

# Indice

XIII Prefazione

XV Prefazione all'edizione originale

XVII L'Editore ringrazia

## 3 Capitolo primo • Introduzione alla scienza e all'ingegneria dei metalli

- 3 1.1. Cosa sono la scienza e l'ingegneria dei metalli?
- 6 1.2. Classificazione dei materiali in base alla struttura
- 7 1.3. Effetti ambientali e altri effetti  
Temperatura, 7 – Corrosione, 9 – Fatica, 9
- 9 1.4. Progettazione e selezione dei materiali

## 11 Riassunto

## 13 Capitolo secondo • La struttura atomica

- 14 2.1. La struttura dei materiali: rilevanza tecnologica
- 14 2.2. La struttura dell'atomo
- 16 2.3. La struttura elettronica dell'atomo  
Numeri quantici, 16 – Deviazioni dalle configurazioni elettroniche attese, 17 – Valenza, 18 – Stabilità atomica ed elettronegatività, 18
- 19 2.4. La tavola periodica  
Proprietà degli elementi in funzione della posizione nella tavola periodica, 20
- 21 2.5. Legami atomici  
Il legame metallico, 22 – Il legame covalente, 23 – Il legame ionico, 25 – Legame di van der Waals, 25 – Legami misti, 27
- 28 2.6. Energia di legame e distanza interatomica

## 32 Riassunto

## 33 Problemi

## 35 Capitolo terzo • Disposizioni atomiche

- 36 3.1. Ordine a corto raggio vs ordine a lungo raggio  
Nessun ordine, 36 – Ordine a corto raggio, 36 – Ordine a lungo raggio, 37
- 38 3.2. Reticolo, unità base, celle unitarie e strutture cristalline  
Cella unitaria, 41 – Parametri reticolari e angoli interassiali, 42 – Numero di atomi per cella unitaria, 44 – Relazione tra raggio atomico e parametro reticolare, 46 –

- Il reticolo esagonale e la cella unitaria, 47 – Il numero di coordinazione, 47 – Fattore di compattazione, 48 – Densità, 49 – La struttura esagonale compatta, 50
- 51 3.3 Trasformazioni allotropiche o polimorfiche
- 52 3.4 Punti, direzioni e piani nella cella unitaria  
Le coordinate dei punti, 52 – Le direzioni nella cella unitaria, 52 – Significato delle direzioni cristallografiche, 54 – Distanza di ripetizione, densità lineare e frazione di compattazione, 54 – Piani nella cella unitaria, 55 – Costruzione delle direzioni e dei piani, 58 – Indici di miller per la cella unitaria esagonale, 59 – Direzioni e piani di massima compattazione, 60 – Comportamento isotropo e anisotropo, 61 – Distanza interplanare, 62
- 62 3.5 Siti interstiziali
- 63 3.6 Tecniche di diffrazione per l'analisi della struttura cristallina  
Diffrazione e microscopia elettronica, 66
- 68 **Riassunto**
- 69 **Problemi**
- 74 **Problemi di progettazione**
- 75 Capitolo quarto • Difetti nella disposizione atomica e ionica**
- 76 4.1 Difetti di punto  
Vacanze, 77 – Difetti interstiziali, 79 – Difetti sostituzionali, 81
- 81 4.2 Altri difetti di punto
- 84 4.3 Dislocazioni  
Dislocazione a vite, 84 – Dislocazione a spigolo, 84 – Dislocazioni miste, 85 – Sforzi, 85 – Moto delle dislocazioni, 86 – Scorrimento, 87
- 92 4.4 significato fisico delle dislocazioni
- 93 4.5 La legge di Schmid
- 95 4.6 Influenza della struttura cristallina  
Sforzo di taglio indotto critico, 96 – Numero dei sistemi di scorrimento, 96 – Cross-scorrimento, 97
- 98 4.7 Difetti di superficie  
Superficie dei materiali, 98 – Bordi di grano, 98 – Bordo di grano a basso angolo, 101 – Difetti di impilamento, 101 – Bordi geminati, 101 – Bordi di dominio, 102
- 103 4.8 Importanza dei difetti  
Effetto sulle proprietà meccaniche controllando il processo di scorrimento, 103 – Incrudimento, 103 – Rafforzamento per soluzione solida, 104 – Rafforzamento per riduzione della dimensione dei grani, 104
- 106 **Riassunto**
- 107 **Problemi**
- 111 **Problemi di progettazione**
- 113 Capitolo quinto • Movimenti di atomi e ioni nei materiali**
- 113 5.1. Applicazioni della diffusione  
Diffusione, 113 – Indurimento superficiale degli acciai per carburazione, 114 – Ossidazione dell'alluminio, 114 – Rivestimenti per barriere termiche per palette di turbine, 114
- 116 5.2. Stabilità di atomi e ioni
- 118 5.3. Meccanismi di diffusione  
Interdiffusione, 118 – Diffusione per vacanze, 119 – Diffusione interstiziale, 119
- 119 5.4. Energia di attivazione per la diffusione

