

平成11年度ものづくり人材支援基盤整備事業  
- 技術・技能の客観化、マニュアル化等 -

## 熱間自由鍛造、鍛造荒地加工 及びローリング鍛造マニュアル

平成12年2月

中小企業総合事業団  
情報・技術部

## はじめに

中小企業総合事業団では、中小企業庁が進める国の重要施策である、中小企業のための数々の施策を実施しています。

さて、中小企業総合事業団では平成11年度「ものづくり人材支援基盤整備事業」において、技術・技能の客観化、マニュアル化等を行うことが、技術・技能の縦承を図る上で重要と考え、それらを必要とする業界を対象に、「平成11年度ものづくり人材支援基盤整備事業—技術・技能の客観化、マニュアル化等—熱間自由鍛造、鍛造荒地加工及びローリング鍛造マニュアル」を作成いたしました。

最近の中小製造業の現場では、熟練技術者・技能者の高齢化が目立ち、退職後の製造現場の能力維持等が問題となってきています。これは、熟練技術者・技能者、その個人の持つ技術・技能を後継者に伝承することにより、解決されうるものであります。その伝承・技能には訓練が伴い、適切な指導を行える指導者と時間が必要であります。

そこで、業界団体を通じて各中小企業者に本件を有効に活用頂き、技術・技能を継承すべき若年層等の人材の確保・育成の一助になれば幸いに存じます。

なお、本書の作成にあたり、ご協力頂きました関係者各位に厚く御礼申し上げます。

平成12年7月 中小企業総合事業団情報・技術部 部長 鈴木 達也

熱間自由鍛造、鍛造荒地加工及びローリング鍛造マニュアル作成委員会委員名簿  
(敬称略・順不同)

|      |       |                             |                     |
|------|-------|-----------------------------|---------------------|
| 委員長  | 工藤英明  | 横浜国立大学                      | 名誉教授                |
| 副委員長 | 柳本潤   | 東京大学生産技術研究所                 | 助教授                 |
| 委員   | 安藤晴朗  | 株式会社アンテックス                  | 取締役社長               |
| 委員   | 吉本征治  | 近江鍛工株式会社                    | 取締役信楽工場長            |
| 委員   | 岡本圭司  | 岡本鉄工合資会社                    | 代表社員                |
| 委員   | 山本光晴  | 関西鉄工株式会社                    | 取締役社長               |
| 委員   | 鈴木克明  | 株式会社神戸製鋼所                   | 鑄鍛鋼工場 製造部 副部長       |
| 委員   | 天本満博  | 住友金属工業株式会社                  | 製鋼品事業所 鍛鋼品工場長       |
| 委員   | 今林茂   | 大同特殊鋼株式会社                   | 渋川工場 鍛圧室 室長         |
| 委員   | 岩田健二  | 財団法人鍛造技術研究所                 | 職員                  |
| 委員   | 守谷巖樹  | 株式会社東亜鍛工所                   | 取締役社長               |
| 委員   | 森谷博明  | 同和鍛造株式会社                    | 取締役工場長              |
| 委員   | 中村総一郎 | 株式会社中村鉄工所                   | 取締役社長               |
| 委員   | 西巻芳則  | 株式会社西巻鉄工所                   | 常務取締役工場長            |
| 委員   | 村井悦夫  | 株式会社日本製鋼所                   | 室蘭製作所 素形材部長         |
| 委員   | 岡崎栄二郎 | 日本ファーンエス工業株式会社<br>サーマルプラント部 | プラント事業本部<br>設計グループ長 |
| 委員   | 畠山隆資  | 株式会社畠山鐵工所                   | 取締役社長               |
| 委員   | 清水富夫  | 三菱長崎機工株式会社                  | 設計グループ長             |
| 委員   | 横田勝男  | 社団法人全日本鍛造協会                 | 事務局長                |
| 委員   | 鈴木太   | 社団法人全日本鍛造協会                 | 職員                  |

# 目 次

はじめに

|                              |    |
|------------------------------|----|
| <b>第 1 章 自由鍛造加工の概要</b> ..... | 1  |
| <b>1 . 自由鍛造の現状と問題点</b> ..... | 3  |
| <b>2 . 自由鍛造の目的</b> .....     | 3  |
| 2.1 塑性加工と鍛造加工.....           | 3  |
| 2.2 自由鍛造加工の特徴.....           | 3  |
| 2.3 自由鍛造工程の構成.....           | 5  |
| 2.4 自由鍛造における材料変形の特徴.....     | 5  |
| 2.4.1 材料の軸方向伸びと幅方向広がり.....   | 5  |
| 2.4.2 金型に作用する面圧.....         | 6  |
| 2.4.3 材料横断面中心の静水圧応力.....     | 6  |
| 2.4.4 横断面内での歪み分布.....        | 6  |
| 2.4.5 軸方向応力.....             | 7  |
| 2.5 自由鍛造加工時の材料組織変化概論.....    | 7  |
| 2.5.1 動的再結晶.....             | 8  |
| 2.5.2 静的再結晶.....             | 8  |
| <b>3 . 自由鍛造技術の動向</b> .....   | 9  |
| 3.1 多面自由鍛造法.....             | 9  |
| 3.2 高速鍛造法.....               | 9  |
| 3.3 材料技術との融合.....            | 10 |
| 3.4 CAE 化 .....              | 11 |
| <b>第 2 章 自由鍛造設備</b> .....    | 12 |
| <b>1 . 自由鍛造設備の概要</b> .....   | 12 |
| 1.1 切断.....                  | 12 |
| 1.2 加熱設備.....                | 12 |
| 1.3 鍛造設備.....                | 13 |
| 1.4 搬送設備.....                | 16 |
| <b>2 . 切断設備</b> .....        | 17 |
| 2.1 主な切断方法とその特徴.....         | 17 |
| 2.2 鋸切断方法.....               | 17 |
| 2.2.1 丸鋸盤.....               | 17 |
| 2.2.2 帯鋸盤.....               | 18 |
| 2.3 ガス切断.....                | 19 |
| <b>3 . 加熱設備</b> .....        | 21 |
| 3.1 概要.....                  | 21 |
| 3.2 鍛造加熱炉に要求される性能.....       | 21 |
| 3.3 熱間鍛造用加熱炉の種類.....         | 21 |
| 3.4 加熱設備の動向.....             | 23 |
| <b>4 . 鍛造設備</b> .....        | 24 |
| 4.1 自由鍛造ハンマ.....             | 24 |
| 4.1.1 自由鍛造用ハンマ.....          | 24 |
| 4.1.2 ハンマ鍛造設備の技術動向.....      | 24 |

|   |           |
|---|-----------|
| 4.2 自由鍛造プレス.....                        | 25        |
| 4.2.1 鍛造プレス.....                        | 25        |
| 4.2.2 鍛造マニプレータ.....                     | 28        |
| 4.2.3 プレス鍛造設備の技術動向.....                 | 29        |
| 4.3 付帯装置.....                           | 31        |
| 4.4 回転鍛造機.....                          | 33        |
| 4.4.1 揺動鍛造機.....                        | 33        |
| 4.4.2 リングローリングミル.....                   | 34        |
| 4.4.3 フォージングロール.....                    | 34        |
| 4.4.4 クロスローリングマシン.....                  | 35        |
| 4.5 リングローリングミル.....                     | 37        |
| 4.5.1 リングローリングミルの構造.....                | 37        |
| 4.5.2 リングローリングミルの仕様.....                | 39        |
| 4.5.3 コンピュータ制御の自動圧延.....                | 39        |
| 4.6 段取り・設備の自動化.....                     | 44        |
| 4.6.1 ハンマ作業.....                        | 44        |
| 4.6.2 プレス作業.....                        | 45        |
| <b>5 . 熱処理設備.....</b>                   | <b>45</b> |
| 5.1 焼入れ焼戻し設備.....                       | 45        |
| 5.1.1 焼入れ焼戻しの概要.....                    | 45        |
| 5.1.2 焼入れ焼戻し設備の種類と機能.....               | 45        |
| 5.2 焼きならし（焼準）設備.....                    | 46        |
| 5.2.1 焼きならし処理の概要.....                   | 46        |
| 5.2.2 焼きならし設備.....                      | 46        |
| 5.3 焼きなまし（焼鈍）設備.....                    | 47        |
| 5.3.1 焼きなまし処理の概要.....                   | 48        |
| 5.3.2 焼きなまし設備.....                      | 47        |
| 5.4 設備の保全管理.....                        | 47        |
| 5.4.1 設備保全システムの流れ.....                  | 47        |
| 5.4.2 保守点検の具体例.....                     | 48        |
| <b>6 . 仕上・検査設備.....</b>                 | <b>50</b> |
| 6.1 ショットブラスト装置（JIS B 6614）.....         | 50        |
| 6.2 非破壊検査.....                          | 50        |
| 6.2.1 浸透探傷試験用装置（JIS Z 2343）.....        | 51        |
| 6.2.2 磁粉探傷試験用装置（JIS G 0565）.....        | 51        |
| 6.2.3 超音波探傷試験用装置（JIS Z 2344）.....       | 51        |
| 6.3 硬度検査.....                           | 51        |
| 6.3.1 プリネル硬さ（JIS Z 2243）.....           | 51        |
| 6.3.2 ビッカース硬さ（JIS Z 2244）.....          | 52        |
| 6.3.3 ロックウェル硬さ（JIS Z 2245）.....         | 52        |
| 6.3.4 ショア硬さ（JIS Z 2246）.....            | 52        |
| 6.4 材料試験.....                           | 52        |
| 6.4.1 引張試験（JIS B 7721）.....             | 52        |
| 6.4.2 衝撃試験（JIS B 7722, JIS B 7723）..... | 52        |
| 6.4.3 疲れ試験（JIS Z 2274, JIS Z 2275）..... | 53        |

|                                      |    |
|--------------------------------------|----|
| <b>第3章 材料の種類</b> .....               | 55 |
| <b>1. 鋼塊（インゴット）</b> .....            | 55 |
| 1.1 自由鍛造用鋼塊.....                     | 55 |
| 1.2 溶解・精錬法の種類.....                   | 55 |
| 1.2.1 普通溶解法.....                     | 55 |
| 1.2.2 特殊溶解法.....                     | 55 |
| 1.3 造塊法の種類.....                      | 56 |
| 1.3.1 普通造塊法.....                     | 56 |
| 1.3.2 真空造塊法.....                     | 56 |
| 1.3.3 連続鑄造法.....                     | 56 |
| 1.4 普通造塊材の性状および欠陥.....               | 56 |
| 1.4.1 マクロ組織.....                     | 56 |
| 1.4.2 偏析.....                        | 57 |
| 1.4.3 内部欠陥と表面欠陥.....                 | 58 |
| 1.5 連続鑄造材の性状および欠陥.....               | 58 |
| 1.5.1 マクロ組織.....                     | 58 |
| 1.5.2 偏析.....                        | 58 |
| 1.5.3 内部欠陥と表面欠陥.....                 | 58 |
| <b>2. ブルーム、ビレット、連鑄材</b> .....        | 59 |
| 2.1 各材料の特徴.....                      | 59 |
| 2.1.1 ブルーム.....                      | 59 |
| 2.1.2 ビレット.....                      | 59 |
| 2.1.3 連鑄材.....                       | 60 |
| <b>3. 鋼、アルミニウム、ステンレス、チタン合金</b> ..... | 60 |
| 3.1 鋼.....                           | 60 |
| 3.2 アルミニウム.....                      | 62 |
| 3.3 ステンレス鋼.....                      | 63 |
| 3.4 チタン合金.....                       | 65 |
| <b>4. 各種規格材料</b> .....               | 66 |
| 4.1 炭素鋼に関する J I S の規定.....           | 66 |
| 4.2 合金鋼に関する J I S の規定.....           | 68 |
| 4.3 ステンレス鋼に関する J I S の規定.....        | 72 |
| 4.4 J I S に規定された耐食、耐熱超合金.....        | 75 |
| 4.5 外国規格.....                        | 76 |
| <b>第4章 自由鍛造加工の実際</b> .....           | 77 |
| <b>1. 自由鍛造工法</b> .....               | 77 |
| 1.1 基本的鍛造法.....                      | 77 |
| 1.1.1 実体鍛造.....                      | 77 |
| 1.1.2 据込鍛造.....                      | 80 |
| 1.1.3 展伸鍛造.....                      | 85 |
| 1.1.4 中空鍛造.....                      | 85 |
| 1.1.5 穴広げ鍛造.....                     | 86 |
| 1.2 補助的鍛造法.....                      | 87 |
| 1.2.1 曲げ.....                        | 88 |
| 1.2.2 ねじり.....                       | 89 |

|                                       |     |
|---------------------------------------|-----|
| 1.2.3 穴あけ.....                        | 89  |
| 1.2.4 絞り、口絞り.....                     | 91  |
| 1.2.5 しごき.....                        | 91  |
| 1.2.6 背切.....                         | 93  |
| 1.2.7 ずらし.....                        | 93  |
| 1.2.8 切断.....                         | 93  |
| 1.3 型入れ鍛造.....                        | 94  |
| 1.4 鍛造加工の基礎.....                      | 96  |
| 1.4.1 鍛造加工の歪と応力と変形.....               | 96  |
| 1.5 鍛錬成形比.....                        | 97  |
| 1.5.1 鍛錬成形比の表し方.....                  | 97  |
| 1.5.2 鍛錬成形比の意味とトータルの鍛錬成形比の計算のしかた..... | 99  |
| <b>2 . リングローリング鍛造</b> .....           | 102 |
| 2.1 リングローリング鍛造とは.....                 | 102 |
| 2.2 リングローリング鍛造の歴史.....                | 102 |
| 2.3 リングローリングミル鍛造工程.....               | 103 |
| 2.4 実際のローリングパターン.....                 | 104 |
| 2.5 これからの課題.....                      | 105 |
| <b>3 . 自由鍛造作業各論</b> .....             | 107 |
| 3.1 材料切断.....                         | 107 |
| 3.1.1 目的.....                         | 107 |
| 3.1.2 切断方法と特徴.....                    | 107 |
| 3.1.3 切断作業が及ぼす影響.....                 | 107 |
| 3.2 加熱.....                           | 109 |
| 3.2.1 加熱と加熱時間に関する考え方.....             | 109 |
| 3.2.2 燃焼加熱.....                       | 111 |
| 3.2.3 熱効率の向上.....                     | 118 |
| 3.3 鍛 造.....                          | 123 |
| 3.3.1 ハンマとマニプレータによる鍛造.....            | 123 |
| 3.3.2 プレスとマニプレータによる鍛造.....            | 124 |
| 3.3.3 鋼の鍛造.....                       | 126 |
| 3.3.4 ステンレス鋼の鍛造.....                  | 127 |
| 3.4 熱処理.....                          | 129 |
| 3.4.1 焼入れ、焼戻し.....                    | 129 |
| 3.4.2 焼ならし（焼準）.....                   | 133 |
| 3.4.3 焼なまし（焼鈍）.....                   | 134 |
| 3.5 仕上・検査.....                        | 136 |
| 3.5.1 表面処理.....                       | 136 |
| 3.5.2 寸法検査.....                       | 138 |
| 3.5.3 材料検査.....                       | 139 |
| 3.6 自由鍛造品に現れる欠陥事例.....                | 145 |
| <b>第5章 欠陥事例</b> .....                 | 148 |
| 砂きず.....                              | 148 |
| バーニング.....                            | 149 |
| ザク疵.....                              | 150 |

〔製品事例「製造／工程」・欠陥事例提供企業〕

（順不同）

|            |            |           |
|------------|------------|-----------|
| 株式会社アンテックス | 株式会社神戸製鋼所  | 同和鍛造株式会社  |
| 近江鍛工株式会社   | 住友金属工業株式会社 | 株式会社中村鉄工所 |
| 岡本鉄工合資会社   | 大同特殊鋼株式会社  | 株式会社西巻鉄工所 |
| 関西鉄工株式会社   | 株式会社東亜鍛工所  |           |
| 株式会社畠山鉄工所  | 株式会社日本製鋼所  |           |

# 第1章 自由鍛造加工の概要

## 1. 自由鍛造の現状と問題点

自由鍛造品(リングローリング品を含む)の国内での年間生産量は、約277,729トン(平成11年通産省機械統計)であり近年はほぼ横這いあるいは低下傾向で推移している。社団法人全日本鍛造協会所属の鍛造専業者社約200社のうち45社が自由鍛造に従事している。

表1-1に、自由鍛造により製造されている製品を示す。シャフトなどの軸形状部品や大型ベアリングレースなどのリング状部品、圧延ロールなど自由鍛造により製造されている製品は多岐にわたり、これらは図1-1に示されている自由鍛造の基本工程に従い製造されている。

表1-1 自由鍛造品の例

|            |   |
|------------|---|
| 産業機械器具用    | ...ベアリングレース、フック、金型材料、シャープブレード、<br>圧延ロール、カップリング、発電機軸、水車軸、<br>原子炉用ノズル、フランジ等 |
| 土木建設・鉱山機械用 | ...大型リング、削岩機部品等   |
| 農機具・漁具用    | ...耕耘機つめ、鋤、鋤、てい鉄等   |
| 工 具 用      | ...鋸(刃)、鉋(刃)、のみ、包丁、石工用具等  |
| 自 動 車 用    | ...リングギヤ、ベアリングレース等  |
| 産業車輛・自転車用  | ...運搬機用フォーク等  |
| 鉄 道 用      | ...主軸、歯車、レバー類、車輪、タイヤ  |
| 港湾船舶用      | ...コンロッド、クランク軸、ギヤ類、フック、フランジ等  |

自由鍛造により製造される製品種別は徐々に増加しつつあり、これを製造する事業者は長年にわたり我が国のサポーター・インダストリーとして、我が国の製造業を支えてきた。自由鍛造により多様な製品が製造されているが、製品種別毎の製造工程は、基本的には経験的に獲得された伝統的知見に基づき構成されている。多様な製品毎に複雑な工程を組み合わせることで構成され、典型的な多品種少量生産である自由鍛造は、数ある塑性加工の中でも最も自動化が困難である加工法である。限られた数の品種、比較的単純な形状を製造する場合には比較的自動化が容易であり、事実プレスの運動とマニプレータによる位置制御が協調して動作する自動化された自由鍛造機が国内でも稼働しているが、これらは中・大企業に偏在しているのが現在の状況である。自由鍛造業界の大多数を占める、従業員数100名以下の小規模企業では自動鍛造機の導入も容易ではない。小規模企業では、各企業毎に機械化・省力化の取り組みが行われてきているが、全体としてみればこれらの企業における自由鍛造の自動化は大きく取り残されている状況にある。

自由鍛造に従事している技術者・技能者のうち、技能検定資格を有する者は約160名(平成10年現在)であり近年はやや減少する方向にある。自動鍛造機の導入が困難な小規模企業では、これに代わる作業者のスキルにより技術水準を保持してきたが、今後の若年労働力の減少(今後の20歳

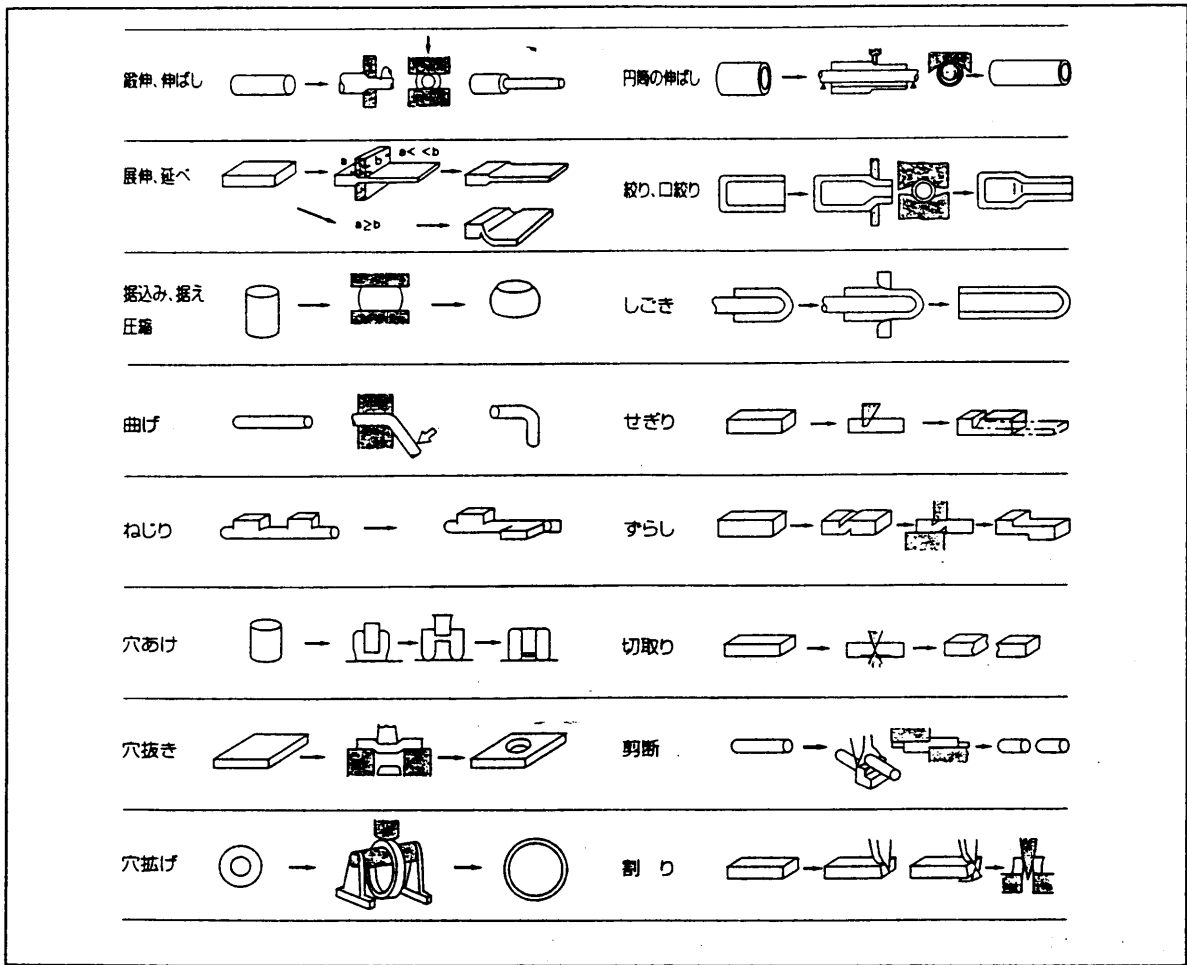


図 1-1 自由鍛造加工法の分類

代人口は1960年代の約半分で推移する)は各企業の保持している技能者のスキル伝承の困難に直結し、我が国の製造業を支えるサポーター・インダストリーとしての自由鍛造業界全体が活力・技術力を失う危険性が指摘されている。そのためには、自由鍛造を形作る要素技術である「切断」「加熱」「造形」「熱処理」「検査」についての自動化等の技術開発やCAE技術開発を絶やすことなく続けると同時に、多様な製品毎に複雑な工程を組み合わせることで構成され、典型的な多品種少量生産である自由鍛造について、各企業で蓄えられているスキル・経験的な知見を客観化・標準化し、体系化して行かなければならない。

本マニュアルは、自由鍛造に従事する各企業において蓄えられているスキル・経験的な知見を、体系化して説明することを目的として編集されている。なお、本節の冒頭にて示した自由鍛造品の年間生産量約277,729トンであるが、鉄系素材とアルミ他の非鉄系素材の主要な点は鉄系素材と同じであるので、鉄系素材の自由鍛造を本マニュアルでは主として取り上げる。

## 2 . 自由鍛造の目的

### 2.1 塑性加工と鍛造加工

鉄鋼系ならびに非鉄金属系材料を成形し、塑性変形を利用して目的とする製品形状を得ようとする加工技術を塑性加工という。塑性加工には、加工原理の相違に応じた図2.1-1に示す各種の加工法がある。

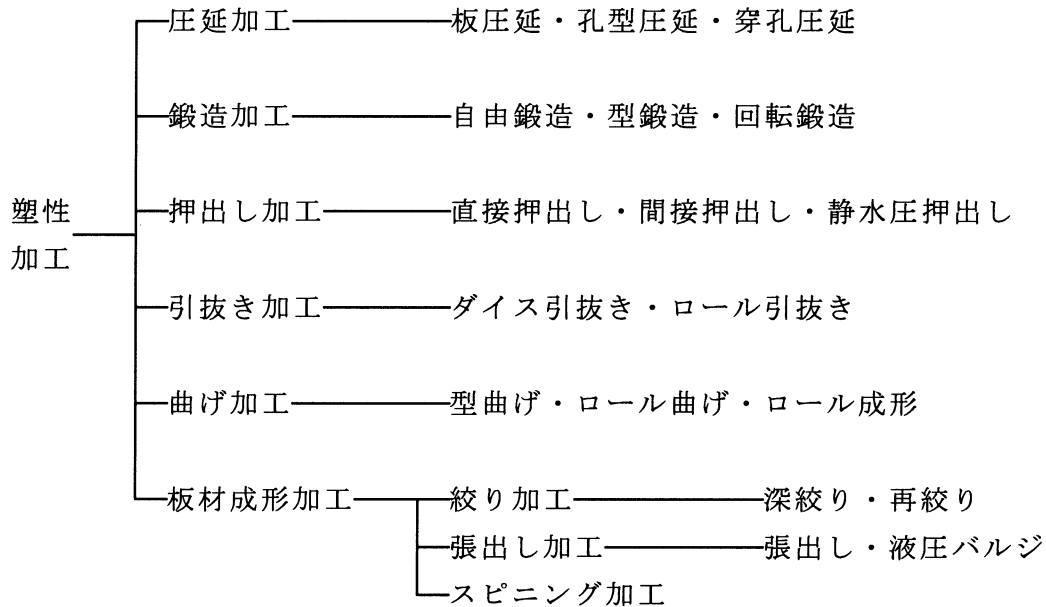


図 2.1-1 塑性加工の種類と基本原理

また塑性加工は加工温度により、「熱間加工」と「温間加工」「冷間加工」に分類される。対象とする素材の再結晶温度より上の温度で行われる加工を熱間加工と呼び、これ以下の温度域での加工を「温間加工」「冷間加工」と呼ぶ。再結晶温度以上の温度領域での金属素材の塑性変形には、1)塑性変形に必要な荷重の低下、2)塑性変形能(伸び)の向上、3)再結晶による結晶構造変化に伴う铸造組織の改質・製品の機械的特性の改善、といった特徴があり、熱間加工を利用する目的には、経済的な理由である1)2)と、製品特性より見た要求である3)の両面がある。ただし熱間加工で作り出せる製品の寸法精度には限りがあるため、主に熱間加工は一次素材(素形材)の製造を目的とした、圧延加工・鍛造加工・押し出し加工において利用される。

先の塑性加工の定義に倣うと、「鍛造加工」とは「ハンマーやプレス機械を利用してバルク状(塊体)素材を打撃・加圧し金型と金型との間で圧縮することにより成形する加工法」である。鍛造加工をさらに分類すると、加工温度による分類に従い「熱間鍛造」「温間鍛造」「冷間鍛造」、金型への型彫りの有無もしくはその複雑さに従い、図1に示した通り「型鍛造」「自由鍛造」ほかに分類される。型鍛造は、適切に設計製作された金型形状をバルク状素材に転写することにより、比較的高い製品寸法精度を得ることができることを特徴とする。型鍛造の成否を握る最も重要な項目は「金型設計およびその製作」であり、型鍛造に必要なコストの大半はこの部分が占めている。型鍛造技術の神髄はこの部分が握っているといっても過言ではない。型鍛造技術は、部品製造加工の分野において高品質製品の安価・大量供給のキーテクノロジーとして発展を遂げており、現在でも型構造改善による型寿命向上・型形状改善による鍛造時の材料フロー改善等について盛んに研究開発が行われている。

### 2.2 自由鍛造加工の特徴

型鍛造と対比した場合の自由鍛造の特徴は、比較的単純な金型による逐次部分成形を行うことにある。

型鍛造では、型彫りされた金型により塑性変形を制御しつつ自由表面が少ない状態で材料を成形する。金型による材料への形状転写はほぼ材料の全面に亘って行われるため、製品精度は、鍛造時に発生する金型の変形や、酸化膜の生成・熱収縮（特に熱間鍛造の場合）により主に左右される。同時に自由表面が少ない状態、すなわち金型からの束縛が大きい状態での材料の変形は、材料内部に発生する応力の増大をもたらすため、型鍛造での拘束係数（無次元化変形抵抗）の値は非常に高い値となる（以下の値はおよその目安であって実際の値は金型形状・摩擦などにより支配される）。なお理想変形における拘束係数の値は1.0である。

$$k = \frac{P}{A \cdot \bar{\sigma}} \geq 2 \sim 10$$

ただしAは圧下方向に見た圧下面の投影接触面積、 $\bar{\sigma}$ は材料の流動応力（一軸変形抵抗、以下に変形抵抗と呼ぶことにする）である。そのため、中大物部品への型鍛造の適用は、加工機械（プレス・ハンマーなど）の能力にゆとりがあってロット数が多い場合（熱間の場合は総計で約1,000以上）においてその効果を発揮する。自由鍛造では、自由表面が多い状態にて材料を逐次部分成形するため、金型から受ける材料の束縛は小さく、材料重量と比較した加工力の値は型鍛造のそれと比較して小さい。ただし自由鍛造では材料を部分的に成形するため、圧下されていない部分から圧下されている部分に塑性変形を束縛する作用があり、拘束係数が型鍛造と比較して大幅に小さい値になるというわけには一概に言えない。ただし、部分成形であるため金型により圧下されている部分が小さくなり、トータルの鍛造荷重が材料の重量に比べ大幅に減少し、そのため、自由鍛造は重量部品の成形加工に適している。また、重量部品は一般にロットが小さいことも、自由鍛造の利用を促進している要因である。さらに自由鍛造では、材料の内部組織の改質をも同時に目的としているため、材料の流動応力を下げる必要性和相まって、熱間で行われることにも特徴がある。以上をまとめると、自由鍛造加工の特徴は以下の通りとなるが、熱間自由鍛造加工は、重量部品の1次加工として極めて合理的であり、他の加工技術による代替が不可能な独自の適用分野を保有している。

- 重量物加工： 逐次部分成形による加工力の低減
- 熱間温度域利用による材料降伏応力の低減
- 溶製まま材の利用（インゴット材、CC材の利用）：
  - 熱間加工による材料改質（熱処理を含む）
- 小ロット品成形： 単純工具による成形、工程方案スキルの重要性

以下に、自由鍛造における工程方案スキルの重要性を、型鍛造と対比して説明する。型鍛造における金型設計は、自由鍛造では、1) 工具の選択、2) 加工位置ならびに加工順序の選択、に相当している。自由鍛造の成否はまずこの部分が握っており、これらによる形状の創成と同時に鑄造欠陥ほかの再結晶による改質を、自由鍛造では同時に実現している。また自由鍛造は多品種少量生産、極端な場合数ロット生産が現実に行われているため、数多くの製品形状・数多くの素材に対応した、工程方案の策定が極めて重要な役割を担っている。工程方案の策定すなわち工程方案スキルは、まさに自由鍛造における技術・技能の根幹であり、この部分の差別化によって事業者間の技術力が大きく左右される、いわゆる高度なノウハウの部分である。鍛造工程の設計は技能者が長年の経験から蓄積した「客観的な形で明文化されていない知識」によりなされている。自由鍛造における技術・技能を、客観的な形式で記述するためには、まずは自由鍛造における技術・技能を文書で記述しマニュアル化することが重要である。このことは、今後の自由鍛造技術の発展への重要な一歩になることに止まらず、今後若年労働力の減少に伴う技術・技能伝承のために今後ますます重要となるであろう。

