

新塑性加工技術シリーズ 9

# 鍛 造

—— 目指すは高機能ネットシェイプ ——

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)

## ■ 「鍛造」 専門部会

部会長 北村 憲彦 (名古屋工業大学)

副部会長 松本 良 (大阪大学)

## ■ 執筆者

いし かわ たか し 石川孝司 (中部大学) 1, 2, 3章  
いそ がわ きち ひろ 五十川幸宏 (元 大同大学) 4章  
よし だ よし のり 吉田佳典 (岐阜大学) 5章  
ちよう だ たかし 長田卓 (株式会社神戸製鋼所) 5章  
か だ おさむ 加田修 (新日鐵住金株式会社) 5章  
しの きち たろう 篠崎吉太郎 (元 産業技術総合研究所) 6章  
しん どう せつ お 新藤節夫 (元 理研鍛造株式会社) 6章  
まる よう いち 丸茂洋一 (群馬精工株式会社) 6章  
ほごま まさ ひろ 間政博 (トヨタ自動車株式会社) 6, 11章  
たな せ うき ひこ 棚瀬幸彦 (旭サナック株式会社) 7章  
きた ひら かず ひこ 北村憲彦 (名古屋工業大学) 8章  
こ み やま し のぶ 小見山忍 (日本パーカラライジング株式会社) 8章  
いげ だ のぶ ひろ 池田修啓 (大同化学工業株式会社) 8章  
お の むね のり 小野宗憲 (元 大同大学) 9章  
あ べ ゆき お 阿部行雄 (日立金属株式会社) 9章  
す なみ ふ じ お 角南不二夫 (株式会社ヤマナカコーキン) 9章  
むら い えい すけ 村井映介 (株式会社ニチダイ) 9章  
あん どう ひろ ゆき 安藤弘行 (株式会社ケイ&ケイ) 10章  
い 村 たか あき 井村隆昭 (アイダエンジニアリング株式会社) 10章  
かわ もと き いちろう 河本基一郎 (コマツ産機株式会社) 10章  
まつ もと りょう 松本良 (大阪大学) 10章

ふじ かわ しんいちろう  
藤 川 真一郎 (日産自動車株式会社) 12章

きむ すう ぶん  
金 秀 英 (株式会社ヤマナカゴーキン) 12章

執筆協力者

おか だ じゅん いち  
岡 田 淳 一 (群馬精工株式会社) 6章

よし かわ りょう じ  
吉 川 亮 治 (群馬精工株式会社) 6章

(2018年7月現在, 執筆順)

小坂田 宏 造	篠 崎 吉太郎
小 野 宗 憲	高 橋 昭 夫
川 崎 稔 夫	高 橋 裕 男
工 藤 英 明	松 原 茂 夫
坂 口 英 雄	古 澤 貞 良
澤 辺 弘	吉 田 勝 彦

(五十音順)

# まえがき

本書は新塑性加工技術シリーズ『鍛造－目指すは高機能ネットシェイパー』と題して、先の塑性加工技術シリーズ『鍛造－目指すはネットシェイパー』からさらに一步先を睨むことにしたものである。もはや時代の要請は単なる高精度な形を創成する鍛造から脱皮し、高精度で高機能な製品を創出し、ネットプロパティの領域をも目指そうという執筆者一同の気持ちを副題に込めた。

『鍛造』では、生産に鍛造を選択し、順に設計して、製造し、検査するという一連の流れに沿って章立てされていた。これに対して本書では、はじめに鍛造の概要を説明したあとに、鍛造の力学に関する章を配置した。これは、昨今のコンピュータ支援技術（CAE）などを使う技術者が増えていることから、工程検討や型設計段階において多くの力学的な用語が登場するようになり、教科書としては早めに読者が用語に触れるほうが便利だと考えたからである。

つぎに、『鍛造』刊行から約20年の間に進歩した、閉そく鍛造、分流法、温間鍛造などについて実用例を追加しており、これらに関する説明を増やし、最近の板鍛造についても記述した。また、この間に非調質鋼や非鉄金属の使用も増加したので、『鍛造』より記述を増やした。

さらに目覚ましい進歩を遂げたといえるものは、鍛造を支えるつぎの周辺技術である1) CAE技術、2) サーボプレス、3) 環境対応型の潤滑剤である。いまや、コンピュータ支援を前提にしたCAE技術なしで型設計や工程設計は考えられない。また従来の単一モーションのプレス機械は、コンピュータ制御と相性のよいサーボモーターで駆動され、複雑なモーションで動き、精度向上にも一役買っている。一方で、冷間鍛造におけるリン酸塩被膜のない潤滑剤の開

発と実用化は画期的であり、熱間鍛造における非黒鉛化の動向も進んでいる。これらの現状に対しては、今回新しく8, 10, 12章を設け対応した。

このように、執筆者一同は先達が『鍛造』で築いた思いを継承し、さらにこれまでの進歩を加えて、それらを具体的に書き留めた。本書がこれから鍛造に取り組もうとする技術者にとっても道標となり、中堅の技術者にとっては、より合理的な解決案や、より高精度で高機能な鍛造品を生み出すために役立つことを願っている。

