Бесплатно

БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКАЯ АКАДЕМИЯ

На правах рукописи

АБУГОВ Александр Лазаревич

РАЗРАБОТКА КОМБИНИРОВАННОГО ПРОЦЕССА ОТДЕЛОЧНО-ЗАЧИСТНОЙ И УПРОЧНЯЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ИГЛОФРЕЗЕРОВАНИЕМ И ПОВЕРХНОСТНЫМ ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ

05.02.08 - Технология машиностроения
05.03.01 - Процессы механической и физико-технической обработки, станки и инструмент

Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

Минск 1992

Работа выполнена в Белорусской государственной политехнической академии.

Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент. БАРШАЙ И.Л.

Официальные оппоненты – доктор технических наук, профессор, академик АН РБ ЯЩЕРИЦИН П.И.,

– кандидат технических наук, старший научный сотрудник ПЯТОСИН Е.И.

Ведущее предприятие – производственное объединение "БелавтоМАЗ"

Защита состоится " 14 " апреля 1992 г. в 10.00 часов на заседании специализированного совета Д 056.02.03 по защите диссертаций на соискание ученой степени доктора наук в Белорусской государственной политехнической академии по адресу: 220027, г.Минск, пр. Ф.Скорины, 65, корп. I, ауд.202. С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке академии.

Автореферат разослан "____" марта 1992г.

Ученый секретарь специализированного совета кандидат технических наук, доцент И.В.КОНОВАЛОВ

© Белорусская государственная политехническая академия, 1992

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

А к т у а л ь н о с т ь т е м ы. Большую роль в обеспечении качества деталей играют операции отделочно-зачистной и упрочняющей обработки, которым подвергаются 85-95% изготавливаемых деталей. На 40-45% из отмеченного количества деталей затем наносятся покрытия. Известно, что до 70% затрат на нанесение покрытий связано с механической подготовкой поверхностей.

Значительный объем трубных заготовок, применяемых в мотовелопромышленности, подвергается отделочно-зачистной обработке. Используемый для этого технологический процесс включает черновое шлифование с последующим многократным декоративным шлифованием и полированием. Данный технологический процесс требует трудоемкого ручного изготовления кругов для декоративного шлифования и полирования и является экологически вредным, т.к. при отмеченных процессах декоративной обработки происходит образование абразивной пыли с частицами стекла (связки).

Этих недостатков лишены процессы иглофрезерования и поверхностного пластического деформирования (ППД), которые характеризуются широкими технологическими возможностями, в значительной мере определяемыми податливостью режущих элементов иглофрезы и возможностью упругой установки иглофрез и деформирующих элементов. Указанные особенности позволяют использовать иглофрезерование и ППД для отделочно-зачистной и упрочняющей обработки деталей, например трубных, со значительными погрешностями формы.

Разработка комбинированного процесса иглофрезерования и ППД позволяет сочетать преимущества комбинируемых процессов при отделочно-зачистной и упрочняющей обработке деталей, к которым не предъявляются высокие точностные требования, в частности, при механической подготовке поверхностей перед нанесением защитных и защитно-декоративных гальванических покрытий.

Ц е л ь р а б о т ы. Разработка комбинированного процесса отделочно-зачистной и упрочняющей обработки деталей иглофрезерованием и ППД на основе изучения формирования комплекса параметров качества поверхности, технологического управления ими и их оптимизации на операциях иглофрезерования и ППД.

М е т о д и к а и с с л е д о в а н и й. В работе используются теоретические и экспериментальные методы исследований технологического обеспечения параметров качества поверхностного слоя.

Исследования воздействия на поверхность детали иглы и группы игл осуществлялось с помощью специально разработанной установки и динамометрического комплекса. Исследования технологического обеспечения параметров качества деталей при иглофрезеровании выполнялось на универсально-фрезерном станке с использованием специально разработанной установки. Качество обработанных поверхностей оценивалось по комплексу параметров макро- и микрогеометрии, микротвердости, остаточных напряжений с использованием современной измерительной аппаратуры. Математические модели изменения параметров качества при иглофрезеровании получены с применением положений математической статистики, теории планирования эксперимента и реализованы на ЭВМ. Оптимизация процесса иглофрезерования осуществлялась на основе решения компромиссной задачи с применением математических методов Лагранжа, Ньютона, Гаусса и реализована на ЭВМ.

Н а у ч н а я н о в и з н а. Выявлены закономерности формирования поверхностного слоя при иглофрезеровании на основе изучения воздействия на поверхность детали единичной иглы и группы игл.

Исследовано влияние операций иглофрезерования и последующего ППД на формирование комплекса параметров макро- и микрогеометрии, а также физико-механического состояния поверхности.

Получены математические модели изменения параметров качества при иглофрезеровании в зависимости от параметров режима обработки, исследовано влияние параметров режима обработки иглофрезерованием и ППД на коррозионную стойкость деталей.

