

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 1 2 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・技能の継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	日本ファーンセス工業株式会社 サーマルプラント部	プラント事業本部 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

第 1 章 自由鍛造加工の概要	1
1 . 自由鍛造の現状と問題点	3
2 . 自由鍛造の目的	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
3 . 自由鍛造技術の動向	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
第 2 章 自由鍛造設備	12
1 . 自由鍛造設備の概要	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
2 . 切断設備	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
3 . 加熱設備	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
4 . 鍛造設備	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
5 . 熱処理設備.....	45
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
6 . 仕上・検査設備.....	50
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 ブリネル硬さ（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

第 3 章 材料の種類	55
1 . 鋼塊（インゴット）	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
2 . ブルーム、ピレット、連鑄材	59
2.1 各材料の特徴	59
2.1.1 ブルーム	59
2.1.2 ピレット	59
2.1.3 連鑄材	60
3 . 鋼、アルミニウム、ステンレス、チタン合金	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
4 . 各種規格材料	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
第 4 章 自由鍛造加工の実際	77
1 . 自由鍛造工法	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
2 . リングローリング鍛造	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
3 . 自由鍛造作業各論	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
第5章 欠陥事例	148
砂きず.....	148
バーニング.....	149
ザク疵.....	150

第 6 章 自由鍛造の製造工程事例取りまとめ151

〔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、シャープレード、 圧延ロール、カップリング、発電機軸、水車軸、 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

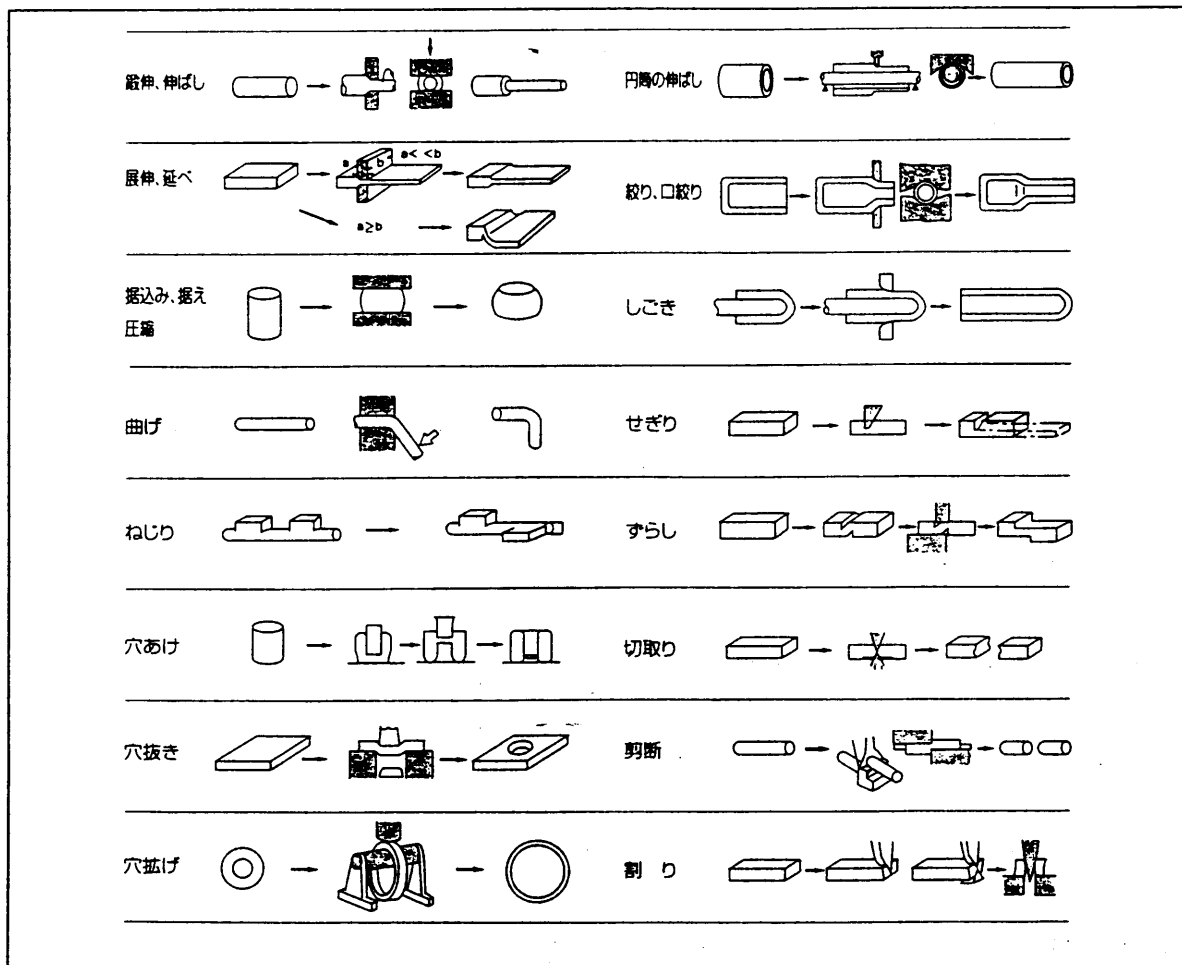


図 1-1 自由鍛造加工法の分類

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ティング・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C A E 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。

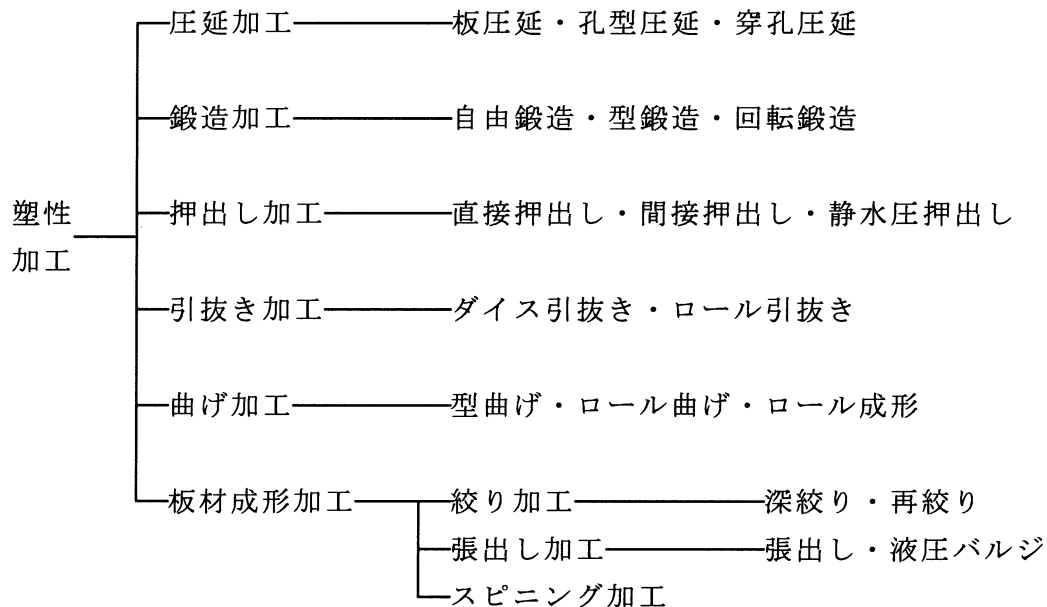


図 2.1-1 塑性加工の種類と基本原理

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鑄造組織の改質・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变形や、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变形は、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 k ）の値は非常に高い値となる（以下の値はお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。

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

ただし A は圧下方向に見た圧下面の投影接触面積、 ρ 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。

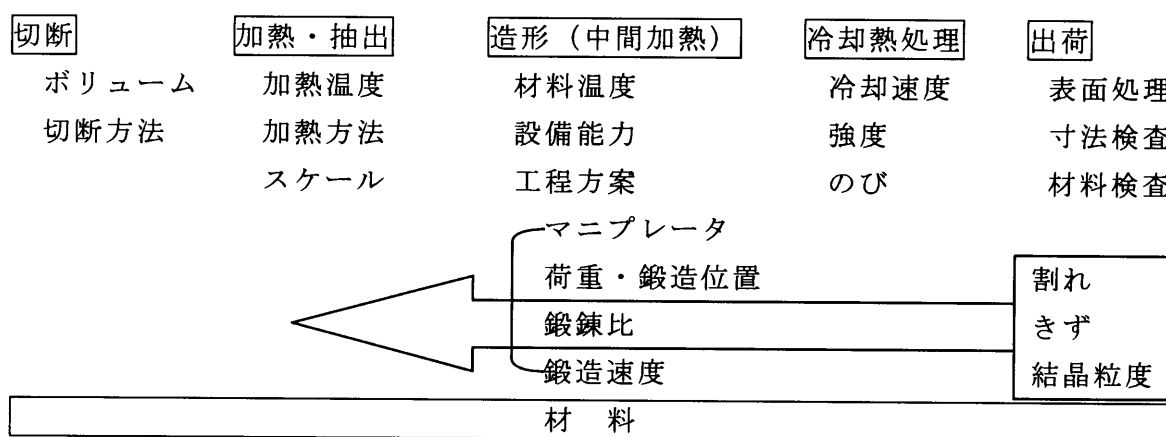


図 2.3-1 自由鍛造を形作る工程とそれぞれの工程を形作る技術

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。

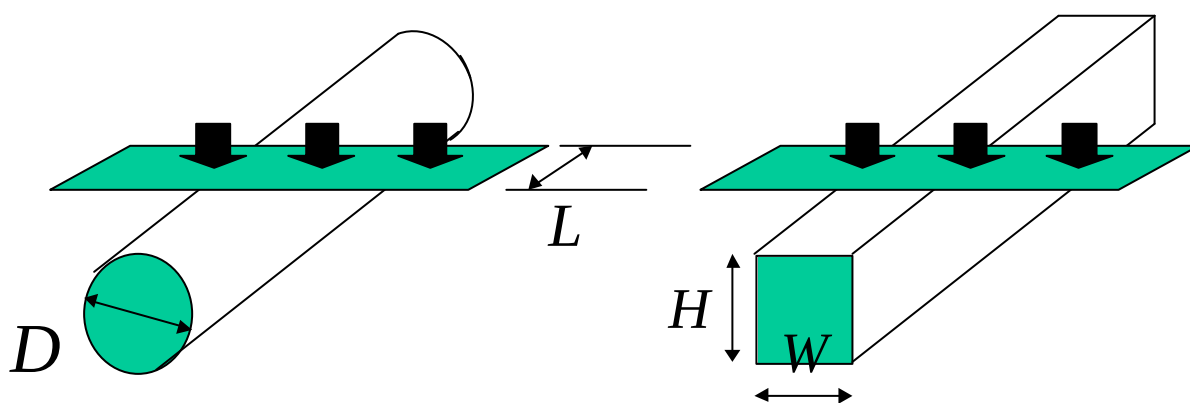


図 2.4-1 鍛伸加工における材料変形

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、幅広がり大きく（軸方向伸びは小さく）なる。

4) 圧下量

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) 圧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。

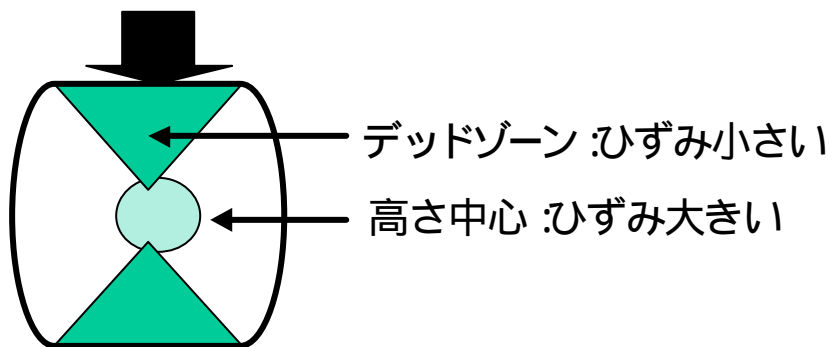


図 2.4.4-1 デッドゾーンの形成とひずみ分布

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、

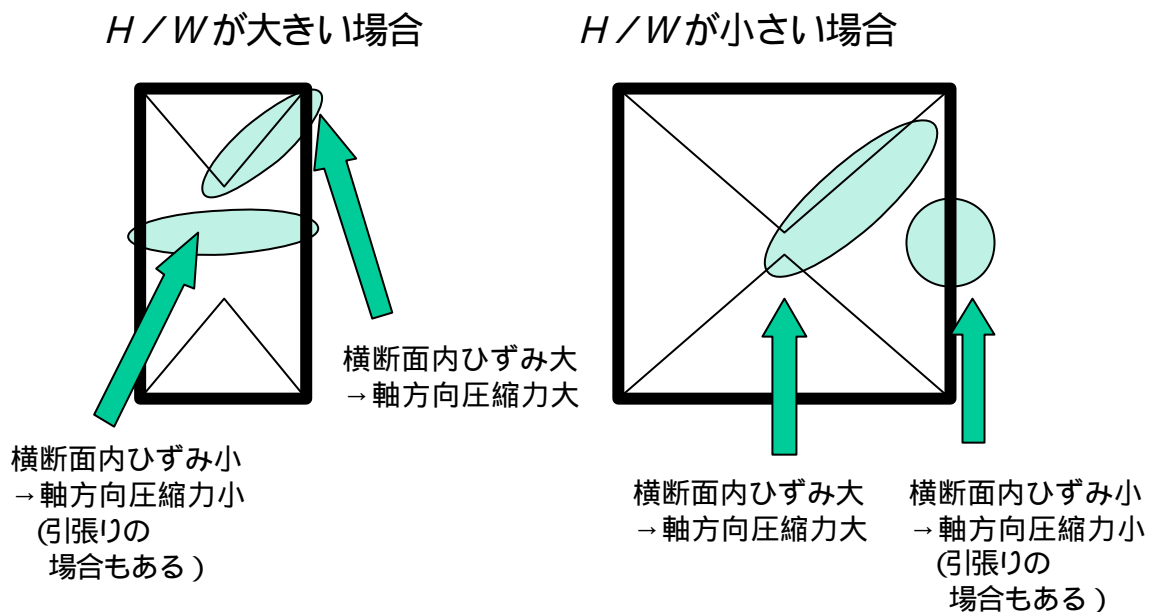


図 2.4.5-1 軸方向応力の分布

- 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。

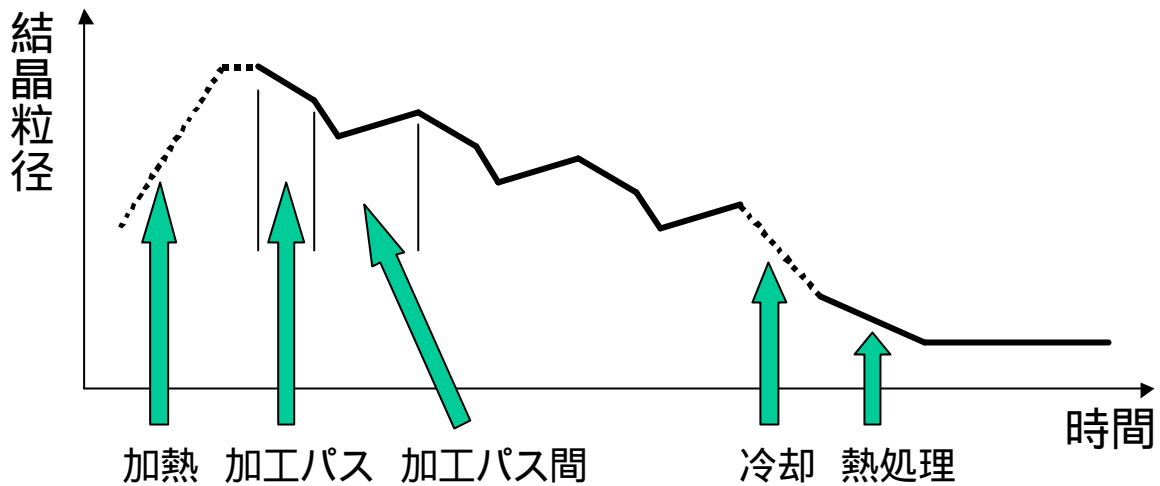


図 2.5-1 自由鍛造時の結晶粒径変化
(なお結晶粒径変化量は加工量・温度・パス間時間等により影響される)

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「- 2 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圧下率を十分取れないという欠点がある。

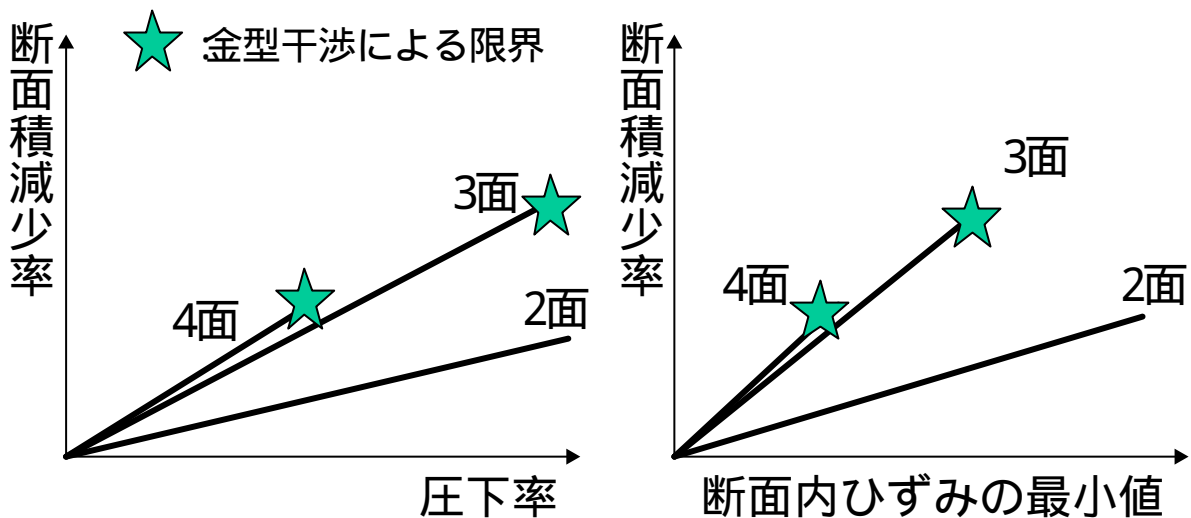


図 3.1-1 多面鍛造時の変形特性

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。圧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。同一圧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圧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圧下率が小さいため、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圧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

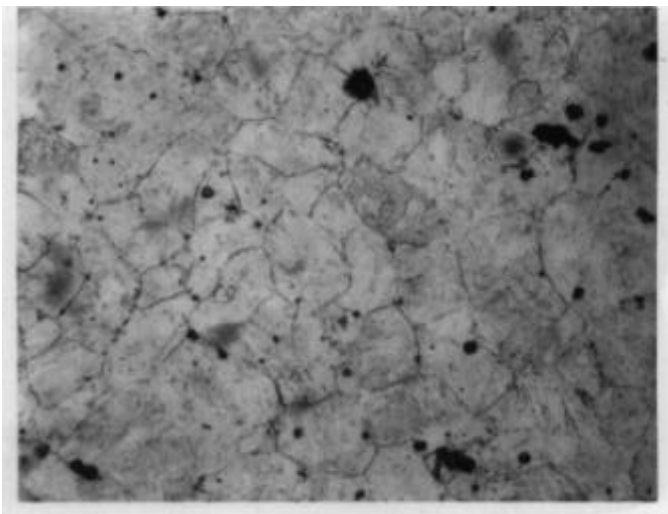


図 3.3-1 横圧縮後の動的再結晶組織
（S20C、1180℃、ひずみ約 1.5、平均粒径約 20 ミクロン）

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節にまとめている。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到大別される。

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にくく、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 tong 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・炭室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

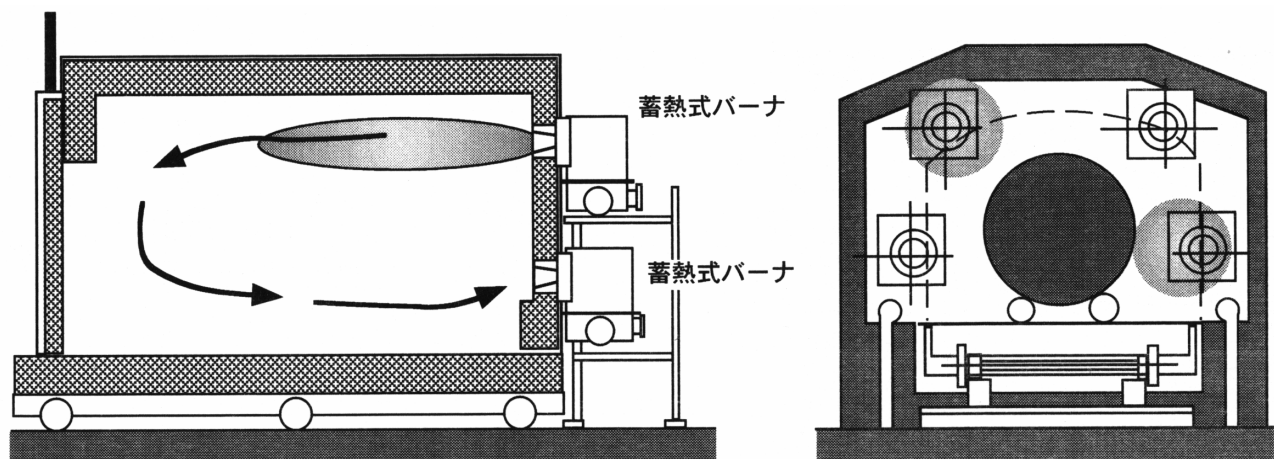


図 1.2-1 リジェネレイティブバーナを用いた加熱炉

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やすい利点がある。

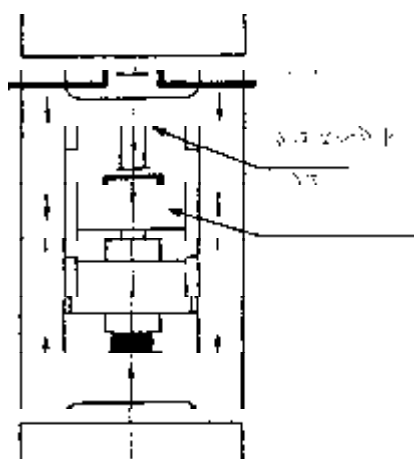


図1.3.1 プレス

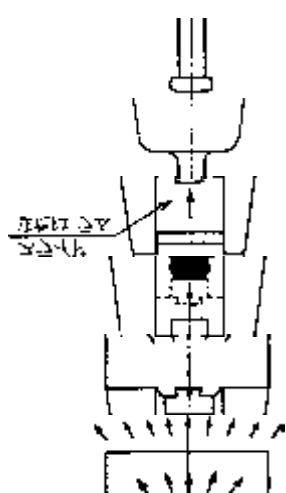


図1.3.2 ハンマ

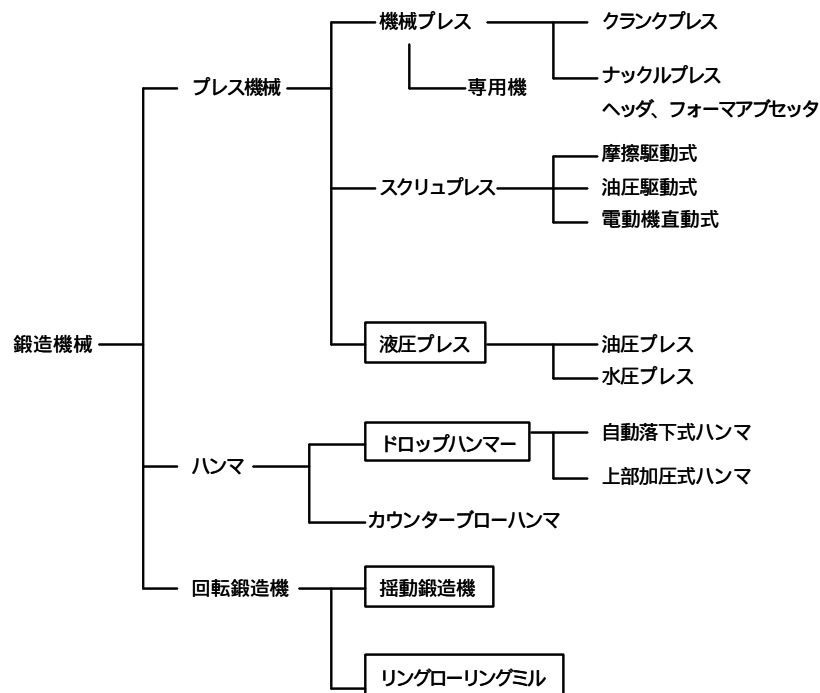


図1.3-3 鍛造加工機の種類

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、S P M (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。

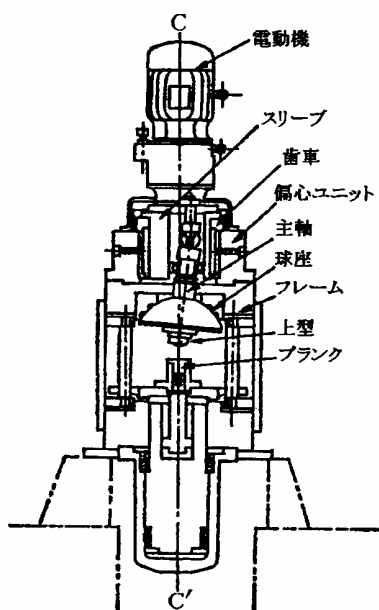


図 1.3-5 揺動鍛造機

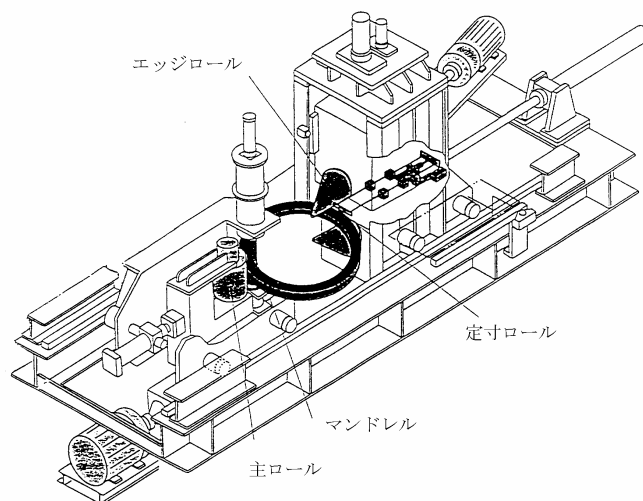


図 1.3-4 リングローリングミル

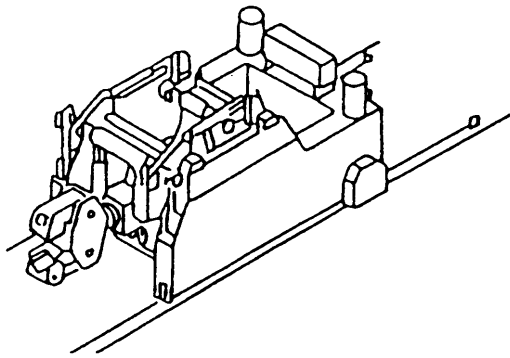


図 1.3-6 マニプレータ

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グ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、 $\phi 100$ 以下の切断に使用されている例が多い。 $\phi 100$ 以上の径の素材を切断する為には、外径が $\phi 400$ 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。

