

まえがき

多くの工業製品および美術・工芸品が鋳造，溶接，溶断，溶射，射出成形など物質の熔融現象を利用した加工法により製作されている。したがってよりよい製品を開発，製造するためにはこれらの加工法を十分に理解し，発展させることが必要である。

本書はこれらの加工法にとって最も重要な現象は**熔融と凝固**であるという観点から，これらを“**熔融加工法**”と命名し，その原理を極力統一かつ簡潔に記述した大学あるいは工業高専，企業における教科書，入門書である。

熔融加工法という用語は専門的に認められたものではない。しかし，上記のような加工法を限られた時間で個別に学ぶよりは，共通する原理，すなわちおもに熔融と凝固現象を通じて統一的に学ぶほうが効率的であり，新しい加工法への発展にも有利であろう。

しかしながら，限られた紙面で熔融加工法すべてについて記述することは不可能である。本書では第2章で熔融加工法全般に共通する基礎について説明し，第3，4章では熔融加工法のうちでも最も重要な鋳造加工法と溶接加工法について少し詳しく述べ，第5章でその他の熔融加工法について簡単に触れた。さらに詳しく学ばれようとされる読者は巻末の参考文献を参照されたい。

なお本書の執筆に当たり，多くの方々に図面等の資料をいただいた。また多くの優れた教科書や論文を参照した。しかし，紙面の都合で使用，引用できないものが少なくなかったことをおわびするとともにご協力いただいた方々および著者の方々に厚くお礼申し上げます。

昭和 62 年 8 月

著者しるす

目 次

1 溶融加工法の原理と特徴

1.1 溶融加工法の原理	1
1.2 溶融加工法の分類と特徴	3
1.3 溶融加工法の利用例	4
演習問題	6

2 溶融加工法の基礎

2.1 溶融加工における熱力学と平衡状態図	7
2.1.1 相変化と相平衡	7
2.1.2 平衡状態図	10
2.1.3 界面エネルギー	13
2.2 金属の溶解	16
2.2.1 溶解現象	16
2.2.2 種々の溶解熱源	17
2.2.3 溶解におけるガス吸収と化学反応	26
2.2.4 蒸 発	32
2.3 金属の凝固	33
2.3.1 凝固組織	34
2.3.2 核生成と結晶成長	35
2.3.3 固液界面の安定性とデンドライト凝固	39
2.3.4 ミクロ偏析	45
2.3.5 多相凝固	46
2.3.6 凝固形態とマクロ凝固組織の形成機構	48

2.3.7 凝固欠陥	51
2.4 固相変態と熱処理	58
2.4.1 固相変態	58
2.4.2 析出硬化処理	59
2.4.3 鋼の熱処理	61
2.5 伝熱および凝固解析	65
2.5.1 溶接における熱伝導	66
2.5.2 純金属の凝固熱伝導解析	69
2.5.3 凝固の数値解析	73
2.6 溶融加工における変形と応力	78
2.6.1 熱応力と変形、き裂	78
2.6.2 非弾性挙動と残留応力	84
2.6.3 応力解析	91
演習問題	91

3 鑄造加工法

3.1 鑄造加工法の概要	93
3.1.1 原理	93
3.1.2 鑄造加工法の工程	94
3.1.3 鑄造加工法の分類	95
3.2 模型	96
3.2.1 模型の種類	96
3.2.2 模型用材料	97
3.2.3 模型の製作法	97
3.3 砂型鑄造法	99
3.3.1 砂型の分類	99
3.3.2 鑄型内現象と砂型の性質	100
3.3.3 鑄物砂	103
3.3.4 生型鑄造法	104
3.3.5 生型以外の砂型鑄造法	110
3.4 金型および特殊鑄造法	114