На основе решения компромиссной задачи выполнена оптимизация процесса иглофрезерования, позволяющая определять экстремум одной характеристики процесса или параметра качества при ограничениях, налагаемых другой характеристикой процесса или параметром качества.

П р а к т и ч е с к а я ц е н н о с т ь и р е а л и з а ц и я р е з у л ь т а т о в. Разработан комбинированный технологический процесс, включающий иглофрезерование и поверхностное пластическое деформирование роликами (а.с. 1355467).

Разработан и внедрен способ обработки (а.с. 1371800), позволяющий осуществить комбинированную обработку иглофрезерованием и ППД с использованием одной иглофрезы.

Разработаны основные рекомендации по проектированию оборудования для комбинированной обработки, а также ряд технических решений в конструкции бесцентрово-иглофрезерного станка (а.с. 1618589, 1634392, 1668058).

Разработанные практические рекомендации и технологический процесс обработки прошли промышленную апробацию и реализацию в условиях Минского мотовелозавода (ММВЗ). По заключению ЦКТБ велостроения (Харьков) экономический эффект от внедрения процесса на одном велозаводе составит 35-40 тыс.руб. в год. Внедрение на ММВЗ техпроцессов обработки только 6-ти наименований деталей позволило получить годовой экономический эффект 5.142 тыс.руб.

А п р о б а ц и я р а б о т ы. Основные положения диссертации докладывались и обсуждались на: 6-ой Международной научной конференции " *Rationalisierung im Maschinenbau durch Schlüsseltechnologien* ", Цвиккау, Германия, 1989; Всесоюзных научно-технических конференциях: "Интенсификация технологических процессов механической обработки", Ленинград, 1986; "Новые технологические процессы и оборудование для поверхностной пластической обработки материалов", Брянск, 1986; "Состояние и перспективы развития электротехнологии", Иваново, 1987; "Прогрессивные методы и средства защиты металлов и изделий от коррозии", Москва, 1988; "Разработка и промышленная реализация новых механических и физико-химических методов обработки", Москва, 1988; республиканских и региональных научно-технических конференциях и семинарах: "Прогрессивные методы отделочной обработки деталей машин и приборов", Пенза, 1986; "Пути повышения технического уровня и надежности машин", Минск, 1986; "Технический прогресс в металлорежущей обработке", Москва, 1986; "Ресурсосберегающие технологии современного производства", Севастополь, 1987; "Интенсификация и автоматизация отделочно-зачистной обработки деталей машин и приборов", Ростов-на-Дону, 1988; "Интенсификация процессов механической обработки и сборки в машиностроении", Горький, 1988; "Новый высокоэффективный

режущий инструмент и оснастка - средство интенсификации машиностроительного производства", Ленинград, 1989; научно-технических конференциях профессорско-преподавательского состава БПИ в 1984-88 гг.

П у б л и к а ц и и . . По теме диссертации опубликовано 46 печатных работ и получено 20 авторских свидетельств на изобретения.

О б ъ е м р а б о т ы. Диссертационная работа состоит из введения, шести глав, общих выводов, списка литературы и приложений. Изложена на 252 страницах, в том числе содержит 123 страницы машинописного текста, 24 таблицы, 70 рисунков, список литературы из 161 наименования и приложений на 40 страницах.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В о в в е д е н и и обоснована актуальность работы, дана краткая характеристика комбинируемых процессов иглофрезерования и ППД, определены основные направления исследований.

П е р в а я г л а в а содержит анализ литературных данных о современном состоянии отделочно-зачистной и упрочняющей обработки.

Отмечено широкое использование в промышленности процессов отделочно-зачистной и упрочняющей обработки, основной объем (до 80%) которой приходится на детали с размерами до 640 мм.

Определен объем отделочно-зачистной обработки на двух ведущих предприятиях мотовелопромышленности: Минском мотовелозаводе (ММВЗ) и Харьковском велозаводе (ХЗЗ) - около 15 млн. деталей в год, из которых 53% составляют детали трубной формы.

Приведен анализ влияния параметров качества поверхности (шероховатости, микротвердости, остаточных напряжений) на характеристики наносимого покрытия.

Рассмотрены особенности различных методов механической отделочно-зачистной и упрочняющей обработки, таких как абразивная, иглолезвийная, комбинированная и совмещенная обработки резанием и ППД.

В результате анализа, проведенного в главе 1, сформулированы следующие задачи исследования:

1. Определить закономерности формирования поверхностного

слоя при иглофрезеровании, вытекающие из особенностей взаимодействия с поверхностью единичной иглы и группы игл.

2. Исследовать закономерности получения и наследования макрогеометрии при комбинированной обработке иглофрезерованием и ППД.

3. Исследовать влияние операций иглофрезерования и ППД на формирование параметров микрогеометрии и физико-механического состояния поверхности детали.

4. Разработать математические модели изменения параметров качества поверхности и коррозионной стойкости деталей при иглофрезеровании с целью технологического управления ими.

