

新塑性加工技術シリーズ 2

金 属 材 料

—— 加工技術者のための金属学の基礎と応用 ——

日本塑性加工学会 編

コロナ社

■ 新塑性加工技術シリーズ出版部会

部会長	浅川基男	(早稲田大学名誉教授)
副部会長	石川孝司	(名古屋大学名誉教授, 中部大学)
副部会長	小川茂	(新日鉄住金エンジニアリング株式会社顧問)
幹事	瀧澤英男	(日本工業大学)
幹事	鳥塚史郎	(兵庫県立大学)
顧問	真鍋健一	(首都大学東京)
委員	宇都宮裕	(大阪大学)
委員	高橋進	(日本大学)
委員	中哲夫	(徳島工業短期大学)
委員	村田良美	(明治大学)

(所属は2016年5月現在)

刊行のことば

ものづくりの重要な基盤である塑性加工技術は、わが国ではいまや成熟し、新たな展開への時代を迎えている。

当学会編の「塑性加工技術シリーズ」全19巻は1990年に刊行され、わが国で初めて塑性加工の全分野を網羅し体系立てられたシリーズの専門書として、好評を博してきた。しかし、塑性加工の基礎は変わらないまでも、この四半世紀の間、周辺技術の発展に伴い塑性加工技術も進歩を遂げ、内容の見直しが必要となってきた。そこで、当学会では2014年より新塑性加工技術シリーズ出版部会を立ち上げ、本学会の会員を中心とした各分野の専門家からなる専門出版部会で本シリーズの改編に取り組むことになった。改編にあたって、各巻とも基本的には旧シリーズの特長を引き継ぎ、その後の発展と最新データを盛り込む方針としている。

新シリーズが、塑性加工とその関連分野に携わる技術者・研究者に、旧シリーズにも増して有益な技術書として活用されることを念じている。

2016年4月

日本塑性加工学会 第51期会長 真鍋健一

(首都大学東京教授 工博)

■ 「金属材料」 専門部会

部 会 長 瀬 沼 武 秀 (岡山大学特任教授)

■ 執筆者

瀬 沼 武 秀 (岡山大学特任教授) 全章

樋 渡 俊 二 (新日鐵住金株式会社) 2.5.4 項

菊 池 正 夫 (元九州大学) 7.1, 8.6 節

(2016年9月現在, 執筆順)

小豆島	明	関 口 秀 夫
池 田	孜	富 塚 功
池 田 貢 基		鳥 阪 泰 憲
大 内 清 行		町 田 輝 史
川 井 謙 一		宮 川 松 男
小 林 勝 勝		若 井 史 博
佐 藤 廣 士		(五十音順)

まえがき

本書は、新塑性加工技術シリーズの1冊として執筆され、その役割は加工技術者に役に立つ金属学の知識を提供することにある。本シリーズの中に『プラスチックの加工と技術』があり、そこでプラスチック材料ならびにCFRPなどの複合材料について詳しく扱われるので、本書では金属材料に焦点を絞る。また、最近では塑性加工が可能なセラミックスも開発されているが、用途も限定的なので、本書では取り扱わないことにした。

加工技術者と材料の関わりは二つに大別できる。一つは塑性加工を加えることで素材に必要な特性を与える、材質作り込みに関するものと、もう一つは提供された素材を塑性加工することで必要な形状の製品を製造することである。前者の塑性加工技術者の代表が圧延技術者であり、後者の代表がプレス成形や鍛造に携わる技術者である。これらの加工技術者は、高度な制御技術やシミュレーションを駆使して高品質・高精度な素材ならびに複雑形状の部品の製造を実現しており、日本の世界に誇るモノづくり技術を支える存在となっている。

一方、材質予測制御技術や超高強度材料の成形技術などの最近の技術の動向を見ると、塑性加工技術と材料技術の融合が今後の塑性加工技術の発展に不可避であることがわかる。すなわち、材料のことを熟知することで加工技術者としての幅が大きく広がり、ますます高度化する技術開発への対応力が強化されることになる。具体例を挙げれば、材料の変形抵抗の本質を知ることで圧延技術者は板厚精度の向上を果たすことができ、また、材料の知識を持つ成形技術者なら、最近注目されているホットスタンピング技術で課題となっている生産性の向上も本書で後述するように適切な解決策を提案できると推察される。

