

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»

ПОКОЛЕНКО ДМИТРО ВАЛЕРІЙОВИЧ

УДК 621.38

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОБРОБКИ АНТЕННИХ
ОБТІЧНИКІВ ІЗ СИТАЛІВ ЗА РАХУНОК УДОСКОНАЛЕННЯ
ТЕХНОЛОГІЇ АЛМАЗНОГО ШЛІФУВАННЯ**

05.02.08 – технологія машинобудування

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня

кандидата технічних наук

Донецьк 2014

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано на кафедрі «Мехатронні системи машинобудівного обладнання» у Державному вищому навчальному закладі «Донецький національний технічний університет» Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник:

доктор технічних наук, професор
Калафатова Людмила Павлівна,
Державний вищий навчальний заклад
«Донецький національний технічний
університет», професор кафедри мехатронних
систем машинобудівного обладнання.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
Братан Сергій Михайлович,
Севастопольський національний технічний
університет, завідувач кафедри технології
машинобудування;

доктор технічних наук, професор
Філатов Юрій Данилович,
Інститут надтвердих матеріалів
ім. В.М. Бакуля, завідувач
лабораторії основ технології прецизійної
обробки виробів з неметалевих матеріалів

Захист відбудеться 24 квітня 2014 року о 12⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д11.052.04 у Державному вищому навчальному закладі «Донецький національний технічний університет» за адресою: 83001, вул. Артема 58, VI навчальний корпус, ауд. 202.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Державного вищого навчального закладу «Донецький національний технічний університет» за адресою: 83001, вул. Артема 58, II навчальний корпус.

Автореферат розісланий «__» _____ 2014 року.

Вчений секретар спеціалізованої
вченої ради Д11.052.04
к.т.н., доцент

Т. Г. Івченко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Антенні обтічники ракет – вироби складної просторової форми, що працюють у широкому діапазоні температур, при складному поєднанні змінних силових і теплових впливів, в агресивних робочих середовищах, що передбачає підвищені вимоги до їх силових характеристик, які повною мірою задовольняють технічні ситали – різновидність крихких неметалевих матеріалів.

Існуючі технологічні процеси (ТП) обробки обтічників трудомісткі, що визначається їх високими твердістю та підвищеною крихкістю, вимогами до точності і якості обробки, а також недостатністю знань про особливості і технологічні принципи механічної обробки, що реалізується, в основному, алмазним шліфуванням. Недосконалість ТП обробки, що супроводжується появою вібрацій у технологічній системі (ТС) різання у поєднанні з підвищеними динамічними і силовими впливами на поверхню, що обробляється, призводять до появи розвинутого приповерхневого дефектного шару після операцій шліфування, які ускладнюють наступні фінішні операції. Динамічна неусталеність ТС шліфування також негативно впливає на точність обробки і може привести до браку при виробництві кошовної продукції. Зведення до мінімуму величини дефектного шару при забезпеченні заданих профілю виробів і шорсткості поверхонь, що формуються, визначає ступінь ефективності обробки обтічників і можливість їх надійної експлуатації у складних умовах. Виходячи із зазначеного, все більш актуальним є вирішення завдання щодо визначення впливу силових і динамічних факторів процесу шліфування обтічників, які визначаються вхідними параметрами ТП, на якість обробки, точність і трудомісткість профілювання контуру виробів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана у відповідності з планами НДР кафедри мехатронних систем машинобудівного обладнання Донецького національного технічного університету і пов'язана з виконанням держбюджетної теми «Дослідження впливу динамічних і температурних факторів на ефективність процесу шліфування конструкційної кераміки», номер державної реєстрації 0105U002368 (замовник – Міністерство освіти і науки України). Участь автора роботи у виконанні теми – виконавець.

Мета і завдання досліджень. Метою роботи є підвищення ефективності обробки антенних обтічників із ситалів, перш за все, якості і точності, за рахунок удосконалення технології обробки шляхом обґрунтування її раціональних, з точки зору забезпечення динамічної стабільності процесу шліфування, умов – схеми і режимів шліфування, послідовності обробки, характеристики і стану ріжучого інструменту. Для досягнення цієї мети необхідно вирішити наступні завдання:

1. Вивчити і обґрунтувати поведінку ТС шліфування обтічників як динамічної системи, стан якої і, як наслідок, ефективність обробки залежать від вхідних параметрів ТП.
2. Розробити модель розвитку дефектного шару при шліфуванні ситалів, яка враховує вплив силового і динамічного факторів дії на поверхню, що формується при обробці.
3. Виконати експериментальні дослідження зі з'ясування впливу умов шліфування, що визначають інтенсивність динамічної дії, на силові особливості процесу обробки, якість (дефектність) поверхонь обтічників, що формуються.
4. Визначити шляхи підвищення точності формоутворення обтічників із урахуванням віброусталеності ТС шліфування і похибок профілювання виробів, викликаних зміною форми круга у процесі обробки.
5. Теоретично обґрунтувати і експериментально підтвердити вихідні положення, що використовуються при проектуванні раціональних ТП механічної обробки обтічників, які

забезпечують мінімальний вплив динамічного фактора на процес формоутворення виробів. Розробити і впровадити технічні рекомендації з механічної обробки обтічників.

Об'єкт дослідження – технологія механічної обробки антенних обтічників ракет з технічних ситалів.

Предмет дослідження – вплив вхідних технологічних факторів процесу шліфування обтічників на динамічний стан системи шліфування і, як наслідок, на якість (дефектність) поверхні, що формується, і точність обробки.

Методи досліджень. Теоретичні дослідження проводилися на основі положень: технології машинобудування; теорій різання, крихких руйнувань твердих тіл і дефектоутворення; методів математичного моделювання, технологічного забезпечення точності і якості параметрів виробів. Експериментальні дослідження здійснювалися за допомогою математичного і фізичного моделювання з використанням сучасних методів оцінки параметрів стану поверхневого шару оброблюваних матеріалів (ОМ) та виробів, зокрема, люмінесцентної дефектоскопії у поєднанні з прецизійним послойним хімічним травленням зразків і застосуванням для обрахунку результатів досліджень оригінальної методики автоматизованої оцінки дефектності, що реалізується за допомогою спеціальної програми на ЕОМ.

Наукові положення, які виносяться на захист:

- Виникнення вібрацій у ТС шліфування обтічників із ситалів, рівень яких залежить від вхідних параметрів процесу обробки, визначає інтенсивність розвитку поверхневого дефектного шару в ОМ.

- Встановлено, що точність і якість обробленої поверхні антенних обтічників – виробів із ситалів складної просторової форми, можуть бути отримані за умови забезпечення динамічної усталеності технологічної системи шліфування.

Наукова новизна отриманих результатів:

1. Уточнена і теоретично обґрунтована поведінка ТС шліфування обтічників ракет із ситалів як динамічної системи, стан якої і, як наслідок, якість (дефектність) і точність обробки виробів, залежать від вхідних параметрів ТП.

2. Вперше розроблена модель розвитку дефектності при шліфуванні ситалів, що враховує вплив рівня динамічної дії на поверхню, що формується, обумовленої вхідними параметрами ТП, на інтенсивність розповсюдження вихідних тріщин-дефектів, які містяться у матеріалі.

3. Вперше здійснено комп'ютерно-математичне моделювання процесу алмазного шліфування ситалових обтічників з урахуванням впливу жорсткості системи різання і похибок обробки, обумовлених зміною форми круга у процесі шліфування, на точність обробки зовнішньої поверхні виробів.

4. Вперше теоретично обґрунтована і експериментально підтверджена можливість підвищення ефективності обробки обтічників із ситалів за рахунок стабілізації динамічного фактора процесу шліфування, обумовленого застосуванням раціональних схем взаємодії алмазного інструмента з оброблюваним виробом; режимів шліфування; алмазних інструментів раціональних технологічних характеристик і ріжучої властивості.

Практичне значення отриманих результатів:

1. Удосконалена експериментальна методика автоматизованого розрахунку параметрів дефектності порушеного обробкою шару, яка дозволяє достовірно оцінити ступінь впливу на його розвиток технологічних параметрів процесу шліфування.

2. Розроблена методика розрахунку напружено-деформованого стану оброблюваного виробу – обтічника з урахуванням впливу жорсткості системи різання і зміни форми круга у процесі

шліфування, яка дозволяє оцінити ступінь точності формування профілю обтічника при варіації умов обробки. Методика використовується при комп'ютерному моделюванні раціональних ТП обробки обтічників на етапі їх попередньої розробки.

3. Удосконалена технологія отримання заготовок обтічників ракет із ситалів, яка забезпечує максимальну збіжність конфігурацій заготовки і виробу і знижує динамічну нестабільність стану системи шліфування.

4. На основі комплексних досліджень розроблені рекомендації з організації ефективних ТП обробки обтічників при забезпеченні умов усталеності системи верстат-приспосовування-інструмент-деталь (ВПД) технологічними методами.