5. Осуществить оптимизацию процесса иглофрезерования.

6. Разработать технологический процесс комбинированной обработки иглофрезерованием и ППД.

7. Разработать рекомендации по проектированию оборудования для реализации комбинированной обработки.

В о в т о р о й г л а в е рассмотрено формирование поверхностного слоя детали при воздействии на поверхность детали единичной иглы и группы игл. Отмечено, что особенностью процесса иглофрезерования является многократное воздействие игл на элементарные участки поверхности.

Описана конструкция разработанной для проведения экспериментов установки, содержащей устройства для зажима образцов и иглы (группы игл) и динамометрический комплекс. Исследование проводилось на образцах из сталей ст.10 (НВ 143) и 45 (НВ 197-207), которые подвергались шлифованию и полированию с целью точной фиксации параметров микрорельефа единичного среза. В качестве игл применялись отрезки проволоки диаметром 0,9 мм из стали 65Г.

Исследования позволили определить силовые характеристики формирования единичного среза: тангенциальную (P_z = 0,4-2,2 Н для стали 45, P_z = 0,26-2,1 Н для стали ст.10) и радиальную (P_y = 0,48-1,65 Н для стали 45, P_y = 0,3-1,1 Н для стали ст.10) составляющие сил резания. Установлено, что с увеличением натяга уровень составляющих сил резания P_z и P_y растет, а с увеличением скорости резания и вылета иглы - снижается. Это объясняется тем, что с ростом натяга увеличивается вдавливающая нагрузка, а с повышением скорости резания происходит рост температуры в поверхностном слое, приводящий к его разупрочнению. С увеличением вы-

лета иглы растут ее упругие отжатия, что приводит к уменьшению глубины внедрения.

Рассмотрено изменение динамического коэффициента P_z/P_y, который с увеличением параметров режима резания возрастает. В наибольшей степени на указанный коэффициент оказывает влияние изменение величины натяга. Так, в частности, увеличение натяга в пределах 0,I-3,0 мм приводит к увеличению динамического коэффициента для стали ст.I0 в диапазоне 0,85-I,9.

Характер изменения величин составляющих сил резания в зависимости от количества игл носит немонотонный характер.

Определены параметры микропрофиля единичного среза: глубина и ширина среза, высота и ширина навалов по краям среза, площади сечения среза и навалов. Зависимости параметров микропрофиля единичного среза от скорости резания и натяга носят экстремальный характер с четко выраженным максимумом. Увеличение вылета иглы приводит к снижению параметров микропрофиля единичного среза.

Выявлено, что формирование микропрофиля единичного среза может осуществляться с отделением различных видов стружки: сливной и суставчатой.

Изучен фрикционный контакт иглы с поверхностью единичного среза с учетом наличия площадки износа на торце иглы. Установлено, что результирующая сила, действующая на иглу, в этом случае определяется

$$R = N\sqrt{1+\left(\frac{1-\mu\,tg\gamma}{tg\gamma+\mu}-\mu\right)^2},$$

где N - нормальная сила, Н; γ - угол отжима иглы (передний угол), град; μ - коэффициент трения.

С учетом фрикционного контакта иглы с металлом по передней поверхности и площадки износа на задней поверхности со впадиной микропрофиля единичного среза рассчитан передний угол иглы, значение которого хорошо согласуется с известными экспериментальными данными по его определению.

В третьей главе разработана общая методика исследования технологического обеспечения параметров качества деталей. На основе анализа номенклатуры труб одних из крупнейших в стране пользователей указанных заготовок - ММВЗ и ХВЗ по трем характеристикам: наружному диаметру, длине обработки и марке обрабатываемого материала был выбран представительный объект исследований: трубная заготовка с наружным диаметром 22 мм, толщиной стенки I,5 мм, длиной 300 мм из стали ст.I0.

Для проведения экспериментов исходя из размеров обрабатываемых заготовок и рабочего пространства станка применялась иглофреза с наружным диаметром I50 мм, шириной рабочей части 22, вылетом и диаметром игл соответственно I4 и 0,32 мм.

Для выполнения экспериментов разработаны установка и технология подготовки иглофрезы к работе.

Измерение параметров шероховатости и продольной волнистости производилось на профилографе-профилометре " Talusurf -5-I20", поперечной волнистости на кругломере " Talyrond № 73", параметров микротвердости на приборе " Akashi-MVK". Остаточные напряжения определялись по методу Н.Н.Давиденкова с использованием универсального измерительного микроскопа мод. 692 фирмы " Carl Zeiss Jena" . Коррозионная стойкость определялась скоростью убыли массы и проницаемостью, которые определялись с применением лабораторных аналитических весов мод.ВЛА-200г-М.

Для определения влияния параметров режима иглофрезерования на изменение параметров качества поверхности разработан центральный композиционный ортогональный план (ЦКОП), реализованный на языке ФОРТРАН-IУ применительно к ЭВМ ЕС-I035.