本書は、これからの塑性加工技術者に備えてもらいたいと思う金属材料の知識を集約したものである。また、現場の技術者だけでなく、機械系の学生が社会に出て創造的な仕事ができる生きた材料知識を身につけられるようにも構成した。

1章では、材料の基礎として変形機構、組織とその形成機構について述べ、2章では、強化機構と変形抵抗について言及した。3章では、材料の成形性を、そして4章では、破壊を取り扱う。5章では、材料の（加工）熱処理と称し、熱処理による組織材質の変化について述べる。6章では、材料の評価方法を概説する。本書は金属材料の中で最も多様性のある鉄鋼材料を主体に取り扱うが、7章では、アルミ、チタン、マグネシウムなどの非鉄金属材料について述べる。8章では、加工技術者が最も頻繁に取り扱う鉄鋼材料に関して、材料開発の動向を紹介する。最後の9章では、最初に述べた塑性加工技術と材料技術の融合によって生まれた、組織材質予測制御技術とホットスタンピング技術をトピックスとして紹介する。

2016年9月

「金属材料」専門部会長 瀬沼 武秀

目 次

1. 金属材料の基礎

1.1 結 晶 構 造	1
1.2 結晶の幾何学	2
1.2.1 格子点の表現	3
1.2.2 結晶面と結晶方向の表示	4
1.2.3 結晶方位解析	5
1.3 結 晶 の 欠 陥	7
1.3.1 点 欠 陥	8
1.3.2 線 欠 陥	8
1.3.3 面 欠 陥	9
1.4 変 形 機 構	11
1.4.1 すべり変形	11
1.4.2 双晶変形	14
1.4.3 粒界すべり	15
1.4.4 変形組織	16
1.5 状 態 図	17
1.6 拡 散	21
1.6.1 フィックの法則	22
1.6.2 高速拡散	22
1.7 相 変 態	23

1.7.1	核生成・成長型の拡散変態	23
1.7.2	純金属の変態	26
1.7.3	鋼の変態	26
1.8	析出	32
1.9	回復・再結晶・粒成長	35
	引用・参考文献	42

2. 材料の強度

2.1	強度とは	43
2.2	強化機構	43
2.2.1	固溶強化	44
2.2.2	析出強化	45
2.2.3	粒界強化	46
2.2.4	転位強化	46
2.2.5	変態強化	46
2.3	応力-ひずみ曲線	47
2.4	高温強度	50
2.5	鉄鋼材料の変形抵抗の定式化	52
2.5.1	熱間加工の変形抵抗	53
2.5.2	冷間加工の変形抵抗	58
2.5.3	組合せ応力下の変形抵抗	60
2.5.4	塑性加工のコンピュータシミュレーションにおける材料の取扱い	63
2.6	高強度化の材料開発	67
	引用・参考文献	68

3. 成形性と材料支配因子

3.1	塑性加工における成形限界	70
-----	--------------	----

3.2 成形性に及ぼす材料の影響	73
3.2.1 張出し性	74
3.2.2 深絞り性	75
3.2.3 伸びフランジ性と曲げ性	76
3.2.4 せん断加工性	77
3.2.5 成形性に及ぼす温度、ひずみ速度の影響	78
引用・参考文献	80

4. 破壊と材料支配因子

4.1 延性破壊	81
4.1.1 延性破壊の機構	81
4.1.2 延性破壊条件式	82
4.2 脆性破壊	83
4.3 疲労破壊	86
4.4 水素脆化と遅れ破壊	91
4.5 応力腐食割れ	93
引用・参考文献	94

5. 材料の（加工）熱処理

5.1 焼なまし（焼鈍）	95
5.1.1 再結晶焼鈍	96
5.1.2 低温焼なまし	96
5.1.3 二相域焼鈍	98
5.1.4 球状化焼鈍	98
5.2 焼入れ・焼戻し	98
5.3 時効処理と塗装焼付け	101
5.3.1 析出処理	102

5.3.2	ひずみ時効と塗装焼付け処理 (BH 処理)	103
5.4	焼ならし	105
5.5	表面硬化処理	105
5.5.1	浸炭, 窒化	105
5.5.2	高周波加熱処理	106
5.5.3	レーザー処理	107
5.5.4	ショットピーニング	108
5.5.5	PVD, CVD	108
5.6	組織微細化のための加工熱処理	109
5.7	オースフォーミング	111
5.8	焼戻し温間鍛造	113
	引用・参考文献	113

