

POLITECHNIKA POZNAŃSKA
WYDZIAŁ INŻYNIERII MECHANICZNEJ



mgr inż. Paweł Zawadzki

Rozprawa doktorska

STRESZCZENIE POLSKO-ANGIELSKIE

**Sposób precyzyjnego kształtowania powierzchni
kostnych**

A method of precise shaping of bone surfaces

Promotor
dr hab. inż. Rafał Talar

Promotor pomocniczy
dr hab. n. med. Mikołaj Dąbrowski

POZNAŃ 13.09.2023

STRESZCZENIE

Genezą podjęcia prac badawczych było zapotrzebowanie na wyspecjalizowane oprzyrządowanie operacyjne, spełniające wymogi określone przez chirurgów ortopedów. Zakres pracy doktorskiej obejmuje:

- badania mechanizmu kształtowania powierzchni kostnych za pomocą narzędzi o zdefiniowanej i niezdefiniowanej geometrii ostrzy skrawających,
- opracowanie analitycznych i numerycznych modeli opisujących proces obróbki tkanki kostnej,
- zaprojektowanie prototypu badawczego narzędzia do obróbki powierzchni wyrostków kolczystych.

W ramach pracy przeprowadzono analizę literaturową dotyczącą właściwości fizycznych i mechanicznych tkanki kostnej, jej budowy strukturalnej i pełnionych funkcji. Przyjęto, że tkanka kostna jest materiałem kompozytowym o właściwościach ortotropowych. Ponadto dokonano przeglądu metod obróbki stosowanych w chirurgii ortopedycznej oraz narzędzi i oprzyrządowania operacyjnego. Przeprowadzono badania eksperymentalne, w których tkankę kostną zbitą pochodzenia zwierzęcego poddano obróbce trzema metodami: skrawania ortogonalnego, pojedynczym ziarnem oraz zespołem ziaren ściernych. W ich trakcie przeanalizowano mechanizm skrawania oraz emisję akustyczną, morfologię wiórów, mechanizm propagacji pęknięć, a także następujące parametry: wypadkową siłę skrawania, stan naprężenia, współczynnik tarcia, energię pęknięcia oraz odporność na pęknięcie. Ponadto zwrócono uwagę na zjawiska termodynamiczne, w tym pomiar współczynnika przewodności cieplnej. Uzyskane wyniki stanowiły podstawę do scharakteryzowania mechanizmu skrawania tkanki kostnej modelem fizycznym opisującym trzy przypadki obróbki tkanki różniących się głębokością skrawania. Opracowano również trzy modele numeryczne (analityczne), opisujące ilościowo przebieg skrawania tkanki kostnej zbitej w zależności od przyjętego modelu materiałowego.

Wyniki badań pozwoliły stwierdzić, że anizotropowa struktura oraz głębokość skrawania mają największy wpływ na charakter zjawisk zachodzących podczas ubytковania. Za istotny czynnik uznano także podatność tkanki na propagację kruchych pęknięć oraz jej kompozytową strukturę.

Przedstawione badania naukowe umożliwiły realizację celu użytkowego, jakim był autorski system kształtowania powierzchni kostnych oparty na obróbce ściernej. Zaletą tego systemu jest powtarzalność uzyskiwanej topografii powierzchni, stabilność procesu obróbki oraz kontrola nad zachodzącymi procesami. Przeprowadzając ocenę biologiczną oraz szczegółową klasyfikację wyrobu, opracowano dwa prototypy badawcze narzędzia do obróbki powierzchni wyrostków kolczystych w leczeniu choroby Baastupa. Prototypy poddano badaniom użytkowania i wydajności, które potwierdziły możliwość ich stosowania podczas zabiegów operacyjnych.

ABSTRACT

The initiation of research work was driven by the demand for specialized operative instrumentation that meets the requirements defined by orthopaedic surgeons. The scope of the doctoral thesis includes:

- Investigate the mechanism of shaping bone surfaces using tools with defined and undefined cutting–edge geometries.
- Development of analytical and numerical models describing the process of bone tissue machining.
- Design of a research prototype tool for processing the surfaces of spinous processes.

As part of the study, a literature review was conducted on bone tissue's physical and mechanical properties, its structural composition, and functions performed. It was assumed that bone tissue is a composite material with orthotropic properties. A review of machining methods used in orthopaedic surgery and surgical instruments was also conducted. Experimental studies were conducted in which cortical bone tissue was machined using orthogonal, single–grain, and abrasive–grain cluster cutting. During these studies, the cutting mechanism, acoustic emission, chip morphology, crack propagation mechanism, and the following parameters were analyzed: cutting force, shear stress, friction coefficient, fracture energy, and fracture toughness.

Furthermore, attention was paid to thermodynamic phenomena, including the measurement of thermal conductivity coefficients. The obtained results served as the basis for characterizing the bone tissue cutting mechanism using a physical model that characterized three different tissue machining cases based on cutting depth. Three numerical (analytical) models were also prepared, quantitatively describing the course of machining compacted bone tissue according to the adopted material model.

The research findings concluded that the anisotropic structure and cutting depth influence the nature of phenomena occurring during subtractive processes. The susceptibility of the tissue to brittle crack propagation and its composite structure were also recognized as significant factors.

The achieved scientific goal enabled the accomplishment of the utilitarian objective, which was the author's system for processing bone surfaces. The advantage of this system is the repeatability of the obtained surface topography, the stability of the machining process and the control over the ongoing machining. By conducting a biological evaluation and detailed classification of the product, two research prototypes of tools for processing the surfaces of spinous processes in the treatment of Baastrup's disease were developed. The prototypes underwent usability and performance testing, which confirmed their applicability during surgical procedures.