Оптимизация технологического процесса иглофрезерования осуществлялась на основе исследования области оптимума и решения компромиссной задачи, выполненных с применением ЭВМ.

В четвертой главе приведены результаты экспериментальных исследований качества поверхностей деталей после обработки иглофрезерованием.

Рассмотрены жесткая и упругая схемы установки иглофрезы. Установлено, что упругая схема установки иглофрезы является предпочтительной при отделочно-зачистной обработке.

Определено влияние жесткости пружины, применяемой при упругой схеме установки, на высоту микронеровностей и отклонение от круглости деталей.

Установлено, что иглофрезерование с применением упругой схемы установки инструмента не изменяет точности и стабильности рассеивания диаметральных размеров. При этом повышается стабиль-

ность отклонений от круглости и цилиндричности, снижается величина отклонений от цилиндричности и не изменяется величина отклонений от круглости.

Между параметрами точности до и после иглофрезерования существует прямолинейная корреляционная связь с преобладающим наследованием погрешностей заготовки (диаметральный размер – 56,3%, отклонение от круглости – 95,4%, отклонение от цилиндричности – 91,8%).

Осуществлен анализ комплекса параметров качества поверхностей, обработанных на следующих режимах: скорость резания V = 60–240 м/мин, продольная подача $S_{пр}$ = 2,5–10 мм/об, круговая подача $S_{кр}$ = 1,38–4,46 м/мин, усилие прижатия P = 150–250 Н. Основные параметры качества поверхностей, обработанных иглофрезерованием, приведены в таблице.

Таблица

Основные параметры качества поверхностей, обработанных иглофрезерованием

Ra мкм	R_p мкм	R_{max} мкм	R_z мкм	S_m мкм	S мкм	ρ мкм
0,26–2,58	2,23–13,7	4,34–20,2	1,66–12,9	170–556	91–455	91–126

θ^o	$W_{пр}$ мкм	$W_{поп}$ мкм	σ_θ МПа	h мм	H_a /$H_{исх}$ = 1500–1550 МПа/
2,42–11,3	0,36–3,0	38–48	+300...–800	0,01–0,24	1600–2560

ρ – средний радиус неровностей профиля, θ – средний угол наклона боковой стороны профиля, $W_{пр}$, $W_{поп}$ – продольная и поперечная волнистости соответственно, σ_θ – остаточные напряжения, h – глубина упрочненного слоя, H_a – микротвердость поверхности.

Установлено, что максимальные сжимающие остаточные напряжения наводятся на поверхности детали; при удалении от поверхности в глубину металла уровень сжимающих остаточных напряжений резко снижается с последующим переходом в растягивающие напряжения.

Реализация ЦКОП позволила получить математические модели

изменения параметров качества типа

$$У = B_0 + \sum_{i=1}^{k} B_i X_i + \sum_{\substack{i=1 \\ j \neq i}}^{k} B_{ij} X_i X_j + \sum_{i=1}^{k} B_{ii} X_i^2 ,$$

где У – значение параметра качества, X_i – значение параметра режима обработки, к = 4 – количество изменяемых параметров режима обработки.

Для приведенных ниже параметров качества поверхности математические модели имеют вид

$$Ra = 1{,}075 - 0{,}020V + 0{,}022S_{пр} - 0{,}341S_{кр} + 0{,}009P + 0{,}0005VS_{пр} + 0{,}001VS_{кр} + 0{,}022S_{пр}S_{кр} + 0{,}00004V^2 - 0{,}013S^2_{пр}$$

$$S_m = 363{,}479 - 0{,}739V - 14{,}234S_{пр} - 173{,}655S_{кр} + 0{,}953P + 0{,}07VS_{пр} + 0{,}188VS_{кр} + 0{,}167S_{пр}S_{кр} - 0{,}307S_{кр}P - 2{,}376S^2_{пр} + 35{,}423S^2_{кр}$$

$$H_a = 3536{,}813 - 10{,}922V + 33{,}437S_{пр} + 39{,}978S_{кр} - 14{,}524P + 0{,}0141VP - 14{,}472S_{пр}S_{кр} + 0{,}0269V^2 + 0{,}0379P^2$$

$$\sigma_\theta = -365{,}9 + 2{,}27V - 120{,}3S_{пр} - 8{,}11S_{кр} + 0{,}425P + 0{,}191VS_{пр} - 0{,}014VP + 3{,}40S_{пр}S_{кр} + 0{,}14S_{пр}P + 4{,}23S^2_{пр} .$$