3.4.1	重力金型鑄造法	114
3.4.2	低圧鑄造法	117
3.4.3	ダイカスト法	118
3.4.4	遠心鑄造法	123
3.4.5	セラミックモールド法（精密鑄造法）	124
3.5	溶融および注湯	128
3.5.1	キューボラ溶解	128
3.5.2	誘導電気炉溶解	132
3.5.3	アーク炉溶解	134
3.5.4	その他の溶解法	135
3.5.5	注湯設備	137
3.6	鑄造方案（鑄造生産設計）	138
3.6.1	鑄型および模型材料，鑄造方法の決定	138
3.6.2	鑄型構造の検討	139
3.6.3	凝固設計	140
3.6.4	湯口設計（流動設計）	145
3.7	鑄造品の設計	150
3.7.1	鑄造品設計の特徴と手順	150
3.7.2	材質および鑄造法の選定	153
3.7.3	設計基準	155
3.7.4	強度設計	155
3.7.5	鑄造加工のための配慮	158
3.7.6	機械加工のための配慮	159
	演習問題	160

4 溶接加工法

4.1	溶接加工法の原理	161
4.2	各種溶接加工法	163
4.2.1	圧接法	163
4.2.2	融接法	167
4.2.3	ろう接法	179
4.3	溶接部の性質	181

4.3.1	溶接部の構成	181
4.3.2	溶接部の硬さ	184
4.3.3	溶接部の機械的性質	186
4.3.4	溶接部に生じる割れ	187
4.3.5	溶接部の脆性破壊	189
4.3.6	溶接部の疲労破壊	195
4.3.7	溶接部のクリープ破壊	197
4.3.8	溶接部の腐食と応力腐食割れ	198
4.4	溶 接 設 計	200
4.4.1	溶接設計の基本的な考え方	200
4.4.2	溶接構造用材料と溶接方法の選定	202
4.4.3	溶接継手の基礎事項	204
4.4.4	溶接継手における応力計算の基本	206
4.4.5	溶接継手における許容応力の設定	208
4.5	溶 接 施 工	209
4.5.1	溶接施工条件の設定	209
4.5.2	溶接施工方法	210
4.5.3	溶接施工管理	216
	演 習 問 題	217

5

その他の溶融加工法

5.1	連 続 鋳 造 法	119
5.1.1	鋼の連続鋳造法	119
5.1.2	鋳鉄および銅合金の連続鋳造法	221
5.1.3	アルミニウム合金の半連続鋳造法	222
5.1.4	ストリップ連続鋳造法	223
5.1.5	非鉄金属線材の連続鋳造法	224
5.2	切断および表面加工法	225
5.2.1	切断および穴あけ加工	225
5.2.2	表面除去加工	229
5.2.3	溶射, スプレー成形法	230
5.2.4	肉盛溶接, 表面改質法	232
5.3	その他の方法	233

5.3.1 溶 造 法	233
5.3.2 単結晶の製造法	234
5.3.3 急冷凝固法	235
5.3.4 半熔融加工法	237
5.3.5 プラスチックの射出成形	237
演 習 問 題	239

参 考 文 献

演習問題の解答

索 引

I

溶融加工法の原理と特徴

1.1 溶融加工法の原理

金属，セラミックス，プラスチックなど多くの物質は，温度の上昇とともに溶解し液相となる．さらに昇温すると沸騰，蒸発し気相（蒸気）となる．液相，気相は容易に流動し，狭い複雑な空間をも充満する．また，液相に他の固相，液相，気相を混入させることは容易であり，液相と固相の親和力は大きい場合が多い．

冷却により蒸気は凝縮し液相になり，液相は凝固してまた固相に戻る．しかし，溶解・凝固条件によって得られる固相の性質は溶解前のものとは異なっている．

固体を溶解し，液相，気相とし，液相，気相の性質や凝固現象をおもに利用して所要の機能を満足する製品を得る方法が溶融加工法（fusion and solidification/removal processings）である[†]．

[†] 本書の書名，内容を決定（1980.10.12）後，田村博氏は“溶融加工（melting and fusion processing）”という優れた教科書を出版され，溶融加工法を「溶融あるいはそれに近い高温状態を効果的に利用して材料を成形したり結合したりする加工法」と定義され，粉末冶金も含めておられる^{††}．一般的に認められた溶融加工法の定義はないようであり，本書では溶融と凝固を重視し，拡散接合を利用した粉末冶金は除外した．また“溶融”と“溶解”はほぼ同意語であるが，前者は melting and fusion，すなわち，溶解に融合，接合のニュアンスを持つものとして使用している．