### 2.3 自由鍛造工程の構成

図 2.3-1 に、自由鍛造の大まかな工程分解例と、それぞれの工程を形作る技術のあらましを示した。まず「材料」はすべての工程に関わる重要な問題である。また、割れ・きずについても、その原因は加熱・抽出以後すべての工程と関わっている。自由鍛造における技能・技術の客観化は、図 2.3-1 に項目として示されている技術それぞれについて行われなければならないのと同時に、全体を含む「自由鍛造」工法の事例の集積といった、2つの面より行われなければならない。本マニュアルでは、図 2-3-1 に示されている個別工程について、その技術の内容が詳細に記述される。

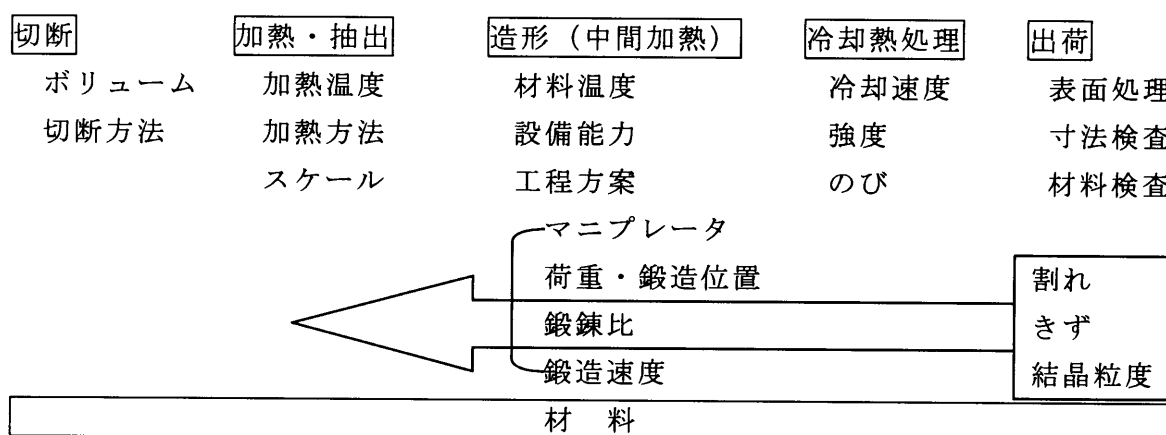


図 2.3-1 自由鍛造を形作る工程とそれぞれの工程を形作る技術

### 2.4 自由鍛造における材料変形の特徴

自由鍛造により製造されている製品は多様であり、全ての自由鍛造プロセスに共通する材料変形様式が存在する訳でもないが、以下に鍛伸加工を例に取り、材料変形の形態を定性的に説明する。なお、以下に示す材料変形はあくまでも定性的な傾向を示す者であって、条件によっては傾向が逆転する場合もある。より詳細な情報は有限要素法による3次元変形解析を行うことにより得ることができる。

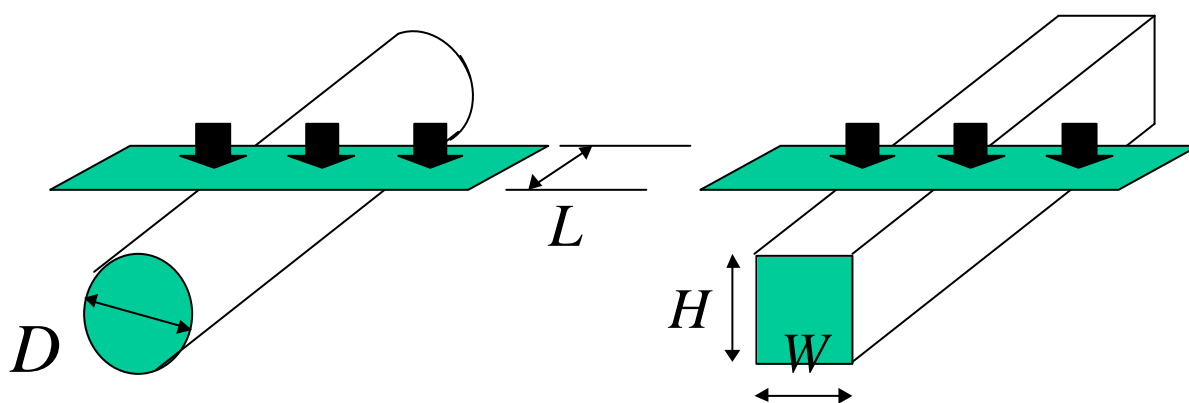


図 2.4-1 鍛伸加工における材料変形

#### 2.4.1 材料の軸方向伸びと幅方向広がり

軸方向伸びと幅広がりを支配するパラメータは、以下の通りである。

- 1) 金型幅  $L$  と材料幅  $W$  の比

L/W が小さいほど材料の軸方向伸びは大きく（幅広がり小さく）なる。

#### 2) 材料のアスペクト比

材料のアスペクト比 H/W が大きいほど幅広がりが大きく（軸方向伸びは小さく）なる。また、H/W が大きいほど自由表面部分にダブルバルジなどの変形が出やすくなる。

#### 3) 摩擦係数

摩擦係数が大きいほど、幅広がりが大きく（軸方向伸びは小さく）なる。

#### 4) 压下量

当然のことであるが、材料の据え込み量が大きいほど、幅広がり・軸方向伸びともに大きくなる。

### 2.4.2 金型に作用する面圧

金型に作用する面圧は以下の場合に大きくなる。

- 1) L/W が小さくなる場合。これは、圧下部両端の非変形域からの拘束が大きくなることに起因している。
- 2) 摩擦係数が大きくなる場合。
- 3) 压下量が大きくなる場合。
- 4) 当然のことではあるが、材料の流動応力が高くなる場合。同一材料の加工では、低温・高速の場合。

### 2.4.3 材料横断面中心の静水圧応力

一概には言えないが、以上に述べた条件のうち、材料の軸方向伸びを小さくする条件下は横断面心部の静水圧を圧縮側に上げる効果が期待できる。また材料 C 断面中心での静水圧は、横断面内変が金型から束縛される場合に大きくなるので、例えば、

- 1) 金型に円弧を付け材料の幅流れを拘束する、
  - 2) 材料表面の温度を内部より下げる、
- などにより静水圧応力を圧縮側に増加させることができる。

### 2.4.4 横断面内でのひずみ分布

金型下部にはデッドゾーンが形成されるためこの部分でのひずみが最小となり、逆に高さ中心部でせん断変形が大きいひずみが最大となる。

デッドゾーンの大きさは摩擦係数により大きく左右され、摩擦係数が大きいほどデッドゾーンは大きい。また幅方向変形もこの場合に大きくなるため、摩擦係数が大きい条件ほどひずみ分布は不均一となる。

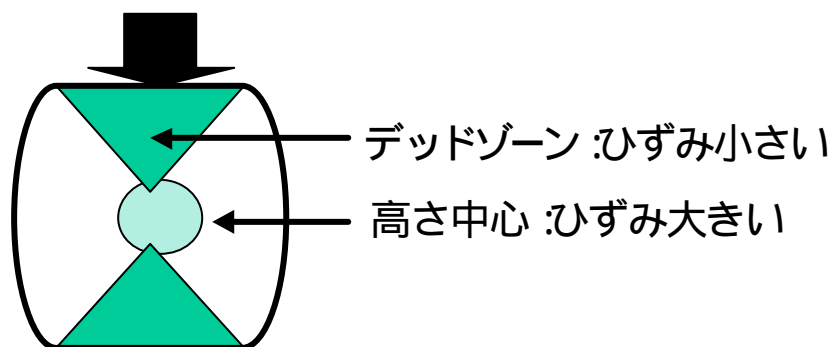


図 2.4.4-1 デッドゾーンの形成とひずみ分布

### 2.4.5 軸方向応力

図 2.4.4-1 にて示した鍛伸加工では、横断面内での平均軸方向伸びひずみは等しい。材料変形前後の体積一定条件から、圧下ひずみと幅ひずみの総和は横断面内で等しくなるが、圧下ひずみが入りにくい場所では軸方向引張り側に応力を増し体積一定条件を満足させる釣り合い状態を保とうとする。横断面内での軸方向応力分布とアスペクト比 $H/W$ との関係を図 2.4.5-1 に示した。特に高さ中心端部、場合によっては高さ中心中央部でも 3 軸圧縮応力状態とならない場合があるので、きずの発生抑制の観点からは引張り応力をできるだけ下げようような工程方を策定しなければならない。

### 2.5 自由鍛造加工時の材料組織変化概論

熱間加工時の材料組織の変化は、温度のみならず加工により影響を受ける。熱間加工時の組織変化は、

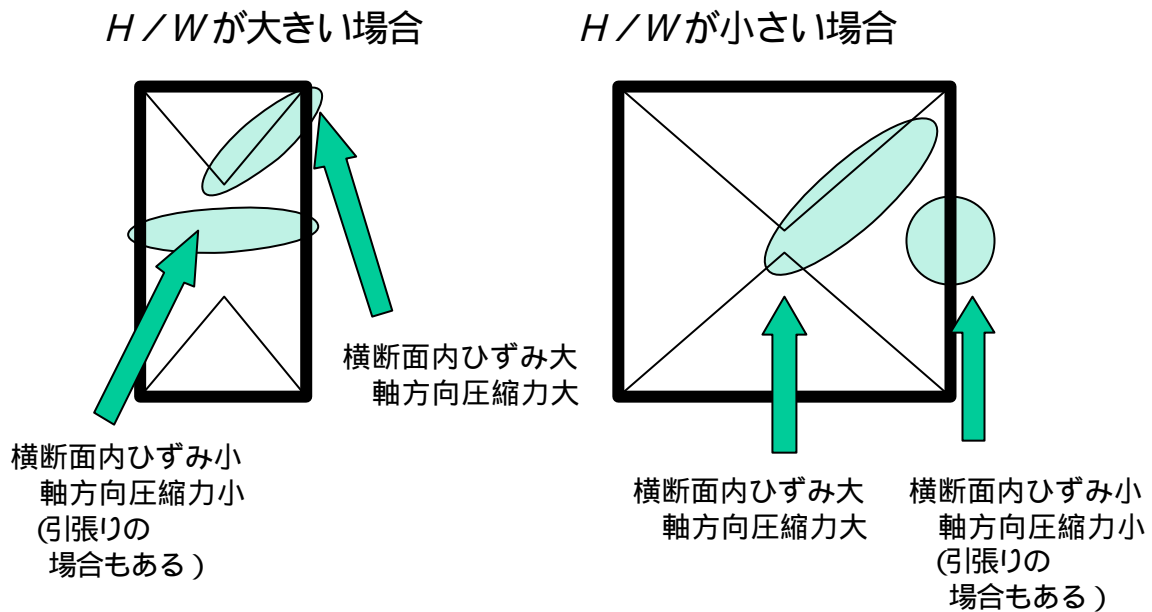


図 2.4.5-1 軸方向応力の分布

- 1) 加工前：炉内オーステナイト粒の成長
  - 2) 加工中（変形時）：動的再結晶、動的回復、加工硬化
  - 3) 加工中（パス間）：静的再結晶、静的回復、ポストダイナミック再結晶、粒成長
- などの要因により支配される。加工後熱処理による組織調整は極めて重要であり最終製品の機械的特性は熱処理条件で決まるが、加工中に発現する組織変化は結晶粒の微細化や均質化に大きな役割を担っている。以下に再結晶組織変化について概略をまとめる。図 2.5-1 は、熱間加工中の組織変化を模式的に示した図である。

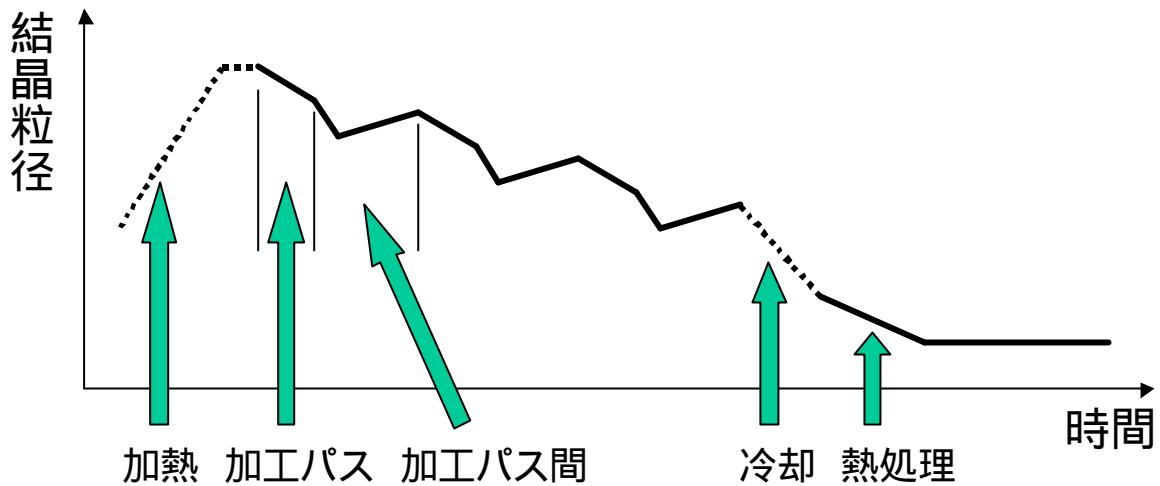


図 2.5-1 自由鍛造時の結晶粒径変化  
(なお結晶粒径変化量は加工量・温度・パス間時間等により影響される)

### 2.5.1 動的再結晶

動的再結晶は加工中オーステナイトの再結晶であり、真ひずみ 0.5 程度より発現し 1.0 以上で完全再結晶組織が得られる。なお以上のひずみは目安であって再結晶を発現するひずみは温度・合金成分の影響を大きく受ける。例えば Nb, V 等のマイクロアロイ元素は動的再結晶を抑制する効果がある(粒界ピン止め効果)。

SS材などの C-Si-Mn 系材料は典型的な動的再結晶形材料である。動的再結晶は高温側で促進され完全再結晶に至るまでのひずみは小さくなるが、再結晶終了時の結晶粒径は Z 因子 (Zener-Hollomon のパラメータ) すなわち温度補償ひずみ速度により支配され、ひずみ速度が高く温度が低いほど再結晶粒径は小さくなる。

$$Z = \dot{\epsilon} \exp \left( \frac{Q}{RT} \right)$$

### 2.5.2 静的再結晶

自由鍛造では 1 パスで材料に付与できるひずみが比較的小さいため、加工中の結晶粒微細化には静的再結晶の寄与が大きい。静的再結晶は、残留転位密度の大きさと結晶粒扁平化による核生成頻度の大きさにより支配され、これらが大きいほどすなわち塑性変形が大きいほど再結晶粒径は微細になる。大ざっぱに言えば、前パスの加工により導入されたひずみの「 $n$  乗」に比例して結晶粒径が細くなる。また、再結晶速度は温度の影響を受け、温度が高いほど再結晶に必要な時間は短くなる。Nb, V 等のマイクロアロイ元素は動的再結晶を抑制する効果がある (粒界ピン止め効果) ため、残留転位密度が高い状態からの静的再結晶により微細な結晶構造が得られる。

なお動的再結晶・静的再結晶、ならびにフェライト変態による材料組織変化については 80 年代より鉄鋼メーカーで研究が進められており、幾つかの鋼種について実験データ・実験式が公開されている。

### 3 . 自由鍛造技術の動向

今後の自由鍛造技術の動向を見渡すと、新たな自由鍛造法の開発と対応した設備の開発、自由鍛造を形作る要素技術である「切断」「加熱」「造形」「熱処理」「検査」全てに共通した自動化の進展、材料技術との融合、C A E化、等が上げられる。

#### 3.1 多面自由鍛造法

上下一対の金型による造形が自由鍛造の基本形態ではあるが、同時に自由鍛造は型鍛造とは異なり、金型配置のフレキシビリティが高いという特徴がある。現在軸物品の成型については既に4面鍛造機が普及しつつあり、生産効率の向上に効果を上げている。但し、現状の4面鍛造機は同一面内に金型が配置されるため、隣接金型との干渉の結果压下率を十分取れないという欠点がある。

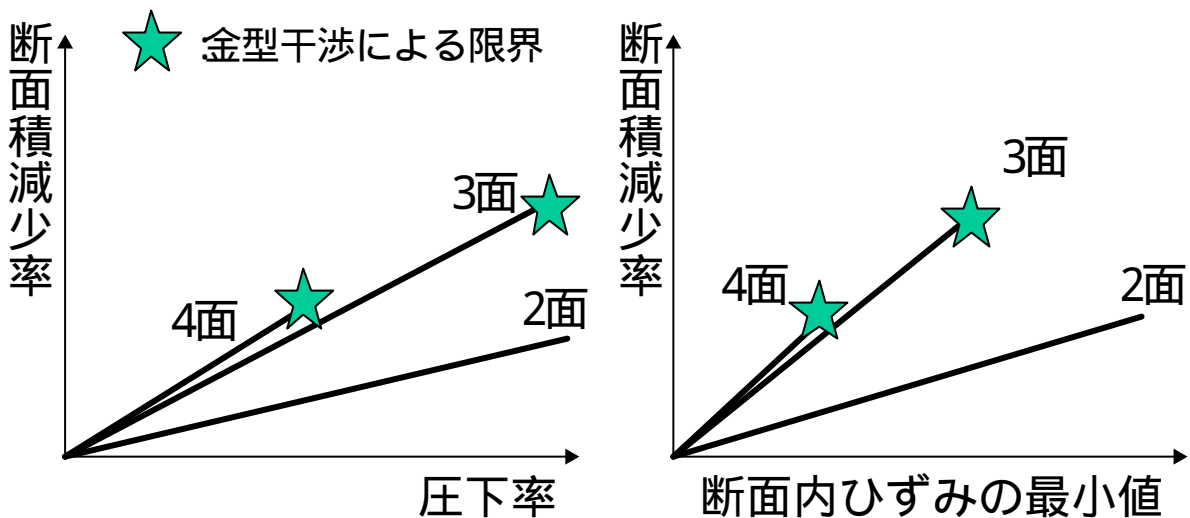


図 3.1-1 多面鍛造時の変形特性

図 3.1-1 に、同一面内での多面鍛造時の変形特性を模式的に示す。压下率と横断面断面積の減少率（あるいは軸方向伸び）との関係は、変形効率あるいは生産性を表す指標である。同一压下率の場合で比較すると、鍛造面数が多くなるほど断面積減少率が高い。すなわち4面鍛造は圧下に伴う変形効率は2面鍛造より遙かに高く、生産効率が優れている。但し金型干渉により取り得る压下率には限界がある。さらに、断面積減少率と断面内ひずみの最小値の関係を整理すると、同一断面積減少率（軸方向伸び）でのひずみは、4面鍛造の方が2面鍛造より遙かに小さい。また、2面鍛造ではひずみが横断面内中心で最大値を取るのに対し、4面鍛造では横断面内中心でひずみが最小となる。

以上をまとめると、4面鍛造は変形効率（生産性）の点では優れており、その理由は横断面内の余剰変形（せん断変形）の少なさにあるが、この余剰変形の少なさ故に断面内ひずみが小さくなってしまい、また、工具の干渉によって限界压下率が小さいため、特に素材中心部での鍛錬効果が期待できない、という特性がある。これを改善するためには限界压下率を上げることができるよう、同一面内に工具を配置することなくこれらを若干ずらし、上下面加圧と左右面加圧を交互に高速で行う、改良型4面鍛造機が実用化に向かっている。また、図3.1-1にて示されているとおり、3面鍛造が変形特性の点では優れているため、機構上解決すべき点は多いと考えられるものの、今後検討される必要性はあろう。

#### 3.2 高速鍛造法

高速鍛造の利点は、金型 - 材料接触時間の減少に伴う金型温度上昇の抑制と、材料温度低下の抑制にある。そのため高速鍛造は薄物製品製造には重要であり、今後その特性を生かした自由鍛造機の開発が進むことが期待される。

鍛造プレス的高速化は、機械式プレスの場合比較的容易であるもののストロークの拡大に問題があり、油圧プレスの場合には高速化には限界があるもののストローク（圧下率）が自由に選定できるメリットがある。今後は、この両者の特徴を兼ね備えた複合化高速鍛造が指向されるであろう。

### 3.3 材料技術との融合

熱間加工であり、かつインゴット材・CC材などの溶製材を素材とする自由鍛造においては、鍛造中ならびに後続する熱処理による材料結晶構造の改質は重要な問題である。従来より、鑄造欠陥の解消を目的とした鍛錬や熱処理などは自由鍛造加工を形作る重要な要素であったが、今後は材料技術と加工技術との融合により製品の結晶粒度や結晶構造を自由に造り分ける「フレキシブル加工熱処理技術」や、造り分け技術の利用による「低級鋼による高機械特性材料の製造」が重要となろう。

インゴット・CC材に必ず存在する鑄造欠陥や偏析の解消は、上流鍛造工程において温度・加工度等の工程方を決定する際に最も重要な目的である。これは、材料内部に存在するポロシティを圧着することや、材料内部に加工により出来るだけ多くの原子間すべり（転位）を導入し、鍛造中もしくは鍛造後の再結晶を促進することで実施することができる。従って、表面冷却を利用した材料内部静水圧応力の増加によるポロシティ圧下の促進（これは既に実用化されている）や、より低温で加工されたオーステナイト相からの変態による結晶粒径の微細化等の利用が進むであろう。

中間・仕上げ造形工程において重要なのは、熱間加工による組織の造り分けである。自由鍛造では圧延と比較してパス間時間が長くパス間で原子間すべり（転位）が解放され易い条件となっている。この場合加工中の組織変化（いわゆる動的再結晶）は起こりにくいため、加工後に生ずる静的組織変化（静的再結晶）が、結晶粒径変化を規定する基本的な要因となる。静的再結晶による結晶粒径の微細化は、転位密度の高いオーステナイト粒からであるほど促進される傾向にあるので、パス毎温度と各パスの加工度を適切に制御することによる結晶粒径の造り分け、ならびに結晶粒径制御による機械的特性の調整が今後重要な課題となるであろう。自由鍛造は基本的にフレキシブルな加工である。そのため工程方が複雑であり加工の自動化が困難であることは既に述べた通りであるが、見方を変えれば、この様な自由鍛造の持つ柔軟性は、材料技術と加工技術とを融合するためには有利に働く。すなわち、

塑性変形制御 形状寸法のフレキシブル成形

再結晶変態組織制御 内部組織のフレキシブル創成

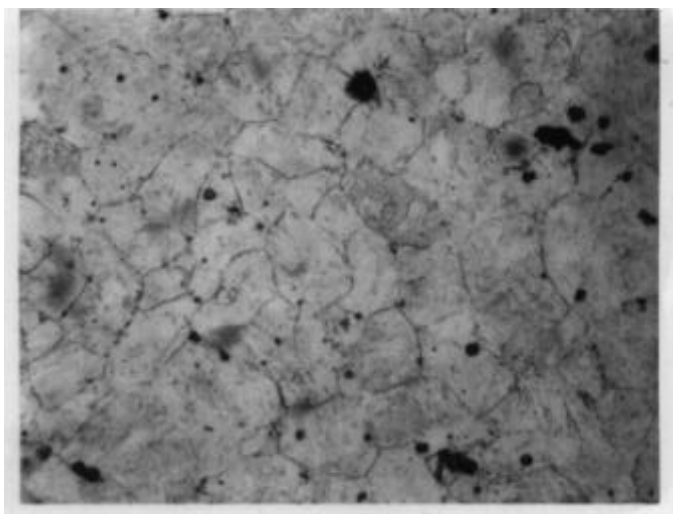


図 3.3-1 横圧縮後の動的再結晶組織  
(S20C、1180℃、ひずみ約 1.5、平均粒径約 20 ミクロン)

を自由に組み合わせて、新たな製品を製造するための技術開発が進むであろう。

高速自由鍛造機ではパス間時間が短いために加工中の動的再結晶が起こっている可能性がある。その場合には、動的再結晶によって細粒化された結晶粒(図 3.3-1)をもとに静的再結晶や制御変態などの組織調整が行えることになり、結晶構造制御の自由度がより一層増加することになる。また、残留転位密度が高い結晶粒からの変態により、微細なフェライト結晶粒径が得られることが知られているが、これも一種の「材料技術」と「加工技術」の融合である。この節にて述べたことは従

来より「加工熱処理」として部分的に利用されてきたことであるが、今後自由鍛造技術の進むべき一つの動向として注目すべきである。

### 3.4 C A E 化

「...という条件の場合には...の場所で応力・ひずみが高く、引張り側応力が発生しそうな場合はきず発生に気をつける」といったことは、自由鍛造技能もしくはノウハウの重要な部分である。材料変形に関連する種々の事柄については、その大略を2.4節にまとめてある。そもそも材料に発生する応力・ひずみは塑性力学によって定量的に記述されるが、近年有限要素法による3次元解析を利用することによりこれらを数値的に解くことが可能となってきた。これが塑性加工C A Eの根幹であり、今後もその利用が進み自由鍛造技能を客観化し省力化するための一つの手段として有効に利用されるであろう。

ただ、材料変形のみがC A Eの対象であるとするれば、適用範囲は極めて狭い物になってしまう。例えば、「きず」の問題や、「結晶構造」の問題などには、現状のC A Eは全く無力である。今後は、例えば、「応力・ひずみ」と「きず」の関係を定量的にし、C A Eに組み込む等の研究開発を行うことで、真に自由鍛造に役立つC A Eが構築されることを期待したい。

## 第2章 自由鍛造設備

### 1. 自由鍛造の設備概要

自由鍛造は一般的に熱間加工であり、使用される設備としては、素材を切断する装置・加熱する設備・鍛造加工をする設備および搬送する設備等に大別される。

ここでは、前述した設備・装置と技術の概要について記す。

#### 1.1 切断

素材の切断は鍛造加工前、鍛造加工プロセス中および鍛造打上り後になされるが一般的に鋸・鑿・ガスにより行なわれている。これらの使い分けは歩留・材温・効率等によって決まるものであり、最適な方法は明確には記すことが出来ない。しかしながら一般的に常温材の場合は鋸切断が多く適用され、高温材ではガス切断あるいは鑿切断が適用されている。

ガス切断方式は粉塵・煙等が発生し、環境問題に対しよくなく付属設備として収塵装置を設置する必要がある。また鑿切断は切断面が平滑になりやすく、次工程を考慮してその適用の可否を決める必要がある。

これらの3つの切断方法以外に、スーパーアロイ等でよく使用されている放電加工機による切断等がある。

#### 1.2 加熱設備

自由鍛造に用いられる加熱設備は、一般的にはバッチタイプの加熱炉が主体である。炉床が固定式でチャージングマニプレータにより素材を搬出入するタイプと台車が稼働して炉体の外で素材を主にクレーンとトンクにより搬出入するタイプの2つが主流である。燃料は、重油、軽油、灯油等の油燃焼と天然ガス、ブタンガス、COG等のガス燃焼のいずれかが用いられている。

自由鍛造に要求される加熱の目的は、鋼塊製造時に存在する偏析の軽減・炭窒化物あるいは金属間化合物の固溶による熱間加工時の割れ疵の軽減・変形抵抗値の軽減等である。従って均一に加熱されることが重要である。

その中で、制御関係・省エネルギー関係・公害関係・省人および省力化関係の技術革新が行なわれて来ている。

最近では、蓄熱損失を減じたセラミックファイバを用いた耐火物を天井、側壁に装着し、バーナは熱

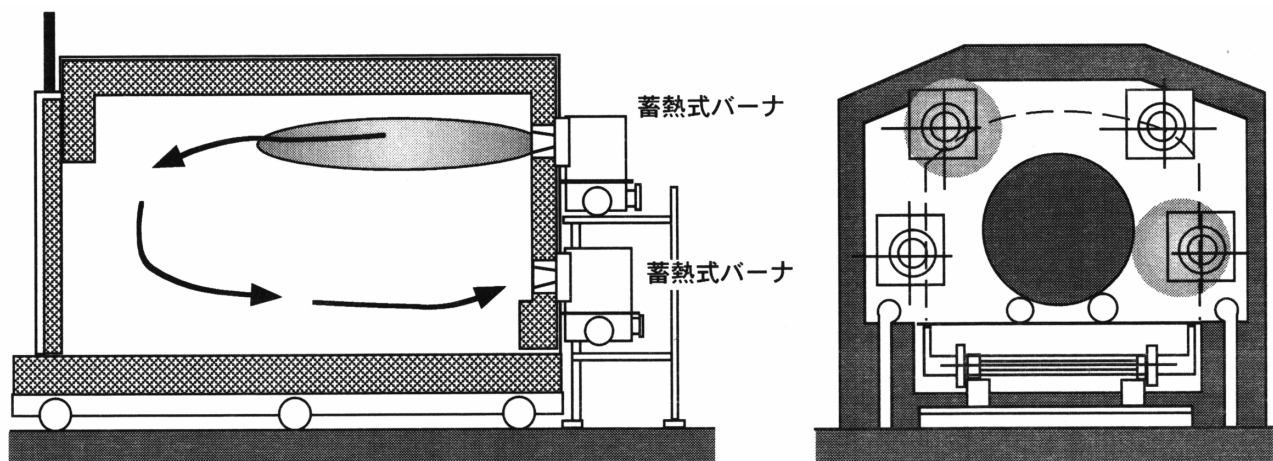


図 1.2-1 リジェネレイティブバーナを用いた加熱炉

交換機能を備えた低NOxリジェネレイティブバーナを設置し、マイコンによる燃料負荷制御方式の炉が主流になって来ている。

図1.2-1にリジェネレイティブバーナを設置した加熱炉の概略図を示す。対になったバーナの方が運転中に発生する燃焼ガスを他方の休止中のバーナに導き、セットされている蓄熱体に熱を蓄えながら排ガスとして排出する。この動作を短時間の内に交互に切り替え連続して燃焼させる方式である。

固定式タイプと台車式タイプの選択上の決め手は、工場の建屋のスペース・強度、被加熱材の重量・材質等によるところが多い。固定式タイプは、比較的安価で設置できるが、トータル積載量は、搬出入の関係よりあまり多くとれない。また、個々の素材重量も搬出入によく使用されているチャージングマニプレータの容量と大きさ等の関係から小型サイズに適している。

その他、被加熱物の寸法形状がほぼ同一で、数量も多く、且つ材質も同じで再加熱がほとんどない(1ヒート仕上り)ケースには、円形タイプの炉床が回転し、1回転した時に鍛造加熱温度に達する回転炉が用いられる場合もある。

### 1.3 鍛造設備

自由鍛造に使用される加工機にはプレス、ハンマおよび回転鍛造機に大別される。

一般的にプレスとハンマが多く使用されている。また、補助設備としてマニプレータ、金敷交換装置あるいは測長装置が設置されている。

これらの設備は製造する製品に応じて最も適した形で選ばれるべきであるが、自由鍛造としては、プレスとハンマが汎用性の面から高く、軸析・円板析・リング析・パイプ析・板材等ほとんどの形状対応が可能である。これらは工具である。

ある金敷が直進運動を行なう中で、その間に被加工物を入れ塑性変形を施す方式である。加工力の反力を機械自体で支える構造をプレスと称し、反力を基礎で受ける構造をハンマと称す。

図1.3-1、1.3-2にプレスとハンマの概略図を示す。工具が回転運動を伴う加工を回転鍛造機と称す。

図1.3-3に鍛造加工機について分類整理し示す。自由鍛造においては、プレスは液圧プレス(機械プレスはあまり使用されない)、ハンマはドロップハンマ、回転鍛造機は揺動鍛造機・リングローリングミルが一般的である。