最後に、お忙しい中、鍛造分科会の方々はじめ鍛造に関わる多くの方々には、丁寧に本稿を執筆され仕上げていただいたことに感謝申し上げます。また、多くの貴重な図表データや最新の写真などをご提供いただいた企業にも深く感謝申し上げます。あわせて、このような機会をいただいた一般社団法人日本塑性加工学会、ならびに出版の労をお取りいただいた株式会社コロナ社に厚く御礼申し上げます。

2018年8月

「鍛造」専門部会長 北村 憲彦

# 目 次

## 1. 総 論

1.1 「鍛造」とはなにか	1
1.2 いろいろな鍛造法	1
1.2.1 作業温度による分類	1
1.2.2 変形形態による分類	4
1.2.3 変形動態による分類	5
1.2.4 金型形式または運動方式による分類	8
1.2.5 加工用機械形式による分類	10
1.2.6 素材形態による分類	10
1.3 鍛 造 の 役 割	11
1.3.1 鍛 造 の 歴 史	11
1.3.2 今日 の 鍛 造	12
1.4 鍛 造 の 特 徴	17
引用・参考文献	19

## 2. 鍛造の技術・生産システム

2.1 生産ラインの例	20
2.2 技術システム	21
2.2.1 縦のシステム	21
2.2.2 横のシステム	24



---

2.3 製品品質とシステムの関係	25
引用・参考文献	27

### 3. 鍛造の力学

3.1 鍛造過程の解析	28
3.1.1 鍛造の力学基礎	28
3.1.2 塑性変形の理論解析手法	36
3.1.3 実験的手法	43
3.2 圧縮	48
3.2.1 中実円柱の全体据込み	48
3.2.2 中空円筒の全体据込み	53
3.2.3 中実円柱および中空円筒の周辺部据込み	56
3.2.4 異形材の全体据込み	58
3.2.5 射出据込み	59
3.2.6 丸棒の広げ	61
3.3 押し鍛造	64
3.3.1 押し加工の概要	64
3.3.2 軸対称中実円柱の押し	67
3.3.3 軸対称中空円筒の押し	71
3.3.4 軸対称押し力のノモグラム	75
3.3.5 組合せ押し	78
3.3.6 異形材押し	83
3.3.7 側方押し	85
3.4 型鍛造	89
3.4.1 半密閉押し鍛造	89
3.4.2 密閉鍛造	96
3.4.3 閉そく鍛造	99
3.4.4 分流鍛造	102
3.5 板鍛造	104
引用・参考文献	107

## 4. 鍛造品の設計および品質

4.1 設計の考え方	111
4.1.1 製品設計段階での注意	111
4.1.2 各鍛造法（熱間鍛造，温間鍛造，冷間鍛造）の選択	112
4.1.3 工程設計の考案	113
4.2 望ましい材質	120
4.2.1 材料選定の考え方	120
4.2.2 材料選択で考慮すべき事項	122
4.2.3 材質選定事例	124
4.3 望ましい形状，寸法	127
4.3.1 型寿命上望ましい形状	127
4.3.2 鍛造欠陥の発生しにくい形状	128
4.3.3 熱間鍛造上望ましい形状	130
4.3.4 自動化に望ましい形状	132
4.4 寸法公差と表面状態	133
4.4.1 鍛造加工の寸法公差	133
4.4.2 鍛造品精度に影響を及ぼす要因	136
4.4.3 鍛造品の表面状態	139
4.5 機械的性質	140
4.5.1 熱間鍛造品	140
4.5.2 冷間・温間鍛造品	142
4.5.3 機械的性質を低下させる諸要因	144
4.5.4 鍛流線の影響	146
4.6 受注の際の注意	148
4.6.1 受注の流れ	148
4.6.2 仕様打合せ	149
4.6.3 試作およびユーザー評価	149
4.6.4 量産およびフォロー	149
引用・参考文献	151

## 5. 素材材料の選択

5.1 材料選択の基準	153
5.1.1 熱間および冷間・温間鍛造品とその材料	153
5.1.2 冷間および温間鍛造用材料に要求される品質特性	154
5.2 鍛造に使用される材料の規格	157
5.2.1 鍛造に用いられる鋼材の規格	157
5.2.2 冷間鍛造用の鋼材の規格	158
5.2.3 熱間鍛造用の鋼材の規格	159
5.2.4 温間鍛造用の鋼材の規格	160
5.3 素材形態	160
5.4 鍛造性評価試験法	161
5.4.1 冷間据込み性試験（日本塑性加工学会冷間鍛造分科会制定）	161
5.4.2 多段前方押し出し試験	164
5.4.3 その他の変形能評価試験	164
5.4.4 端面拘束圧縮による変形抵抗の測定方法	165
5.5 材料の鍛造性データ	167
5.5.1 冷間鍛造用鋼の実加工速度における変形抵抗	167
5.5.2 炭素鋼線材の変形抵抗と限界据込み率	172
5.5.3 変形抵抗と引張強さの関係	174
5.5.4 割れの発生と絞りの関係	175
5.5.5 冷間鍛造性に影響を与える因子	176
5.5.6 熱間・温間鍛造の加工特性	179
5.5.7 非鉄材料の鍛造性	182
引用・参考文献	184