6. 材料の評価

6.1	組織観察	115
6.1.1	マクロ組織観察	115
6.1.2	光学顕微鏡による組織観察	115
6.1.3	電子顕微鏡による組織観察	116
6.1.4	三次元アトムプローブ	117
6.2	材料試験	118
6.2.1	引張試験	118
6.2.2	圧縮試験	118
6.2.3	張出し試験	119
6.2.4	深絞り試験	120
6.2.5	穴広げ試験	120
6.2.6	曲げ試験	121
6.2.7	ねじり試験	122
6.2.8	衝撃試験	123
6.2.9	硬さ試験	123
6.2.10	疲労試験	124

6.2.11 クリープ試験	125
6.2.12 水素脆化試験	125
6.3 非破壊検査	126
6.3.1 放射線試験	126
6.3.2 超音波探傷試験	126
6.3.3 磁気探傷試験	127
6.3.4 浸透探傷試験	127
引用・参考文献	127

7. おもな非鉄金属材料

7.1 アルミニウムおよびアルミニウム合金	128
7.2 チタンおよびチタン合金	134
7.2.1 α 型チタン合金	137
7.2.2 $\alpha+\beta$ 型チタン合金	137
7.2.3 β 型チタン合金	138
7.2.4 チタンの金属間化合物	139
7.3 マグネシウムおよびマグネシウム合金	143
7.4 銅および銅合金	145
7.4.1 黄銅	147
7.4.2 青銅	148
7.4.3 白銅および洋白・洋銀	149
7.4.4 そのほかの合金銅	149
7.5 ニッケルおよびニッケル合金	150
引用・参考文献	152

8. 高機能材料

8.1 超微細組織銅	153
8.2 超成形性冷延銅板	154

8.3	高機能ハイテン	155
8.3.1	BH 鋼 板	155
8.3.2	DP 鋼	156
8.3.3	TRIP 鋼	157
8.3.4	TWIP 鋼	160
8.3.5	延性-穴広げ性バランスに優れた高強度鋼板	161
8.4	超高強度材料	162
8.4.1	伸線パーライト	162
8.4.2	マルエージング鋼	163
8.5	表面処理鋼板	163
8.6	ステンレス鋼	164
8.6.1	Cr系ステンレス鋼	165
8.6.2	Cr-Ni系ステンレス鋼	167
8.7	超塑性材料	170
	引用・参考文献	172

9. 材料技術のトピックス

9.1	組織材質予測制御技術	173
9.2	ホットスタンピング技術	182
	引用・参考文献	186
索 引		188

本章では、金属材料の基礎として、まずその構造と変形機構について述べる。つぎに、材料に必要特性を付与する組織制御の基礎となる平衡状態図、拡散、変態、析出、回復・再結晶について説明する。

1.1 結晶構造

金属は、金属アモルファスなどの例外を除けば、固体状態で結晶構造を持つ。この構造を維持しているのが金属結合である。金属結合とは、電気陰性度の低い原子が電子を放出して、多数の原子間で電子を共有することで成り立つ結合である。結晶とは、各原子の周りに特定の数の近接原子が配位した、高度の規則的配置をとった構造である。金属の結晶構造としては以下の三つの構造がよく知られている。

最初に、原子が最密な配位を持つ二つの構造について述べる。図 1.1 と図 1.2 がそれらの構造で一つの中心原子の周りに最大 12 個の原子が隣接する。

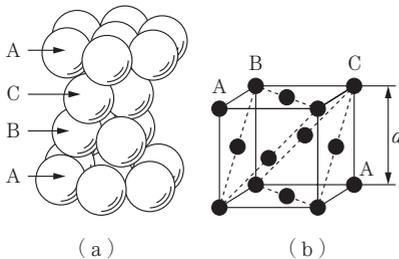


図 1.1 面心立方構造

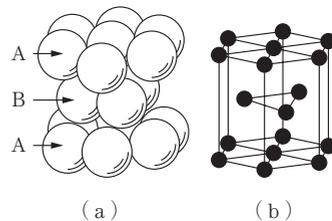


図 1.2 最密六方構造

この図に示すように、上下方向に三層目の原子の隣接状態が異なることで2通りの結晶構造をとる。ABCABC…と重なった結晶構造を持つものを面心立方構造 (fcc) といい、ABAB…と重なった結晶構造を持つものを最密六方構造 (hcp) という。単位格子内で原子が占める割合を原子充填率というが、これらの最密配位では最大0.74である。面心立方構造の格子間距離 a は、原子半径を r とすると、 $4r/\sqrt{2}$ で表される。