^{††} 肩付き数字は巻末の文献番号を示す．

図 1.1 は本加工法の工程を示したものである。まず、前処理工程では原材料、素材の切断、配合、洗浄など溶解する前に必要な処理を行う。つぎにコークス、ガスなどの熱エネルギー、アーク、高周波、電子ビームなどの電気エネルギー、レーザなどの光エネルギーなど、種々のエネルギーにより素材を加熱し、溶解する。

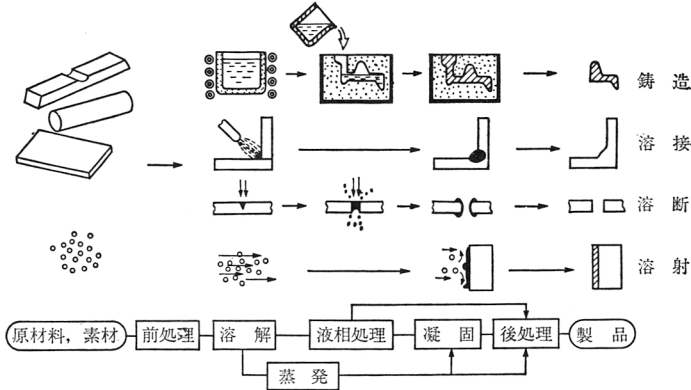


図 1.1 溶融加工法の原理と工程

つぎの液相処理工程では必要に応じて、溶解により得られた液相に他の物質を添加したり、外力を作用させたりする。前者は素材の性質を変化させるため、後者は電磁力などの外力のほか、液相の移動、輸送を含むものである。すなわち、鑄造加工では液相（溶湯）を鑄型に注ぎ込み（注湯）、溶接加工では液相（溶滴）を接合部に充填する。溶断加工では液相を除去し、溶射加工では滴状の液相を高速で被処理材表面に投射する。また、除去加工や蒸着加工などでは溶解後さらに昇温し、液相を蒸発させる。

凝固工程では液相、蒸気は冷却され、凝固し固相となる。鑄造や溶接、溶射などでは凝固した液相自体が製品を構成する、あるいは接着材となる重要な役割を持っている。溶断などでは液相は除去できずに残存して、その凝固した部分が品質不良の原因となることがある。

凝固後、製品部分は熱処理、仕上加工、検査などの後処理工程を経て、溶融加工製品として出荷あるいはつぎの工程へ移される。

1.2 溶融加工法の分類と特徴

溶融加工法は溶融・凝固加工法 (fusion and solidification processing) と溶融・除去加工 (fusion and removal processing) に大別される (図 1.2 参照)。

前者は溶融液相を利用するもので、後者は不要部分を溶融あるいは蒸発させ除去するものである。

溶融・凝固加工法は鑄造加工法のように、溶融液相を所定の形状の空間 (鑄型) 内に注ぎ込み所定の形状と材質の製品を得る成形加工法、溶接加工法のように液相を接着材として利用する接合加工法、固体表面で液相あるいは蒸気を凝固させ表面の性質や形状を変化させる表面加工法に分類される。

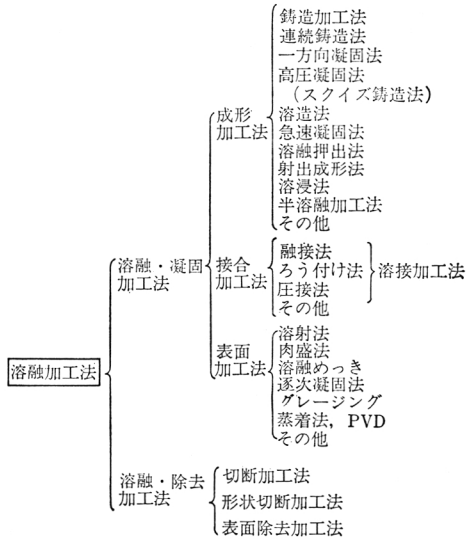


図 1.2 溶融加工法の分類

溶融・除去加工法は単なる切断加工, 円孔, スリットなどの形状切断加工, 表面層を除去し所定の形状とする表面除去加工法などに分類される。

これらの溶融加工法のうち、工業的に特によく利用されているものは鑄造加工法と溶接加工法であり、表 1.1 に他の加工法と比較してその特徴を示した。

溶融加工法の特徴としては、形状、寸法、材質にあまり制限なく種々の製品ができることや、素材とまったく異なった優れた材質のものが製造可能という利点と、寸法精度や材質のばらつきが切削加工や塑性加工より劣るという欠点が挙げられる。