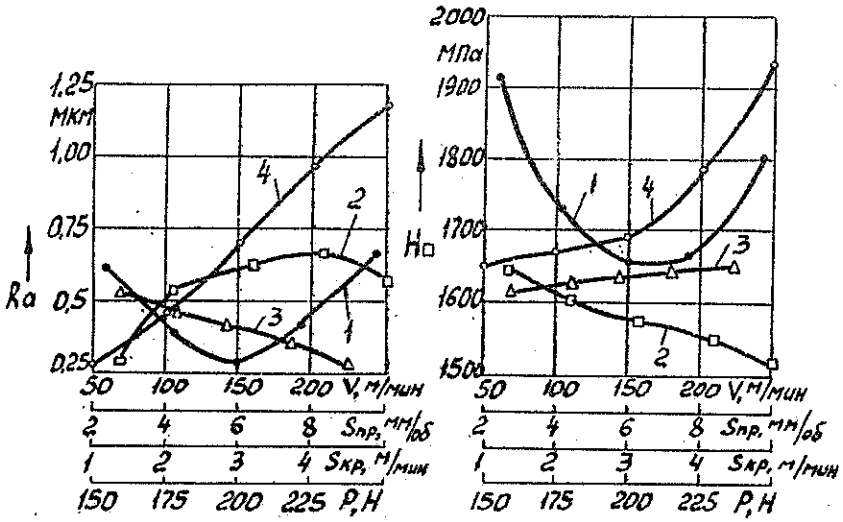
Некоторые графические зависимости, полученные в результате анализа математических моделей изменения параметров качества, приведены на рисунке.

Осуществлена оптимизация параметров режима иглофрезерования по критерию достижения минимального значения параметра шероховатости Ра. Установлено, что поверхность отклика параметра Ра носит минимаксный характер, определяющий существование условного минимума в точке с координатами: V = 150 м/мин, $S_{пр}$ = 2,5мм/об, $S_{кр}$ = 4,46 м/мин, P = 150 Н.

С применением методов Лагранжа, Гаусса, Ньютона решены компромисные задачи оптимизации по определению параметров режима обработки, обеспечивающих наибольшую производительность при заданной величине высоты микронеровностей поверхности и наибольшую микротвердость поверхности детали при заданной величине глубины упрочненного слоя.

Проведены коррозионные испытания деталей, обработанных иг-

Влияние скорости резания (I), продольной подачи (2), круговой подачи (3), усилия прижатия (4) на высоту микронеровностей Ра и микротвердость поверхности Н



I – $S_{пр}$=2,5 мм/об, $S_{кр}$=4,46 м/мин, P=I50H; 2 – V=I50 м/мин, $S_{кр}$=4,46 м/мин, P=I50H; 3 – V=I50 м/мин, $S_{пр}$=2,5 мм/об, P = I50H; 4 – V=I50 м/мин, $S_{пр}$=2,5 мм/об, $S_{кр}$=4,46 м/мин

лофрезерованием. С применением ЦКОП получена математическая модель изменения скорости убыли массы в зависимости от величины параметров режима обработки.

Определено, что иглофрезерование не ухудшает коррозионной стойкости детали, а при определенном режиме обработки повышает ее по сравнению с исходной. Наибольшая коррозионная стойкость достигается при V= I50 м/мин, $S_{пр}$ = 6,25 мм/об, $S_{кр}$ = 2,92 м/мин, P = 200 Н.

В пятой главе приведены результаты экспериментальных исследований качества поверхностей деталей после ППД.

Между параметрами точности деталей, обработанных иглофрезерованием с последующим ППД существует тесная прямолинейная связь с преобладанием наследования погрешностей (диаметральный размер-

68,8%, отклонение от круглости – 94,8%, отклонение от цилиндричности – 95,8%).

Установлена тесная прямолинейная корреляционная связь между параметрами точности заготовок и деталей после комбинированной обработки иглофрезерованием и ППД. Собственная погрешность комбинированной обработки формируется в основном на операции иглофрезерования.

Комплексный анализ параметров шероховатости и волнистости показал, что указанные параметры в зависимости от параметров режима ППД лежат в широком диапазоне изменений: при продольной подаче 0,I–0,7 мм/об, усилии деформирования 200–I400 Н Ra=0,28 – 0,4I мкм ($Ra_{исх}$ = 0,5 мкм), R_{max} =I,7–6,5 мкм ($R_{max\,исх}$=6,55 мкм), S_m=575–720 мкм ($S_{m\,исх}$=300 мкм), $W_{пр}$=0,7–I,2 мкм ($W_{пр\,исх}$ = I,25 мкм), $W_{поп}$ = 24–34 мкм ($W_{поп\,исх}$ = 43 мкм).

Отмечено, что с увеличением усилия деформирования изменение высотных параметров шероховатости носит экстремальный характер с выраженным минимумом, а шаговые параметры растут. Повышение подачи приводит к увеличению высотных параметров шероховатости и экстремальному изменению шаговых параметров с выраженным минимумом. Установлено, что для достижения минимальных высотных параметров шероховатости при обкатывании роликом с $R_{пр}$ = I0,5 мм следует принимать усилие деформирования P=600–800 Н, продольную подачу S = 0,I–0,3 мм/об.

