поверхности детали с амплитудой A_y по нормали к этой поверхности, то есть вдоль оси Y;

точки K_0 , K_1 и K_2 – положения центра сферического индентора в моменты времени, когда его вершина находится соответственно на шлубинах h_0 , $h_{\min}$ и $h_{\max}$ от выглаживаемой поверхности детали;

$r_{\max}$ и $r_{\min}$ соответственно радиусы основания сферического сегмента в моменты времени, когда вершина индентора находится соответственно на шлубинах $h_{\max}$ и $h_{\min}$ от выглаживаемой поверхности детали;

В процессе УЗК плоскостью XOZ системы координат (ось X показана на рис.2) от сферического индентора отсекается шаровой сегмент высотой h_i , радиус основания которого можно определить из выражения:

$$r_i = \sqrt{R^2 - (R - h_i)^2} = \sqrt{R^2 - (R - (h_0 + A_y \cos \omega t))^2}, \quad (1)$$

где h_i радиус основания шарового сегмента высотой h_i .

Учитывая, что $M_1 M_0 = M_0 M_2 = \mp A_y$ из (1) можно записать величины r_0 , $r_{\max}$ и $r_{\min}$ в виде зависимостей:

$$r_0 = \sqrt{R^2 - (R - h_0)^2}, \quad (2)$$

$$r_{\max} = \sqrt{R^2 - (R - h_{\max})^2} = \sqrt{R^2 - (R - (h_0 + A_y))^2}, \quad (3)$$

$$r_{\min} = \sqrt{R^2 - (R - h_{\min})^2} = \sqrt{R^2 - (R - (h_0 - A_y))^2}. \quad (4)$$

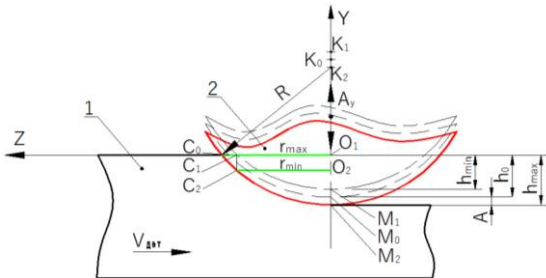


Рис. 1. Схема переднего фронта процесса ППД деталей машин с применением радиальных УЗК: 1-обрабатываемая деталь, 2 – сферический индентор с радиусом R

Изменение радиуса основания шарового сегмента в течение первой и третьей четвертей периода УЗК индентора зависит от текущего положения индентора, которое с учетом (1)-(2) можно определить по формуле:

$$\Delta r_i = r_i - r_0 = \pm \sqrt{R^2 - (R - (h_0 + A_y \cos \omega t))^2} \mp \sqrt{R^2 - (R - h_0)^2}, \quad (5)$$

а в течение второй и четвертой четвертей периода УЗК индентора по формуле:

$$\Delta r_i = r_0 - r_i = \mp \sqrt{R^2 - (R - (h_0 + A_y \cos \omega t))^2} \pm \sqrt{R^2 - (R - h_0)^2}. \quad (6)$$

В конце первой и второй четвертей периода УЗК индентора с учетом выражений (3)-(6) соответствующие наибольшие изменения радиусов Δr_1 и Δr_2 основания шарового сегмента можно определить с помощью выражений:

$$\Delta r_1 = r_{\max} - r_0 = \sqrt{R^2 - (R - (h_0 + A_y))^2} - \sqrt{R^2 - (R - h_0)^2} \quad (7)$$

$$\Delta r_2 = r_0 - r_{\min} = \sqrt{R^2 - (R - h_0)^2} + \sqrt{R^2 - (R - (h_0 - A_y))^2} \quad (8)$$

Следовательно, наибольшее изменение радиуса основания шарового сегмента равно $\Delta r = \Delta r_1 + \Delta r_2$, которое с учетом (7)-(8) можно записать в виде:

$$\Delta r = \sqrt{R^2 - (R - (h_0 + A_y))^2} + \sqrt{R^2 - (R - (h_0 - A_y))^2} \quad (9)$$

Заметим, что наибольшее изменение радиуса основания шарового сегмента в плоскости XOZ имеет место в течение каждого полупериода УЗК, когда текущая амплитуда радиальных колебаний изменяется от A_y до $-A_y$, в итоге перемещаясь при этом на величину $2A_y$. В результате этого, как показали расчеты, изменение радиуса основания шарового сегмента в течение каждого полупериода колебаний оказывается в несколько раз больше, чем двойная амплитуда радиальных УЗК. Например, при радиусе сферы $R=10$ мм, двойной амплитуде радиальных УЗК $2A_y = 20$ мкм, изменение радиуса основания шарового сегмента в течение одного полупериода УЗК составляет $\Delta r = 148$ мкм, что в 7,4 раза больше двойной амплитуды УЗК. Можно сказать, что под действием радиальных УЗК в плоскостях, параллельных плоскости XOZ возникают кажущиеся поперечные и усиленные УЗК, то есть радиальные колебания с некоторым коэффициентом K_y преобразуются в поперечные УЗК.

Величину усиления K_y можно определить из очевидного соотношения:

$$K_y = \frac{\Delta r}{2A_y} = \frac{\sqrt{R^2 - (R - (h_0 + A_y))^2} - \sqrt{R^2 - (R - (h_0 - A_y))^2}}{2A_y} \quad (10)$$

С учетом сказанного посредством формулы (10) были построены зависимости коэффициента преобразования K_y радиальных в поперечные УЗК от радиуса сферического индентора для различных значений h_0 , которые приведены на рис.2. Видно (рис. 2), что с увеличением радиуса сферического индентора от 1...20 мм, при $h_0 = 30$ мкм K_y увеличивается в 4...18,3 раза, а при $h_0 = 200$ мкм K_y - в 1.3...7 раза.