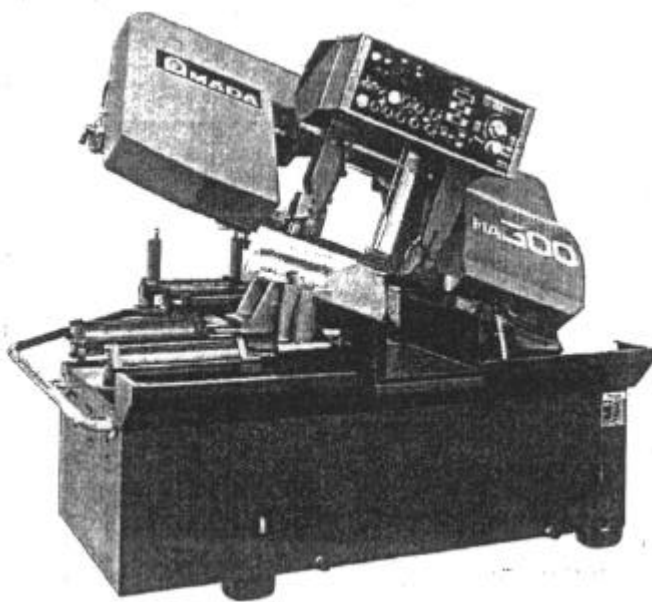


写真2.1-1 丸鋸盤の外観

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に、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

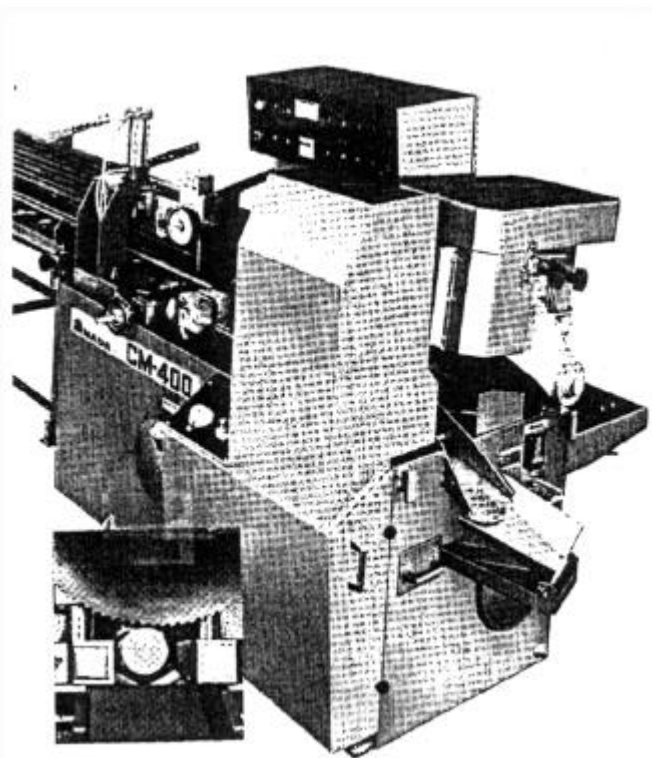


写真2.1-2 帯鋸盤の外観

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($\phi 10$)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

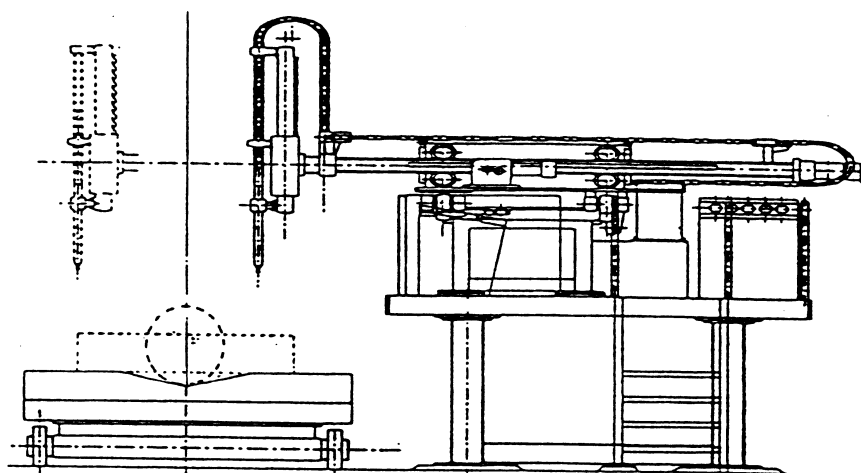


図 2.3-1 ガス切断機設備の一例

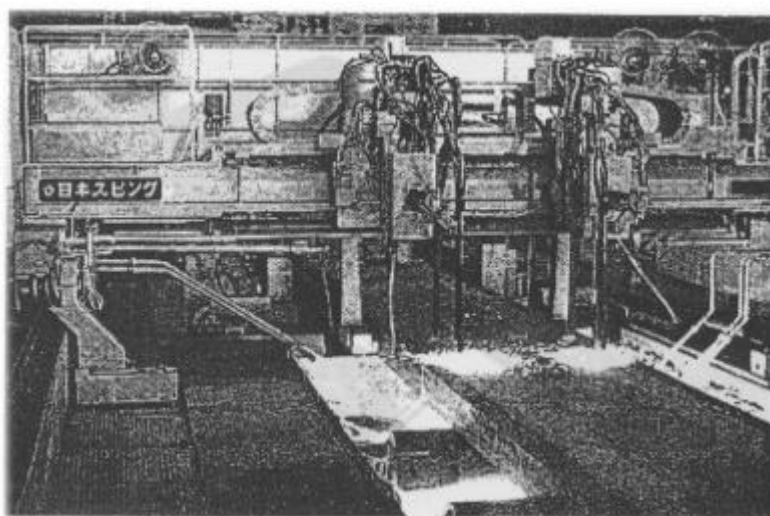


写真 2.3-1 ガス切断状況

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¹⁾

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 3 K (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 ± 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 ± 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場合が多く、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。

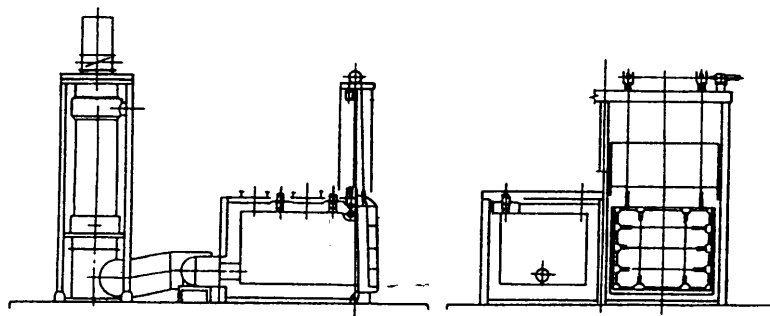


図3.3-1 バッチ形加熱炉

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。

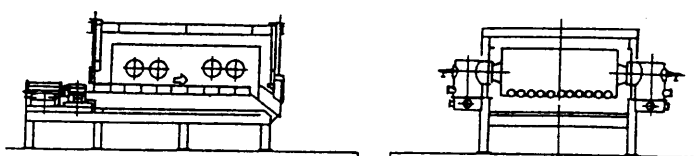


図3.3-2 プッシャー形加熱炉

図 3.3-2 にプッシャー炉の外形図を示す。

(3) 台車式炉

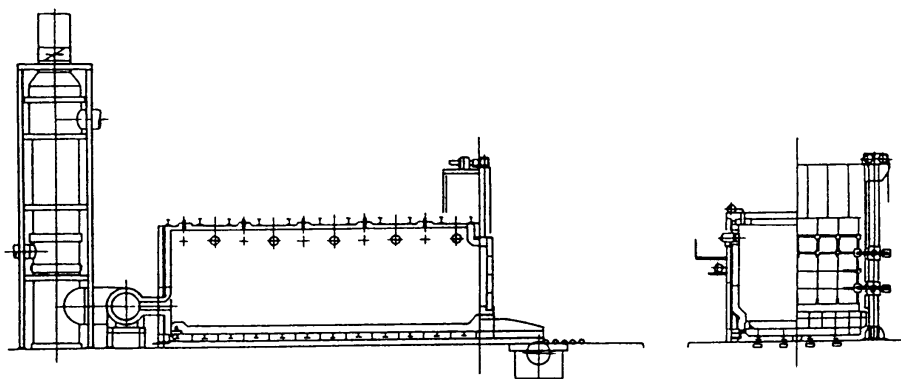


図3.3-3 台車式加熱炉

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、CO₂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O₂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か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、自由落体式、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。

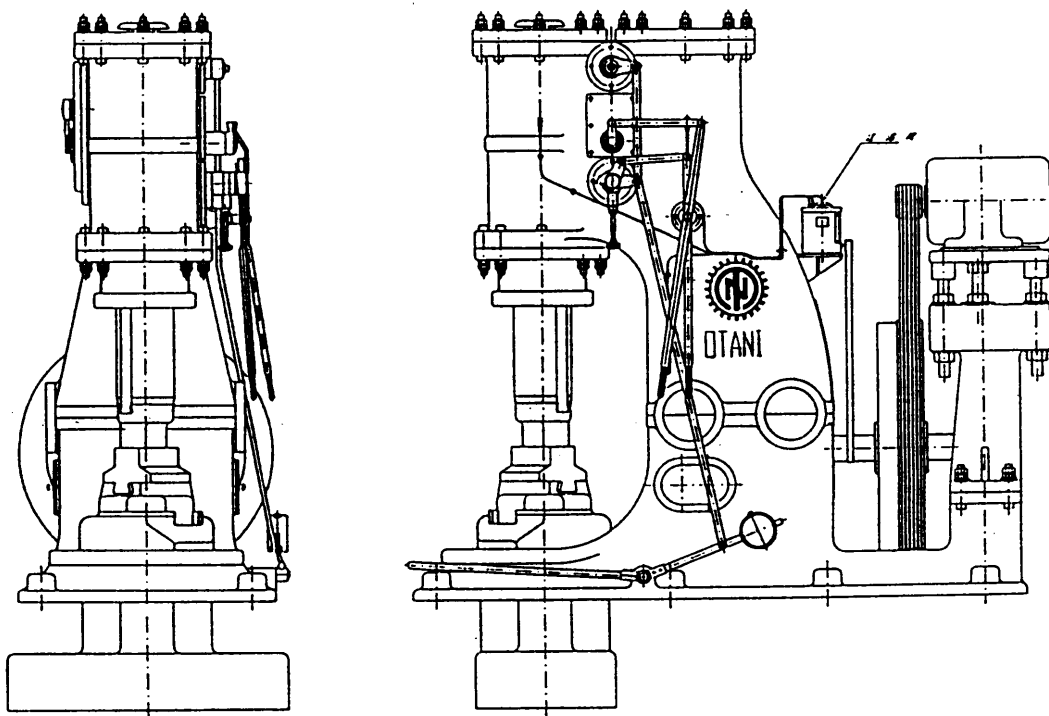


図 4.1-1 自由鍛造用ハンマの一例

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必要がある。

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に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、グリップが軸回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。

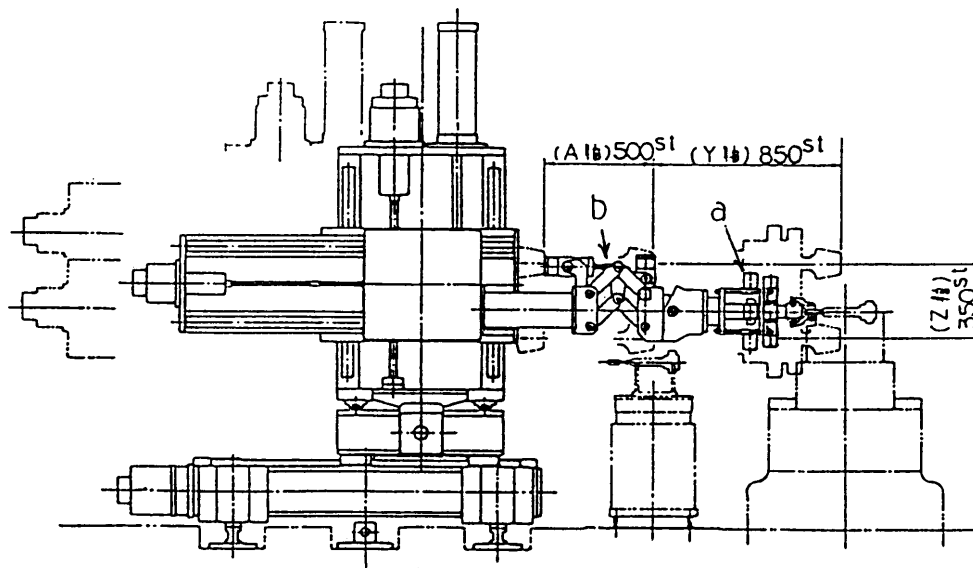


図4.1-2 グリップハンドのXYロボットへの装着例

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・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。

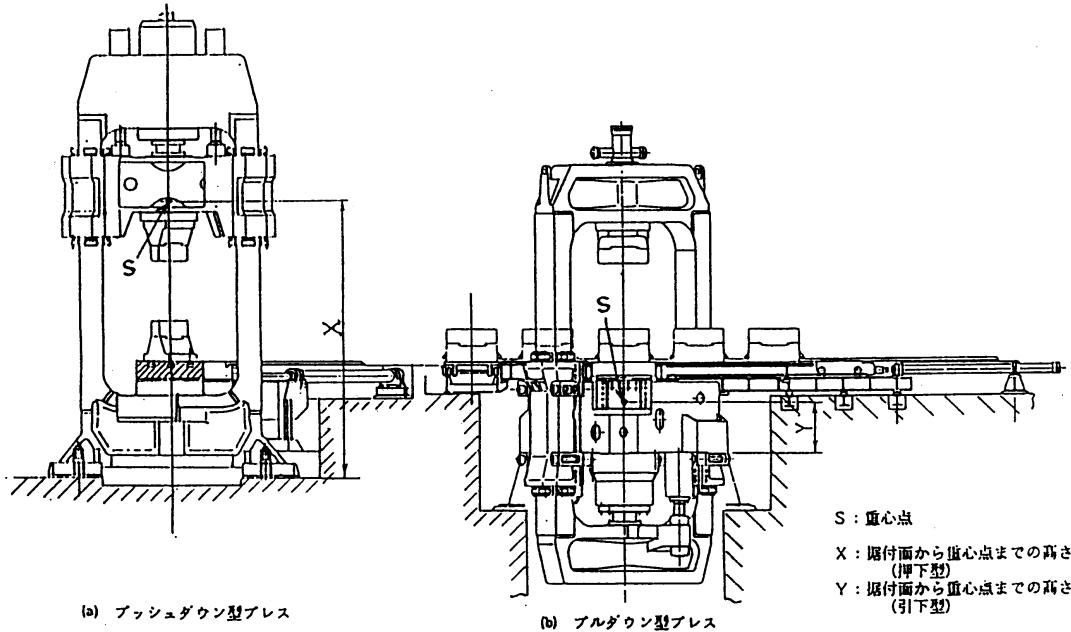


図 4.2-1(a) プッシュダウン型プレスとプルダウン型プレス

(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。

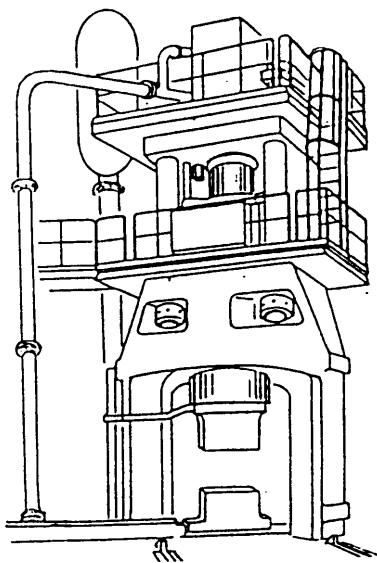


図 4.2-2 ムービングシリンダ型プレス

(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。

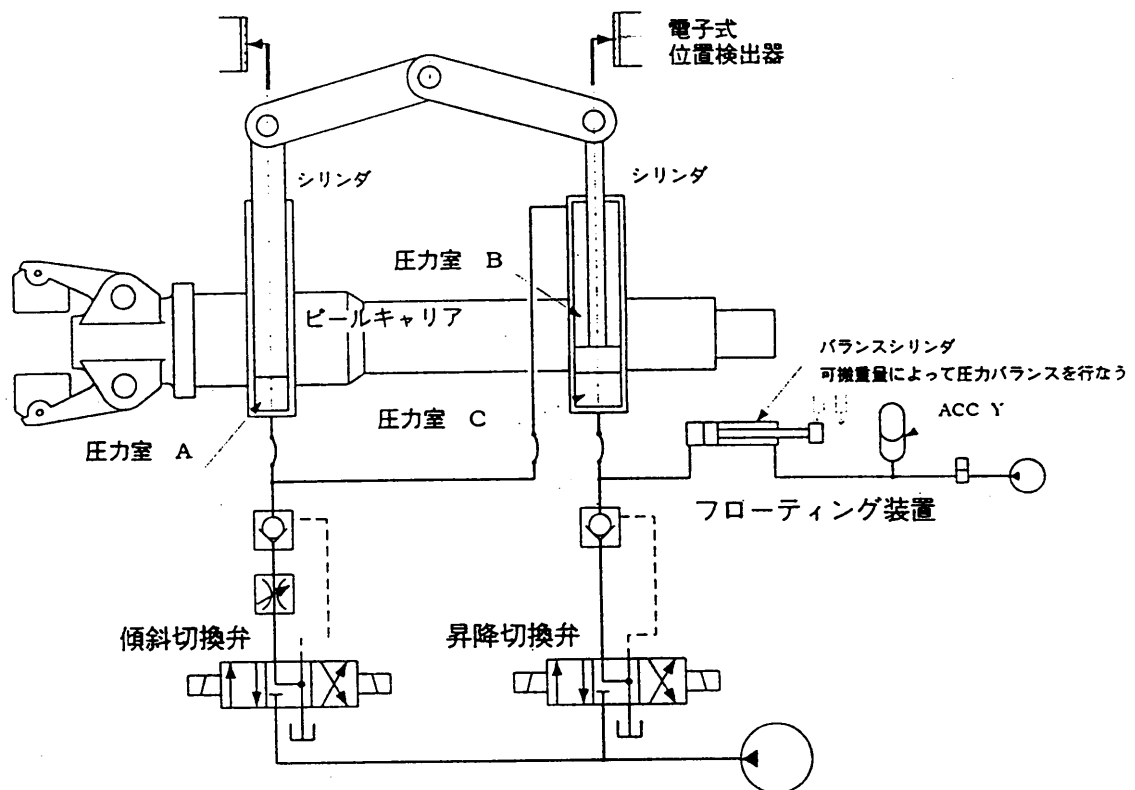


図 4.2-3 ピールキャリアの油圧式昇降機能及びフローティング装置

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ディング装置 [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

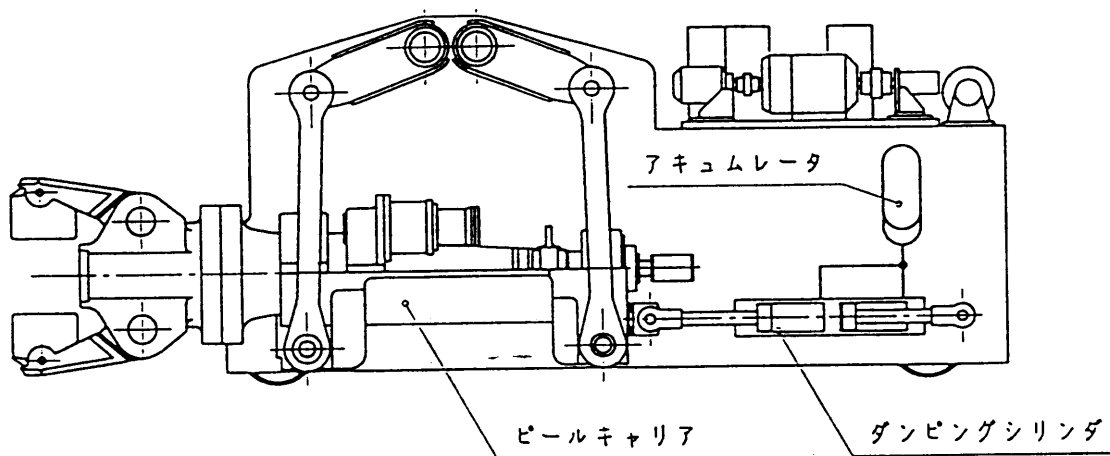


図4.2-4 ピールキャリアの間欠動作のためのダンピング装置

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、細長い鍛造物の捩れを防止している。

(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）にスプロッケ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るようになっているが、軸物以外是对応できない。

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

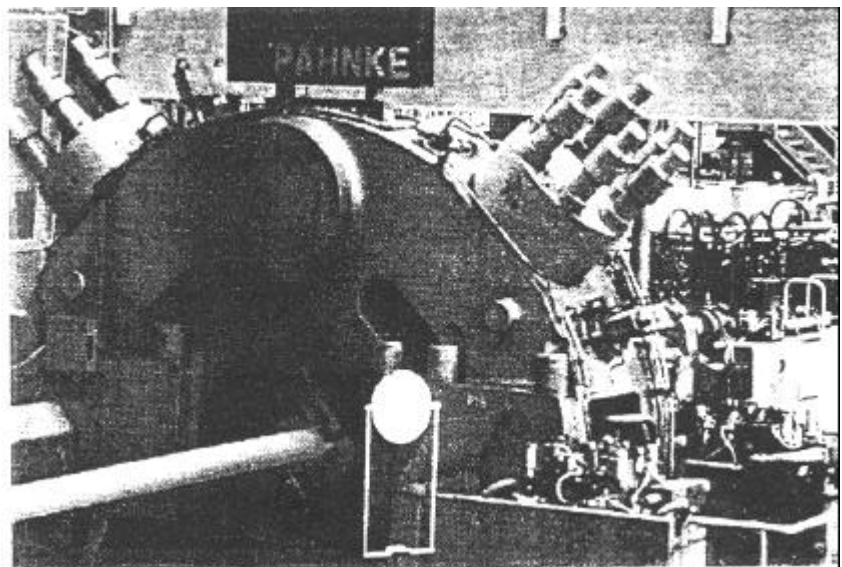


写真 4.2-1 4面鍛造機外観

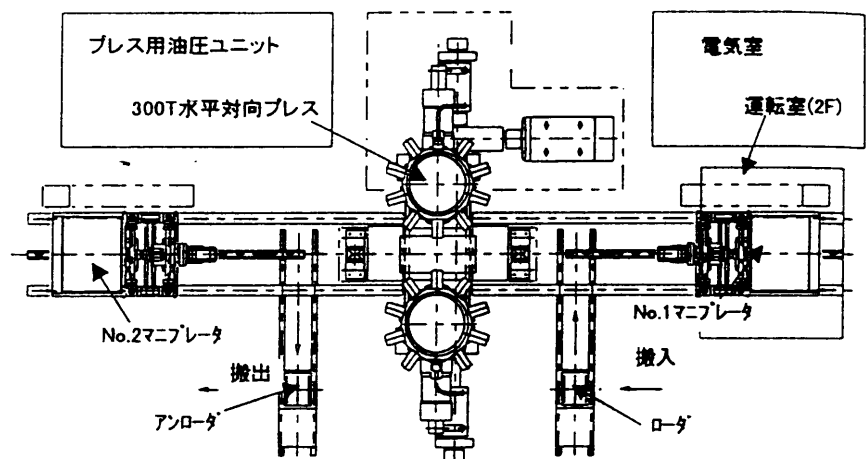


図 4.2-5 2面对向型鍛造機 レイアウト事例

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。

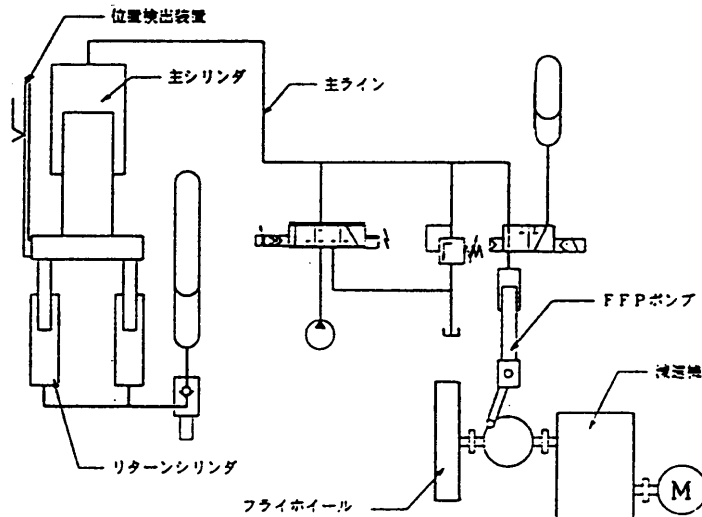


図 4.2-6 FFP システムの原理

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)