5. Результати досліджень впроваджені на Костянтинівському державному науково-виробничому підприємстві «Кварсит» у вигляді розроблених ефективних ТП механічної обробки обтічників із ситалів з економічним ефектом 241,8 тис. грн. на річну програму 2012 року.

Особистий внесок здобувача.

Основні наукові результати роботи, що виносяться на захист, отримані автором самостійно. Здобувачем особисто виконано аналіз впливу стану системи ВПД, що обумовлений умовами процесу шліфування, на якість і точність обробки обтічників із ситалів, сформульовані мета і завдання досліджень, розроблені методики їх вирішення, проведені експериментальні дослідження і опрацьовані отримані результати. Ним також розроблена модель формування дефектного шару при різному рівні силових і динамічних впливів на поверхню, що формується. Постановка завдань і обговорення наукових результатів виконані разом із науковим керівником і, частково, зі співавторами публікацій. Достовірність наукових результатів підтверджується великим обсягом експериментальних досліджень, реалізованих із використанням сучасних методик, обладнання і апаратури в лабораторних і виробничих умовах.

Апробація результатів дисертації. Матеріали дисертаційної роботи доповідалися і обговорювалися на Міжнародній науково-технічній конференції студентів, аспірантів і молодих учених «Прогрессивные направления развития машино-приборостроительных отраслей и транспорта» (Севастополь, СевНТУ, 2004 р.); Міжнародній науково-технічній конференції «Физические и компьютерные технологии» (Харків, ХНВК «ФЭД», 2004 р.); Міжнародній науково-технічній конференції «Обеспечение и повышение качества машин на этапах жизненного цикла» (Брянськ, БДГУ, 2005 р.); Міжнародних науково-технічних семінарах «Высокие технологии: тенденции развития» (Харків, НТУ «ХП», 2005, 2007 р.р.); ІХ Міжнародній науково-технічній конференції «Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку» (Краматорськ, ДДМА, 2011 р.).

Дисертаційна робота у повному обсязі доповідалася на розширеному засіданні кафедри «Мехатронні системи машинобудівного обладнання» Донецького національного технічного університету.

Публікації. За темою дисертації опубліковано 16 наукових робіт, з них: 9 наукових статей у фахових виданнях; 1 наукова стаття у виданні, внесеному до російського індексу наукового цитування; 1 стаття і 2 тези доповідей на наукових конференціях і семінарах, 3 патенти на винахід.

Структура і обсяг роботи. Дисертація складається із вступу, шести розділів, загальних висновків, списку використаних джерел і додатків. Повний обсяг дисертації становить - 193 сторінки, у тому числі: 159 сторінок основної частини, 32 ілюстрації та 11 таблиць за текстом, 17 ілюстрацій і 2 таблиці на окремих сторінках, перелік посилань із 140 найменувань на 13 сторінках та 4 додатки на 21 сторінці.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У першому розділі «Аналіз умов формування якісних характеристик поверхні виробів із крихких неметалевих матеріалів при шліфуванні, у тому числі дефектного шару» виконано огляд літературних джерел, що стосуються матеріалів, які застосовуються для виробництва антенних обтічників ракет, до яких відносяться крихкі неметалеві матеріали (КНМ), зокрема, ситали; їх фізико-механічних властивостей; механізмів диспергування ОМ при алмазно-абразивній обробці, яка відбувається з утворенням дефектного приповерхневого шару; особливостей ТП обробки обтічників ракет.

Питаннями удосконалення абразивної обробки КНМ займалися: Д.Б. Ваксер, Ю.М. Внуков, В.В. Гусєв, А.І. Грабченко, В.Л. Доброскок, Л.П. Калафатова, В.І. Лавриненко, В.П. Маслов, Ю.К. Новоселов, М.В. Новиков, Ф.В. Новиков, Ю.В. Петраков, В.В. Рогов, О.О. Розенберг, М.Ю. Русін, Е.В. Ришков, Ю.А. Сизий, Є.І. Суздальцев, А.Г. Суслов, М.Д. Узунян, А.В. Усов, В.О. Федорович, Ю.Д. Філатов, В.А. Хрульков та інші, що зробили значний внесок у розв'язання завдань підвищення якості та ефективності обробки виробів з цих матеріалів. Проте відомості у літературі про обробку великогабаритних виробів складної просторової форми, аналогічних обтічникам ракет, дуже обмежені.

Антенні обтічники ракет – великогабаритні тонкостінні вироби складної просторової форми з криволінійними твірними і круговими направляючими, що виготовляються з комбіновано-дефектних ситалів типу АС-418, які мають необхідний для їх надійної експлуатації комплекс фізико-механічних властивостей. Характеристика виробів: довжина до 1000 мм, максимальний діаметр 450...500 мм, товщина стінки заготовки 20 мм при товщині готового виробу 4...8 мм з допуском не більше 0,03 мм; відхилення геометричних розмірів контурів по довжині виробу до 0,04 мм; шорсткість поверхні $Ra = 0,08...0,04$ мм і повна відсутність викликаного обробкою приповерхневого дефектного шару. Недосконалість технології заготовчих операцій для ситалів передбачає великі обсяги механічної обробки – алмазного глибинного шліфування (глибина шліфування t до 2 мм), необхідних для забезпечення заданої форми, розмірів і якості поверхні виробів. При цьому утворюється дефектний, порушений обробкою шар, який потребує видалення на заключній операції ТП – комбінованого зміцнення виробів.

Існуючі ТП обробки обтічників відрізняються трудомісткістю, що пов'язано, перш за все, з високими твердістю і крихкістю ситалів. Враховуючи особливості механізмів диспергування КНМ при абразивній обробці, можна зробити висновок, що дефектність поверхні, яка формується, а, відповідно, і загальна трудомісткість обробки виробів, визначаються рівнем силової дії на ОМ при різанні і напружено-деформованим станом зони обробки. При цьому енергомісткість процесу різання при обробці ситалів залежить від двох категорій факторів: їх фізико-механічних властивостей (міцності, твердості, крихкості, вихідної дефектності); технологічних параметрів процесу обробки (схеми і режиму різання, виду і особливостей попередньої обробки, технологічних і експлуатаційних характеристик інструменту, який застосовується), що має вплив на дефектність поверхні, яка формується. Практично встановлено, що недоліки ТП механічної обробки обтічників призводять до появи вібрацій у системі різання, що у поєднанні з підвищеними динамічними і силовими впливами на оброблювану поверхню супроводжується утворенням розвинутого дефектного шару глибиною до 300...500 мкм і передбачає значні обсяги фінішної і зміцнюючої обробки. Крім того, динамічна неусталеність ТС шліфування негативно впливає на точність формоутворення обтічників (амплітуда коливань у системі співвідноситься з величиною динамічної похибки обробки, досягаючи величини 0,13 мм), що може призвести до браку виробів.

Проте дотепер практично не досліджено вплив динамічного фактора процесу обробки, пов'язаного з його умовами, на стан і поведінку ТС при шліфуванні обтічників із ситалів. Немає також даних про зв'язок рівня дефектності, викликаної обробкою, і точності формоутворення зі ступенем динамічних впливів на заготовку при шліфуванні і віброусталеністю самої системи. Відсутні дослідження, присвячені визначенню теоретичних закономірностей утворення дефектності приповерхневого шару при взаємодії КНМ з абразивним інструментом з урахуванням динамічного фактора. Не розроблені методики моделювання напружено-деформованого стану оброблюваної заготовки і визначення точності формоутворення обтічників при варіації технологічних факторів процесів різання з урахуванням віброусталеності системи ВПД, що ускладнює проектування раціональних ТП їх обробки. Враховуючи вищезазначене, метою роботи є підвищення ефективності обробки антенних обтічників із ситалів, перш за все, якості і точності, за рахунок удосконалення технології обробки шляхом обґрунтування її раціональних, з точки зору забезпечення динамічної стабільності процесу шліфування, умов – схеми і режимів шліфування, послідовності обробки, характеристики і стану ріжучого інструменту.

У другому розділі «Методологія роботи і методи досліджень» подані загальна методологія роботи, яка показана на структурно-логічній схемі досліджень (рис.1), і методики теоретичних та експериментальних досліджень. Теоретичні дослідження містять:



Рисунок 1 – Структурно-логічна схема досліджень, виконаних у дисертаційній роботі

- розробку експериментально-теоретичної моделі розвитку дефектності поверхні, яка формується, що враховує рівень силового і динамічного впливів на неї, викликаних умовами шліфування (вхідними параметрами ТП), і вібраційну активність ТС;

- визначення шляху підвищення точності формоутворення обтічників за рахунок зниження похибок профілювання виробів, викликаних, зокрема, зміною форми круга у процесі обробки і віброусталеністю елементів ТС шліфування при різних умовах обробки.