## 6. 鍛造工程の設計

6.1 工程の事例	186
-----------	-----

---

6.1.1	単動プレスを用いた鍛造の工程	186
6.1.2	フォーマーまたはヘッダーを用いた鍛造の工程	187
6.1.3	トランスファープレスを用いた鍛造の工程	187
6.1.4	複動プレスを用いた鍛造の工程	187
6.1.5	熱間鍛造プレスを用いた鍛造の工程	188
6.1.6	ハンマーを用いた鍛造の工程	188
6.2	工 程 の 立 案	225
6.2.1	鍛造図の設計における検討項目	225
6.2.2	品質からの検討	226
6.2.3	成形性からの検討	226
6.2.4	後加工に対する検討	226
6.2.5	型鍛造に対する検討	227
6.2.6	公差からの検討	228
6.2.7	熱処理・潤滑からの検討	228
6.3	工程設計の要点	229
6.3.1	原始工程の作成	229
6.3.2	予備成形の改良	229
6.3.3	捨 て 軸	230
6.3.4	背圧付加鍛造, 張力付加鍛造	230
6.3.5	素材の改質および2個取り	231
6.3.6	半 密 閉 型	232
6.3.7	確 認	233
6.4	予 備 成 形 形 状	233
6.4.1	素 材 の 準 備	233
6.4.2	ビレットの据込み	233
6.4.3	材質によるビレット形状の違い	235
6.4.4	ドーナツブランク	238
6.5	し ご き	238
6.5.1	しごきの目的	238
6.5.2	しごきによる効果	239
6.6	標準的な押出し品の形状, メタルフローの制御	241
6.6.1	標準的な押出し品の形状	241

---

6.6.2	メタルフローの制御	242
	引用・参考文献	243

## 7. ビレットの準備

7.1	望ましいビレット	244
7.2	ビレットの切断・整形方法の選択	246
7.3	ビレット切断機	249
7.3.1	のこ切断機	249
7.3.2	ビレットシャー	250
7.4	せん断技術	252
7.4.1	せん断メカニズム	253
7.4.2	せん断方法	257
7.5	整形方法	263
7.6	熱処理	265
	引用・参考文献	267

## 8. 潤滑

8.1	鍛造用の潤滑剤	269
8.1.1	鍛造における潤滑の基礎	269
8.1.2	鍛造における温度域ごとの潤滑条件	269
8.2	熱間鍛造用の潤滑剤	272
8.2.1	熱間鍛造用潤滑剤の変遷	272
8.2.2	水溶性熱間鍛造用潤滑剤に必要とされる特性	272
8.2.3	水溶性黒鉛系潤滑剤	273
8.2.4	水溶性白色系潤滑剤	274
8.3	冷間鍛造用の潤滑剤	277
8.3.1	厳しい冷間鍛造に必要とされる潤滑膜	277

8.3.2	化成型潤滑被膜	279
8.3.3	塗布型潤滑被膜	283
8.3.4	塗布型潤滑被膜のバリエーションとさらなる進歩	285
	引用・参考文献	285

## 9. 型の設計・製作・保守

9.1	型の役割と受ける負荷	288
9.1.1	型の役割および管理など	288
9.1.2	型が受ける負荷	289
9.2	型材料の選択	293
9.2.1	冷間鍛造用型材料の選択	294
9.2.2	温間・熱間鍛造用型材料の選択	300
9.3	型の設計	305
9.3.1	型要素の設計	305
9.3.2	据込み鍛造型の設計	316
9.3.3	押し出し鍛造型の設計	317
9.3.4	ばり出し型鍛造型の設計	321
9.3.5	閉そく・密閉鍛造型の設計	323
9.4	型の製作	325
9.4.1	素材および素材取り	327
9.4.2	一次加工	329
9.4.3	熱処理	330
9.4.4	仕上げ加工	334
9.4.5	放電加工	334
9.4.6	直彫り加工	335
9.4.7	研磨加工	335
9.4.8	ダイの組立	336
9.5	型の保守	337
9.6	表面処理の現状	338
	引用・参考文献	341

## 10. 鍛造機械および周辺装置

10.1 鍛造機械の概要	343
10.2 機械プレス	346
10.2.1 機構および構造	346
10.2.2 仕様および選定	349
10.3 サーボモーター駆動プレス	352
10.3.1 特徴	352
10.3.2 機構および構造	354
10.4 油圧プレス	356
10.4.1 機構および構造	356
10.4.2 選定	358
10.5 スクリュープレス	359
10.5.1 特徴	359
10.5.2 機構および構造	359
10.6 ヘッダー、フォーマー	361
10.6.1 特徴	361
10.6.2 機構および構造	362
10.7 ハンマー	363
10.7.1 特徴および種類	363
10.7.2 能力とエネルギー	365
10.8 加熱装置	365
10.9 搬送装置	368
10.9.1 搬送計画	368
10.9.2 搬送機器および装置	370
10.10 加工ラインおよびその運転・制御の現状	373
10.10.1 プレスラインおよびトータルシステム	373
10.10.2 金型交換装置	373