もう一つの結晶構造は、体心立方晶 (bcc) と称され、**図 1.3** に示す構造を持つ。この場合は一つの中心原子の周りに8原子が隣接する配位となる単位格子を持ち、原子充填率は最大0.68と低く、格子定数 a は $4r/\sqrt{3}$ で表される。それゆえ、鉄鋼材料の変態のように冷却時に fcc 構造から bcc 構造に変化する場合は体積膨張が起こる。

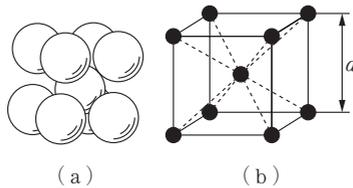


図 1.3 体心立方構造

これらの三つの結晶構造に属する金属の例をつぎに示す。

面心立方構造：Au, Ag, Cu, Al, Ni, Pt, Ir, Rh, Pb, Pd, Ca, β -Co,
 γ -Fe

最密六方構造：Mg, Zn, Cd, Be, α -Co, α -Ti, α -Zr

体心立方構造：Li, K, Na, W, Mo, V, Ta, Nb, α -Fe, δ -Fe, β -Ti,
 β -Zr

Fe, Ti, Zr, Co は結晶構造が温度によって異なる。

1.2 結晶の幾何学

固体結晶内で三次元的に配列した原子の幾何学的関係を示すのに、**図 1.4** の

ような三つの座標軸 x , y , z , それらの間の角度を α , β , γ とすると便利であり, それらを用いて表示すると, すべての固体結晶は表 1.1 に示すように軸長, 軸角の組合せによって 7 種類の結晶系に分類される. この中で金属結晶は立方晶系と六方晶系に属する.

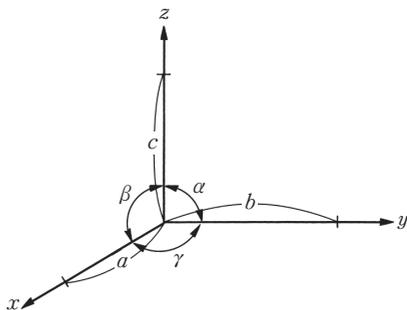


図 1.4 結晶軸と軸角

表 1.1 結晶系の軸長と軸角および結晶学での呼称

結晶系	軸長	軸角	結晶学での呼称
立方晶系	$a=b=c$	$\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$	単純立方, 体心立方, 面心立方
正方晶系	$a=b\neq c$	$\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$	単純正方, 体心正方
斜方晶系	$a\neq b\neq c$	$\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$	単純斜方, 底心斜方, 体心斜方, 面心斜方
三方晶系	$a=b=c$	$\alpha=\beta=\gamma\neq 90^\circ$	単純三方 (菱面体)
六方晶系	$a=b\neq c$	$\alpha=\beta=90^\circ, \gamma=120^\circ$	単純六方
単斜晶系	$a\neq b\neq c$	$\alpha=\gamma=90^\circ\neq\beta$	単純単斜, 底心単斜
三斜晶系	$a\neq b\neq c$	$\alpha\neq\beta\neq\gamma\neq 90^\circ$	単純三斜

1.2.1 格子点の表現

単位格子内の 1 個の原子の位置は, 図 1.5 に示す体心点 P の例に示すように, 三次元座標で示した単位格子の結晶軸上各辺の長さを単位にとった座標点

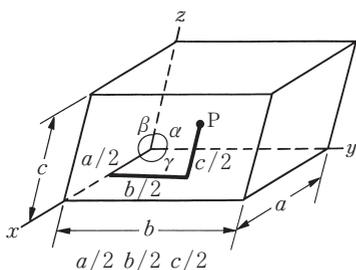


図 1.5 単位格子内体心点の表現

($a/2$ $b/2$ $c/2$) で表すことができる. 面心立方晶では軸角が直角 (直交座標) で, 1 辺の長さが 3 軸で等しいので, 原点は $0\ 0\ 0$, 面心点は $0\ 1/2\ 1/2$, $1/2\ 0\ 1/2$, $1/2\ 1/2\ 0$, $1\ 1/2\ 1/2$, $1/2\ 1\ 1/2$, $1/2\ 1/2\ 1$ で表され, 体心立方晶でも同様に原点は $0\ 0\ 0$, 体心点は $1/2\ 1/2\ 1/2$ となる.