Розробка моделі розвитку дефектного шару містить наступні етапи руйнування матеріалу припуску при шліфуванні, що реалізуються за рахунок: I етап – ударного впливу алмазного зерна-індентора у вигляді сталеві кульки різного діаметра, що опускається з різної висоти на поліровану поверхню зразків із ситалу; II етап – однопрохідного плоского шліфування периферією круга при різному рівні вібраційних впливів на поверхню зразка, який формується, які реалізувалися за рахунок різного рівня дисбалансу круга. На кожному з цих етапів досліджувався вплив: I - рівня внесеної кінетичної енергії при ударі, II – інтенсивності вібрацій і сил різання, що виникають при шліфуванні, на формування дефектного шару в ситалі.

При розв'язанні завдання підвищення точності формоутворення обтічників визначалася похибка обробки виробів Δ_{Σ} з урахуванням умов обробки і стану ТС шліфування.

$$\Delta_{\Sigma} = 2\sqrt{(k_1\Delta\varepsilon_y)^2 + (k_2\Delta_n)^2 + (k_3\Delta_{i3})^2 + (k_4\Delta_y)^2 + (k_5\Delta_{np})^2 + (k_6\Delta_m)^2} + \Sigma_{\Delta\phi} \quad (1)$$

де $\Delta\varepsilon_y$ - похибка встановлення заготовки у пристрої; Δ_n - похибка налаштування верстата; Δ_{i3} - похибка через розмірне зношення інструмента; Δ_y - похибка обробки, викликана пружними відтисканнями у системі через нестабільність сил різання і змінну жорсткість ТС вздовж твірної виробу; Δ_{np} - похибка профілювання, викликана зміщенням формоутворюючої точки на поверхні круга при його переміщенні вздовж твірної виробу; Δ_m - похибка, викликана температурними деформаціями системи ВПД; $\Sigma_{\Delta\phi}$ - сумарна похибка форми через геометричні неточності верстата; k_i - коефіцієнти, що характеризують співвідношення величини поля розсіювання похибки при нормальному законі розподілу до величини дійсного поля розсіювання.

Похибка Δ_m не враховувалася; визначення похибок: $\Delta\varepsilon_y$, Δ_n , Δ_{i3} , Δ_y здійснювалося експериментально-аналітичними методами; Δ_{np} - методом комп'ютерно-математичного моделювання процесу формоутворення обтічників з урахуванням зміни динамічних характеристик системи шліфування при варіації кінематичних показників процесу обробки, положення і стану зони контакту алмазного інструмента і виробу, що реалізовувалося за допомогою програмного пакета ANSYS.

Експериментальні дослідження умовно можна розділити на дві групи. Перша група – дослідження, що проводилися у лабораторних умовах і пов'язані з визначенням зусиль різання і дефектності зразків ситалу, оброблених в умовах різного рівня динамічних впливів ТС шліфування, викликані різним рівнем дисбалансу круга, при реалізації схеми плоского шліфування з варіацією параметрів режиму різання. Друга група експериментів містить дослідження з визначення впливу вхідних параметрів ТП обробки обтічників із ситалу АС-418 на вібростійкість системи шліфування, точність обробки і дефектність обробленої поверхні виробів.

Для експериментів першої групи використовувався стенд, змонтований на базі плоскошліфувального верстата моделі 3672 (рис. 2), який оснащений системами: реєстрації та вимірювання складових сили шліфування; запису профілю круга у радіальному перетині;

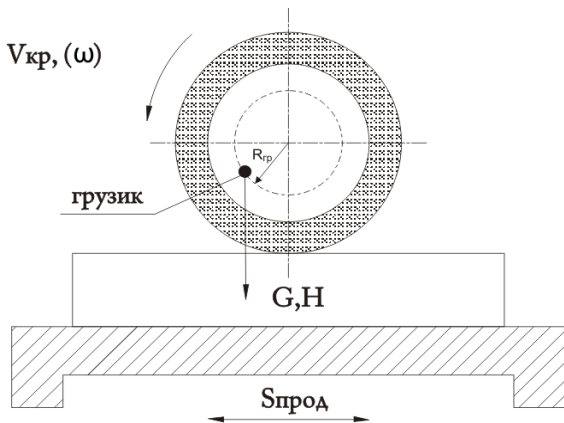


Рисунок 2 – Схема шліфування зразків силіциду в лабораторних умовах

визначення ріжучої властивості круга і його правки способом вільного абразиву. Обробка проводилася алмазним кругом 1А1 250x76x20x3 АС 6 125/100-4-М2-01. Явище дисбалансу забезпечувалося за рахунок зміщення грузика нормованої маси m , закріпленого на торцевій поверхні шліфувального круга (ШК), на відстані $R_{сп}$ відносно осі останнього (див. рис. 2.). Наявність дисбалансу супроводжується появою відцентрової сили $F_{ц}$, що визначається залежністю $F_{ц} = m\omega^2 R_{сп}$, де ω - кутова швидкість обертання круга, і регулюється зміною маси грузика m при варіації його розмірів. В умовах експерименту $F_{ц} = 10; 25; 50$ Н. Власні частоти коливань елементів ТС, а також їх динамічні характеристики, викликані вібраціями у системі (вібропереміщення s , мкм – відповідають амплітуді коливань A ; віброшвидкості v , мм/с і віброприскорення a , м/с²) на холостому ході і під час шліфування в умовах, що розглядаються (за наявності чи відсутності дисбалансу круга), вимірювалися за допомогою віброметра 795М-107В. Динамічні характеристики системи оцінювалися за даними віброграм відповідних показників за допомогою програми «КонСпект».

Дослідження із визначення впливу режиму різання на складові сили шліфування в умовах наявності дисбалансу круга проводились методом повного факторного експерименту з планом 2³. Значення параметрів режиму складали: на верхньому рівні $s_{np} = 6$ м/хв; $t = 0,4$ мм; $v_k = 34,2$ м/с; на нижньому рівні: $s_{np} = 1,1$ м/хв; $t = 0,1$ мм; $v_k = 23,7$ м/с. З метою виключення помилок у кожній точці плану експеримент повторювався не менше трьох разів у випадковій послідовності з використанням таблиці випадкових чисел.

Обробка обтічників реалізується за схемами внутрішнього і зовнішнього шліфування з різним напрямком подачі круга при внутрішньому профілюванні виробу: від фланця до носка і у зворотньому напрямку (порівнювані варіанти) на верстатах типу РТ 66202, що містять систему копіювання і шліфувальну агрегатну голівку (рис. 3). Алмазний інструмент, що використовується:

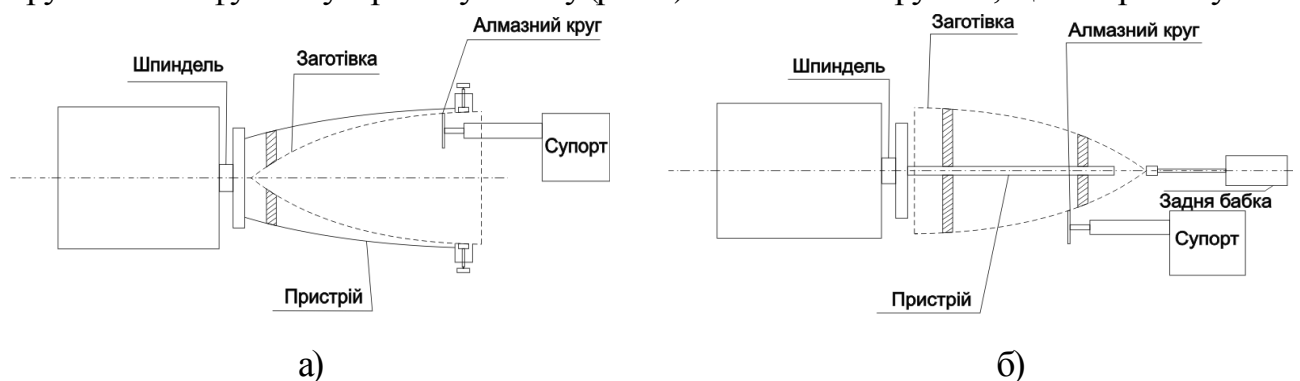


Рисунок 3 - Схема механічної обробки а) внутрішнього і б) зовнішнього контурів обтічників

крути типу 1A1 різних типорозмірів, у залежності від розмірів заготовки, оснащені природними алмазами різної зернистості (від 400/315 до 100/80), що пов'язано з видом обробки – попереднє або остаточне шліфування, 100% концентрації, на зв'язці M2-01.

Для налаштування верстата використовувалися мікрометричні голівки часового типу з ціною поділки 0,002 мм; для контролю точності виробів - контрольні скоби, міри товщини, для виміру вібрацій - вимірювачі шуму і вібрацій типу ВШВ-003-M2. Амплітуди вібраційної хвилі на виробі вимірювалися за допомогою методу зліпків у поєднанні з вимірювальним комплексом на базі профілографа-профілометра моделі 201.