引用・参考文献	376
---------	-----

## 11. 後工程, 後処理および検査

11.1 機械加工	377
11.1.1 鍛造品の機械加工	377
11.1.2 鍛造加工前や中間の機械加工	378
11.2 熱処理	379
11.2.1 鍛造品の熱処理	379
11.2.2 表面硬化熱処理	382
11.3 表面処理	384
11.3.1 スケールの除去	384
11.3.2 ショットピーニング	384
11.4 検査および品質管理	385
11.4.1 量産時の工程管理	385
11.4.2 完成品の検査	386
引用・参考文献	388

## 12. 鍛造のコンピュータシミュレーション

12.1 鍛造シミュレーションの概要と歴史	389
12.1.1 概要	389
12.1.2 歴史	390
12.2 鍛造シミュレーションのモデル化技術 (プリプロセッシング)	391
12.2.1 シミュレーションモデル	391
12.2.2 材料モデル	393
12.2.3 形状モデル	394
12.2.4 境界モデル	395
12.3 数値計算手法と評価 (ソルバーとポストプロセッシング)	396



---

12.3.1	計算の仕組み	396
12.3.2	シミュレーション手順	398
12.3.3	シミュレーション結果の評価	400
12.3.4	ユーザー関数機能	402
12.4	周辺工程のシミュレーション	403
12.4.1	熱処理シミュレーション	403
12.4.2	切削シミュレーション	406
12.4.3	接合・溶接シミュレーション	407
12.5	コリレーション	408
12.5.1	モデリングとコリレーション	408
12.5.2	実験によるコリレーション例	409
12.5.3	実生産のコリレーション	410
12.6	鍛造シミュレーションの活用事例	412
12.6.1	金型の疲労寿命評価	412
12.6.2	金型の組付け評価	413
12.6.3	素材の延性破壊評価	415
	引用・参考文献	416
<b>索</b>	<b>引</b>	<b>418</b>

# 1

# 総論

## 1.1 「鍛造」とはなにか

JIS<sup>1)†</sup>によれば、「鍛造」とは「工具、金型などを用いて固体材料の一部または全体を圧縮または打撃することによって成形および鍛錬を行うこと」とある。用途から見ると、「機械、構造物、器具部品で強度または剛性を必要とされるような厚肉あるいは棒状、ブロック状のものを成形する技術の総称」である。鍛造は、方法も用途もこのように広く漠然としており、また6000年以上の歴史をもつ技術であるため、その範囲はきわめて広範、内容は非常に多岐である。現行の諸鍛造法の分類・命名は、次節に示すようにさまざまなカテゴリーで行われている。

## 1.2 いろいろな鍛造法

### 1.2.1 作業温度による分類

#### 〔1〕 熱間鍛造

材料を加熱し、再結晶温度以上、固相線温度未満の温度範囲で行う鍛造<sup>1)</sup>。加熱によって材料は軟らかく（低変形抵抗）かつ粘り強く（高変形能）なるので、室温では硬く、もろい材料の加工、大寸法製品の加工、大変形、複雑形状への加工が可能になる（**図1.1**）。この大変形と熱による活性化によって、粗

† 肩付き数字は、章末の引用・参考文献番号を表す。



図 1.1 金型による鋼熱間鍛造品の例 (トヨタ自動車株式会社提供)

大粒組織や偏析の微細化，拡散さらに再結晶，変態による組織変化のため材料の変形能が向上するばかりでなく，鍛造品や焼結品内の気泡は押しつぶされて健全となり，異なる材料は圧着されて複合材料となる。

一方，加熱による材料表面の酸化，型表面のだれ，摩耗，材料と型の熱膨張と冷却収縮などのために熱間鍛造品の寸法精度 (IT 12~16) と表面状態は，後述の冷間鍛造品に比べて劣り，型寿命は比較的短い (2 000~5 000 個程度)。職場の環境も，熱放射，スケールや潤滑剤の飛散，さらに潤滑剤の燃焼，騒音，振動のため十分な対策のないときは良好とはいえない。

## 〔2〕冷間鍛造

積極的に材料を加熱しないで，室温または室温に近い温度で行う鍛造<sup>1)</sup>。材料の材質は変形させやすい成分・組織で，欠陥のない表面をもつことが必要であり，高い寸法精度も要求される。材料の加工硬化によって型に大きな負荷が加わり型を破壊する危険がある一方，材料はもろくなってきて，ときには変形中に割れる。加工物に残留応力を発生し，後加工・処理の際の寸法変化の原因となる。

しかしながら、冷間鍛造品は寸法精度（IT 7～11）と表面状態が良好のため、後仕上げがまったく不要か、研削だけですむ場合も多い。型寿命は数千個から数十万個以上に及ぶ。加工硬化による加工物の降伏点の上昇、被削性の改善が利用される場合もある（図 1.2）。