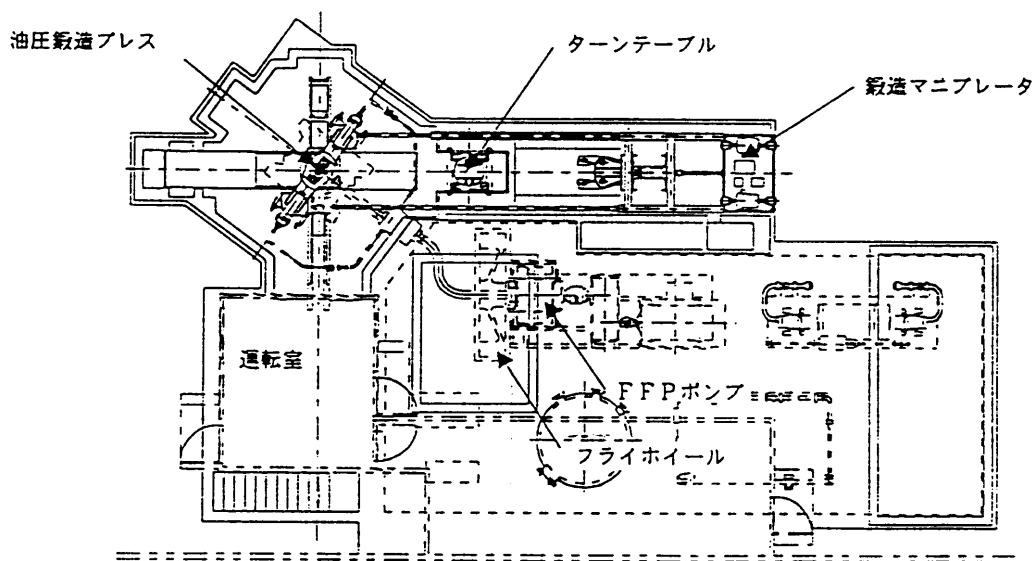


図 4.2-7 FFP 鍛造設備のレイアウト事例

- ・ 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・タップ金敷・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。

プレスは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・動き等によって一光源式、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) 疵取りスカーピング装置

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

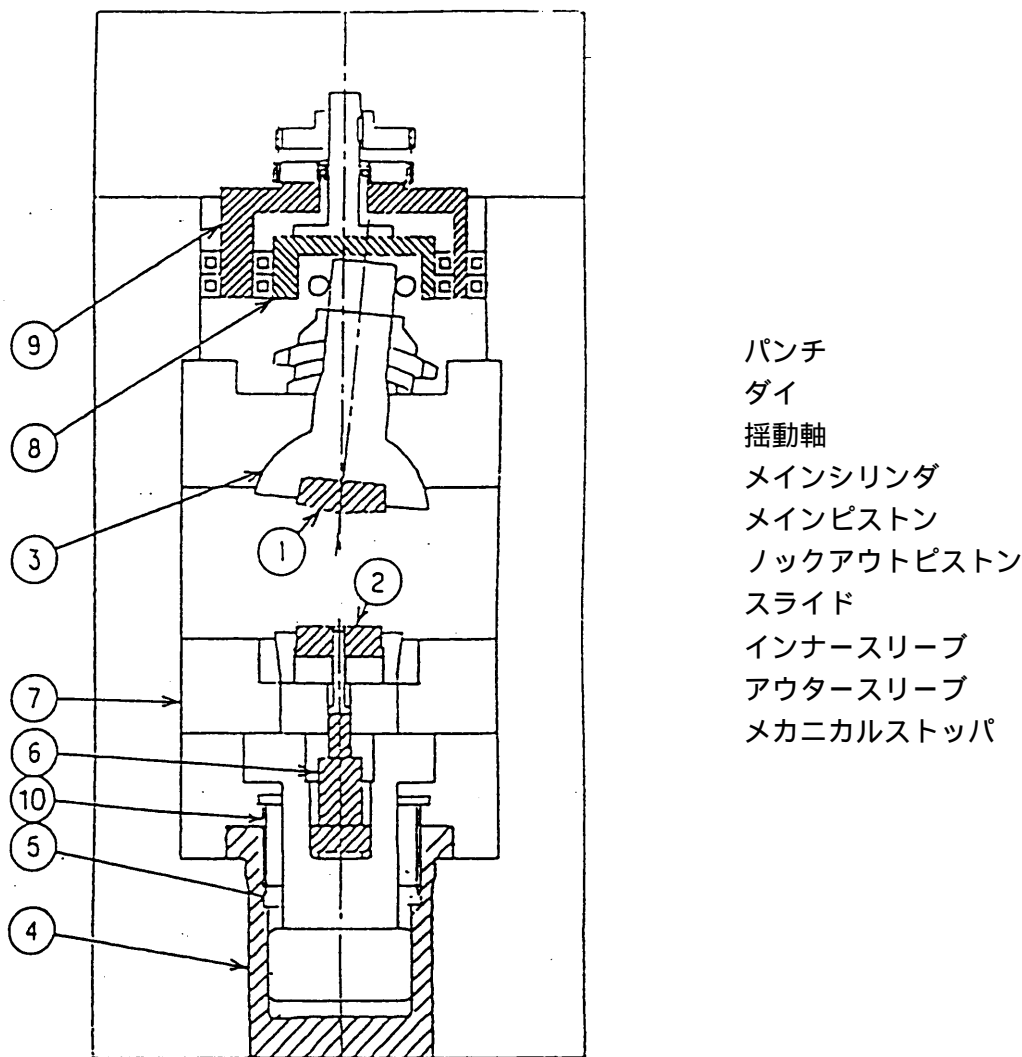
背切ダイ・ポンチ・ダイ等の治具をハンドリングするもので軌条走行式と自走式がある。軌条走行式はプレスをはさんでオペレータと反対側に配置される。いずれも鍛造物の最上部まで治具を持ち上げ正確に位置決めを行なう機能が必要で大きな昇降ストロークを有する。他に走行・回転・クランプ・サイドシフト・リーチ・旋回等の機能もある。

(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臓している。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) 自動トンガ

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



パンチ
ダイ
揺動軸
メインシリンダ
メインピストン
ロックアウトピストン
スライド
インナースリーブ
アウタースリーブ
メカニカルストッパ

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

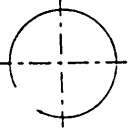
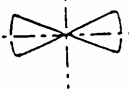
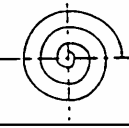
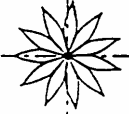
回転鍛造機には揺動鍛造機、リングローリングミル、フォーミングロール、クロスローリングマシン等種々ありその概要を次に説明する。

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	据込と押し出しを 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本の補助シリンダーを備え、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・ロール軸ギヤー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

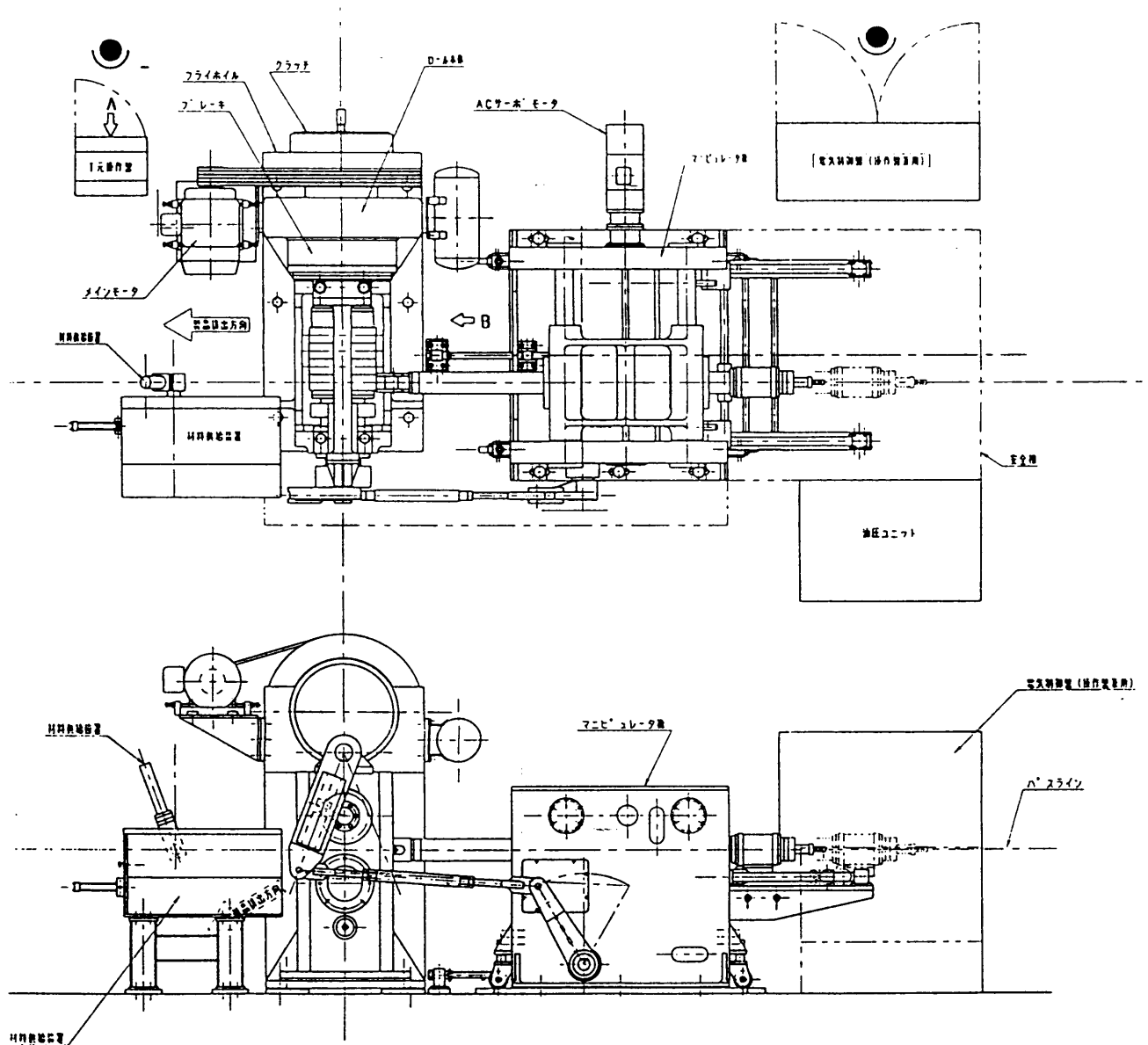


図 4.4-2 フォーGINGロール外形図

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-

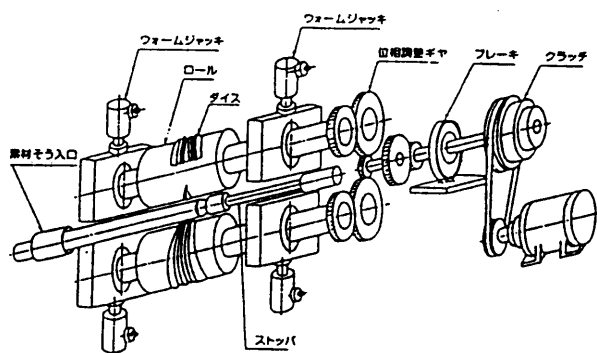


図 4.4-3 回転型クロスローリングマシン

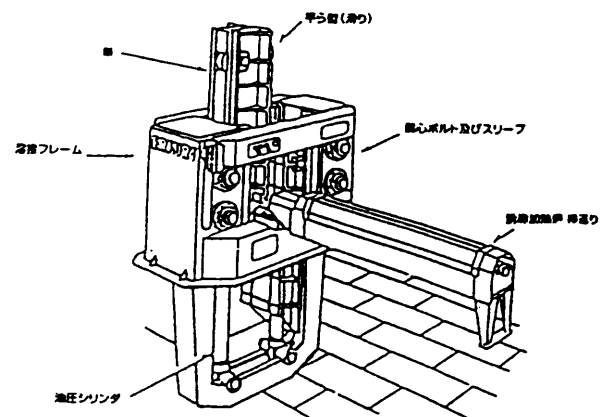


図 4.4-4 平型クロスローリングマシン

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。

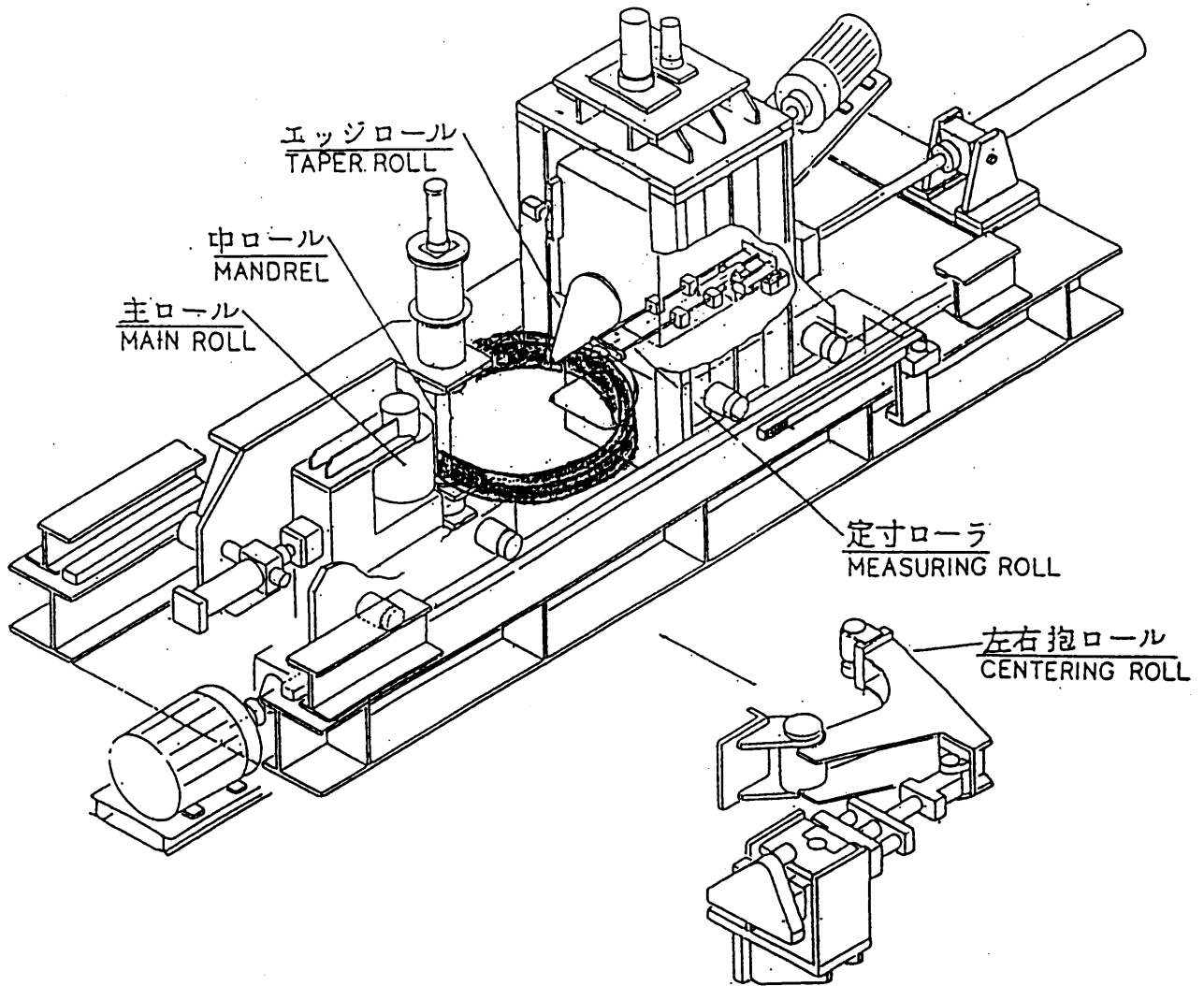
比較的新しい技術であるため、技術的な成形ノウハウの蓄積が少なく、試作に時間を要する。

(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

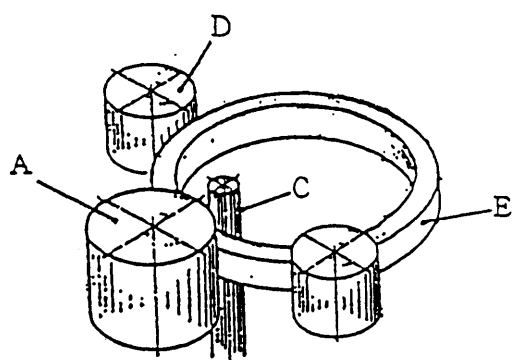
4.5.1 リングローリングミルの横造

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。

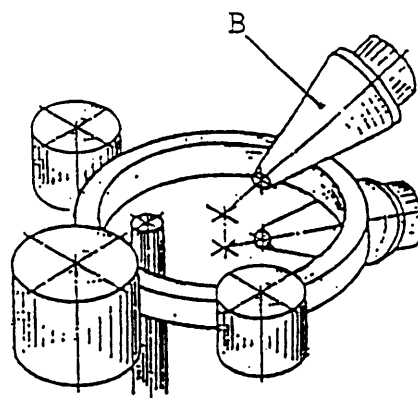
圧延中のリングのセンタ保持は左右一対のガイドロールと上下エッジングロールの回転数制御によって行われる。又、圧延されているリングの直径は、常に定寸ローラによって計測されておりこの寸法を基準にリング圧延全体の制御が行われる。大型リング鍛造には、当形式ミルが広く用いられているが、一方、高さ方向の圧延機構エッジングロールを備えないラジアルリングローリングミルは、以前は多用されていたが、現在では、プレスやハンマー等での最終鍛造の前工程として使う以外余り用いられていない。(図4.5.1-2)と(図4.5.1-3)は夫々をスキマチックに示したものである。

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



(図 4.5.1-2)

- 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



(図 4.5.1-3)

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-アキシャルリングローリングミルの各部の名称と機能

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。主ロールに比べ小径である。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 (mm)	最大リング高さ (mm)	最大加工重量 (kg)	主ロール圧延力 (TON)	エッジロール圧延力 (TON)	主ロールモーター (Kw)	エッジングロールモーター (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。

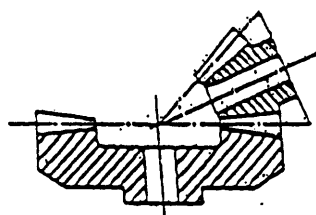
ハ) リング外径の圧延速度を定常状態では一定とする圧延制御を行う。

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。

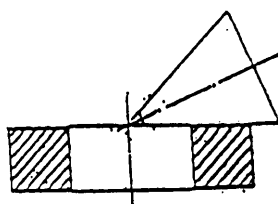
(1) エッジングロールの回転¹⁾

(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5200φ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

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)

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、

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。

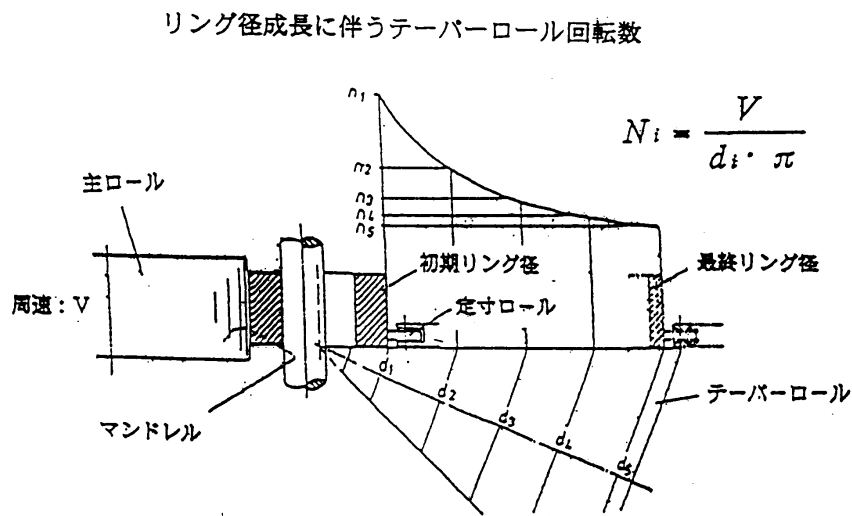
主ロールとエッジングロールを結ぶセンターラインより大きく外れた場合は多角形になり極端な場合は潰れたりする。

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

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

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。

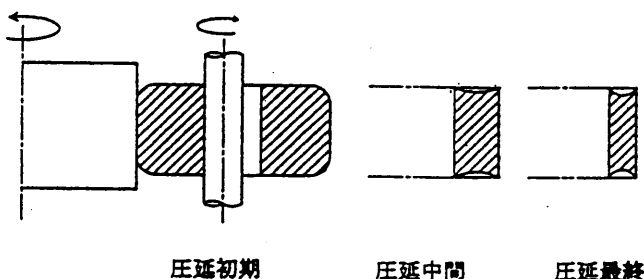
圧延速度によっても異なる。一般には速度が

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し、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



(図 4.5.3-4)

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の場合で荒地高

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 $\phi 350$ とすると、 $D_1 = 1105$ と求まり、
(1) 式より

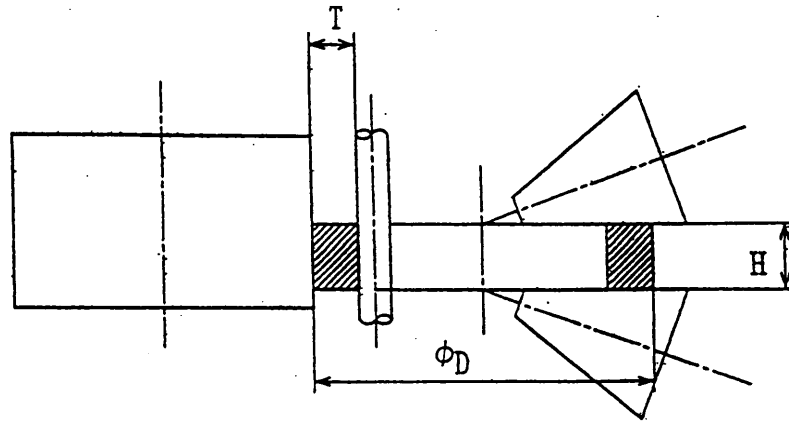
$$\text{荒地寸法: } H_1 = \frac{C_1}{D_1^n} + C_2$$

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

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²⁾

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、

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

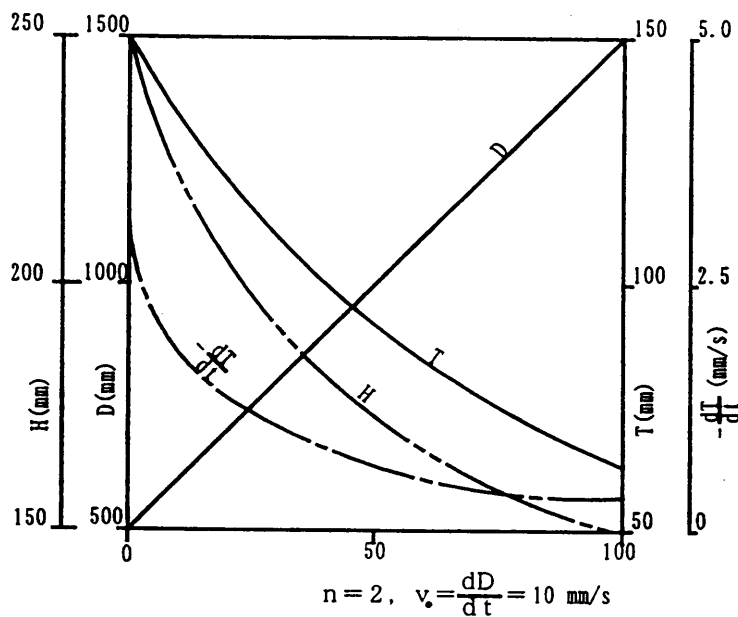
が得られる。

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

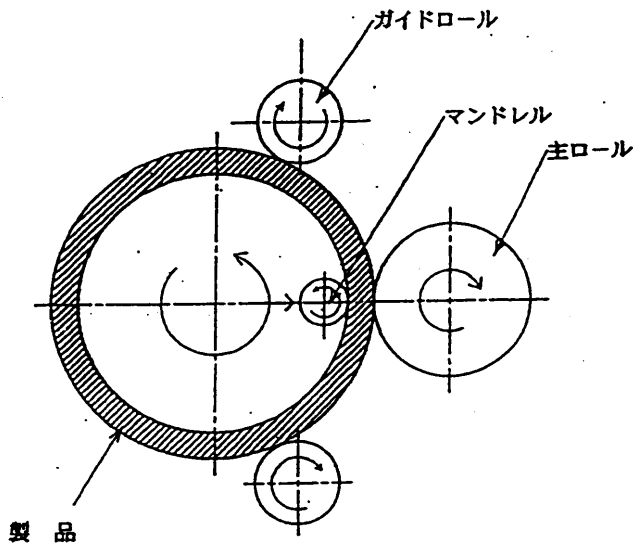


(図 4.5.3-6)

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

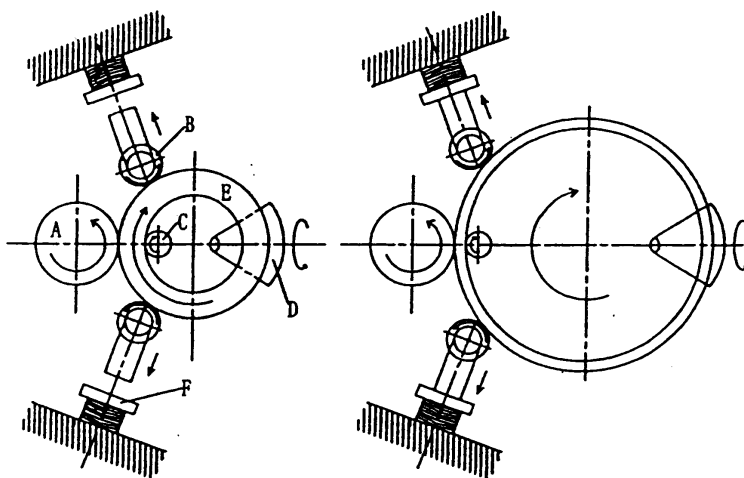
の場合次図の様な圧延パターンとなる。

(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: マンドレル
- 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、その押し出す力で上げられる方式、しかし、押し付ける力を間違えると上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することにより、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ドレル圧下速度制御" 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

マニプレークに加熱した素析を摘ませる作業あるいは、鍛造終了した素材をマニプレータから取り出す作業は、軌条式マニプレータ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プレータ前方に移動し摘ませ、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スエ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。