Експериментальна перевірка теоретичних припущень оцінки ступеня впливу технологічних параметрів процесу обробки на дефектність поверхні обтічників, що формується, здійснювалася за допомогою удосконаленої автоматизованої методики оцінки дефектності порушеного обробкою шару на різних глибинах, заснованої на методі люмінесцентної дефектоскопії у поєднанні з пошаровим хімічним травленням зразків, за цифровими фотознімками найбільш характерних ділянок поверхні зразків. В якості критерію оцінки структури дефектного шару обрані: глибина проникнення дефектів (h_d , мкм), відносна щільність дефектів (S_{om} , %) як співвідношення площі, зайнятої дефектами, до всієї площі зразка, що досліджується; відносна об'ємна щільність дефектів у зруйнованому обробкою шарі (V_{om} , %), як співвідношення об'єму, зайнятого дефектами обробки, до усього об'єму поверхневого шару зразка, порушеного обробкою; усереднені розміри одиничних дефектів (d_d ; l_m , мкм).

У розділі 3 «Теоретико-експериментальне дослідження впливів умов шліфування ситалів на якість поверхонь, що формуються» представлені результати розробки експериментально-теоретичної моделі розвитку дефектного шару на різних стадіях процесу шліфування ситалу, що враховує рівень силового і динамічного впливів на поверхню, яка формується. За результатами дослідження картини формування дефектного шару у зразках ситалу при ударному впливі на них зерна-індентора встановлено, що дефектність залежить від рівня кінетичної енергії (E_k), що вноситься у поверхневий шар ОМ при ударі, проникаючи на більшу глибину (h_d) з її ростом, тобто $h_d = f(E_k)$, і погіршуючись структурно. При $E_k = 0,5$ Дж відзначено утворення кругових тріщин, що супроводжується утворенням радіальних тріщин на межі кругових при $E_k = 1,0$ Дж ($h_d = 300$ мкм) і наступним руйнуванням зразка.

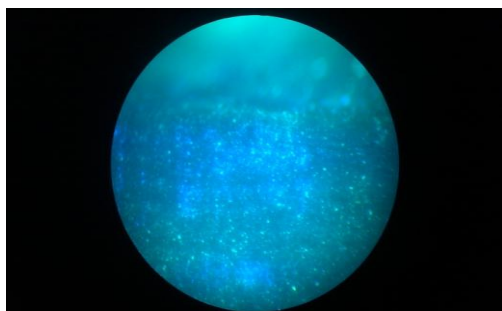
Моделювання процесу розвитку дефектного шару при шліфуванні зразків ситалу при різному рівні динамічних впливів на поверхню, що формується, дозволило встановити, що розвиток дефектів обумовлений процесом розгалуження (біфуркацією) тріщин, інтенсивність якого пов'язана з рівнем максимальної величини напружень σ_{max} , що виникають в ОМ, і призводять до його руйнування при різанні. Напружений стан у зоні різання визначається інтенсивністю вібрацій – величиною амплітуди коливань A , які викликані, наприклад, дисбалансом круга як фактором, що викликає вимушені коливання у системі, і величиною нормальної складової сили різання P_y , що наведено у таблиці 1 і може бути описано рівнянням

$$\sigma_{max} \approx C_1 \cdot A^{0,45} P_y^{0,7}, \quad (2)$$

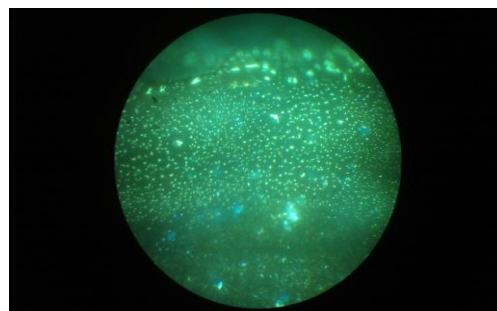
де C_1 - коефіцієнт, отриманий, виходячи із припущення, що сила притискання зерен круга до оброблюваної поверхні F умовно дорівнює силі P_y . При цьому відзначається інтенсивний розвиток дефектного шару при збільшенні рівня вібрацій: збільшення його глибини, розгалуження тріщин у зразках, шліфованих під час биття круга (рис. 4).

Таблиця 1 – Дані про динамічні характеристики шліфувального круга і напружень, що виникають в ОМ при шліфуванні з різним рівнем дисбалансу круга

| Дисбаланс круга F_u , Н | Нормальна складова сили різання P_y , Н | Динамічні характеристики шліфувального круга: | | | Умовні максимальні навантаження, що виникають в ОМ, σ_{\max} |
|---------------------------|---|---|---------------------------|---|---|
| | | вібропереміщення A , мкм | віброшвидкості v , мм/с | віброприскорення a , м/с ² | |
| 0 | 165,5 | 1,31 | 0,28 | 0,08 | 39,7 C_1 |
| 10 | 160,3 | 4,18 | 0,89 | 0,19 | 61,8 C_1 |
| 25 | 110,6 | 4,44 | 0,95 | 0,20 | 48,7 C_1 |
| 50 | 148,2 | 3,31 | 0,84 | 0,18 | 53,3 C_1 |



а)



б)

Рисунок 4 - Картини дефектності зразків ситалу, шліфованих при дисбалансі круга: а- $F_u = 0$; б- $F_u = 10$ Н, на глибині $h_d = 150$ мкм (збільшення $\times 100$)

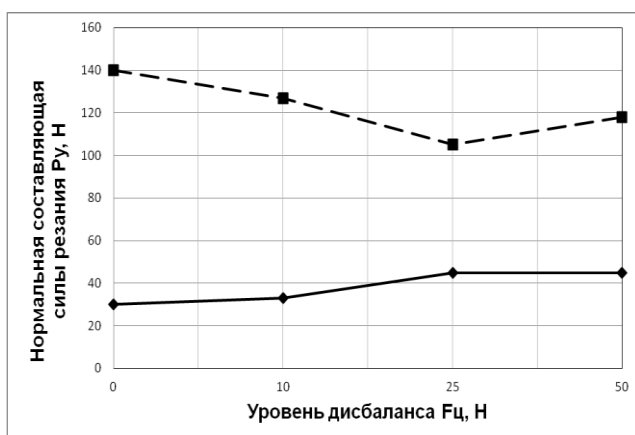


Рисунок 5 – Вплив величини дисбалансу круга (F_u) на зміни сили різання P_y ; шліфування з режимами:

1 - $v_k = 34$ м/с, $s_{np} = 6$ м/хв, $t = 0,4$ мм;

2 - $v_k = 4$ м/с, $s_{np} = 1,1$ м/хв, $t = 0,1$ мм

Проведено комплекс експериментальних досліджень із визначення ступеня впливу динаміки ТС, обумовленої наявністю дисбалансу круга, на силові характеристики процесу плоского урізного шліфування і дефектність зразків із ситалу АС-418 при варіації режимів шліфування. Встановлені залежності нормальної P_y і тангенціальної P_z складових сили різання від параметрів режиму обробки за відсутності дисбалансу круга

$$P_y = 80,81 \cdot t^{0,63} \cdot s_{np}^{0,34} \cdot v_k^{0,114} \quad (3)$$

$$P_z = 10,34 \cdot t^{0,49} \cdot s_{np}^{0,3} \cdot v_k^{0,24} \quad (4)$$

При шліфуванні збалансованим кругом величина сили P_y , що відповідає за розвиток

дефектного шару, максимальною мірою залежить від глибини різання і подачі. Зміна рівня дисбалансу круга і параметрів режиму шліфування впливає на значення сили P_y , при інтенсивних режимах обробки (рис. 5) і призводить до зростання дефектності поверхні, що формується (рис. 6, 7). Це пов'язано з наявністю додаткового динамічного впливу на оброблювану поверхню, що викликає інтенсифікацію розгалуження тріщин на більших глибинах у поверхневому шарі деталі і підтверджує теоретичні положення, висунуті при моделюванні процесу дефектоутворення у ситалах.

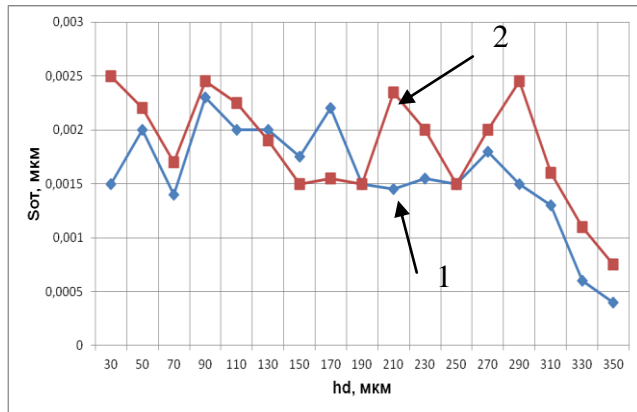


Рисунок 6 – Зміна відносної площі, яку займають дефекти, за глибиною зразка при шліфуванні з режимом різання $v_k = 34$ м/с, $s_{np} = 1,1$ м/хв, $t = 0,4$ мм за: 1 - відсутності дисбалансу, 2 - наявності дисбалансу круга ($F_u = 50$ Н)

