

УДК 621.923



О. В. Тігаренко

МОЖЛИВОСТІ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-РОЗРАХУНКОВОГО ПІДХОДУ ДО ПОШУКУ РАЦІОНАЛЬНИХ УМОВ ОБРОБКИ ЧУТЛИВИХ ЕЛЕМЕНТІВ ДОЗИМЕТРІВ

Розглянуто базові принципи експериментально-теоретичного дослідження фізичного процесу поширення тепла при обробці чутливих полімерних елементів радіаційних детекторів. Розроблена математична модель спрямована на прогнозування стану заготовки за різних умов обробки для обґрунтованого вибору матеріалу та геометрії ріжучого інструмента і розширення технологічних можливостей процесу. Запропоновані варіанти розробки та вдосконалення чисельної моделі для скорочення часу розрахунків. Спираючись на термографічні дослідження для інструмента із надтвердого композиційного матеріалу та твердосплавного матеріалу із різною геометрією, визначені межі поширення температурних полів по поверхні та у глибину шару, що обробляється. Дані практичні рекомендації щодо корегування значень параметрів режиму різання для забезпечення мінімального теплового навантаження чутливих полімерних виробів.

К л ю ч о в і с л о в а: іонізуючі випромінювання, сцинтилятор, дозиметр, полімерні матеріали, обробка різанням, математичне моделювання, поверхневий шар, торцеве фрезерування, термографія, температурне поле, теплове джерело, ріжучий інструмент, інструментальні матеріали, якість.

Постановка проблеми. З жовтня 2014 року функцією Національної гвардії України є охорона ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів та інших джерел іонізуючого випромінювання державної власності. У перспективі є наміри заснування окремих підрозділів для проведення радіаційної розвідки. Успішна реалізація поставлених завдань значною мірою залежить від укомплектованості особового складу сучасними приладами (бажано вітчизняного виробництва), які з високою точністю зможуть реєструвати іонізуючі випромінювання різного типу та інтенсивності.

Виявлення випромінювань базується на їх здатності іонізувати та збуджувати атоми і молекули середовища, в якому вони поширюються. Одним з проявів зараження середовища є люмінесценція деяких речовин. Такі світлові спалахи можливо зареєструвати за допомогою сцинтиляційних пристроїв – дозиметрів. За призначенням їх поділяють на ті, що використовуються для контролю ступеня зараження середовища та контролю опромінення, і для радіаційної розвідки місцевості. Активною речовиною таких пристроїв частіше за все є термопластичні полімерні оптичні матеріали. Вони легкі, корозійно- та атмосферостійкі і за умови чіткого дотримання технології полімеризації, кожного з етапів механічної обробки та норм експлуатації можуть прослужити десятки років.

Надійність і безпечність функціонування засобів радіаційного контролю визначається і повністю залежить від безвідмовної роботи активних реєструючих речовин. Оскільки підвищена температура під час обробки полімерних матеріалів може незворотно змінити їх властивості і тим самим скоротити термін використання, актуальність пошуку шляхів для її контролю не викликає сумнівів. Застосування виключно експериментального підходу для такого роду теплових досліджень потребує використання декількох принципово різних методик, що доповнюють одна одну. Такі дослідження завжди пов'язані з великою кількістю кропітких вимірювань, їх подальшим аналізом та врахуванням обмежень. При цьому отримані результати не дають уяви про повну картину поширення тепла в тілі заготовки, а саме: про глибину проникнення та розподіл у поверхневому шарі. Використання методів математичного моделювання без експериментальних даних теж не дозволяє достовірно відобразити теплову картину розподілу температури у заготовці під час обробки. Саме тому розробка сумісного

розрахунково-експериментального підходу має не тільки більш повно висвітлити особливості теплової взаємодії інструменту з заготовкою, а й дозволити ефективно прогнозувати стан поверхневого шару при зміні умов обробки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відомі наукові праці, в яких обґрунтовано доводяться можливості застосування математичного моделювання для дослідження процесів обробки різанням металевих сплавів [1–4, 7, 8]. Постійний розвиток апаратного та програмного забезпечення дозволяє з високою достовірністю відстежувати процеси силової взаємодії, деформації, поширення тепла в інструменті та заготовці, які за звичайних умов фізичного експерименту дослідити надзвичайно складно. Для цього сама обробка різанням представляється як процес зміни форми з великою швидкістю. Головна проблема моделювання таких складних перетворень полягає у великій локалізації прикладених навантажень, що потребує встановлення малого кроку сітки із кінцевих елементів і відповідно значного часу для розрахунків. Фокус інженерних досліджень тривалий час знаходився у площині розробки моделей інструменту та деталі, які б могли враховувати їхні фізико-механічні властивості та відтворювати процес утворення стружки. Залежно від об'єкта досліджень була доведена ефективність використання математичного апарату для раціонального вибору геометрії та матеріалу інструмента для фрезерування алюмінієвих сплавів [4], визначення параметрів режиму точіння та умов охолодження конструкційних сталей [1], пластичної деформації заготовки із композиційного матеріалу [5].