1.2.2 結晶面と結晶方向の表示

すべり変形は、ある特定の結晶面と結晶方向で起こることが知られている。この結晶面と結晶方向のペアですべりが起こる場合、これをすべり系という。すべり系を理解するうえでも、これらの結晶面と結晶方向を一義的に定義する表示法が必要となる。

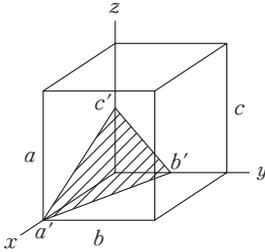


図 1.6 結晶格子面の表示

結晶面は、選択した単位胞に対するミラー指数 (Miller indices) で表すことができる。このミラー指数は、軸長が a , b , c である単位胞について、考えている面と単位胞の各軸との交点 a' , b' , c' が a/h , b/k , c/l で表されるとき、その面を (hkl) で表す (図 1.6)。ここで、交点を持たないときは交点を ∞ とする。

また、 hkl が分数のときは最小の整数で表す。一方、負の方向で交わるときは数字の上にバーを付ける。また、立方晶の場合、 $a=b=c$ であるので (100) , (010) , $(00\bar{1})$ などは等価である。これらをまとめて $\{100\}$ と表す。ほかの対称性の高い結晶系に属する結晶のミラー指数も同様の考え方で表記する。

図 1.7 に立方晶系格子の主要面のミラー指数を示す。

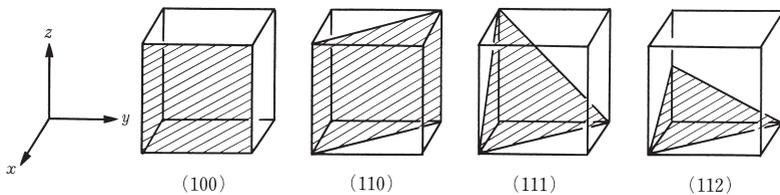


図 1.7 立方晶の結晶面のミラー指数表示例

格子点の表現で示したように、任意の点 R は単位格子の軸長 a , b , c を用いて $R(ua, vb, wc)$ で表すことができる。すなわち、原点よりこの点に向かうベクトルは基本ベクトル (a 軸, b 軸, c 軸) に対して、 $R=ua+vb+wc$ となる。このベクトルの方向を $[uvw]$ と表示し、 u , v , w は共通な約数を持たない最小の整数とする。すなわち、 $[0.5\ 0.5\ 1]$ は $[112]$ と表す。図 1.8 に方向

の表示の例を示すが、この結晶の格子が正方晶に属するとすれば、この結晶を 90° 回転しても、元の結晶と区別がつかない。このようなとき、 $[100]$ と $[010]$ をまとめて表したいときがあるが、その場合は $\langle 100 \rangle$ と数値の大きな順序で表す。また、考えている方向がいくつかの軸のマイナス方向に沿って存在するときは $[\bar{1}\bar{1}\bar{2}]$ のように数字の上にバーをつけて表す。