- 121 5.5. Tasso di diffusione [prima legge di Fick]  
Gradiente di concentrazione, 121
- 124 5.6. Fattori che influenzano la diffusione  
Temperatura e coefficiente di diffusione, 124 – Tipologie di diffusione, 128 – Tempo, 128 – Dipendenza dal legame atomico e dalla struttura cristallina, 129 – Dipendenza dalla concentrazione delle specie che diffondono e dalla composizione della matrice, 130
- 130 5.7. Profilo di Composizione [Seconda legge di Fick]  
Limitazioni all'applicazione della soluzione funzione di errore fornita dall'equazione 5.7, 134
- 134 5.8. Diffusione e lavorazione dei metalli  
Fusione e colata in stampo, 135 – Sinterizzazione, 135 – Crescita dei grani, 136 – Unione per diffusione, 137
- 138 **Riassunto**
- 139 **Problemi**
- 141 **Problemi di progettazione**
- 143 **Capitolo sesto • Proprietà meccaniche: Prima parte**
- 143 6.1. Terminologia delle proprietà meccaniche
- 146 6.2. La prova di trazione: il diagramma sforzo-deformazione  
Concetti di sforzo e deformazione, 147 – Unità di misura, 148
- 149 6.3. Proprietà valutabili da una prova di trazione  
Carico di snervamento, 149 – Resistenza a rottura (carico di rottura), 150 – Proprietà elastiche, 152 – Tenacità a frattura, 153 – Duttilità, 154 – Influenza della temperatura, 155
- 156 6.4. Sforzo e deformazione reali
- 158 6.5. Prova di flessione per materiali fragili
- 160 6.6. Durezza dei materiali
- 161 6.7. Nanoindentazione
- 164 6.8. Effetti del tasso di deformazione e comportamento all'impatto
- 165 6.9. Proprietà deducibili da una prova di impatto  
Temperatura di transizione duttile-fragile, 165 – Sensibilità all'intaglio, 166 – Relazione con il diagramma sforzo-deformazione, 166 – Applicazioni delle proprietà di impatto, 166
- 167 6.10. Comportamento meccanico a piccole scale dimensionali
- 171 **Riassunto**
- 172 **Problemi**
- 177 **Capitolo settimo • Proprietà meccaniche: Seconda parte**
- 177 7.1 Meccanica della frattura
- 180 7.2 L'importanza della meccanica della frattura  
Scelta del materiale, 180 – Progettazione del componente, 180 – Progettazione del processo di lavorazione o del metodo di prova, 180 – Frattura fragile, 181
- 181 7.3 Caratteristiche microstrutturali di frattura in materiali metallici  
Frattura duttile, 181 – Frattura fragile, 183
- 185 7.4 Fatica
- 188 7.5 Risultati della prova di fatica
- 190 7.6 Applicazione della prova di fatica  
Tasso di crescita della cricca, 191 – Effetti della temperatura, 193
- 193 7.7 Scorrimento viscoso, rottura sotto sforzo e tensocorrosione