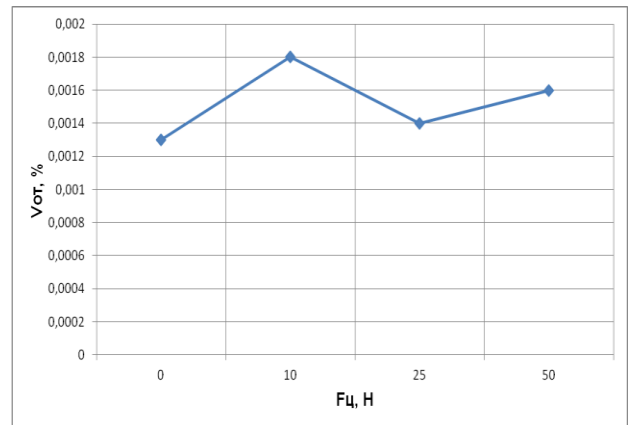


Рисунок 7 – Вплив величини дисбалансу круга (F_u) на об'ємну відносну щільність дефектів при шліфуванні з режимом $v_k = 34$ м/с, $s_{np} = 1,1$ м/хв $t = 0,4$ мм

У розділі 4 «Вплив технологічних факторів на динамічний стан системи різання, якість обробки обтічників у виробничих умовах» представлені результати експериментальних досліджень із встановлення впливів умов шліфування, що визначають інтенсивність динамічного діяння на силові особливості процесу обробки, якість (дефектність) і точність поверхонь обтічників. Встановлено, що на віброусталеність ТС шліфування впливає довжина дуги контакту F , що

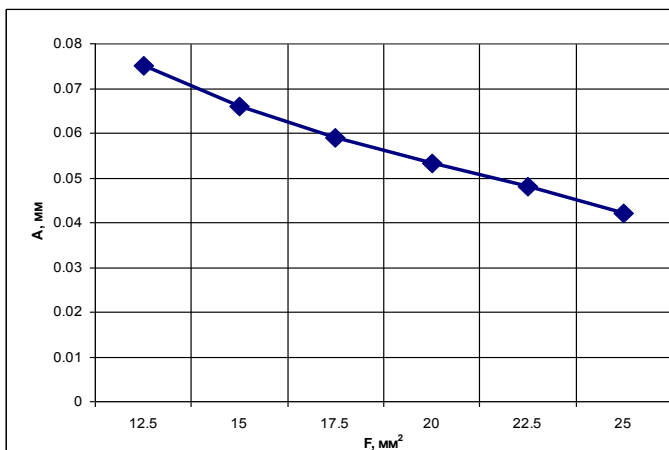


Рисунок 8 – Залежність амплітуди вібраційної хвилі на поверхні деталі від площі контакту круга і заготовки

залежить від співвідношення глибини обробки і діаметра шліфувального круга, яка і визначає площу контакту круга із заготовкою (рис. 8). Зменшення величини F призводить до зниження демпфування у підсистемі «інструмент - заготовка»; перерозподілу припуску, що видаляється, вздовж твірної круга; нерівномірного зношення інструмента; збільшення сил різання, що веде до хвилястості поверхні, яка формується, і розвитку дефектного шару. Для покращення умов контакту круга і заготовки запропоновані наступні технологічні способи: вибір раціональних режимів шліфування, що забезпечують мінімізацію силового впливу на поверхню заготовки при

зниженні вібрації у системі; використання ШК якомога більших діаметрів, що підвищує вібростійкість ТС; застосування запропонованої схеми внутрішнього шліфування (з подачею від торця до носка виробу), що забезпечує напрямки сили P_y у припуск, який видаляється, що позитивно впливає на структуру дефектного шару і, як наслідок, на міцність виробу, збільшуючи її, в середньому, на 20%; зміна технології отримання заготовки, яка забезпечує рівномірність товщини її стінки і припуску, який видаляється, вздовж твірної виробу, знижуючи за рахунок цього вібрації в системі і підвищуючи точність і якість обробки.

У розділі 5 «Забезпечення точності виготовлення антенних обтічників ракет технологічними методами» за кращими показниками точності і якості обробки теоретично був обґрунтований вибір раціонального варіанту маршрутного ТП обробки обтічників, який порівнювався з варіантом виробничого ТП. Для цього була проаналізована структура статичної складової похибки отримання лінійних розмірів оброблюваного профілю (формула 1), а також ступінь впливу кожного компонента похибки на загальний результат. Встановлено, що похибка установки еквівалентна похибці базування $\varepsilon_y \approx \varepsilon_{\sigma}$, яка визначається в осьовому $\varepsilon_{\sigma_0} \approx 2,84T_d$, де T_d - допуск на розмір деталі в місці базування по конусу пристрою, а також у кутовому напрямку $\varphi_{\max} = \arctg \frac{\Delta_{\max \varepsilon(n)}}{l_{\varepsilon(n)}}$, де $l_{\varepsilon(n)}$ - відстань між опорами пристрою; $\Delta_{\max \varepsilon(n)}$ - точність базування

заготовки при внутрішній і зовнішній обробках поверхні заготовки відповідно. Результати аналізу впливу похибки базування на точність обробки показали необхідність проектування і виготовлення самоцентруючих затискних пристроїв. Їх використання дозволило знизити похибку базування на операції фінішної обробки внутрішнього контуру порівняно із заводським варіантом у 4 рази.

Похибка налаштування верстата на розмір Δ_n передбачає встановлення ШК відносно установочних елементів пристрою (копіру) в положення, що забезпечує одержання виприданого розміру і взаємного розташування поверхонь круга і заготовки. Налаштування інструменту на розмір проводиться в осьовому (похибка Δ_{H_0}) і у діаметральному (похибка Δ_{H_p}) напрямках і при існуючій технології її величина залежить від кваліфікації робітника. Величина похибки налаштування впливає на значення різновтовщинності виробу Δ_h по його довжині L . Теоретико-експериментальним шляхом була отримана залежність, яка описує величину Δ_h у різних точках профілю виробу, що дозволяє оцінити ефективність існуючого ТП за показником, що розглядається

$$\Delta h\{x_1\} \approx \frac{\varepsilon_{\sigma_0}(\Delta_{H_0})}{\sqrt{\left(\frac{L^2}{dx_1}\right)^2 + 1}}. \quad (5)$$

Також визначався вплив на точність обробки обтічників зміни положення формотвірної точки на ШК при його переміщенні вздовж поверхні заготовки з урахуванням явищ його нерівномірного зношення (усталений процес шліфування настає після 100 годин роботи заправленим кругом). Апроксимуючи профілі круга, зношеного у різні проміжки часу його роботи, отримали рівняння кривої, що огинає $y(x) = 0,002 \cdot |x|^3$, яка описує його ріжучий профіль. Метод аналітичного визначення похибки зводився до пошуку рівняння огинаючої сімейства положень кривих, що описують поверхню шліфувального круга, і вимірювання відстані між огинаючою і заданим профілем виробу

$$\sin \alpha \sqrt{\frac{-\sin \alpha + f'(L)}{3 \times k^3 \cos \alpha}} + k^3 \cos \alpha \left(\frac{\sin \alpha + f'(L)}{3 \times k^3 \cos \alpha} \right)^{3/2} + f(L) = 0, \quad (6)$$

де α - кут розвороту шліфувальної голівки (знаходиться в межах $0 - 7^\circ$).

З метою зменшення похибки, викликані зміною положення формотвірної точки на ШК на різних стадіях його зношення, на виробництві вводиться осьова корекція круга за напрямком його руху. Результати зміни похибки за різновтовщинністю стінки Δ_h вздовж довжини виробу L для різних умов обробки наведені на рис. 9.

Далі досліджувалася точність формоутворення антенних обтічників під впливом силових і динамічних факторів, які залежать від схеми і послідовності обробки і вносять систематичні похибки, що викривляють профіль виробу. Точність обробки пов'язана з величиною віджимань (пружних деформацій) у ТС і залежить від жорсткості системи і діючих сил різання: $y = y_u + y_{uu} = \frac{P_y}{J_u} + \frac{P_y}{J_{uu}}$, де y_u і y_{uu} - віджимання, відповідно, у підсистемах «виріб - пристрій» і «шпindel - агрегатна голівка – супорт»; J_u, J_{uu} - жорсткості відповідних підсистем. Вводячи у наведений вираз значення сил різання з урахуванням конфігурації виробу і жорсткості відповідних підсистем були отримані аналітичні залежності величин пружних деформацій у системі (7, 8) за довжиною обробки для конічної (при $b < X < L$) і циліндричної (при $X > L$) ділянок заготовки при внутрішньому шліфуванні виробу

$$y = \frac{C_{P_y} \left(\frac{\pi n \operatorname{tg} \alpha \cdot X}{500} \right)^x s_{np}^y t^z v_k^m (x-b)}{L-b} \left(\frac{X^3}{3EI} + w_{uu} \right); \quad (7)$$

$$y = C_{P_y} v_d^x s_{np}^y t^z v_k^m \left(\frac{X^3}{3EI} + w_{uu} \right). \quad (8)$$

Отримані результати показали, що, в середньому, запропонована схема шліфування дозволить знизити величину відхилення від заданого профілю виробу в 2,5 рази порівняно з базовим варіантом. Аналогічним чином буда досліджена точність обробки при реалізації процесу зовнішнього шліфування обтічників.