プレスについて述べるが自由鍛造はいくつかの作業工程の組合せにより鍛造作業を実行する為、大きなストロークを要する場合と小さなストロークを要する場合と種々なる対応が必要となる。従って、シリンダとラム方式の液圧プレスが有効である。液圧プレスには、シリンダがクロスヘッド上部に位置するプッシュダウンタイプとシリンダが地下に位置してフレームを押し下げ、地上に位置するフレームに工具(金敷)を装着させるプルダウンタイプの2つがある。前者は、機体が地上部に多く要することから設置する工場の建屋高さが後者に比べ高くなる。但し、メンテナンスの面からは、地上部が多いので行ない易い利点がある。

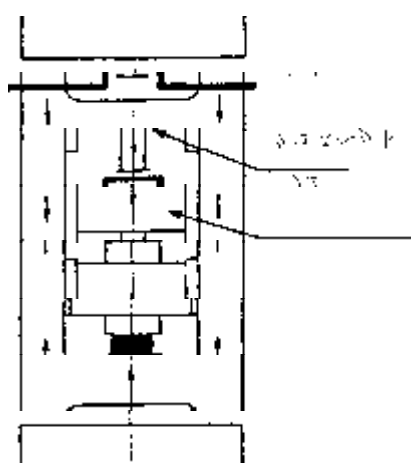


図1.3.1 プレス

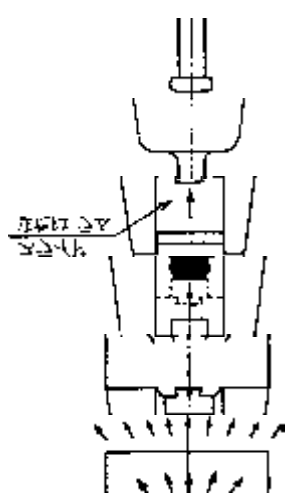


図1.3.2 ハンマ

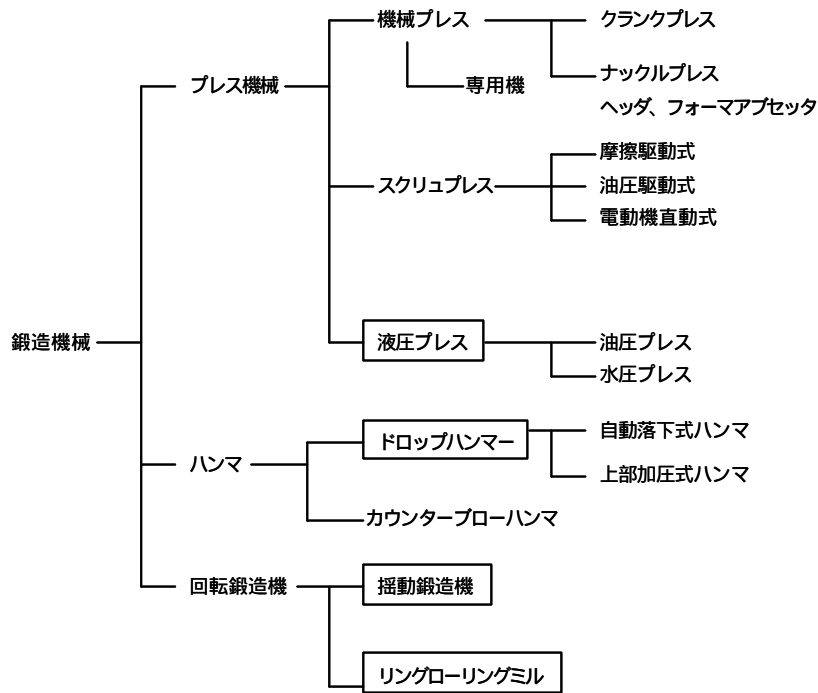


図1.3-3 鍛造加工機の種類

一方液圧プレスでは、油圧と水圧が一般的に使用されている。中小型プレスは腐食問題、潤滑問題に優る油圧が多く、制御の面からもバルブ等の改良が行なわれ、応答性の向上につながり、SPM(ストロークパーミニユツ)のアップつまり高速化につながっている。更に近年は、制御関係も油圧制御が発達して来ておりコンピュータの活用によるプログラム鍛造等の自動化技術にもつながっている。ハンマについて述べるが、ハンマは自由鍛造として打撃動作が片側固定式となるドロップハンマが一般的である。カウンタブロー方式であると種々の形状に対し、寸法コントロールが難しい点から使用されていない。

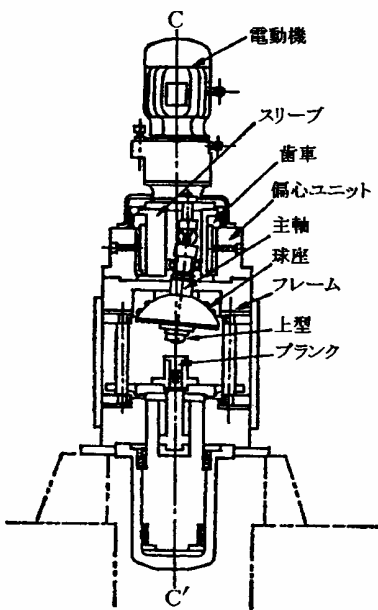


図 1.3-5 揺動鍛造機

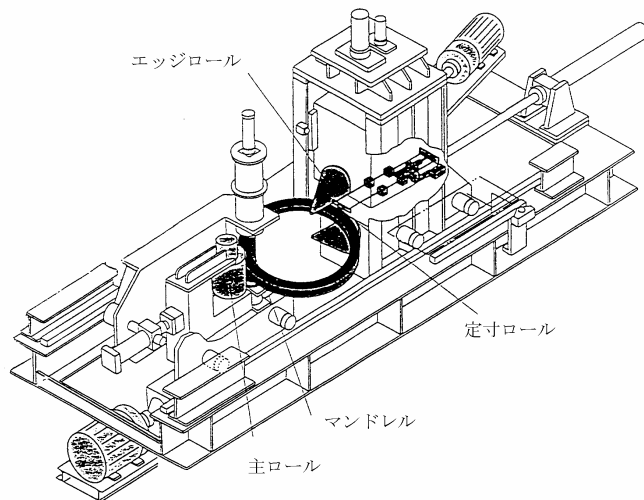


図 1.3-4 リングローリングミル

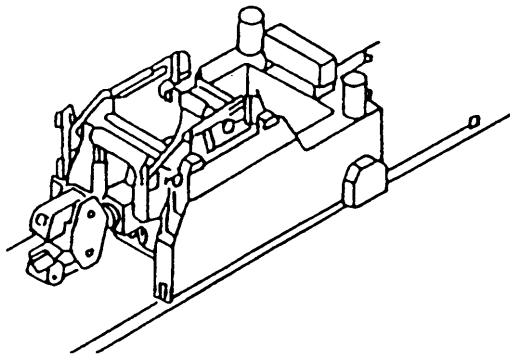


図 1.3-6 マニプレータ

ドロップハンマには、駆動源として蒸気・エアーが用いられるが、モータ駆動等もある。

次に回転鍛造機であるが、主なものとして、リングローリングミルと揺動鍛造機が代表的なものとしてあげられる。

いずれも最終仕上げ工程に使用されるケースが多く、リングローリングミルはリング析の穴広げ成形機で2つのロール間に1リング素材を挿入し、圧延加工し肉厚を減ずる過程の中で周方向に変形させるので穴が広がっていくものである。プレスによる穴広げよりスピーディで肉厚の精度も高い。一方、揺動鍛造は、冷間から熱間迄幅

広く採用されている。これもどちらかというとも最終仕上げ工程で使用され、フランジ成型、円板材の成形を上からの押し付け力と回転力で展伸加工を施す方法である。

鍛造加工機について述べたが、マンパワーの問題あるいは効率・安全という問題より補助設備が重要となって来ている。補助設備としては、マニブレイクおよび金敷交換装置(ツールシフタ)があげられる。マニプレータは、クレーンや人に替わる素材のハンドリング装置として普及して来ており、軌条式とそうでない自由走行式との2つがある。鍛造精度あるいはプレスとマニプレータの連動等を考えると軌条式となる。

自由走行式はチャージングマニプレータの役割りを兼ねるケースがあり、素身の加熱炉から搬出し、



プレス・ハンマに持って行き、即鍛造作業に移る様な時等に使用される。従って、小型の素材を扱う作業に多く用いられている。また軸析の鍛造等では材料の方向転換を回避したり。曲がり防止の為に2つのマニプレータを設置するツインマニプレータ方式等も採用されている。

次に金敷交換装置であるが、省人、省力およびスピードアップ策として近年のプレスには、ほとんど装着されている。また、金敷の交換数が多い場合には、ダイマガジンを設置し、選定する金敷をスピーディに交線(ツールシフタあるいはダイシフタを使用)する様にしている。



これらについては、2章4.6で詳細に述べられている。いずれにしても鍛造機械とマニプレータおよび金敷交換装置等も合わせ一つのコンプレックスシステムと称するようになって来ている。

#### 1.4 搬送設備

素材の搬送は、鍛造仕上り迄の間に数回行なわれる。従来は、クレーンとチェーンあるいはトンクによる方式が多かったが、小型析あるいは、加工温度範囲の少ない材質を扱う場合はフォークリフトにクランプおよび回転装置の機能を装着したものや、自走式チャージングマニプレータ等が使用されている。これらにより、鍛造ヒート回数の低減や鍛造温度の低下から発生する割れ疵防止等に役立っている。

#### 参考文献

- 1) 鍛造加工技術・鼓能マニュアル 中小企業総合事業団 1999年
- 2) 自由鍛造作業の自動化に関する調査報告書 日本鋳鍛鋼会 1993年

## 2 . 切断設備

自由鍛造における切断作業は、製品を鍛造するにあたり、必要な素材を、ピレットやブルームから準備するための切断と、溶解～造塊から鍛造まで一貫して実施する場合に、鋼塊に不可避免的に存在する使用不可能な部分(不良部)と良品部を切離すためにおこなう切断とに大別される。

前者は、主に冷間にて、後者は、主に熱間にて実施されるのが一般的であるが、切断材の材質、寸法、形状、それと何より、各鍛造業者の保有設備にも左右される場合が多い。

切断作業の概要について、本章では、主に設備面を、第4章では、切断作業の目的、切断方法毎の特徴等について述べる。

### 2.1 主な切断方法とその特徴

上述の通り、切断作業には、鍛造前の準備工程としての役割と、鍛造後の完了工程としての役割の両方があるが、本書では主に準備工程としての切断作業について述べる。

鍛造品の製造は、冷間、温間、熱間鍛造を問わず、全て素材の切断作業から始まる。主な切断の方法としては、鋸切断、鑿、シャー切断、ガス切断があり、これらの切断方法について整理すると下表のようになる。

表 2.1.-1 主な切断方法とその特徴

| 項目   | 鋸切断      | ガス切断            | 鑿、シャー切断         |
|------|----------|-----------------|-----------------|
| 温度   | 冷間       | 冷間～熱間           | 熱間              |
| 材質   | 金属材全般    | 普通鋼             | 金属材全般           |
| 寸法   | 小～大      | 小～大             | 小～中             |
| 切断代  | 小(3～5mm) | 大、かつ切断部近傍に変質部発生 | 小、但し切断面の垂直度確保困難 |
| 切断時間 | 長        | 短               | 短、但しオンラインで実施    |
| 設備   | 比較的安価    | 大型設備必要          | 大型設備必要          |
| 環境   | —        | 粉塵、発煙対策要        | 騒音、振動対策要        |

どれが最適な方法であるかについては、温度、材質、寸法等、被切断材の条件、歩留、納期(切断工数)等によって決まるものであり、一義的に決めることは出来ず、むしろ、上記の項目を十分考慮の上、個別に決定する必要がある。

その他の切断方法としては、砥石、プラズマ、レーザー、放電、ウォータージェット等があるが、ここでは、上記の3つの切断方法のうち、鋸切断方法とガス切断方法について以下に、説明する。

### 2.2 鋸切断方法

鍛造用素材の切断方法として、最も一般的な切断方法が鋸切断であり、その種類は、弓鋸盤、丸鋸盤、帯鋸盤の3種類が挙げられる。我が国における鍛造素材の切断は、従来は大型材は溶断が多く、小径材は鋸切断が主流となっていたが、帯鋸盤の大型化に伴い、現在では、溶断はほとんどなくなり、鋸切断も、丸鋸盤と帯鋸盤に集約されている。

#### 2.2.1 丸鋸盤

丸鋸盤は、名の通り円盤状の外周に切削用の刃先を作り、それを回転して素材を切断する方法で

ある。その特長としては、比較的小径材の切断に適しており、現在、100以下の切断に使用されている例が多い。100以上の径の素材を切断する為には、外径が400以上の鋸刃が必要となり、機械の構造が大きくなり、設備費が高くなる為、大径材用の丸鋸盤は普及しにくいとも言える。

丸鋸盤の材質は、高速度鋼(ハイス)が多く使用されているが、現在は外周に超硬チップを使用した超硬丸鋸刃が開発され普及しつつある。



写真2.1-1 丸鋸盤の外観

超硬チップの丸鋸刃の特長は、ハイスに比較して切断早さが早いこと、面粗度が良く、切断精度も良い為、冷間鍛造、型打ち鍛造に適していると言われている。

切断コストについては、ハイスは再研磨が可能なので、安価と見られる。丸鋸による切断は写真2.1-1のような状態で切断され、機械の構造によって、1個ずつ切断する手動盤と、切断長さを調整し自動的に切断する自動盤とがある。鍛造用の切断には自動盤が多い。

#### 2.2.2 帯鋸盤

带状の片側にハイスを溶接し、刃先を構成し、エンドレスとしてこれを回転させ、材料を切断する方法を帯鋸盤と言う(写真2.1-2)。鉄、非鉄、非金属を問わず、現在、素材の切断に多く使われているのが帯鋸盤である。

その特長は、小径材から大径材まで切断可能なことと、寸法によっては、2本以上の数本を同時に切断出来ることである。特に、帯鋸刃のバimetall化が帯鋸盤の普及に大きく貢献している。

帯鋸刃の構成上、胴材は曲げに強く、刃先は硬度の高い材料を切断する為、より硬度の高いものにしなければならない。その矛盾を解決したのが、図2.2-1に示すバimetallにした帯鋸刃である。それまでの帯鋸刃は、小径から大径まで切断出来る特長があったものの、刃物の材質が工具鋼であった為、切断時間がかかる、切り曲がる、寿命が短い等の不安要素が多かったが、ハイスの持つ特性を十分発揮させたバimetallブレードにより、難削材について

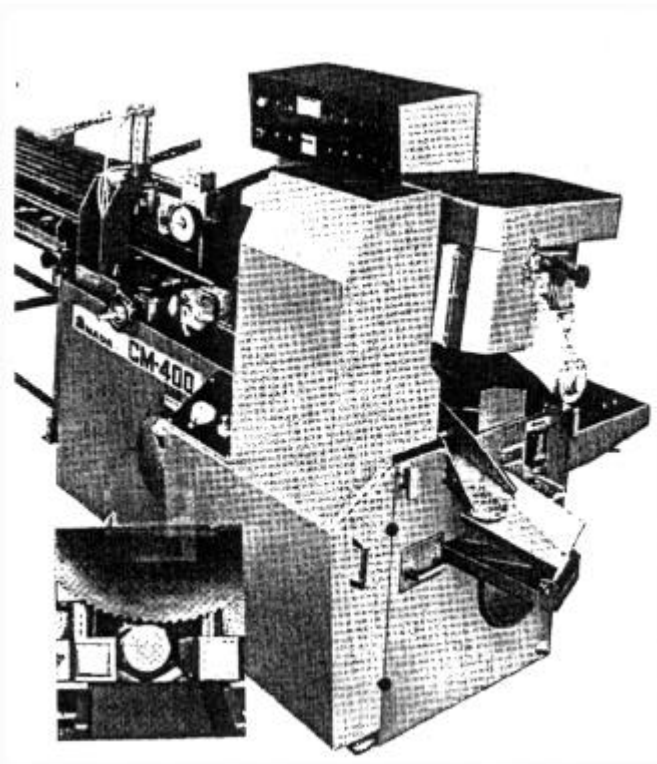


写真2.1-2 帯鋸盤の外観

も帯鋸刃による切断が可能となった。

帯鋸盤の構造は、比較的単純であり、切断方法も手動から自動まで多くの機種を持つことが出来、小径(10)から大径(角2000程度)までの切断が可能である。

### 2.3 ガス切断

素材の切断方法として、ガス切断も有効な方法の1つである。基本的な原理は気体燃料と酸素で火炎を精製し、それを高圧で吹き付けることで、被切断材を溶断する方法である。

ガス切断の特長は、熱間であつ、小工数(短時間)で切断出来ることであり、急速な熱履歴に対して、割れの懸念のない材質の切断や、鍛造工程中に常温まで冷却して鋸切断する際に発生する時間的、熱エネルギー的なロスを低減したい場合の切断については非常に有効であるが、反面、大型の設備投資が必要であること、粉塵、発煙等、環境汚染に対する対応が必要であること、切削代が鋸切断等、他の切断方法に対して多大であることの不利な点もあり、素材切断の目的よりも、むしろ、鍛造中や鍛造後の必要部分と不要部との切離しや、最近では、センサーの開発や自動化の進歩によ

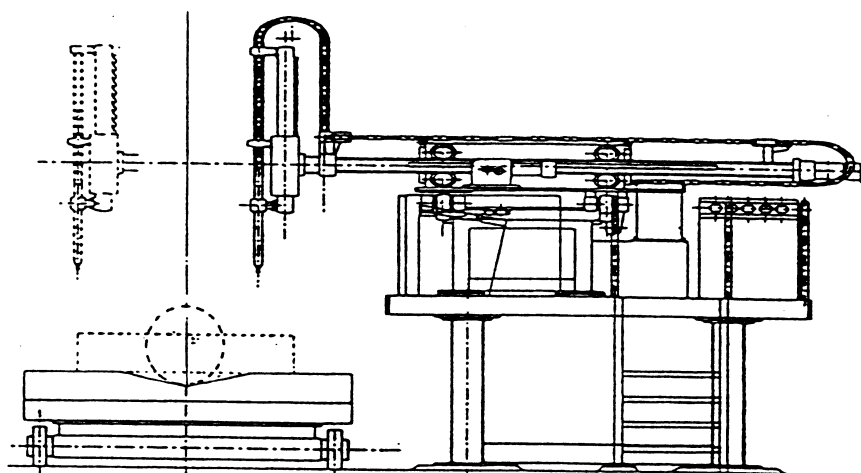


図 2.3-1 ガス切断機設備の一例

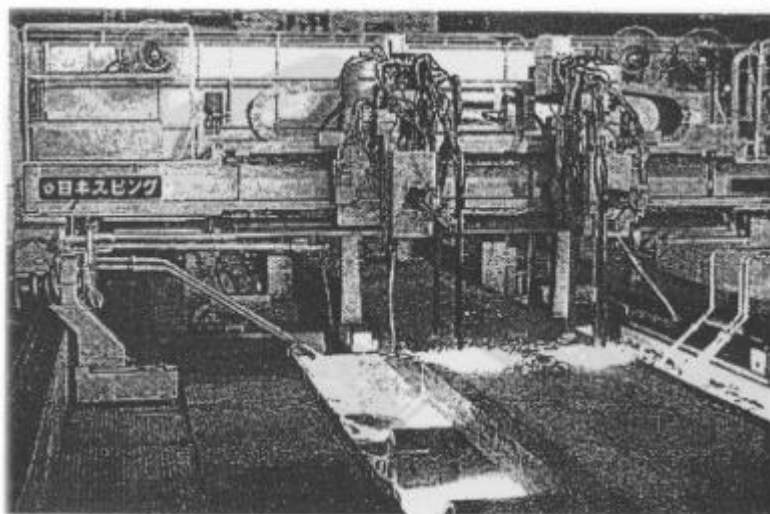


写真 2.3-1 ガス切断状況

り、粗形状に鍛造した後の仕上形状への精密な成形等に使用される事例が増えている。

図 2.3-1 に設備の一例を、写真 2.3-1 に切断作業の状況を示す。

#### 参考文献

- 1) 「鍛造加工技術・技能マニュアル」 中小企業総合事業団 1999年

### 3 . 加熱設備

#### 3.1 概要<sup>1)</sup>

鍛造作業に用いられる加熱設備は、素材を適正な温度まで加熱する為の加熱炉と、製品に所定の材料特性を与えるために行う熱処理炉とに大別される。また、その加熱方法は、重油、灯油、ガス等の燃料を使用する燃焼加熱と、抵抗加熱や誘導加熱に代表される電気加熱がある。自由鍛造の場合、その素材の大きさや、サイクルタイム、加熱回数等から、燃焼加熱によるものが一般的であり、その種類は自動車部品などの小物大量生産用に適した連続加熱炉から、船舶エンジンや発電用ロータなどの大型鍛鋼品用の台車式加熱炉まで多岐にわたっている。

本項では大量のエネルギーを消費する高温(1,100 ~ 1,300 )の熱間鍛造加熱炉を主体に述べる。

#### 3.2鍛造加熱炉に要求される性能

我が国の鍛鋼品とくに大型の製造技術は世界をリードしているが、鍛造作業はいわゆる3K(高温、汚い、危険)環境である。

環境改善のための自動化は加熱前後の作業を中心に急ピッチで進んでおり、加熱炉に要求される諸性能も年々厳しくなっている。

##### (1)高い熱効率

熱間鍛造加熱炉は炉内温度が高く、炉内温度 = 排ガス温度となるバッチ式加熱炉が大半で、その効率は10 ~ 40%ときわめて低いと言わざるを得ない。

損失の大半を占める排ガス損失をいかに効率よく回収するかが重要であり、その手段として

排ガス顕熱を燃焼用空気の予熱熱源として徹底的に利用する

排ガスによる処理材の予熱

などが行われている。

耐火物の蓄熱損失も、炉の昇熱やワーク材質に適したヒートパターンの繰り返しがあるため軽量の耐火物の採用による損失の軽減は高い熱効率につながる。

最近では重油から軽油、更に都市ガスなどの気体燃料に転換され、セラミックファイバーを採用している炉が増えている。

##### (2)高精度な炉内温度分布

炉内温度分布は一般的に $\pm 20$  程度が多いが、製品によっては低温保持公差、昇温中の温度差が厳しく場合もある。

また、熱処理炉並みの $\pm 10$  以下を要求されるケースも増えてきており今後鍛鋼品の精度向上と共に加熱炉にも熱処理炉並みの性能が求められるであろう。

熱処理炉は低温から高温にいたるまで、高精度な温度分布と冷却温度精度が求められる。この要求に対して高速噴流バーナとON/OFF制御システムは、すでに高い温度精度と省力化を達成している。

##### (3)操炉自動化

燃料の変遷と共に、燃焼装置には高速噴流バーナ装置による遠隔自動着火、DCS(Distributed Control System)を採用した炉内温度、炉内圧力などの制御システムとともに、扉・台車の遠隔操作を装備することが多くなっている。

##### (4)低メンテナンスコスト

小型の連続式加熱炉などは装入、抽出口も小さく、メンテナンス箇所も少なくてすむが、台車式加熱炉となると炉間口・台車周囲耐火物の補修、台車フレーム、ローラのメンテナンス、台車上のスケール搬出などと、補修に長期間の炉停止が必要となり、予備炉まで必要となっている。

### 3.3熱間鍛造用加熱炉の種類

鍛造用加熱炉はワークの形状、能力(t/ch,t/h)、作業時間、鋼塊の組合せ、鍛錬回数による大きさなどにより、炉の有効寸法、炉形式が決定される。

(1) バッチ炉

比較的小物で他種類の材料加熱に用いられ、ワークの出し入れに自走式マニプレータを使用する機会が多く、そのため奥行きが浅い炉が多い。

間口が広く、他の材料の温度ドロップが生じるため双室、双扉としている炉も多い。

耐火物はプラスチック耐火物が多いが、セラミックファイバーも採用されつつある。

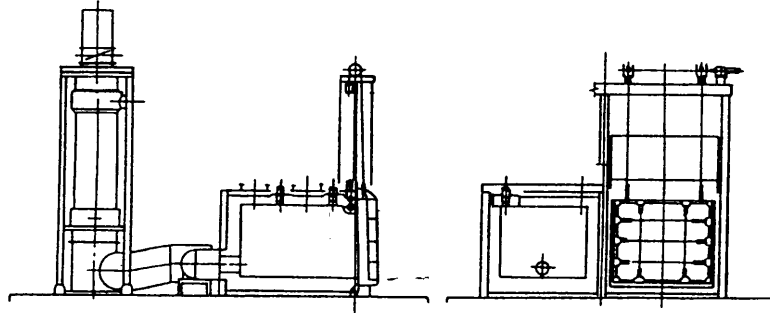


図3.3-1 バッチ形加熱炉

図 3.3-1 にバッチ形加熱炉の外形図を示す。

(2) プッシャー炉

鍛造炉でのプッシャー炉はイニシャルコストが安いいため小物丸材を加熱する場合によく用いられている。ワークが炉内に残る欠点と熔着危険があるが、小物リングミル用加熱炉には適している。

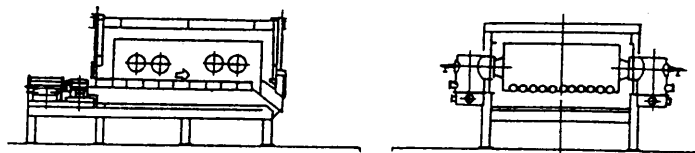


図3.3-2 プッシャー形加熱炉

図 3.3-2 にプッシャー炉の外形図を示す。

(3) 台車式炉

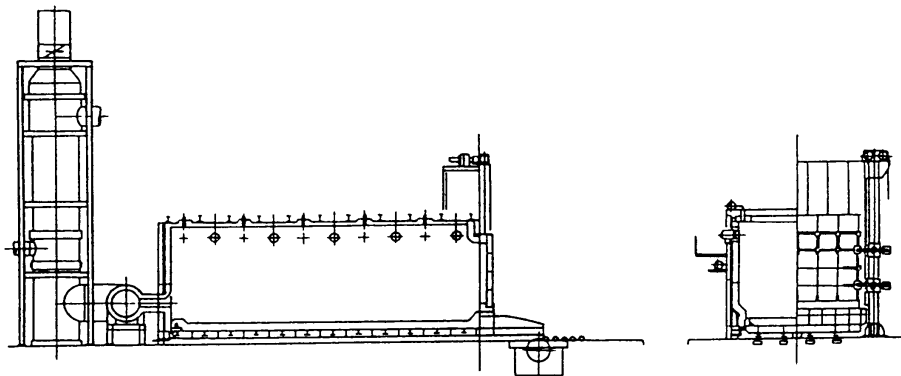


図3.3-3 台車式加熱炉

大型鋼塊用加熱炉に採用されており、加熱時間が長いため、台車上に大量のスケールが堆積すると共に数十トンの鋼塊が台車上に落下する場合もあり、台車フレームは強度を要する。

図3.3-3 台車式加熱炉を示す。

### 3.4 加熱設備の動向

環境保全の面でも、CO<sub>2</sub>の排出総量を抑えるため熱効率の改善は重要な問題であり以下の項目について検討されねばならない。

#### (1) 耐火物の改善

鍛造加熱炉で最も重要な要素である耐火物の適材適所に耐火物を使い分けることである。

鍛造加熱炉の使用状況は熱処理炉に比べ過酷であるため、炉間口、扉・側壁下部などはプラスチック耐火物など、炉材そのものに対スケール性のある物を使用する。

スケールの影響のない天井、側壁上部、扉中央部などはセラミックファイバーが使われているが、イニシャルコストの面から1,400 耐熱のものが使われている。この場合セラミックファイバーの収縮による火漏れなどを防ぐ為に、年1～2年回の目地づめが必要となる。

しかし、近年熱収縮率がきわめて少ないアルミナファイバー(1,600 耐熱)の使用によりメンテナンスが軽減されている。

#### (2) 燃焼装置の改善

大気汚染防止の面より重質油から軽質油、ガスに変更されることにより、炉に適したフレーム形状でかつ低NOxのバーナが普及してきた。

省エネルギーの面ではレキュペレータが主流であったが、現在では低NOxリジェネバーナが開発され大きな省エネルギー効果を得ている。

さらに燃焼空気量制御性の向上により、酸化スケールの低減や、ターンダウンを大きくとれるバーナと安全な制御技術の採用が必要となる

#### (3) シール方法の改善

特性の優れたバーナ最新の自動制御を設置しても、扉当たり面、台車周囲から侵入空気があれば無意味となるため、炉内圧力制御、排ガスのO<sub>2</sub>制御が重要になる。

#### (4) メンテナンスコストの改善

自動スケール排出装置の開発は作業環境及び稼働率の向上に期待が寄せられている。

#### (5) 無人化操業

熟練オペレーターの減少は確実であり、燃焼及び温度制御、搬送制御等計装の完全自動化及び安全装置の充実が求められる。

#### (6) 省スペース、低設備費

耐火煉瓦からセラミックファイバーへ、地下煙道から地上ダクトへ、レキュペレータからリジェネレイティブバーナ等の技術進歩は大きく変遷を遂げているが、加熱炉はより小型でより省燃費の加熱炉の開発が望まれている。

### 参考文献

1) 「工業炉ハンドブック」日本工業炉協会 1997年

## 4. 鍛造設備

### 4.1 自由鍛造ハンマ

#### 4.1.1 自由鍛造用ハンマ

ハンマは上金型・ラム・ピストンロッド・ピストン等昇降可動部に運動エネルギーを与え、このエネルギーを用いて仕事をする機械である。打撃回数を増すことにより、加圧力及び発生仕事量をいくらでも高め得ることから、プレス機械等に比し設備費が安価で、然もその用途に融通性のある機械として広く用いられている。更に型と材料の接触時間が短く、型の昇温が少なくても済むという利点もある。

他方、騒音・振動が激しく作業者の熟練が何よりも必要とされ、自動化が難しいという欠点がある。ハンマはラムの動作によって 上部加圧式、自由落下式、カウンタブロー式に、又フレームの形状から C型フレーム、門形フレームに大別できる。自由鍛造用ハンマとしては、作業スペースが広くとれるC型フレーム及び圧縮空気・蒸気・バネ等によりラムの下降を強制加速する上部加圧式が用いられる。

この自由鍛造用ハンマの例を 図 4.1-1 に示す。このハンマは空気圧縮用ピストンを内蔵し、電力で運転できるもので、ヘッド後方の電動機からVベルト伝動により空気圧縮装置のクランク軸を駆動し、この圧縮空気をランマシリンダ内のランマヘッド上・下に直接作用させて槌打ちを行うもので、打撃の強弱・緩急・単打・押え等の諸作動を容易に行うことができ、蒸気や圧縮空気の直送駆動のものに比し経済的である。但し、大型ハンマには不向きである。