Попередньо у статті [6] були визначені найважливіші вхідні параметри для створення універсальної математичної моделі теплофізичних умов взаємодії інструменту та заготовки. Зазначено, що значення кожного з цих параметрів необхідно визначити експериментально в процесі обробки різанням, щоб у подальшому при верифікації і вдосконаленні чисельної моделі отримати достовірну математичну модель для всебічних досліджень. За такою логікою було запропоновано методику визначення одного з важливих параметрів математичної моделі – коефіцієнта теплообміну між заготовкою та навколишнім середовищем. Наступним кроком має бути корегування моделі з урахуванням властивостей інструментального матеріалу та геометрії інструменту.

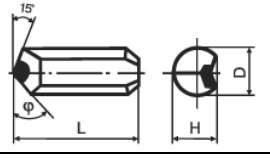
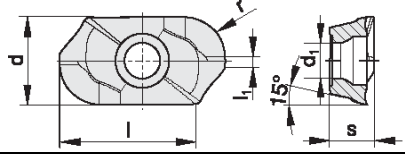
Метою статті є обґрунтування можливостей математичного моделювання щодо вибору параметрів режиму різання для різних ріжучих інструментів, при яких забезпечується висока якість полімерних детекторів.

Виклад основного матеріалу. Об'єктом експериментальних досліджень вибрано найпоширеніший матеріал для виготовлення сцинтиляційних детекторів – блочний полістирол марки UPS-923A (діаметр 48 мм, товщина 18 мм) виробництва науково-дослідного підприємства Інститут сцинтиляційних матеріалів Національної академії наук України. Серед багатьох інших переваг цей матеріал має підвищену чутливість до випромінювань та малий час їх реєстрації ($\sim 3 \cdot 10^{-9}$ с). Всі натурні експерименти та математичне моделювання проведені для процесу торцевого фрезерування, оскільки він є найпродуктивнішим при обробці великогабаритних плоских поверхонь і належить до основних етапів технології виготовлення детекторів.

Як інструментальні матеріали використані надтвердий композиційний матеріал марки СКМ-Р (Полтавський алмазний завод) та твердосплавний вольфрамо-кобальтовий матеріал (ВК6-М) марки Н216Т (CERATIZIT, Австрія). Обидва матеріали були вибрані за їх здатність добре відводити тепло із зони різання та достатню міцність. При цьому матеріал СКМ-Р має високу зносостійкість, але дуже важко піддається формуванню ріжучих поверхонь, а матеріал Н216Т завдяки процесу спікання може набирати складну геометричну форму з необхідними поверхнями для доведення, проте, має значно меншу твердість. Фізичні властивості та геометрія інструментів представлені у таблиці.

Серед головних особливостей процесу фрезерування полімерних матеріалів, що створюють певні труднощі для їх математичного опису, можна виділити такі: нестационарність, змінну товщину шару, що зрізається, складний характер теплообміну. Тому на першому етапі моделювання ретельно досліджувалися теплофізичні процеси в зоні контакту за допомогою цифрової термографічної камери ThermoVision A20-M (FLIR Systems, США). При цьому для різних параметрів режиму різання реєструвалася повна теплова картина взаємодії, з відеоряду вибирався момент обробки з максимальною температурою на поверхні заготовки (див. рис. 1, а), за допомогою програмного забезпечення ThermoCAM Researcher 2.8 розраховувався розподіл тепла у зоні контакту з визначенням згідно з даними профілограми найбільшого значення температури за весь час спостереження (див. рис. 1, б).

