

Abstract

The aim of this thesis is to introduce the reader to nanotechnologies and functionally graded nanomaterials by providing definitions, classifications and potential applications.

In particular, the thesis summarizes the different theories developed in recent decades to describe the mechanical response of such materials. Functionally graded materials represent an increasingly important class of advanced materials in various engineering applications, such as nano-microelectronic device design, precision sensors, and nanomechanical components.

Initially, a brief introduction to nanotechnology and nanomaterials is provided, highlighting the extraordinary properties emerging at the nanoscale level. In addition, a comprehensive overview of functionally graded materials and micromechanical models used to characterize their thermo-mechanical behavior is presented. This initial overview defines the context and provides the foundation needed to fully understand the challenges and innovations addressed in the thesis.

Subsequently, the document delves into the most commonly used nonlocal theories in scientific literature and their applications in nanoscale material mechanics. It explores the fundamental concepts of non-locality, illustrating how they can be applied to functionally graded nanobeams to capture long-range phenomena and nonlocal interactions that influence structural behavior.

Firstly, the thesis extends the three-parameter nonlocal models of elasticity (L/NStrainG and L/NStressG) proposed in the literature, incorporating hygrothermal effects (L/NStrainGH and L/NStressGH) and evaluates their influence on static and dynamic responses. Moreover, the nonlocal surface stress-driven model of elasticity (SSDM) is extended to study the static response of functionally graded nanobeams, also in presence of discontinuous loads. This aspect provides an in-depth understanding of the behavior of such materials in real-world situations, with significant implications for nanodevice and nanoscale systems engineering. In addition, a rotational hinge-based approach is introduced to assess the effects of cracks, contributing to a comprehensive understanding of the factors influencing structural stability. The focus on these innovative aspects and original results significantly enriches the field of

nanoscale material mechanics and opens promising prospects for future development and optimization of nanomechanical devices.

In the analysis process, the Mathematica software was used to solve the governing equations of the problem. In particular, Galerkin's method has been employed to obtain approximate numerical solutions, and a Higher Order Hamiltonian Approach has been proposed to study higher order nonlinear flexural frequencies.

In conclusion, the thesis represents a contribution to the in-depth understanding of functionally graded nanobeams through the use of nonlocal theories. Moreover, the focus on surface energy effects, as well as on hygrothermal environment and cracks, provides a comprehensive and detailed view of the structural and mechanical behavior of these nanostructures. The results obtained and methodologies established have the potential to exert substantial influence on improving the design and engineering of nanodevices and nanoscale systems.

Keywords: Nanomaterial, Functionally Graded Material, Nanobeam, Local/Nonlocal Elasticity Theories, Hygrothermal Environments, Surface Effects, Crack.

Abstract

L'obiettivo di questa tesi è introdurre il lettore alle nanotecnologie e ai nanomateriali funzionalmente gradati, fornendo definizioni, classificazioni e possibili utilizzi, nonché riassumendo le teorie formulate negli ultimi decenni per descrivere la risposta meccanica di tali materiali. I materiali funzionalmente gradati rappresentano una classe di materiali avanzati di crescente importanza in numerose applicazioni ingegneristiche, come la progettazione di dispositivi nano-microelettronici, sensori di precisione e componenti nanomeccanici.

Inizialmente, viene fornita una breve introduzione alle nanotecnologie e ai nanomateriali, mettendo in luce le straordinarie proprietà che emergono quando si opera a scala nanometrica. Inoltre, viene presentata un'ampia panoramica sui materiali funzionalmente gradati e dei modelli micromeccanici impiegati per caratterizzarne il comportamento termo-meccanico. Questa panoramica iniziale delinea il contesto e le fondamenta necessarie per comprendere appieno le sfide e le innovazioni affrontate nella tesi.

Successivamente, viene fornita una trattazione delle teorie nonlocali più comunemente utilizzate nella letteratura scientifica e delle loro applicazioni nella meccanica dei materiali a scala nanometrica. Si esplorano i concetti fondamentali della nonlocalità, illustrando come possano essere applicati alle nanotravi funzionalmente gradate per catturare i fenomeni a lungo raggio e le interazioni nonlocali che influenzano il comportamento strutturale. La tesi estende inizialmente i modelli nonlocali a tre parametri proposti in letteratura, incorporando gli effetti igrotermici, e successivamente ne valuta l'influenza sulla risposta statica e dinamica.

Nel capitolo finale, il modello nonlocale di superficie guidato dallo stress ad un solo parametro, è stato esteso per lo studio della risposta statica di nanotravi funzionalmente gradate, soprattutto quando sono sottoposte a carichi discontinui. Questo passo rivela una visione approfondita del comportamento di tali materiali in situazioni reali, con implicazioni significative per l'ingegneria di nanodevice e sistemi a scala nanometrica. Inoltre, è stato introdotto un approccio basato su cerniere rotazionali per valutare gli effetti delle fessure, contribuendo così alla comprensione completa dei fattori che influenzano la stabilità strutturale. L'attenzione dedicata a questi aspetti innovativi e ai risultati originali arricchisce notevolmente

il campo della meccanica dei materiali a scala nanometrica e apre prospettive promettenti per il futuro sviluppo e l'ottimizzazione dei dispositivi nanomeccanici.

Nel processo di analisi, è stato utilizzato il software Mathematica per risolvere le equazioni che governano il problema. In particolare, è stato impiegato dapprima il metodo di Galerkin per ottenere soluzioni numeriche approssimate e successivamente proposto un approccio Hamiltoniano di Ordine superiore per lo studio delle frequenze nonlineari di ordine superiore.

In conclusione, questa tesi rappresenta un contributo significativo alla comprensione approfondita delle nanotravi in materiale funzionalmente gradati attraverso l'utilizzo di teorie nonlocali. L'attenzione particolare riservata agli effetti superficiali, agli effetti igrotermici e alle fessure offre una visione completa e dettagliata del comportamento di questi materiali. I risultati ottenuti e le metodologie sviluppate potrebbero avere un impatto significativo sull'ottimizzazione del design e sull'ingegnerizzazione di nanodevice e sistemi a scala nanometrica.

Parole chiave: nanomateriali, materiali funzionalmente gradate, nanotravi, teorie di elasticità locale/nonlocale, ambiente igrotermico, effetti di superficie, fessura.