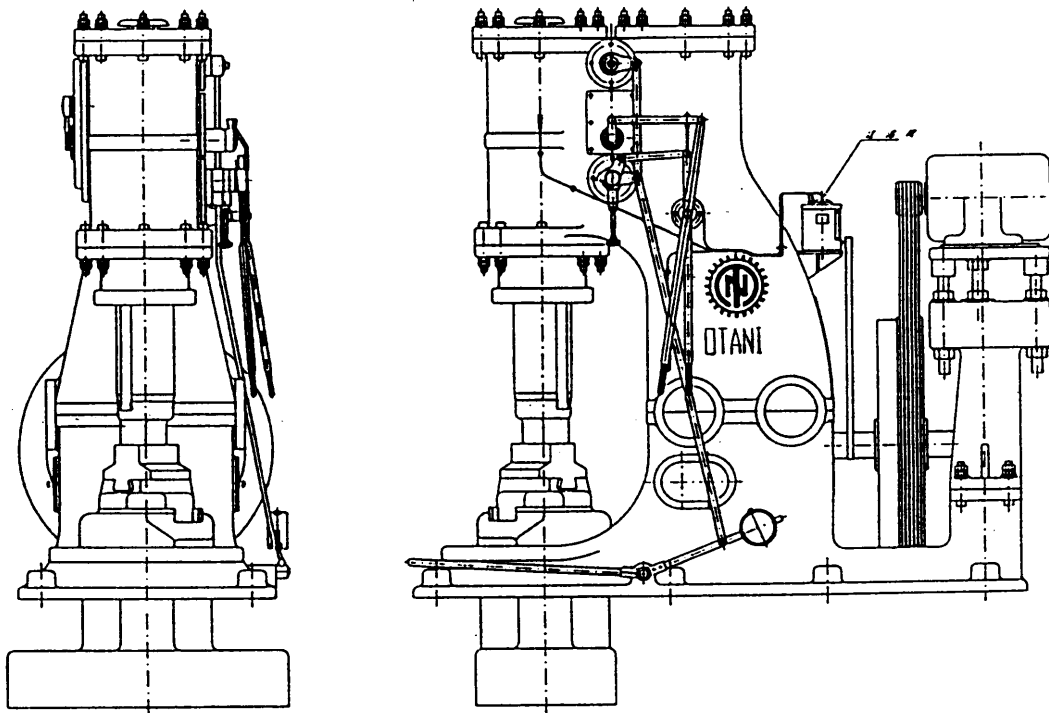


図 4.1-1 自由鍛造用ハンマの一例

#### 4.1.2 ハンマ鍛造設備の技術の動向

21世紀においても我国の鍛造業が依然として魅力ある素形材産業の1つとして生き抜いていけるためには、コストダウン、高歩留り加工、労働環境の改善、多品種小ロット生産、複雑形状品の高精度加

工などの諸問題をクリアして行く事が必要である。

中小企業における主力鍛造法であるハンマ鍛造の自動化がこれ等の問題解決を図る重要な手段となってきた。

このような背景のもとに、大きな衝撃を伴うハンマ鍛造の分野へ、本来これ等の衝撃・振動を最も嫌う精密機械であるロボットを持ち込んで、これでワークの位置決め・ハンドリングを行う試みが行われている。これは、ハンマとロボットの間でグリップハンドを介在させてロボットを衝撃から保護するコンセプトに基づくもので、型鍛造の分野でそれなりの成果が見受けられるが、歩留りについては更に改善の余地がある。グリップハンドのXYロボットへの装着例を 図 4.1-2 に示し、その特長を述べる。

(1) ハンド a は、過大な打撃衝撃とワークの瞬間的な変形に対して、上下、左右、前後方向に瞬間的に追従変位して、ハンド先端部で衝撃力を緩和吸収する。

(2) 打撃後変位したハンドの位置を保持し、第1刻面内のワークの位置を基準にして、第2刻面に正確に挿入する。

(3) 曲りのあるワークに対しては、グリップが軸廻りに回転可能になっている。

(4) ハンドで吸収し切れなかった衝撃荷重及び変位は、アーム緩衝装置 b で吸収し、ロボット本体への振動衝撃と変位を遮断して、ロボットを保護する。

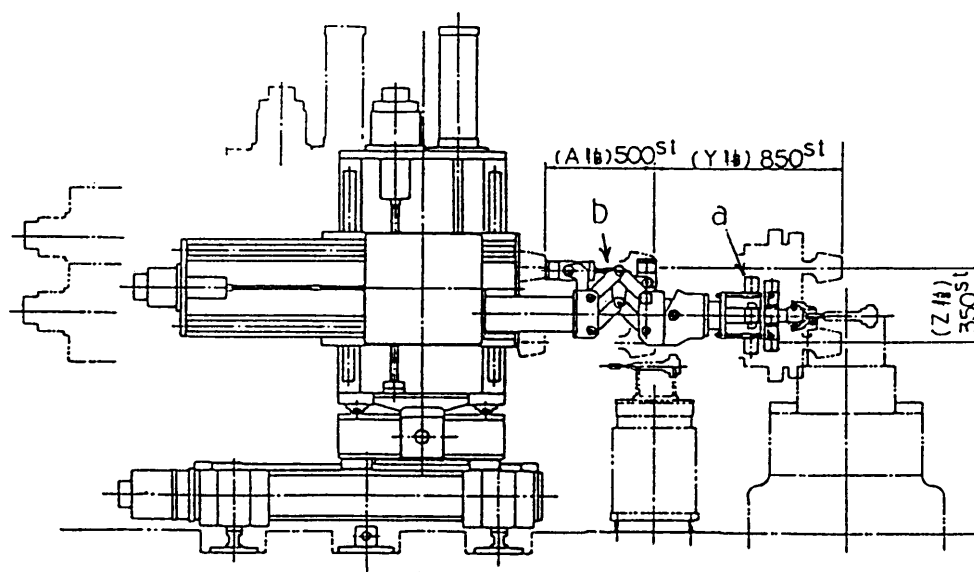


図 4.1-2 グリップハンドのXYロボットへの装着例

自由鍛造用ハンマによる鍛造作業において、ワークのハンドリングは人力で持てる程度の小物部品は通常人間が行う事が多いが、これは熟練者でないと大きな危険を伴う。従って、ここにグリップハンドを装備したロボットの使用が考えられる。

これまで、衝撃を利用するという他の鍛造機にない独特の特性を有しているにもかかわらず、安全性の面から敬遠されてきたハンマによる自由鍛造もこうした取り組みの中から見直しが行われる可能性はある。

## 4.2 自由鍛造プレス

### 4.2.1 鍛造プレス

自由鍛造プレスは衝撃・偏心荷重・高熱・粉塵等他のプレス類には見られない極めて苛酷な条件下で

使用されるため、その構造・剛性・保安全性等の面で十分な配慮が必要とされる。  
 鍛造プレスはコラムの数から2柱式と4柱式に、又コラムの断面形状から角柱・丸柱に分類され通常は2柱式で角柱が良とされている。  
 又構造的に分類すると(1)プッシュダウン型、(2)プルダウン型、(3)ムービングシリンダ型となりその特徴は夫々次の通りである。

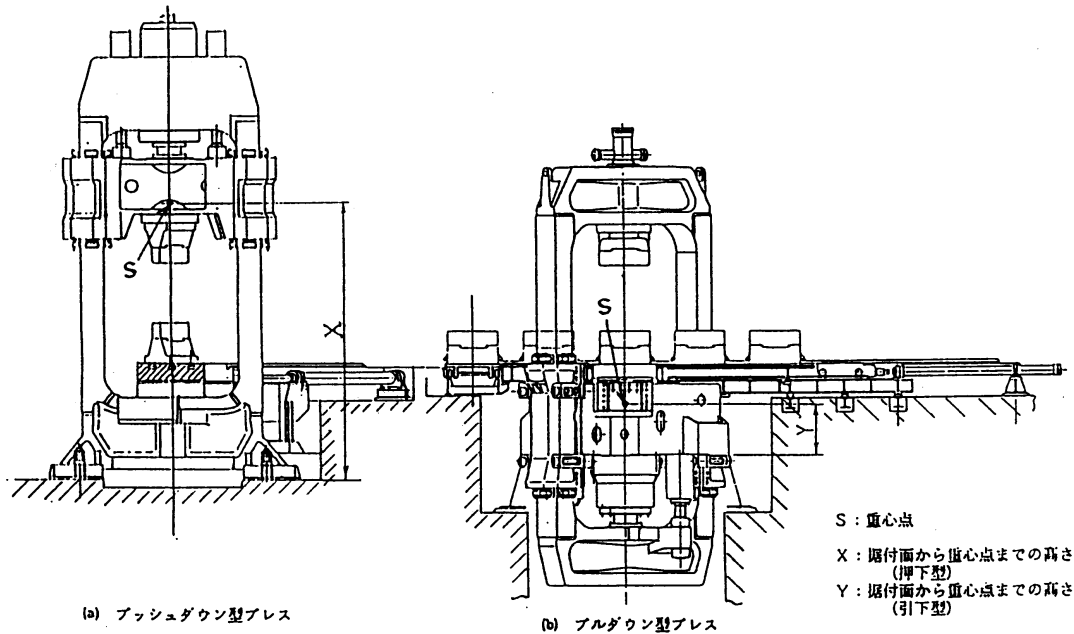


図 4.2-1(a) プッシュダウン型プレスとプルダウン型プレス

(1) プッシュダウン型 [図 4.2-1(a)]

加圧シリンダが鍛造作業スペースより上に位置するためプレス全体の重心が高く背の高いプレスとなる。従って基礎は浅くてすむが建家及びクレーンハイト等は高くなる。製作上の都合から5000 tonを超える大型プレスは殆どこのタイプとなっている。

(2) プルダウン型 [図 4.2-1(b)]

加圧シリンダが鍛造作業スペースより下の地下ピット内に位置するためプレス全体の重心が低くなり、同時にプレスの地上高さも低いものとなり安定性も大きく、建家及びクレーンハイトも低くてすむ。又、高速鍛造及び偏心荷重時のプレスの振動が少なく5000 ton以下のプレスにはこのタイプが多い。

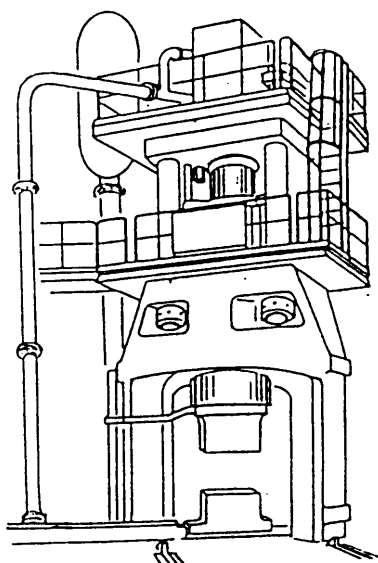


図 4.2-2 ムービングシリンダ型プレス

(3) ムービングシリンダ型 [図 4.2.2]

プッシュダウン型と同様加圧シリンダは鍛造作業スペースより上に位置するが、この加圧シリンダは主ラムが固定されておりシリンダ本体が上下に作動する構造となっている。従って可動部重量が軽くなり高速作動の制御が容易となり基礎地盤へ伝達される振動も少なくなる。シリンダ類のパッキン交換等の保全業務は高所作業となるため安全上の対策が必要である。

これ等の鍛造プレスはいずれもコラム間寸法、デーライト、ストロークを大きくとり鍛造スペースを広くとって

いる。又、この鍛造スペース内には移動テーブルとこれに直交するボトムダイ移動装置や、上部には上金敷の回転及び着脱装置が装備され作業能率の向上が配慮されている。加圧速度は金敷と赤熱鋼塊の接触時間を短くするため速い程良いが油圧ポンプ・機器・配管等の都合から50～120mm/secのものが多い。

一分間の作動回数 (stroke per minute) も多い程能率が良くプレス機の重要な機能であるが作動切換速度を速くすると油圧系に油柱分離等の現象が生じ振動が大きくなり限界がある。通常、重荷重時で20～30spm、軽荷重時で100～120spmが実用範囲である。

運転モードは次のように設け容易に運転出来るようになっている。

#### 手動運転

操作レバーを動かす事でプレスの上昇・高速下降・加圧下降・加圧・圧抜きの各動作を任意に操作出来る。

#### 半自動運転

鍛造寸法を予めプリセットすると操作レバーで加圧を続けてもその鍛造寸法に達すると加圧は自動的に停止し押し過ぎを防止出来る。

#### 自動運転

鍛造寸法、ストローク、加圧切換点をプリセットしスタート釦を押すとプレスは設定通りの動作を自動的に繰り返す。

#### プログラム鍛造

所定の鍛造データをコンピュータにより全て準備しこのデータに基づいてプレス・マニプレータが自動運転される。

以上の自由鍛造プレスは駆動源として高圧・大容量の油圧システムが用いられており、又その電気・電子制御系も鍛造寸法制御精度を高めるため高度の技術が取り入れられている。従って、これ等鍛造プレス設備の保全業務は、どちらかと言うと鍛造作業が優先重要視されている中でその取り組みには十分な体制が必要である。

### 4.2.2 鍛造マニプレータ

鍛造マニプレータは赤熱鋼塊をクランプし昇降・回転・走行・横行・傾斜等の動作を行う機能を有する設備であり、その性能は鍛造プレスの生産性に大きな影響を及ぼす。

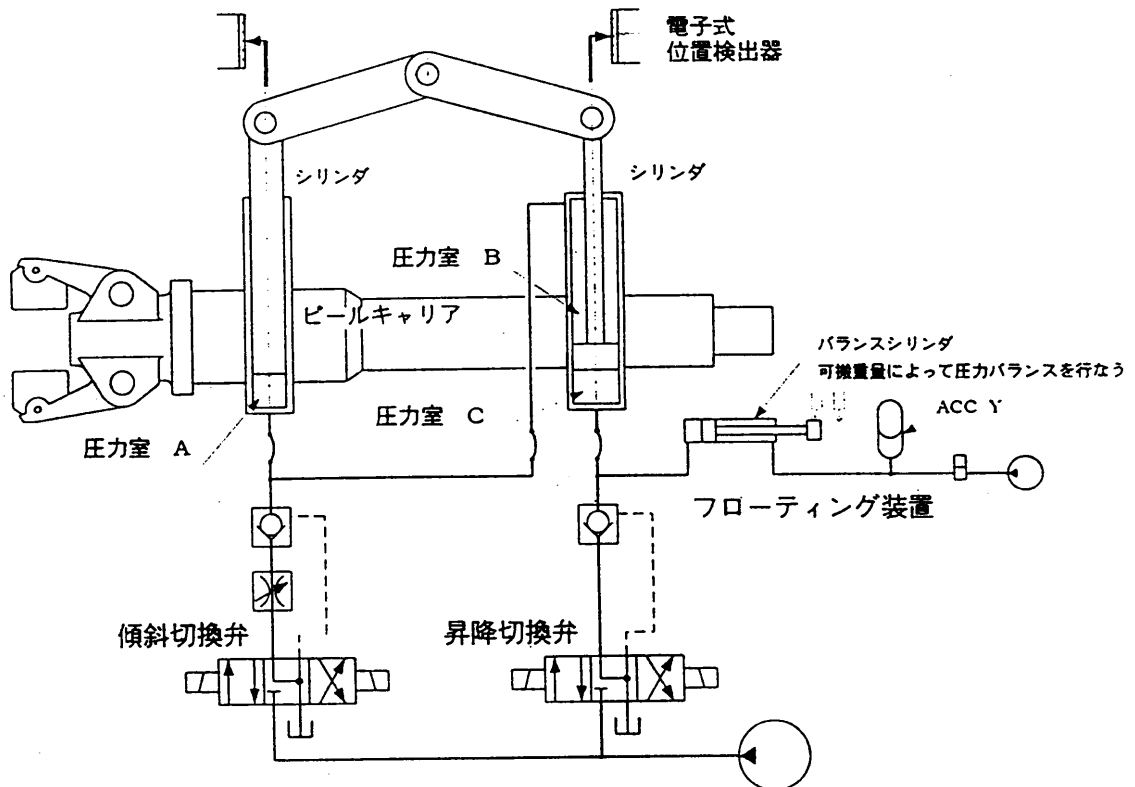


図 4.2-3 ピールキャリアの油圧式昇降機能及びフローティング装置

又、鍛造プレスと同様大きな衝撃荷重を常に受ける事から可動部にはバネや油圧アキュムレータ等による干涉装置を設け、鋼塊が円滑にかつ迅速にハンドリングされるよう種々工夫されている。鍛造マニプレータの持つ主要な機能について以下に説明する。

(1) ピールキャリアの油圧式平行昇降機構及びフローティング装置 [図4.2-3]

ピールキャリアは4本の昇降シリンダにより、鋼塊の重量やモーメント荷重の変動とは無関係に常に平行又は傾斜した状態を保って昇降することができる。

又、昇降回路にはバランスシリンダ及びアキュムレータより構成されるフローティング装置が備えられており、鋼塊重量に応じて自動的に圧力が調整され、鋼塊及びピールキャリアは停止時にはフローティング状態を保持している。

従って、プレス加圧時にはピールキャリアは僅かな荷重で下降し、プレスが上昇すると鋼塊は自動的に元の位置まで復帰することができる。

このフローティング機能により鋼塊の送り動作は能率良く行われる。(2) 高速鍛造時の追従性がよ

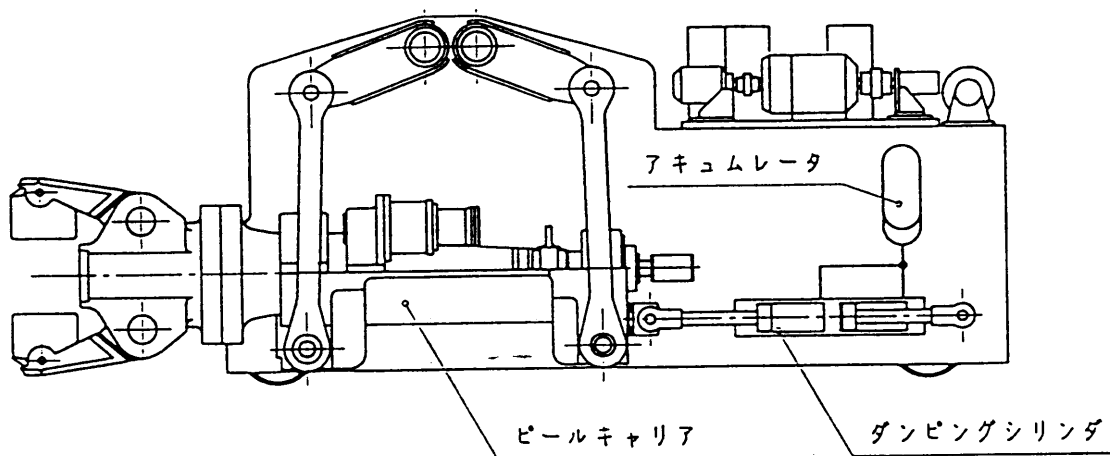


図4.2-4 ピールキャリアの間欠動作のためのダンピング装置

いダンピング装置 [図4.2-4]

高速鍛造においては、鍛造物を一定量確実にしかも高速でプレスに送り込む必要がある。

ダンピング装置はダンピングシリンダとアキュムレータより構成されており、プレス動作中に慣性の大きな車体全体を一定速度で走行させておき、プレス加圧中の走行量をダンピングアキュムレータに蓄積し、プレスが上昇した間に慣性の小さい鍛造物をつかんでいるピールキャリアのみを高速で動作させる。

この機能は、フローティング装置と組み合わせて使用する事に依りプレスとの高速連動運転を容易としている。又、このダンピングシリンダはプレスが鍛造物を加圧するときの緩衝装置にもなっている。

(3) ピールの回転は無段階変速で回転トルクが可変

可変吐出型ポンプにより回転駆動させるため、回転速度は無段階に変化し、起動停止は円滑でショックがなく、しかも敏速に動作する。

ピールの回転トルクは無段階にダイヤル設定することができ、細長い鍛造物の擦れを防止している。

(4) 材料送りが確実なチェーン式走行駆動

走行レールに平行に敷設されたローラーチェーン(又はピンラック)にスプロックホイールをかみ合わせ、油圧モータで駆動するため、起動、停止動作が敏速、確実で、車輪駆動式のようなスリップによる車輪やレールの摩擦は無い。

ピール回転と同様に可変ポンプによる駆動で敏速にしかも滑らかに発進、停止できる。

(5) ピールの横方向移動と旋回

ピールキャリヤは左右方向に平行移動できるため、クランク軸などの非対称製品の鍛造に便利であり、又、前部のみ又は後部のみを動かして旋回させることもできる。

#### 4.2.3 鍛造プレス設備の技術の動向

自由鍛造は型鍛造と比較してフレキシビリティにとんだ加工方法であることから、多品種少量生産の原価低減を目的とした素形材加工適用に関して、色々な研究がなされてきた。その1つに、より生産性を高める機械として4面鍛造機が開発され、車輪等軸物の加工に用いられ高い評価を得てきたが、軸物専用であり、自由度の点では低い。これにもう少し自由度を加えたのが2面(対向型)鍛造機で、比較的複雑な形状のものが加工できるが自由鍛造の領域までは加えていない。そこで、自由鍛造プレスにこの高生産性を付加したFFP(Fast forging press)が5年ほど前に開発され、その実用機が昨年末、日本のユーザに納入され稼動に入っている。これらの鍛造機は将来の鍛造法の1つと考えられるインクリメンタルフォーミングの実用化を示唆するものであり、これからの用途が注目されている。これらの鍛造機の機能、特長の概要を次に述べる。

##### (1) 4面鍛造機

生産性が高い

毎分100～450回の非常に早いストローク数で4方向より加圧し、その生産性は普通のプレスの2倍以上といわれている。

恒温鍛造ができる

加圧速度が速いことと、4面拘束鍛造となることから、温度低下が少なく、1ヒート鍛造のレンジが広い。

軸物、長尺物専用

丸、角、フラットバー、段付き軸など1つの金型で幅広いレンジをカバーできようになっているが、軸物以外に対応できない。

材料内部への鍛造効果が少ない

ストローク長さに制限があり、大物鍛造品になるほど深部への鍛造効果が小さくなる。内質の重要な物は素材をプリフォージする必要がある。

##### (2) 2面(対向型)鍛造機

4面鍛造機のうち2面のみ取り出したもので基本機能は同じであるが、鍛造に自由度を持たせ、これを完全自動化したものである。〔図4.2-5〕

生産性

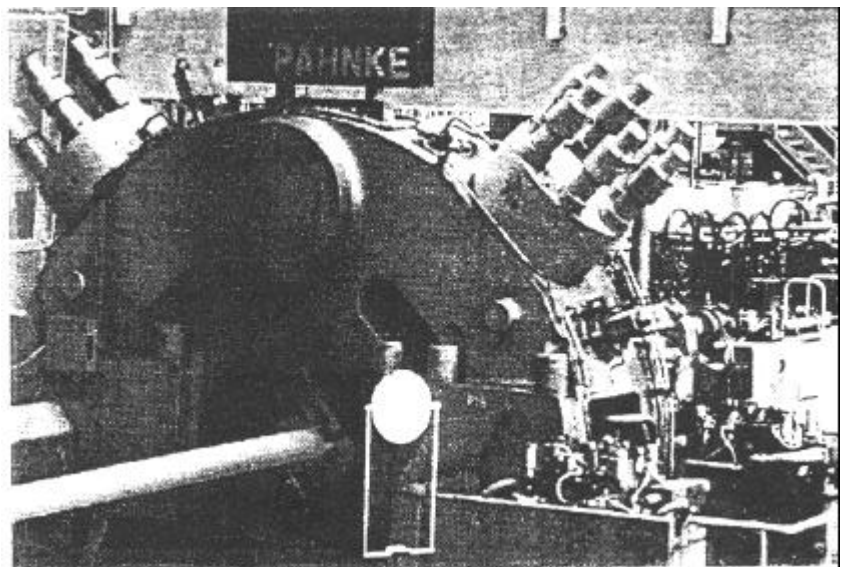


写真 4.2-1 4面鍛造機外観

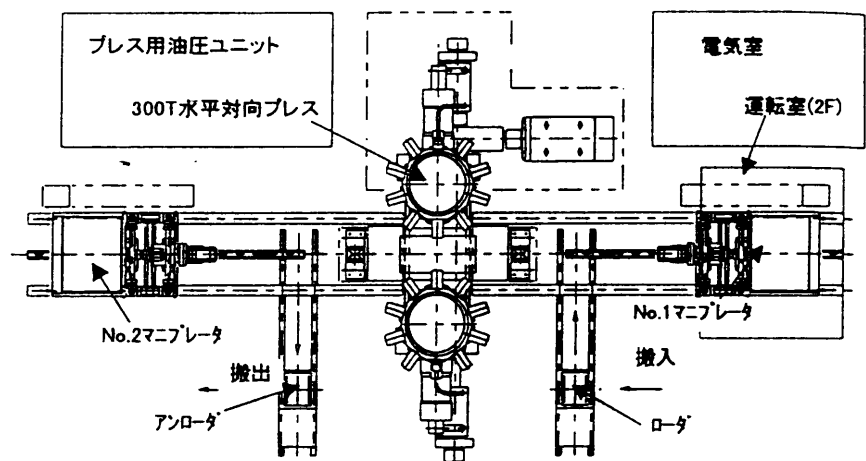


図 4.2-5 2面对向型鍛造機 レイアウト事例

水平対向の2方向より加圧する2面の自由鍛造であり、ストローク数は4面鍛造機と同等であるが、生産性は若干低下する。 ディスク類も対応可能  
金型交換もすべて自動化されて、軸物以外のディスク類も対応できるようになっており、自由度を持たせているが、据え込みなどの火造り作業は不得意である。

(3) FFP(Fast forging press)

4面鍛造機と同等の高い毎分ストローク数を持ち、しかも通常の自由鍛造プレスの柔軟性を失わない新しい油圧鍛造プレスシステムである。また、この高速機能は既設のプレスにも追加装備することが可能である。

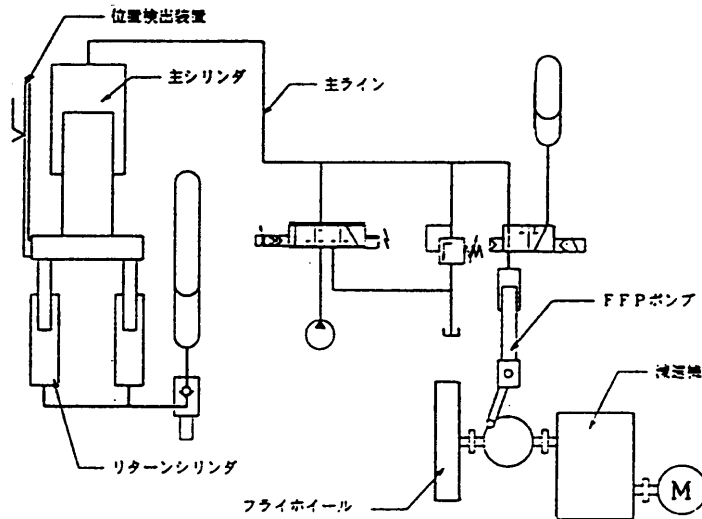


図 4.2-6 FFP システムの原理

特長

プレスは通常のものと同じであるが、このシステムの特長は油圧システムにある。〔図4.2-6〕

1) 高速鍛造が可能

4面鍛造機と同等の高いストローク数を持ち、しかも負荷の変動に影響されない。

2) オーバランのない下死点制御

押し過ぎや過負荷の心配がなく安全で使い易い。

3) 消費電力が少ない

加圧後の油圧力はプレス上昇直前にフライホイールにフィードバックされるので、動力を回収することができる。

4) 油圧ショックや振動が少ない

圧抜き時のショックや、ウォータハンマがなくスムーズな高速運動ができる。

5) 鍛造モードの組合わせ (通常の油圧システム)

- ・通常モード・・・長い加圧ストロークを必要とする通常のプレス作業ができる。
- ・据込みモード・・・据込み鍛造作業ができる。

(FFPの油圧システム)

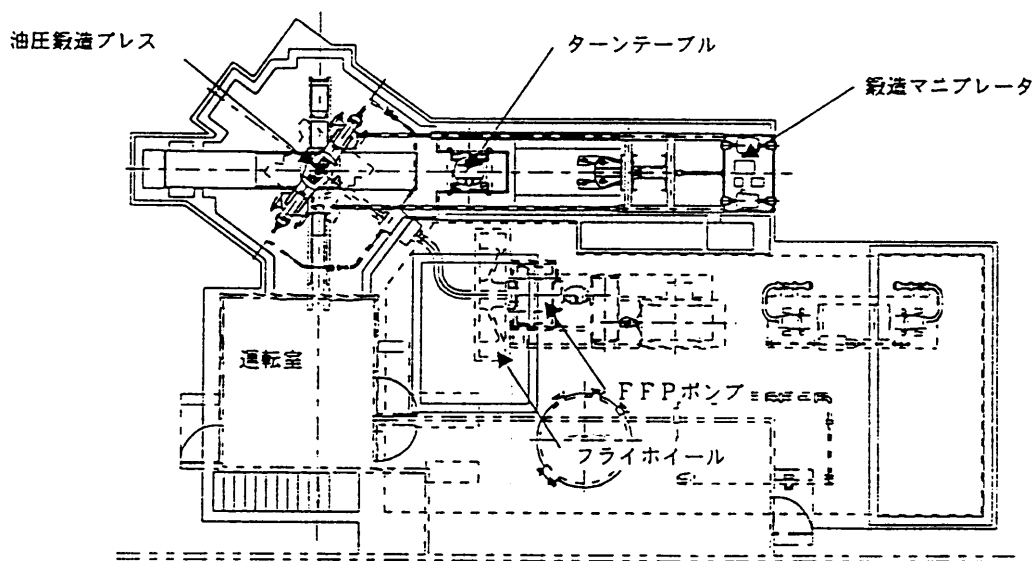


図 4.2-7 FFP 鍛造設備のレイアウト事例

- ・ FFP モード 1・・・高い SPM で高速鍛造作業ができる。
  - ・ FFP モード 2・・・ストローク毎に下降でき、ハンマーに似た使い方がきでる。
- 設備レイアウト 実例を 図 4.2-7 に示す。

#### 4.3 付帯装置

自由鍛造により作り出される鍛造製品の形状は、単純なものから複雑なものまで多岐に亘り、それに伴って鍛造作業の内容も広範囲なものとなる。

これ等を能率良く施工するために、プレス・マニプレータの周辺に各工場の特性に合わせて次のような種々の装置が設置される。

##### (1) チャージングマシン

加熱炉からマニプレータ前のターンテーブル上まで鋼塊の搬送を行う自走式マシン。1250℃を超える温度に加熱された加熱炉内にアームを挿入して鋼塊を取り出すためアーム及びクランプ装置には耐熱鋼を用いる等耐熱性に対する配慮がなされている。又、工場内を走り回るため旋回半径は最少と成るよう設計されており4車輪式と3車輪式があり方向制御は後輪側で行なう。駆動源には内燃式とケーブルを引っ張って廻る電動式があるが、いずれもそれ等によって油圧ポンプを駆動し高圧油を発生させそれによって各種アクチュエータを作動させ運転する。外観を写真 1.4-2 に示す。 (2) ターンテーブル

マニプレータとプレス間に設置され、鋼塊の昇降・回転を行う。マニプレータの鋼塊のクランプ及びテコ取り後・鍛伸後のつかみ替え作業時に使用する。鋼塊受け台、旋回ベアリング、旋回ピニオン・モータ、昇降ガイド、昇降シリンダ、ベース架台等で構成され油圧源はプレスと共用する事が多い。マニプレータの走行と干渉しない様、使用しない時及びマニプレータがターンテーブル上部に位置している時は鋼塊受け台の上面がフロアレベルとなる位置で待機している様インターロックが設けられている。