Геометричні параметри та фізичні властивості ріжучих інструментів

Основні властивості	Тип ріжучої вставки	
	СКМ-Р	Твердий сплав
		
Геометричні параметри		
Передній кут γ , °	0	22
Задній кут α , °	15	15
Головний кут у плані ϕ , °	45	90
Допоміжний кут у плані ϕ_1 , °	10	2
Радіус при вершині r , мм	0,5	0,4
Довжина вставки L (ріжучої крайки l), мм	25,00	10,00
Довжина додаткової ріжучої крайки l_1 , мм	-	2,0
Висота різця H (пластини s), мм	6,5	3,97
Діаметр різця D (ширина пластини d), мм	8	6,8
Фізичні властивості інструментального матеріалу		
Середній розмір зерна, мкм	10	1
Щільність, г/см ³	3,5	15,00
Твердість за Вікерсом, МПа	10000	1630
Теплопровідність, Вт/м·К	120	100

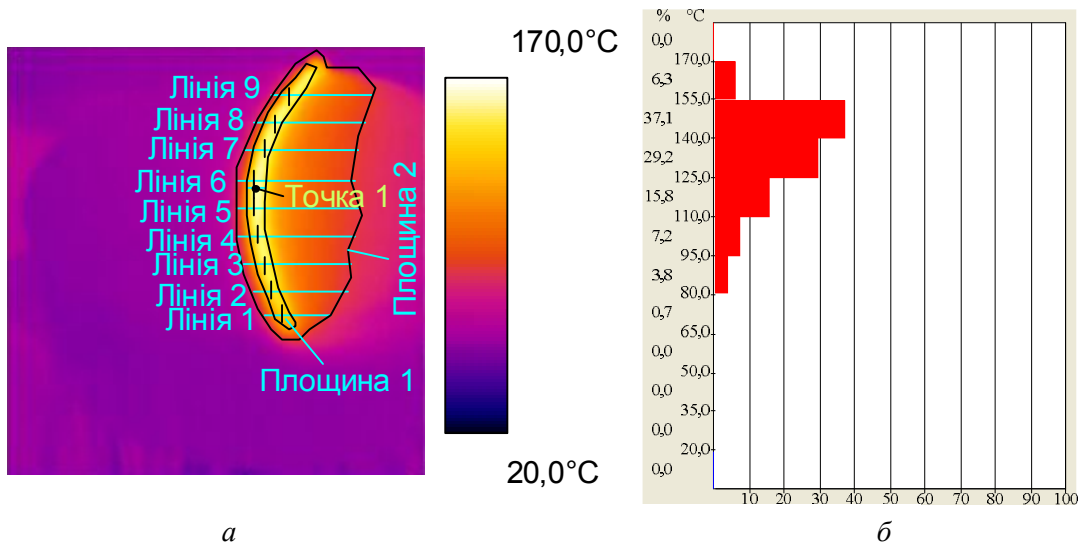


Рис. 1. Аналіз теплового стану заготовки за термографічними даними:
а – тепловий стан поверхні різання; б – розподіл тепла по поверхні різання

Другим етапом моделювання було розроблення відповідної до умов експерименту геометричної моделі з урахуванням розмірів заготовки та ріжучої частини інструменту. Вже на цьому етапі для спрощення та скорочення майбутніх розрахунків необхідно було передбачити варіанти поділу моделі на кінцеві елементи (див. рис. 2). Так, використання згущення сітки у трьох вимірах дозволило у декілька разів скоротити кількість кінцевих елементів та досягти необхідної точності розрахунків у певній зоні контакту.

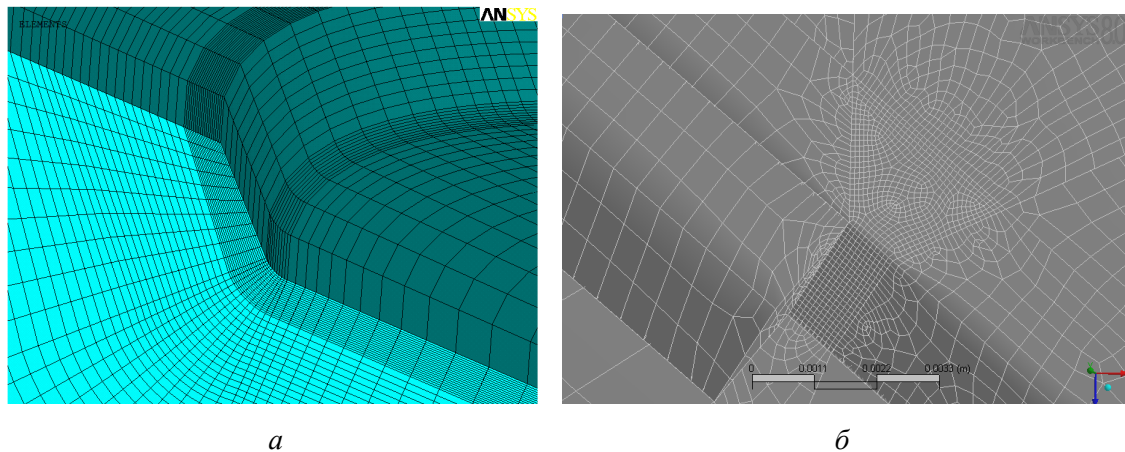


Рис. 2. Геометрична модель з поділом на кінцеві елементи зони контакту полімерного матеріалу з ріжучим інструментом: *a* – інструмент СКМ-Р; *б* – інструмент Н216Т

