UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI DI MILANO-BICOCCA

COURSE SYLLABUS

Metals Science and Sustainability

2526-1-FSM02Q009

Obiettivi

Comprendere le peculiari proprietà dei materiali metallici, e delle leghe, i principali processi che avvengono in esse (nucleazione di difetti, diffusione atomica, trasformazioni di fase) e il ruolo degli elementi metallici nelle applicazioni funzionali, con una attenzione alla relativa scarsità e al loro riciclo. In sintesi, gli studenti acquisiranno:

1. Conoscenza e capacità di comprensione della termodinamica e della cinetica che presiedono i processi fisici nei metalli (metallurgia fisica)
2. Conoscenza e capacità di comprensione applicate nei processi di sintesi e recupero dei metalli rari nei rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche (RAEE)
3. Autonomia di giudizio nell'utilizzo di acuni metalli o di altri nelle principali tecnologie dei prodotti industriali.
4. Abilità comunicative nel contesto dei diagrammi di fase che presiedono la progettazione di nuove leghe metalliche, o composti intermetallici.
5. Capacità di apprendere nuovi contesti di materiali non trattati nel corso, attraverso la conoscenza delle metodologie termodinamiche del tutto generali che hanno assimilato nelle lezioni.

Contenuti sintetici

Introduzione ai materiali metallici e alle leghe
Metallurgia fisica
Sostenibilità nelle applicazioni dei metalli

Programma esteso

INTRODUZIONE ALLA SCIENZA DEI METALLI

• Elementi di proprietà macroscopiche, strutturali e funzionali
• Leghe e composti intermetallici
• Energia di coesione di metalli semplici
• Stabilità strutturale di metalli semplici
• Energia di coesione nei metalli di transizione
• Stabilità strutturale dei metalli di transizione
• Richiami di termodinamica
• Richiami di termodinamica e cinetica
• Potenziale atomico per le vacanze

METALLURGIA FISICA
• Densità di equilibrio di vacanze e interstiziali
• Dislocazioni I
• Dislocazioni II
• Dislocazioni III
• Dislocazioni IV
• Superfici metalliche
• Interfacce nei metalli
• Fondamenti dei diagrammi di stato
• Energia libera di miscelazione
• Equilibrio tra due fasi
• Sistemi con piena solubilità solida
• Sistemi con gap di miscibilità
• Diagrammi di stato significativi
• Fondamenti della diffusione nei solidi
• Il coefficiente di diffusione
• Potenziali chimici vs concentrazione
• Sistemi di riferimento per la 2° Legge di Fick
• Termodinamica irreversibile e diffusione
• Contributi delle interfacce e della deformazione alla diffusione
• Soluzioni analitiche per l'equazione di diffusione
• Ulteriori soluzioni dell'equazione di diffusione
• Classificazione delle trasformazioni di fase
• Nucleazione omogenea ed eterogenea
• Forma dei nuclei in funzione della deformazione
• Crescita controllata dall'interfaccia
• Crescita controllata dalla diffusione
• Equazione di Avrami e grossolanizzazione
• Trasformazione continua e decomposizione spinodale I
• Decomposizione spinodale II
• Trasformazioni ordine-disordine
• Trasformazioni martensitiche I
• Trasformazioni martensitiche II
• Trasformazioni martensitiche III

SOSTENIBILITÀ NELLE APPLICAZIONI METALLICHE
• Contenuto di metalli nei rifiuti
• Esigenze strategiche di metalli nell'UE
• Tecniche convenzionali di recupero dei metalli
• Elementi di biolisciviazione
• Riciclo dei rifiuti elettronici
• Riciclo dei rifiuti per l'accumulo di energia

Prerequisiti

Elementi di Fisica dello Stato Solido, elementi di Termodinamica e dei diagrammi di fase. Chimica inorganica di base.

Modalità didattica

48 ore di lezioni di un'ora in modalità erogativa in presenza. Non sono previste lezioni in remoto, a meno della possibilità di erogazione sincrona nello stesso orario, nel caso di eventi straordinari che impediscano la partecipazione in presenza.

Materiale didattico

Testo principale: Gregory N. Haidemenopoulos, Physical Metallurgy, CRC Press 2018. Per la parte di sostenibilità: Hong Hocheng et al., Biohydrometallurgical Recycling of Metals from Industrial Wastes, second edition, CRC Press, 2025. Inoltre, tutti i pdf delle presentazioni in powerpoint delle lezioni, inclusive di alcune fonti di approfondimento suggerite, sono caricati sulla pagina e-learning del Corso.

Periodo di erogazione dell'insegnamento

secondo semestre del primo anno

Modalità di verifica del profitto e valutazione

Esame orale, a partire dalla fine del corso, per nove sessioni annuali d'esame: colloquio sugli argomenti svolti a lezione attraverso tre domande. Verranno valutate le competenze acquisite nelle lezioni, come descritte nei pdf delle relative presentazioni messe a disposizione degli studenti, e la capacità di argomentazione dello studente, anche attraveso l'utilizzo di grafici ed equazioni.

Orario di ricevimento

A disposizione degli studenti, tramite richiesta di colloquio, concordata via e-mail.

Sustainable Development Goals

ACQUA PULITA E SERVIZI IGIENICO-SANITARI | ENERGIA PULITA E ACCESSIBILE | IMPRESE, INNOVAZIONE E INFRASTRUTTURE | CITTÀ E COMUNITÀ SOSTENIBILI | CONSUMO E PRODUZIONE

RESPONSABILI