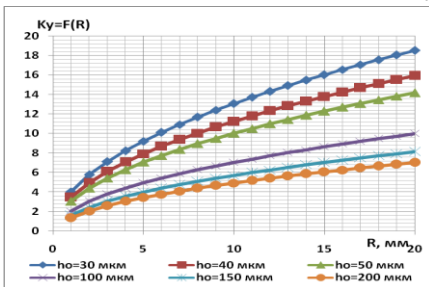


Рис.2. Зависимости коэффициента преобразования K_y радиальных УЗК в поперечные от радиуса

Примем, что в течение первого 0,5T полупериода УЗК индентора в плоскости XOZ системы координат за счет уменьшения радиуса основания шарового сегмента поверхности индентора в этой плоскости уменьшается на величину Δr . Перемещение точки С детали в течение этого промежутка времени, обусловленное скоростью его

движения относительно индентора, равно $\Delta L_C = 0.5V_{\text{dem}}T$. В итоге, перемещение точки С детали относительно поверхности сферического сегмента на уровне плоскости XOZ системы координат в направлении оси OZ будет равно:

$$\Delta L_Z = \Delta L_C - \sqrt{R^2 - (R - (h_0 + A_Y))^2} - \sqrt{R^2 - (R - (h_0 - A_Y))^2} = 0.5V_{\text{dem}}T - \sqrt{R^2 - (R - (h_0 + A_Y))^2} - \sqrt{R^2 - (R - (h_0 - A_Y))^2} \quad (11)$$

Аналогично, теми же рассуждениями, можно получить, что перемещение точки детали относительно поверхности сферического сегмента на уровне плоскости XOZ системы координат в направлении оси OX будет равно:

$$\Delta L_X = \Delta L_C - \sqrt{R^2 - (R - (h_0 + A_Y))^2} - \sqrt{R^2 - (R - (h_0 - A_Y))^2} = 0.5S_{\text{min}}T - \sqrt{R^2 - (R - (h_0 + A_Y))^2} - \sqrt{R^2 - (R - (h_0 - A_Y))^2} \quad (12)$$

Очевидно, что от знаков величин ΔL_Z и ΔL_X зависит наличие или отсутствие контакта между передним и боковым поверхности индентора и обработанной поверхностью детали: при $\Delta L_Z \geq 0$, $\Delta L_X \geq 0$ этот контакт существует, а при $\Delta L_Z < 0$, $\Delta L_X < 0$ образуется зазор между отмеченными поверхностями индентора и обработанной поверхностью детали.

Таким образом, из (10) можно получить условие полного отрыва передней и боковой поверхностей индентора от обрабатываемой поверхности в случае ППД с его радиальными УЗК в виде выражений:

$$0.5V_{\text{dem}}T - \sqrt{R^2 - (R - (h_0 + A_Y))^2} - \sqrt{R^2 - (R - (h_0 - A_Y))^2} < 0 \quad (12)$$

$$0.5S_{\text{min}}T - \sqrt{R^2 - (R - (h_0 + A_Y))^2} - \sqrt{R^2 - (R - (h_0 - A_Y))^2} < 0 \quad (13)$$

Полученные неравенства не имеют точного решения и поэтому для определения времени холостого хода индентора использованы численные методы.

Таким образом, в процессе ППД деталей машин с применением радиальных УЗК за счет периодического изменения высоты деформирующего сегмента сферического индентора в плоскости XOZ возникают кажущиеся поперечные и усиленные УЗК, амплитуда которых зависит от радиуса сферического индентора, амплитуды радиальных УЗК и глубины внедрения индентора под действием статической силы. Предложен коэффициент преобразования радиальных УЗК в кажущиеся поперечные и зависимость его определения. При этом при определенных режимах обработки и амплитуды УЗК в течение некоторого промежутка времени происходит полный отрыв поверхности деформирующего сегмента сферического индентора от обрабатываемого материала, что создает благоприятные условия для осуществления ППД.

Схема осуществления процесса ППД с применением УЗК индентора вдоль результирующей силы выравнивания приведена на рис.3, откуда видно, что составляющие A_Y , A_Z и A_X амплитуды УЗК составляют соответственно с осями Y, Z и X направляющие углы α , β и γ . В таком случае составляющие амплитуды A_Y , A_Z и A_X можно определить посредством выражений:

$$A_Y = A \cos \alpha, A_Z = A \cos \beta \text{ и } A_X = A \cos \gamma \quad (14)$$

В этом случае, перемещение точки С детали относительно поверхности сферического сегмента на уровне плоскости XOZ системы координат от радиальной составляющей амплитуды УЗК можно определить из выражения (12) с учетом того, что по направлению оси Z все точки поверхности индентора дополнительно перемещаются на

тело индентора, что способствует повышению ее динамической устойчивости и улучшению условий его силовой нагруженности.