- Tensocorrosione, 194
- 195 7.8 Valutazione dello scorrimento viscoso  
Dislocazione di risalita, 196 – Tasso di scorrimento e tempo di rottura, 196
- 197 7.9 Uso dei dati di scorrimento viscoso
- 199 **Riassunto**
- 200 **Problemi**
- 203 **Problemi di progettazione**
- 205 Capitolo ottavo • Incrudimento e ricottura**
- 205 8.1. Relazione tra lavorazione a freddo e la curva sforzo-deformazione  
Esponente di incrudimento ( $n$ ), 207 – Sensibilità al tasso di deformazione, 209 –  
Ritorno elastico, 210 – Effetto Bauschinger, 211
- 211 8.2. I meccanismi di incrudimento
- 213 8.3. Proprietà rispetto alla percentuale di lavorazione a freddo
- 215 8.4. Microstruttura, rafforzamento per orientazione preferenziale dei grani  
e tensioni residue  
Comportamento anisotropo, 215 – Formazione della tessitura dei grani nei film  
sottili, 218 – Tensioni residue, 218
- 219 8.5. Caratteristiche della lavorazione a freddo
- 222 8.6. I tre stadi della ricottura  
Recupero, 223 – Ricristallizzazione, 223 – Crescita del grano, 224
- 224 8.7. Il controllo della ricottura  
Temperatura di ricristallizzazione, 225 – Dimensione del grano di ricristallizza-  
zione, 226
- 226 8.8. Ricottura e trattamento dei materiali  
Processo di deformazione, 226 – Alte temperature di servizio, 227 – Processo di  
saldatura, 228
- 229 8.9. Lavorazione a caldo  
Assenza di rafforzamento, 229 – Eliminazione delle imperfezioni, 230 – Compor-  
tamento anisotropo, 230 – Finitura superficiale e precisione dimensionale, 230
- 231 **Riassunto**
- 232 **Problemi**
- 238 **Problemi di progettazione**
- 239 Capitolo nono • I Principi della solidificazione**
- 239 9.1. Rilevanza tecnologica
- 240 9.2. La nucleazione  
Nucleazione omogenea, 241 – Nucleazione eterogenea, 243 – Tasso di nucleazio-  
ne, 243
- 244 9.3. Le applicazioni della nucleazione controllata  
Rafforzamento per affinamento del grano, 244 – Rafforzamento per presenza di  
fase secondaria, 244 – Vetri metallici, 244
- 245 9.4. I meccanismi di crescita  
Crescita planare, 246 – Crescita dendritica, 246
- 247 9.5. Il tempo di solidificazione e la dimensione delle dendriti  
L'effetto sulla struttura e sulle proprietà, 248
- 251 9.6. Le curve di raffreddamento
- 253 9.7. La struttura del getto  
Regione di pelle, 253 – Regione colonnare, 253 – Regione equiassica, 254

- 255 9.8. I difetti di solidificazione  
Ritiro, 255 – Ritiro interdendritico, 257 – Porosità gassosa, 257
- 258 9.9. I processi di colata di produzione
- 260 9.10. Colata continua e colata in lingotti
- 264 9.11. La solidificazione direzionale, la crescita monocristallina e la crescita epitassiale  
Crescita monocristallina, 265 – Crescita epitassiale, 266
- 266 9.12. L'unione dei materiali metallici
- 268 **Riassunto**
- 269 **Problemi**
- 274 **Problemi di progettazione**



