

621.921
Ф 50



Ю. Д. ФІЛАТОВ, В. І. СІДОРКО,
О. Ю. ФІЛАТОВ, С. В. КОВАЛЬОВ

**ФІЗИЧНІ ЗАСАДИ
ФОРМОУТВОРЕННЯ
ПРЕЦИЗІЙНИХ
ПОВЕРХОНЬ
ПІД ЧАС МЕХАНІЧНОЇ
ОБРОБКИ НЕМЕТАЛЕВИХ
МАТЕРІАЛІВ**

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ НАДТВЕРДИХ МАТЕРІАЛІВ ім. В. М. БАКУЛЯ

Ю. Д. ФІЛАТОВ, В. І. СІДОРКО,
О. Ю. ФІЛАТОВ, С. В. КОВАЛЬОВ

**ФІЗИЧНІ ЗАСАДИ
ФОРМОУТВОРЕННЯ
ПРЕЦИЗІЙНИХ
ПОВЕРХОНЬ
ПІД ЧАС МЕХАНІЧНОЇ
ОБРОБКИ НЕМЕТАЛЕВИХ
МАТЕРІАЛІВ**

*ПРОЕКТ
«НАУКОВА КНИГА»*

КИЇВ НАУКОВА ДУМКА 2017

УДК 53.06:621.923:546.1

У монографії викладено фізичні засади процесів механічної обробки неметалевих матеріалів. Висвітлено питання, пов'язані з механізмом видалення матеріалу з оброблюваної поверхні під час шліфування та полірування. Описано результати дослідження закономірностей та моделювання процесів формоутворення прецизійних поверхонь та стану поверхонь оброблюваної деталі і робочого шару інструменту. Наведено результати дослідження закономірностей утворення мікрорельєфу оброблених поверхонь і формування нальоту на робочій поверхні інструменту у разі фінішної алмазно-абразивної обробки деталей з оптичного скла і природного каменю та елементів з монокристалічного карбїду кремнію та сапфіру.

Для наукових та інженерно-технічних фахівців у галузі створення, виробництва та застосування сучасних технологій та інструменту для алмазно-абразивної обробки неметалевих матеріалів, а також для докторантів, аспірантів та студентів фізико-технічних спеціальностей.

Рецензенти:

доктор технічних наук С. Є. ШЕЙКІН,
доктор технічних наук, професор В. П. МАСЛОВ

*Рекомендовано до друку вченою радою
Інституту надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля
(протокол № 6 від 03. 07. 2015 р.)*

**Видання здійснено за кошти Цільової комплексної програми
«Створення та розвиток науково-видавничого комплексу
НАН України»**

Науково-видавничий відділ фізико-математичної
та технічної літератури

Редактор *О. А. Микитенко*

© Ю. Д. Філатов, В. І. Сідорко,
О. Ю. Філатов, С. В. Ковальов, 2017
© НВП «Видавництво “Наукова думка”
НАН України», дизайн, 2017

ISBN 978-966-00-1580-7

З М І С Т

Передмова.....	3
Перелік умовних скорочень і позначень	5
Р о з д і л 1. Сучасні технології фінішної алмазно-абразивної обробки неметалевих матеріалів	7
1.1. Закономірності формоутворення поверхонь деталей з оптичного скла та природного каменю під час фінішної алмазно-абразивної обробки	7
1.2. Закономірності формоутворення поверхонь оптоелектронних деталей з монокристалічних матеріалів під час фінішної алмазно- абразивної обробки	9
1.3. Актуальність розробки нових технологій фінішної алмазно- абразивної обробки неметалевих матеріалів	10
Р о з д і л 2. Механізм видалення матеріалу з оброблюваної поверхні під час механічної обробки.....	13
2.1. Теплофізичний аналіз взаємодії інструменту й оброблюваної поверхні в контактній зоні	13
2.2. Механізм утворення та видалення частинок шламу з оброблюваної поверхні	14
Р о з д і л 3. Механізм процесу полірування неметалевих матеріалів.....	23
3.1. Клістерна модель зношення поверхні під час полірування	23
3.2. Взаємодія поверхонь оброблюваної деталі й інструменту в процесі полірування	26
3.3. Хімічні та механохімічні процеси під час полірування кремнеземвмісних матеріалів.....	35
3.4. Взаємодія диспергованих частинок оброблюваного матеріалу та інструменту	39