##### (3) ダイマガジン・上金敷着脱装置

平金敷・タツプ金敷・背切ダイ等の金敷の変換を容易とする。上金敷着脱装置は鍛造中は上金敷をスプリングにより機械的にクランプする事で油圧系のトラブルで上金敷が落下する危険性を避けている。ダイマガジンは車輪式走行台車上に必要数の上下金敷を搭載して油圧シリンダによって駆動する。いずれも油圧源はプレスと共用する。夫々の金敷は上下セットでダイマガジンの定位置に前もって準備して置き、金敷交換は次の順序で自動的に行なわれる。 交換したい金敷 No. を指定しスタート釦を押す。 現在使用している金敷の上下を合わせる。(プレス自重下降) 上金敷着脱装置のクランプを解除する。 プレスを上昇させる。(上金敷は下金敷上に残る。) ボトムダイシフト装置により現在使用している上下金敷をダイマガジンの空きスペースに送り込む。 指定されたNo.の上下金敷をボトムダイシフト装置に連結しプレスセンタへ引き込む。

プレスを下降させ上下金敷と接触させ上金敷を上金敷着脱装置でクランプする。 プレスを上昇させる。(交換完了)これ等一連の自動操作は鍛造スケール等によって妨害される事が多く日常のプレス廻りの清掃を怠ってはならない。

(4) ライトマーク

垂直光線式 これは鍛造品にスリット状の垂直光線を当て一点から他点迄の距離を計測し、結果を操作盤上に表示するもので光源の数・動き等に依って一光源式、二光源式、固定式、傾斜可動式等がある。光源は計測台車内に設置され移動しその移動量は走行レール上に設けられたラックと計測台車のピニオン及びパルス発振器に依ってカウントされる。走行速度は高低二速あり位置合わせは低速で行なう。光源には超高圧水銀灯を用い鍛造品上のスリット巾は約 10mm である。

水平光線式 これは鍛造品にスリット状の水平光線を当て鍛造品の曲がりを目視検知するもので光源には直進性の良い Ar レーザを用い運転室の一角に設置される。

##### (5) 疵取りスカーフィング装置

鋼塊表面に存在する疵及び鍛造中に発生する疵をスカーフィングにて除去する装置である。スカーフィング作業はスカーフィング室内から作業者の経験と勘に基づいて行われる。スカーフィング室内には走行・昇降等の機能を有するものと、クレーン等によって移動する可搬定置式がある。いずれもその室内にはマニプレータの回転・昇降・走行・サイドシフトとスカーフィング室そのものの移動を操作するスイッチ類が設置されており作業者は最もスカーフィングし易い位置に自らをセットして作業を行なう。又、室内は快適な状態を維持できるよう空調を行なっている。

(6) ツールマニプレータ

背切ダイ・ポンチ・ダイ等の治具をハンドリングするもので軌条走行式と自走式がある。軌条走行式はプレスをはさんでオペレータと反対側に配置される。いずれも鍛造物の最上部まで治具を持ち上げ正確に位置決めを行なう機能が必要で大きな昇降ストロークを有する。他に走行・回転・クランプ・サイドシフト・リーチ・旋回等の機能もある。

(7) ターニングチェーン

マニプレータの許容荷重モーメントを越えた長尺鍛造品を鍛造する際、製品の先端部を支持する。この装置はクレーンに依って吊り下げて使用するためプレスからの衝撃を緩和させる目的でスプリングを内蔵している。チェーンの回転はモータにより減速機・スプロケットを介して行なう。

(8) 自動トング

鋼塊のハンドリングを行う吊り具で、トングの開閉及び旋回を自動で行なう事ができ、運転操作は地

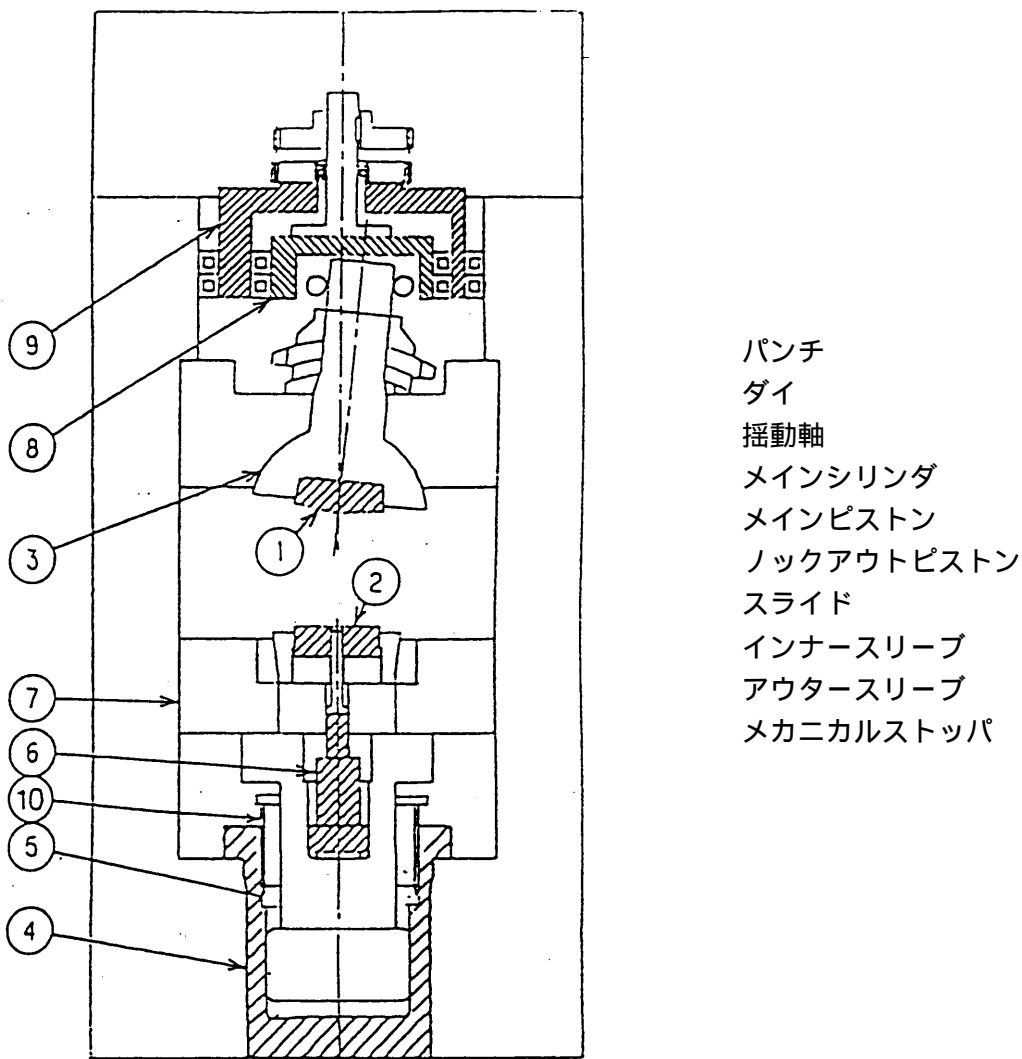


図 4.4-1 揺動鍛造機の構造図

上から無線でコントロールする。

#### 4.4 回転鍛造機

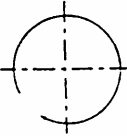
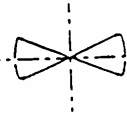
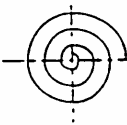

回転鍛造機には揺動鍛造機、リングローリングミル、フォーミングロール、クロスローリングマシン等種々ありその概要を次に説明する。

##### 4.4.1 揺動鍛造機

###### (1) 主な構造

揺動鍛造機の簡単な構造図を図4.4-1に示す。大きく分けて、本体上部に揺動運動を発生させる駆動機構を設け、下部に加圧成形、ロックアウトを行う複動の油圧シリンダを備えており、アンダードライブ方式となっている。上型を取り付ける揺動軸は、球面形状を有し高圧の潤滑油を介してフレームに取付けられた球面座で成形荷重を受けるようになっている。揺動軸の上端はベアリングを介して2個の偏心スリーブに保持されている。この2個の偏心スリーブは、回転方向、回転数を変更できるミッションギヤを介して駆動モータと連結されている。駆動モータは1台で、インバータにて回転数を制御している。ミッションギヤを切り換え、2個の偏心スリーブの回転方向、回転数を変更すること

表4.4-1 揺動モーションの特性

| モーション名     | パターン  | 発生原理                 | 上型の運動軌跡                    | 適する加工                |
|------------|---|----------------------|----------------------------|----------------------|
| 円モーション     |   | 2個の偏心スリーブが同方向 同速度で回転 | 一定の揺動角度で1方向に円運動をする。        | 軸付フランジ円板形状などの軸対称品の加工 |
| シーソーモーション  |  | 2個の偏心スリーブが同方向 同速度で回転 | 線対称にシーソー運動をする              | 異形状で線対称品の加工          |
| スパイラルモーション |  | 2個の偏心スリーブが同方向 異速度で回転 | 揺動角度を換えながら円運動をする           | 掘込と押し出しを要する加工        |
| デージモーション   |  | 2個の偏心スリーブが逆方向 異速度で回転 | 菊紋様を描きながら円周方向に少しずつ位相がずれていく | ギヤ、歯形などの加工           |

により揺動モーションを変更できる。複動シリンダは、加圧成形用のメインシリンダと、このメインピストンに内蔵されたロックアウトシリンダからなっている。メインシリンダには、メカニカルストップを設け高い上死点精度を保持するようになっている。また別に2本の補助シリンダを備え、スライドの無負荷上昇、下降速度を上げサイクルタイムを短縮できる機構となっている。

###### (2) 揺動モーション

揺動モーションは4パターンあり、その特性を表4-4-1に示す。

###### (3) 加工条件の設定、記憶

CNC方式の採用により、加圧力、加圧速度、加圧位置、上限位置、揺動回転数等の加工条件データを簡単に入力、変更できる。一度入力した加工条件データは、金型番号別に100型分の登録が可能で、通常オペレーターは操作盤より金型番号を入力するだけで最適加工条件が自動的に設定され、熟練度を必要とせず誰でも安定した生産が約束される。

###### (4) 金型交換

ダイセット方式を採用し、金型オートクランパ、ダイリフタ、金型交換装置を装備しているため、迅速な金型交換が可能となり、設備のアイドルタイムを最小限に抑えることができる。揺動プレス特有の、金型交換時の上型の原点復帰（水平出し）も操作盤のボタン操作だけで容易に行える。

(5) 自己診断機能

機械の状態を常に自己診断し警告表示を行ったり、支障をきたす場合は自動的に作動を停止させ異常内容をメッセージにて表示するため、トラブルに対しても迅速に対応できる。

4.4.2 リングローリングミル

4.5 項において詳述する。

4.4.3 フォーGINGロール

(1) 主な構造

フォーGINGロールの外形図（平面・側面）を図4.4.-2に示す。

主としてメインモータ・フライホイール・クラッチ・ブレーキより成る駆動部と上下ロール・セグメント・ロール軸ギヤより成る成形部と材料供給装置、マニプレータ、離型剤噴霧装置等より構成さ

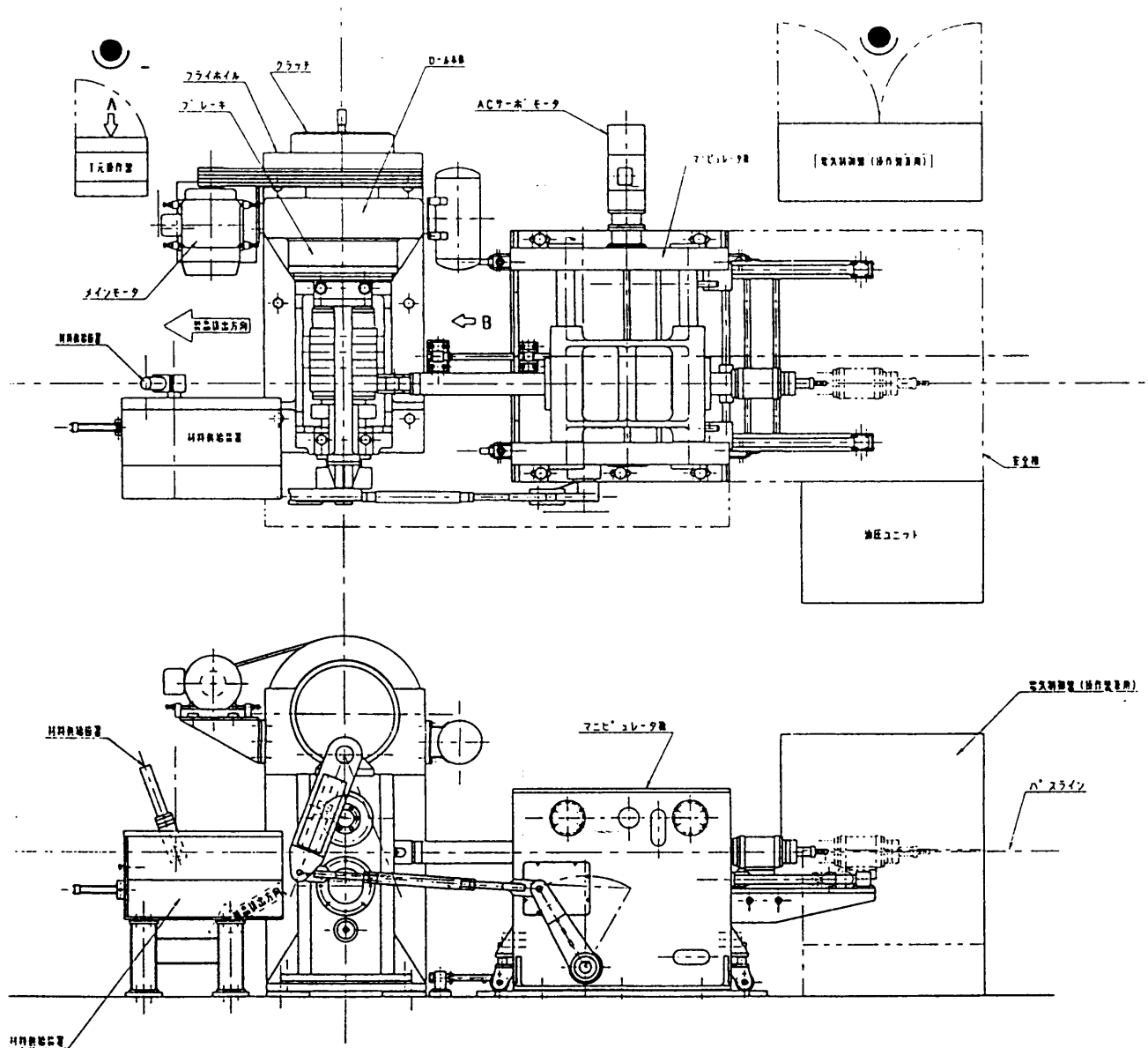


図4.4-2 フォーGINGロール外形図

れる。

#### (2) ロール本体の作動

- ・メインモータを起動させるとVベルトを介してフライホイールが回転する。
- ・クラッチを連結するとフライホイールの回転がピニオン軸に伝えられルーズギヤー、大ギヤーを経て上ロール軸が回転する。
- ・上ロール軸が回転すると上ロール軸歯車及び下ロール軸歯車が回転し、下ロール軸を反対方向に回転させる。
- ・この時上下ロール軸に取付けられたセグメントによりワークを成形する。
- ・クラッチを開放するとブレーキが作動しロール軸の回転は停止する。

#### (3) マニプレータ

- ・ロール軸の先に取付けられたクランク軸が回転する事により、クランク軸角メタルはアームの長溝部を摺動し、アームは前後に揺動する。
- ・アームよりターンバックルを介し、マニプレータ本体のレバーを前後に動かす事によって、ワークをクランプするメインパイプを前後に摺動させる。
- ・これによって、ワークはロール軸の回転と機械的に同期して前後に動く。(ロール軸とメインパイプの多少の誤差はクッションシリンダで吸収する。)
- ・左右方向へのワークの横移動は、ACサーボモータによりスクリュウ軸を回転して行う。
- ・マニプレータチャックはワークをクランプしたまま油圧シリンダとピニオン・ラックにより90°回転できる。

#### (4) 自動運転

加熱炉からワークをロボットで供給し、マニプレータによる前後搬送、フォーミングロールによる成形、ワークの横送り、成形済ワークの搬出等一連の動作は無人自動運転ができる。

#### 4.4.4 クロスローリングマシン

クロスローリングマシンは回転型と平型に分類できる。

##### (1) 主な構造及び作動

(回転型クロスローリングマシン)〔図4.4-3〕 素材を成形するダイスを取付けた上下2個のロールと、このロール間距離を調整するウォームジャッキ、ロールの同期回転を行うギヤーユニット、駆動部としての電動機・クラッチ・ブレーキ等より主として構成される。

上下のロールは同方向に回転し、素材は両ロールで平行に挟まれた状態で回転し、

1回転で1ヶ又は2ヶ(2ヶ取りダイス)の製品ができる。(平型クロスローリングマシン)〔図4.4-

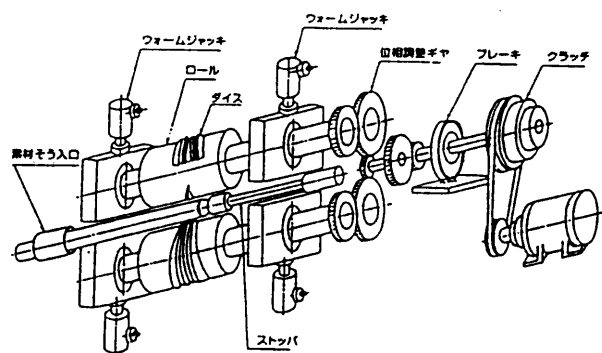


図 4.4-3 回転型クロスローリングマシン

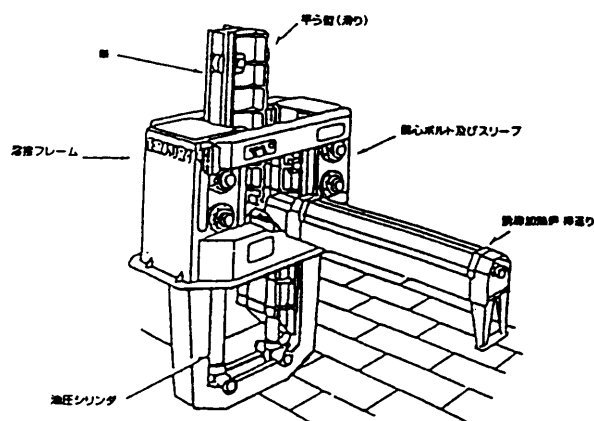


図 4.4-4 平型クロスローリングマシン

4]

一対を成すダイスを取り付けた2個の平板と、これ等を上下に駆動させる油圧シリンダと平板をサポートする本体フレーム等より構成される。2個の平板のダイス間に素材を挟んだ状態で、夫々の平板を上下にすれ違い運動を行う事により成形が行われる。成形後平板は夫々元の位置まで戻らねばならず、この戻り動作は回転型と比較するとロスタイムとなる。

(2) 特徴(長所及び短所)

(長所)

打撃による加工でないため振動や騒音が著しく低減でき、又、加工中にスケールが飛散することがなく、作業環境もクリーンな状況を維持し易くなる。

高い材料歩留まりが得られる。

回転加工であるため、素材の供給や製品の取り出し機構の自動化が容易で鍛造工場の省力化が実現できる。

生産性が高く、回転加工のため型寿命が長くなり、後工程の加工も容易となるため製品1個当たりのコストが低減される。(短所)

成形できる部品が軸対称な丸物品に限定される。

製品毎のダイスが必要となるため、少量生産に不向きである。

マンネスマン効果による内部欠陥が生じ易い。

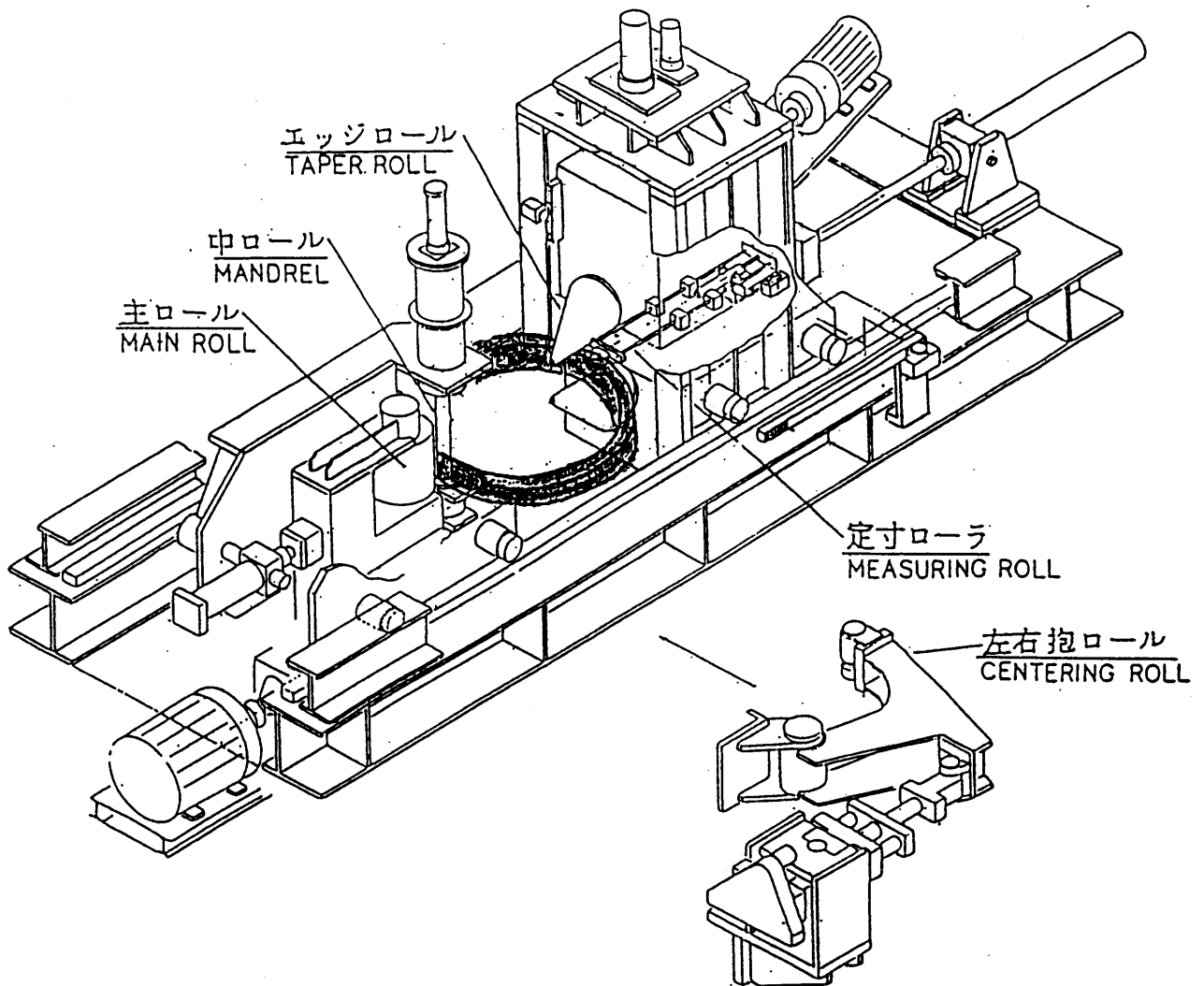
比較的新しい技術であるため、技術的な成形ノウハウの蓄積が少なく、試作に時間を要する。

(3) 設備の使用状況

本設備は上記の特徴を有しているが、結果的に広く普及するまでに至っておらず、型鍛造ラインの中の荒地成形用として一部で使用されているに止まっている。

参考文献

- 1) 「鍛造 - 今日と未来」 社団法人全日本鍛造協会 1998年
- 2) 第76回塑性加工講習会テキスト 社団法人日本塑性加工学会 1997年
- 3) 鍛造用語辞典 財団法人鍛造技術研究所 1993年
- 4) 「鍛工品製造業に係る労働力確保対策技術開発」の公開普及説明会資料、財団法人鍛造技術研究所 1994年



(図 4.5.1-1) ラジアル-アキシアル型リングローリングミル全体図

#### 4.5 リングローリングミル

##### 4.5.1 リングローリングミルの構造

今日主流として使用されているラジアル-アキシアル型リングローリングミルの全体図を(図4.5.1-1)に示す。

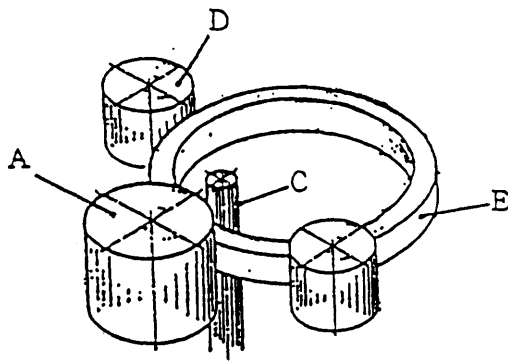
リングのラジアル方向の圧延は主ロールとマンドレルによって行われ、リングの高さ方向は上下のエッジングロールによって圧延される。

圧延中のリングのセンタ保持は左右一対のガイドロールと上下エッジングロールの回転数制御によって行われる。又、圧延されているリングの直径は、常に定寸ローラによって計測されておりこの寸法を基準にリング圧延全体の制御が行われる。大型リング鍛造には、当形式ミルが広く用いられているが、一方、高さ方向の圧延機構エッジングロールを備えないラジアルリングローリングミルは、以前は多用されていたが、現在では、プレスやハンマー等での最終鍛造の前工程として使う以外余り用いられていない。(図4.5.1-2)と(図4.5.1-3)は夫々をスキマチックに示したものである。

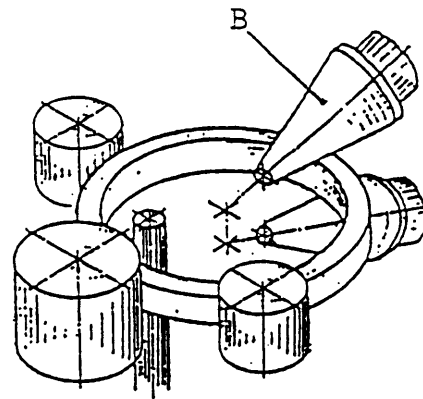
その他構造上では、製品を水平方向に置くか、垂直方向にするかによって、夫々構型式と縦型式があり、通常、大型鍛造品は模型式が製品重量の点から採用されている。軽量品やベアリング等量製品の加工には二儀型式がその製品のローディング、アンローディングが比較的容易と云うこともあって

ラジアルリングローリングミル

ラジアル-アキシアル リングローリングミル



(図 4.5.1-2)



(図 4.5.1-3)

- A : 主ロール
- B : エッジングロール
- C : マンドレル
- D : ガイドロール
- E : 製品

かなり採用されている。しかし、横型式の様に高さ方向に十分な圧延機構を取付けるのが一般的に困難なため、肉厚品の製品には余り適さない。

又、近年冷間リングローリングミルの普及も著しく、ベアリングレースでは、一部内、外形状の旋削加工を省き、即、研磨加工できるまでのニアネットシェイプ鍛造が可能となっている。しかし、加工限界が中型鍛造品までとされ、それ以上の大型鍛造品は、現在では、まだ熱間リングローリングミルが主体である。

ラジアル-アキシアルリングローリングミルの各部の名稱と機能

a) 主ロール

モーター駆動で、リングの直径方向の圧延を受けながら回転さす。他に MAINROLL ,O.D.ROLLとも云われる。

b) エッジングロール

高さ方向の圧延を行い、凹み (CONCAVE) の発生を防ぐ。正しくは、EDGINGROLL (角立てロール) 他に TAPERROLL , CONICALROLL , AXIALROLL とも呼ばれる。上下ロール共駆動、上ロールのみ駆動、などあるが、いずれもモーター強制駆動される。その圧延特性より、一般には D.C モーターが用いられる。

マンドレルリング直径方向の圧延力を与え、肉厚を減少させると共に主ロール側へ移動する。主ロールに較べ小径である。主ロール回転とリング間の摩擦により回転する被駆動である。中ロール、

一般的なリングローリングミルの仕様

| リングミルタイプ | 最大外径<br>(mm) | 最大リング高さ<br>(mm) | 最大加工重量<br>(kg) | 主ロール圧延力<br>(TON) | エッジロール圧延力<br>(TON) | 主ロールモーター<br>(Kw) | エッジングロールモーター<br>(Kw) |
|----------|--------------|-----------------|----------------|------------------|--------------------|------------------|----------------------|
| 25/20    | 800          | 30~170          | 200            | 25               | 20                 | 50               | 2×38                 |
| 50/40    | 1400         | 40~350          | 600            | 50               | 40                 | 110              | 2×75                 |
| 125/100  | 3000         | 50~580          | 3200           | 125              | 100                | 250              | 2×150                |
| 200/125  | 5000         | 50~740          | 6300           | 200              | 125                | 400              | 480                  |
| 500/315  | 7000         | 100~1160        | 12500          | 500              | 315                | 1000             | 800                  |

.D.ROLL と呼ばれる。一般には小径の為消耗品と看なされる。

#### d) ガイドロール

ローリング中、リングを保持し真円とする目的のロール。通常主ロールの両側に各一個を備えている。この保持力が強いと剛性の弱いリングはローリングの途中で潰れ、弱過ぎると多角形になるなど其円のリングが得られない。被駆動である。別名 CENTERING ROLL , 抱きロールと云われる。

#### 4.5.2 リングローリングミルの仕様

次に揚げるのは、一般的なリングローリングミルの各仕様である。その目的に応じて色々と付加仕様が異なることに注視して戴きたい。ミルの能力を問う場合、単に可能なリング最大外径や最大重量のみでは不十分で、直径・高さ方向の各圧延力、およびそれぞれのモーター馬力を知ることが肝要である。

#### 4.5.3 コンピュータ制御の自動圧延

- ラジアル-アキシヤルリングローリングミルの基本制御について -

この形式のミルでのローリングでは、直径方向と高さ方向の圧延を同時に行うわけだが、それにはどのようなアルゴリズムに基づくのかによって、その制御方法が異なるが、次に述べるのはその1つの例である。

イ) エッジングロールと圧延リングの間にすべりが無いこと。

ロ) 高さ方向の圧延はリング外径の関数として圧延中のリング高さをHとして、任意の外径Dに対し次式を定める。

$$H = \frac{C_1}{D^n} + C_2 \quad (1)$$

nを変えることにより種々の高さ方向の圧延曲線が得られることになる。nはマイナスも可能にする。

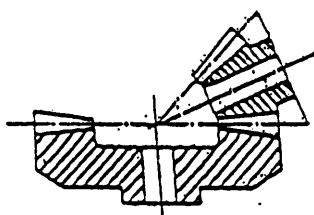
ハ) リング外径の圧延速度を定常状態では一定とする圧延制御を行う。

ニ) リング実円度に大きく関与するガイドロール制御を圧力制御及び位置制御のいずれも選択できるようにする。

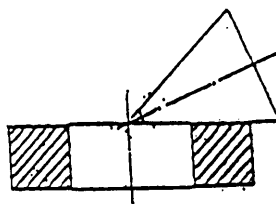
#### (1) エッジングロールの回転<sup>1)</sup>

(イ) のすべりのない回転にするには、エッジングロール軸がリング径中心と(図4.5.3-1)の様に交わりながら回転すれば円錐形のエッジングロールのどの点に対してもスリップのない回転が得られることが判る。これは、リング外径成長量の1/2でエッジングロールが後退すれば、常にこの状態に保持できることになる。(図4.5.3-2)従って、もし外径4000mmのリングをこの理で圧延すると、2000mmの長さのエッジングロールが必要となる。実際にはこの様な構造は非常に困難で、最大径4000mmのミルでは1200mm~1500mmとられる長さである。実際、このエッジングロールの長さが1247mmでも最大径5200 のリングを圧延している。エッジングロールの長さ1200mmで4000mmのリングを圧延する場合、一般的には1200×2=2400mmまではスリップレスで圧延し、残り1200mmはこのスリップを甘受しながら圧延するパターンが普通である。いずれにせよこのスリップによる影響は、