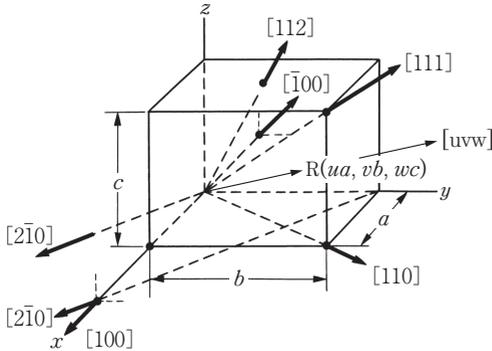


図 1.8 結晶方向の三次元直交座標の表示例

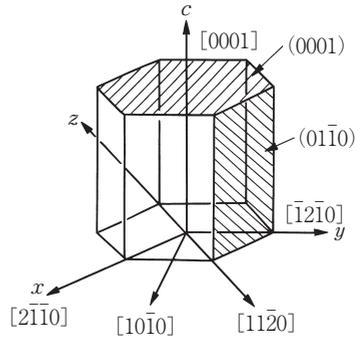


図 1.9 六方晶における結晶方向と結晶面の表示例

六方晶では、六角柱単位格子の底面で三つの軸をとり、高さ方向の c 軸と合わせて格子面を (h, k, i, l) のように表すが、 $i = -(h+k)$ の関係が成り立つ。六方晶における結晶方向および結晶面のいくつかの例を図 1.9 に示す。

1.2.3 結晶方位解析

後述するが、それぞれの結晶構造により、すべりやすい面と方向（すべり系）があるために、力の加わる方向で結晶の変形挙動が異なる。工業用材料は一般に多結晶であるので、どのような方位の結晶がどの程度存在するのかを知ることが材料の変形挙動を推測するのに必要となる。多結晶体の各結晶の方位を求める方法として各結晶粒に電子線を当て、反射電子の回折パターンから結晶方位を求める EBSD (electron back scatter diffraction patterns) が知られている。この手法は図 1.10 に示すように組織画像に示されている結晶の方位を求めることができるため、組織と結晶方位の関係を検討するのに有効である。

索引

【あ】	下部ベイナイト	29	サブグレイン構造	35		
圧延集合組織	38	【き】	サブゼロ処理	31		
穴広げ比	120	犠牲防食	163	残留オーステナイト	31	
アルミニウム	128	逆極点図	7	【し】		
アルミニウム合金	130	球状化焼鈍	98	磁気探傷試験	127	
【い】	強度-穴広げ性バランス	73	自然時効	103		
イオンプレーティング	108	強度-延性バランス	73	磁粉探傷法	127	
インコネル	151	金属結合	1	自由エネルギー曲線	18	
【え】	【く】	クリープ	51	集合組織	6	
鋭敏化	169	クリープ試験	125	シュミットファクター	13	
液圧バルジ試験	120	グレージング	107	準動的再結晶	175	
延性-脆性遷移温度	84	【け】	形状記憶・超弾性合金	139	シオア硬さ	124
延性破壊	81	結晶構造	1	上昇運動	13	
エンタルピー	17	結晶方向	4	状態図	17	
エントロピー	17	結晶面	4	蒸着法	108	
【お】	限界絞り比	120	焼鈍	95	焼鈍双晶	10
黄銅	147	限界張出し高さ	119	上部ベイナイト	29	
応力腐食割れ	93, 148, 169	原子空孔	8	ショットピーニング	108	
オキサイトメタラジー	28	【こ】	ジョミニー試験	30	浸透探傷試験	127
遅れ破壊	91	交差すべり	13	侵入型固溶原子	8	
オストワルド成長	46	格子間不純物原子	8	【す】		
オートテンパリング	31, 99	高周波加熱処理	106	水素脆化	91	
オレンジピール	72, 96	固相拡散接合	142	ステレオ投影法	6	
オロワン機構	45	古典的核生成理論	24	ステンレス鋼	164	
【か】	固溶強化	44	ストレッチャー	ストレイン	103, 155	
回復	35	【さ】	スパッタリング	108		
拡散	21	再結晶	35	スピノーダル分解	32	
拡散クリープ	52	再結晶集合組織	38	すべり系	4	
拡散係数	22	再結晶焼鈍	96	すべり変形	12	
拡散速度	8	最密六方構造	2	【せ】		
拡散変態	23	材料パラメータ	64	制御圧延	28	
加工誘起マルテンサイト	157			成形限界曲線	72	
カッティング機構	45					