Зміст

3.5. Адсорбція, хемосорбція та повторна полімеризація кремнезему на поверхні інструменту	40
3.6. Механізм нерівноважного процесу полірування неметалевих матеріалів	42
3.7. Продуктивність видалення оброблюваного матеріалу в процесі полірування	50
Р о з д і л 4. Закономірності процесу шліфування неметалевих матеріалів ..	53
4.1. Механізм видалення оброблюваного матеріалу під час алмазного шліфування неметалевих матеріалів	53
4.2. Закономірності видалення оброблюваного матеріалу в процесі шліфування	58
4.3. Енергетичний аналіз контактної взаємодії інструменту й оброблюваної поверхні	66
4.4. Інструмент для алмазного шліфування неметалевих матеріалів	71
4.4.1. Конструкція робочого шару інструменту	73
4.4.2. Характеристика робочого шару інструменту	77
4.5. Вплив режимних і кінематичних параметрів процесу шліфування на точність формоутворення поверхонь деталей з неметалевих матеріалів	79
Р о з д і л 5. Закономірності формоутворення прецизійних поверхонь деталей з неметалевих матеріалів	85
5.1. Процеси формоутворення складнопрофільних поверхонь прецизійних деталей	87
5.2. Формоутворення плоских поверхонь прецизійних деталей у разі обробки методом притирання	90
5.3. Формоутворення сферичних поверхонь прецизійних деталей	98
5.4. Формоутворення циліндричних поверхонь прецизійних деталей	102
Р о з д і л 6. Розробка інструменту для обробки складнопрофільних поверхонь деталей з неметалевих матеріалів	106
6.1. Визначення коефіцієнта заповнення поверхні інструменту робочим шаром	106
6.2. Комп'ютерне моделювання форми робочої поверхні інструменту складного профілю	109
6.3. Виготовлення складнопрофільного інструменту за регенеративною технологією Rapid Prototyping	110
6.4. Виготовлення складнопрофільного інструменту на термоформованому каркасі	111

Зміст

Р о з д і л 7. Закономірності формування мікропрофілю поверхні під час фінішної обробки неметалевих матеріалів	114
7.1. Розподіл частинок шламу за розмірами	114
7.2. Механізм утворення мікрорельєфу обробленої поверхні	117
7.3. Розрахунки параметрів шорсткості прецизійних поверхонь	120
7.4. Комп'ютерне моделювання мікрорельєфу поверхні	122
7.5. Мікропрофіль полірованих прецизійних поверхонь деталей з неметалевих матеріалів	125
Р о з д і л 8. Дослідження стану поверхонь оброблюваної деталі та робочого шару інструменту	132
8.1. Методичні засади дослідження стану поверхонь оброблюваної деталі та інструменту	132
8.2. Дефектність оброблених поверхонь деталей з неметалевих матеріалів	137
8.3. Шорсткість поверхонь у разі фінішної алмазно-абразивної обробки неметалевих матеріалів	140
8.4. Відбивна здатність поверхонь деталей з неметалевих матеріалів	141
8.5. Розсіювальна здатність поверхонь деталей з неметалевих матеріалів	142
8.6. Визначення еліпсометричних параметрів та оптичних сталих оброблюваних матеріалів	144
8.7. Стан поверхні робочого шару інструменту	147
Р о з д і л 9. Дослідження стану оброблених поверхонь деталей з оптичного скла та природного каменю	149
9.1. Дослідження залежності коефіцієнта відбиття світла від параметрів шорсткості поверхні	149
9.2. Дослідження спектрів відбиття та розсіювання світла шліфованими і полірованими поверхнями	153
9.3. Дослідження кутових діаграм відбиття та індикатрис розсіювання світла обробленими поверхнями	155
9.4. Дослідження кінетики формування поверхневого шару поверхонь деталей з оптичного скла та природного каменю	157
9.5. Дослідження координатної залежності шорсткості поверхні під час полірування	158
9.6. Розробка шліфувально-полірувального пристрою з системою моніторингу якості оброблюваної поверхні	160