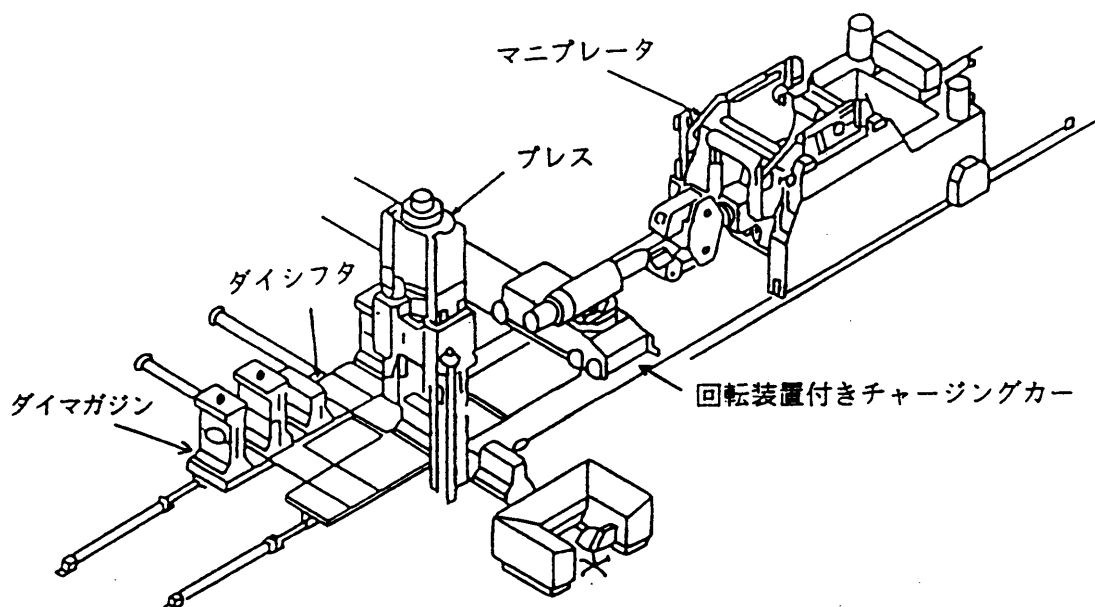


図 4.6.2-1 回転装置付きチャージングカー、ダイマガジンおよびダイシフタ

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。更に前もって鑄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ジ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¹⁾

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_1 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、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。

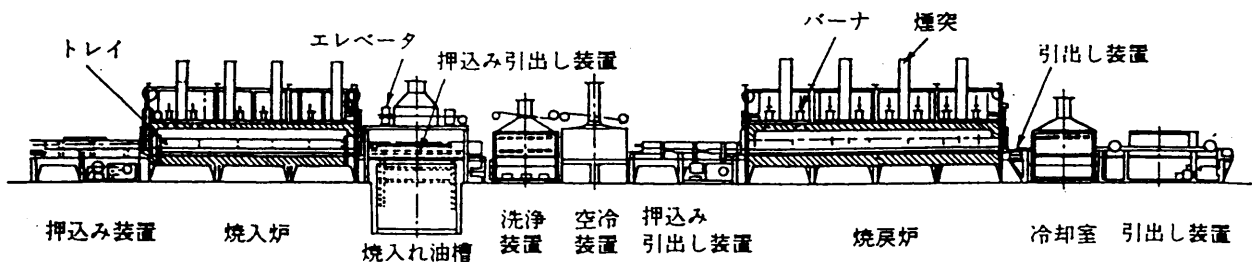


図 5.1.2-1 トレイプッシャ式連続焼き入れ焼戻し設備

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。

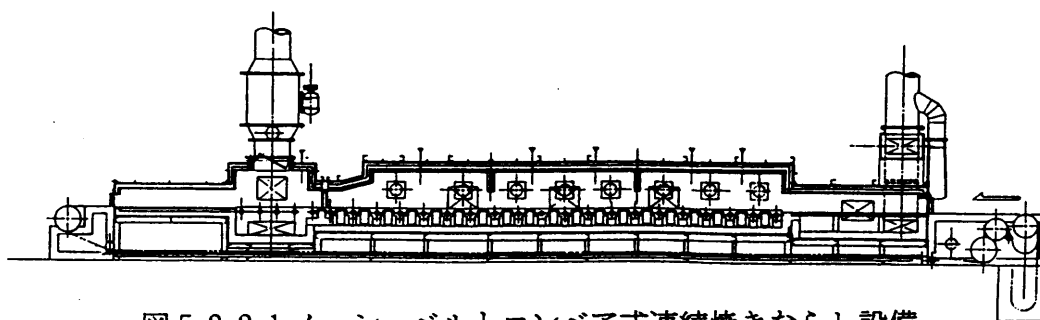


図 5.2.2-1 メッシュベルトコンベア式連続焼きなまし設備

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

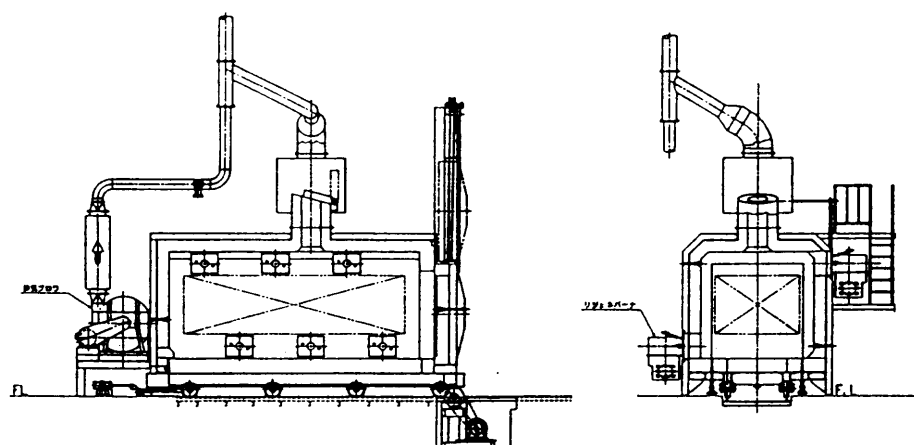


図 5.3.2-1 台車式焼きなまし設備

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²⁾

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。

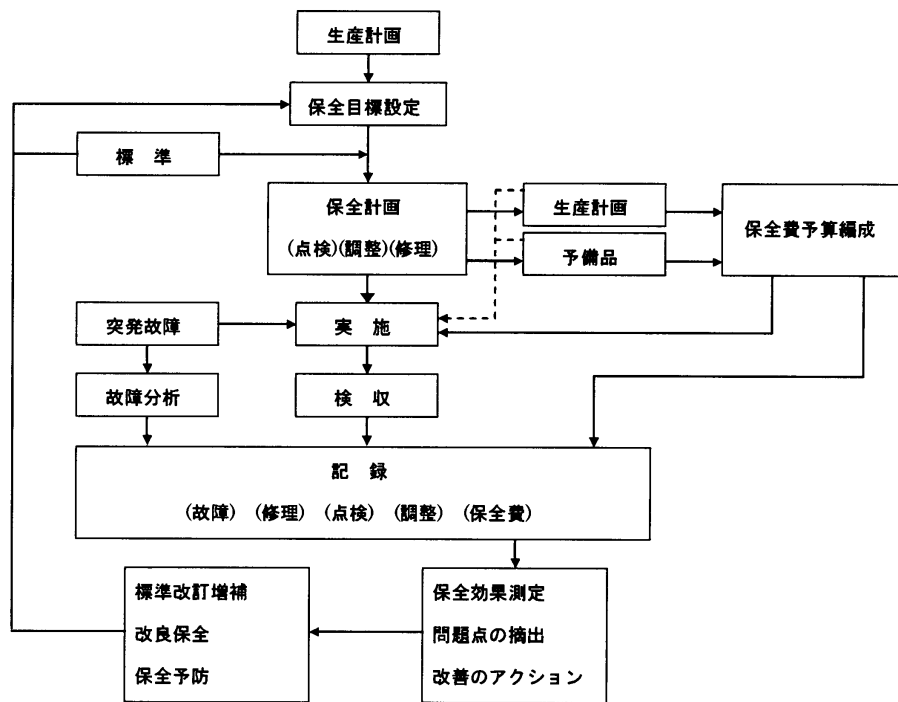


図 5. 4. 1-1 設備保全システムの流れ

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	・ユーティリティの点検 - 燃焼ファン点検（必要に応じフィルタ清掃） - 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） - 圧縮空気供給圧の点検 ・自動搬送装置の動作点検 ・材料の状態（倒れ、落下）
1 回／週	・各バーナタイルの点検、バーナチップ（ノズル）の清掃 ・各バーナのオイルフィルタの点検および清掃
1 回／月	・排気ファン、冷却ファン等Vベルトの点検 ・コントロールモータリンケージの点検 ・油圧ユニットの作動油点検 ・各種駆動部のグリス給油
1 回／3 ヶ月	・ウルトラビジョンの点検清掃 ・各装置のリミットスイッチ等の位置および動作点検 ・各種電磁弁の動作 ・制御用熱電対の点検
1 回／半年	・軸類及び軸受けの点検 ・炉内点検、スケールの清掃 ・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
1 回／1 年	・温度制御用調節計、調節熱電対の検定

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-

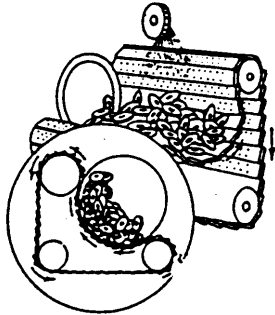


図 6.1-1 エンドレスコンベヤ式
ターンブラスト

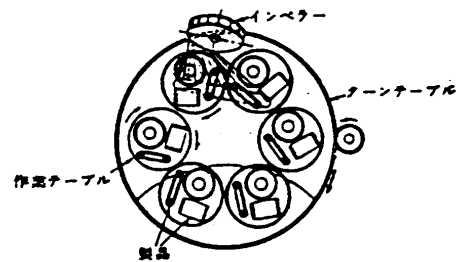
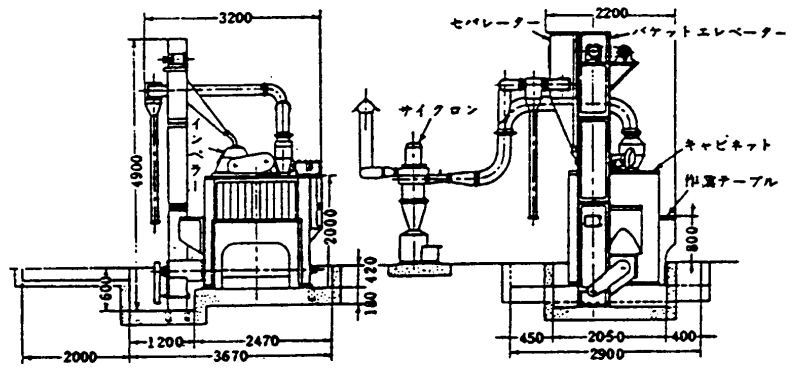


図 6.1-2 マルチテーブル式ブラスト

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

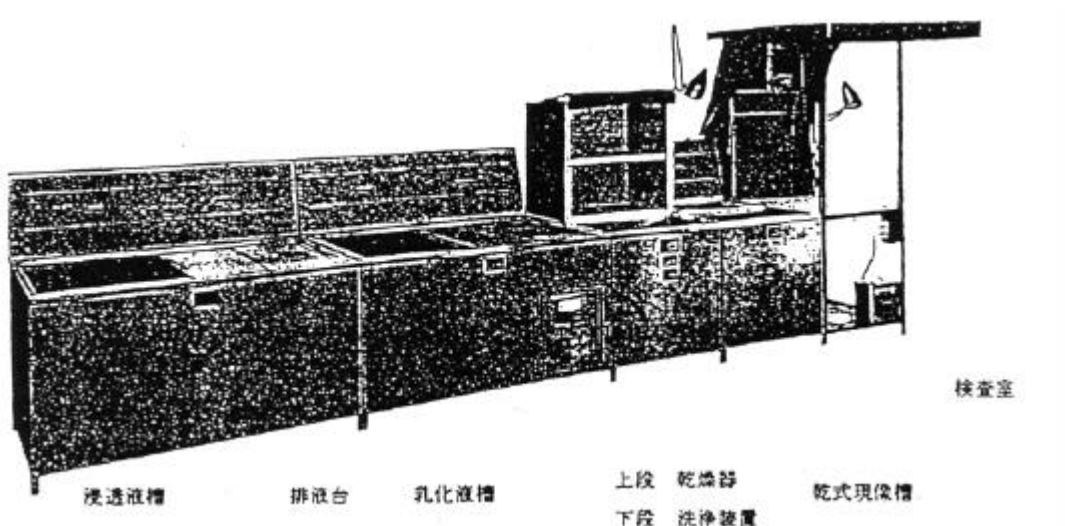


図 6.2.1-1 後乳化性蛍光浸透探傷試験装置

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。

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。

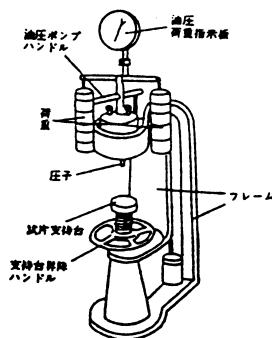


図 6.3.1-1 ブリネル硬さ試験機

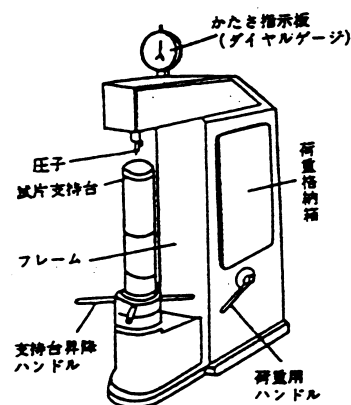


図 6.3.3-1 ロックウェル硬さ試験機

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° 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 (1.558mm) の鋼球 (B 硬さ H_{RB}) または

ダイヤモンド円錐 (頂角 120°) の圧子 (C 硬さ H_{RC}) を用いてまず、基準荷重 10kg をかけ、次に H_{RB} は 90kg 、 H_{RC} の場合は 150kg の荷重を加えてから、再び 10kg 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。

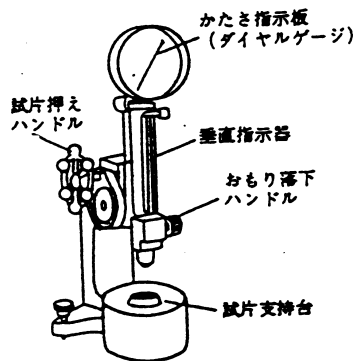


図 6.3.4.1 ショア硬さ試験機

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、絞り进行を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。

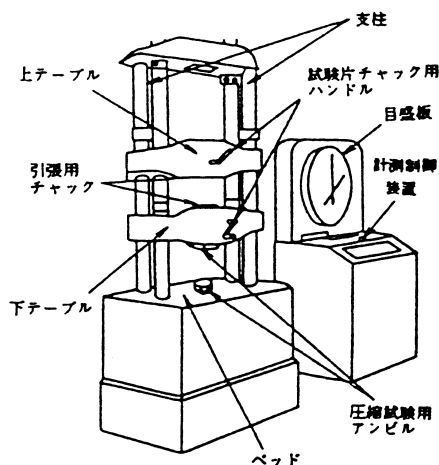


図 6.4.1-1 万能材料引張試験機

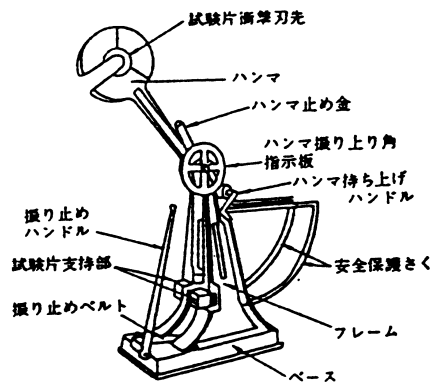


図 6.4.2-1 シャルピー衝撃試験機

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

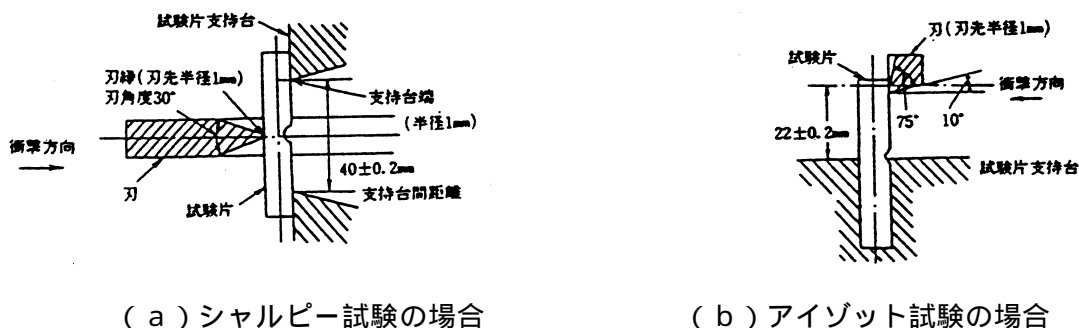


図 6.4.2-2 衝撃試験の試験片の取付け方と衝撃方向

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

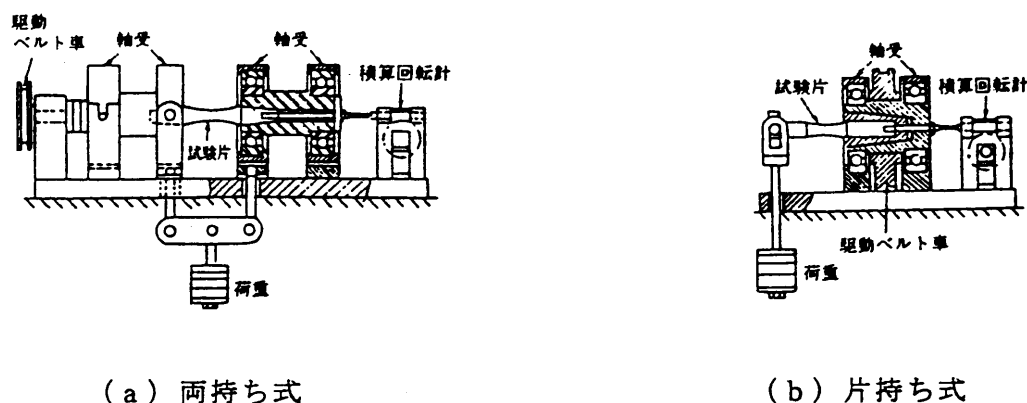


図 6.4.3-1 回転曲げによる疲れ試験機

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熔融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、大気酸化が熔融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、水冷鑄型により急冷凝固するので、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φ1800mm(100ton)程度的大型鋼塊が国内で製造されている。

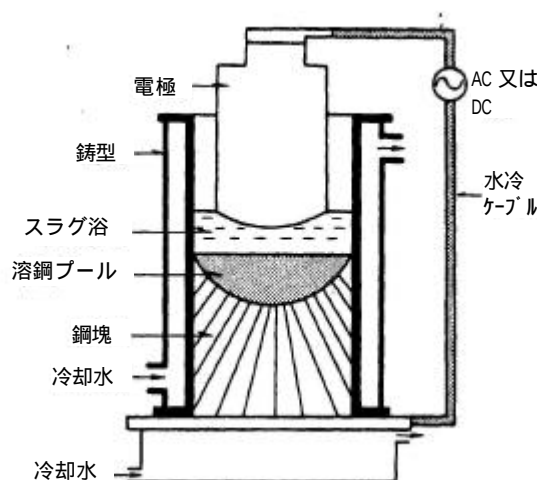


図 1.2.2-1 ESR 法

(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

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、急冷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、高真空中で促進される $C + O \rightarrow CO$ 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。

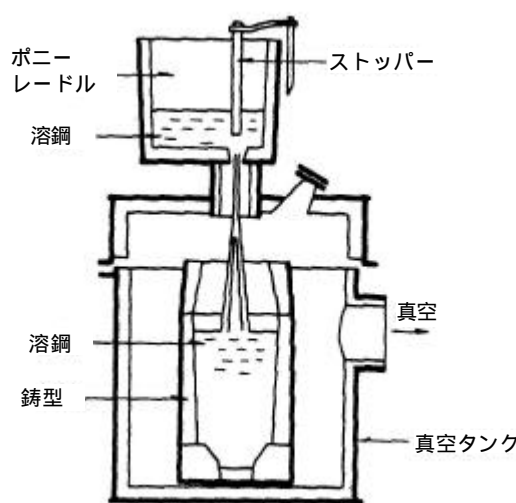


図 1.3.2-1 真空造塊法

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(分岐柱状晶含む)、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(分岐柱状晶を含む)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

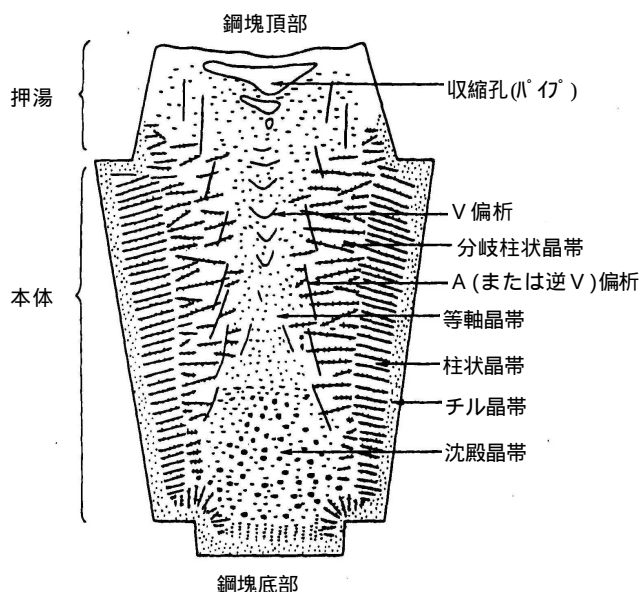


図 1.4.1-1 キルド鋼の断面マクロ組織

表 1.4.3-1 製鋼、造塊過程で現れる欠陥¹⁾

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 ②鑄型手入れ不十分 ③鑄込み速度の過大 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 ②二段注ぎ
	吊切れ	①鋼塊の鑄型への焼付き 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 ②鑄込中、溶鋼の波状運動による鋼塊表面のしわ 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精鍊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 ②耐火材料の溶融混入
	砂きず	①精鍊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 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 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 ②鑄型形状不適當 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 ②鍛造作業後の熱的取扱不適當 ③脱水素処理の不適當
	気泡	①脱ガス、脱酸不十分 ②鑄型内面のさびが還元されて生じたもの 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 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 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 ②押湯保温不適當 ③鑄込み温度の高すぎおよびガス不純物過多 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

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加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・ピレット・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、圧延した鋼材をピレット、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、ピレット、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NDER 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、価格はピレットより高いが、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 φ、高合金鋼では 150 ~ 200 φ 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 φ くらい、ステンレス鋼では 550 ~ 600 φ くらい、高合金鋼では 250 ~ 300 φ くらいまでである。

2.1.2 ピレット

ピ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、鍛造前のピ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。また大型ピ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。

ピ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 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 ～約 150 φ	—
	高合金（鋼）	100～250 φ	圧延棒材とし ～ 約 150 φ	—
大 型 品 の 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 抜き取り要す
	与える 鍛錬形成比	少なくてもよい	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。

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

ここで T_C 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。

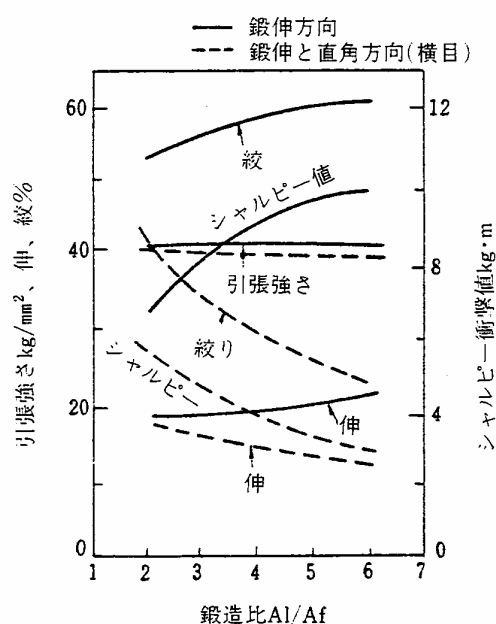


図 3.1-1 0.15%の炭素鋼の鍛造比と機械的性質

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

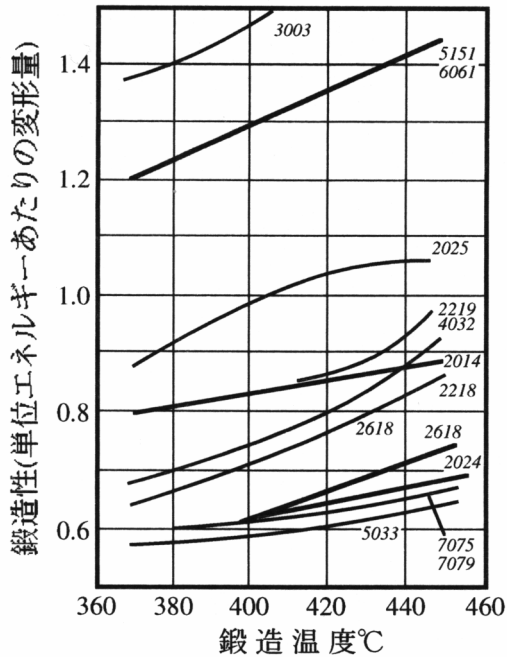


図 3.2-1 アルミニウム合金の鍛造性の相対的比較

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 2017 2025	良
		7049 7050 7075 7079 7175	やや困難
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 2618	良
	Al-Si	4032	良