このような溶融加工法の利点を生かして、日常生活用品、美術工芸品から、

表 1.1 代表的溶融加工法と他の加工法の比較

加工法		長 所	短 所
溶融加工法	鋳造加工法	<ul style="list-style-type: none"> ・複雑で滑らかな形状の製品ができる. ・寸法, 重量に制限が少ない. ・ほとんどの金属に適用可能. ・1個から多量生産まで可能. ・材料の再生利用可能. 	<ul style="list-style-type: none"> ・寸法精度, 強度のばらつき大. ・均一肉厚の製品は比較的製造困難. ・工程数が多い.
	溶接加工法	<ul style="list-style-type: none"> ・設計上の制限が少なく複雑形状, 大形構造物も特殊な設備なしに製造可能. ・継手効率が高く, 強度を高めることができる. 軽量化可能. ・肉厚の制限なし. ・異種材質の組合せ可能. ・自動化, 高速化が可能. 	<ul style="list-style-type: none"> ・複雑で滑らかな形状の製品は高価. ・部分的な熱履歴, 熱影響による材質変化, 欠陥を伴うことがある. ・手溶接の場合の信頼性は作業者の技術に影響される. ・応力集中部が生じやすい. ・座屈変形, 振動に難点がある.
	粉末冶金	<ul style="list-style-type: none"> ・高熔点材料, 複合材料の製品可. ・生産性, 歩どまり高い. ・寸法精度高い. ・最終製品に近い製品が可能. 	<ul style="list-style-type: none"> ・形状・寸法に制限あり. ・少量生産では高価. ・原料粉末のコストが比較的高い.
	塑性加工	<ul style="list-style-type: none"> ・機械的信頼性高い. ・多量生産で生産性高い. ・寸法精度比較的高い. 	<ul style="list-style-type: none"> ・加工設備が高価. ・形状, 材質, 寸法に制限あり.
	切削加工	<ul style="list-style-type: none"> ・寸法精度高い. ・単純形状での工程少ない. 	<ul style="list-style-type: none"> ・複雑形状品は高価. ・寸法, 材質に制限あり.

宇宙航空機産業, 電子産業, 原子力産業用などの最先端の分野のものに至るまで, 多くの製品が本方法により加工, 製造されている.

1.3 溶融加工法の利用例

例えば図 1.3 は, 乗用車の製造で採用されている種々の溶融加工法を示している. 図 1.4 はそのうちのひとつで砂型鋳造法で製作されたシリンダブロックである. 図 1.5 (b), (c) は一方向凝固法により製作されたジェットエンジン用タービンブレードであり, それぞれ柱状晶, 単結晶として優れた機械的性質を実現している.