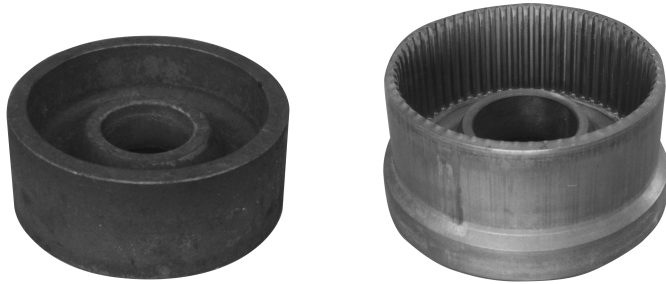
図 1.2 鋼冷間鍛造品の例（トヨタ自動車株式会社提供）

### 〔3〕 温 間 鍛 造

通常の熱間鍛造と冷間鍛造との中間の温度で行う鍛造<sup>1)</sup>。上述の熱間および冷間鍛造の長所を兼ねもたせることを狙った比較的新しい方法であるが、型材料と潤滑剤に適当なものがないため、両鍛造の短所が現れてしまうことがある（製品精度 IT 9～12、型寿命数千～2万個）。そこで、温間あるいは熱間鍛造品を冷間鍛造によって仕上げる複合鍛造工程も、しばしばとられるようになった（図 1.3）。

### 〔4〕 恒 温 鍛 造

耐熱性を要求される部品に使われるニッケル合金、チタン合金などは、加工がむずかしく、特定の温度の超塑性状態で成形する必要がある。そのために、冷却、昇温を防ぐように加熱金型を用いてゆっくり鍛造するのが恒温鍛造である。



(a) 熱間鍛造品

(b) 旋削後冷間鍛造品

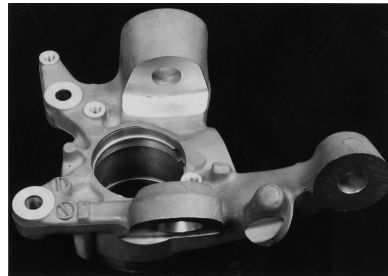
図 1.3 鋼の熱間-冷間複合鍛造品の例：S 30 C, ビスカスカップリング  
コンテナ（トヨタ自動車株式会社提供）

### 〔5〕 溶湯または液-固相鍛造

合金材料の液相と固相の共存する温度域において、型によって加圧成形する鍛造。鑄造のように複雑な形状を作ることができるとともに、ある程度の鍛練効果が期待できる。わが国ではアルミニウム合金などに応用例がある（図 1.4）。



(a) 乗用車ホイール（トヨタ  
自動車株式会社提供）



(b) ステアリングナックル  
（日産自動車株式会社提供）

図 1.4 アルミニウム合金の溶湯鍛造品の例

## 1.2.2 変形形態による分類<sup>2)</sup>

### 〔1〕 直接圧縮鍛造

素材の全体または部分を型によって加圧する方向に縮め、それと直角方向に

寸法を広げる加工で、加圧方向が素材の軸方向のものに、「据込み」、「ヘッドイング」、「つば出し」(図 1.5) 作業などがある。一方、素材の軸と直角方向に加圧する作業に「広げ」、「伸ばし」(図 1.6) がある。

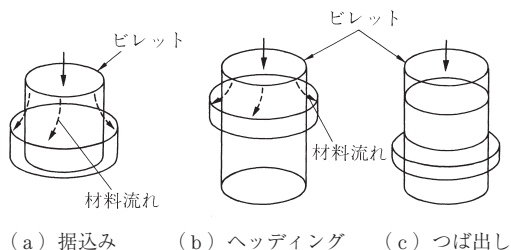


図 1.5 軸方向直接圧縮による鍛造作業の例

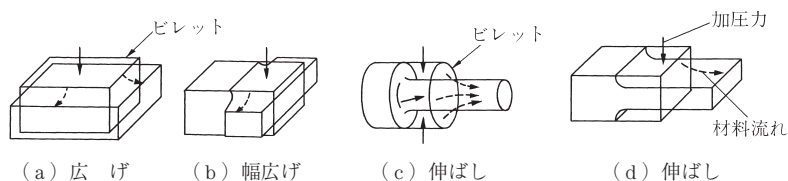


図 1.6 横方向直接圧縮による鍛造作業の例

## 〔2〕 間接圧縮鍛造

型の加圧によって、加圧方向と直角または斜め方向の材料拘束工具面から横方向の反力を受け、それによって材料が加圧方向に伸ばされる加工で、種々の「押し出し」(図 1.7) 作業がこれに属する。これらは一次加工の長尺材押し出しと区別するため、「押し出し鍛造」とも呼ばれることがある。

## 〔3〕 直接-間接組合せ圧縮鍛造

一作業中に両者が組み合わさって行われる作業で、ばりを出す「型鍛造」、「押し出し-据込み」、「ギャザリング」(図 1.8) などがその例である。

### 1.2.3 変形動態による分類<sup>2)</sup>

#### 〔1〕 同一場所 1 回加圧鍛造

最も単純なもので、図 1.5、図 1.8 (a)、(b) の作業のように、素材から一

# 索引

<b>【あ】</b>	
アイドルタイム	359
アウターレース	115, 124
圧印	10, 197, 229
圧こん	256
圧縮強度	298
圧入	336
圧入法	413
アプセッター鍛造	10
アプライト	347
荒打ち	211, 221, 223
荒地	91
アンビル	365