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

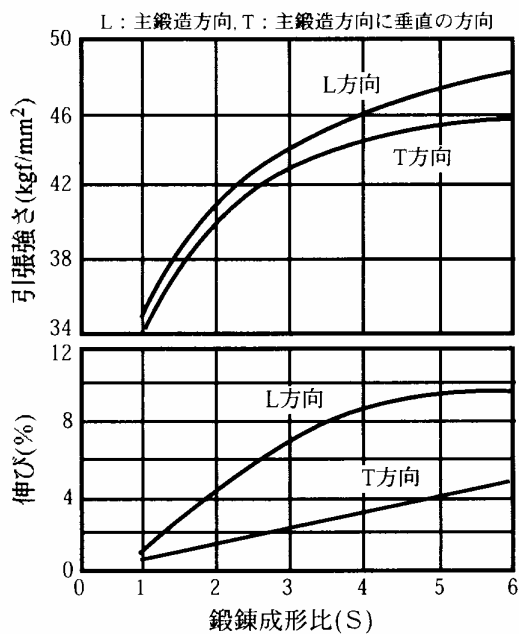


図 3.2-2 2014-T6の鍛錬成形比率による機械的性質の変化

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、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对比较した値を示すが、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 5.0 S 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、5.0 S 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、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 ~ 1/2.0 U）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 3.0 S（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 ~ 1/2.0 U）を加え、鍛伸比は 1.5 ~ 2.0 S 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 1.5 S ~ 2.0 S 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	β変態点 ()	工程(*)	鍛造温度 ()
α /near- α 合金			
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 -0.25Mo-0.3Si)	1015	C/B	980 - 1050
IMI834 (Ti-5.5Al-4.5Sn-4Zr-0.7Nb -0.5Mo-0.4Si-0.06C)	1010	C/B	980 - 1050
α - β 合金			
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
β /near- β 合金			
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β変態点温度以下で行われるα + β鍛造

C : 一部分又はすべての鍛造作業がβ変態点温度以上で行われるβ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、 σ 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、 α 相と β 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 β 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 β 変態点より50 ~ 150 高い温度で鍛造加工する。これを β 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。 β 鍛造のみで仕上げるケースもしくは $\alpha + \beta$ 鍛造が主体となるケースにおいて、 β 鍛造の最終加熱は、 β 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。

β 変態点以下での鍛造を $\alpha + \beta$ 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 α 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 $\alpha + \beta$ 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、急速酸化によるバーニングや溶融を引き起こすので注意を要する。

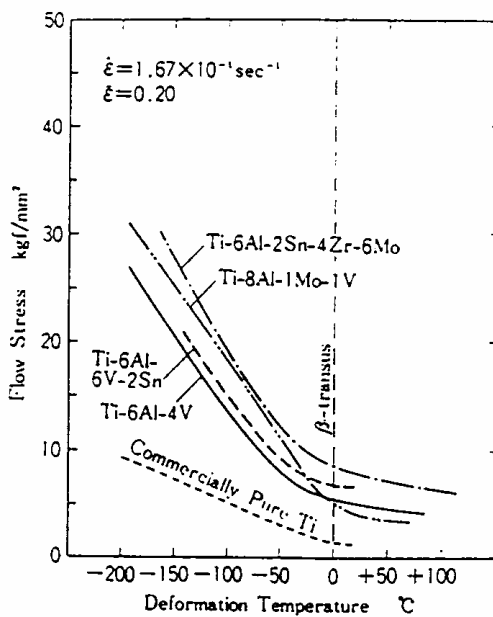


図 3.4-1 チタン合金の変形抵抗

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

4．各種規格材料

自由鍛造に使用される材料は、その目的に応じて化学成分および機械的性質の要求は様々であるが、いずれも何らかの規格に基づいて溶製されたものである。その適用規格としては、JIS規格の他、ASTM、ASME、DINなどの外国規格に基づくものも少なくない。

以下に通常比較的使用機会の多い材料について、JIS規格を中心に概説する。

4.1 炭素鋼に関する JIS の規定

表 4.1-1 は、JIS G 4051 機械構造用炭素鋼鋼材の化学成分規格を示したものである。この規格には参考として機械的性質の値も示してあるが、これはあくまでも参考値であり、規格値ではない。G 4051 は成分規格であり、この成分の材料を利用して鍛造品が製造されることが多い。

表 4.1-1 機械構造用炭素鋼鋼材の化学成分(JIS G 4051) ¹⁾

種類の記号	化 学 成 分 %				
	C	S i	M n	P	S
S10C	0.08～0.13	0.15～0.35	0.30～0.60	0.030 以下	0.035 以下
S12C	0.10～0.15	0.15～0.35	0.30～0.60	0.030 以下	0.035 以下
S15C	0.13～0.18	0.15～0.35	0.30～0.60	0.030 以下	0.035 以下
S17C	0.15～0.20	0.15～0.35	0.30～0.60	0.030 以下	0.035 以下
S20C	0.18～0.23	0.15～0.35	0.30～0.60	0.030 以下	0.035 以下
S22C	0.20～0.25	0.15～0.35	0.30～0.60	0.030 以下	0.035 以下
S25C	0.22～0.28	0.15～0.35	0.30～0.60	0.030 以下	0.035 以下
S28C	0.25～0.31	0.15～0.35	0.60～0.90	0.030 以下	0.035 以下
S30C	0.27～0.33	0.15～0.35	0.60～0.90	0.030 以下	0.035 以下
S33C	0.30～0.36	0.15～0.35	0.60～0.90	0.030 以下	0.035 以下
S35C	0.32～0.38	0.15～0.35	0.60～0.90	0.030 以下	0.035 以下
S38C	0.35～0.41	0.15～0.35	0.60～0.90	0.030 以下	0.035 以下
S40C	0.37～0.43	0.15～0.35	0.60～0.90	0.030 以下	0.035 以下
S43C	0.40～0.46	0.15～0.35	0.60～0.90	0.030 以下	0.035 以下
S45C	0.42～0.48	0.15～0.35	0.60～0.90	0.030 以下	0.035 以下
S48C	0.45～0.51	0.15～0.35	0.60～0.90	0.030 以下	0.035 以下
S50C	0.47～0.53	0.15～0.35	0.60～0.90	0.030 以下	0.035 以下
S53C	0.50～0.56	0.15～0.35	0.60～0.90	0.030 以下	0.035 以下
S55C	0.52～0.58	0.15～0.35	0.60～0.90	0.030 以下	0.035 以下
S58C	0.55～0.61	0.15～0.35	0.60～0.90	0.030 以下	0.035 以下
S09CK	0.07～0.12	0.10～0.35	0.30～0.60	0.025 以下	0.025 以下
S15CK	0.13～0.18	0.15～0.35	0.30～0.60	0.025 以下	0.025 以下
S20CK	0.18～0.23	0.15～0.35	0.30～0.60	0.025 以下	0.025 以下

炭素鋼の鍛造品の規格は、G3201 炭素鋼鍛鋼品として規定され、いわゆる S F 材として、SF340A～SF590A および SF540B～SE640B (A は焼きなまし、焼きならしまたは焼きならし・焼き戻し材で、B は焼きいれ・焼き戻し材) として、機械的性質の規格値が定められている。SF 材の成分規格は非常に広い範囲で定められているので、G 4051 の適当な材料を選んで、これを鍛造・熱処理を行うことによって、SF 規格の鍛造品とすることができる。

表 4.1-2 に G 3201 の成分規格を、表 4.1-3 に SF - A 材、表 4.1-4 に SF - B 材の機械的性質の規格値を示した。

表 4.1-2 炭素鋼鍛鋼品の化学成分 (G 3201)²⁾

単位 %				
C	Si	Mn	P	S
0.60 以下	0.15~0.50	0.30~1.20	0.030 以下	0.035 以下

備 考 1. 炭素当量は、受渡当事者間の協議によって決めることができる。

2. 化学成分は、表3の範囲内で受渡当事者間の協議によって決めることができる。

表 4.1-3 焼きなまし、焼きならし又は焼きならし・焼き戻しを行った

種類の記号	降 伏 点 N/mm ²	引張強さ N/mm ²	伸 び %		絞 り %		硬 さ(1) HB
			14 A号試験片				
			軸 方 向	切線方向	軸 方 向	切線方向	
SF 340 A	175 以上	340~440	27 以上	23 以上	50 以上	38 以上	90 以上
SF 390 A	195 以上	390~490	25 以上	21 以上	45 以上	35 以上	105 以上
SF 440 A	225 以上	440~540	24 以上	19 以上	45 以上	35 以上	121 以上
SF 490 A	245 以上	490~590	22 以上	17 以上	40 以上	30 以上	134 以上
SF 540 A	275 以上	540~640	20 以上	16 以上	35 以上	26 以上	152 以上
SF 590 A	295 以上	590~690	18 以上	14 以上	35 以上	26 以上	167 以上

注 (1) 同一ロットの鍛鋼品の硬さのばらつきは、HB 30 以下とし、1 個の鍛鋼品の硬さのばらつきは、HB 30 以下とする。

表 4.1-4 炭素鋼鍛鋼品の機械的性質 (G 3201)²⁾

種類の 記号	熱処理時の供 試部の直径、 厚さ又は軸 方向の長さ mm	降 伏 点 N/mm ²	引張強さ(σ) N/mm ²	伸 び %		絞 り %		シャルピー衝撃値 J/cm ²		硬さ(σ) HB
				14 A号試験片				3号試験片		
				軸 方 向	切線方向	軸 方 向	切線方向	軸 方 向	切線方向	
SF 540 B	100 未満	335 以上	540~690	21 以上	17 以上	45 以上	36 以上	59 以上	39 以上	152 以上
	100 以上 250 未満	315 以上		21 以上	17 以上	43 以上	34 以上	59 以上	39 以上	
	250 以上 400 未満	295 以上		20 以上	16 以上	40 以上	32 以上	49 以上	34 以上	
SF 590 B	100 未満	360 以上	590~740	19 以上	15 以上	43 以上	34 以上	49 以上	34 以上	167 以上
	100 以上 250 未満	335 以上		19 以上	14 以上	40 以上	32 以上	49 以上	34 以上	
	250 以上 400 未満	325 以上		18 以上	14 以上	38 以上	30 以上	39 以上	29 以上	
SF 640 B	100 未満	390 以上	640~780	16 以上	11 以上	40 以上	32 以上	39 以上	29 以上	183 以上
	100 以上 250 未満	360 以上		16 以上	11 以上	38 以上	30 以上	39 以上	29 以上	
	250 以上 400 未満	345 以上		15 以上	10 以上	35 以上	28 以上	29 以上	25 以上	

注 (1) 同一ロットの鍛鋼品の硬さのばらつきは、HB 50 以下とし、1 個の鍛鋼品の硬さのばらつきは、HB 30 以下とする。

(2) 1 個の鍛鋼品の引張強さのばらつきは、100 N/mm² 以下とする。

表 4.1-4 焼入焼戻しを行った炭素鋼鍛鋼品の機械的性質²⁾

種類の記号	単位 %				
	C	Si	Mn	P	S
SFVC 1	0.30 以下	0.35 以下	0.40~1.35	0.030 以下	0.030 以下
SFVC 2 A	0.35 以下	0.35 以下	0.40~1.10	0.030 以下	0.030 以下
SFVC 2 B	0.30 以下	0.35 以下	0.70~1.35	0.030 以下	0.030 以下

備考 1. SFVC 2 A は、C 0.30% 以下の場合、Mn 1.35% 以下を含有することができる。

2. 原子炉圧力容器用部品については、P 0.025% 以下、S 0.025% 以下、Ni 0.40% 以下、Cr 0.25% 以下、Mo 0.10% 以下、V 0.05% 以下とすることができる。

この他に JIS では G3202 として、圧力容器用炭素鋼鍛鋼品の SFVC 材の規定がある。
表 4.1-5 にその化学成分を、表 4.1-6 に機械的性質の規格値を示した。

表 4.1-5 圧力容器用炭素鋼鍛鋼品の化学成分(G 3202)²⁾

種類 の 記 号	降伏点 又は 耐 力 N/mm ²	引張強さ N/mm ²	伸 び %	絞 り %	衝 撃 試 験 温 度 ℃	シャルピー吸収エネルギー J	
			14A号試験片			3 個の平均	個別の値
						4 号試験片	
SFVC 1	205 以上	410~550	21 以上	58 以上	—	—	—
SFVC 2A	245 以上	490~640	18 以上	33 以上	—	—	—
SFVC 2B	245 以上	490~640	18 以上	38 以上	0	27 以上	21 以上

表 4.1-6 圧力容器用炭素鋼鍛鋼品の機械的性質(G 3202)²⁾

種類の 記 号	降伏点 又は 耐 力 N/mm ²	引張強さ N/mm ²	伸 び	絞 り %	衝 撃 試 験 温 度 ℃	シャルピー吸収エネルギー J	
			%			3 個の平均	個別の値
			14A号試験片			4 号試験片	
SFVC 1	205 以上	410~550	21 以上	58 以上	—	—	—
SFVC 2A	245 以上	490~640	18 以上	33 以上	—	—	—
SFVC 2B	245 以上	490~640	18 以上	38 以上	0	27 以上	21 以上

SF 材と SFV 材の最も大きな違いは、機械試験の試験片の採取位置の違いであり、SF 材は採取位置が規定されていないのに対し、SFVC 材では、 $T/4$ ないし $T \times T/4$ の内部からの採取が規定されている。

この他、G 3251 に炭素鋼鍛鋼品用鋼片の規定があるが、自由鍛造用ビレット等ではあまり適用されていないようである。

4.2 合金鋼に関する JIS の規定

表 4.2-1 は JIS に規定されている合金鋼全般の分類・名称・用途等を概括したものである。これらのうち、自由鍛造用に使われる材料は主として、機械構造用、工具用、耐食・耐熱用などである。

機械構造用合金鋼では、表 4.2-2 に示すように、各種の材質が規格化されている。機械構造用炭素鋼と同様にこれらは成分規格であり、機械的性質は参考値として示されているに過ぎない。これらの

表 4.2-1 合金鋼の分類と用途¹⁾

区分	名称	化学成分	J I S	用途
構 造 用	高張力鋼	低C、微量 (0.04~0.7%) のCu, Cr, Ni, Mo, V等添加	SM, SHY	広く一般に構造物用
	低温用鋼	低C、Alキルド、低温度に応じてNi2.5~9%	SL-N	LNG等低温用压力容器等材料
機 械 構 造 用	合金鋼 Mn鋼 Mn-Cr鋼 Cr鋼 Cr-Mo鋼 Ni-Cr鋼 Ni-Cr-Mo鋼	中低C、Mn約1.5、必要によりNi, Cr, Mo添加 Mn1.2~1.65 Mn1.2~1.65, Cr0.35~0.7 Mn0.6~0.85, Cr0.9~1.2 Mn0.3~1.0, Cr0.9~1.2, Mo0.15~0.45 Mn0.35~0.8, Ni1.0~3.5, Cr0.2~1.0 Mn0.3~1.25, Ni0.4~4.5, Cr0.4~3.5, Mo0.15~0.7	SMn SMnC SCr SCM SNC SNCM	焼入れ焼戻しを行い強靱鋼として使用、又浸炭焼き入れ処理して使用
	窒化鋼	中C、Cr-Mo、Cr-Mo-Al、Cr-Mo-V、Ni-Cr-Al系 Mn0.5程度、Ni<0.4、Cr1~3、Al1、Vは0.2程度	SACM645	窒化表面硬化して使用
特 殊 用 途	ばね鋼	中C、系、Mn系、Si-Mn系、Si-Cr系、Cr-V系等 Mn0.5~1.0, Cr0.6~1.0, Mo, Vは0.2程度 Si系の場合はSiは1.2~2.0程度	SUP	高い弾性限を利用してばね材として使用
	快削鋼	S, Pb, Se, Te, Bi, Ca等を添加、S, Pb等は0.3%まで Se等は0.07%程度	SUM	被切削性を向上、各種の鋼に適用
	軸受鋼	高炭素クロム系：C1, Cr1~2、ステンレス：C~1.2, Cr12~18 耐熱軸受：C~1.2, Cr1~5, Mo~8	SUJ	軸受けに使用、用途により各種
工 具 用	合金工具鋼	炭素工具鋼にSi, Mn, Cr, Mo, V等を1~2種以上添加 合金元素の総和は2~15%	SKS, SKD SKT	切削、耐衝撃工具 冷間熱間金型用
	高速度工具鋼	高C、Cr4、他にW系はW18, V1 Mo系はMo6, V2、V系はMo5, W6~10, V4	SKH	バット、ドリル、カッター等切削工具 熱間プレス型
耐 食 耐 熱 用	ステンレス鋼	低C、マartenサイト系Cr約13、フェライト系Cr12~17、 オーステナイト系Cr16~26、Ni6~22、二相系Cr22、Ni6~7	SUS	各種耐食、化工用、耐熱用部材
	耐熱鋼	Cr鋼Si1, Cr7~25、Mn-Cr鋼：Mn15, Cr10	SUS, SUH	タービン、バルブその他の高温部材、耐熱材
	超合金	Fe基：20~40Ni, 15~20Cr, Mo, W等、他はFe、 Ni基：10~20Cr, 0~20Co, Mo, Ti等、他はNi、 Co基：Cr15~20, Ni, W, Mo, Nb, Ti, B等、他はCo		航空機ガスタービン、ディスク等高温強さの優れた材料
電 磁 用	けい素鋼	Si0.5~5		変圧器、電動機、リアクター等

表 4.2-2 機械構造用合金鋼の鋼種と JIS 規格 No.

J I S	名 称	種類の記号
G 4015	焼入性を保証した構造用鋼鋼材 (H鋼)	SMn-H, SMnC-H, SCr-H SCM-H, SNC-H, SNCM-H
G 4102	ニッケルクロム鋼鋼材	SNC
G 4103	ニッケルクロムモリブデン鋼鋼材	SNCM
G 4104	クロム鋼鋼材	SCr
G 4105	クロムモリブデン鋼鋼材	SCM
G 4106	機械構造用マンガン鋼鋼材及び マンガンクロム鋼鋼材	SMn SMnC
G 4107	高温用合金鋼ボルト材	SNB
G 4108	特殊用途合金鋼ボルト用棒鋼	SNB
G 4202	アルミニウムクロムモリブデン鋼鋼材	SACM

うち、自由鍛造品として使用頻度の高いいくつかの材料の化学成分を表 4.2-3 に示した。

表 4.2-3 機械構造用合金鋼の種類と化学成分¹⁾

	化学成分規格 (%)							
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo
SCr 415	0.13 ~0.18	0.15 ~0.35	0.60 ~0.85	0.030 以下	0.030 以下	0.25 以下	0.90 ~1.20	—
420	0.18 ~0.23	"	"	"	"	"	"	—
430	0.28 ~0.33	"	"	"	"	"	"	—
440	0.38 ~0.43	"	"	"	"	"	"	—
SCM 415	0.13 ~0.18	"	"	"	"	"	"	0.15 ~0.30
420	0.18 ~0.23	"	"	"	"	"	"	"
435	0.33 ~0.38	"	"	"	"	"	"	"
440	0.38 ~0.43	"	"	"	"	"	"	"
822	0.20 ~0.25	"	"	"	"	"	"	0.35 ~0.45
SNC 415	0.12 ~0.18	"	0.35 ~0.65	"	"	2.00 ~2.50	0.20 ~0.50	—
631	0.27 ~0.35	"	"	"	"	2.50 ~3.00	0.60 ~1.00	—
815	0.12 ~0.18	"	"	"	"	3.00 ~3.50	0.70 ~1.00	—
SNCM 220	0.17 ~0.23	"	0.60 ~0.90	"	"	0.40 ~0.70	0.40 ~0.65	0.15 ~0.30
420	"	"	0.40 ~0.70	"	"	1.60 ~2.00	"	"
439	0.36 ~0.43	"	0.60 ~0.90	"	"	"	0.60 ~1.00	"
630	0.25 ~0.35	"	0.35 ~0.60	"	"	2.50 ~3.50	2.50 ~3.50	0.50 ~0.70
SMn 420	0.17 ~0.23	"	1.20 ~1.50	"	"	0.25 以下	—	—
440	0.40 ~0.46	"	1.35 ~1.65	"	"	"	—	—
SMnC 420	0.17 ~0.23	"	1.20 ~1.50	"	"	"	0.35 ~0.70	—
443	0.40 ~0.46	"	1.35 ~1.65	"	"	"	0.35 ~0.70	—

合金鋼鍛鋼品の規格としては、表4.2-4に示すような規格がある。合金鋼のうち最も使用頻度が高いのはクロムモリブデン鋼であるが、その規格SCMの軸状鍛造品の成分規格を表4.2-5に、同機械的性質規格を表4.2-6に示す。

表 4.2-4 合金鋼鍛鋼品の J I S 規格

J I S	名 称	種 類 の 記 号	
G 3 2 0 3	高温圧力容器用 合金鋼鍛鋼品	S F V A	F1, F2, F12, F11A, F11B, F22A F22B, F21A, F21B, F5A, F5B F5C, F5D, F9
G 3 2 0 4	圧力容器用調質型 合金鋼鍛鋼品	S F V Q	1A, 1B, 2A, 2B, 3
G 3 2 0 5	低温圧力容器用鍛鋼品	S F L	1, 2, 3
G 3 2 0 6	高温圧力容器用高強度 クロムモリブデン鋼鍛鋼品	S F V C M	F22B, F22V, F3V
G 3 2 2 1	クロムモリブデン鋼 鍛鋼品	S F C M	590S, 640S, 690S, 740S, 780S 830S, 880S, 930S, 980S 590R, 640R, 690R, 740R, 780R 830R, 880R, 930R, 980R 590D, 640D, 690D, 740D, 780D 830D, 880D, 930D, 980D
G 3 2 2 2	ニッケルクロムモリブデン鋼 鍛鋼品	S F N C M	690S, 740S, 780S, 830S, 880S 930S, 980S, 1030S, 1080S 690R, 740R, 780R, 830R, 880R 930R, 980R, 1030R, 1080R 690D, 740D, 780D, 830D, 880D 930D, 980D, 1030D, 1080D

なお、種類の記号の末尾の S は軸状鍛鋼品を、R はリング状鍛鋼品を、D はディスク状鍛鋼品を示したもので、サイズによって機械的性質の規格値が異なっていることに注目すべきである。これは質量効果を考慮した結果に他ならない

表 4.2-5 クロムモリブデン鋼鍛鋼品の化学成分(G 3221)²⁾

						単位 %
C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
0.48 以下	0.15~0.35	0.30~0.85	0.030 以下	0.030 以下	0.90~1.50	0.15~0.30

備 考 1. 不純物として Cu は、0.30% を超えてはならない。

2. 化学成分は、表 2 の範囲内で受渡当事者間の協議によって決めることができる。

本規格 (G3221) の成分規定は G4105 のクロムモリブデン鋼の成分規格のうち SCM822 以外のすべての鋼種の成分規格と合致している。すなわち SCM822 以外の適切な成分値の SCM 材を用いて、適切な鍛造・熱処理を加えることによって、SFCM に合致する鍛鋼品が製造できることを意味している。

表 4.2-6 クロモモリブデン鋼鍛鋼品の機械的性質(G 3221) 2)

種類の記号	熱処理時の 供試部の 直径又は 厚さ mm	降 伏 点 又は 耐力 N/mm ²	引張強さ(*) N/mm ²	伸 び		絞 り		シャルピー衝撃値		硬 さ(*)	
				軸 方 向 %	切線方向 %	軸 方 向 %	切線方向 %	軸 方 向 J/cm ²	切線方向 J/cm ²	HB	HS
				14A号試験片		%		3号試験片			
SFCM 590S	200 未満	360 以上	590~740	20 以上	—	54 以上	—	88 以上	—	170 以上	26 以上
	200 以上 400 未満	360 以上		19 以上	14 以上	51 以上	33 以上	78 以上	54 以上		
	400 以上 700 未満	360 以上		18 以上	13 以上	48 以上	31 以上	69 以上	44 以上		
SFCM 640S	200 未満	410 以上	640~780	18 以上	—	51 以上	—	78 以上	—	187 以上	28 以上
	200 以上 400 未満	410 以上		17 以上	13 以上	48 以上	31 以上	69 以上	49 以上		
	400 以上 700 未満	410 以上		16 以上	12 以上	45 以上	29 以上	59 以上	39 以上		
SFCM 690S	200 未満	460 以上	690~830	17 以上	—	48 以上	—	69 以上	—	201 以上	31 以上
	200 以上 400 未満	450 以上		16 以上	12 以上	45 以上	29 以上	64 以上	44 以上		
	400 以上 700 未満	450 以上		15 以上	11 以上	43 以上	27 以上	54 以上	34 以上		
SFCM 740S	200 未満	510 以上	740~880	16 以上	—	45 以上	—	64 以上	—	217 以上	33 以上
	200 以上 400 未満	500 以上		15 以上	11 以上	43 以上	28 以上	54 以上	39 以上		
	400 以上 700 未満	490 以上		14 以上	10 以上	40 以上	26 以上	49 以上	29 以上		
SFCM 780S	200 未満	560 以上	780~930	15 以上	—	43 以上	—	54 以上	—	229 以上	34 以上
	200 以上 400 未満	550 以上		14 以上	10 以上	40 以上	27 以上	49 以上	34 以上		
	400 以上 700 未満	540 以上		13 以上	9 以上	38 以上	25 以上	44 以上	29 以上		
SFCM 830S	200 未満	610 以上	830~980	14 以上	—	41 以上	—	49 以上	—	241 以上	36 以上
	200 以上 400 未満	590 以上		13 以上	9 以上	38 以上	25 以上	44 以上	29 以上		
	400 以上 700 未満	580 以上		12 以上	8 以上	35 以上	23 以上	39 以上	25 以上		
SFCM 880S	200 未満	655 以上	880~1 030	13 以上	—	39 以上	—	49 以上	—	255 以上	38 以上
	200 以上 400 未満	635 以上		12 以上	9 以上	36 以上	24 以上	44 以上	29 以上		
	400 以上 700 未満	625 以上		11 以上	8 以上	33 以上	22 以上	39 以上	25 以上		
SFCM 930S	200 未満	705 以上	930~1 080	12 以上	—	37 以上	—	44 以上	—	269 以上	40 以上
	200 以上 400 未満	685 以上		11 以上	8 以上	34 以上	22 以上	39 以上	29 以上		
SFCM 980S	200 未満	755 以上	980~1 130	11 以上	—	36 以上	—	44 以上	—	285 以上	42 以上

注 (*) 同一ロットの鍛鋼品の硬さのばらつきは、HB 50 又は HS 8 以下とし、1 個の鍛鋼品の硬さのばらつきは、HB 30 又は HS 5 以下とする。

(*) 1 個の鍛鋼品の引張強さのばらつきは、100N/mm² 以下とする。

4.3 ステンレス鋼に関する JIS の規定

表 4.3-1 にステンレス鋼の分類と主な化学成分、組織、特徴、用途等を概括して示した。

ステンレス鋼にはフェライト系、オーステナイト系、マルテンサイト系、二相系、析出硬化系の 5 つのタイプがあり、自由鍛造品にはこれらのいずれのタイプのものも使用されている。