ベベルギヤの噛み合せ



円錐ロールとリングの噛み合せ



(図 4.5.3-1)

エッジングロールの摩耗を早める。  
ローリングが円滑に進まず、リングの振れや浮き

上がり等を発生する。

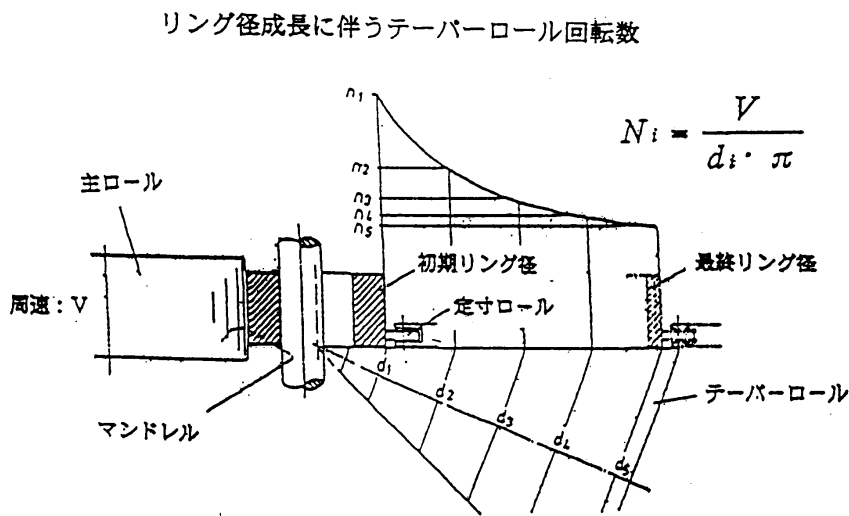
主ロールとエッジングロールを結ぶセンターラインより大きく外れた場合は多角形になり極端な場合は潰れたりする。

エッジングロールがリングセンターと交わりながら後退するとき、リング外径周速 = 一定の条件より円鋸形エッジングロールの回転は減少せねばならない。(図4.5.3-3)はその回転数とエッジングロール径との関係を示している。

リング最外径がエッジングロール径  $d_i$  で接しているならその回転数  $N_i$  は

$$N_i = \frac{V}{d_i \pi} \quad (V; \text{主ロール周速})$$

で変化すればよいことが判る。



(図 4.5.3-3)

(2) 高さ方向の圧延

ラジアルリングローリングミルではエッジングロール機構がなく、単に直径方向のみ圧延するため、

高さ方向の両端に凹みが発生する。

発生過程を(図4.5.3-4)で示すように圧延が進むにつれて、この凹み(CONCAVE または FISHTAIL)は深くなり、ベアリングレースの様な肉薄品よりギヤ等肉厚品になる程大きく現れる。

圧延速度によっても異なる。一般には速度が大

大になると少なくなる傾向にある。

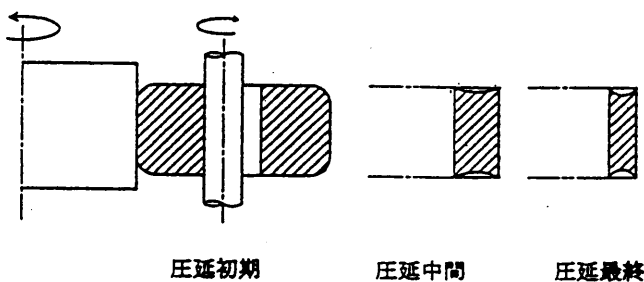
この凹みは析料歩留まりの減少をもたらす、高級析の場合、価格増大に縦がる。なお、後工程の熱処理、機棟加工での工数アップとなり、ローリング鍛造の欠点となっていた。

なおまた、高さ方向の肉の挙動が規制されてない為、一部材質のものでは変形能が低下し圧延途中で割れ等が発生することがある。

以上の理由により、近年のリングミルは殆ど高さ方向圧延可能なラジアルアキシヤルローリング

ミル形式である。高さ方向の圧延量基本的には、上記CONCAVEを防止できる量だけの圧延量を荒地に与えればよいが、更に、荒地工程のプレス能力を補助するためプレス能力が荒地外径  $d_0$  までとすれば重量分を高さ方向に与えればよい。

荒地寸法決定の一例を挙げると、リング鍛造寸法外径  $\phi 3000$ 、内径  $\phi 2700$ 、高さ180この場合で荒地高



(図 4.5.3-4)

さは 280 とした場合、重量一定より夫々の H, D が求まる。

この場合、荒地内径を 350 とすると、 $D_1 = 1105$  と求まり、  
(1) 式より

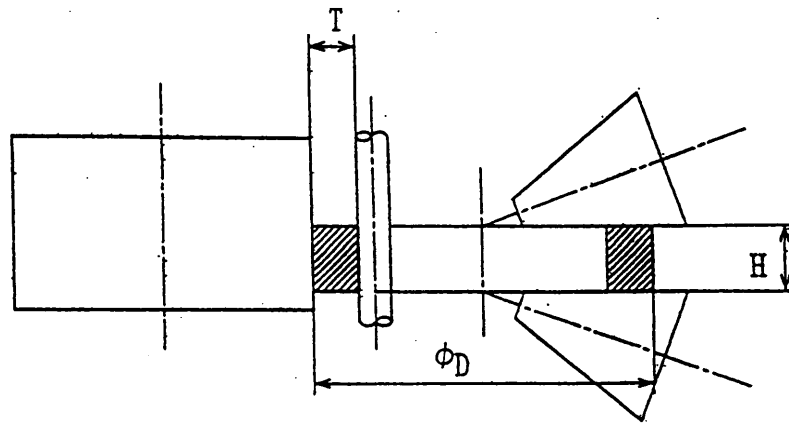
$$\text{荒地寸法: } H_1 = \frac{C_1}{D_1^n} + C_2$$

$$\text{鍛造寸法: } H_2 = \frac{C_1}{D_2^n} + C_2$$

上式に例えば  $n = 1$  として  $H_1 = 280$ ,  $H_2 = 180$ ,  $D_1 = 1105$ ,  $D_2 = 3000$  を代入すれば定数は、 $C_1 = 5.3 \times 10^2$ ,  $C_2 = 338$  と夫々求まり、高さ方向の圧延曲線が得られる。

(3) 一定速度の圧延制御<sup>2)</sup>

圧延途中、常にその外径寸法を定寸ローラ (FEELER ROLL または TRACER ROLL を押し当てることにより把み、その刻々の D 寸法を基にコンピュータ自動制御を行う。



(図 4.5.3-5)

リング体積は、

$$V = p \left( DTH - T^2H \right) \quad (2)$$

D ; リング外径

T ; リング肉厚

$$H ; \text{リング高さ} = \frac{C_1}{D^n} + C_2$$

と変形し、(図 4.5.3-5) また  $V = \text{Const}$  であるから外形成長速度  $\frac{dD}{dt}$  は

(2) より  $\frac{dD}{dt} = v_0 = \text{Const}$  となるときの変数は T のみとなる。

(2) より  $T = f(D, H)$  であり、 $D = f_1(t)$ ,  $H = f_2(D) = f_2(f_1(t))$  ゆえ、

$$\frac{dT}{dt} = \frac{\partial T}{\partial D} \frac{dD}{dt} + \frac{\partial T}{\partial H} \frac{dH}{dD} \frac{dD}{dt} \quad (3)$$

$$(2) \text{ より } \frac{\partial T}{\partial D} = \frac{T}{2T - D} \quad (4)$$

$$\frac{dH}{dD} = C_1 n D^{-(n+1)} \quad (5)$$

$$\frac{dD}{dt} = v_0 (\text{Const}) \quad (6)$$

$$\frac{dT}{dH} = \frac{(D - T) T}{(2T - D) H} \quad (7)$$

(4), (5), (6), (7)を(3)に代入すれば、

$$\frac{dT}{dt} = \frac{1}{2} v_0 \left[ 1 - \frac{D}{H} \sqrt{\left( \frac{D^2}{4} - \frac{V}{\pi H} \right)} + \frac{V}{\pi H^2} \sqrt{\left( \frac{D^2}{4} - \frac{V}{\pi H} \right)} \cdot \frac{n C_1}{D^{n+1}} \right] \quad (8)$$

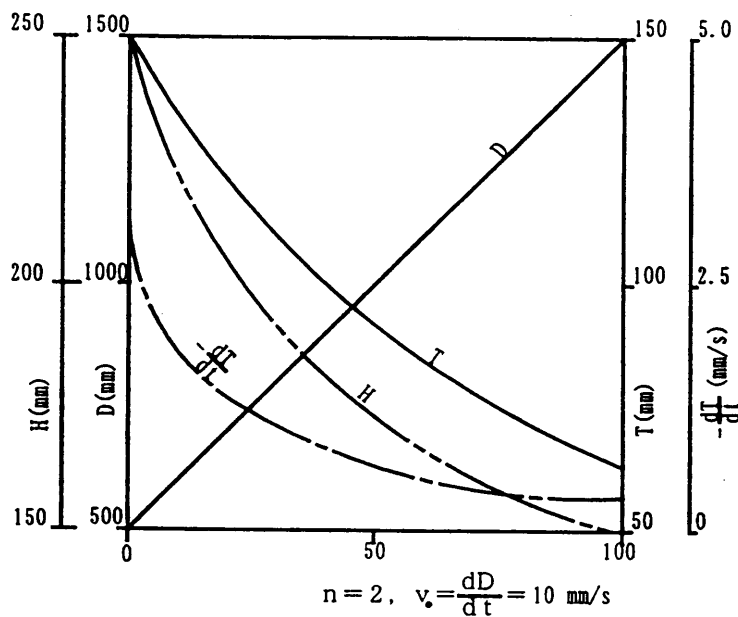
が得られる。

従って肉厚の変化速度  $\frac{dT}{dt}$  はDとHで定まるが、HはまたDにより定まる故、Dのみで定まる

ことになる。具体的には、 $v_0, n$ をプリセットすれば圧延中のDを定寸ローラで読みとり、 $\frac{dT}{dt}$ を刻々算出し、それを油圧サーボ弁を介し、マンドレルの圧延速度を変化されればよい。

今一つのシミュレーションとして、

シミュレーション結果例

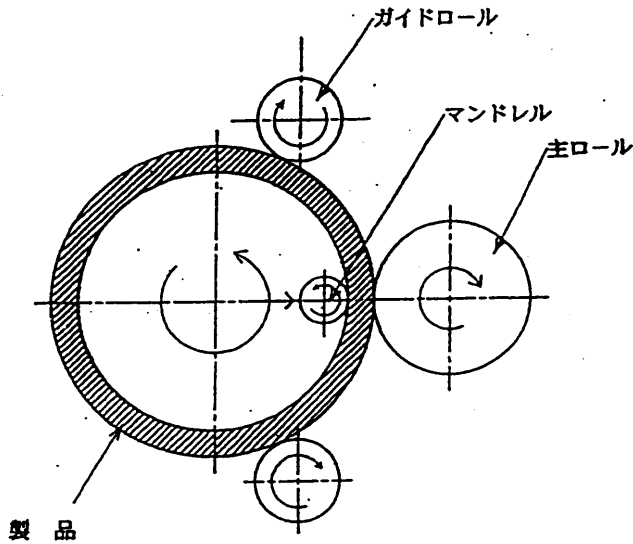


(図 4.5.3-6)

|      |        |      |         |
|------|--------|------|---------|
| 荒地寸法 | 外径 500 | 鍛造寸法 | 外径 1500 |
|      | 内径 200 |      | 内径 1378 |
|      | 高さ 250 |      | 高さ 150  |

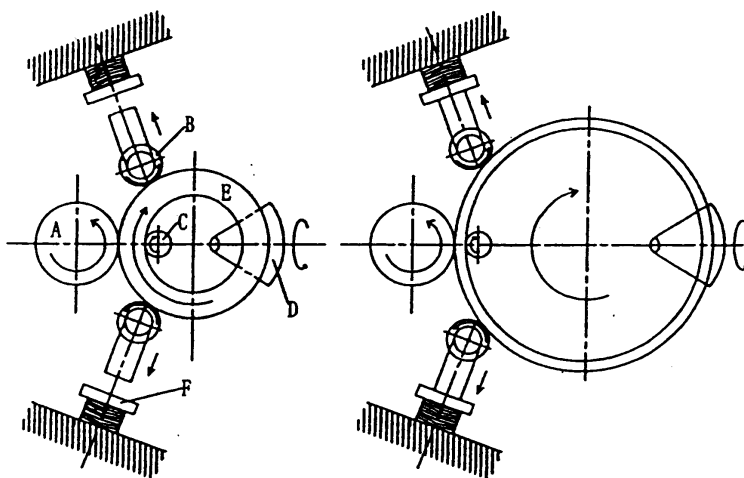
の場合次図の様な圧延パターンとなる。

(4) ガイドロール制御



(図 4.5.3-7)

- A: 主ロール
- B: ガイドロール
- C: マンダレル
- D: エッジングロール
- E: 製品
- F: 固定ブロック



(図 4.5.3-8)

圧力制御とは、常に或る力でリングを押しつけながら、リング外径成長に伴い、その押し出す力で広げられる方式、しかし、押し付ける力を間違えると広げられる力に打ち勝って、リングを押しつぶすこともあり得る。

従って、この力の決定には経験値が必要とされる。(図4.5.3-7)

これに反し、位置制御とは、刻々のリング外径Dをもとに、幾何学的に定まるガイドロール位置に強制的に後退させ、常にリングとは軽い接触で殆ど押力を与えない方法である。この方法は、剛性の弱いリングに有効である。

最終段階での真円を得る1つの方法として、(図4.5.3-8)に示す。これは、圧延途中では、ガイドローラーは圧力または位置制御法でリングをガイド

しているのは同じだが、最終リング径になった際ガイドローラーは固定ブロックに押しつけられ定位置となり、リングはこれにガイドされ真円を得ることができる。

その他種々の真円にするための工夫がされている中で、左右ガイドローラーの位置変化を検出し、エッジングロール回転数を増減させることにより、常に製品をセンターライン上にて圧延する制御もかなり進んでいる。

参考文献

- 1) J.BANNING AG: FORGING INDUSTRY ASSOCIATION'S FORMING EQUIPMENT SYMPOSIUM JUNE 1973.
- 2) 加藤高明 渡戸貢朔 他: "リングローリングミルのマンダレル圧下速度制御" 日本機械学会論文集 57 巻 539 号 1991-7

## 4.6 段取り・設備の自動化

### 4.6.1 ハンマ作業

ハンマ作業における自動化事例とし、2、3記す。

#### (1) コッカーパンチャによる金敷の固定

従来はクレーンにて金敷固定用のコッカーを胴突き作業をしていたのをフォークリフトにコッカーパンチャ(可搬式エアシリンダーによるパンチング装置)を装着し打撃固定する方法とする。これにより金敷の交換時間の短縮と必要人員の半減につなげられる。

#### (2) 回転テーブルの設置

マニブレードに加熱した素析を掴ませる作業あるいは、鍛造終了した素材をマニブレードから取り出す作業は、軌条式マニブレードにおいては時間の要するものであったが、回転テーブルを軌条外に移動し回転テーブル上にて素析あるいは打上り析の受注しを実施し、回転テーブル上にて次の素析が積まれたらマニブレード前方に移動し掴ませ、その後回転テーブルを引き出す。(図4.6.2-1参照)これにより作業のスピードアップが図れる。

(3)ハンマのハンドル系に油圧ユニットを利用した改善ハンマ換作はスライドバルブを操作レバーを介して行なっている。この操作は熟練を要することが知られている。自由鍛造においては、多様な打撃形態をとるため熟練を必要とする。また、人力により且つ、重筋作業でもある為、長時間の連続作業においては辛い作業でもある。これらを改善する為に「ならい制御」と「打撃制御」の2つの機能を設置する。

「ならい制御」機能としては、マニュアルペダル、オートペダルおよびティーチングボタンよりなっている。マニュアルペダルは作動トランスにより作業者の動きを忠実に再現する。即ち、速く踏むと速く打撃し、踏み込み量を変化させるとストロークが変化する。ティーチングボタンを入れた状態でマニュアルペダルによる換作されたハンマリング動作は、コンピュータに記憶されオートペダルのワンアクションにより同じ動作をサーボシリンダにより再現する。オート運転中にマニュアルペダルを踏むと運転が中断し、ラムが上死点位置で停止する。これにより、繰り返し作業における再現性と効率化が実現できる。

次に「打撃制御」機能は、打撃スピード調整とストローク調整からなり、調整ダイヤル換作により任意の打撃形態を作り出せる。これにより、省力化が図ることができる。

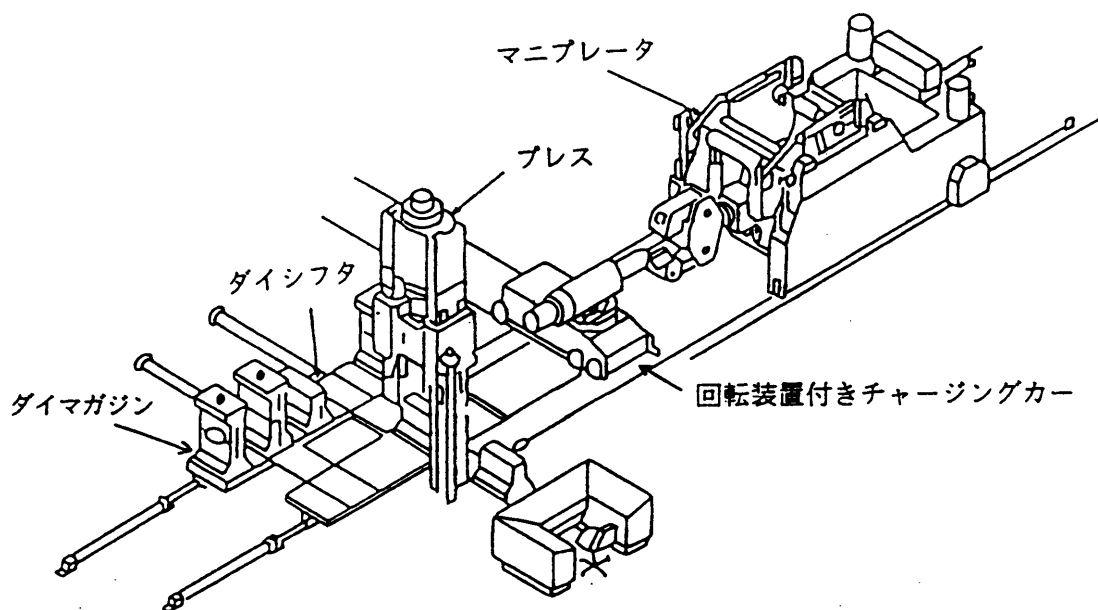


図 4.6.2-1 回転装置付きチャージングカー、ダイマガジンおよびダイシフタ

#### 4.6.2 プレス作業

プレス作業においては合理化が進んで来ているが、それはプレス、マニプレータの設計者がプレスおよびその周辺全体を1つのシステムと位置づけて設計して来ていることとバルブメニカの技術改善・コンピュータの導入の容易さ・油圧機器の高度化等があげられる。しかし、プレス作業はハンマ作業に比べて数値化し易いことが裏にある。

以下に最近の自動化状況を示す。図4.6.2-1にプレスおよび周辺のスケッチを示すが、まず段取りとしてのメインは、金敷の交換であるがダイシフタとダイマガジンにて行なわれる。ダイマガジンの中には、1つのプロセスの中で使用される金敷をセットしておき、鍛造過程の中でチョイスしながらダイシフタに移動させてプレス内に引込む装置である。すべてプレスオペレータの換作により可能である。回転装置付チャージングカーは、図中で示すごとく（ハンマでの自動化で記した事と同称）素材の出入を実行する。また、このカーに載せる作業は自動吊り具（モータ付開閉トング）等が使用される。マニプレータはプレスと連続的に連動した動作も実行できるし、オペレータの操作をコンピュータが記憶して同様の動作も可能である。更に前もって鍛造作業をプログラムに組んでおき全自動鍛造も実行できる。

測長装置も使用されているケースもあり、2つの台車式の線状発光装置を設置し、一方をセットしゼロ設定後他方を移動させ移動距離をデジタル表示する方法である。2つの間隔を一定にして平行移動させることも可能である。また、鍛造中にプレステーブル上に落された酸化スケールは、クレーンにて吊り上げたマグネットに付着させ、遠隔操作で所定の場所に廃棄することも実行している。最近では、新設する鍛造設備一式をフォーミングコンプレックスと移し、前述した合理化は、ほとんど実施されるようになってきており、作業を実施する人は3人前後という極めて少ない形で行なわれるようになって来ている。

#### 参考文献

自由鍛造作業の自動化に関する調査報告書 日本鑄鍛銅会 1993年

### 5 熱処理設備

鍛造品は使用目的に応じた硬度、結晶組織、機械的性質を改善するため、各種の熱処理を行う。本項では代表的な熱処理に用いられる熱処理設備とその保守について述べる。

#### 5.1 焼入れ焼戻し設備

##### 5.1.1 焼入れ焼戻しの概要<sup>1)</sup>

焼入れとは、鉄と炭素の合金である鋼を変態点以上の所定温度に加熱し、所要の時間保持したのち焼入れ冷却装置で急速に冷却し、結晶構造を変えて硬化させる操作である。

焼戻しとは、焼入れした鋼の靱性を増加し、硬さと内部応力を一部減少させるためA<sub>1</sub>変態点以下の適当とする温度に均一保持後、空冷する操作である。

この焼入れ加熱に使われる炉を焼入れ炉とよび、焼戻しに使われる炉を焼戻炉といい、また急冷に使われる冷却液が満たされた槽を焼入れ槽という。

これらは熱処理装置の代表的なものである。

##### 5.1.2 焼入れ焼戻し設備の種類と機能

###### (1) 焼入れ炉

処理品の単重や形状により焼入れ操作時の変形や打痕の度合いが異なるため、小物部品ではコンベア上に直接製品を並べるメッシュベルトコンベア形や、中物部品ではバッチ形及び台車型炉等の横型炉が一般的であり、容器（バスケット）に入れ加熱冷却するトレイプッシャー形、ローラハース形、リンクベルト形連続炉もある。大物部品用としてピット形（縦形）炉等もあり、昇温時間と保持時間を含む加熱時間と、炉内チャージ量と上記条件で炉形式が決められる。

###### (2) 焼戻炉

この炉は前工程に焼入れおよび冷却が必ずあり、続けて120 から600 で処理する。炉の形式は前段の焼入炉と同形が多く、焼入炉がリンクベルト形で焼戻炉がメッシュベルトコンベア形になる場合もある。

### (3)冷却装置

加熱炉と一体となって焼入装置を形成する。冷却液の種類(水、油、ソリブル)により設備構造が異なるが、いずれの場合にも処理品を十分に冷却するための十分な冷却液と、処理品によって上昇する冷却液温度を一定に保つための熱交換器装置等から構成されている。

均一な冷却効果を得るため、冷却液の流れ方向とその量を定めることが特に重要となる。

水焼入れにおいて冷却水を再利用する場合は直接冷却水を空気にさらして冷却するのは好ましくない。水中に溶けた気体が焼入れ時に離脱発泡し、焼入れ不均一(むら)が生じることもある。

焼入油は、劣化しにくい鉱物性の物が使用されるが70 付近での冷却能力が最も高くなるので、加熱、冷却の温度制御が必要である。油槽には処理品に適した油の対流構造とともに沈降性汚染物の除去装置が付設される。油の冷却装置は、結露や水漏れによって焼入れ油中に水分が混入するのを避けなければならない。焼入れ効果の低下や不均一を招き、時には焼割れを起こす場合がある。

ソリブル(水溶性焼入れ液)は濃度により冷却速度が変化するため濃度管理が重要となる。

焼入槽への処理品の搬送は、チェンブロックやクレーン、エレベータなどの搬送装置が取り付けられるが、焼入れ効果に十分な搬送速度を有したものが必要となる。

処理品を落下させる冷却槽には、これを引き上げるためのコンベアが付設される。

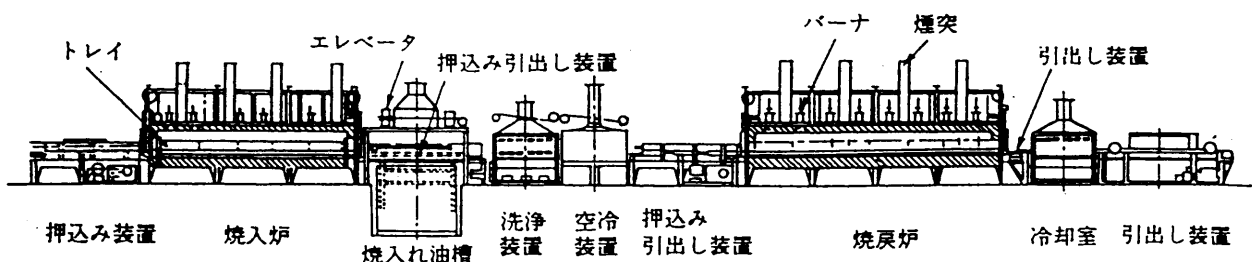


図 5. 1. 2-1 トレイプッシャ式連続焼き入れ焼き戻し設備

図 5. 1. 2-1 にトレイプッシャ式連続焼入焼戻し設備を示す。

## 5.2 焼きならし(焼準)設備

### 5.2.1 焼きならし処理の概要

焼きならしとは、鋼をA3またはAcm点以上の温度に加熱し、均一なオーステナイト組織になるまで保持した後、大気中で冷却させる操作をいう。

焼きならしにより、熱間加工の際に生じた結晶粒の粗大化、不均一化した組織を微細で均一な組織にし、機械的性質や機械加工性を向上させることを目的とする。

焼きならしには普通焼きならしの他に、衝撃値や疲労強度を高める為に強制的に冷却を行う衝風焼きならし、大型鍛造品等で1回の焼きならしでは十分な微細化が困難な場合に行われる2回焼きならし等がある。

### 5.2.2 焼きならし設備

炉の形式は前段の焼入れ焼戻し設備と同様に、製品の処理量、形状、昇温時間および保持時間を含む加熱時間等の条件で炉形式が決められる。

図5.2.2-1に冷却装置を備えたメッシュベルトコンベア式連続焼きならし設備を示す。

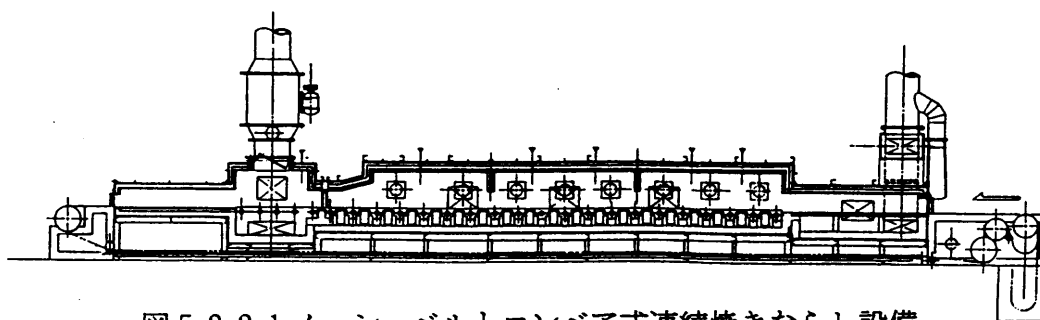


図 5.2.2-1 メッシュベルトコンベア式連続焼きならし設備

### 5.3 焼きなまし（焼鈍）設備

#### 5.3.1 焼きなまし処理の概要

一般に焼きなましとは、鋼をオーステナイト変態までに加熱および保持した後、パーライト変態区域をゆっくりと冷却する操作をいう。

焼きなましには目的により拡散焼きなまし、完全焼きなまし、等温焼きなまし、球状化焼きなまし、応力除去焼きなまし等がある。

#### 5.3.2 焼きなまし設備

一般には熱処理時間が他の熱処理に比べ長いことから、バッチ形や台車型の設備が主流と成ってい

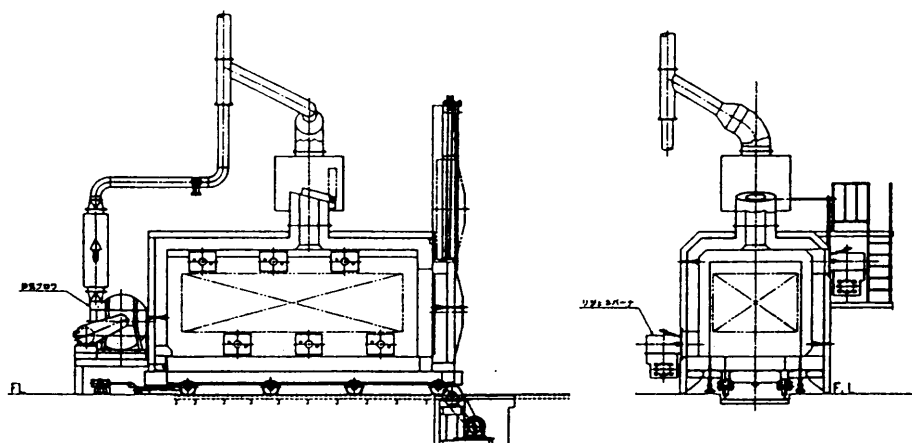


図 5.3.2-1 台車式焼きなまし設備

る。

図 5.3.2-1 に焼きなましを含めた多目的台車炉の外形図を示す。

この設備には A 重油燃焼のリジェネバーナが 6 対取付られている。

### 5.4 設備の保全管理

#### 5.4.1 設備保全システムの流れ<sup>2)</sup>

図 5.4.1-1 に設備保全の基本的な考え方を表したフロー図を示す。

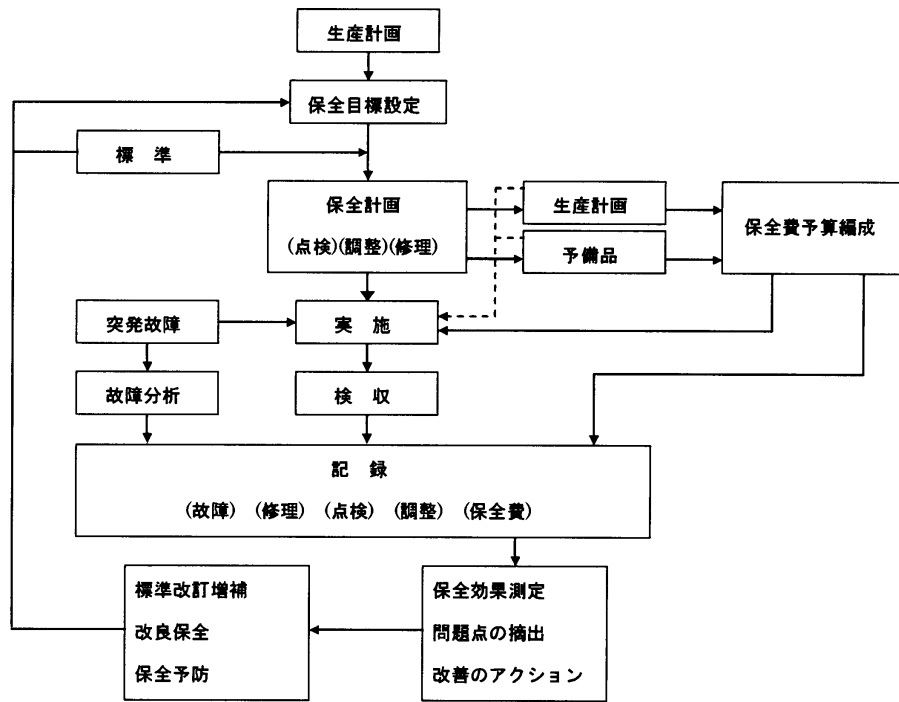


図 5. 4. 1-1 設備保全システムの流れ

### 5.4.2 保守点検の具体例

表5.4.2- 1 に、熱処理炉における代表的な保守点検の項目を示す。

表 5. 4. 2-1 代表的な保守点検項目

| 点検間隔    | 点 検 項 目   |
|---------|---|
| 1 回/日   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ユーティリティの点検               <ul style="list-style-type: none"> <li>燃焼ファン点検 (必要に応じフィルタ清掃)</li> <li>燃料供給圧の点検 (必要に応じストレーナ清掃、エレメント交換)</li> <li>圧縮空気供給圧の点検</li> </ul> </li> <li>・自動搬送装置の動作点検</li> <li>・材料の状態 (倒れ、落下)</li> </ul> |
| 1 回/週   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・各バーナタイトルの点検、バーナチップ (ノズル) の清掃</li> <li>・各バーナのオイルフィルタの点検および清掃</li> </ul>  |
| 1 回/月   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・排気ファン、冷却ファン等Vベルトの点検</li> <li>・コントロールモータリネージの点検</li> <li>・油圧ユニットの作動油点検</li> <li>・各種駆動部のグリス給油</li> </ul>  |
| 1 回/3ヶ月 | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ウルトラビジョンの点検清掃</li> <li>・各装置のリミットスイッチ等の位置および動作点検</li> <li>・各種電磁弁の動作</li> <li>・制御用熱電対の点検</li> </ul>   |
| 1 回/半年  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・軸類及び軸受けの点検</li> <li>・炉内点検、スケールの清掃</li> <li>・炉床、側壁、天井耐火物、セラミックファイバー等の破損点検、修理</li> </ul>  |
| 1 回/1年  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・温度制御用調節計、調節熱電対の検定</li> </ul>  |