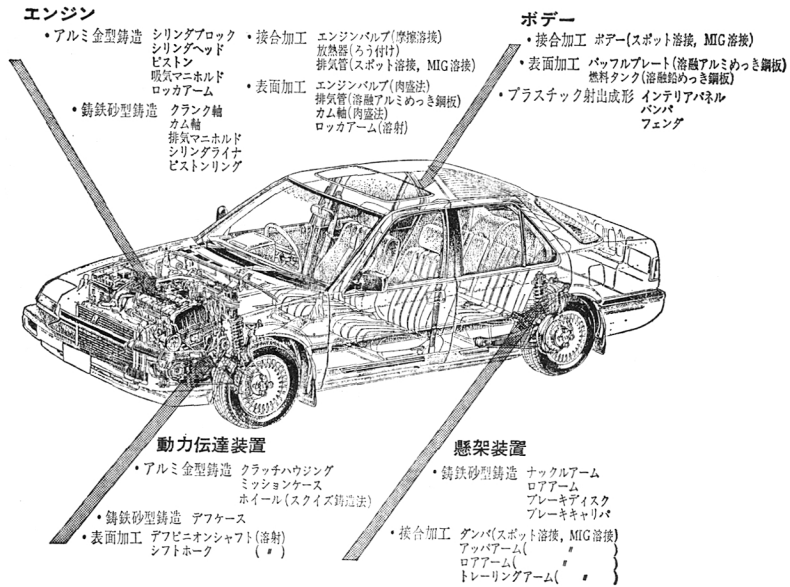
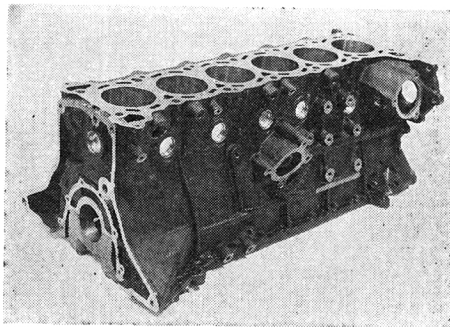
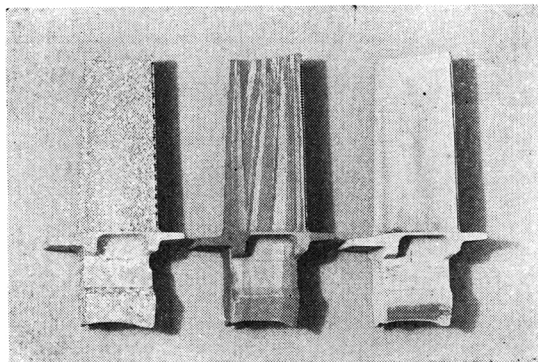


図 1.3 乗用車に利用されている種々の溶融加工法



生型機械造型法, FC 25, 重量 65 kgf,
寸法 250 H × 625 × 365 mm

図 1.4 乗用車用 2000cc 直列 6 気筒エンジンの
シリンダブロック



(a) 多結晶 (b) 柱状晶 (c) 単結晶
ブレード ブレード ブレード

ロストワックス法, Ni 基超合金, 長さ 120mm

図 1.5 ジェットエンジン用タービンブレード

演習問題

〔1〕 溶融加工法の原理と特徴はなにか。また品質に影響を与える重要な物理現象はなにか。

〔2〕 身近にある製品で、溶融加工法を利用したものとその加工法を列挙せよ。

索引

【A】

A 偏析 53
 揚り 94
 アーク 20
 アーク柱 21
 アーク柱電圧降下 21
 アーク溶接法 167
 アーク溶射法 231
 穴あけ加工 228
 アンダカットビード 183
 アノード反応 198
 安定相 10
 アプセット溶接 165
 荒され 100
 洗われ 100
 圧接法 163

【B】

爆発溶接法 166
 爆発溶射法 231
 ベーミング 111
 ベルト・回転輪方式 221
 ビード下割れ 187
 ビード割れ 187
 ボンド 64
 ボンドフラックス 175
 ボンド脆化 187
 部分溶込み溶接 204
 分割面 94
 ブレックアウト 219
 ブリッジマン法 234
 プロスキイズ造型法 109

【C】

CES 溶接 177

【D】

DC 鑄造 222
 ダイカスト法 118
 弾塑性破壊力学 194
 断続溶接 205
 ダルシー流れ 55
 デンドライト 43
 デンドライト凝固 43
 電気抵抗炉 136
 電子ビーム 23
 電子ビーム切断 228
 電子ビーム溶解 136
 電子ビーム溶接法 177
 電磁場鑄造 223
 ディンプル破面 191
 ディンプルパターン 83

【E】

液相率 12
 液相線 10
 液相線温度 10
 エンブリオ 36
 塩基度 30
 塩基性キュボラ 130
 塩基性スラグ 30
 延性破壊 191
 遠心鑄造法 123
 エンタルピー法 75
 塩浴 61
 エレクトロガス溶接 177
 エレクトロスラグ溶接 176
 エルー式アーク炉 134

【F】

FRM 122

ファセット成長 39
 フェライト 13

【G】

G ナンバ 124
 外部特性 169
 ガス気孔欠陥 53
 ガス吸収 26
 ガス抜き 94
 ガス炉 135
 ガス切断 225
 ガス式溶射法 231
 ガスシールド形アーク溶接法 171