表 4.3-1 ステンレス鋼のタイプと用途・特徴¹⁾

区分		主な化学成分	金 属 組 織	特徴	用途	備考
Cr系	マルテンサイト系 (13Cr鋼)	Cr 12~17% C 0.1~1.0%	高温 オーステナイト 常温 マルテンサイト	焼き入れ硬化性大 焼き戻し軟化抵抗と 強さ付与のため合金 元素を加える硬く高 応力部品として良好 なステンレス耐熱鋼	刃物類、ター ビンプレード シャフト等タ ービン部品、 ノズル、ベア リング、弁	ホットコイルは焼鈍 した後徐冷（そのま まではマルテンサイ トで冷圧できない）
	フェライト系 (17Cr鋼)	Cr 12~19% Cr低い時は低C	全域 フェライト	熱処理による硬化は ない 深絞り性もオ ーステナイト系に劣 るがマルテンサイト 系よりも耐食耐熱性 に優れている	冶金用炉部品、 自動車用部品、 建築部材、厨 房用品	変態点がないため加 熱温度高いと結晶粒 粗くなり加工は難し くなる（粗大化の修 正は難しい）
Cr-Ni系	オーステナイト系 (18-8鋼)	Cr 16~26% Ni 6~22%	全域 オーステナイト	耐食性、耐熱性、深 絞り性に優れている	化学工業用、 高熱工業用、 食品工業用	同上、また400~70 0℃でCが粒界析出 し耐食性を阻害する Cを下げる、Ti、Nb を添加する等の対策 をとる
	オーステナイト・ フェライト二相系	Cr 25程度 Ni 6~7%程度 18-8鋼よりCrを 上げNiを下げる	オーステナイト及 びフェライト	オーステナイトおよ びフェライト二相組 織をもち、耐酸性、 耐孔食性に優れ、か つ高強度をもつ	耐海水用途、 化学プラント 用	オーステナイトは一 般的な腐食には強い が応力腐食には弱い フェライトはその逆 二相とし耐応力腐食 われ性を持たせる
	析出硬化系	Cr 17% Ni 4~7% Cu、NbまたはA ℓ 添加析出強化	高温でオーステナ イト、常温で準安 定、オーステナイ トまたはマルテン サイト	CuまたはA ℓの添加 で析出硬化性をもた せる。	各種ばね、高 強度部材	高温のオーステナイ トを熱処理または加 工によって常温で準 安定オーステナイト またはマルテンサイ トになるよう調節で きる、25%Niマルエ ージ鋼と似ている

表 4.3-2 は JIS G 4303 に規定されたステンレス鋼の分類と種類の記号を示したものである。各記号の化学成分は細かく規定されているので、JIS ハンドブックを参照されたい。

鍛造品としてのステンレス鋼については、JIS G 3214 に圧力容器用ステンレス鍛鋼品として二相系以外のタイプの成分と機械的性質が規定されている。表 4.3-3 に主要なステンレス鋼鍛鋼品の化学成分を示した。適用規格がこれら SUSF 規格である場合、テストピースの採取位置 JIS G 0306 で規定されていることを忘れてはならない。G 4303 で製造された材料 G 3214 の SUSF 材に使用する場合には、その成分規定に微妙な差があるので注意を要する。

表 4.3-2 ステンレス鋼の種類の記号および分類 (G 4303) ²⁾

種類の記号	分類	種類の記号	分類
SUS201	オーステナイト系	SUS329J1	オーステナイト・フェライト系
SUS202		SUS329J3L	
SUS301		SUS329J4L	
SUS302		SUS405	フェライト系
SUS303		SUS410L	
SUS303Se		SUS430	
SUS303Cu		SUS430F	
SUS304		SUS434	
SUS304L		SUS447J1	
SUS304N1		SUSXM27	
SUS304N2		SUS403	マルテンサイト系
SUS304LN		SUS410	
SUS304J3		SUS410J1	
SUS305		SUS410F2	
SUS309S		SUS416	
SUS310S		SUS420J1	
SUS316		SUS420J2	
SUS316L		SUS420F	
SUS316N		SUS420F2	
SUS316LN		SUS431	
SUS316Ti		SUS440A	
SUS316J1		SUS440B	
SUS316J1L		SUS440C	
SUS316F		SUS440F	
SUS317		SUS630	析出硬化系
SUS317L		SUS631	
SUS317LN			
SUS317J1			
SUS836L			
SUS890L			
SUS321			
SUS347			
SUSXM7			
SUSXM15J1			

備考 棒であることを記号で表す必要がある場合には、種類の記号の末尾に、-Bを付記する。

例 SUS304-B

表 4.3-3 主要な圧力容器用ステンレス鍛鋼品の化学成分(G 3214 抜粋)

分類	鋼の記号	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	その他
オーステナイト系	SUSF304	≤0.08	≤1.00	≤2.00	≤0.040	≤0.030	8.00~11.00	18.00~20.00	—	—
	SUSF304L	≤0.030	"	"	"	"	9.00~13.00	"	—	—
	SUSF316	≤0.08	"	"	"	"	10.00~14.00	16.00~18.00	2.00~3.00	—
	SUSF316L	≤0.030	"	"	"	"	12.00~15.00	"	"	—
	SUSF317	≤0.08	"	"	"	"	11.00~15.00	18.00~20.00	3.00~4.00	—
	SUSF321	"	"	"	"	"	9.00~12.00	≥17.00	—	Ti 5xC% ~0.60
	SUSF347	"	"	"	"	"	9.00~13.00	17.00~20.00	—	Nb 10xC% ~1.00
フェライト系	SUSF410A B C D	≤0.15	"	≤1.00	"	"	≤0.50	11.50~13.50	—	—
	SUSF6B	"	"	"	≤0.020	≤0.020	1.00~2.00	"	0.40~0.60	Cu≤0.50
析出硬化系	SUSF630	≤0.07	"	"	≤0.040	≤0.030	3.00~5.00	15.00~17.00 3.00~5.00	Cu 3.00~5.00	Nb 0.15 ~0.45

4.4 JIS に規定された耐食・耐熱超合金

耐食・耐熱超合金鍛造品には主として JIS G 4901 に規定された耐食耐熱超合金棒の規格を適用する場合が多い。表 4.4-1 にこれら NCF 材の化学成分を示す。

表 4.4-1 耐食耐熱超合金棒の化学成分(G 4901) ²⁾

種類の記号	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Fe	Mo	Cu	Al	Ti	Nb+Ta	B
NCF600	0.15 以下	0.50 以下	1.00 以下	0.030 以下	0.015 以下	72.00 以上	14.00~ 17.00	6.00~ 10.00	—	0.50 以下	—	—	—	—
NCF601	0.10 以下	0.50 以下	1.00 以下	0.030 以下	0.015 以下	58.00~ 63.00	21.00~ 25.00	残部	—	1.00 以下	1.00~ 1.70	—	—	—
NCF625	0.10 以下	0.50 以下	0.50 以下	0.015 以下	0.015 以下	58.00 以上	20.00~ 23.00	5.00 以下	8.00~ 10.00	—	0.40 以下	0.40 以下	3.15~ 4.15	—
NCF690	0.05 以下	0.50 以下	0.50 以下	0.030 以下	0.015 以下	58.00 以上	27.00~ 31.00	7.00~ 11.00	—	0.50 以下	—	—	—	—
NCF718	0.08 以下	0.35 以下	0.35 以下	0.015 以下	0.015 以下	50.00~ 55.00	17.00~ 21.00	残部	2.80~ 3.30	0.30 以下	0.20~ 0.80	0.65~ 1.15	4.75~ 5.50	0.006 以下
NCF750	0.08 以下	0.50 以下	1.00 以下	0.030 以下	0.015 以下	70.00 以上	14.00~ 17.00	5.00~ 9.00	—	0.50 以下	0.40~ 1.00	2.25~ 2.75	0.70~ 1.20	—
NCF751	0.10 以下	0.50 以下	1.00 以下	0.030 以下	0.015 以下	70.00 以上	14.00~ 17.00	5.00~ 9.00	—	0.50 以下	0.90~ 1.50	2.00~ 2.60	0.70~ 1.20	—
NCF800	0.10 以下	1.00 以下	1.50 以下	0.030 以下	0.015 以下	30.00~ 35.00	19.00~ 23.00	残部	—	0.75 以下	0.15~ 0.60	0.15~ 0.60	—	—
NCF800H	0.05~ 0.10	1.00 以下	1.50 以下	0.030 以下	0.015 以下	30.00~ 35.00	19.00~ 23.00	残部	—	0.75 以下	0.15~ 0.60	0.15~ 0.60	—	—
NCF825	0.05 以下	0.50 以下	1.00 以下	0.030 以下	0.015 以下	38.00~ 46.00	19.50~ 23.50	残部	2.50~ 3.50	1.50~ 3.00	0.20 以下	0.60~ 1.20	—	—
NCF80A	0.04~ 0.10	1.00 以下	1.00 以下	0.030 以下	0.015 以下	残部	18.00~ 21.00	1.50 以下	—	0.20 以下	1.00~ 1.80	1.80~ 2.70	—	—

備考1. Ni分析値には、Coを含むことができる。ただし、NCF80AのCo分析値は、2.00 %以下とする。

2. NCF80Aについては、必要によってBなどを添加することができる。

4.5 外国規格

表 4.5-1 には自由鍛造品に比較的多く適用される ASTM A105(配管用炭素鋼鍛鋼品)と A182(高温用鍛造又は圧延合金鋼、パイプ、フランジ、鍛造継ぎ手・バルブおよび部品類)の主要なものを示した。この他にも ASTM A336(高温高圧部品用合金鋼鍛鋼品、A350(配管用炭素鋼・合金鋼鍛鋼品、切欠靱性保証)A508(圧力容器用調質型炭素鋼・合金鋼)などがある。なかでも、A182 と A336 は F No. が同じものが多い。JIS G 3203 および G 3206 の F1, F2, F11 等のいわゆる F 材も ASTM 規格 JIS に取り入れたものであり、その内容はほとんど同様である。ただし、各規格の細部に微妙な差異があることも見逃せない。たとえば F11 Class1 の P および S の値が A182 は 0.030 以下であるのに対し A336 では 0.025 以下である。同様に F22 Class1 の Mo の値が、A182 では 0.87 ~ 1.13 であるのに対し、A336 では 0.90 ~ 1.10 であるなどである。

表 4.5-1 鍛造品に適用されることの多い ASTM 規格材の化学成分

ASTM SYMBOL	UNS No.	C	Mn	P (MAX)	S (MAX)	Si	Ni	Cr	Mo	その他
A182 F1	K12822	≤0.28	0.60 ~0.90	0.045	0.045	0.15 ~0.35	—	—	0.44 ~0.65	
" F2	K12122	0.05 ~0.21	0.30 ~0.80	0.040	0.040	0.10 ~0.60	—	0.50 ~0.81	"	
" F5	K41545	≤0.15	0.30 ~0.60	0.030	0.030		≤0.50	0.40 ~0.60	"	
" F11 Class1	K11597	0.05 ~0.15	"	"	"	0.50 ~1.00	—	1.00 ~1.50	"	
" F12 Class1	K11562	"	"	0.045	0.045	≤0.50	—	0.80 ~1.25	"	
" F22 Class1	K21590	"	"	0.040	0.040	—	—	2.00 ~2.50	0.87 ~1.13	
" F91	—	0.80 ~0.12	"	0.020	0.020	0.20 ~0.50	≤0.40	8.0 ~9.5	0.85 ~1.05	Nb 0.06~0.10 N 0.03~0.07 Al 0.04MAX V 0.18~0.25
" F6a	S41000	≤0.15	≤1.00	0.040	0.030	≤1.00	≤0.50	11.5 ~13.5	—	
A105	—	≤0.35	0.60 ~1.05	0.035	0.040	0.10 ~0.35	≤0.40	≤0.30	≤0.12	Cu MAX0.40 V MAX0.05 Nb MAX0.02

参考文献

- 1) 鉄鋼製品の基礎知識 ? 鋼材倶楽部編 1994 年
- 2) JIS ハンドブック 鉄鋼 1999 年版

第4章 自由鍛造加工の実際

1. 自由鍛造工法

本節では実際に用いられる様々な鍛造法を基本的鍛造法と補助的鍛造法とに分類し、これらが実際の鍛造現場でどのような道具を用い、どのように活用され、どのような点に注意しなければならないかについて解説する。

基本的鍛造法と補助的鍛造法に分類するのは新しい試みであるが、前者の方法が鍛造品の目的の形状を得るための主要な方法であるのに対し、後者は前者を補完するための手段であることが多いことによるものである。

1.1 基本的鍛造法

図1.1—1は基本的鍛造法の一覧表である。この基本的鍛造法の分類と呼称は、JIS G 0701に基づきその呼称は鍛錬を鍛造に換えて引用したものであり、重要な道具立てについても同図に示した。

1.1.1 実体鍛造

実体鍛造は最も一般的に行われている鍛造法で、穴の無いソリッドの材料を径方向に押圧して、長さを伸ばす鍛造法である。

丸棒、角棒、段付軸、板材等の鍛造に適用する。実体鍛造に用いる金敷の組み合わせはその目的に応じて様々だが、その主なものは図1.1 - 1に示す。

(1) 上下平金敷による実体鍛造

実体鍛造の金敷の組み合わせでは、上下とも平金敷を用いるのが最も一般的である。

角材はもとより、単純丸棒、段付軸、円盤の外周押し、タップ使用時などに用いる。通常の鍛伸の場合、上下平金敷で角鍛伸を行なうのが最も速く伸びるとされており、適切な噛み込み幅と圧下量を選ぶことにより鍛伸の能率を上げることができる。従って丸棒を鍛造する場合でも角→八角→十六角と鍛伸し、次いでタップで仕上げるのが最速の方法である。この場合角は同じ直径の丸に対して断面積で約27%多いので、このうち10%程度は角の状態で多少マイナスの角に鍛伸し、以降の八角→丸への過程での幅広がりを利用して、きちんとした丸を得るのが早道である。

即ち、100φを得ようとするとき、約95角に鍛伸した後八角を経てタップで丸めれば良いと言うわけである。材質や温度条件等により幅広がりに多少の差があるので、勘どころは経験により会得されている。上下平金敷だけで丸材を鍛伸する場合、材料を長手方向に動かして行なう。上下平金

敷で回転により丸棒を鍛造するのは、スムーズな丸棒が得られないばかりでなく、マンネスマン効果（注）により芯部に欠陥を生じる場合があるので注意を要する。

また、上下平金敷を用いて、円盤の外周を丸める場合中心部の厚みが減ることがあるので注意を要する。これもマンネスマン効果の一例である。図1.1.1 - 1参照。

通常の角鍛伸は他の金敷との組み合わせに比較して、内部圧着効果を最も得やすい方法である。鋼塊の直径に対し鍛造品の直径が大きくて、通常の角鍛伸では十分な圧着効果が得られない場合、温間鍛錬法やFM鍛錬法などの圧着を第一の目的とした特殊な鍛錬法が開発され実用化されているが、これらも上下平金敷を用いた鍛造法である。

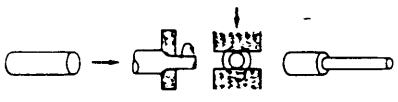
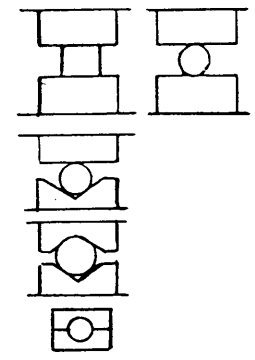
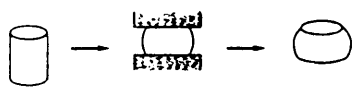
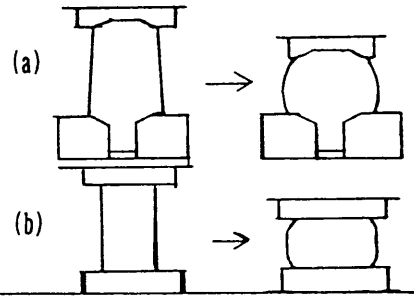
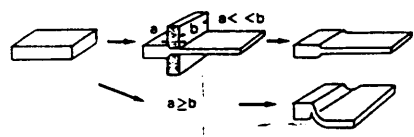
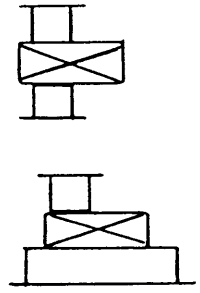
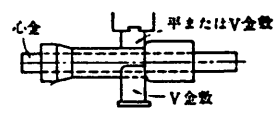
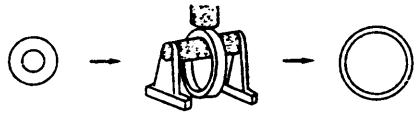
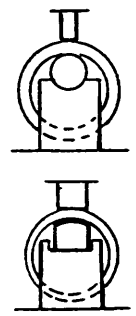
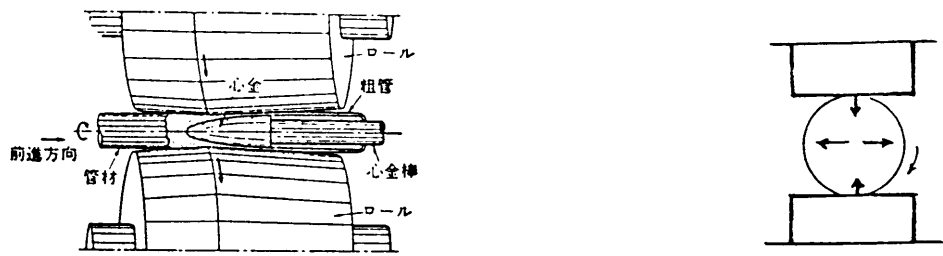
名 称	説明・主要形態	主な道具立て
実体鍛造	径を小さくして長さを伸ばす 	
据込鍛造	長さを圧縮して径を太くする 	
展伸鍛造	主として幅を広げる 	
中空鍛造	内径一定で長さを伸ばす 	
穴広げ鍛造	長さ一定で内外径を広げる 	

図 1.1 - 1 基本的鍛造法の一覧²⁾



(a) マンネスマンミルによる穴明け¹⁾ (b) 鍛造でのマンネスマン効果

図1.1.1 - 1 マンネスマン効果

(2) 上平一下V金敷による実体鍛造

この組み合わせでは、材料を長手方向にはあまり移動しないで、回転しながら径を少しずつ上げていく方法で、背切り三角が使いやすいばかりでなく、多少の段は金敷だけでつけることができるので、多数の段のあるシャフト類の仕上げ鍛造に向いている。

また下がV金敷であるため材料がプレスのセンターからずれることが少ないので、材料の把持性能の良くないハンドリングのときに便利である。この組み合わせでは一度に大きな圧下量をとることが出来ないで、中心部の圧着効果は少ない。

また、上下の変形量に差があるので、段の付け根で偏心が出易いので、注意を要する。圧下の自動化も難しく、マニュアルオペレーションが一般的である。

この組み合わせはハンマー鍛造での実体鍛造に用いることはないと言ってよい。

(3) 上下V金敷による鍛造

この組み合わせの実体鍛造は主として丸棒ないしは段付きシャフトに用いる。この方法は製品の大きさに対し、プレスの能力が十分に大きい場合に用いられ、ハンマー鍛造には用いられることはない。

圧下量を比較的大きくとすることができるので、中心部の圧着効果は(2)の場合より大きく、偏心も出にくいが摩擦拘束が大きいので、大きな力を必要とする。

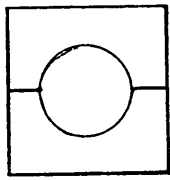
上下V金敷による鍛伸では中心部には圧縮力が働くので、非常に割れ安い材料の鍛造にも向いている。V金敷の角度は上平、下Vの場合でも上下V金敷の場合でも90°～120°くらいまでが使用される。角度が大きい程広範囲の直径に対応できるが、材料の横広がりが大きくなる。角度が小さいと直径への対応範囲がせまくなる。一般的には100°～110°がよい様である。

注) マンネスマン効果：1885年ドイツのMannesmann兄弟が発明したマンネスマン穿孔機の原理をこう呼んでいる。多少角度のついた2本の上下ロールの間で丸棒を回転しながら中心に芯金を押し込んで行って、パイプの素管を得る方法である。中心部に引張力が働き穴を明けることができる。

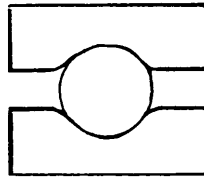
(4) タップによる実体鍛造

丸棒やシャフトなどの仕上鍛造ではタップを用いて、表面を滑らかにかつ真円に近くなる様に行う。

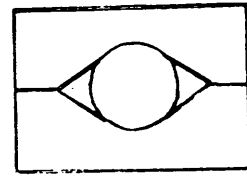
タップには円弧のほとんど全部を押圧し、押切った時に一定の直径となる全タップ図1.1.1 - 2 (a)、円弧の半分ないし2/3程度を押圧できる半タップ(b)とがあり、半タップの場合はプレスやハンマーの圧下量を加減して、被鍛造材の出来上がり直径をきめる。全タップの場合は押切って所定の直径を得る。



(a)全タップ



(b)半タップ



(c)背切りタップ

図1.1.1 - 2 各種タップ

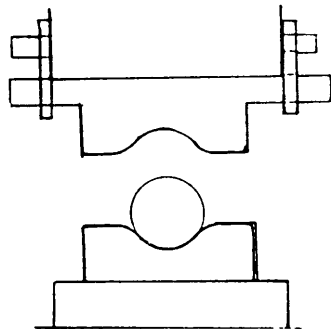
タップによる仕上げは上下平金敷を用いて、角→八角→十六角押に引続いて行うため、そのセットが素早くできる様でなければならない。

また上タップは材料の回転や送りのために、何らかの方法で浮かせる必要がある。その方法は様々であるが、図1.1.1 - 3 にその例を示す。

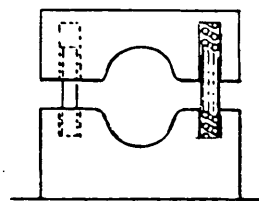
図1.1.1 - 3 (a)は上タップを上金敷に吊るす方法、(b)はスプリングにより上タップを持ち上げる方法、(c)はテコ等で人力で浮かせる方法、(d)は、上下を板バネでつないだ方法などがある。

上下V金敷に似た形で最終の直径は押し切って得られるが、途中ではかなり大きい素材から小さい丸までを一気に押すことができる背切タップ(図1.1.1 - 2 (c))もある。

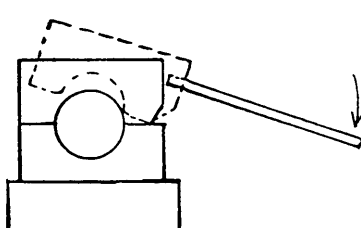
背切タップは大きい段差を、三角による背切を行わないで、かなりラフに背切れる他、モメ割れを防止しながら鍛伸する方法の一つとしても用いられる。



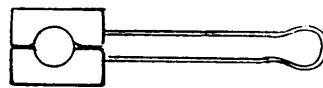
(a)上金敷に吊るす



(b)バネで押し上げ



(c)テコで浮かせる



(d)板バネで浮かす

図1.1.1-3 上タップの浮かせ方

1.1.2 据込鍛造

(1) 一般の据込み

据込み鍛造は材料を軸方向に圧縮して、直径を太くする鍛造法である。その目的にはいくつかあり、材料より大きい直径を持つ製品を得るための据込み、十分な鍛錬成形比を得て内部の鍛錬効果を十分に

に付与するための据込、高さを低くし穴を明け易くするための据込、端面の形を整えるための据込、円板の据込、六面鍛造の据込などである。端面を軽くならず場合などを除き、据込の成否は、その長さで直径の比即ち H/D にあり、 H/D が2以下なら全く問題がなく2~3の間では注

意を必要とし、3を越えると困難を伴う。(図1.1.2 - 1 参照)

十分な注意と材料を廻すことができ、かつ途中で曲がり直しを入れながら、所定の直径を得ることができる限度は $H/D = 4$ である。

H/D が2.5以下であれば、鍛造材に十分な能力さえあれば、ほとんど一気に材料を圧縮しても失敗することは少ない。

これを越えると座屈が生じ易く、途中での曲がり直しは必須である。据込は材料を廻しながら、倒れを直しながら行うのがよい。据込に用いる道具は材料を直立させるための道具の他、端面の形を整えるためのキャップ、回転台などである。

図1.1 - 1 (a)は鋼塊の据込みで、押湯を用いてハンドリングステム(又は簀口とも云う)を成形し、これを臼に挿し込んで直立させて据込みを行う。据込み後の直径が大きく、長さが短くなるものは続く鍛伸の過程で端面中央部が凹むフィッシュテイル形状(ガブリ、オチョコ形状、ダブティルなどとも云う)になり易い。これを防止するため端面中央を、凸にするためのキャップを用いて据込みを行う場合もある。

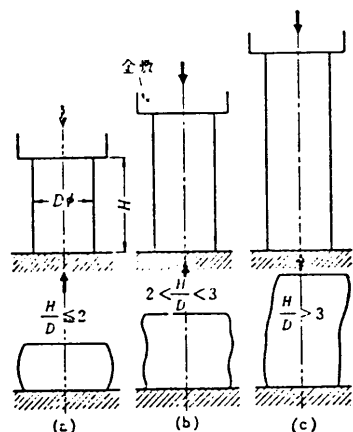
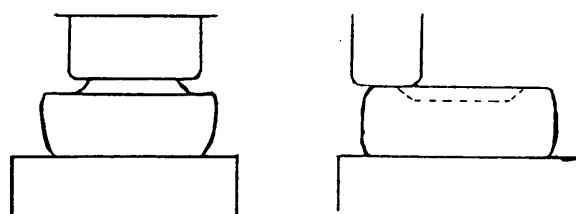


図1.1.2 - 1 据え込み時のH / Dの影響¹⁾



(a)外縁部を先に圧下 (b)中央部を先に圧下

図1.1.2 - 2 円板の局部据え込み

図1.1 - 1 据込みの(b)は穴明け前の据込みである。実体ポンチ(穴明けの頃参照)を用いる場合、ポンチの押込みによって排除される材料が下部の直径を拡げる効果があるので、予め下部より上部を当物等で直径を大きく据込みを行い穴明後上下の径が均等になる様な工夫も必要である。