Оскільки за експериментальними даними найбільш суттєве накопичення тепла спостерігається в середині зони контакту (див. рис. 1), то на третьому етапі побудови вже чисельної моделі було передбачене найбільше згущення сітки саме в цій зоні (рис. 3). При цьому для уникнення “конфлікту” між мінімальним розміром кінцевого елемента та їх кількістю вибирався різний крок сітки із заданням на границях елементів умов сумісного деформування (coupling).

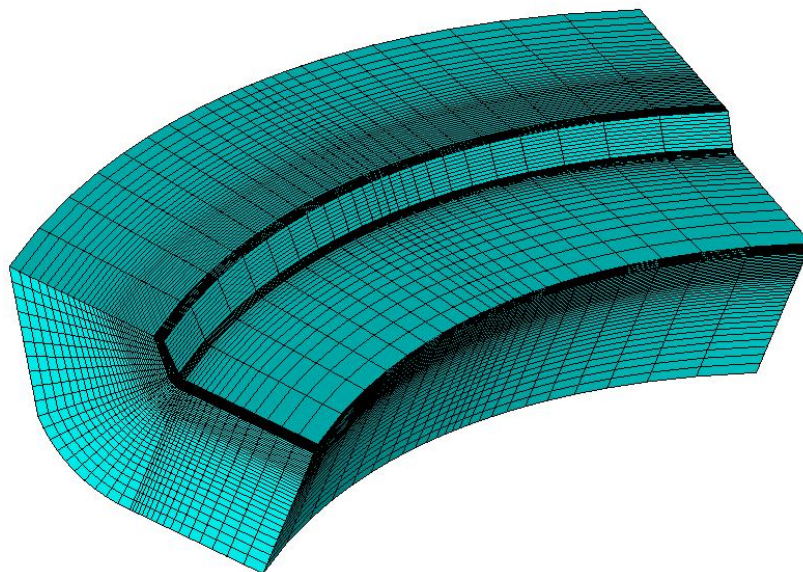


Рис. 3. Чисельна модель зони контакту з 40 000 кінцевих елементів

Останнім етапом побудови математичної моделі є верифікація чисельних рішень з експериментальними даними фізичного експерименту. А саме – відтворення теплової картини поширення температурних полів по поверхні заготовки.

Для відображення у моделі процесу поширення тепла у динаміці використані різні варіанти багатоциклового покрокового прикладення навантаження зі швидкістю переміщення теплового джерела, що дорівнювала швидкості різання v . Параметрами варіювання були розміри сітки з кінцевих елементів, їх кількість та спосіб задання теплового навантаження. Загалом первинні геометрична та чисельна моделі зазнали більше ніж 10 варіантів вдосконалення.

У результаті були отримані математичні моделі зони контакту полімерного матеріалу з інструментами СКМ-Р та Н216Т з широкими можливостями детального дослідження теплового стану заготовки в процесі обробки фрезеруванням. Так, при обробці полімерних заготовок зі швидкістю $v = 400$ м/хв, подачею $S = 0,01$ мм/об та глибиною різання $t = 0,5$ мм за експериментальними термографічними даними максимальна температура на поверхні різання $\Theta_{\text{пов.екс}}$ склала 150 °С.

Математичне моделювання цього режиму різання для двох інструментів демонструє таку картину поширення тепла (рис. 4).