参考文献

- 1)「工業炉ハンドブック」日本工業炉協会 1997年
- 2)「工業炉省エネルギー便覧」日本工業炉協会 1981年

## 6 . 仕上・検査

### 6.1 ショットブラスト装置 (JIS B 6614)

ショットまたはグリットの吹き付けには機械的な方法すなわち高速回転するインペラーによってブラスト材を加速する遠心投射装置を利用する。ショットブラストの型式は処理する鍛造品の形状、大きさ、量によって異なる。

製品が比較的小さく、全面をブラストする場合には図6.1-1に示すタンブラストあるいはエンドレスコンベヤ式が便利である。表面の形状がとくに複雑でこわれやすい場合にはハンガー式や図6.1-

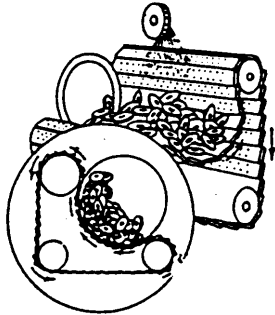


図 6.1-1 エンドレスコンベヤ式  
ターンブラスト

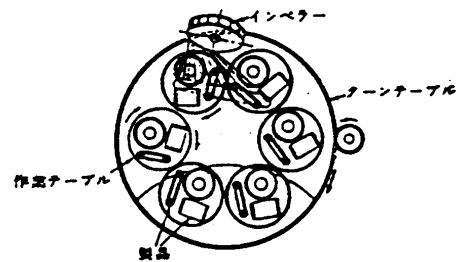
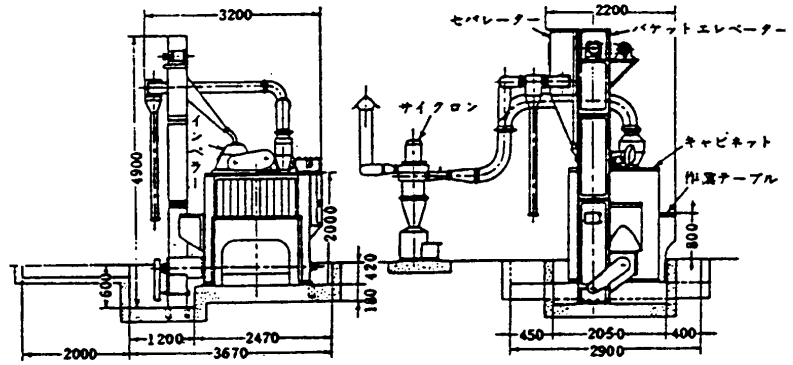


図 6.1-2 マルチテーブル式ブラスト

2に示すマルチテーブル式が適している。さらに、製品形状が大きな場合には大型のターンテーブルにのせ、キャビネット内で自転させながらグリットを投射してブラストするテーブルブラストが便利である。特に製品が長い場合にはローラーコンベヤまたはエプロンコンベヤで送りながらグリットを投射するコンベヤブラストが便利である。

### 6.2 非破壊検査

ここでは非破壊検査のうち、浸透探傷試験、磁粉探傷試験および超音波探傷試験の装置について

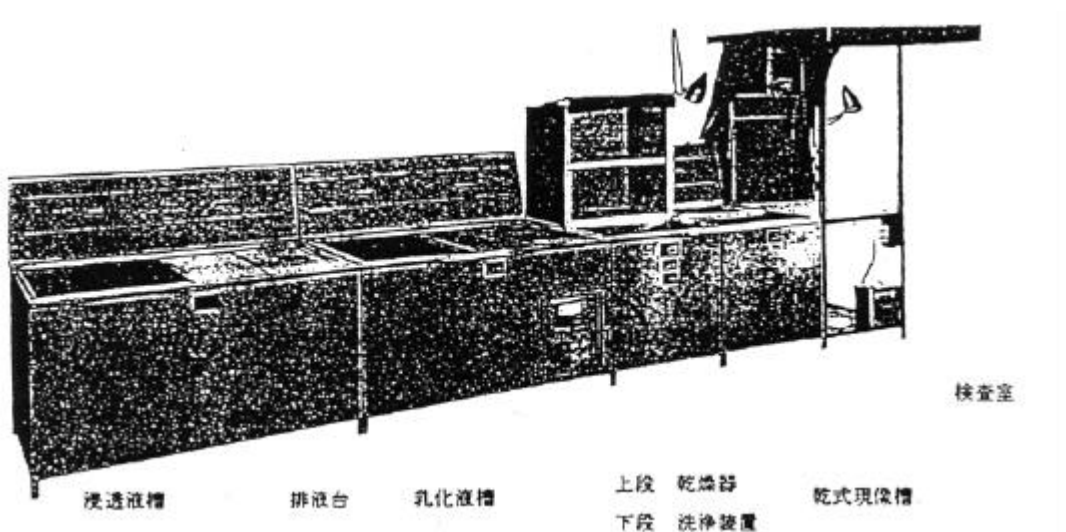


図 6.2.1-1 後乳化性蛍光浸透探傷試験装置

紹介する。

### 6.2.1 浸透探傷試験用装置 (JIS Z 2343)

浸透探傷試験に使用する装置は、試験体の形状、大きさ、処理数量、検出すべきキズの種類や大きさによって異なる。さらに規格など定められた場合は規格に合ったものを選ばなければならない。現在使用されている浸透探傷試験用器具および装置を大きく分類すると次の通りとなる。

スプレー法、はけ塗り法に用いられる器具

浸漬法に用いられるタンク、貯槽等の装置、器具

その他特殊な方式に用いられる装置、器具

一例として図 6.2.1-1 に小型の定置式浸透探傷試験装置を示す。

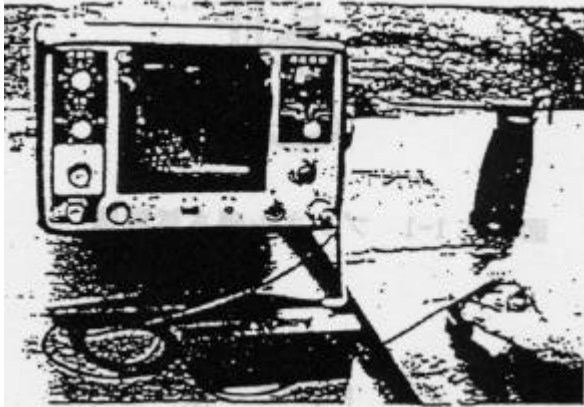


図 6.2.3-1 パルス式超音波探傷器

### 6.2.2 磁粉探傷試験用装置 (JIS G 0565)

磁粉探傷試験に用いられる磁化機器は、電磁石または永久磁石を利用した磁化器と、磁化電流を発生させる磁化電源部を有する磁化装置の 2 つに大別できる。前者は極間法と磁束貫通法に用いられ、後者は通電法、プロット法などに用いられる。また、磁粉は磁粉模様と試験面との色または明るさによるコントラストをつけるため、強磁性体の微粉末そのものの色を利用したり、表面に各種の色や蛍光性を持たせたりしたものがああり、きず部に生じた磁極に吸着されて明瞭に識別できる磁粉模様を形成する性質をもつことが要求される。

### 6.2.3 超音波探傷試験用装置 (JIS Z 2344)

超音波探傷装置を構成する主なものとして、超音波探傷器(本体、チャージャ、バッテリー、電源ケーブルなど)、探触子(垂直型、斜角型)、探触子ケーブルがある。探傷器は JIS Z 3060 に示された値を満足していることを確認して使用する。図 6.2.3-1 にパルス式超音波探傷器の一例を示す。

## 6.3 硬度検査

### 6.3.1 ブリネル硬さ (JIS Z 2243)

ブリネル硬さ試験は、直径 10mm の鋼球(圧子)を 3,000kg の荷重で試験片に油圧で押しつけ、できたくぼみの面積と荷重の関係から硬さを求める方法である。

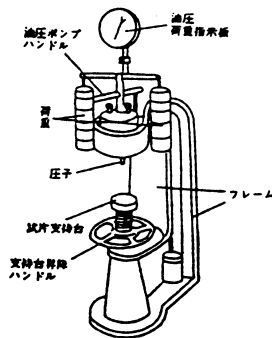


図 6.3.1-1 ブリネル硬さ試験機

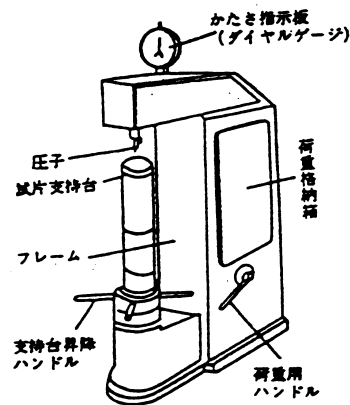


図 6.3.3-1 ロックウェル硬さ試験機

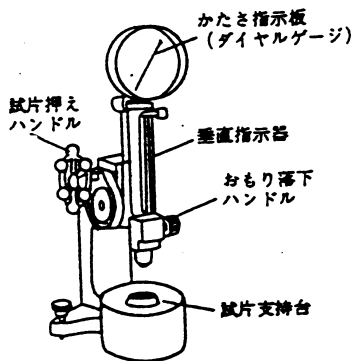
実際には試験片にできた表面のくぼみの直径を、機械に付属する計測拡大鏡で読み、換算表からその硬さ ( $H_B$ ) を求める。図6.3.1-1にブリネル硬さ試験機の例を示す。

### 6.3.2 ビッカース硬さ (JIS Z 2244)

対面角 $136^\circ$ のダイヤモンド製正四角錐の圧子を材料の硬さに応じた適当な荷重で試験片に押しつけ、そのできたくぼみの面積と荷重の値の関係から硬さ ( $H_V$ ) を求める。実際にはできたくぼみの表面の対角線の長さを機械に付属する計測拡大鏡で読み、換算表にて求める。図6.3.2-1にビッカース硬さ試験機の例を示す。

6.3.3 ロックウェル硬さ (JIS Z 2245) 直径 $1/16$ インチ ( $1.558\text{mm}$ ) の鋼球 ( $B$ 硬さ  $H_{RB}$ ) または

ダイヤモンド円錐 (頂角 $120^\circ$ ) の圧子 ( $C$ 硬さ  $H_{RC}$ ) を用いてまず、基準荷重  $10\text{kg}$  をかけ、次に  $H_{RB}$  は  $90\text{kg}$ 、 $H_{RC}$  の場合は  $150\text{kg}$  の荷重を加えてから、再び  $10\text{kg}$  の基準荷重に戻し、前後2回の基準荷重におけるくぼみの深さの差から硬さを求める。くぼみの深さの差は試験機についたダイヤルゲージ (硬さ指示板) で測るが、ダイヤルゲージには硬さの数値が直接指示されるように目盛りがつけてある。図6.3.3-1にビッカース硬さ試験機の例を示す。



### 6.3.4 ショア硬さ (JIS Z 2246)

被検体の表面に、一定の高さから先端がダイヤモンドでできている一定の重さのおもりを落としてそのおもりの跳ね返り高さから硬さ ( $H_S$ ) を求める方法である。図6.3.4-1にショア硬さ試験機の例を示すが、小型で持ち運びが簡単なため、現場で広く使われている。

図6.3.4.1 ショア硬さ試験機

## 6.4 材料試験

### 6.4.1 引張試験 (JIS B 7721)

引張試験は試験機を用いて JIS Z 2241 に規定されている方法で試験片を引張って破断させ、降伏点 (耐力)、引張強さ、伸び、絞り測定する方法である。

試験機にはアムスラー式、オルゼン式およびリレー式などがあるが、最も一般的に使用されているのは図6.4.1-1に示すような万能材料試験機である。試験機は、つかんだ試験片に、油圧で荷重をかけて引張り、そのとき加えた力と変形を知るようになっている。

### 6.4.2 衝撃試験 (JIS B 7722、JIS B 7723)

実際の機械や構造物における破損は静荷重よりも繰返し荷重または動的ないし衝撃荷重によって起こる場合が多い。また、常温で延性破壊をするねばい材料でも、ある温度以上になると急激に脆くなる。このような性質を調べる目的で衝撃試験が行われる。

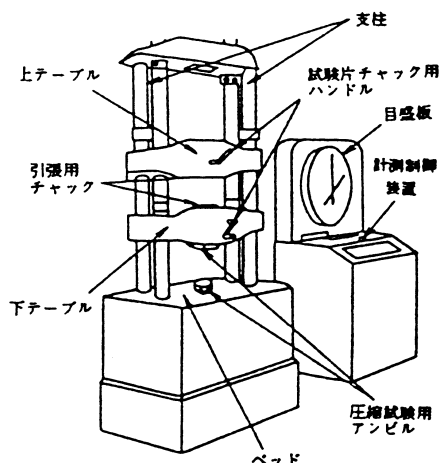


図6.4.1-1 万能材料引張試験機

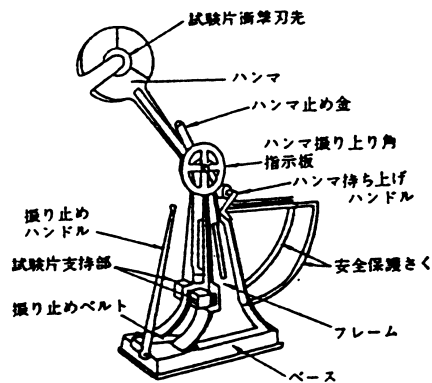
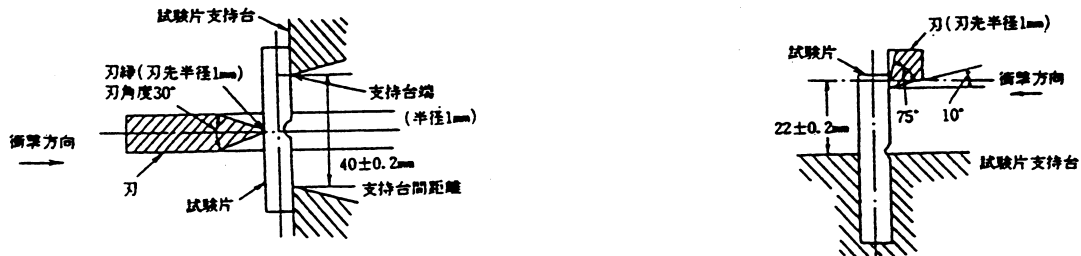


図6.4.2-1 シャルピー衝撃試験機

衝撃試験には、シャルピー型とアイゾット型があるが、普通前者が多く用いられている。図 6.4.2-1 にシャルピー衝撃試験機の例を示す。衝撃試験は、切り欠き（ノッチ）を入れた試験片を、振り子型のハンマで 1 回の衝撃によって破断し、破断に要したエネルギー（衝撃値）を求める。図 6.4.2-2 に（a）シャルピー試験と（b）アイゾット試験片の取付け方およびその衝撃方向と方向



(a) シャルピー試験の場合

(b) アイゾット試験の場合

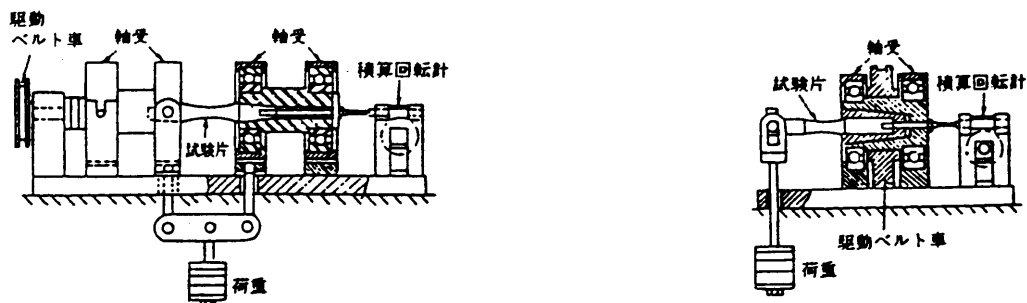
図 6.4.2-2 衝撃試験の試験片の取付け方と衝撃方向

を示す。

#### 6.4.3 疲れ試験 (JIS Z 2274、JIS Z 2275)

材料に繰返し荷重をかけていると、たとえ荷重が材料の降伏点以下であっても、しばしば破断を生ずる。これら破断の大半が疲労破壊である。材料が疲労破壊を起こさない範囲の最大応力を疲れ強さ（疲れ限度または耐久限度）といい、応力を  $10^6 \sim 10^7$  回程度の繰返し試験によって求められる。この疲れ強さを各種条件下において求めるのが疲労試験である。

図 6.4.3-1 に示したものは、試験片が荷重によって常に下向きの曲げの力を受けながら回転する形



(a) 両持ち式

(b) 片持ち式

図 6.4.3-1 回転曲げによる疲れ試験機

式の疲れ試験機の原理を示したものである。このような回転曲げ疲れ試験機のほか、材料が実際に使用される状態をつくって、繰返し過重を加えるように、種々の組合せのものがある。すなわち、繰返し引張圧縮によるもの、繰返しねじりによるもの、繰返し平面曲げによるもの、あるいは曲げとねじりを作用させる組合せ繰返し応力によるものなど、各種のものがある。

#### 参考文献

- 1) 鍛鋼品ハンドブック、日本鍛鋼会 1967年
- 2) 八木寅一 編：鍛造作業と作業法、全日本鍛造工業会監修 池田書店 1966年

- 3) J I Sハンドブック鉄鋼 、日本規格協会 1999年
- 4) 金属材料、鉄鋼短期大学 人材開発センター 1975年
- 5) 鉄鋼便覧、日本鉄鋼協会編 1971年
- 6) 非破壊検査技術シリーズ浸透探傷試験 、日本非破壊検査協会 1998年
- 7) 非破壊検査技術シリーズ磁粉探傷試験 、日本非破壊検査協会 1998年
- 8) 非破壊検査技術シリーズ超音波探傷試験 、日本非破壊検査協会 1990年
- 9) 溶射便覧、日本溶射協会 1964年

## 第3章 材料の種類

### 1. 鋼塊（インゴット）

#### 1.1 自由鍛造用鋼塊

自由鍛造品は機械の重要部品に使用されるケースが多いことから、自由鍛造用鋼塊の内部品質の健全性に対する要求は厳しい。鋼塊には凝固過程で生じる偏析や非金属介在物等が、その程度に大小の差はあるものの必ず存在し、問題となることがある。また、水素に起因する欠陥も問題を起こすことがある。鋼塊中の水素の軽減に関しては、各種の炉外精錬法や真空脱ガス法が適用されている。これらの技術は、水素の軽減だけでなく、非金属介在物の低減にも大きく寄与している。いずれにしろ、製品の用途に応じた鋼塊（溶解法）の選択や、鋼塊の内部性状をよく知って加熱、鍛錬、熱処理を行うことが肝要である。

#### 1.2 溶解・精錬法の種類

##### 1.2.1 普通溶解法

自由鍛造用鋼塊は主に電気炉により溶解されており、一部転炉も使用されている。また最近の炉外精錬技術の進歩により、電気炉で行なっていた脱酸、脱硫および成分調整といった精錬と真空脱ガス処理が、別の炉で効果的に行なわれるようになってきた。その主なものとしてLF法、VAD法、ASEA-SKF法といった取鍋精錬法がある。VAD法、ASEA-SKF法では加熱設備と取鍋脱ガス設備を併置してあるのが普通であるが、LF法では加熱設備はあるものの取鍋脱ガス設備を付加していない設備もあり、その場合はDH法、RH法といった他の真空脱ガス設備を使用することが多い。また、ステンレスでは、AOD法、VOD法といった精錬法が用いられる。鋼塊は、電気炉、転炉による溶解とこれらの炉外精錬技術を組み合わせて製造されることが一般的である。

##### 1.2.2 特殊溶解法

特殊溶解法としてエレクトロslag再溶解法（ESR法）、真空誘導溶解法（VIM法）、真空アーク再溶解法（VAR法）などが開発されており、高品質の鋼塊製造に用いられている。

##### (1) エレクトロslag再溶解法（ESR法）

この技術は図1.2.2-1に示すように、大気圧下の水冷鑄型内で溶融slagの抵抗熱により、電極素材を溶解しながら鋼塊を製造する方法であり、逐次溶解された電極はslagを通して連続的に鑄型内で凝固する。この方法では、大気酸化が溶融slagによって防止されるとともに、酸化物、硫化物等の吸収除去も行なわれるので、清浄な鋼塊が得られる。また、水冷鑄型により急凝固するので、凝固組織は微細となり、偏析も少なく、鋼塊肌も良好である。硫化物の著しい低減および凝固組織の微細化により、鍛鋼品の機械的性質の異方性が軽減され、靱性が改善される。ESR法は真空を必要としないため、設備の大型化が容易であり、すでに1800mm(100ton)程度の大型鋼塊が国内で製造されている。

##### (2) 真空誘導溶解法（VIM法）および真空アーク再溶解法（VAR法）

VIM法では、真空チャンバーの中に誘導炉と鑄型を設置し、溶解、造塊を通して、溶鋼は大気と遮断されている。従って、脱ガス効果は顕著で、酸化物系介在物の除去が可能である。

VAR法は真空にした水冷銅鑄型内で消耗電極と鑄型内溶鋼との間にアークを発生させ、その発生熱により電極を再溶解し、連続的に鑄型内で凝固させることにより、鋼塊を製造する方法である。電極

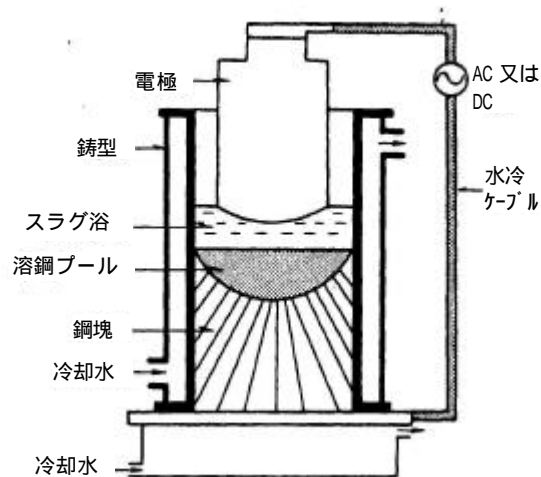


図 1.2.2-1 ESR 法

中に存在する酸化物系介在物およびガスは真空精錬によって除去され、清浄な鋼塊を得ることができる。また、ESR法と同様に、急凝固することで凝固組織は微細でかつ偏析が少ない。この方法は主としてTiやAlなどの活性元素を含む耐熱合金の製造に適用される。

### 1.3 造塊法の種類

溶鋼を鑄型に鑄込み、鋼塊にする工程を造塊という。造塊工程は、鋼塊の品質および歩留りを大きく左右する。そのため、鋼塊形状、押湯形状、鑄込み温度・速度等の鑄込み条件、注入方式などに工夫が凝らされている。

所定の鑄型に大気中で鑄込んで鋼塊とする方法を普通造塊法といい、真空タンク内に設置した鑄型に鑄込む方法を真空造塊法と呼ぶ。これらに対し、水冷鑄型を用いて、一定形状の長い鑄片を連続的に製造する方法を連続鑄造法という。この方法で製造された鋼片は、大部分が圧延用に利用されるが、一部鍛造用素材としても利用されつつある。

#### 1.3.1 普通造塊法

溶鋼を鑄型に注入する方法には下注法が一般的である。下注法は鑄型の底部に設置した耐火レンガで造られた湯道を通して溶鋼を注入する方法で、溶鋼の鑄型内上昇速度が遅いため、鋼塊の肌はきれいである。また、鑄込み中における溶鋼の再酸化を防ぐために、不活性ガス雰囲気中で鑄込む場合もある。

溶鋼が凝固する際には体積の収縮が起こるため、最後に凝固する部分には大きな空洞（収縮孔）を生じる。この収縮孔が鋼塊本体に残ると欠陥となるため、鋼塊本体に溶鋼を給湯する押湯を鑄型頭部に設ける。押湯部は最後に凝固するため炭素をはじめ鋼中に存在するP、Sなどの不純物元素が濃縮しやすいほか、凝固過程で浮上した各種非金属介在物、さらには凝固を遅らせるために投入される保温剤などが存在し、内部品質が悪いため、鍛造などの熱間加工工程において切り捨てられる。

#### 1.3.2 真空造塊法

流滴脱ガス法の1つで、図1.3.2-1に示すように溶鋼を真空タンク内に設置した鑄型に注入する方法であり、鍛造用大型鋼塊の製造には不可欠な技術である。この方法では、溶鋼が真空中に注入されると溶鋼中のガスが急激に膨張逸出し、溶鋼が微細な小滴となって飛散し、その過程で脱ガスされる。大気中で鑄込む普通造塊法に比べて溶鋼の再酸化がなく、非金属介在物も低減される。さらにSi量を低く抑えて、高真空下で促進される $C + O \rightarrow CO$ 反応を利用して溶鋼中の酸素を炭素で脱酸する真空カーボン脱酸法(VCD法)もあり、これにより鋼塊の内部性状が一段と向上した大型鋼塊が製造される。

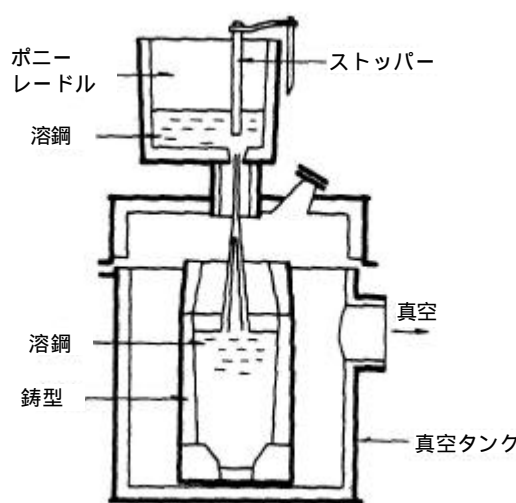


図 1.3.2-1 真空造塊法

#### 1.3.3 連続鑄造法

溶鋼を水冷鑄型に注入し、鑄型内で凝固しつつある鋼片を一定の速度で引き出す。凝固完了後は、所定の長さに切断される。この方法で製造された鋼片は普通造塊法で製造された鋼塊に比べて、急冷されるため偏析が少なく、組織は均一性に優れている。また、鑄肌が良好で押湯付き鋼塊に比べ歩留りが良好等の特徴を有している。

### 1.4 普通造塊材の性状および欠陥

自由鍛造用鋼塊には通常、普通溶解法で溶解精錬されたキルド鋼が使用され、普通造塊法にて製造される。ここではこの方法で製造された鋼塊の性状および欠陥について述べる。

#### 1.4.1 マクロ組織

図 1.4.1-1 にキルド鋼の断面マクロ組織の模式図を示す。鋼塊はマクロ組織から、チル晶、柱状晶(分枝柱状晶含む)、等軸晶(沈殿晶含む)に大別される。鑄型に接する最外層部で急冷でできた部分がチル晶、続いてチル晶から内部に向かって成長した部分が柱状晶(分枝柱状晶を含む)中央部で特定の方向性を持たない部分が等軸晶といわれる。ここで、等軸晶のなかで鋼塊底部付近の円錐状の部分を沈殿晶と言う。

#### 1.4.2 偏析

鑄型に注入された溶鋼は、その凝固過程でいろいろな成分元素の偏析を生じる。偏析の度合いは、普通、平均組成(とりべ分析値)からの偏差をもって示し、偏差が正の場合は正偏析、負の場合は負偏析と定義している。キ

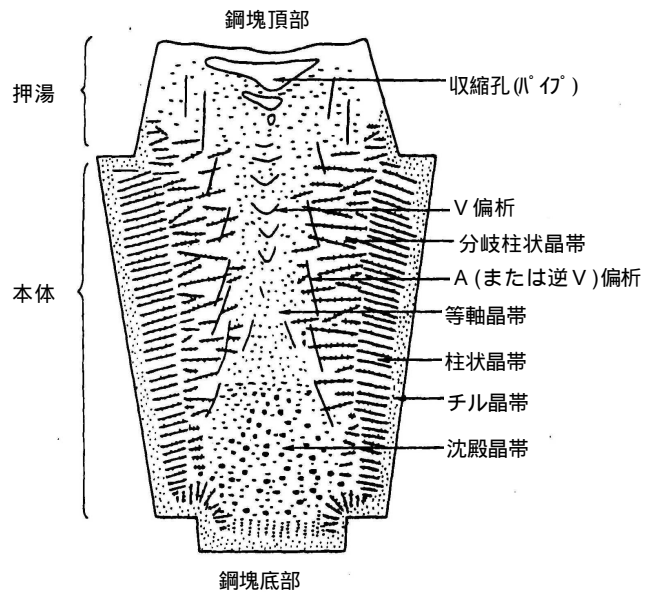


図 1.4.1-1 キルド鋼の断面マクロ組織

表 1.4.3-1 製鋼、造塊過程で現れる欠陥<sup>1)</sup>

| 欠陥の類別 | 欠陥名称     | 発生原因  |
|-------|----------|---|
| 表面欠陥  | 鋼塊縦割れ    | ①鑄型形状不適當<br>②鑄型手入れ不十分<br>③鑄込み速度の過大<br>④鑄込み作業後の冷却方法不適當   |
|       | 鋼塊横割れ    | ①鑄型手入れ不十分<br>②二段注ぎ  |
|       | 吊切れ      | ①鋼塊の鑄型への焼付き<br>②押湯枠設置の不適當   |
|       | 肌荒れ(二重肌) | ①鑄型内面の荒れ又は手入れ不十分<br>②鑄込中、溶鋼の波状運動による鋼塊表面のしわ<br>③鑄込みに際し、溶鋼飛沫が鑄型内に付着して生じるもの  |
| 内部欠陥  | 非金属介在物   | ①精錬および造塊作業時に生成する酸化物、硫化物などの非金属介在物が残存<br>②耐火材料の溶融混入   |
|       | 砂きず      | ①精錬および造塊作業時に生成する酸化物、硫化物などの非金属介在物が富化肥大したものの残存<br>②耐火材料の溶融混入  |
|       | 砂かみ      | ①耐火物又はスラグが機械的に混入したもの<br>②耐火物(出鋼とい、とりべ、トラフ、湯道、押湯枠)が造塊作業中欠落混入したもの   |
|       | ゴースト     | ①脱硫、脱りんの不十分<br>②鑄型形状不適當<br>③鍛造方案および方法不適當(製品表面に現出した場合)   |
|       | 偏析きず     | ①P、Sおよび水素量の過多<br>②鍛造作業後の熱的取扱不適當<br>③脱水素処理の不適當   |
|       | 気泡       | ①脱ガス、脱酸不十分<br>②鑄型内面のさびが還元されて生じたもの<br>③鑄込みに際し、鑄型内面に付着した飛沫が酸化上し昇した溶鋼に接触してガスを発生したもの<br>④出鋼とい、とりべ、湯道および鑄型などの耐火物の乾燥不十分のため生じたもの |
|       | パイプ      | ①押湯効果不足<br>②鑄型形状(勾配、高径比)の不適當による二次パイプ  |
|       | ざくきず     | ①鋼塊形状(押湯量、高径比、勾配)の不適當<br>②押湯保温不適當<br>③鑄込み温度の高すぎおよびガス不純物過多<br>④鍛造効果不十分   |
|       | 異物混入     | ①造塊作業中の不注意により異材が鋼塊中に鑄ぐまれたもの   |