整合界面	32	点欠陥	8	【ふ】	
脆性破壊	83			フィックの第一法則	22
静的再結晶	173	【と】		フィックの第二法則	22
青銅	148	銅	145	フェライト	27
析出	32	銅合金	146	フェライト変態	27
析出強化	45	動的回復	10, 39	深紋り性	75
積層欠陥	9	動的再結晶	10, 39, 173	部分整合界面	32
積層欠陥エネルギー	10	動的ひずみ時効	59	プラズマ CVD 法	109
セル構造	35	塗装焼付け	103	フランクリード機構	13
線欠陥	8			ブリネル硬さ	124
せん断帯	16	【な】		【へ】	
【そ】		中島法	72	ベイナイト	29
相界面析出	161	【に】		ベイナイト変態	29
双晶	9	ニクロム	151	変形集合組織	38
双晶境界	9	二相域焼鈍	98	変形双晶	10
双晶変形	14	ニッケル	150	変形帯	16
相変態	23	ニッケル合金	150	ペンシルグライド	12
組織材質予測技術	173	【の】		変態強化	46
【た】		伸びフランジ性	76	変態発熱	176
対応粒界	10	【は】		【ほ】	
体拡散	22	パイエルス力	11	放射線試験	126
体心立方晶	2	パイプ拡散	22	ホットスタンピング	173
【ち】		バウシinger効果	65	【ま】	
置換不純物原子	8	バーガースベクトル	9	マグネシウム	143
チタン	134	白銅	149	マグネシウム合金	143
チタン合金	135	刃状転位	8	曲げ性	76
中 Mn 残留		ハステロイ	151	摩擦攪拌接合	142
オーステナイト鋼	159	パーマロイ	151	摩擦攪拌溶接	133
超音波探傷試験	126	パーライト	28	マルエージング鋼	163
超成形性冷延鋼板	154	パーライト変態	28	マルテンサイト変態	30
超塑性	170	張出し性	74	【み】	
超塑性変形	15	バルジング機構	39	ミラー指数	4
超微細組織鋼	153	【ひ】		【む】	
【て】		ひずみ時効	103	無拡散変態	23
低温焼なまし	96	非整合界面	32	【め】	
低炭素残留		ピッカース硬さ	124	面欠陥	9
オーステナイト鋼	157	非破壊検査	126	面心立方構造	2
てこの法則	18	表面処理鋼板	163		
デラミネーション	162	疲労限	88		
転位	8	疲労破壊	86		
転位強化	46				
転位クリープ	52				

	【や】	溶体化処理	45	粒 界	9
		洋 白	149	粒界拡散	22
焼入れ	98			粒界強化	46
焼入れ性	30	【ら】		粒界すべり	15
焼なまし	95	ラ ス	29		
焼ならし	105	ラス状マルテンサイト	31	【れ】	
焼戻し	99	らせん転位	8	レンズ状マルテンサイト	32
		ラメラ間隔	28		
		ランダム粒界	11	【ろ】	
溶解度積	34			ロックウエル硬さ	124
陽極酸化	133	【り】			
洋 銀	149	リジング	166		

	【α】	CVD	109	【Q】	
$\alpha + \beta$ 型チタン合金	137			Q & P	159
α 型チタン合金	137	【D】			
		DP 鋼	156	【S】	
【β】				S-N線図	88
β 型チタン合金	138	【E】			
		EBSD	5	【T】	
【B】				TRIP 鋼	157
BH 鋼板	155	【I】		TTT	19
BH 処理	103	IF 鋼板	154	TWIP 鋼	14
		【P】			
【C】		PVD	108		
CCT	19				

金属材料——加工技術者のための金属学の基礎と応用——

Metallic Materials

- Fundament and Application of Materials Science for Mechanical Engineers -

© 一般社団法人 日本塑性加工学会 2016

2016年11月11日 初版第1刷発行

検印省略

編 者 一般社団法人
日本塑性加工学会
東京都港区芝大門1-3-11
Y・S・Kビル4F

発行者 株式会社 コロナ社
代表者 牛来真也

印刷所 萩原印刷株式会社

112-0011 東京都文京区千石 4-46-10

発行所 株式会社 コロナ社

CORONA PUBLISHING CO., LTD.

Tokyo Japan

振替 00140-8-14844・電話 (03) 3941-3131 (代)

ホームページ <http://www.coronasha.co.jp>

ISBN 978-4-339-04376-1 (松岡) (製本: 愛千製本所)

Printed in Japan



本書のコピー、スキャン、デジタル化等の無断複製・転載は著作権法上での例外を除き禁じられております。購入者以外の第三者による本書の電子データ化及び電子書籍化は、いかなる場合も認めておりません。

落丁・乱丁本はお取替えいたします