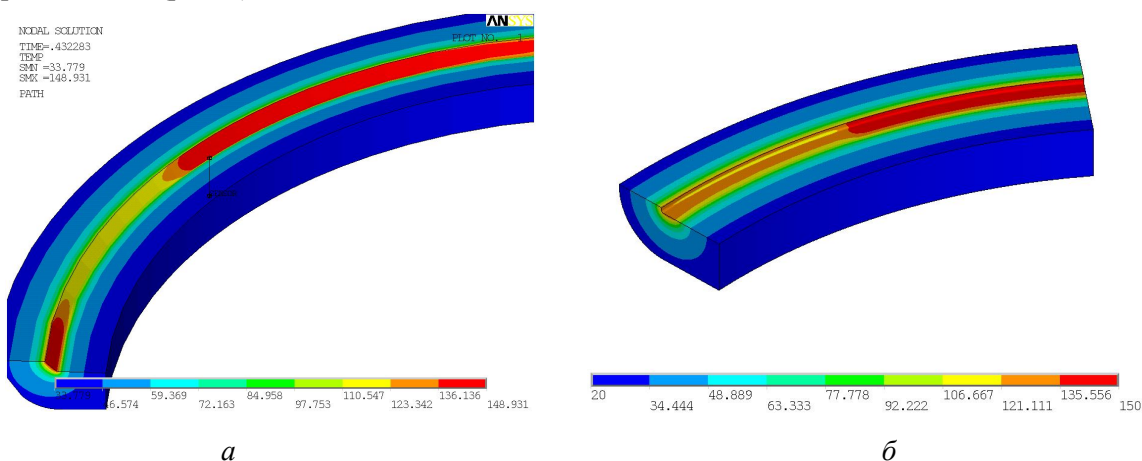


Рис. 4. Поширення тепла у зоні контакту при обробці полістиролу:
 а – інструмент СКМ-Р; б – інструмент Н216Т

Детальний розгляд теплової картини у розрізі у зоні найбільшого навантаження надав можливість дослідити не тільки форму і розміри температурних полів, а й глибину їх проникнення у поверхневі шари полімерної заготовки. Так, за однакових умов експерименту маємо: глибина проникнення тепла при використанні інструмента СКМ-Р складає 6,3 мм, а при використанні інструмента Н216Т – 4,6 мм; ширина зони тепла на обробленій поверхні на 10,8 мм більша у інструмента Н216Т. Тобто геометрично і фізично різні умови взаємодії двох інструментів з однаковим матеріалом по-різному впливають на стан поверхневого шару, що слід враховувати при призначенні параметрів режиму різання. А саме: для інструмента СКМ-Р необхідно збільшити значення подачі і зменшити глибину різання, а для інструмента Н216Т – тільки збільшити значення подачі.

Важливим результатом моделювання є отримана можливість дослідження зміни температури за переміщенням теплового джерела з часом. Для інструмента СКМ-Р результати розрахунків показують перепад температури у 50 – 60 °С від початку врізання і до виходу із зони контакту за один прохід, а для інструмента Н216Т – 30 – 42 °С. Цей діапазон зміни температури з часом (через 10–12 с) зменшується внаслідок ефективного відведення тепла розігрітим інструментом. Практично це означає, що для зменшення нерівномірності термічного навантаження на поверхневий шар заготовки слід або значно зменшувати швидкість різання, тим самим не створюючи значного розігріву зони контакту, або її значно підвищувати, зменшуючи час взаємодії інструмента і заготовки. У будь-якому разі при виготовленні пластин детекторів із суцільних блоків необхідно враховувати напрям обробки і по можливості більш ретельно перевіряти якість виробів, вирізаних з бокових частин заготовки.

Висновки

Дослідження процесів утворення та поширення тепла при наданні необхідних форми та розмірів чутливим елементам дозиметрів пов'язане з аналізом великої кількості різної інформації, отриманої в ході фізичних та розрахункових експериментів. Створення віртуальних моделей, максимально подібних до реальних об'єктів, дозволяє прогнозувати стан чутливого елемента за різних умов обробки і вибирати найбільш оптимальні з них. Такий підхід може бути використаний для обґрунтованого вдосконалення технологічного процесу обробки і більш ефективного використання сучасних нових інструментальних матеріалів та верстатного обладнання.

За допомогою методики термографічних досліджень механічної обробки фрезеруванням отримані фізичні дані теплового стану полімерної заготовки, які покладені в основу моделювання. Розроблена математична модель не тільки доповнює фізично зафіксовану теплову картину поширення температурних полів, а й дозволяє визначити товщину зміненого поверхневого шару заготовки, який необхідно видалити для забезпечення високої якості виробу. Саме ці дані мають бути основою для

обгрунтованої зміни кількості етапів обробки та підвищення продуктивності механічної обробки взагалі.