## Capitolo decimo • Soluzioni solide e equilibrio di fase

- 279 **Capitolo undicesimo • Rafforzamento per dispersione e diagrammi di fase eutettici**
- 279 11.1 Principi ed esempi di rafforzamento per dispersione
- 280 11.2 I composti intermetallici  
Proprietà e applicazioni degli intermetallici, 282
- 282 11.3 I diagrammi di fase contenenti le reazioni a tre fasi
- 284 11.4 Il diagramma di fase eutettico  
Leghe a soluzione solida, 284 – Leghe che superano il limite di solubilità, 285 – Leghe eutettiche, 287 – Leghe ipoeutettiche e ipereutettiche, 290
- 293 11.5 La resistenza delle leghe eutettiche  
Dimensione delle colonie eutettiche, 294 – Distanza interlamellare, 294 – Quantità di eutettico, 294 – Microstruttura dell'eutettico, 295
- 298 11.6 La solidificazione di non equilibrio nei sistemi eutettici
- 300 11.7 Nanofili e il diagramma di fase eutettico
- 303 **Riassunto**
- 304 **Problemi**
- 309 **Problemi di progettazione**

## 311 **Capitolo dodicesimo • Rafforzamento per dispersione mediante trasformazioni di fase e trattamento termico**

- 311 12.1 La nucleazione e la crescita nelle reazioni allo stato solido  
Nucleazione, 312 – Crescita, 312 – Cinetica, 312 – Effetto della temperatura, 313
- 315 12.2 Il rafforzamento delle leghe per superamento del limite di solubilità  
La struttura Widmanstätten, 316 – La relazione per l'energia d'interfaccia, 317 – Precipitato coerente, 317
- 318 12.3 Invecchiamento o indurimento per precipitazione
- 318 12.4 Applicazioni delle leghe invecchiate
- 319 12.5 L'evoluzione microstrutturale nell'invecchiamento o indurimento per precipitazione  
Fase 1: Trattamento di soluzione, 319 – Fase 2: Tempra, 320 – Fase 3: invecchiamento, 320 – I precipitati di non equilibrio durante l'invecchiamento, 321
- 322 12.6 Gli effetti della temperatura e del tempo di invecchiamento
- 323 12.7 I requisiti per l'invecchiamento

- 323 12.8 L'utilizzo delle leghe invecchiate ad alte temperature
- 325 12.9 La reazione eutettoide  
Le soluzioni solide, 325 – I composti, 326 – La reazione eutettoide, 326 – La perlite, 326 – Microcostituenti primari, 327
- 329 12.10 Il controllo della reazione eutettoide  
Controllare la quantità dell'eutettoide, 329 – Controllare la dimensione del grano di austenite, 329 – Controllare il tasso di raffreddamento, 329 – Controllare la temperatura di trasformazione, 329
- 333 12.11 La reazione martensitica e il rinvenimento  
La martensite negli acciai, 334 – Le proprietà della martensite negli acciai, 335 – La tempra della martensite negli acciai, 336 – La martensite in altri sistemi, 337
- 337 12.12 Le leghe a memoria di forma
- 340 **Riassunto**
- 341 **Problemi**
- 347 **Problemi di progettazione**
- 349 Capitolo tredicesimo • Trattamenti termici di acciai e ghise**
- 351 13.1 Denominazioni e classificazioni degli acciai  
Denominazioni, 351 – Classificazioni, 352
- 353 13.2 Trattamenti termici semplici  
Ricottura di processo – Eliminazione degli effetti della lavorazione a freddo, 354 – Ricottura e normalizzazione – Rafforzamento della dispersione, 354 – Sferoidizzazione – Miglioramento della lavorabilità, 354
- 355 13.3 Trattamento termico isoteramico  
Tempra bainitica e ricottura isoteramica, 355 – Effetto della variazione di concentrazione di carbonio sul diagramma TTT, 357 – Interruzione della trasformazione isoteramica, 358
- 358 13.4 Trattamenti termici di tempra e rinvenimento  
Austenite residua, 359 – Velocità di tempra, 361 – Diagrammi di trasformazione a raffreddamento continuo, 362
- 363 13.5 Effetto degli elementi leganti  
Temprabilità, 364 – Effetto sulla stabilità di fase, 364 – Forma dei diagrammi TTT, 364 – Rinvenimento, 365
- 365 13.6 Applicazione della temprabilità
- 368 13.7 Acciai speciali
- 370 13.8 Trattamenti superficiali  
Riscaldamento selettivo della superficie, 370 – Carboementazione e nitrurazione, 370
- 372 13.9 Saldabilità dell'acciaio
- 373 13.10 Acciai inossidabili  
Acciai inossidabili ferritici, 374 – Acciai inossidabili martensitici, 374 – Acciai inossidabili austenitici, 375 – Acciai inossidabili induriti per precipitazione (PH), 376 – Acciai inossidabili duplex, 376
- 377 13.11 Ghise  
Reazione eutettica nelle ghise, 377 – Reazione eutettoidica nelle ghise, 378
- 383 **CASE STUDY: La scelta dei materiali per gli autoveicoli FIAT**
- 391 **Riassunto**
- 392 **Problemi**
- 396 **Problemi di progettazione**
- 397 **Problemi di programmazione**