Степень упрочнения поверхности после ППД иглофрезерованных деталей составляет 22–7I%. С увеличением усилия деформирования микротвердость поверхности и глубина упрочненного слоя возрастает, а с увеличением подачи характер изменения отмеченных характеристик упрочнения носит экстремальный характер с выраженным минимумом.

С увеличением усилия деформирования уровень остаточных сжимающих напряжений повышается, а с увеличением подачи – первоначально снижается с последующим ростом. Максимальные сжимающие напряжения достигают – 590...-750 МПа и залегают на глубине 0,03–0,09 мм ($\sigma_{\theta\,исх}$=-564 МПа).

Осуществлена оценка коррозионной стойкости деталей, обработанных ППД, по скорости убыли массы. Установлено, что с увеличением усилия деформирования и подачи характер изменения убыли

массы носит экстремальный характер с четко выраженным минимумом. Установлено, что для достижения максимальной коррозионной стойкости при обкатывании роликом с $R_{пр}$=10,5 мм следует принимать усилие деформирования P=600 Н, продольную подачу S =0,1-0,3 мм/об.

Установлено повышение износостойкости деталей после комбинированной обработки иглофрезерованием и ППД.

Отмечено, что наряду с комбинированной обработкой иглофрезерованием и ППД возможна и совмещенная обработка. Рассмотрены технологические возможности совмещения обработок иглофрезерованием и ППД, разработаны принципы указанного совмещения на основе способа по а.с. 1310182. На основании разработанного способа для совмещения процессов иглофрезерования и ППД необходимо, чтобы частота вращения в главном движении при ППД определялась

$$N_g = (0{,}9\text{-}2{,}0)\cdot \frac{H_u Z_u}{R_{пр}\sqrt{2R_{пр}i - i^2}\cdot Z_g}\cdot N_u ,$$

где N_u и N_g – частота вращения иглофрез и деформирующих элементов соответственно в движении круговой подачи иглофрез и главного движения деформирующих элементов; c^{-1}; Z_u и Z_g – количество иглофрез и деформирующих элементов, шт.; $R_{пр}$ – радиус профиля деформирующего элемента в продольном сечении, мм; i – натяг деформирующего элемента, мм; $H_и$ – ширина рабочей части иглофрезы, мм.

Разработано устройство для совмещенной обработки иглофрезерованием и ППД (а.с. 1206071).

В шестой главе рассмотрено промышленное применение комбинированной обработки иглофрезерованием и ППД.

Особенностью технологического процесса комбинированной обработки иглофрезерованием и ППД является необходимость соотношения минутных подач при иглофрезеровании и ППД, заключающаяся в том, что минутная подача заготовки при ППД должна превышать минутную подачу при иглофрезеровании до 20% (а.с. 1355467).

При проектировании оборудования для комбинированной обработки следует обеспечивать установку иглофрез и деформирующих элементов на расстоянии превышающем длину заготовки, а также независимость движений круговой и продольной подач.

Предложена классификация иглофрезерного оборудования для обработки цилиндрических заготовок, позволяющая целенаправленно подходить к проектированию нового оборудования на основе анализа

существующего.

Разработаны основные технические решения в конструкции бесцентрово-иглофрезерного станка, защищенные а.с. 1618589, 1634392, 1668058.

Внедрение техпроцессов для обработки только 6-ти наименований деталей позволило получить годовой экономический эффект 5,142 тыс.руб.

Разработан и внедрен способ обработки деталей (а.с.1371800), позволяющий осуществлять комбинированную обработку иглофрезерованием и ППД с использованием одной иглофрезы.

ВЫВОДЫ

1. На основании изучения формирования комплекса параметров качества поверхности разработан комбинированный процесс отделочно-зачистной и упрочняющей обработки, включающий иглофрезерование и поверхностное пластическое деформирование. Показано, что разработанный процесс может эффективно применяться для механической подготовки поверхностей перед нанесением защитных и защитно-декоративных гальванических покрытий.

2. Выявлены основные закономерности формирования микропрофиля единичного среза в зависимости от параметров режима резания при иглофрезеровании. Определены силовые характеристики процесса и основные закономерности их изменения в зависимости от параметров режима резания.

3. Изучены возможности жесткой и упругой установок иглофрезы, а также влияние жесткости пружины при упругой установке иглофрезы на параметры качества деталей.

4. Рассмотрены точностные возможности комбинированной обработки иглофрезерованием и ППД. Указанные возможности обработки определяются операцией иглофрезерования. При этом квалитет точности и стабильность рассеивания диаметральных размеров не изменяется, стабильность отклонений от круглости и цилиндричности повышается со снижением величины отклонения от цилиндричности и без изменения величины отклонения от круглости. Установлены прямолинейные корреляционные связи на этапах заготовка-иглофрезерование-ППД, а также множественная корреляционная связь точностных параметров комбинированной обработки.