ルド鋼における偏析の状況を、図1.4.1-1に合わせて示す。図の中心部付近に見られるV偏析および柱状晶(分岐柱状晶)帯と等軸晶帯の境界付近に現れる逆V偏析(またはA偏析)は正偏析、また沈殿晶に見られる偏析は負偏析である。これら、正、負の偏析の程度は成分元素、鋼塊の大きさなどにより異なるが、押湯部を含む鋼塊頂部や逆V偏析部、V偏析部では炭素のほか、P、S等の不純物元素の濃化がみられ、逆に沈殿晶の負偏析部では炭素濃度が低くなっている。なお、一般的に正偏析が認められる領域には凝固に伴う微細な収縮孔が存在することが多い。

#### 1.4.3 内部欠陥と表面欠陥

鋼塊中に存在する内部欠陥の代表的なものに非金属介在物がある。非金属介在物は、溶鋼内脱酸反応に起因する脱酸生成物と、溶鋼の空気酸化やスラグ巻き込みおよび耐火物の溶損など機械的混入に由来する外来的介在物に大別される。脱酸生成物は主として酸化けい素(シリケート)、酸化アルミニウム(アルミナ)などであるが、その他合金元素の添加によって生成される硫化物、窒化物あるいはこれらの複合化合物も存在する。外来的介在物は、スラグ巻き込みや取鍋、ノズル、湯道などの耐火物を化学的あるいは機械的に溶損し溶鋼中に巻き込んだものである。

鋼塊には上述した偏析、非金属介在物、微細収縮孔(マイクロキャビティ)のほかに、溶鋼中のガスに起因する微少な気泡等の内部欠陥が存在する。また、造塊作業に起因する鑄肌不良などの表面欠陥が認められる場合もある。表1.4.3-1に製鋼および造塊過程に起因する主な欠陥を示す。

### 1.5 連続鑄造材の性状および欠陥

#### 1.5.1 マクロ組織

図1.5.1-1に連続鑄造材のマクロ組織の模式図を示す。鑄片は、チル晶、柱状晶、等軸晶(分岐柱状晶)に大別される。鑄型に接する最外層部に急冷でできた部分がチル晶、続いてチル晶から内部に向かって成長した部分が柱状晶、中央部で特定の方向性を持たない部分が等軸晶(分岐柱状晶)といわれる。

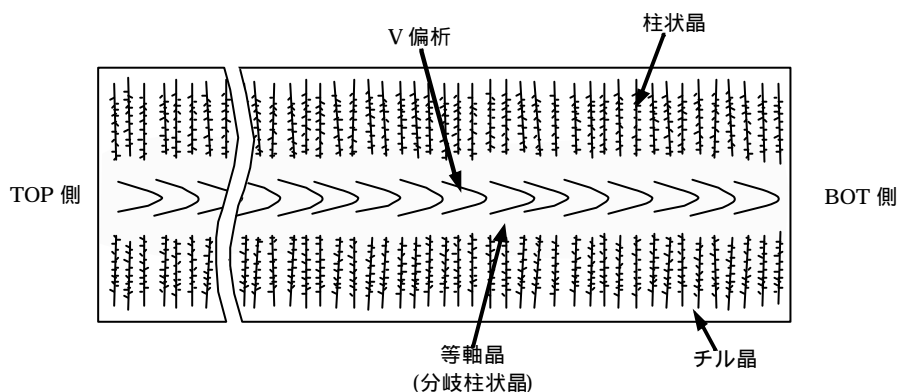


図 1.5.1-1 連続鑄造材の断面マクロ組織(模式図)

一方、連続鑄造法には、大別して垂直型、湾曲型の2つの方法がある。その中で、湾曲型のマクロ組織は、垂直型と少し異なった組織をしている。即ち、凝固時の冷却効果の大きい湾曲上面側の柱状晶が下面側よりやや長く、その結果、等軸晶の位置が中央部より少し下面側に寄った状態となっている。しかし、この偏りは極わずかであり、製品の品質に影響を及ぼすものではない。

#### 1.5.2 偏析

連続鑄造材の偏析の状況を図1.5.1-1に合わせて示す。図の中央部付近に見られるV偏析は正偏析である。偏析の程度は普通造塊材と比べて一般的には小さい。連続鑄造材は鑄込み完了時にトップ、ボトムを切り捨てているため、普通造塊材に見られる沈殿晶や逆V偏析は見られない。

#### 1.5.3 内部欠陥と表面欠陥

連続鋳造材に存在する内部欠陥としては、非金属介在物、センターポロシティ、内部割れ等がある。内部割れは、脆弱な凝固界面に引張力がかかって内部に割れが生じるものであり、鋳造条件の見直しにより解決できるので、材料メーカーとよく打ち合わせることが必要である。一方、表面欠陥として、縦割れ、横ひび割れ、コーナー割れ等がある。

## 参考文献

1) 鍛鋼品の欠陥 日本鋳鍛鋼会 鍛鋼研究部会 編 1983年

## 2. ブルーム・ビレット・連鋳材

### 2.1 各材料の特徴

溶解設備を持たない鍛造工場は、鋼材メーカーから素材を購入する。鋼材の溶解は電気炉ないし転炉で行われるが、ここでは溶解一法の別にかかわらず、鋼塊をインゴット、圧延した鋼材をビレット、鍛造した鋼材をブルーム、連続鋳造のままの材料を連鋳材と呼ぶことにする。

さて、こうした鋼材を鍛造工場が購入する場合、通常は鋼材メーカーと直接その購入仕様を取り決めて購入するものと、問屋で市販されているものを、その都度必要に応じて購入するものがある。

材質はいずれの場合も主としてJISの規格材が対象となる。場合によってはASTM等の外国規格材が要求されることもあり、特別注文で購入することもある。

ブルーム、ビレット、連鋳材にはそれぞれの材質や適応性に特徴があり、これらをよくわきまえて使用することが重要である。それぞれの特徴を要約したのが表2.1-1である。

#### 2.1.1 ブルーム

鍛造ブルームはそのほとんどは丸材であり、低合金鋼では打放し肌、ステンレス鋼や高合金鋼(含む超合金)はグラインダー肌・ピーリング肌・機械加工肌である。

ブルームは小径材では、切断して熱処理を施せば、そのまま機械加工して製品とできる程度に、内部欠陥も少なく、機械的性質も相応の性質を持つものが多い。

ブルームを鍛造する場合は表面疵の発生の心配はほとんど無く、鍛錬形成比の不足分を補う程度の鍛造で良いので、形づくりに専念すればよい。高品質故に、価格はビレットより高いが、特注品では多様な成分要求などへの融通性がある。市販サイズは炭素鋼、低合金鋼、ステンレス鋼では400、高合金鋼では150～200 くらいまであり、これ以上は特注となり径は低合金鋼までは900 くらい、ステンレス鋼では550～600 くらい、高合金鋼では250～300 くらいまでである。

#### 2.1.2 ビレット

ビレットは通常インゴットを正角または平角に圧延したものであるが、一部小形材は連続鋳造材の圧延品も含まれる。肌は圧延のままであるが、鍛造時に表面疵が発生することはほとんどない。しかし大型材(450角程度以上)では、中心部には未圧着ザク疵が存在するので、これらの鍛造には圧着効果を考慮しなければならない他、切断面中央には時としてルーズ組織が開口し、端面疵となることがあるので注意を要する。また通常では鍛錬効果を十分に与えることが難しい径の大きい鋳などには、ザク疵を残さないための配慮が必要である。

ザク疵の他に水素性の欠陥の発生にも配慮が必要で、鍛造前のビレットには欠陥が無い場合でも、鍛造後の処理・材質・サイズ・形状によっては欠陥の発生する場合があるので、処理後を丁寧にする必要がある。できれば、仕様の取り決め時に水素の値の上限を決めておいた方がよい。

サイズは800角程度まで製造が可能のようであるが、大きくなるにしたがって、供給品質に条件がつく場合が多い。また大型ビレットの断面形状は平面が中央で凹になっていたり、コーナーにRがつくなど、正確な角では無い場合が多いので、一定の重量を切り取る場合には、購入時の実質重量から、単位長さ当たりの重量係数を求め、この係数を利用して切り取り長さを決めるなどの工夫が必要である。この事は、プラス寸法になりがちなブルームにおいても同様である。

ビレットの価格はブルームより安く、連鋳材より高い。

### 2.1.3 連鑄材

連続鑄造材をそのまま鍛造素材として利用する試みも行われている。サイズとしては最大で300X400、あるいは400X500といった平角形状で、重量5～10T程度までが使われている様である。材質的にはかなり幅広く対応できる様である。

品質的には中心付近にザク系の欠陥がほぼ連続して存在するので、鍛造によって圧着させるか、孔で抜き取るなどの工夫が必要である。中空材の素材。リングミル製品の素材として使用されている他、シャフトなどへの適用も徐々に拡大しているようである。

| 形 状            |              | ブルーム      | ビレット                | 連鑄材             |
|----------------|--------------|-----------|---------------------|-----------------|
|                |              | 丸         | 角・平角                | 平角              |
| サイズ            | 炭素鋼<br>低合金鋼  | ～ 約 900 φ | ～ 約 800 角           | ～ 約 400 X 500   |
|                | ステンレス鋼       | ～ 550 φ   | 圧延棒鋼とし<br>～約 150 φ  | —               |
|                | 高合金（鋼）       | 100～250 φ | 圧延棒材とし<br>～ 約 150 φ | —               |
| 大型<br>品の<br>品質 | 表面疵の発生       | ほとんどなし    | ほとんどなし              | 有り（少ない）         |
|                | 内部ザク疵        | なし        | 圧着要す                | 圧着または<br>抜き取り要す |
|                | 与える<br>鍛錬形成比 | 少なくてよい    | かなり必要               | 十分に必要           |
| 価 格            |              | 高い        | 中                   | 安い              |

表 2.1-1 ブルーム・ビレット・連鑄材の特徴

## 3 . 鋼、アルミニウム、ステンレス、チタン合金

### 3.1 鋼

鋼としては、炭素鋼・低合金鋼・高合金鋼に分類される。更に炭素鋼としては、鍛造の分野では低炭素鋼（C：0.2%以下）、中炭素鋼（C：0.2～0.4%）、高炭素鋼（C：0.4～0.6%）、極高炭素鋼（0.6%以上）に分けられる。

炭素の量は凝固点降下に強く影響する。つまり、バーニングに対して着目すべきところである。式としては次の様になる。

$$T（凝固点）= T_1（純鉄の凝固点）- TC \times (\%C) - T_{Si} \times (\%Si) - T_{Mn} \times (\%Mn)$$

ここで TCはC：0～1.0%までは70、1.1～2.0%までは75

T Siは8

T Mnは5

以下Pは30（0～0.7%）、Sは25（0～0.08%）、Niは4（0～9.0%）、Crは1.5（0～18.0%）

Moは2 (0 ~ 0.3%)、Vは2 (0 ~ 1.0%)の凝固点降下となる。

更に鋼塊はV偏析・逆V偏析が生ずるので部分的に濃化しているし、結晶粒界は不純物元素が存在するのでバーニング現象が発生し易い。

一方、バーニングを発生しない領域の温度であっても、高温に加熱されると結晶粒は粗大化し、熱間加工性を低下させ結晶粒界の分離を生じせしめたり、粗大混粒組織を生じせしめ後工程の熱処理での結晶粒均一微細化に悪影響を及ぼすことになる。このことをオーバーヒート(過加熱)現象という。

従って、最高加熱温度は低炭素鋼で1300、中炭素鋼で1260、高炭素鋼で1220 極高炭素鋼は、個々に定めているのが一般的である。

低合金鋼は、炭素鋼にNi、Cr、Mo、V等の合金元素を添加し、焼入れ性の向上、強度・靱性の向上、衝撃値の向上あるいはクリープラプチャーの向上等々を目的としたものである。基本的に加熱条件は炭素鋼に準ずるが添加元素と添加量に左右される。

高合金鋼は、工具鋼・高速度鋼あるいは特別にある元素が低合金鋼レベル以上に多く含有しているものをいう。

この種の合金鋼は、炭化物・窒化物・金属間化合物等の析出物が存在しているケースや、偏析傾向も強くなることから、最高加熱温度を超高温引張試験やグリブル試験により求めることが必要となる。また、前述した析出物の固溶等の拡散加熱も必要となる場合もある。

更に、高合金鋼は変形抵抗も大きく加工時にヒートビルドアップ(加工昇温)現象を起こし易く、特にハンマ等においては50 も温度が上がり、オーバーヒートを呈することもあるので前述の試験で求めた最高温度より低温側にシフトすることも考慮しなければならない。

ここ迄、加熱温度について述べたが鍛造終了温度について以下に記す。

終了温度としての着眼点は、新しい相が粒界に析出しない事、析出物が析出しない事、超高温引張試験での絞り値が30%以下にならぬ事等が終了温度の条件である。従って、個々の材質によって終了温度は異なる。しかし、一般的に炭素鋼および低合金鋼はA3またはAcm 変態点より30 ~ 50 高い温度を目標とするが700 ~ 800 が鍛造終了温度である。

一方、高合金鋼は析出物あるいは変形抵抗値が大きいことから、終了温度は低合金鋼よりも上の方にシフトするが、その値は個々の材質によって異なるのでここでは記述しない。

次に、鍛造比であるが、一般的に炭素鋼や低合金鋼は分塊鍛造とし、1.5 S (断面積比)加工されたならば鍛造組織の改善はなされる。しかし、緻密な組織を均一に付与する為には、それ以上の加工が必要である。図3.1-1に鍛造比と衝撃値の関係を示すが、5.0 S程度迄は鍛造比の増加と共に衝撃値が増していく。

その後は、主鍛造方向に垂直な方向については悪化の方向(異方性)になるので、過度な鍛造比の増加は良くない方向といえる。但し、使用条件により異方性を呈した方が良い場合もあるので、使用される条件の確認が必要である。

高合金鋼は、変形抵抗が大きいので中心部に分塊鍛造効果が少ない事もあり得るので据込鍛造を繰返して鍛造比を5.0 ~ 6.0 S迄実施するケースもある。

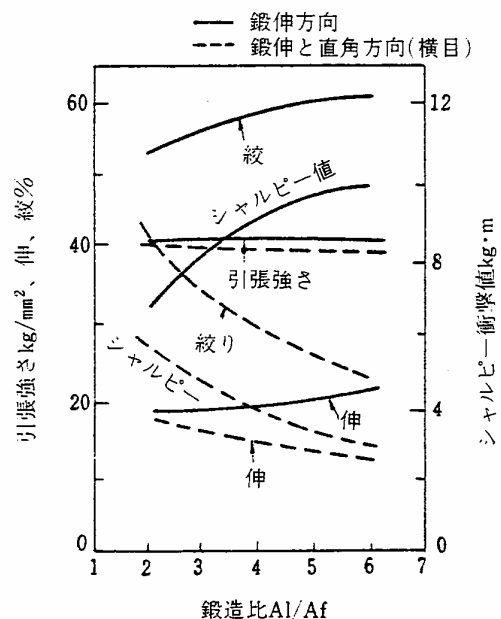


図3.1-1 0.15%の炭素鋼の鍛造比と機械的性質

### 3.2 アルミニウム

鍛造用アルミニウム合金として、それぞれの特徴を有した合金が開発されており、J I Sの合金呼称として2000番台のAl-Cu系合金（ジュラルミン）、4000番台のAl-Si系合金、5000番台のAl-Mg系合金、6000番台のAl-Mg-Si系合金、7000番台のAl-Zn-Mg-Cu系合金が、鍛造用アルミニウム

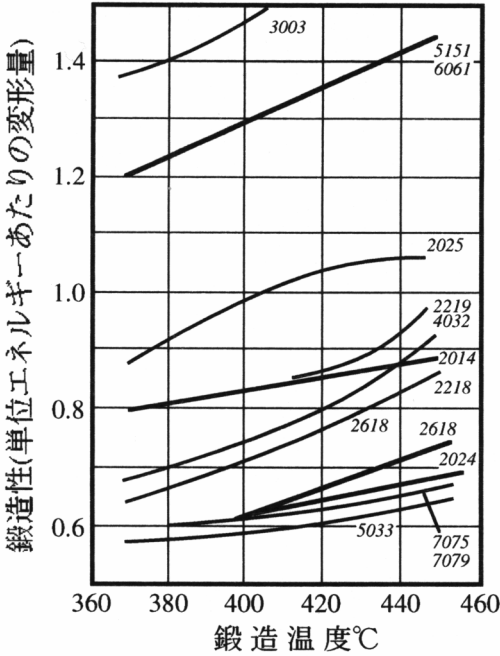


図 3.2-1 アルミニウム合金の鍛造性の相対的比較

表 32-1 合金名と鍛造性

| 特性   | 合金系         | 合金名                  | 鍛造性                                  |
|------|-------------|----------------------|--------------------------------------|
| 高力合金 | Al-Cu       | 2014<br>2017<br>2025 | 良                                    |
|      |             | Al-Zn-Mg             | 7049<br>7050<br>7075<br>7079<br>7175 |
| 耐融合金 | Al-Mg       | 5083                 | やや困難                                 |
|      | Al-Mg-Si    | 6061                 | 良                                    |
| 耐熱合金 | Al-Cu-Mg-Ni | 2219<br>2618         | 良                                    |
|      |             | Al-Si                | 4032                                 |

合金として使用されている。

これらの合金の特性と合金名および鍛造性を表 3.2-1 に示す。この表より、5083 と 7000 番台の合

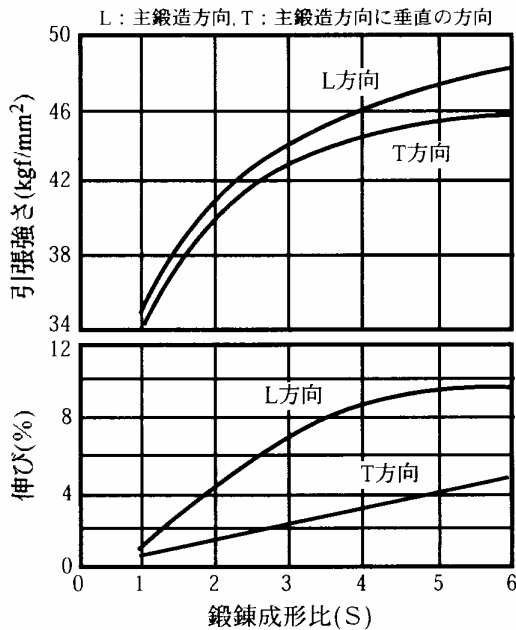


図 3.2-2 2014-T6の鍛錬成形比率による機械的性質の変化

表 322 アルミニウム合金の鍛造温度

| 合金   | 鍛造温度( )   |
|------|-----------|
| 2014 | 420 ~ 460 |
| 2219 | 430 ~ 470 |
| 2618 | 410 ~ 450 |
| 4032 | 415 ~ 460 |
| 5083 | 405 ~ 460 |
| 6061 | 435 ~ 480 |
| 7075 | 385 ~ 435 |
| 7079 | 405 ~ 450 |

金が加工性が良くないことがわかる。この事は、変形抵抗が大きいか、もしくは高温域での延性が劣っており、割れ疵が発生し易いということである。6000番台が最も良く、2000番台が中間に位置する。

定量的に比較する意味で図3.2-1に単位エネルギーあたりの変形量という形で相対比較した値を示すが、これは一定の変形エネルギーを負荷した時の変形量をもとにした比較値である。当然、温度依存性があるが傾向が理解できる。

ここで、鍛造温度について述べる。一般に融点より約70 程度低く設定している。

表3.2-2に各合金の鍛造温度を示す。

但し、ハンマはヒートビルドアップが大きいので、昇温の可能性のある為30～50 低い温度で加熱する必要がある。鍛造終了温度は、十分な変形能があり、鍛造機的能力以内であれば良いが熱処理型合金(2000、6000、7000番等)の場合は溶体化処理時に再結晶-粗大化を生じさせない為に、再結晶温度に近い400 以下での低温加工は好ましくない。いずれにしても、400～450 を一般的な鍛造温度として設置していれば、問題はない。

次に鍛造比であるが、凝固組織の分塊および組織の緻密さを確保する為には5.0Sを目安にすべきである。

図3.2-2に鍛造比と延びおよび引張り強さを示しているが、鍛造比の増加と共に異方性を有してくるが、5.0S以上は確保すべきである。

### 3.3 ステンレス鋼

ステンレス鋼にはフェライト系・マルテンサイト系およびオーステナイト系の3種類がある。

これらは、熱伝導性も悪く且つ変形抵抗も大きく(炭素鋼の1.5～2.5倍)鍛造性としては悪い材料である。

フェライト系・マルテンサイト系は400番台で結晶粒の微細化は変態点を利用することで熱処理工程で実施できるが、オーステナイト系の300番台(除く、SUS329J1相当の二相ステンレス鋼)は出来ないため、鍛造加工による歪エネルギーはを駆動力として微細化する必要がある。従って、加熱温度と加工率の設定が重要なポイントとなる。

まず、400番台のステンレスについて述べるが、フェライト系は、C量が少なく(0.12%以下)、マルテンサイト系は、C量がそれ以上(0.15%以上)のものをいう。

低合金鋼より変形抵抗は大きいですが、鍛造性はそれ程悪くない。

分塊鍛造工程では、据込工程(1/1.5～1/2.0U)を加え、加熱温度は1150～1200 で鍛造し終了温度は、800～850 以上とすべきである。

トータル鍛造比は3.0S(除く据込比)以上が望ましい。最終工程での加熱温度は、熱処理工程の整細粒化を助ける為に1100～1150 と低く設定した方が良い。

留意すべきところは、成分設計によりデルタフェライト量が多い(シェフラー、デロングの状態図で7～8%以上)と分塊工程での割れを発生する恐れがあるので、ソーキングを加えデルタフェライトの低減を図った方が良い(鋼塊からのケースのみ)。

次に300番台のオーステナイト系は、変形抵抗が大きく且つ結晶粒の微細化を図る必要があるため留意して加熱-鍛造方案を設定しなければならない。

大きく3つのステージに分けて工程を設計する必要がある。第1ステージは分塊工程で加熱温度は1200～1250 とし据込工程(1/1.5～1/2.0U)を加え、鍛伸比は1.5～2.0S程度を実施する。第2ステージは整粒化工程で、加熱温度は1100～1200 とし、鍛造比は1.5S～2.0S相当の鍛造加工を実施する。第3ステージは、微細化工程で加熱温度は1000～1100 とし加工率で30～50%を付与する。また、このステージは加熱温度を低く設定し加熱中の結晶粒の粗大化を抑制するが、加熱時間も粗大化につながるため最少均一時間で鍛造加工することが望ましい。

鍛造終了温度は、鍛造機的能力と割れ疵の発生によって決まるが、700～800 が一般的である。

300番台でも高Cr低NiのSUS329J1に代表される二相ステンレス鋼は、オーステナイト系、フェラ

イト・マルテンサイト系のステンレス鋼よりも熱間加工性が劣る。  
従って、加工中における表面疵、割れ等が発生し易い。その為に、初期段階では、軽鍛造あるいは

表 34-1 チタン合金の鍛造温度範囲

| 合金  | 変態点<br>( ) | 工程(*) | 鍛造温度<br>( ) |
|---|------------|-------|-------------|
| <b>/near- 合金</b>  |            |       |             |
| Ti-C.P.   | 915        | C     | 815 - 900   |
| Ti-5Al-2.5Sn  | 1050       | C     | 900 - 1010  |
| Ti-5Al-6Sn-2Zr-1Mo-0.1Si                                | 1010       | C     | 900 - 995   |
| Ti-6Al-2Nb-1Ta-0.8Mo                                    | 1015       | C     | 940 - 1050  |
|   |            | B     | 1040 - 1120 |
| Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo (+0.2Si)                             | 990        | C     | 900 - 1020  |
|   |            | B     | 1010 - 1065 |
| Ti-8Al-1Mo-1V   | 1040       | C     | 900 - 1020  |
| IMI685 (Ti-6Al-5Zr-0.5Mo-0.25Si)                        | 1030       | C/B   | 980 - 1050  |
| IMI829 (Ti-5.5Al-3.5Sn-3Zr-1Nb<br>-0.25Mo-0.3Si)        | 1015       | C/B   | 980 - 1050  |
| IMI834 (Ti-5.5Al-4.5Sn-4Zr-0.7Nb<br>-0.5Mo-0.4Si-0.06C) | 1010       | C/B   | 980 - 1050  |
| <b>- 合金</b>   |            |       |             |
| Ti-6Al-4V   | 995        | C     | 900 - 980   |
|   |            | B     | 1010 - 1065 |
| Ti-6Al-4V ELI   | 975        | C     | 870 - 950   |
|   |            | B     | 990 - 1045  |
| Ti-6Al-6V-2Sn   | 945        | C     | 845 - 915   |
| Ti-6Al-2Sn-4Zr-6Mo                                      | 940        | C     | 845 - 915   |
|   |            | B     | 955 - 1010  |
| Ti-6Al-2Sn-2Zr-2Mo-2Cr                                  | 980        | C     | 870 - 955   |
| Ti-17(Ti-5Al-2Sn-2Zr-4Cr-4Mo)                           | 885        | C     | 805 - 865   |
|   |            | B     | 900 - 970   |
| Corona 5 (Ti-4.5Al-5Mo-1.5Cr)                           | 925        | C     | 845 - 915   |
|   |            | B     | 955 - 1010  |
| IMI550 (Ti-4Al-4Mo-2Sn)                                 | 990        | C     | 900 - 970   |
| IMI679 (Ti-2Al-11Sn-4Zr-1Mo-0.25Si)                     | 945        | C     | 870 - 925   |
| IMI700 (Ti-6Al-5Zr-4Mo-1Cu-0.25Si)                      | 1015       | C     | 800 - 900   |
| <b>/near- 合金</b>  |            |       |             |
| Ti-8Al-8V-2Fe-3Al                                       | 775        | C/B   | 705 - 980   |
| Ti-10V-2Fe-3Al  | 805        | C     | 705 - 785   |
|   |            | B     | 815 - 870   |
| Ti-13V-11Cr-3Al   | 675        | C/B   | 650 - 955   |
| Ti-15V-3Cr-3Al-3Sn                                      | 770        | C/B   | 705 - 925   |
| Beta C (Ti-3Al-8V-6Cr-4Mo-4Zr)                          | 795        | C/B   | 705 - 980   |
| Beta (Ti-4.5Sn-6Zr-11.5Mo)                              | 745        | C/B   | 705 - 955   |
| Transage129 (Ti-2Al-11.5V-2Sn-11Zr)                     | 720        | C/B   | 650 - 870   |
| Transage175 (Ti-2.7Al-13V-7Sn-2Zr)                      | 760        | C/B   | 705 - 925   |

注 工程(\*) C 大部分又はすべての鍛造作業が 変態点温度以下で行われる + 鍛造  
C : 一部分又はすべての鍛造作業が 変態点温度以上で行われる 鍛造

は、分塊鍛造を付加する事が望ましい。加熱温度は 1150 ~ 1200 で、鍛造終了温度は、相の析出や炭窒化物の析出による延性低下を考慮して 900 ~ 950 としている。結晶粒の成長は二相の為 1100 以下では起きない。

### 3.4 チタン合金

チタンの合金は数多くあり、表 3.4-1 に合金と工程および鍛造温度を示す。

チタン合金の鍛造後の品質は、相と相のミクロ組織状況に強く影響を受ける。従って、鍛造温度は変態温度を基準に設定される。

分塊鍛造は、凝固組織の崩壊が行なわれやすいように、一般的に 変態点より 50 ~ 150 高い温度で鍛造加工する。これを 鍛造と称する。

鍛造比としては据込工程を付加した方が良く 1 / 1.5 ~ 1 / 2.0 U 程度、鍛伸は 1.5 ~ 1.0 S 相当を実施した方が良い。鍛造のみで仕上げるケースもしくは + 鍛造が主体となるケースにおいて、鍛造の最終加熱は、変態点プラス 50 位の温度に加熱し、加熱工程での粗粒化を防止することが望ましい。

変態点以下での鍛造を + 鍛造と称するが、変形抵抗は急速に上昇(図 3.4-1 参照)し、且つ 850 以下になると割れが発生し易い。この鍛造では、等軸相が均一に分布する様に加工される必要がある。つまり、加工歪の均一化を図ることに留意することと均一加熱がポイントとなる。この + 鍛造では一般に 50% 以上の加工率を付与することが重要である。尚、いずれの加熱工程でも炉内での粗材同士の接触は、急速酸化によるパーニングや溶融を引き起こすので注意を要する。

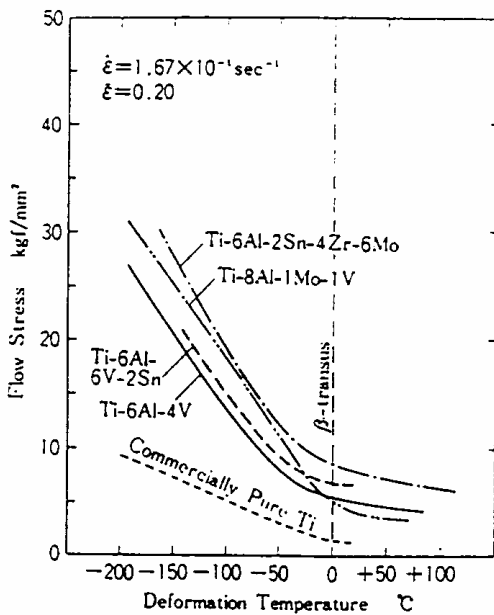


図 3.4-1 チタン合金の変形抵抗

#### 参考文献

- 1) 鍛造技術講座(製造技術編) 財団法人鍛造技術研究所 1992年
- 2) 鍛造技術講座(アルミニウム鍛造) 財団法人鍛造技術研究所 1987年
- 3) チタン合金の鍛造 神鋼技報 Vol.32 1982年