円板を据込みによって鍛造する場合、全面押圧ではプレス力が不足する場合が多い。こうした場合には材料を回転台上で回しながら、圧下面積を小さくして据込みを行うか、上金敷を回しながら同様に局部を圧下しながら据込むなどの工夫が行われる。このとき、図1.1.2 - 2 (a)の様に外縁部を先に圧下した場合中央部を外縁部と同じ厚さになる様に据込もうとすると、多大な力を必要とすることがある。これは中央部の高さを低くするためには、その外縁部のリング状の材料の「タガ」も一緒に拡げることが必要となり、通常よりはるかに大きな鍛造力を必要とする。こうした場合中央部は更に小さい当物等で圧下することになるが「タガ」が強固であると、押した部分と隣の材料が盛り上がり、径はなかなか広がらないという現象となる。しかし、この時の内部に対する圧縮圧力は非常に高くなるので、ザク等の圧着効果が大きくなる。

実際に厚肉の円板を据込みで鍛造する場合に圧下量が少なく、ザク疵の残存が懸念される場合この方法を用いると効果的な場合がある。逆に鍛造力が十分でない場合には、外縁部より先に中央部を当物等を利用して薄くしておき、あとで外縁部を圧下する方法もある。(図1.1.2 - 2 (b))この方法は鍛造力は少なくてすむが、薄くなった中央部には外縁部の材料が、伸びることによって引張りの応力が働くので中央部の厚みがマイナスとなったり、材質によっては中心部に割れが発することがあるので注意を要する。据込みによって、比較的厚手の円板や厚肉のリング材を簡単に鍛造してしまうと、端面近くにザク系の欠陥を残してしまうことがある。これは、据込の時一気に圧下したため、テッドゾーンに入った欠陥がつぶされないまま残存し、外周を丸めても、ほとんど圧着効果がなく、最後まで残ってしまうことによる。こうした場合は一気の据込高さを製品の打上厚みより高くし、金敷の刻みにより端面部近くをよく加工したり、図1.1.2- 2 (a)の方法を採用して、中心から端面まで十分に鍛錬効果を与える方法を取るのが賢明である。こうしたことは、日常起こり易いことなので、よく注意しておく必要がある。

穴を明けた材料や、穴拡げを行った材料、あるいは中空鍛造を行った材料は端面が丸くなったり、凹凸を生じたりしているので、ならし程度の据込を行うことが多い。

図1.1.2 - 3 参照。この場合、金敷のかけかたによって、寸法に微妙な変化が生じることをよくわきまえておく必要がある。図1.1.2 - 3 (a)は全面押しで、この場合圧下量が少いと端面は変化せず、

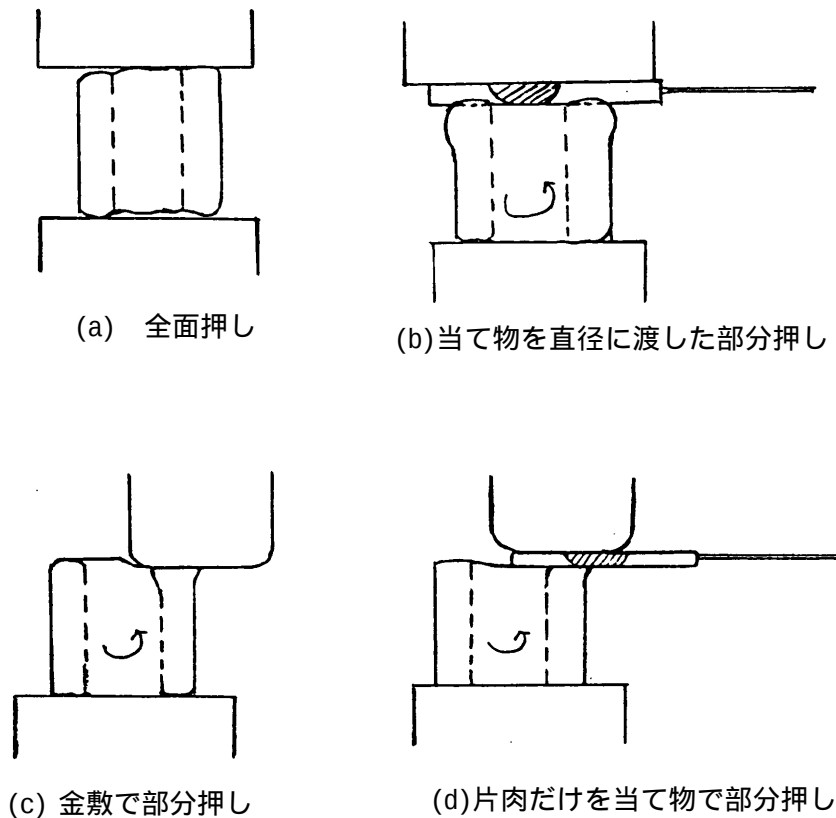


図 1.1.2 - 3 穴材の端面据え込み

圧下量が多いと樽形に変形する。同図(b)は当物を直径にわたして順次廻しながら行う方法であるが、穴径はほとんど変化せず、当物を当てた面より多少下がった所の外径がふくらむ。(c)は、上面の内外径が大きくなる。端面近くは肉厚が増える。(d)では肉厚はあまり変化なく、内外径共に大きくなる。

この様な変化をよく承知の上、当物の当て方等を工夫するとよい。

(2) フランジ付軸の据込み(アブセット鍛造)

専用の横型プレスを使用して、ストレートの丸棒および段付軸より、大径のフランジを成形する鍛造方法が一部で行われている。一般的な油圧プレスを横に寝かせたような装置で、局部加熱した材料の一端を、材料を抱く金型(ダイス)に対して圧縮し、フランジを成形する鍛造方法である。

金型は上下二つ割りで、テーパリングで固定するか、または油圧で圧縮する グリップ方式が一般的である。アブセット部の加熱方法は、先焼き専用加熱炉に、必要な長さを挿入して加熱を行う。加熱範囲(長さ)は、製品の打ち上がり寸法に、微妙な影響を及ぼすので考慮する必要がある。

フランジ径と軸径の比が小さい場合($H/D < 3$ の場合)

図1.1.2-4 は、丸棒から一度にフランジを成

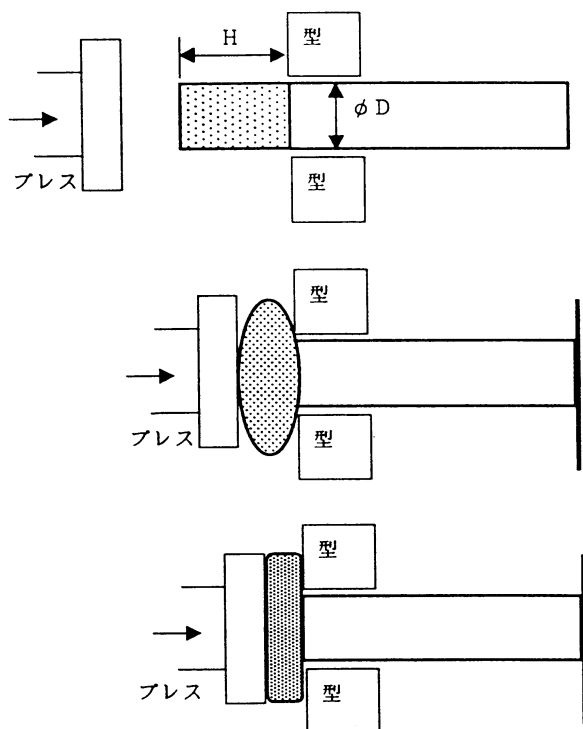


図 1.1.2-4

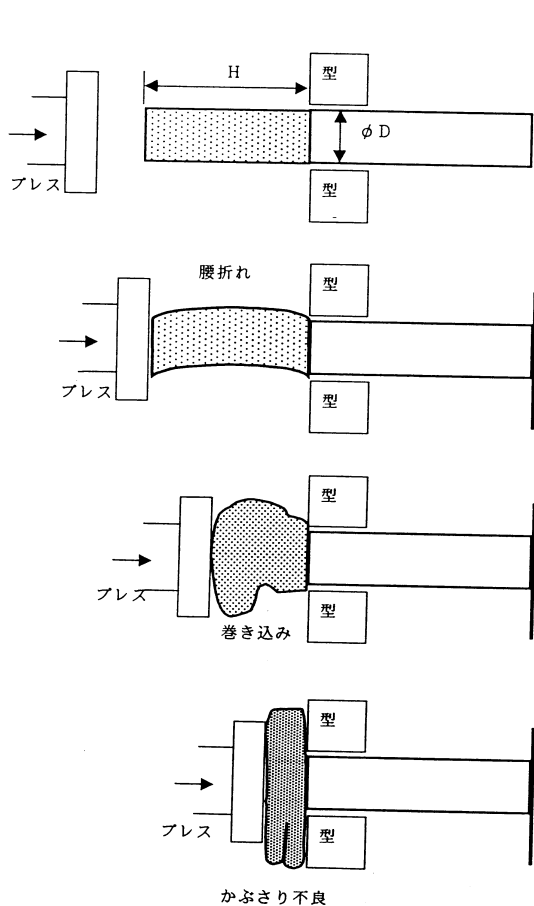


図 1.1.2-5

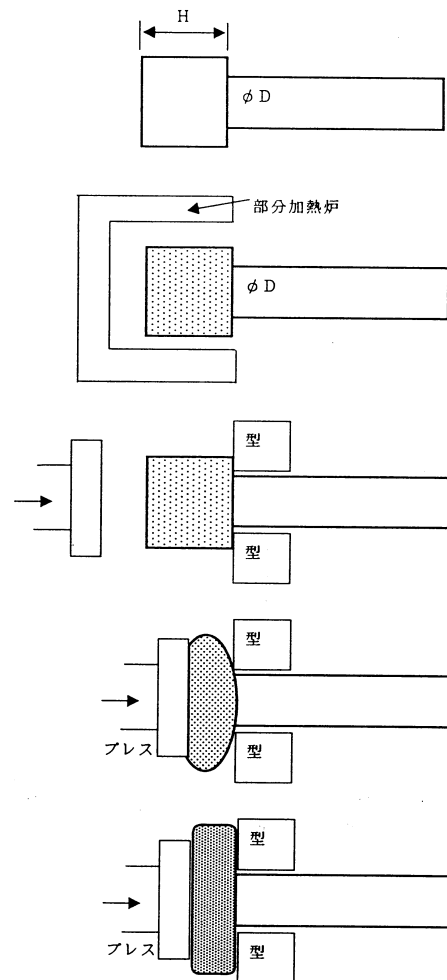


図 1.1.2-6

形する過程を示したものである。この方法で成形できるための条件は、フランジとなる部分の丸棒の長径比 H/D が、3 以下 (2.5 以下が望ましい) である。

図 1.1.2-5 は、長径比 H/D が 3 以上の場合を示した一例である。素材が、座屈を生じて、不良の原因となるフロー図である。

フランジ径と軸径の比が大きい場合 ($H/D > 3$ の場合)

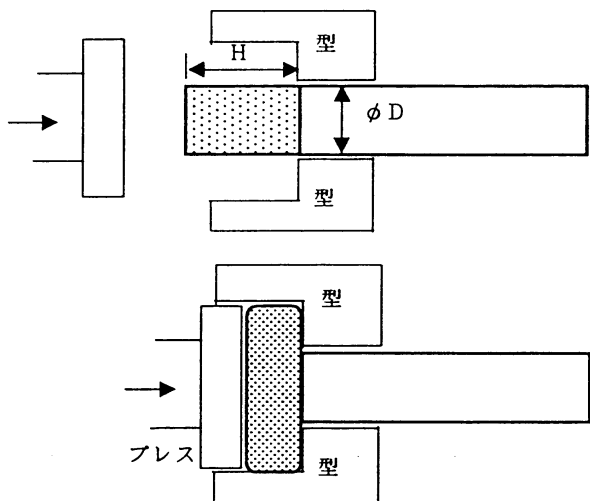


図 1.1.2-7

図 1.1.2-6 のように、縦プレス(実体鍛造)で、フランジとなる部分(重量)の丸棒の長径比 H/D が、2.5 以下になるように半成品の荒地を作成する。この荒地を部分加熱し、同じようにアブセットを行う。

フランジを型入れする方法

図 1.1.2-7 は、金型を前方に延長して、フランジの外径を拘束し、材料を型の内に充満させてフランジを成形する。こうすることによりフランジの外径が平行で一樣になるので、材料の節約となる。また取り代が少ないため、機械加工費の低減となる。しかし型代がかさむので、ロット数が多い場合に限られる。型入れ法に限らずフランジを据込む場合は、限られたプレス能力においては面圧を小さくし

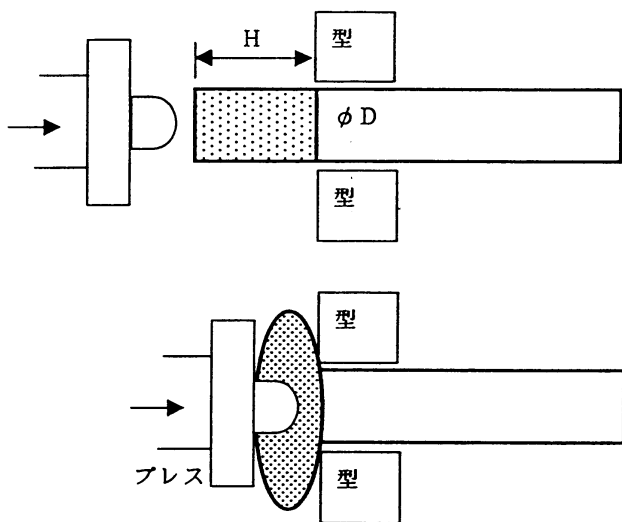


図 1.1.2-8a

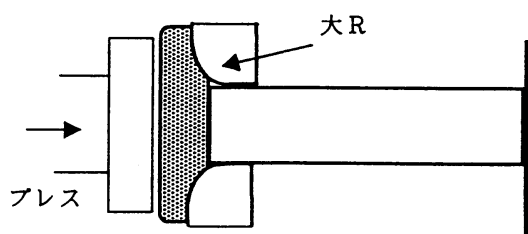


図 1.1.2-8b

た据込みが必要となる。この場合、プレス
のボルスターに、容易に取り付けられる装
置などが工夫されている。

その他の適用例

フランジの据込み法は、フラットなフラン
ジの他に、フランジの中央に凹みを成形し
たり、アール(R)の大きいフランジを成形し
たりすることもできる。

図 1.1.2-8 a、bにそれらを示した。フラ
ンジ据込み法(アプセット)の成否に、影響
を及ぼす因子は、第一に H/D であり、その
他では加熱温度、温度むら、またアプセッ
ト面になる素材の端面の直角度などである。
いずれの条件を満たさずにアプセットを行
うと、据込まれたフランジが、軸に対して

偏心した形状になる。こうした場合の対策として、縦
プレスで偏心を修正したり、再度据込むなどの方法を
採る。

1.1.3 展伸鍛造

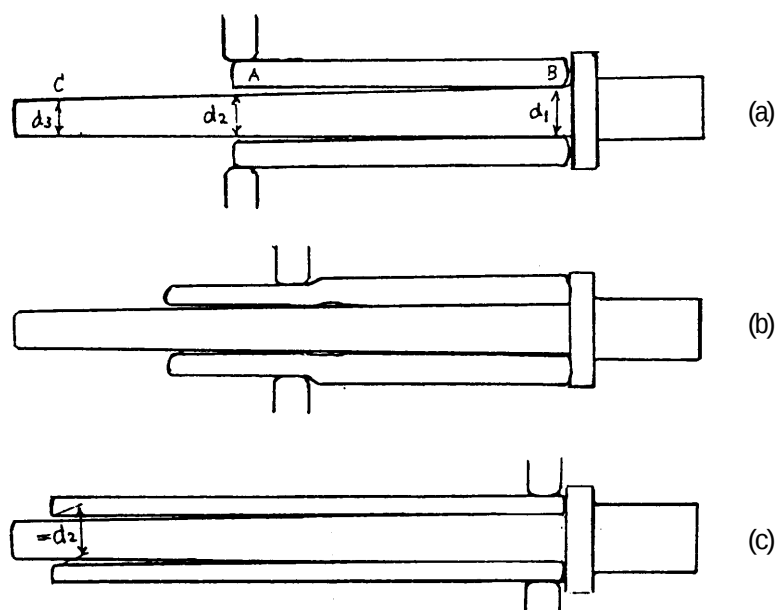
展伸鍛造は板状の製品を鍛造する場合に用いられる方法であり、厚みを圧縮して巾と長さを大きくする鍛造である。横断面積の減少が比較的少なく、鍛錬成形比の表現に不都合が生じるのでJISでは区別している。実際の鍛造場面では広幅の板や、一体クランク軸のアーム、吊りロッドの頭部などを巾出して鍛造する場合に用いられる。円板を横金（又は横目という）鍛造する場合にも現れる。展伸鍛造は当物を用いて行うか、あるいは通常の角鍛造の様に材料を横に把持して巾を伸ばして行く方法をとる。

1.1.4 中空鍛造

中空鍛造はパイプ状ないしはフランジ付中空材などを鍛造するのに用いる。その道具立てはテーパー付の芯金を孔に通して鍛造する他は、金敷きとしては実体鍛造の場合の上平一下V又は上下V金敷あるいは、タップ鍛造と同じである。ただし、中空鍛造は芯金面と上下の金敷面とで材料と接触し、これら接触部での摩擦力が実体鍛造に比較して大きいので摩擦損失と横広がりを少なくするため巾のせまい金敷を用いて鍛伸する。力は必要とするが、断面積は小さいので同じ圧下量ならば実体に比べて伸びは速い。

中空鍛造は、また内外両面から冷却される上肉が薄いので冷め易く、作業を手取り早く行う必要がある。中空鍛造で長物を鍛造する場合に用いる芯金は中心孔が明けられており、片方からパイプを押し込んで水を通して冷却する。パイプの先端側の中心孔には盲栓をしておき、水は奥から入り口へ確実に流れて芯金の全長を冷却する様にしておく。この冷却がないと、芯金が熱せられて鍛造力に敗けて凹む曲がる等の問題が発生する。

実際の中空鍛造を行うに際しては、穴明けを行った材料は多少偏心と肉厚不同が生じているので穴拡げ鍛造を行って、偏肉を直しながら芯金直径より幾分大きくなる様に穴を拡げておく。中空鍛造作業の重要な点は（特に長尺品の場合）1ヒートで所期の直径と長さを得る様にしかつ、その目的を達した時に芯金がすなりと抜けることである。材料が芯金に喰いついて抜けなくなる事がない様予めの計画をきちんと立てておく必要がある。中空鍛造の芯金には太い側に、錨をつけておくのが普通でありこの錨は、次の様な効果を発揮する。即ち図1.1.4 - 1は、中空鍛造のスタートと工程終了後の材料状態である。



(a) 仕上げ鍛造の開始

(b) 中間

(c) 終了時

図 1.1.4 - 1 中空鍛造のモデル

中空鍛造は、長尺品の場合は必ず、芯金直径の小さい方（A点）より鍛造をスタートしその部分で外径を仕上げながら順次B点方向に位置をづらしながら鍛造して行く。こうして鍛造されて仕上がった部分は、B点で鑄で抑えられているのでその方向には伸びることができず、一方的にC点に向ってのみ伸びる。鍛造位置は順次B点方向に移動しながら仕上げて行き、最後にB点を鍛造して終了する。

この時最初にA点で鍛造された材料はC点に達しており、材料の内径には長さC-B間に $d1$ マイナス $d2$ だけのテーパがついて鍛造されたことになる。C点の芯金直径は $d3$ であり、 $d1 > d2 > d3$ であるので、C点では材料の内径と芯金の間に $d2$ マイナス $d3$ だけの隙間を生じていることになる。

同様に、A→Bの各点で鍛造された材料はすべてC方向に伸びているため、材料と芯金の間には必ず何らかの隙間を生じているはずである。最後に鍛造されたB点（一金敷巾）だけは、材料は芯金に密着し、抜けない場合が多い。しかし、この一金敷巾だけを上下平金敷で押して材料の孔を多少拡げてやれば、芯金は容易に抜くことができる。

中空鍛造が終了したときに、芯金を抜くための孔拡げを必要とするか否かは、工具変換を伴うだけに大きな差である。

中空鍛造では、最後に芯金をスルリと抜くために、芯金の肌の維持、潤滑などの他に使用する金敷にも神経を使う。材料の芯金への密着度合いは、タップ、上下V金敷、上平一下V金敷の順に強固であり、上平一下Vの組合わせが最も抜き易く、抜くための段取替えも速い。芯金をうまく抜くには、作業を高温で終了することが最も重要である。材温が必要以上に低下すると材料の収縮により、折角できたスキマを埋めて長い範囲にわたって、密着が生じるので、抜き取りが容易ではなくなる。長尺中空材の場合、荒地から一焼きで仕上げるのが原則である。なぜなら、長さの途中まで仕上げて再加熱した場合、再加熱後は内径にスケールが付着し、芯金は元の位置まで入らなくなる。従って内径予定より小さくなり、その分余分の材料を必要とするからである。

一焼き一芯金が理想であり、細かいピッチで芯金が増えていることは大きいメリットになるが、芯金が少ピッチで揃っていない場合には、多少材料が無駄となっても同じ芯金を用いて2度焼き3度焼きをする場合もある。製品が短くてせいぜい金敷巾の2～3倍の長さであるならば、タップ等を使用してどんどん伸ばし、終わったら上下平金敷で多少拡げて芯金の抜き取りは容易である。中空鍛造は、基本的鍛造法の中でも最も難しい鍛造法であり、特に薄肉のものは熟練を要する。高合金材の中空鍛造は更に難しい。ハンマーでの中空鍛造は比較的少なく、プレス工場でも中空材の製造は丸棒からトレパンボーリングで行うという所もある。

1.1.5 穴広げ鍛造

穴広げ作業には、基本的に2つの作業方法がある。

（1）内径をポンチ等により広げて、外径寸法を大きくする方法

（2）外・内径の肉厚を薄くして、外径寸法を大きくする方法

この2つの基本作業方法に治工具等を組み合わせ、穴広げ作業を行いながら最終形状近い形状まで作業を行なう。代表的な作業工程および注意事項を下記に紹介する。

（1）ポンチングによる方法

ポンチングにより下穴をあけた製品に、下穴より大きいポンチを通して、内径を所定の寸法まで広げる。この作業時、外形を拘束しない場合は外径方向に（図1.1.5-1）外形を拘束した場合は高さ方向に（図1.1.5-2）、寸法の変化が生じる。

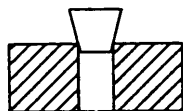


図 1.1.5-1

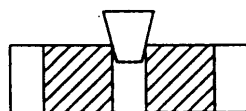


図 1.1.5-2

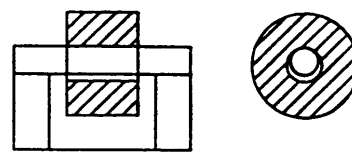


図 1.1.5-3

(2) 馬掛けによる方法 - 1

ポンチングにより下穴をあけた製品に芯金を通し馬台に乗せる。製品または芯金を回し加圧することにより、外・内径の肉厚を薄くして外・内径寸法を大きくし所定の寸法に広げる。この作業では、高さ方向の寸法変化は少ないので、馬掛け前または最終ヒート前に高さ寸法は決めておいた方がよい。また最終ヒート後変形の修正として高さ方向および真円度の調整を必ず実施する必要がある。(図 1.1.5-3)

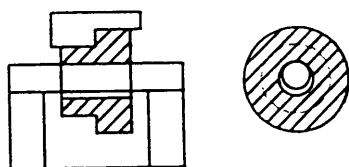


図 1.1.5-4

(3) 馬掛けによる方法 - 2

穴台などを利用し外径に段を付け下穴をあけた製品に芯金を通し馬台に乗せる。段を付けた上金敷または上金敷に治具を取付製品または芯金を回し加圧することにより、外・内径の肉厚を薄くして外・内径寸法を大きくし所定の寸法に広げる。この作業では前項と同様な注意が必要だが、この作業独特な現象としてラッパ状に変形する場合がある、この場合直ちに作業を休止し変形を止める作業を行う。具体的には小径側の外径が上金敷に触れない様製品を変形させてか

ら、作業を再開する。(図 1.1.5-4)

(4) やげん台による方法

下穴をあけた製品をやげん台にのせ、製品を回しながら外径角部を均一に加圧し角を取り(図 1.1.5-5)、その部分に当金を押し当て加圧する事により(図 1.1.5-6)、フランジのネック部の成形・内径・外径および高さ寸法を決める(図 1.1.5-7)。この作業でも、高さ方向の寸法変化は少ないので、やげん台にのせる前に高さ寸法は決めておいた方がよい。また最終ヒート後変形の修正として高さ方向および真円度の調整を必ず実施する必要がある。この作業方法は、機械のストロークが足りない場合・製品の高さ寸法が少ない場合などに有効な方法だが最近ではあまり利用されていない。

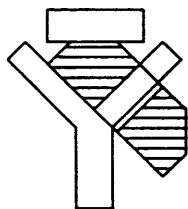


図 1.1.5-5

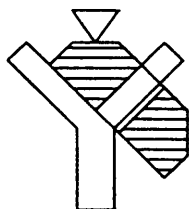


図 1.1.5-6

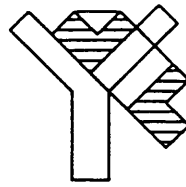


図 1.1.5-7

(5) 作業上の注意事項

ポンチングによる下穴を製品のセンターにあける、パスを利用しケガキが有効。

ポンチングによる内径のカブリの有無を確認し、発生した場合は速やかに取り除く。

馬台上ではいっきに加圧させず徐々に変形させ、真円度を常に保ちながら作業を進める。

高さ(長さ)の大きな製品では、芯金はあるべく太いものを使用し、たわみによる内径寸法の変化(中心付近の寸法が小さくなる)を防止する。

高さ(長さ)寸法の変化は少ないので、十分な重量計算がなされたものであれば作業中は外径寸法(内径寸法)だけの測定で、所定の寸法に仕上げる事が出来る。

作業中の外径寸法は、冷却時の縮み代を考慮して設定する必要がある。

1.2 補助的な鍛造方法

図 1.2 - 1 は補助的な鍛造工法の一覧である。これらの鍛造方法はそれ単独で行われることは少なく、基本鍛造法あるいはその他の鍛造工法と組み合わせて行われる工法である。以下にこれらの特徴・具体的な方法について解説する。