С учетом условий (12) и (17) построены графики зависимостей величины зазора между индентором и поверхностью обрабатываемого материала, приведенные на рис.4а, где t_1 -момент отрыва индентора от обрабатываемой поверхности, t_2 -момент вхождения индентора в контакт с обрабатываемой поверхностью (отрицательные значения dL соответствуют наличию зазора). Очевидно, что в течение промежутков времени $t \in [0, t_1 \cup t_2, T]$ имеет место ППД рабочей поверхности детали с определенной силой $P_{дин} = P_{ст} + K \sin(\omega t)$, а в течении промежутка времени $t \in [t_1, t_2]$, индентор находится в полном отрыве от обрабатываемой заготовки и на него не действует эта сила.

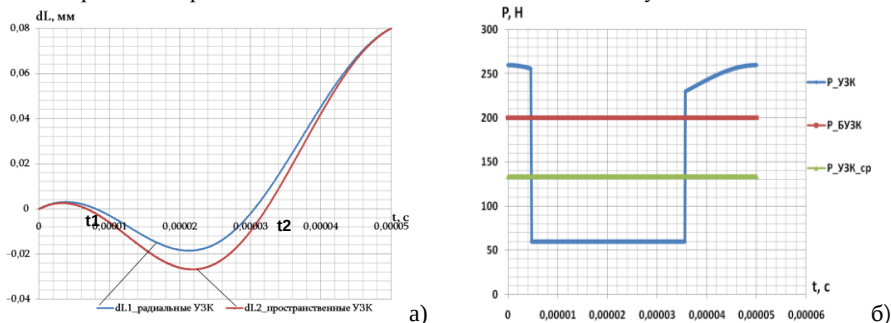


Рис.4. Зависимости: а) перемещения индентора относительно верхнего уровня обкатываемой поверхности при $V=84$ м/мин, $A=5$ мкм, $f=20$ кГц), б) силы выглаживания при $V=120$ м/мин, $A=10$ мкм, $f=20$ кГц в течение одного периода УЗК

С учетом этого построены графики зависимости изменения силы обкатки: без ультразвуковых колебаний $P_{БУЗК}$, с пространственными УЗК - $P_{УЗК}$ и ее средней величины - $P_{УЗК_ср}$ в течение одного периода УЗК (рис.4б). Из рис. 4б видно, что хотя амплитудное значение $P_{УЗК}$ в 1,3 раза больше $P_{БУЗК}$, однако среднее значение $P_{УЗК_ср}$ в течение одного периода УЗК в 1,5 раза меньше по сравнению с $P_{БУЗК}$. Аналогичные выводы получены и для иных режимов обкатки с применением УЗК.

На основе методов исследований, использованных В.М.Смелянским и А.В. Горбенко, известных зависимостях А.Г. Суслова для расчета величины пластических деформаций получена формула для расчета величины шероховатости обкатанной поверхности с УЗК колебаниями индентора в направлении результирующей силы процесса выглаживания от режимов обкатки и условий ее проведения на основе которой в среде LabVIEW разработана программа для ее расчета, которая может быть использована и для традиционных методов выглаживания поверхностей.

В третьей главе приведена общая методика проведения экспериментальных исследований, описаны использованное оборудование и измерительно-регистрирующие приборы. Вначале приведены краткие описания разработанных двух новых способов соединения магнотострикционного ультразвукового трансформатора с концентратором УЗК согласно патентам РА №3004 и №3005, которые были использованы в качестве основы для изготовления экспериментальных ультразвуковых акустических систем. Первый из них был предназначен для осуществления процесса ультразвуковой обкатки с применением тангенциальных или осевых УЗК индентора (рис.5а), а второй для его колебаний в направлении результирующей силы обработки (рис. 5б). Прикладными

компьютерными программами осуществлен прочностной расчет изготовленных акустических систем. В качестве переменных факторов процесса ППД с УЗК в экспериментальных исследованиях выбраны: шероховатость исходной поверхности образцов $Ra_{исх} = 1; 2,5; 4$ мкм, статическая сила $P_{ст} = 100; 150; 200$ Н, амплитуды УЗК $A = 0; 6; 12$ мкм, подача $S = 0,09; 0,13$ мм/об и число проходов $i=1;3$.

В качестве исследуемых параметров приняты: параметры шероховатости обкатанной поверхности Ra, Rz, R_{max} , микротвердости поверхности H_{100} , степени ее упрочнения U_n и глубины упрочненного слоя h .

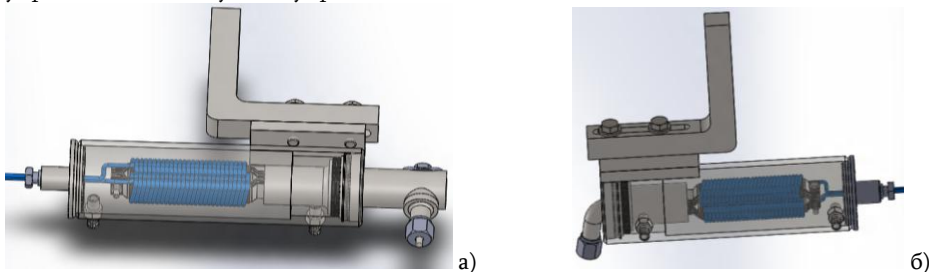


Рис. 5. Ультразвуковые акустические системы для осуществления процесса ППД: а) с тангенциальными или осевыми УЗК индентора, б) с УЗК индентора в направлении результирующей силы обработки

Экспериментальные исследования проведены на прецизионном токарно-винторезном станке модели 16Б05А, поперечный суппорт которого был отключен от ходового винта и имел возможность свободного перемещения в поперечном направлении. Статическое давление создавалось посредством груза соответствующей массы, который посредством троса, перекинутого через вращающийся блок, был привязан к суппорту.