ガス溶接法 167
 ガウジング 214
 減圧造型法 112
 ギブスの相律 10
 ギブス・トムソン係数 15
 誤差関数 70

グラビティ溶接 170
 グロブュラー移行 182
 逆偏析 52
 逆極性 174
 逆V偏析 53

凝固殻形成デンドライト凝固 48

凝固殻形成等軸晶凝固 49

凝固形態 48
 凝固欠陥の推定 76
 凝固温度範囲 11

凝固潜熱 8
 凝固組織 34
 凝固収縮孔 54
 凝固定数 71
 凝固時間 72

高速水平サンドミル 107
 固相変態 58
 固相率 12
 固相線 10
 固相線温度 10
 孔食 199
 高周波炉 133, 134
 高周波溶接法 165
 後退法 214
 クボリノフの式 73
 食違い 140
 クレータ割れ 187
 クリーブ 85
 クリーブ強さ 197
 キュボラ溶解 128
 急冷凝固法 235
 吸収エネルギー 192
 局部腐食 198
 強熱減量 106
 共析点 13
 共晶凝固 46
 共晶温度 10
 共晶線 10
 共晶セル 47

【L】

Langmuir の式 32

【M】

マグ溶接 173
 マクロ偏析 51
 マクロ組織 34
 マクロ溶接組織 34
 マランゴニ対流 33
 摩擦圧接法 165
 ミグ溶接 173
 見切面 94
 見切線 94
 ミクロ偏析 45, 51
 ミクロポロシティ 54
 ミクロ組織 34
 ミーセスの降伏条件 85
 溝形低周波誘導炉 134
 水ガラス・CO₂ ガス法 111
 水プラズマ溶射 232

戻り砂 107
 模 型 94
 木製模型 97
 モジュラス 73
 無孔性ダイカスト法 120
 無棒造型機 109

【N】

Neumann の解 70
 ナゲット 164
 ナイフラインアタック 199
 内接円法 145
 中子 93
 中子取り 94
 生 型 95
 生型鑄造法 104
 軟ろう付け 179
 梨実型割れ 187
 ネットダウンコア 142
 粘 土 105
 粘結剤 105
 燃焼ガス加熱 25
 熱風キュボラ 130
 熱膨張 78
 熱 源 66
 熱ひずみ 78
 熱拡散度 71
 熱き裂 116
 熱応力 79
 熱処理 58
 熱的ピンチ効果 22
 肉盛溶接 177, 232
 2次デンドライトアーム間隔 43

伸び尺 98
 のど厚 206
 のど断面 206
 ノンガス溶接 175
 のろかみ 139
 ノーズ 59
 ぬ れ 15
 入熱量 64

【O】

オーバーラップビード 183

遅れ破壊 83
 主 型 93
 温度回復法 75
 応力腐食割れ 89, 200
 応力拡大係数 193
 応力集中 157
 応力除去焼戻し処理 63
 押 湯 140
 —の連成 144
 押湯方程式 143
 押湯ネック 142
 オシレート 177
 オーステナイト 12

【P】

Paris 則 196
 パディング 145
 パーライト 13
 ピアス式電子銃 23
 ビンホール 102
 ピンチ効果 21
 プラズマ 20
 プラズマアーク切断 227
 プラズマアーク溶解法 137
 プラズマ電子ビーム溶解 137
 プラズマ溶接 173, 204
 プラズマ溶射 232
 プロペルチ法 224
 プロジェクション 164
 プロジェクション溶接 164

【R】

ラメラテア 187
 ラプラスの式 14
 ラーソン・ミラーの式 90
 冷風キュボラ 130
 冷間圧接法 163
 連続冷却変態図 63
 連続鑄造法 119
 連続溶接 205
 レーザ 24
 レーザ切断 228
 レーザ溶接法 178
 リバーパタン 191
 臨界核 36

流動性試験 149
 リチャードの法則 9
 ロール式ストリップ連続
 鑄造法 223
 ろう接法 179
 ロストワックス法 125
 ルート割れ 187
 るつば形低周波誘導炉 133
 るつば式ガス炉 136