Проектування раціональних ТП механічної обробки обтічників, що забезпечують мінімальний вплив динамічного фактора на процес формоутворення виробів, передбачає дослідження впливу змінної жорсткості обтічників, як порожнистих деталей типу тіл обертання, на точність обробки. Для цього складну підсистему «шпindelний вузол верстата – пристрій - заготовка» уявляли такою, що складається з двох підсистем: «шпindelний вузол верстата» і «пристрій – заготовка». Статичний аналіз стану підсистеми «шпindelний вузол верстата», виконаний за результатами розрахунків і який полягає у визначенні сумарних переміщень кінця шпинделя в залежності від місця прикладення нормальної складової сили різання до заготовки, показав, що вплив шпindelного вузла на динаміку процесу шліфування незначний, оскільки деформації шпинделя знаходяться в межах допуску на розміри деталі.

Подальші дослідження зводилися до аналізу стану підсистеми «пристрій – заготовка», а саме, до визначення переміщень, що виникають внаслідок взаємодії заготовки з ШК агрегатної голівки, які змінні по довжині заготовки. Аналіз ґрунтувався на результатах комп'ютерного моделювання процесу алмазного шліфування обтічників за допомогою програмного пакета ANSYS. Моделювання здійснювалося у два етапи: перший етап містив аналіз стану заготовки під впливом нормальної складової сили різання, що виникає при шліфуванні; другий етап - аналіз стану

підсистеми «пристрій – заготовка» при алмазному шліфуванні зовнішнього контуру виробу (рис. 9) з урахуванням конструкції пристрою.

Порівнюючи результати двох етапів розв'язання задачі, можна зауважити, що урахування конструкції пристрою як елемента ТС, вносить суттєві зміни у динамічний стан системи (рис. 10), змінивши у 2,5 рази величину радіальних переміщень у системі, що вплине на точність обробки. Удосконалюючи конструкцію пристрою, можна впливати на точність обробки обтічників.

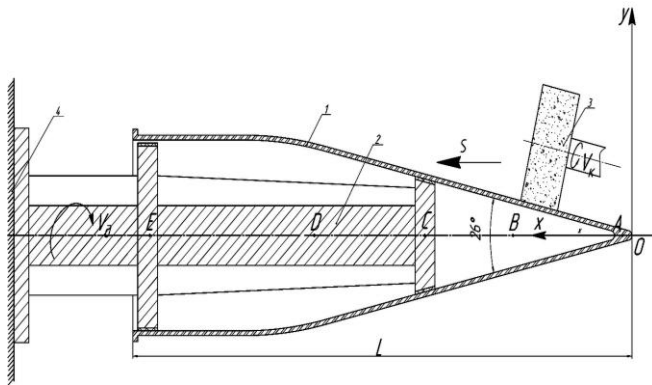


Рисунок 9 - Схема зовнішньої обробки виробу: 1– заготовка; 2–пристрій; 3 – шліфувальний круг; 4 – шпиндельний вузол верстата

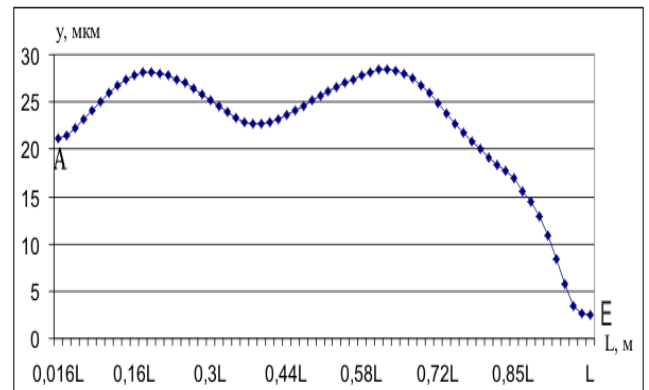


Рисунок 10 - Радіальні переміщення підсистеми «пристрій - заготовка» при шліфуванні (II етап розв'язання задачі)

Шостий розділ «Дослідно-промислова перевірка результатів досліджень» містить рекомендації з організації ефективних ТП механічної обробки антенних обтічників ракет із ситалів.

Результати розробок впроваджені на ДНВП «Кварсит» із загальним економічним ефектом 204 тис. грн., виходячи з умов виходу придатної продукції в 2012 р., а також використовуються у навчальному процесі на кафедрі «Мехатронні системи машинобудівного обладнання» Донецького національного технічного університету.

Попри отримані позитивні результати, подальше удосконалення процесу механічної обробки обтічників, яке повністю виключить наявність у ТП ручної праці і вплив людського фактора на забезпечення потрібних точності і якості обробки виробів, можливо в умовах роботи на автоматизованому обладнанні, для чого було розроблено технічне завдання на проектування спеціального верстата з ЧПУ.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішена важлива науково-технічна задача підвищення ефективності обробки антенних обтічників ракет із ситалів за рахунок удосконалення її технології - обґрунтування раціональних, з точки зору забезпечення динамічної стабільності процесу шліфування, умов: послідовності обробки, схеми і режимів шліфування, характеристики ріжучого інструменту.

1. Вивчено, проаналізовано і обґрунтовано поведінку ТС шліфування обтічників як динамічної системи, стан якої і, як наслідок, ефективність обробки – точність і якість поверхні виробів, що формується, залежать від вхідних параметрів ТП.

2. Розроблена експериментально-теоретична модель розвитку дефектного шару при шліфуванні ситалів з урахуванням впливу силового і динамічного діяння алмазних зерен на оброблювану поверхню на стадіях: ударного контакту одиничного зерна з ОМ і при переміщенні вдавлених зерен

відносно поверхні, яка формується, що дозволило встановити, залежність дефектності ОМ від рівня напружень, що виникають у ньому при різанні, які пов'язані з інтенсивністю вібрацій у системі шліфування і величиною нормальної складової сили різання P_y .

3. Експериментально встановлено, що збільшення динамічного впливу круга на поверхню, яка формується, наприклад, за рахунок його дисбалансу, супроводжується коливанням сили різання, особливо її складової P_y , при періодичному зростанні рівня сили. Це викликає інтенсивний розвиток дефектного шару як системи розгалужених тріщин, що проникають на значну глибину, досягаючи максимальних розмірів на рівні 150 – 250 мкм і негативно впливаючи на міцність виробів. Особливо яскраво це проявляється при шліфуванні з напруженими режимами (верхній рівень глибини різання і подачі).

4. Резервом підвищення віброусталеності ТС шліфування і покращення якості обробки є забезпечення раціональних умов взаємодії шліфувального круга і оброблюваної заготовки, яке залежить від величини площі їх контакту і спрямованості складової сили різання P_y у видалений припуск, а не в оброблювану поверхню.

5. Сприятливі умови обробки забезпечуються за рахунок наступних технологічних заходів: обґрунтованого вибору режиму і схеми шліфування, яка характеризується величиною кута схрещування осей круга і заготовки при зовнішньому, а також напрямком подачі інструменту при внутрішньому шліфуванні; розмірів і характеристики алмазних кругів; удосконалення технології отримання заготовок обтічників, що дозволяє знизити дефектність поверхні, яка формується, і підвищити міцність виробів, в середньому, на 20%.

6. Теоретичний аналіз процесу утворення похибок при обробці обтічників показав, що на їх виникнення і величину мають вплив динамічні характеристики ТС шліфування; зміна положення формотвірної точки на інструменті при його переміщенні вздовж поверхні заготовки, що прямо залежить від геометрії оброблюваної деталі і конфігурації ріжучої частини круга, яка безперервно змінюється через його зношення при шліфуванні, а також силові фактори процесу шліфування.

7. Результати комп'ютерного моделювання стану підсистеми «пристрій - заготовка» у процесі обробки обтічників, виконаного за допомогою програмного пакета ANSYS, показали, що ця підсистема є джерелом виникнення вібрацій, які роблять суттєвий внесок у формування точносних характеристик деталі.

8. У результаті експериментальних досліджень точності профілювання обтічників встановлено, що величина віджимань (пружних деформацій у системі) при шліфуванні є змінною величиною по довжині профілю виробу, який формується, яка залежить від схеми обробки, зусиль різання і їх направленості, режиму шліфування.

9. Отримані аналітичні залежності при дослідженні точності обробки обтічників дозволяють при відомих динамічних характеристиках системи ВПД, режимі шліфування і геометричних параметрах виробу визначати величину віджимань у системі, які можуть служити вихідними даними для визначення параметрів корекції при виготовленні копірних лінійок.

10. За результатами теоретичних досліджень впливу вхідних параметрів ТП механічної обробки обтічників на віброусталеність ТС шліфування і, як наслідок, на якість і точність обробки виробів та їх дослідно-промислової перевірки видані рекомендації з організації раціонального ТП обробки обтічників, що забезпечують необхідну точність обробки виробів з меншими трудовитратами. Результати роботи впроваджені на ДНВП «Кварсит» з економічним ефектом 241,8 тис. грн. на річну програму випуску обтічників 2012 року.