<b>【い】</b>	
異形材押出し	83
異形ブランク	235
板鍛造	10, 15, 104
一液型潤滑剤	284
一液型潤滑被膜	283
一次炭化物	329
一重たる形	51
移動刃	253
陰解法	392
インサート	307
インダクションヒーター	345, 366
インナーレース	117
いんろう	213

<b>【う】</b>	
ウェブ	131
渦流探傷法	386
打抜き	247

<b>【え】</b>	
エアードロップハンマー	363
エア-リフトドロップハンマー	363
液-固相鍛造	4
エキセントリック軸	362
延性破壊	34
延性破壊ダメージ値	400
延性破壊予測式	415
円筒工具試験法	164

<b>【お】</b>	
オイラー法	391
応力集中度	305
応力除去焼なまし	266
押し出し	5, 64
押し出し(鍛造)	9
押し出し圧力のノモグラム	75
押し出し荷重	290
押し出し鍛造型	317
押し出し比	66
押し広げ押し出し	74
親子どり	205
折込み	49
温間鍛造	3, 123, 190, 207

<b>【か】</b>	
加圧能力	350
外周拘束据込み	233, 237
回生電力	352
回転炉床式加熱炉	366
開放型鍛造	8

カウンターブローハンマー	364
影	256
加工基準面	377
加工硬化	142
加工速度	138, 142
加工度	142
かさぶた	256
かじり	295
ガス抜き孔	301
化成型潤滑被膜	270, 279, 281
型温度	228
型交換	361
硬さ	142, 288
型寿命	127, 289
型鍛造	5, 9, 89, 214, 229
型彫り加工機	329
型摩耗	288
型割り線	321
型割り面	131, 213
角部の丸み半径	130
金型	9
——の予熱温度	228
金型交換装置	373
加熱圧入	336
加熱せん断	263
感圧紙	47
間接圧縮鍛造	5
完全塑性	31
完全焼なまし	265

<b>【き】</b>	
機械構造用合金鋼材	158
機械構造用炭素鋼材	157

機械的性質	140	高エネルギー速度鍛造	10	仕事能力	351
機械プレス	344, 349	恒温鍛造	3	仕事能力線図	353
キスブロック	356	高剛性プレス	15	指数硬化	31
ギブ	348	格子線実験	44	自動車構造用非調質鋼鋼材	159
ギャザリング	5	高周波焼入れ	124, 383	自動多段成形機	116
キャビテーション・エロー		高周波焼入れ用鋼	126	自動多段鍛造	15
ジョン	301	拘束係数	33, 66, 289	磁場シミュレーション	404
球状化焼なまし	204, 227, 265, 379	高速度工具鋼	299	磁粉探傷法	386
急速型交換	375	剛塑性有限要素法	41, 389	締め代	306
極圧添加剤	278	工程設計	113, 186	縮りばめ構造	306
		降伏応力	142	射出据込み	59
		後方押し出し	64, 128	シャルピー値	141
<b>【く】</b>		コネクティングロッド	348	受圧板	314
くさび効果	270	コリレーション	408	自由押し出し	70, 139
クッション	192	コールドフォーマー	116	十字形部品	86
組合せ押し出し	193	コンテナ	10	自由据込み	206, 233
組立て構造	311	コンデンサー	353	自由鍛造	8
クラウン	347	コンプレッションナックル	347	順送り加工	106
クラッチ	348			潤滑	361
クランク	347			潤滑処理性	155
クランク機構	344	<b>【さ】</b>		上界エネルギー法 (UBET)	40
クランク軸	348	再結晶	142	上界法	31, 39
クリアランス	255	再結晶焼なまし	266	焼結鍛造	10
クロスローリング	8	再結晶粒	140	ショットピーニング	144, 384
クロッピング	247	材質選定	124	ショットプラスト	139, 384
クーロン摩擦	32, 49, 395	最適化アルゴリズム	407	心合せ	361
		最適ダイ角	68	じん性	298
<b>【け】</b>		座屈	306	浸炭焼入れ	127, 383
結晶粒	383	サーボバルブ	357	心付け	199, 234
結晶粒粗大化	124	サーボフィーダー	371		
欠肉	219	サーボプレス	15, 344	<b>【す】</b>	
限界圧縮応力	306	サーボモーター	344, 352	水溶性黒鉛系潤滑剤	270
限界据込み率	172	酸洗い	384	水溶性熱間鍛造用潤滑剤	272
限界ダメージ値	415	酸化皮膜	228	水溶性白色系潤滑剤	270
研削加工異常層	334	残留応力	26, 69	スイング式	370
研削焼け	334			据込み	5, 90, 229
研削割れ	334	<b>【し】</b>		据込み荷重	290
研磨加工 (ラッピング)	335	仕上げ代	329	据込み鍛造型	316
		シェブロンクラック	415	スカイラインソルバー	396
<b>【こ】</b>		シェブロン割れ	71, 129, 175	スクイーズ効果	270
コイニング	96, 215, 223, 345	直彫り加工	335		
コイル材	122, 361	軸対称	395		
		しごき	198, 229, 238		