5. Осуществлен анализ комплекса параметров шероховатости, волнистости микротвердости, остаточных напряжений после обработки иглофрезерованием и ППД. Определены интервалы изменения параметров режима обработки и достигаемые параметры качества. При иглофрезеровании со скоростью резания V = 60-240 м/мин, продольной подачей $S_{пр}$ =2,5-10 мм/об, круговой подачей $S_{кр}$=1,38-4,46 м/мин, усилием прижатия P=150-250 Н (диаметр игл 0,32 мм, ширина рабочей части иглофрезы 22 мм) основные параметры качества: Ra= =0,26-2,58 мкм, R_{max}=4,34-20,2 мкм, S_m =170-556 мкм, $W_{пр}$ = 0,36-3,0 мкм, $W_{поп}$=33-48 мкм, степень упрочнения до 70%, глубина упрочненного слоя 0,01-0,24 мм, остаточные напряжения на поверхности -300...-800 МПа. Последующее ППД роликом с $R_{пр}$ =10,5мм с продольной подачей 0,2-0,7 мм/об, усилием деформирования 200 - 1400 Н изменяет величины параметров качества: уменьшает Ra до 44%, R_{max} до 74%, $W_{пр}$ до 45%, $W_{поп}$ до 44%; повышает S_m до 140%, микротвердость поверхности до 71%, сжимающие остаточные напряжения до 26%. Установлены основные закономерности изменения параметров качества в зависимости от параметров режима иглофрезерования и ППД.

6. Иглофрезерование обеспечивает коррозионную стойкость аналогичную стойкости заготовки, а в отдельных случаях увеличивает ее по сравнению с исходной. ППД увеличивает стойкость иглофрезерованных поверхностей на 25-30%.

7. Установлено, что минимальная высота микронеровностей Ra достигается при следующих параметрах режима обработки: иглофрезерование - V = 150 м/мин, $S_{пр}$ = 2,5 мм/об, $S_{кр}$ = 4,46 м/мин, P = 150 Н, ППД - S =0,1-0,3 мм/об, P =600-800 Н.

8. Решение компромиссной задачи позволило определить параметры режима иглофрезерования, обеспечивающие достижение максимальной производительности при заданной высоте микронеровностей и максимальной микротвердости поверхности при заданной глубине упрочненного слоя.

9. Комбинированная обработка иглофрезерованием и ППД повышает износостойкость деталей по сравнению с заготовкой на 105-120%, в том числе на операции иглофрезерования на 70-80%, на последующей операции ППД еще на 35-40%.

10. Установлена технологическая возможность совмещения иглофрезерования и ППД (а.с.1206071, 1310182), получена закономерность такого совмещения.

11. Определены основные особенности комбинирования иглофрезерования и ППД (а.с.1355467) и разработан ряд технических решений в конструкции бесцентрово-иглофрезерного станка для реализации обработки (а.с.1613589, 1634392, 1668058).

По заключению ЦКТБ велостроения экономический эффект от внедрения процесса на одном велозаводе составит 35-40 тыс.руб. в год. Внедрение на ММЗЗ техпроцессов для обработки только 6-ти наименований деталей позволило получить годовой экономический эффект 5,142 тыс.руб.

12. Разработан и внедрен способ обработки деталей (а.с. 1371800), позволяющий осуществлять комбинированную обработку иглофрезерованием и ППД с использованием одной иглофрезы.

Основные положения и результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Баршай И.Л., Абугов А.Л. Технологические возможности управления качеством обработки при иглофрезеровании; ред.сб."Технология и организация производства". - К., 1986. - 7 с., ил.- Библиогр.: 2 назв.- Деп. в УкрНИИНТИ, № 1707-Ук.

2. Абугов А.Л. Совмещенная обработка деталей // Машиностроитель. - 1986. - № 11. - С.19-20.

3. Баршай И.Л., Абугов А.Л. Кинематические зависимости при совмещенной обработке иглофрезерованием и поверхностным пластическим деформированием // Машиностроение. - Мн: Вышэйшая школа, 1987. - Вып.12. -С. 20-22.

4. Абугов А.Л., Пасиков И.Е. Подготовка иглофрез перед обработкой // Машиностроитель. - 1987. - № 3. - С. 22.

5. Абугов А.Л. Иглофрезерная обработка цилиндрических деталей // Машиностроитель. - 1987. - №6. - С.21-22.

6. Абугов А.Л. Выбор схемы установки иглофрезы при обработке заготовок // Станки и инструмент. - 1987. - №6. - С. 24-25.

7. Абугов А.Л., Баршай И.Л., Фельдштейн Е.Э. Экспериментальное исследование динамики микрорезания при иглофрезеровании // Известия вузов. Машиностроение. - 1987.-№ 8. - С. 140-142.

8. Абугов А.Л., Баршай И.Л., Фельдштейн Е.Э. Формирование микропрофиля единичного среза при иглофрезеровании // Машиностро-

ение. – Мн.: Вышэйшая школа, 1988. – Вып. 13. – С.25–29.