Три составляющие силы были измерены посредством современного стенда STD.2011 с компьютерным интерфейсом, позволяющим в реальном времени осуществлять сбор результатов экспериментов, результаты которого были использованы для определения направления результирующей силы обкатки без УЗК, что было необходимо для установки оси индентора вдоль этого направления. Амплитуда УЗК измерена посредством специального оптического окуляра с 104^x кратным увеличением путем измерения ширины выбранной некоторой точки на инденторе без УЗК, измерения размаха этой точке при наличии УЗК и определения их разности, которая является двойной амплитудой УЗК.

В качестве экспериментальных образцов использованы кольцевые заготовки размерами $32 \times 26 \times 10$ мм, изготовленные из сталей сталь 45, X18H9T, ШХ15 и титанового сплава BT5. Параметры шероховатости обработанных поверхностей измерены профилограф-профилометром Абрис-ПМ7 согласно ГОСТ 2789-81. Для измерения глубины и величины наклепа обработанной поверхности использован микротвердомер марки ПМТ-3. Эти величины определены методом косого среза, для которого было изготовлено специальное устройство.

Для проведения экспериментов и обработки результатов экспериментальных исследований разработана новая математическая модель описания процесса ППД с УЗК, которая позволяет ее выявление для пяти входных параметров таким образом, что

от первых трех параметров она носит квадратичный характер с учетом их линейных взаимовлияний, остальных двух только линейный. Для этого использован разработанный в НПУА метод исследования экстремальных технологических процессов, согласно которому квадратичные и большей степени члены математические модели получают посредством деления переменных факторов процесса на соответствующее число равнозначных факторов и за счет их взаимодействий получают необходимую степень описания исследуемой модели. В среде LabVIEW разработана программа для расчета коэффициентов уравнения регрессии этой модели.

Четвертая глава посвящена обработке результатов экспериментальных исследований. Проведенные экспериментальные исследования позволили получить следующие математические модели исследуемых параметров при ППД титанового сплава BT5 с наложением на индентор УЗК в направлении результирующей силы обкатки:

$$R_a = 0.26 + 0.011X_1 - 0.032X_2 - 0.093X_3 + 0.009X_4 - 0.01X_5 + 0.035X_1^2 - 0.001X_2^2 + 0.14X_3^2 - 0.061X_1^2X_2 + 0.059X_1X_2^2 \text{ мкм},$$

$$R_z = 1.06 + 0.17X_1 - 0.13X_2 - 0.37X_3 + 0.036X_4 - 0.039X_5 + 0.14X_1^2 - 0.005X_2^2 + 0.57X_3^2 - 0.24X_1^2X_2 + 0.24X_1X_2^2 \text{ мкм},$$

$$R_{z_max} = 2.37 + 0.39X_1 - 0.292X_2 - 0.83X_3 + 0.08X_4 - 0.088X_5 + 0.31X_1^2 - 0.012X_2^2 + 1.27X_3^2 - 0.55X_1^2X_2 + 0.53X_1X_2^2 \text{ мкм},$$

$$H_{100} = 7893.9 - 37X_1 + 674.1X_2 + 143.4X_3 - 9.3X_4 + 34.3X_5 - 81.6X_1^2 + 130.4X_2^2 + 53.6X_3^2 - 86.8X_1^2X_2 + 36.2X_1X_2^2 \text{ МПа}$$

$$h = 47.54 + 1.33X_1 + 11.25X_2 + 3.54X_3 - 0.56X_4 + 0.65X_5 - 0.54X_1^2 - 1.79X_2^2 + 0.96X_3^2 - 2.25X_1^2X_2 - 1.08X_1X_2^2 \text{ мм},$$

$$U_H = 12.73 - 0.55X_1 + 9.62X_2 + 2.07X_3 - 0.14X_4 + 0.49X_5 - 1.13X_1^2 + 1.89X_2^2 + 0.82X_3^2 - 1.21X_1^2X_2 + 0.49X_1X_2^2 \text{ \%},$$

$$U_n = 19.03 - 1.27X_1 + 9.85X_2 + 1.74X_3 - 0.19X_4 + 0.59X_5 - 1.83X_1^2 + 0.87X_2^2 + 0.5X_3^2 - 0.7X_1^2X_2 + 0.05X_1X_2^2 \text{ МПа/мкм}.$$

Аналогичные модели получены при ППД сталей 45, X18H9T, ШХ15, анализ которых показал, что во всех случаях в принятых интервалах варьирования статической силы она оказывает наибольшее влияние на уменьшение параметров шероховатости R_a , R_z , R_{max} , наименьшие значения которых наблюдается при $P_{ст}=200$ Н, $So=0,09$ мм/об, $i=3$ прохода, $A=6...10$ мкм, $R_{a_isx}=1$ мкм. При этом, увеличение $P_{ст}=100$ Н до $P_{ст}=200$ Н при прочих равных условиях способствует уменьшению параметров шероховатости R_a , R_z , R_{max} 1,2...1,9 раза и увеличению параметров упрочнения поверхностного слоя 1,2...1,35 раза. Зависимости отмеченных исследуемых параметров от амплитуды УЗК в некоторых случаях, например при обработке титанового сплава BT5, носят экстремальный характер, который наблюдается при $A=6$ мкм.