スクリュープレス	345, 359	測圧ピン	46	段取り替え	361
スケール	368	速度依存指数	31	断熱変形	293
スタンプ式油圧ドロップ		側方押し出し	64, 210	端面凹凸	256
ハンマー	365	素材取り	328	端面傾き	256
捨て軸	82, 102, 191, 193, 195, 197, 204, 209, 230	塑性変形	393	断面減少率	66
ステップモーション	352	塑性変形仕事	33, 67	端面拘束圧縮	165
ストローク長さ	349	ソルバー	396	鍛流線	17, 146
スパイクテスト	409	損傷現象	300		
スパースソルバー	396			<b>【ち】</b>	
スプライン	85	<b>【た】</b>		蓄電ユニット	353
滑り線場法	31, 37	ダイ	10	窒化	301, 339
隅部の丸み半径	130	ダイインサート	336	チップブレードカー	120
スライド	343	対数ひずみ	29	中間機械加工	118
スライドアジャスト	355	体積配分	227	中間焼なまし	126
スライドガイド	348	ダイセット	315	中空鍛造	15
スライドモーション	352	ダイハイト	351, 355	中心部割れ	71
スラグ	244	耐摩耗性	296	超音波探傷法	386
スラブ法	31, 36	タイロッド	347	超硬合金	136, 300, 309, 327, 334
寸法公差	133	タクトタイム	358	超清浄鋼	124
		多孔質素材	393	超塑性	31
<b>【せ】</b>		多段前方押し出し試験	164	張力付加鍛造	216, 230
成形速度	138	脱炭	123, 126, 144, 227, 368	直接圧縮鍛造	4
生産性	361	脱炭層	329		
生産速度	345	縦割れ	52	<b>【つ】</b>	
脆性遷移温度	140	多ラムプレス機械	242	つば出し	5
製品精度	137	たる形変形	49	つぶし	211, 215, 223
整列装置	370	だれ	253	ツールマーク	329
積分平均変形抵抗	67	鍛鋼品	12		
背切り	229	鍛工品	13	<b>【て】</b>	
切削シミュレーション	406	弾性変形	393	低温焼なまし	330
全回転式加熱炉	367	鍛造機械	343	停留亀裂	254
線形硬化	31	鍛造欠陥	128	デッドメタル	206, 400
せん断	247, 253	鍛造恒温焼ならし	119, 381	テーパ圧入	307
せん断摩擦係数	32, 395	鍛造工程	186	電力再生システム	353
せん断面	253	鍛造性評価試験法	161		
前方押し出し	64	鍛造調質	120, 382	<b>【と】</b>	
		鍛造品精度	136	統合プロセスモデリング	403
<b>【そ】</b>		鍛造焼入れ	380	同軸度	208
相当(塑性)ひずみ	29	鍛造用素材	153	同心度	194
相当応力	30	段付き型	227	等速ジョイント	115
装入・排出装置	371	単動プレス	187	動的可容速度場	39
相変態	404			特殊ナックル	347

ドーナツブランク	238
塗布型固体潤滑被膜	270
塗布型潤滑被膜	279, 283, 285
トライボロジー	269
トランスファー加工	203
トランスファーフィーダー	368
トランスファープレス	117, 187, 343
トリポード	117
ドロップハンマー	322
ドロップフォージング	10
<b>【な】</b>	
内部欠陥	386
内部割れ	71
ナックル機構	344
斜め割れ	53
軟化焼なまし	266
<b>【に】</b>	
ニアネットシェイプ	15
逃がし穴	102
2個取り	232
二次せん断面	256
二段据込み法	48
<b>【ぬ】</b>	
抜け勾配	130, 322
<b>【ね】</b>	
熱間型鍛造	218
熱間工具鋼	301
熱間鍛造	1, 216, 345
熱間鍛造プレス	188, 344
熱間鍛造用非調質鋼	159
熱処理	265
熱処理シミュレーション	404
熱処理条件	330
熱的負荷	293
ネットシェイプ	15
熱疲労	300

<b>【の】</b>	
能力線図	350
のこ切断	249
ノックアウト	349
伸ばし	5, 220
伸 び	142
<b>【は】</b>	
背 圧	9, 15
背圧付加鍛造	230
破壊じん性値	294
バー材	361
破損形態	289
破損現象	294
破損プロセス	294
破断面	254
バッチ炉	366
パラメータチューニング	408
ば り	93, 256
ばり出し型鍛造	321
ばりだまり	322
ばり道	322
バーリング	104
パンチ	10
バンドソルバー	396
半抜き	106
ハンマー	188, 345, 363
ハンマー鍛造	7, 220
半密閉型	211, 232
半密閉型鍛造	211
半密閉鍛造	89
半割り試料	44
<b>【ひ】</b>	
非金属介在物	177
ひ け	217
被削性	157, 378
ビジオプラスチック法	45
ひずみ速度	31
ひずみ取り(低温)焼なまし	329