【S】

ステファン問題 69
 サブマージアーク溶接 174
 サブゼロ処理 64
 最高加熱温度 64
 最高硬さ 185
 再生砂 107
 サイズ 207
 サンドミル 107
 酸性キュボラ 130
 酸性スラグ 30
 酸素吸収反応 29
 差込み 102
 静圧造型法 110
 正偏析 52
 成形加工法 3
 正極性 174
 精密鑄造法 124
 等軸晶の生成 49
 正常偏析 52
 清浄作用 22
 せき 94
 析出硬化 59
 セメントタイト 12
 線爆溶射 232
 線膨張係数 78
 繊維強化金属 122
 線形破壊力学 193
 潜熱 8
 せん溶接 204
 セラミックモールド法 124
 セラミックシエル
 モールド法 125
 セレクトタ 127
 セル 43
 接触角 16

接種 37
 切断トーチ 226
 摂動理論 42
 接合加工法 3
 絞られ 101
 絞り 148
 指向性凝固 141
 シーム溶接 165
 真空アーク再溶解 136
 真空ダイカスト法 120
 真空鑄造法 127
 真空誘導溶解 136
 真の溶接入熱 66
 心線 170
 浸透深さ 19
 湿食 198
 下注ぎ方式 147
 シーズニング 98
 ダブルト式ストリップ
 連続鑄造法 224
 粗大化 44
 相平衡 7
 相変化 7
 側面すみ肉溶接 205
 ソリッドモールド法 126
 双ロール法 235
 単性域 194
 塑性収縮量 192
 組成的過冷 41
 滑り面分離破壊 84
 水分 106
 水平分割方式 110
 水平連続鑄造機 221
 垂下特性 169
 水冷キュボラ 131
 水素掘へき開破面 83
 水素化合物 28
 水素吸収反応 27
 水素粒界破面 83
 垂直分割造型法 110
 スクイズ 108
 スクイズ鑄造法 121
 すくわれ 101
 すみ肉溶接 204
 砂型 93
 砂かみ 106, 139
 砂落ち 139

スポット溶接 164
 スプレー移行 182
 スプレー成形法 232
 スラグ 30
 スラグ・メタル反応 31
 スロット溶接 204
 斜方すみ肉溶接 205
 シャイルの式 46
 射出成形 237
 射出成形法 237
 シュブロンボタン 191
 シェルモールド法 111
 晶芽 36
 衝撃ガス加圧造型法 110
 焼結フラックス 175
 焼成フラックス 175
 消失模型鑄造法 113
 主クリーブ破断曲線 197
 瞬間熱源モデル 67
 収縮変形 81

【T】

TLP法 166
 耐久性鑄型 95
 対称法 214
 単結晶 35
 短絡移行 182
 単ロール法 235
 炭酸ガスアーク溶接 173
 炭素当量 185
 多相凝固 46
 縦曲り変形 82
 低圧鑄造法 117
 定電圧特性 169
 定電流特性 169
 ティグ溶接 173
 抵抗溶接法 164
 低応力脆性破壊 191
 低サイクル疲労 195
 低温割れ 83
 低速低圧ダイカスト法 121
 低周波炉 133
 てこの法則 11
 添加剤 105
 照らされ 101, 139
 テルミット反応 26

千鳥溶接 205
 テルブロック連続鑄造法 224
 テル層 34
 窒素吸収反応 28
 飛ばされ 100
 等価比熱法 75
 透過率 55
 溶込み率 183
 等温変態線図 59
 等温変態処理 61
 トルーションの法則 9
 トウ割れ 187
 等軸晶の生成 49
 等軸晶組織 34
 疲れ強さ 195
 突合せ溶接 204
 つき固め性 106
 通気性 102, 106
 チョクラルスキ法 234
 注湯 93
 注湯設備 137
 鑄造変形 81
 鑄造品設計 150
 鑄造方案 94, 138
 柱状晶組織 34