Число проходов оказывает незначительное влияние на уменьшение параметров шероховатости обкатанной поверхности. Ее увеличение с одного до трех проходов, которое способствует уменьшению производительности почти в 3 раза, приводит к уменьшению параметров шероховатости лишь до 1,05...1,12 раза. Тоже самое имеет место при анализе зависимостей параметров микротвердости поверхности H_{100} , степени ее упрочнения U_n и глубины упрочненного слоя h . Увеличение числа проходов с одного до трех способствует увеличению H_{100} , U_n и h всего на 6...7 %. Аналогично, изменение подачи в пределах $So=0,13...0,09$ мм/об, также оказывает незначительное влияние на уменьшение параметров шероховатости обкатанной поверхности и улучшению параметров микротвердости обработанной поверхности при потере в производительности до 44%. Исходя из отмеченных очевидно, что в нашем случае, наиболее эффективным по производительности следует считать однопроходный процесс обкатки с подачей $So=0,13$ мм/об.

На основе экспериментальных исследований микротвердости H_{100} установлена ее зависимость от глубины упрочненного слоя (рис. 6) при однопроходной обкатке титанового сплава ВТ5 с наложением на индентор УЗК в направлении результирующей силы обкатки с подачей $S_o=0,13$ мм/об. Видно (рис.6), что наибольшая микротвердость устанавливается на глубине 10...30 мкм, после которого она с высоким градиентом падает до исходной микротвердости обрабатываемого материала, что достаточно хорошо согласуется с результатами известных исследований.

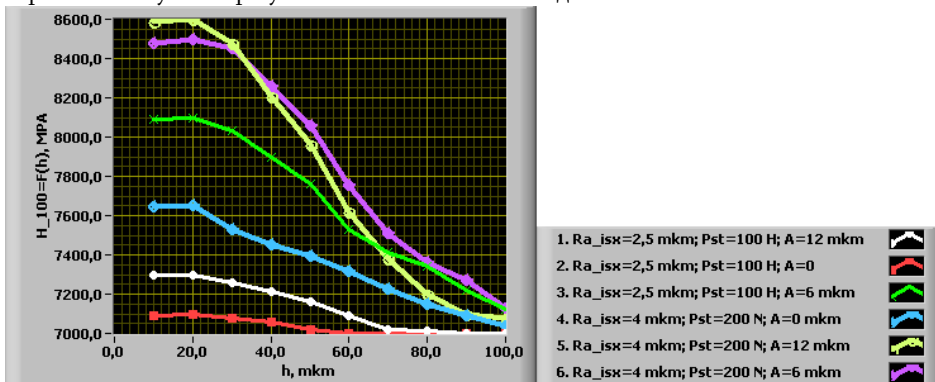


Рис.6. Зависимость H_{100} от глубины поверхностного упрочненного слоя при однопроходной обкатке титанового сплава ВТ5 с наложением на индентор УЗК в направлении результирующей силы с подачей $S_o=0,13$ мм/об

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы и практические рекомендации:

1. Разработаны и впервые исследованы новые метод ППД рабочих поверхностей деталей машин с наложением на индентор УЗК в направлении результирующей силы обкатки (патент РА №3006) и способы соединения магнитострикционного ультразвукового трансформатора с концентратором УЗК (патенты РА №3004, №3005).
2. Аналитически установлено, что в процессе ППД деталей машин с применением радиальных УЗК в плоскости ХОZ возникают кажущиеся поперечные и усиленные УЗК, амплитуда которых зависит от радиуса сферического индентора, амплитуды радиальных УЗК и глубины внедрения индентора под действием статической силы. Предложен коэффициент преобразования радиальных УЗК в кажущиеся поперечные и зависимость для его определения.
3. Аналитически установлено, что при определенных режимах обработки и амплитуды УЗК в течение некоторого промежутка времени происходит полный отрыв поверхности индентора от обрабатываемого материала. Доказано, что при прочих равных условиях, промежуток времени, в течение которого сферический индентор находится полным отрыве от обрабатываемого материала в случае УЗК индентора вдоль результирующей силы выглаживания на 10...40% больше по сравнению с процессом ППД с радиальными УЗК индентора, а при условии их

равенства обеспечивается возможность повышения скорости обкатки и снижения ее средней силы.

4. Установлено, что при определенных режимах обработки и амплитуды УЗК в течение некоторого промежутка времени происходит полный отрыв поверхности индентора от обрабатываемого материала. Доказано, что при прочих равных условиях, промежуток времени, в течение которого сферический индентор находится в полном отрыве от обрабатываемого материала в случае УЗК индентора вдоль результирующей силы выглаживания всегда оказывается на 10...40% больше по сравнению с процессом ППД с радиальными УЗК индентора. Применение метода ППД рабочих поверхностей деталей машин с наложением на индентор УЗК в направлении результирующей силы обкатки позволяет всегда направлять ее в тело индентора, вследствие которого повышается его динамическая устойчивость.
5. Выявлено, что применение метода ППД рабочих поверхностей деталей машин с наложением на индентор УЗК в направлении результирующей силы обкатки при обеспечении условия равенства промежутков времени рабочего и холостого ходов индентора в течение одного периода его колебаний обеспечивает возможность повышения скорости обкатки до 1,4 и уменьшения средней силы обкатки до 1,2...1,6 и более раза по сравнению с ППД с радиальными УЗК. Установлена зависимость шероховатости обкатанной поверхности при ППД с УЗК в направлении результирующей силы от условий обработки.
6. Разработаны программы в среде LabVIEW для расчета шероховатости обкатанной поверхности при ППД с УЗК в направлении результирующей силы от условий обработки, определения промежутков времени холостого и рабочего ходов индентора и средней силы при ультразвуковой обкатке, которая может быть использована для управления нагруженностью индентора.
7. Разработана новая математическая модель описания процесса ППД с УЗК, которая позволяет ее выявление для пяти входных параметров таким образом, что от первых трех параметров она носит квадратичный характер с учетом их линейных взаимовлияний, остальных двух только линейный. В среде LabVIEW разработана программа для расчета коэффициентов уравнения регрессии этой модели.
8. Экспериментально установлены математические модели параметров шероховатости обкатанной поверхности, степени ее упрочнения и глубины упрочненного слоя от исходной шероховатости заготовки, амплитуды УЗК, статической силы, подачи и числа проходов. Полученные теоретические и экспериментальные результаты исследований могут быть использованы также в учебных программах обучения магистров и стажеров исследователей.