9. Абугов А.Л., Баршай И.Л. Точность цилиндрических деталей после обработки иглофрезерованием // Приборостроение. – Мн.: Вышэйшая школа. 1988. – Вып. 10. – С.124–127.

10. Абугов А.Л. Обработка заготовок проволочным инструментом // Автомобильная промышленность. – 1988. – № 4. – С. 30–31.

11. Абугов А.Л., Баршай И.Л. Комбинированная обработка деталей // Машиностроитель. – 1988. – № 8. – С. 19.

12. Абугов А.Л., Баршай И.Л. Поверхностное пластическое деформирование деталей, предварительно обработанных иглофрезерованием; ред.ж. "Станки и инструмент". – М., 1988. – 9с.: ил.–Библиогр. 5 назв. – Деп. во ВНИИТЭМР, № 178–мш88.

13. Абугов А.Л., Баршай И.Л. Отделочно-зачистная обработка деталей иглофрезерованием; ред.ж. "Станки и инструмент". – М.: 1988. – 16 с.: ил. – Библиогр. 6 назв. – Деп. во ВНИИТЭМР, № 876–мш88.

14. Абугов А.Л., Баршай И.Л. Рациональные условия обработки иглофрезерованием цилиндрических деталей // Совершенствование вибрационной технологии и оборудования. – Ростов-на-Дону: РИСХМ, 1988. – С. 118–120.

15. Абугов А.Л. Стружкообразование при иглофрезерной обработке; ред.ж. "Станки и инструмент". – М., 1988. – 8 с.: ил. – Библиогр. 5 назв. – Деп. во ВНИИТЭМР, № 44–мш89.

16. Абугов А.Л. Особенности применения иглофрезерной обработки // Машиностроитель. – 1989. – № 2. – С. 30–31.

17. Абугов А.Л., Баршай И.Л., Худолей Т.Б. Прогрессивная технология и оборудование для механической подготовки деталей под гальванические и лакокрасочные покрытия. – Мн.: БелНИИНТИ, 1989. – 36 с.

18. Абугов А.Л., Баршай И.Л. Остаточные напряжения в поверхностном слое деталей после иглофрезерования // Машиностроение. – Мн.: Вышэйшая школа, 1989. – Вып. 14. – С. 48–50.

19. Абугов А.Л., Баршай И.Л. Поверхностное упрочнение деталей при обработке иглофрезерованием // Известия вузов. Машиностроение. – 1989. – № 3. – С.97–102.

20. Абугов А.Л., Баршай И.Л. Новое в технологии обработки деталей проволочным инструментом. – Мн.:БелНИИНТИ, 1990. – 48 с.

21. Абугов А.Л., Баршай И.Л. Качество поверхностей цилиндрических деталей при иглофрезеровании // Машиностроение. – Мн.: Вышэйшая школа, 1990. – Вып. 15. – С.68–71.

22. Абугов А.Л., Баршай И.Л. Влияние иглофрезерования на коррозионную стойкость низкоуглеродистых сталей // Защита металлов. – 1990. – Т. 26. – № 3. – С. 473–474.

23. Абугов А.Л. Иглофрезерные станки для обработки цилиндрических заготовок // Станки и инструмент. – 1990. – № 7. – С.41–42.

24. Абугов А.Л. Иглофрезерование цилиндрических и плоских заготовок // Станки и инструмент. – 1991. – № 6. – С. 32–33.

25. А.с. 1206071. Устройство для совмещенной обработки резанием и обкаткой / В.В.Бабук, А.Л.Абугов. – Опубл. в Б.И. № 3, 1986.

26. А.с. 1240521. Способ иглофрезерной обработки / А.Л.Абугов. – Опубл. в Б.И. № 24, 1986.

27. А.с. 1310182. Способ совмещенной обработки иглофрезерованием и обкаткой / А.Л.Абугов, И.Л.Баршай. – Опубл. в Б.И. № 18, 1987.

28. А.с. 1355467. Способ комбинированной обработки / А.Л. Абугов, И.Л.Баршай. – Опубл. в Б.И. № 44, 1987.

29. А.с. 1371800. Способ иглофрезерной обработки / А.Л.Абугов, Н.Е.Пасиков. – Опубл. в Б.И. № 5, 1988.

30. А.с. 1576251. Способ иглофрезерной обработки / А.Л.Абугов. – Опубл. в Б.И. № 25, 1990.

31. А.с. 1618589. Устройство для бесцентрово-иглофрезерной обработки / А.Л.Абугов и др. – Опубл. в Б.И. № 1, 1991.

32. А.с.1634392. Подающее устройство бесцентрово-иглофрезерного станка / А.Л.Абугов и др. – Опубл. в Б.И. № 10, 1991.

33. А.с. 1668058. Бесцентрово-иглофрезерный станок / А.Л. Абугов и др. – Опубл. в Б.И. № 29, 1991.