**399 Capitolo quattordicesimo • Leghe non ferrose**

- 400 14.1 Leghe di alluminio  
Proprietà generali e impieghi dell'alluminio, 400 – Designazione, 401 – Leghe per lavorazione plastica, 404 – Leghe da fonderia, 405
- 408 14.2 Leghe di magnesio e berillio  
Struttura e proprietà, 408
- 409 14.3 Leghe di rame  
Leghe rafforzate per soluzione solida, 410 – Leghe invecchiabili, 411 – Trasformazioni di fase, 412 – Leghe piombo-rame, 412
- 413 14.4 Leghe di nichel e cobalto  
Nichel e monel, 414 – Superleghe, 414 – Rafforzamento per soluzione solida, 414 – Rafforzamento per dispersione di carburi, 415 – Indurimento per precipitazione, 415
- 416 14.5 Leghe di titanio  
Titanio commercialmente puro, 418 – Leghe di titanio  $\beta$ , 419 – Leghe di titanio  $\alpha$ - $\beta$ , 419
- 423 14.6 Metalli refrattari e preziosi  
Ossidazione, 424 – Caratteristiche di formatura, 424 – Leghe, 424 – Metalli preziosi, 424
- 425 **Riassunto**
- 426 **Problemi**
- 430 **Problemi di progettazione**

**431 Capitolo quindicesimo • Corrosione e usura**

- 431 15.1 Corrosione chimica  
Attacco dei metalli liquidi, 432 – Lisciviazione selettiva, 432 – Dissoluzione e ossidazione della ceramica, 433 – Attacco chimico ai polimeri, 433
- 433 15.2 Corrosione elettrochimica  
Reazione anodica, 434 – Reazione catodica nell'elettrodeposizione, 435 – Reazioni catodiche nella corrosione, 435
- 436 15.3 Potenziale di elettrodo nelle celle elettrolitiche  
Potenziale di elettrodo, 437 – Forze elettromotrici, 437 – Effetto della concentrazione sul potenziale di elettrodo, 438 – Velocità di corrosione o placcatura, 439
- 441 15.4 Corrente di corrosione e polarizzazione  
Polarizzazione di attivazione, 441 – Polarizzazione di concentrazione, 442 – Polarizzazione di resistenza, 442
- 442 15.5 Tipi di corrosione elettrochimica  
Celle di composizione, 442 – Celle di tensione, 444 – Celle di concentrazione, 445 – Corrosione microbica, 447
- 448 15.6 Protezione dalla corrosione elettrochimica  
Protezione, 448 – Rivestimenti, 449 – Inibitori, 450 – Protezione catodica, 450 – Passivazione o protezione anodica, 451 – Scelta e trattamento dei materiali, 451
- 454 15.7 Usura ed erosione  
Usura adesiva, 454 – Usura abrasiva, 455 – Erosione liquida, 456
- 457 **Riassunto**
- 458 **Problemi**
- 460 **Problemi di progettazione**
- 460 **Problemi di programmazione**

- A01* **Appendice A • Proprietà fisiche dei metalli**
- A05* **Appendice B • Raggio atomico e ionico degli elementi**
- A07* **Appendice C • Tabelle di conversione**
- A09* **Risposte ai problemi**
- A15* **Glossario**
- A43* **Indice analitico**