Основные работы, опубликованные по теме диссертации

1. Хачатрян Н.Г., Акопян Г.Г. Методика исследования процесса ультразвукового выглаживания титановых сплавов // Сборник трудов МНТК «Технологии и техника автоматизации – 2014», Ереван: 2014., ГИУА (Политехник), Чартарагет, 2014. С. 56-61.
2. Баласанян Б.С., Баласанян А.Б., Гулоян К.Х., Хачатрян Н.Г. Некоторые причины медленного внедрения ультразвуковых технологий в различных отраслях

промышленности Армении //Мировая экономика и бизнес-администрирование малых и средних предприятий, Сборник трудов 12-й МНТК “Наука-образованию, производству, экономике”.- Минск, 2014.-Часть 2,-с. 122-125.

3. Բալասանյան Բ.Ս., Բալասանյան Ա.Բ., Գուլոյան Կ.Խ., Խաչատրյան Ն.Հ. Մագնիսակծկման գերձայնային կերպարափոխիչի պատրաստման եղանակ // Լրաբեր գիտական հոդվածների ժաղովածու. 2 մասով. Մաս 2. ՀՊՃՀ (Պոլիտեխնիկ) -Եր: Ճարտարագետ. 2014. էջ.347-352.
4. Խաչատրյան Ն.Հ. Գերձայնային գրտնակման գործընթացի սարքավորումներ // Լրաբեր գիտական հոդվածների ժաղովածու. 2 մասով. Մաս 2. ՀՊՃՀ (Պոլիտեխնիկ) -Եր: Ճարտարագետ. 2014. էջ.353-356.
5. Хачатрян Н.Г. Разработка новых конструкций ультразвуковых преобразователей и схем наложения ультразвуковых колебаний на процесс ультразвукового выглаживания поверхностей деталей машин / ԲԱՆԲԵԴ - Մեխանիկա, մեքենագիտություն, մեքենաշինություն. ՀՊՃՀ (Պոլիտեխնիկ). N2, 2015, -Եր: Ճարտարագետ. էջ. 88-94.
6. Բալասանյան Բ.Ս., Բալասանյան Ա.Բ., Խրիստաֆորյան Ս.Շ., Խաչատրյան Ն.Հ., Ղարայան Ա.Վ. Անդրաձայնային կերպափոխիչի ակուստիկական համակարգի պատրաստման եղանակ: ՀՀ թիվ 3004 Ա արտոնագիր. 6էջ: Արդյունաբերական սեփականություն: Պաշտոնական տեղեկագիր №03/1 2016, էջ. 6:
7. Բալասանյան Բ.Ս., Բալասանյան Ա.Բ., Խրիստաֆորյան Ս.Շ., Խաչատրյան Ն.Հ., Ղարայան Ա.Վ. Անդրաձայնային կերպափոխիչի ակուստիկական համակարգի պատրաստման եղանակ. 6էջ: ՀՀ թիվ 3005 Ա արտոնագիր: Արդյունաբերական սեփականություն: Պաշտոնական տեղեկագիր №03/1 2016, էջ.6:
8. Խաչատրյան Ն.Հ., Բալասանյան Բ.Ս., Բալասանյան Ա.Բ., Խրիստաֆորյան Ս.Շ., Փարիկյան Ֆ.Հ., Բաբայան Ա.Ս. Անդրաձայնային գրտնակման եղանակ. 6էջ: ՀՀ թիվ 3006 Ա արտոնագիր. Արդյունաբերական սեփականություն: Պաշտոնական տեղեկագիր №03/1 2016, էջ.7:

Խաչատրյան Նաիրի Հրայրի

Մակերևութների գրտնակման գործընթացի արդյունավետության բարձրացումը գերձայնային տատանումների կիրառմամբ
ԱՄՓՈՓԱԳԻՐ

Աշխատանքի արդիականությունը: Տեխնիկայի զարգացմանը զուգընթաց մեքենաների աշխատանքի պայմանները անընդհատ բարդանում են, առավել խիստ են դառնում մեքենամասերի շահագործական ցուցանիշներին ներկայացվող պահանջները: Այդ տեսանկյունից մակերևութային շերտի որակը այն կարևորագույն գործոններից մեկն է, որն ապահովում է մեքենամասերի բարձր շահագործական բնութագրեր: Մեքենամասի մակերևութային շերտի անհրաժեշտ որակի ապահովման համար կիրառվում են վերջնամշակման տարբեր եղանակներ, այդ թվում նաև մակերևութային շերտի ամրացում՝ մակերևութային պլաստիկ դեֆորմացմամբ (ՄՊԴ), ինչպես նաև ինդենտորին գերձայնային տատանումների հաղորդմամբ, որի զարգացումը դրանց նոր հնարավորությունների հայտնաբերմամբ մնում է մեքենաշինության կարևոր և արդիական խնդիրներից մեկը:

Նախաբանում հիմնավորված է թեմայի արդիականությունը, բերված են պաշտպանության ներկայացվող գիտական դրույթներն ու արդյունքները և ներկայացված է աշխատանքի կառուցվածքը:

Առաջին գլխում ներկայացված է մեքենամասի բանվորական մակերևութների ավանդական և գերձայնային տատանումների կիրառմամբ ՄՊԴ մեթոդների խնդիրը, որոնց վերլուծությունը ցույց տվեց, որ ՄՊԴ գրտնակման գործընթացում ԳՁՏ-ի կիրառումն իր զարգացման համար ունի բավական մեծ հնարավորություն, այդ թվում՝ իականացման մեթոդի կատարելագործմամբ, որի հիման վրա ձևակերպվել են ատենախոսության նախաբանում բերված նպատակն ու խնդիրները:

Երկրորդ գլուխը նվիրված է ՄՊԴ գրտնակման գործընթացում ինդենտորին ինչպես շառավղային, այնպես էլ ուժի համազորի ուղղությամբ ԳՁՏ-ի համադրմամբ (<< թիվ 3006 A արտոնագիր) գրտնակման կինեմատիկայի և ուժային ծանրաբեռնվածության առանձնահատկությունների տեսական ուսումնասիրություններին: Առաջարկվել է շառավղային տատանումները լայնականի փոխակերպման գործակցի որոշման մաթեմատիկական արտահայտությունը: Տեսականորեն հիմնավորված է, որ ԳՁՏ գրտնական որոշակի ռեժիմների պայմաններում, որոշակի ժամանակահատվածի ընթացքում, տեղի է ունենում ինդենտորի և մշակվող մակերևութի միջև կոնտակտի ընդհատում: Ապացուցվել է, որ համազոր ուժի ուղղությամբ ԳՁՏ գրտնակման մնացած բոլոր հավասար պայմանների դեպքումայդ ժամանակահատվածը 10...40% մեծ է շառավղային ԳՁՏ գրտնակման համեմատ, իսկ աշխատանքային և պարապ ընթացքների տևողությունների հավասարության պայմանի դեպքում՝ հնարավորություն է ստեղծվում բարձրացնել գրտնակման արագությունը մինչև 1,4 անգամ և

նվազեցնել միջին ուժը մինչև 1,2...1,6 անգամ: Հաստատվել է ուժի համագործի ուղղությամբ խորդուբորդությունների մեծության կախվածությունը մշակման պայմաններից: LabVIEW միջավայրում մշակվել են ծրագրեր ԳՁՏ-ով գրտնակված մակերևույթների խորդուբորդությունների, աշխատանքային և պարապ ընթացքների տևողությունների և գրտնակման միջին ուժի հաշվարկման համար:

Երրորդ գլխում բերված է փորձարարական հետազոտությունների իրականացման ընդհանուր մեթոդաբանությունը, նկարագրված են օգտագործվող սարքավորումները և չափող-գրանցող սարքերը: Կարճ նկարագրված են մեքենամասերի բանվորական մակերևույթների պլաստիկ դեֆորմացման գրտնակիչների ակուստիկական համակարգերի՝ մագնիսակծկման տրանսֆորմատորի և ԳՁՏ-ի խտարարի միացման նոր եղանակներ ($\ll$ թիվ 3004 և $\ll$ թիվ 3005 A արտոնագրեր):

ՄԴԴ գործընթացում ԳՁՏ կիրառմամբ փորձարարական հետազոտություններում, որպես փոփոխական գործոններ ընտրվել են նմուշի ելակետային մակերևույթի խորդուբորդությունները $Ra_{ncx} = 1; 2,5; 4$ մկմ, ազդող ստատիկ ուժը $P_{ct} = 100; 150; 200$ Ն, ԳՁՏ ամպլիտուդը $A = 0; 6; 12$ մկմ, մատուցումը $S = 0,09; 0,13$ մմ/սմ և անցումների թիվը $i = 1; 3$: Հետազոտվող պարամետրերն են գրտնակված մակերևույթի խորդուբորդությունների պարամետրերը $Ra, Rz, Rmax$, մակերևույթի միկրոկարծրությունը H_{100} , ամրացման աստիճանը U_H և ամրացված շերտի խորությունը h ՝ պողպատ 45, X18H9T, ШХ15 և BT5 մակնիշի տիտանային համաձուլվածքից նմուշների մշակման ընթացքում:

Չորրորդ գլխում նվիրված է փորձարարակն հետազոտությունների իրականացման և արդյունքների մշակման համար ստեղծված գերձայնային գրտնակման գործընթացի մաթեմատիկական մոդելի նկարագրությանը, որը թույլ է տալիս նրա հայտնաբերումը հինգ փոփոխական գործոնների համար, այնպես, որ առաջին երեք պարամետրերը կրում են քառակուսային բնույթ՝ նրանց գծային փոխազդեցությունների հաշվառմամբ, մյուս երկուսը՝ գծային: LabVIEW միջավայրում մշակված է ծրագիր գրտնակված մակերևույթի խորդուբորդությունների խորդուբորդությունների $Ra, Rz, Rmax$ պարամետրերի, մկրոկարծրության H_{100} , ամրացման աստիճանի U_H , և ամրացման խորության h մաթեմատիկական մոդելները, որը հնարավորություն է տալիս հաշվարկել ռեգրեսիայի հավասարման գործակիցները և արտածել դրանց բնական և մասշտաբային արժեքներով՝ կախված մուտքային պարամետրերից, դրա աղեկվատության ստուգումն ըստ Ֆիշերի F չափանիշի և որոշել մոդելի առավելագույն և նվազագույն արժեքները, ինչպես նաև այդ արժեքների ստացման ռեժիմները:

Հետազոտությունների տեսական և փորձարարական արդյունքները, կարող են կիրառվել մագիստրոսների և ճարտարագետ հետազոտողների ուսումնական ծրագրերում:

NAIRI KHACHATRYAN

IMPROVING THE EFFICIENCY OF THE PROCESS OF THE BREAK-IN OF SURFACES WITH APPLICATION OF ULTRASONIC VIBRATION

ANNOTATION

Relevance of the topic. Scientific-technical progress in all branches of modern engineering demands of developers and designers continuously improve technical and economic performance of the designed machines and equipment's. This places high demands on the reliability and durability, to ensure that the technology used in finishing machining methods, which including methods for hardening of working surfaces of machine parts by surface plastic deformation (SPD) methods, including superimposed on the indenter ultrasonic vibrations (USV), development of which, by identifying their new opportunities, remains one of the most important and relevant engineering tasks.

In the introduction the actuality of the topic, are given the scientific provisions and the results to be defended and represented by the structure of the work.

In the first chapter described the state of the issue and the problem of traditional and ultrasonic methods SPD working surfaces of machine parts, which analysis showed that the technological capabilities of SPD processes using ultrasonic vibrations have a sufficiently great reserve to its development, including the improvement of the methods of their implementation, on the basis of which stated the purpose and objectives of the thesis which are given in the introduction.

The second chapter of the thesis is devoted to theoretical studies of the kinematics and force loading of the tool in the process of SPD with the imposition of the indenter USV both in the radial direction and in the direction of resultant force according to the RA patent №3006, on the basis of which found that the SPD machine parts with radial USV due to periodic changes in the height of the deformation segment of a spherical indenter in the machining plane arise seeming transverse and amplified USV, which amplitude independent of the radius of the spherical indenter, the amplitude of radial USV and the depth of penetration of the indenter under the action of static forces. It is proposed the coefficient of conversion of radial in transverse USV and the dependence of its definition. Same time, under certain processing conditions and USV amplitude over a period of time segment of the deforming of a spherical indenter comes out of contact with the material being processed, which creates favorable conditions for the implementation of the SPD.

It is shown that, in equal conditions, the time period during which a spherical indenter is completely divorced from the material being processed in the case of USV indenter along the resultant force smoothing, is always on the 10 ... 40% more in comparison with the process of SPD with radial USV indenter. Application of SPD working surfaces of machine parts superimposed on USV indenter in the direction of the resultant force break-in allows you always transfer to the body of the indenter, as a result of which increases its dynamic stability.

Founded that the application of SPD machinery parts superimposed on the indenter USV in the direction of the resultant force break-in provided equal periods of working and idle motion of the indenter during one period of its oscillations can increase the running

speed up to 1.4 and reduce the average force up to 1.2 ... 1.6 times or more SPD compared to the radial USV.

Established the dependence of the roughness of the surface SPD with ultrasonic vibrations of the indenter in the direction of the resultant force on processing conditions. Created programs with LabVIEW for calculating the roughness of the surface run-in with the SPD by USV in the direction of the resultant force on processing conditions, to determine the times for idling, the working indenter moves, and the average force during ultrasonic break-in, which can be used as a management tool for indenter laden.

The third chapter provides a general method of experimental studies. Described used equipment, measuring and recording instruments. Contains brief descriptions of developed two new bonding methods of magnetostrictive ultrasonic transformer concentrator USV according to the RA patents №3004 and №3005, which were used as a basis for making experimental ultrasonic acoustic systems. As variables SPD process with USV in experimental studies selected: the roughness of the original surface samples $Ra_{isx} = 1; 2.5; 4$ microns, static force $P_{st} = 100; 150; 200$ N, USV amplitude $A = 0; 6; 12$ microns, feed $S = 0.09; 0.13$ mm / rev and number of passes $i = 1$ and 3. Investigated parameters were: surface roughness Ra , Rz , R_{max} , microhardness surface H_{100} , the extent of its hardening of U_H and the depth strengthened layer h when processing of experimental samples of steels 45, X18H9T, IX15 and titanium alloy BT5.

The fourth chapter is devoted to the developed mathematical model for description of the process a PDP with USI, which enables finding off five input parameters so that from the first three parameters, it has quadratic relation and the rest two only linear. Developed a program in LabVIEW environment to determine the mathematical models of the processed surface roughness parameters Ra , Rz , R_{max} , surfaces of microhardness H_{100} , the extent of its hardening of U_H and the depth strengthened layer h of processing modes, which allows to perform calculation of regression coefficients, printing on screen a symbolic entry of this model of the input parameters both in coding and natural values, carry out verification of adequacy of F Fisher criterion to determine the highest and lowest values of the test parameters and processing regimens in which they are achieved.

The obtained theoretical and experimental research results can also be employed for educational of masters study programs and research engineers.