非調質鋼	119, 122, 214, 382
引張強度	298
引張強さ	143
非鉄材料	182
ヒートクラック	300
ヒートチェック	126
表面粗さ	139
表面きざ	177
表面欠陥	386
表面処理	301
表面処理法	338
表面性状	288
表面積拡大比	270
表面割れ	52
ビレット	25, 136, 244
ビレットシャー	250
広 げ	5, 61, 90
品質工学	410
品質保証	385
<b>【ふ】</b>	
ファインブランキング	104
フィーダー	368
封入潤滑法	270
フォーマー	187, 345
フォーマー鍛造	199
負荷能力	350
複合鍛造	345
複式型	322
複動金型	188
複動プレス	187
複動モーション	352
プッシュャー炉	366
フライホイール	345, 348
プラスチック	43, 390
ブランク	122
プリプロセッサ	399
ブレーキ	348
プレス	343
プレス鍛造	10
フレーム	347
フローティングダイ	189, 234

粉末鍛造	393	摩 耗	295, 301	溶湯鍛造	10
粉末ハイス	299	摩耗予測	401	ヨーク	100
分離装置	370	マルテンサイト変態	331	横型プレス	361
分流鍛造	16, 102, 134	マンドレル	10		
分流方式	89	マンネスマン効果	63		
				<b>【ら】</b>	
<b>【へ】</b>		<b>【み】</b>		ラグランジュ法	391
ヘアクラック	256	密閉鍛造	9, 89	ラジアルフォージング	7
平均押し出し圧力	65	密閉鍛造型	323	ラッピング	335, 337
閉そく鍛造	9, 16, 99,	耳	255	ラ ム	345, 363
	117, 209				
閉そく鍛造型	323	<b>【め】</b>		<b>【り】</b>	
平面応力	394	メタルフロー	243	理想変形ひずみ	66
平面ひずみ	394	メッシュ分割	392	リニアセンサー	355
ヘッダー	345			リ ブ	131
ヘッダー加工	202	<b>【も】</b>		リメッシュ	391
ヘッディング	5, 98	モデル実験	390	流動制御組合せ押し出し法	82
ベッド	347	盛上げ	90	リンク	347
ベッドノックアウト	352			リング圧縮試験	409
変形抵抗	29, 154, 289	<b>【や】</b>		リング圧縮法	54
変形能	154	焼入れ	380	リンク機構	344
偏 心	202, 204	焼入れ性	156	リングローリング	8
偏心荷重	224, 227	焼なまし	234, 236, 361, 379	リン酸塩処理	279
偏 肉	201, 202	焼ならし	219, 265, 380	リン酸塩被膜	279, 281, 361
		焼ばめ	307, 336	リン酸塩被膜処理	279, 280
<b>【ほ】</b>		焼ばめ法	413		
放電加工	334	焼戻し	380	<b>【れ】</b>	
放電加工変質層	335	矢じり状クラック	71	冷間圧造用炭素鋼線材	158
補強リング	307, 336, 414			冷間型鍛造	197
星	256	<b>【ゆ】</b>		冷間コイニング	118
ポストプロセッサ	399	油圧プレス	344, 356	冷間工具鋼	295
ホットフォーマー	116	有限要素法	28	冷間据込み性試験	161
ボードドロップハンマー	363	誘導加熱シミュレーション		冷間鍛造	2, 124, 189, 191,
ボールスクリュ	349		404		203, 351
ボルスター	347	誘導加熱装置	228	冷間鍛造部品	112
ボンデ処理	279			冷間鍛造プレス	343
		<b>【よ】</b>		冷間鍛造用型材料	294
<b>【ま】</b>		陽解法	392		
毎分ストローク数	349	溶 射	339	<b>【ろ】</b>	
曲 げ	213, 222	溶接肉盛り	216	ロータリースエージング	
摩擦荷重	292	溶体化	266		7, 62
摩擦係数	32	溶 湯	4	ロール切断	247
マトリックスハイス	300, 302	揺動鍛造	8	ロール鍛造	8, 10, 213

<b>【C】</b>		<b>【F】</b>		<b>【P】</b>	
CAE	28	FCF 工法	104	PVD	339
CAM (NC 自動加工)	327			<b>【Q】</b>	
CG ソルバー	396	<b>【I】</b>			
CVD	339	implicit method	392	QCD	389
		<b>【L】</b>		<b>【T】</b>	
<b>【E】</b>		Lagrangian	391	TRD	339
Eulerian	391				
explicit method	392	<b>【N】</b>			
		NC 工作機械	329		

鍛造——目指すは高機能ネットシェイプ——

Forging Technology —— Toward Products with Net Shape and High Function ——

© 一般社団法人 日本塑性加工学会 2018

2018年10月26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  
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  
製本所 有限会社 愛千製本所

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 978-4-339-04379-2 C3353 Printed in Japan

(高橋)



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います。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いません。落丁・乱丁はお取替えいたします。