【U】

上注ぎ方式 147
 羽毛状晶組織 34
 裏当て材 213
 裏砂 105

【V】

V偏析 53

【W】

ワイヤカット放電加工 229
 枠ばらし 94
 割れ感受性組成 188
 ウェルドデイケイ 199
 ウィリアム中子 142

【Y】

焼入れ処理 64
 焼戻し 63
 焼着き 103
 溶断分離 50
 溶解現象 16
 溶解熱源 17
 溶解帯 130
 横膨張量 193
 陽極降下 21
 予熱 214
 予熱範囲 214
 予熱温度 188
 予熱帯 130
 溶接後熱処理 215
 溶接変形 81
 溶接記号 205
 溶接金属 64
 溶接長さ 207
 溶接熱影響部 64
 溶接入熱 22
 真の—— 66
 溶接性 204
 溶接施工法確認試験 210
 溶接施工管理 216
 溶接施工要領書 209
 溶接割れ感受性指数 188
 溶射 230
 溶体化焼なまし 59
 溶着法 213
 溶融・凝固加工法 3
 溶融加工法 1
 溶融効率 66
 溶融境界部 64
 溶湯抽出法 236
 溶融・除去加工法 3
 溶造法 233
 湯だまり部 130
 湯道 94
 誘導電気炉 132
 誘導加熱 18
 湯口 94

湯口比 147
 湯口系 94
 有効範囲 141
 有効粘土量 106
 有効高さ 130, 149
 有効溶接長さ 206
 湯まわり 102
 湯まわり不良 139
 優先方位 43
 融接法 167
 融点 8
 湯受け 94
 湯境 146

【Z】

ざく巢 54
 残留応力 86
 ——の除去 90
 残留オーステナイト 64
 脆性破面率 193
 脆性温度区間 57
 脆性遷移温度 189
 全面腐食 198
 前面すみ肉溶接 205
 前進法 213
 絶対安定 42
 ジーベルトの法則 27
 磁気吹き 22
 実効分配係数 52
 時効 60
 自硬性鑄型鑄造法 110
 韌性 189
 自由蒸発 32
 造型 94
 造型性 106
 蒸発潜熱 8
 ジョルト 108
 ジョルトスクイズ造型法 108
 準安定相 10
 ジュール熱 17
 重力金型鑄造法 114
 重油炉 135

— 著 者 略 歴 —

おお なか いた せい
大 中 逸 雄

1968 年 東京大学大学院工学系研究
科博士課程修了
工学博士
1968 年 大阪大学工学部助手，助教
授
1987 年 大阪大学教授
2004 年 大阪大学名誉教授
2004 年 大阪産業大学客員教授
現在に至る
主な著書 コンピュータ伝熱・凝固解
析入門（丸善），熱機関工
学（朝倉書店），機械工学
便覧（日本機械学会），鋳
物便覧（丸善），鉄鋼便覧
（丸善）

あら き たか せい
荒 木 孝 雄

1969 年 大阪大学大学院工学研究科
博士課程修了
工学博士
1970 年 西ドイツ・ハノーバ工科大
学客員研究員
1972 年 大阪大学工学部助手
1974 年 大阪大学助教授（生産加工
工学科，旧溶接工学科）
1989 年 愛媛大学教授
現在に至る
主な著書 フラクトグラフィとその応
用（日刊工業新聞社），溶
接冶金（溶接学会溶接冶金
研究委員会），溶接部の破
面写真集（黒木出版），溶
接部のミクロ組織写真集
（黒木出版），溶接便覧（丸
善），鉄鋼便覧（丸善）

溶 融 加 工 学

Fusion and Solidification/
Removal Processings

© Ohnaka, Araki 1987

1987 年 9 月 20 日 初版第 1 刷発行
2007 年 11 月 10 日 初版第 12 刷発行

検印省略

著 者 大 中 逸 雄
荒 木 孝 雄
発行者 株式会社 コロナ社
代表者 牛来辰巳
印刷所 富士美術印刷株式会社

発行所 株式会社 コロナ社
CORONA PUBLISHING CO., LTD.
Tokyo Japan

112-0011 東京都文京区千石 4-46-10
電話 (03) 3941-3131 (代) 振替 00140-8-14844

ホームページ <http://www.coronasha.co.jp>

ISBN 978-4-339-04058-6 (平河工業社，染野製本所)
Printed in Japan



無断複写・転載を禁ずる

落丁・乱丁本はお取替いたします