11. Аналіз результатів виконаних теоретико-експериментальних досліджень дозволив розробити технічне завдання на проектування спеціального верстата з ЧПУ для обробки обтічників

в автоматичному режимі, що повністю виключає наявність ручної праці і вплив людського фактора на забезпечення необхідних точності і якості виробів.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у спеціальних виданнях, затверджених ВАК України:

1. Влияние особенностей процесса шлифования ситаллов на дефектность поверхностного слоя / В.В. Гусев, Л.П. Калафатова, А.Д. Молчанов, Д.В. Поколенко // Труды ДонНТУ. Машиностроение. – Донецк: ДонНТУ, 2004. - № 71.- С. 28-34. *(Розроблена методика визначення дефектності шліфованих зразків ситалу, виконано експеримент і визначено вплив умов шліфування на дефектність ситалу).*
2. Калафатова Л.П. Влияние схемы шлифования как динамического фактора процесса резания на дефектность и прочность изделий из ситаллов / Л.П. Калафатова, В.Д. Поколенко // Резание и инструмент в технологических системах: межд. научн.-техн. сб. – Харьков: ХПИ, 2005. – Вып. 68. - С. 227-234. *(Досліджено вплив схеми шліфування і рівня напружено-деформованого стану ситалу в зоні різання на дефектність обробленої поверхні і міцність виробів).*
3. Гусев В.В. Влияние виброустойчивости системы шлифования на структуру дефектного слоя ситаллов / В.В. Гусев, Л.П. Калафатова, Д.В. Поколенко // Резание и инструмент в технологических системах: межд. научн.-техн. сб. – Харьков: ХПИ, 2006. – Вып. 70. - С. 154-161. *(Доведено вплив характеристик зони різання, що залежать від схеми різання, на вібростійкість ТС шліфування і дефектність обробленої поверхні).*
4. Исследование динамических характеристик элементов системы СПИД при шлифовании деталей сложной пространственной формы из ситаллов / В.В. Гусев, Л.П. Калафатова, И.С. Каракуц, Д.В. Поколенко // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем: зб. наук. праць. – Краматорськ: ДДМА, 2007. - Вып. №21. - С. 148-155. *(Експериментально визначені власні частоти елементів ТС шліфування обтічників із ситалу, а також їх динамічні характеристики при шліфуванні).*
5. Калафатова Л.П. Исследование точности формообразования изделий из ситаллов при шлифовании / Л.П. Калафатова, Д.В. Поколенко, Л.Н. Феник // Труды ДонНТУ. Машиностроение. – Донецк: ДонНТУ, 2007.- № 4 (124).- С. 96-108. *(Доведено вплив схеми шліфування на точність обробки виробів, отримані аналітичні залежності, що пов'язують динамічні характеристики ТС з величиною деформацій її елементів).*
6. Гусев В.В. Влияние динамики процесса алмазного шлифования на формирование поверхностного слоя изделий из ситаллов / В.В. Гусев, Л.П. Калафатова, Д.В. Поколенко // Новые материалы и технологии в металлургии и машиностроении: міжн. науково-техн. зб. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2007. - № 2. - С. 14–17. *(Досліджено вплив віброусталеності системи «верстат-пристрій-заготовка» на точність і якість обробки обтічників).*
7. Гусев В.В. Влияние динамических воздействий на формирование структуры дефектного слоя при шлифовании ситалла / В.В. Гусев, Л.П. Калафатова, Д.В. Поколенко // Резание и инструмент в технологических системах: межд. научн.-техн. сб. – Харьков: ХПИ, 2008. – Вып. 74. – С. 84-91. *(Отримані силові характеристики процесу шліфування ситалу при різних рівнях дисбалансу круга, встановлено його негативний вплив на дефектність обробленої поверхні).*
8. Гусев В.В. Влияние кинематической погрешности шлифования на точность обработки антенных обтекателей / В.В. Гусев, Л.П. Калафатова, Д.В. Поколенко // Сучасні технології в машинобудуванні: зб. наук. праць. – Харків: ХПІ, 2009. – Вып. 3. – С. 231-236. *(Визначено вплив*

нерівномірного зношення алмазного круга, а також схеми шліфування на точність обробки антенних обтічників із ситалу).

9. Гусев В.В. Влияние динамического воздействия на формирование структуры дефектного слоя ситалла / В.В. Гусев, Л.П.Калафатова, Д.В. Поколенко // Резание и инструмент в технологических системах: межд. научн.-техн. сб. – Харьков: ХПИ, 2012. – Вып. 81. – С. 76-82. *(Визначено вплив динамічних дій на розвиток дефектного шару в ситалі при застосуванні ударного і розподіленого навантажень під час шліфування).*

Міжнародна наукометрична база (РІНЦ):

10. Калафатова Л.П. Повышение прочности изделий из ситаллов за счет снижения уровня дефектности их поверхностного слоя при алмазном шлифовании / Л.П. Калафатова, Д.В. Поколенко // Упрочняющие технологии и покрытия. - М.: Машиностроение, 2013. - № 5. – С. 3-5. *(Отримані залежності якості обробки ситалів і міцності виробів від умов шліфування).*

Статті і тези доповідей на наукових конференціях:

11. Калафатова Л.П. Влияние состояния элементов системы СПИД на виброустойчивость процесса шлифования крупногабаритных изделий из ситаллов / Л.П. Калафатова, И.С. Каракуц, Д.В. Поколенко // Инженер: студ. научн.-техн. журнал. – Донецк: ДонНТУ, 2007. - №8. – С. 50-55. *(При моделюванні напруженого стану елементів ТС шліфування доведена можливість позитивного впливу на вібростійкість системи раціональної конструкції затискного пристрою).*

12. Калафатова Л.П. Влияние динамических факторов на эффективность процесса шлифования изделий из хрупких неметаллических материалов / Л.П. Калафатова, Д.В. Поколенко // Обеспечение и повышение качества машин на этапах жизненного цикла: V межд. научно-технич. конф., 20-21 октября 2005 г.: труды конф. – Брянск: БГТУ. – 2005. – С. 160-161. *(Визначено вплив умов обробки, що змінюють силовий, динамічний і температурний режими різання, на дефектність і міцність виробів із КНМ).*

13. Поколенко Д.В. Повышение эффективности изготовления изделий из ситаллов за счет совершенствования заготовительных операций / Д.В. Поколенко, Л.П. Калафатова // Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку: ІХ міжнародна науково-технічн. конф. 31 травня-3 червня 20011 р.: тези доп.. – Краматорськ: ДДМА, 2011. – С. 95. *(Запропонована технологія отримання заготовок обтічників із ситалів, що підвищує рівномірність товщини стінки заготовки, точність і продуктивність обробки).*

Патент на винахід:

14. Пат. 54942U Україна, МПК 7B24B 19/00. Спосіб шліфування тіл обертання з прямолінійними і криволінійними твірними / Вяльцев М.В., Гусев В.В., Молчанов О.Д., Поколенко Д.В. – № 2002 054348; заявл. 28.05.2002; опубл. 17.03. 2003, Бюл. № 3. – 6 с. *(Виконано опис способу шліфування тіл обертання із ситалів; визначено діапазон кута нахилу осі шліфувального круга відносно заготовки; реалізована апробація варіантів способів шліфування виробів у виробничих умовах).*

Патенти на корисну модель:

15. Пат. 66132U Україна, МПК СОЗС 10/00. Спосіб переробки закристалізованого ситалу літій алюмосилікатного складу / Трегубов М.Ф., Поколенко Д.В., Чоловський М.Ф., Зінченко С.В. - № 2011 06776; заявл. 30.05.2011; опубл. 26.12.2011, Бюл. № 24. – 4 с. *(Запропоновано спосіб переробки відходів закристалізованого ситалу літій-алюмосилікатного складу з метою підвищення якості заготовок, виготовлених з них).*

16. Пат. 66133U Україна, МПК СОЗС 10/00. Спосіб отримання заготовок із ситалу літій-алюмосилікатного складу / Трегубов М.Ф., Поколенко Д.В., Зінченко С.В. - № 2011 06780; заявл.

30.05.2011; опубл. 26.12.2011, Бюл. № 24. – 4 с. (*Запропоновано спосіб отримання заготовок алюмосилікатного ситалу, який через особливості структурного складу вихідного матеріалу – відходів ситалу, підвищує якість заготовок і їх характеристики*).

АНОТАЦІЯ

Поколенко Д.В. Підвищення ефективності обробки антенних обтічників із ситалів за рахунок удосконалення технології алмазного шліфування. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.08 – технологія машинобудування. – Державний вищий навчальний заклад «Донецький національний технічний університет», м. Донецьк, 2014.