Список використаних джерел

1. Методология расчета тепловых деформаций заготовки при точении с применением различных видов охлаждения [Текст] / Ф. Лиерат, В. А. Сукайло, А. И. Грабченко, Н. В. Везуб // Вестник НТУ “ХПИ”: темат. вып. “Технологии в машиностроении”. – Х. : НТУ “ХПИ”, 2003. – № 9. – Т. 1. – С. 19–28.
2. Aurich J. C., Bil H. 3D Finite Element Modelling of Segmented Chip Formation // Annals of CIRP. – 2006. – Vol. 55. Iss. 1. – P. 47–51.
3. Komanduri R., Hou Z.B. Thermal modeling of the metal cutting process // Int. J. of Mechanical Sciences. – 2000. – V.42. Iss. 9. – P. 1715–1752.
4. Grams J. V. Untersuchungen zum Fräsen mit CVD-diamantbeschichteten Werkzeugen: Diss. Dr.-Ing. - Aachen, Techn. Hochsch., Diss., 2003. – 179 S.
5. Guo Q., Liu X., Hu G. Micromechanical modeling of local field distribution for a planar composite under plastik deformation // Acta Machanika. – 2006. – Vol. 5. Iss. 8. – P. 19–30.
6. Титаренко, О. В. Забезпечення надійності функціонування детекторів іонізуючих випромінювань для спеціальних підрозділів Національної гвардії України [Текст] / О. В. Титаренко // Збірник наукових праць Національної академії Національної гвардії України. – Х. : НА НГУ, 2015. – Вип. 2 (26). – С. 75–81.
7. Основы теории резания материалов [Текст] : учебник / Н. П. Мазур, Ю. Н. Внуков, А. И. Грабченко и др. ; ред. Н. П. Мазур, А. И. Грабченко. – 3-е изд. – Х. : НТУ “ХПИ”, 2012. – 540 с.
8. ANSYS в руках инженера [Текст] : практ. руководство / А. Б. Каплун, Е. М. Морозов, М. А. Олферьева. – М. : Едиториал УРСС, 2003. – 272 с.

Стаття надійшла до редакції 14.03.2017 р.

УДК 621.923

О. В. Титаренко

ВОЗМОЖНОСТИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-РАСЧЕТНОГО ПОДХОДА К ПОИСКУ РАЦИОНАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ ОБРАБОТКИ ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДОЗИМЕТРОВ

Рассмотрены базовые принципы экспериментально-теоретического исследования физического процесса распространения тепла при обработке чувствительных полимерных элементов радиационных детекторов. Разработанная математическая модель направлена на прогнозирование состояния заготовки при различных условиях обработки для обоснованного выбора материала и геометрии режущего инструмента, а также расширения технологических возможностей процесса. Предложены варианты разработки и усовершенствования числовой модели для сокращения времени расчетов. Опираясь на термографические исследования для инструмента из сверхтвёрдого композиционного материала и твердосплавного материала с различной геометрией, определены границы распространения температурных полей по поверхности и глубине обрабатываемого слоя. Даны практические рекомендации по корректированию значений параметров режима резания для обеспечения минимальной тепловой нагрузки чувствительных полимерных изделий.

К л ю ч е в ы е с л о в а: ионизирующие излучения, сцинтиллятор, дозиметр, полимерные материалы, обработка резанием, математическое моделирование, поверхностный слой, торцевое фрезерование, термография, температурное поле, тепловой источник, режущий инструмент, инструментальные материалы, качество.

UDC 621.923

O. V. Titarenko

THE POSSIBILITY OF EXPERIMENTALLY ESTIMATED APPROACH TO SEARCH FOR RATIONAL MACHINING CONDITIONS FOR SENSITIVE ELEMENTS OF DOSIMETERS

The basic principles of experimental and theoretical studies of physical heat distribution process during machining sensitive polymer elements of radiation detectors are described. Developed mathematical model focused on forecasting the workpiece in various processing conditions for informed choice of material and geometry of cutting tools, and for expand the technological capabilities of cutting. Proposed options for the development and improvement of numerical model for shortening the calculations. Based on thermographic study for the tool of extra-hard composite material and carbide material with different geometry, defined the boundaries of temperature fields distribution on surface and depth of the processed layer. The practical recommendations to adjust the values of the parameters of the cutting regime are given for ensure minimal thermal load sensitive polymer products.

К e y w o r d s: ionising radiation, scintillator, dosimeter, polymeric materials, machining, mathematical modeling, surface layer, face milling, thermography, temperature field, heat source, cutting tool, instrumental materials, quality.

Тітаренко Оксана Валеріївна – кандидат технічних наук, доцент кафедри інженерної механіки Національної академії Національної гвардії України.