Р о з д і л 10. Дослідження закономірностей утворення мікрорельєфу оброблених поверхонь деталей з оптичного скла та природного каменю...	164
10.1. Дослідження закономірностей формування мікрорельєфу обробленої поверхні у разі алмазного шліфування	164
10.1.1. Закономірності взаємодії частинок шламу в зоні контакту інструменту та деталі	164
10.1.2. Закономірності утворення мікрорельєфу обробленої поверхні деталі у разі шліфування	167
10.2. Дослідження закономірностей формування мікрорельєфу обробленої поверхні у разі полірування	168
10.2.1. Дослідження кінетики процесу утворення частинок зношення в зоні контакту полірувального інструменту та деталі	168
10.2.2. Закономірності взаємодії частинок шламу в зоні контакту інструменту та деталі	171
10.2.3. Закономірності розсіювання частинок зношення інструменту та шламу в контактній зоні	174
10.2.4. Закономірності формування мікропрофілю обробленої поверхні під час полірування.....	177
10.2.5. Закономірності утворення та локалізації нальоту на оброблюваній поверхні в процесі полірування	179
Р о з д і л 11. Закономірності формування нальоту на робочій поверхні інструменту під час фінішної алмазно-абразивної обробки неметалевих матеріалів	185
11.1. Утворення нальоту частинок шламу на поверхні робочого шару алмазного інструменту в процесі шліфування	185
11.2. Утворення та локалізація нальоту на поверхні робочого шару інструменту в процесі полірування	186
Р о з д і л 12. Закономірності впливу трибоелектричних явищ на формування поверхонь обробленої деталі та робочого шару інструменту під час полірування неметалевих матеріалів	195
12.1. Теоретичні дослідження трибоелектричних явищ, що відбуваються в зоні контакту інструменту та деталі.....	195
12.2. Закономірності видалення оброблюваного матеріалу та зношення робочого шару інструменту в разі полірування оптичного скла з урахуванням трибоелектричних явищ	200
Р о з д і л 13. Формування поверхонь елементів з монокристалічного карбїду кремнію у разі фінішної алмазно-абразивної обробки	208
13.1. Взаємодія монокристалічного карбїду кремнію з різними елементами під час фінішної алмазно-абразивної обробки	208

Зміст

13.1.1. Дослідження взаємодії монокристалічного карбіду кремнію з алмазними мікропорошками	209
13.1.2. Дослідження взаємодії монокристалічного карбіду кремнію з порошками діоксиду церію	212
13.1.3. Дослідження взаємодії монокристалічного карбіду кремнію з полірувальними порошками оксиду хрому	212
13.1.4. Дослідження взаємодії монокристалічного карбіду кремнію з полірувальними порошками оксиду алюмінію	213
13.1.5. Дослідження взаємодії монокристалічного карбіду кремнію з порошками діоксиду титану.....	214
13.1.6. Дослідження взаємодії монокристалічного карбіду кремнію з порошками карбіду бору	214
13.1.7. Дослідження закономірностей тонкого та надтонкого шліфування монокристалічного карбіду кремнію	215
13.2. Взаємодія монокристалічного карбіду кремнію з полірувальними суспензіями різного складу.....	219
13.2.1. Продуктивність полірування монокристалічного карбіду кремнію суспензіями алмазних і полірувальних порошоків	219
13.2.2. Закономірності формування мікро- та нанопрофілю поверхонь елементів з монокристалічного карбіду кремнію	222
13.2.3. Дослідження стану поверхонь елементів з монокристалічного карбіду кремнію	225
Р о з д і л 14. Формоутворення поверхонь елементів з монокристалічного сапфіру під час полірування.....	227
14.1. Вивчення закономірностей зняття оброблюваного матеріалу в процесі полірування сапфіру	227
14.2. Дослідження взаємодії частинок шламу і частинок зношення в полірувальній суспензії під час полірування сапфіру	229
Список літератури.....	231