Дисертація присвячена підвищенню ефективності виробництва антенних обтічників із ситалів (великогабаритних тонкостінних виробів складної просторової форми типу тіл обертання) за рахунок удосконалення технології обробки, обґрунтування її раціональних, з точки зору, забезпечення динамічної стабільності процесу шліфування, умов – послідовності обробки, схеми і режимів шліфування, характеристики ріжучого інструменту.

Проведені дослідження дозволили обґрунтувати тезу, що поведінка ТС шліфування антенних обтічників як динамічної системи, і, як наслідок, ефективність їх обробки – якість (дефектність) і точність поверхні, що формується, залежать від вхідних параметрів ТП. Розроблена експериментально-теоретична модель розвитку дефектного шару при шліфуванні дозволила встановити, що ступінь дефектності ОМ залежить від рівня напружень, які виникають у ньому при різанні і пов'язані з інтенсивністю вібрацій у системі шліфування і рівня нормальної складової сили різання, що було підтверджено результатами експериментів, проведених у лабораторних і виробничих умовах.

Резервом підвищення віброусталеності ТС шліфування обтічників і підвищення за рахунок цього якості і точності їх обробки є забезпечення раціональних умов взаємодії ШК і заготовки, які були забезпечені наступними технологічними засобами: вибором обґрунтованих режимів і схем шліфування, розмірів і характеристик шліфувальних кругів; удосконаленням технології отримання заготовок. Ці фактори також впливають на точність обробки обтічників, що підтверджено результатами комп'ютерного моделювання процесу їх шліфування і теоретичним аналізом процесу виникнення похибок при обробці обтічників.

За результатами досліджень були видані рекомендації щодо розробки раціональних ТП обробки обтічників, які забезпечують потрібні точність і якість обробки виробів із меншими трудовими витратами, впровадження яких на ДНВП «Кварсит» супроводжувалося отриманням економічного ефекту на суму 241,8 тис. грн. на річну програму випуску обтічників у 2012 р.

Ключові слова: ситали, антенні обтічники, алмазне шліфування, дефектність і точність обробки, вібрації при шліфуванні, віброусталеність системи, технологічні засоби.

АННОТАЦИЯ

Поколенко Д.В. Повышение эффективности обработки антенных обтекателей из ситаллов за счет совершенствования технологии алмазного шлифования. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.08 – технология машиностроения. – Государственное высшее учебное заведение «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, 2014.

Диссертация посвящена повышению эффективности производства антенных обтекателей ракет из ситаллов (крупногабаритных тонкостенных изделий сложной пространственной формы типа тел вращения, эксплуатируемых в сложных условиях) за счет совершенствования технологии обработки, обоснования ее рациональных, с точки зрения динамической стабильности процесса шлифования, условий – последовательности обработки, схемы и режимов шлифования, характеристики режущего инструмента. Решение этой научно-технической задачи осуществляется путем исследования влияния технологических факторов процесса алмазного шлифования обтекателей ракет на динамическое состояние элементов технологической системы (ТС) и, как следствие, на развитие дефектного слоя в формируемой поверхности и точность обработки изделий.

Разработана экспериментально-теоретическая модель развития дефектного слоя при шлифовании ситаллов с учетом влияния силового и динамического воздействий алмазных зерен на обрабатываемую поверхность на стадиях: ударного контакта единичного зерна с обрабатываемым материалом (ОМ) и при перемещении зерен относительно формируемой поверхности, то есть, при шлифовании. Исследована картина формирования дефектного слоя в образцах ситалла при ударном воздействии на них зерна-индентора, которая показала, что дефектность зависит от уровня кинетической энергии, вносимой в поверхностный слой ОМ при ударе, ухудшаясь структурно и проникая на большую глубину с его ростом. Моделирование процесса образования дефектного слоя при шлифовании образцов ситалла при разном уровне динамических воздействий на формируемую поверхность позволило установить, что развитие дефектов обусловлено процессом ветвления (бифуркацией) трещин, интенсивность которого связана с максимальной величиной напряжений σ_{\max} , возникающих в ОМ и приводящих к его разрушению при резании. Напряженное состояние в зоне резания определяется интенсивностью вибраций (например, вызванных дисбалансом круга) и величиной нормальной составляющей силы резания P_y .

Проведенный комплекс экспериментальных исследований, направленных на определение степени влияния динамики ТС, обусловленной наличием дисбаланса круга как фактора, вызывающего вынужденные колебания в системе, на силовые характеристики процесса шлифования и дефектность поверхностного слоя изделия при вариации параметров режима шлифования подтвердил выдвинутые теоретические положения. Установлено, что наибольшее влияние на составляющие силы резания, особенно на силу P_y , оказывают глубина резания и подача, что сказывается на качестве формируемого слоя, снижая ее с увеличением P_y . При увеличении центробежной силы, определяющей дисбаланс круга, возрастают колебания нормальной составляющей силы резания, что приводит к периодическому изменению плотности дефектов по глубине шлифованного образца, достигающей максимальных значений на уровне 150...260 мкм. Наличие биения шлифовального круга (ШК) - дополнительного динамического воздействия на обрабатываемую поверхность, приводит к введению в нее дополнительной энергии, что вызывает интенсификацию ветвления трещин на больших глубинах в поверхностном слое детали и отрицательно влияет на прочность изделий из ситаллов.

Результаты экспериментальных исследований, выполненных в лабораторных и производственных условиях, соответствуют данным теоретических исследований и позволяют установить наиболее благоприятные сочетания параметров режима обработки и состояния ШК по уровню его сбалансированности, исходя из обеспечения требуемого качества обрабатываемой поверхности. Резервом повышения виброустойчивости ТС шлифования обтекателей и повышения за счет этого их качества и точности обработки является обеспечение рациональных условий

взаимодействия ШК и заготовки, которые могут быть обеспечены следующими технологическими способами: выбором обоснованных режимов и схем шлифования; размеров и характеристик шлифовальных кругов; совершенствованием технологии получения заготовок. Эти же факторы также влияют на точность обработки обтекателей, что подтверждено результатами компьютерного моделирования процесса их шлифования и теоретическим анализом процесса выявления погрешностей при обработке антенных обтекателей из ситаллов.

На основе анализа результатов выполненных теоретико-экспериментальных исследований выданы рекомендации по разработке рациональных ТП обработки обтекателей, обеспечивающих требуемые точность и качество изделий с меньшими трудовыми затратами, внедрение которых на Константиновском ГНПП «Кварсит» сопровождалось получением экономического эффекта на сумму 241,8 тыс. грн. из расчета программы выпуска обтекателей в 2012 г. Также разработано техническое задание на проектирование специального станка с ЧПУ для обработки обтекателей в автоматическом режиме, полностью исключая наличие ручного труда и влияние человеческого фактора на обеспечение требуемых характеристик изделий.

Ключевые слова: ситаллы, антенные обтекатели, алмазное шлифование, дефектность и точность обработки, вибрации при шлифовании, виброустойчивость системы, технологические способы.

SUMMARY

D.V. Pokolenko. Increase of the efficiency of processing the antenna domes made of cetalss due to upgrading of diamond grinding technology. – Manuscript.

The thesis for a Candidate's of Science Degree (PhD) on the speciality 05.02.08 – Machine-Building Technology. – The «Donetsk National Technical University» state-owned higher educational establishment, Donetsk, 2014.

The thesis is on the increase of efficiency of the production of the antenna domes made of glassceramics (large-sized thin-walled articles of a complicated space form of the rotary body type) due to processing technology upgrading and the substantiation of its rational, from the point of view of providing the dynamic stability of the grinding process, conditions – processing sequence, grinding modes and schemes, cutting tool characteristics.

The performed research has enabled us to substantiate the point that the behaviour of the technological system of grinding the antenna domes as a dynamic system and, as a result, the efficiency of their processing – the quality (defectness) and the accuracy of surface that is formed depend upon the input parameters of the technological process. The elaborated experimental-theoretical model of the defective layer development during grinding allowed to establish that the processed material defectness degree depends upon the level of strains that appear in it during cutting and that are connected with the intensity of vibrations in the grinding system and the level of the normal concentrated force of cutting which was confirmed by the results of the experiments that were conducted in the laboratory and working environment.

The reserve of increasing the vibro stability of the technological system of grinding the antenna domes and increasing, as a result, the efficiency and accuracy of their processing is providing the rational conditions of the grinding wheel and the workpiece interaction that were provided by the following technological tools: the choice of substantiated grinding modes and schemes, grinding wheels dimensions and characteristics; workpiece production technology upgrading. These factors also affect the accuracy of antenna domes processing which is confirmed by the results of computer modeling of the process of their grinding and by the theoretical analysis of the process of errors appearance during antenna domes processing.

Based on the results of the research, the recommendations were given concerning the development of the rational technological processes of antenna domes processing that provide the required accuracy and quality of processing workpieces with smaller manning, the implementation of which at the «Kvarsit» State Scientific Production Enterprise was accompanied with the economic effect in the amount of 241.8 thousand hryvnias as for the 2012 year programme of antenna domes production.

Key words: cetalss, antenna domes, diamond grinding, defectness and accuracy of processing, vibrations during grinding, vibrostability of the system, technological methods.