1.2.1 曲 げ

曲げは鍛造材や圧延材を所定の形状に曲げる鍛造方法である。曲げのための加熱は局部加熱が多い。曲げを主体として作られる鍛造品は、フォークリフト用フォーク、シャックル、フック、船用半組立クランク軸のクランクアームなどである。その他に板材や棒材に対しての曲げ加工は数限りなく存在すると云ってよく、大きいものでは压力容器用胴体の板曲げ鏡板の成形などがあるが、ここでは素材を鍛造によって得る製品の、曲げ加工を中心に述べる。

曲げ加工品の典型はフォークリフト用フォークであり、その特徴は曲げた対角線上の肉厚が、平板部分より厚く確保されていることである。通常板を曲げた場合、コーナーの肉厚は平板部より薄くなる。フォークはこの部分を予め厚くした山形を持った荒地を鍛造によって作るか、あるいは板を素材とする場合には、局部加熱と据込みによって肉厚を増した上で曲げ加工を行う方法を取る。(製品事例参照) 大型のシャックルは図1.2.1 - 1の様に、荒曲げた材料を外型と押型によって曲げ込むのが手っ取り早い。この場合、内Rが急に曲がって凸部ができない様、荒曲げの時点で注意しなければならない。

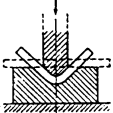
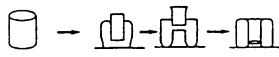
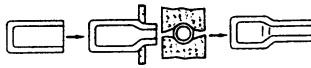
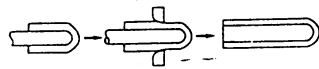
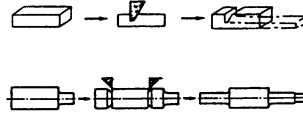
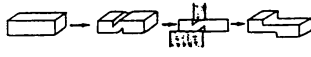
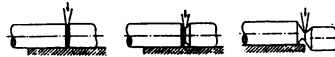
名 称	主 な 形 態	使用製品例・説明
曲 げ		型を使って曲げる場合が多い フォーク、シャックルなど
ねじり (捻り)		一体クランク軸
穴 明 け		中空品・リング品の穴明け
絞り・口絞り		シリンダー レジャーサーなど
しごき		パイプ、底付パイプなど
脊切り		段付品の段差の縁切り
ずらし (喰い下げ)		偏心品の鍛造、クランク軸の 捻り前荒地など
切断		材料の分断、端の切断

図 1.2-1 補助的鍛造法の一覧

船用半組立クランク軸の折り曲げ鍛造方法は、1.3項のクランクスローの型入れと対比して図1.3 - 2 に表したので参照されたい。この場合は製品が大きく局部加熱は困難であり、全体加熱で行われる。曲げ鍛造法の最大の特徴は、メタルフローを切断しないで所定の形状を得る点にあり、製品の信頼性が高い他、小さな鍛造力で成形することができる点である。

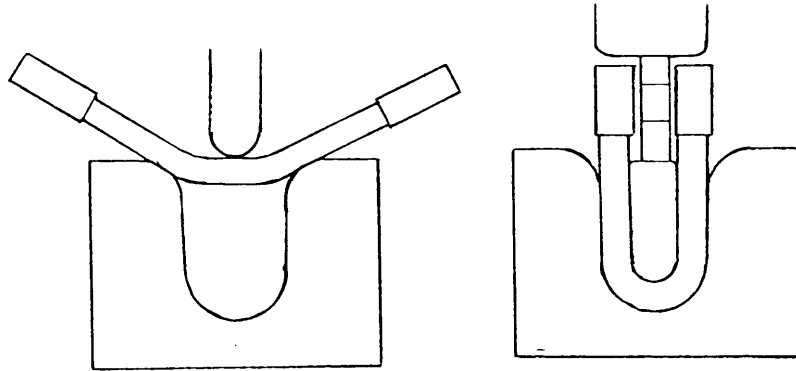


図 1.2.1-1 シャックルの曲げ

1.2.2 ねじり（又は捻り）

突起部が二つ以上あり、その突起の方向が 180° 以外のある角度をなしている場合、この突起を背切や鍛伸によって成形しようとする、材料を多く必要とする様な場合、突起部は 0° か 180° とした単純な形としておき、鍛造後に中間部をねじって、所定の角度にする方法である。多スローのクランク軸を自由鍛造で製造する場合に用いられる。図1.2.2 - 1 参照クランク軸の場合、捻りが必要な

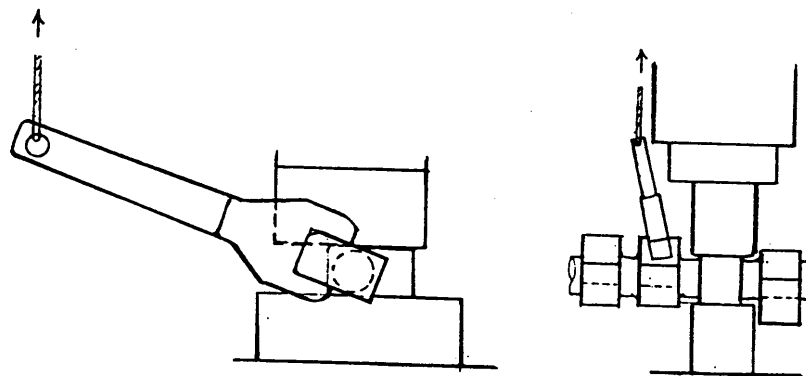
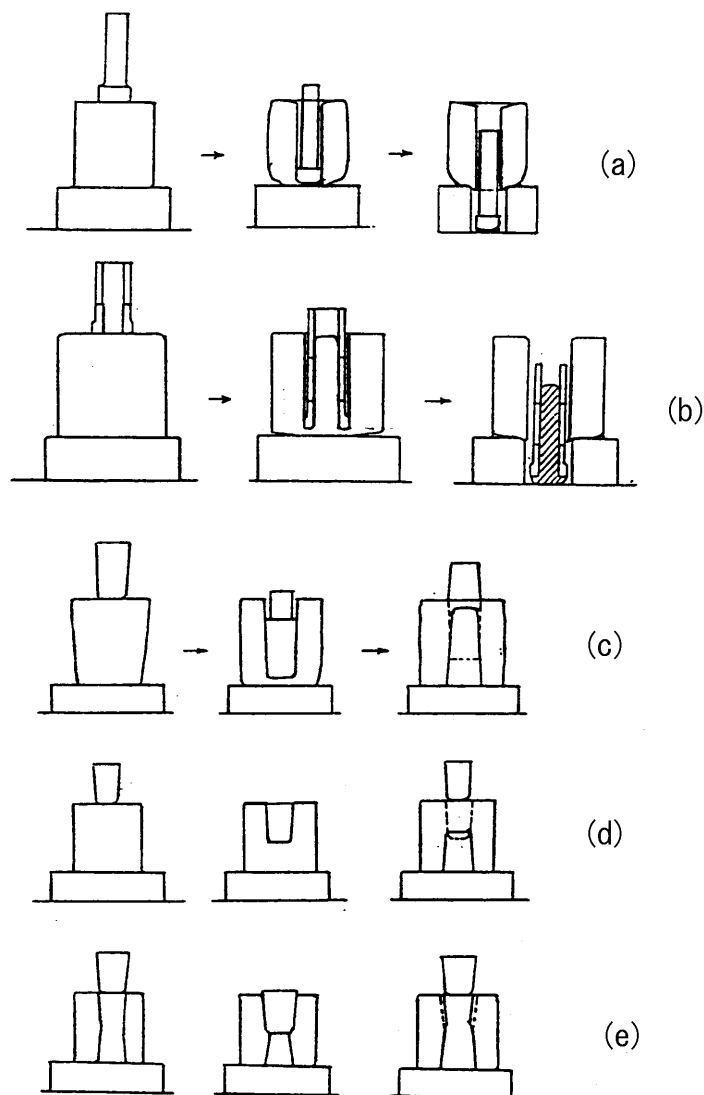


図 1.2.2-1 一体クランク軸の捻り

ジャーナル部を予め機械加工し、局部加熱又は全体加熱した荒地の一つのスローをプレス等で押さえ込み、隣のスローにスパナをかけて、クレーンでアームを巻き上げる方法で行う。自由鍛造品では通常ツイスターは使用することはない、小型品では色々な方法で工夫して捻り加工がおこなわれている。

1.2.3 穴明け

穴明けは中空材、リング材を鍛造する場合に必須の鍛造工法である。穴明けは図1.2.3 - 1 に示す様に様々な方法がある。穴明け用のポンチは、通常は孔を持たない実体ポンチであるが、大型製品では図1.2.3 - 1 (b)の様に中空のコアポンチを使用して、鋼塊中心部のV偏析部を抜き去ってしまう方法もある。この場合コアは元の素材とほぼ同じ長さで抜取られるので、予めコア分の重量を見



(a) 実体ポンチで抜き落とし
(b) コアポンチによる穴明け
(c), (d) 実体ポンチによる両方向からの穴明け
(e) ポンチによる穴拡げ

図 1.2.3 - 1 種々の穴明け法

なって穴が明く。

明いた穴は反転した上側が多少小さいので、主ポンチを再度反対側から押し込んでほぼ上下等しい径の穴とする。穴は高さの中ほどで多少くびれた形となるが穴の中でのバリ等の発生は少ない。

同図(d)は、一方から実体ポンチを70～80%の深さまで押し込み、同じポンチを抜取って、反対から押し込んで中央で目打カスを抜き取る方法である。この方法の場合同じポンチを反対側から入れるために、打ち込んだポンチを抜き取る必要があり、そのために潤滑剤が使用される。以前はポンチの先端に粉炭を置き、これをポンチで押し込むことにより石炭が材料の熱で乾溜されてガスを発生し、このガスが引火することによって起きる爆発力によって、ポンチが押し上げられることを利用して抜き取っていた。しかし、石炭の量や粒度で引火の早さが異なり上金敷の上昇のタイミングによってはポンチを弾丸の様に飛ばす危険があるため現在では使われていない。代わりにコークスや黒鉛等の引火性ガスをほとんど発生しない潤滑剤が用いられる様になって来ている。同図(e)は、既に貫通した

込んだ持込重量としなければならない。コアポンチの先端部はこのコアが押し込まれた状態で抜き落とされるので、通常すぐには再使用が出来ず冷却後にコアを切断して抜き取る。継ぎ足用のポンチは、内径を先端用より大きく外径を小さくしてあるのですぐに抜き取ることができるので、直後に再使用することができる。

実体ポンチによる孔明けでもいくつかの方法がある。同図(a)は、材料高さより長いポンチを使用して、一気に一方から押し込んで反対側に抜き落とす方法で、抜き落とす前にリング台の上に移動して行う。この場合の抜き落とされる材料の量はリング台に上げる前のポンチの押込量によって決まってくる。またリング台と、ポンチの隙間にバリが発生し後続の工程に支障がある場合にはガス等で除去する必要がある。同図(c)は、材料高さより短い実体ポンチを使用し重ね材を積み重ねて一杯まで押し込み、次いで材料を反転して別のポンチを逆据の形にして残った材料を抜き落とす方法である。

この時逆据の切り取り用ポンチの大きい側の径は、先に押し込んだポンチの先端部の直径と最後部の直径の中間にあり、先端部に近い直径とする。こうする事により、逆据ポンチは既に押し込まれた主ポンチを反対側から押し戻して抜き取る役目を果たしながら、その大径の先端が穴の同じ直径部分を通過した時に自由に落下できる状態と

穴に多少大き目のポンチを再度押し込んで穴を広げる方法であり、リング材や中空材の鍛造で芯金を通すために行われることが多い。

1.2.4 絞り、口絞り

絞りや口絞りは異径の管材接手やレシュースー、シリンダーやポンベの口元を成形する場合に用いる。厚肉材ならば鍛造プレスによって、上下V又は上平下V金敷を用いて口絞りを行うことができるが、この場合内外面は機械加工が前程となる。酸素ポンベは底付のパイプの一端を口絞りを行って製られるが、内面の機械加工は不可能なので絞り込みによって内面にシワを発生させない様に、専用材によって条件をきびしく管理しながら行われる特殊な技術である。

一般にプレス利用による絞り込みは口元よりも、中間部の方が絞り込み易い。その理由は、例えば上平下V金敷の接触する3点でパイプの中心に向かって押し込んだとき、接点と接点の中間部では材料に外にふくらもうとする力が働く。しかし、長さ方向の隣接する材料で直接押されていない部分のパイプは現形を保持しようとする力が強いので、押されない部分がふくらもうとする力をも拘束する。従って直接工具と接して、強い力で曲げられた部分のみが凹みとして残る。これを順次回転しながら行うことにより、径が絞れていく。中間部ならば絞り部の長さの両側でこの拘束力が働くので絞られ易く、口元では拘束は片側のみとなるので絞りにくいといえる。絞り込みはまた円筒の周の縮小を肉厚の増大と長さの伸びでバランスさせることになるので、伸びがどの程度になるかを予測しておく必要がある。

実行に当たっては絞り込んだ内面に発生したシワから更に繰り返しの曲げ伸ばしによって、クラックが発生し、かなり深部まで入るので十分注意が必要である。

1.2.5 しごき

しごきは工具によって内外径を拘束して、中空長尺の円筒状鍛造品を精度良く仕上げる方法である。この方法はマンドレル（内径拘束用工具）やコンテナ（穿孔時の外面拘束用の容器状工具）、リング（外径しごき用工具）等の専用の工具類が必要なので、工具製作費が製品数や歩留向上で十分に費用回収できるか、事前の検討が重要となる。また、しごきによる熱間形成は、金敷を使った他の鍛造法に比べより高温で作業が終了するケースが多いので、熱収縮量が大きい点に注意して熱間仕上げ寸法を決

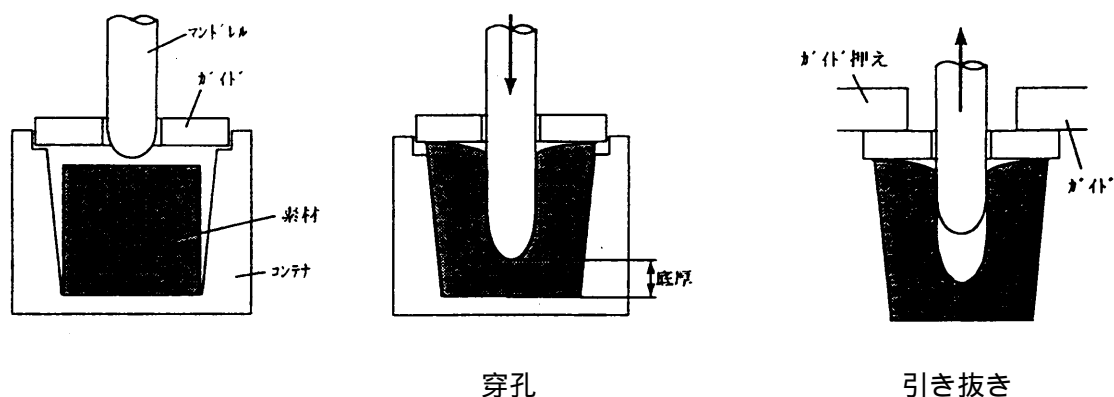


図 1.2.5-1 穿孔作業概要

める必要がある。

以下タペプレスでの作業を想定して説明する。

しごきでは、まずコップ状の底付厚肉の円筒状素材をつくる。充分に加熱した中実素材を、素材外径よりいくらか大きい内径で、素材長より大きい深さを持った頑丈な容器（コンテナ）に入れ、マンドレルより少し大きい内径を持ったガイドをコンテナの上端部に嵌め、プレスクロスヘッドに固定し

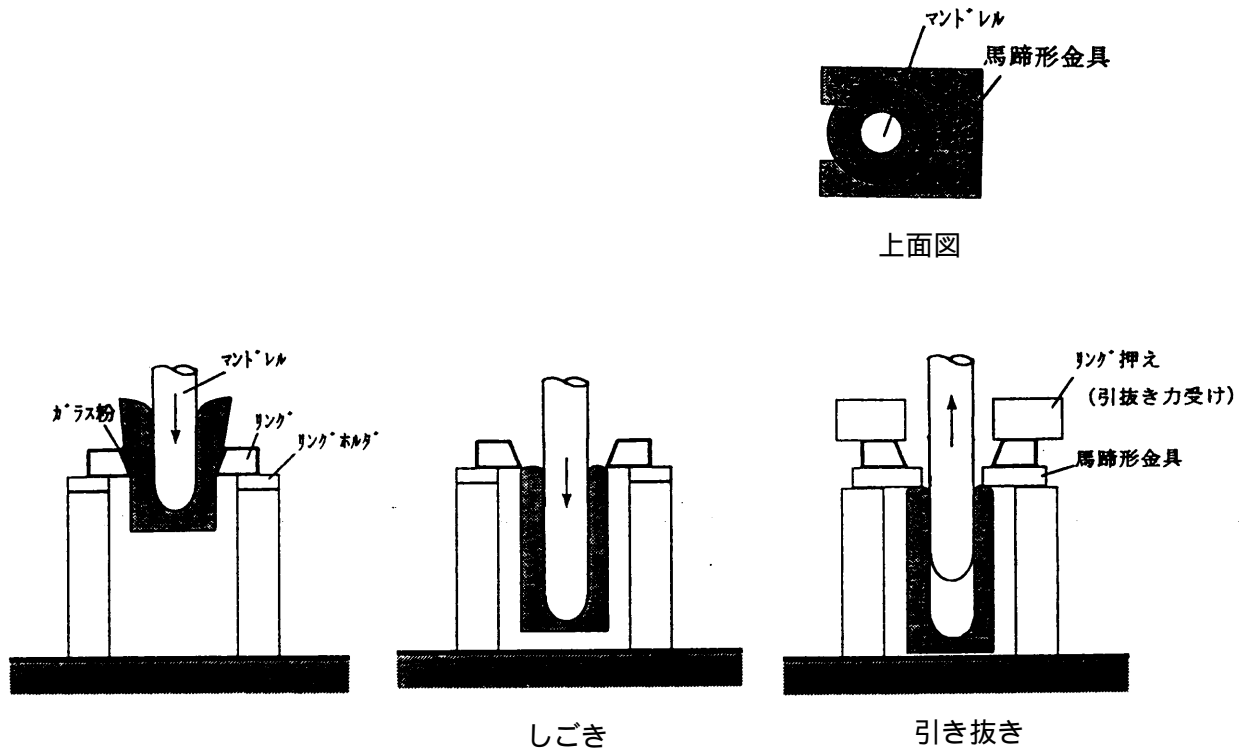


図 1.2.5-2 しごき作業概要

たマンドレルをこのガイドを通して、素材へ圧入して穿孔する。ストローク / 穿孔深さは素材底厚を適量残せるよう、予め決めておく。底は後工程のしごきの荷重を受け持つ役割がある。

穿孔後マンドレルを上昇させると、素材はマンドレルに焼嵌め状態となっているので、マンドレルと共に上昇し、容器から取り出せる。またガイドを何らかの方法で固定し、下方からの押し上げ力(引き抜き力)を受けて素材を押さえ込むことで、マンドレルを素材から引き抜くことができる。

容器からの取り出しや、マンドレルの引き抜きを容易にする手段として下記のものがあるが、できれば全て実施する方がよい。

- ・コンテナは底から上端部に向かって、マンドレルは先端から取り付け側に向かって径が大きくなる様、適当なテーパを付ける。
- ・コンテナ、マンドレルとも適当な温度に予熱しておく。
- ・コンテナ内径面、マンドレル外径面に黒鉛等の潤滑剤を塗布しておく。

次に穿孔により得られた厚肉円筒素材を、穿孔に引き続きもしくは再加熱後、予熱し、潤滑剤を塗布したしごき用マンドレルを素材内径に挿入し、素材外径より小さい内径を持ったリングをリングホルダーに置き、素材をリングに圧入することで、しごき(外径縮小)を行う。素材とマンドレルの間の摩擦を軽減するために潤滑が必要で、通常、ガラス粉末潤滑剤を熱間の素材外径面に塗りつける等して、ガラスが溶けた状態でしごきを行うと、スムーズな作業ができる。

マンドレルやリングを交換しながら、また必要により素材を再加熱しながら、狙いの熱間寸法に仕上げる。1回のしごきで素材断面積をどの程度縮小するかは重要な点である。縮小率が小さければ素材の外周表面のみが伸び、大きすぎると底抜けや素材のちぎれを生じる。いづれにしても、作業条件・工具形状に応じた適正な縮小率を、ある程度試行錯誤で予め求めておくことが必要である。

最後にしごき後にマンドレルを素材から引き抜く作業では、しごき用リングを素材の押さえに兼用することはできないので、馬蹄型の金具を素材と最終リングの間に差し込み、この金具で引き抜き時の反力を受けて慎重にマンドレルを引き抜き、作業を完了する。

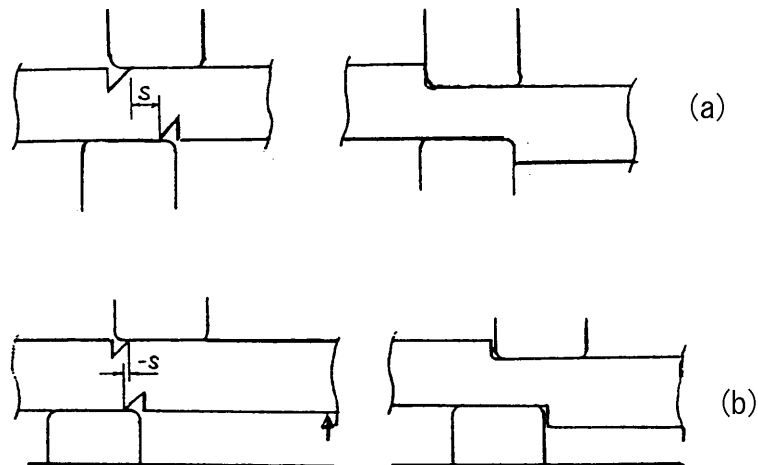
タテプレスでしごきを行う場合、最も注意が必要なのがマンドレルを素材から引き抜く際の素材押さえ / 反力をどの様にして受けるか、であり、設備・工具面の事前の充分な検討が必要である。

1.2.6 背切り

背切りは実体材あるいは、中空材の外側に段をつけて鍛造する場合に材料表面の縁切りのために三角鑿（通称三角と呼んでいる）を押し込んで行う。三角は通常ストレートであり、平の上金敷でこれを押す。下は広巾の平金敷ないしは、V金敷あるいはタップ等で材料を支える。下の支え面積が小さすぎると、この面が凹んで直径や厚みがマイナスになることがあるので注意を要する。段差が大きく三角を深く入れる必要がある場合には、上下とも同じ寸法の三角を用いて背切るとよい。背切の三角の角度は、 $90^{\circ} \sim 87^{\circ}$ 程度がよいとされている。深く背切って段差の大きい鑊を作る様な場合三角の傾斜面からの圧力により、三角が鑊側に寄ろうとする働きをするので鑊の厚みが薄くなり勝ちであるので、注意を要する。角材や板材などの平面の背切りでも深く入れる。場合は同じ現象が発生することがある。段差が小さい場合には、表面の縁切り程度に丸棒や半丸棒を入れることもある。

1.2.7 ずらし（喰下げ）

隣合う位置で偏心した段をつけようとする時には、ずらし（又は喰下げとも云う）を行う。ずらしは角材について行うことが多い。材料の伸びを見込んで互いに反対側から三角を入れておき、金敷をずらして圧下する。上下金敷と材料のラップ巾が即ち背切の終点同志の距離が大きいほどずらしは容易である。Sがマイナスの場合材料には、傾けようとする力が働くので遠い先端部でこの傾けようと



(a) S がプラスのとき (b) S がマイナスのとき

図 1.2.7 - 1 ずらし（喰い下げ）

する力を支えてやる必要がある。この支えを順次低くしながら、ずらしを行っていくことになる。このずらしと捻りによってクランク軸が鍛造できる。

1.2.8 切断

鍛造時の切断は平鑿によって行う。

角材の切断は上下平金敷を用いて最初に片方から6～7分通りを入れ、反転して残りを切断する。角が大きい場合予め量サイドに溝をつける様に鑿を入れておき、この溝に沿って、上下から同じ鑿を入れて切断する場合もある。

丸材の鑿切断は、下はタップなどで支え材料を廻しながら鑿をいれて行き一週して芯部だけつながった材料にもう少し高目の鑿を上下よりいれて切り放す。

1.3 型・穴台を用いた鍛造法（型入れ鍛造）

自由鍛造界でも比較的簡単な型や孔台を用いて円板類、フランジ類、ノズル付フランジ、フランジ付シャフトなどを鍛造することはしばしばある。

これらの例を図1.3 - 1に示す。これらは、現在使用されている方法を網らしているとは言えず対照の製品に応じ絶えず様々な試みが行われている。ただし、本格的な型鍛造と異り原則的には全面機械加工により仕上げるものである。

図1.3 - 2 (b)は船用クランク軸のクランクアームの型鍛造法を、曲げ加工法と対比して示したものである。型入鍛造は完全な自由鍛造では成形が困難な形状を、より容易に鍛造することができる他、打上りの精度が高い上に工程が短くてすむというメリットが大きい。型の製作費が必要になるので、コスト上のペイラインをよく見極めて採用を検討しなければならない。

工 程	鍛 造 略 図
1 鋼塊	
2 腕口取角押し	
3 背切り	
4 翼延し切 断	
5 喰下げ	
6 折曲げ	
7 仕上げ	

(a) 折り曲げ鍛造法

行 程	鍛 造 略 図
1 鋼塊	
2 荒押し切 断	
3 据込み角押し	
4 型入れ仕上げ	

(b) 型入れ鍛造法

図1.3 - 2 大型クランクアームの鍛造法

	名 称	主要形態
(a)	単純円板	
(b)	ノズル付フランジ (部分型入れ)	
(c)	ノズル付フランジ (総型入れ)	
(d)	ノズル付フランジ (ノズル押出し 穴明)	
(e)	底付き臼形状	
(f)	ノズル付フランジ (重ね穴型穴明け)	
(g)	鋳付シャフト	

図 1.3 - 1 穴型による各種型入れ

1.4 鍛造加工の基礎

1.4.1 鍛造加工の歪と応力と変形

図1.4.1 - 1は、円柱を据え込む場合の各部の歪を表したものである。 の区域は金敷との接触による摩擦力によって、変形が妨げ

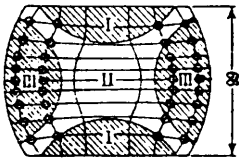


図1.4.1-1 円柱の据え込み時の断面の歪分布¹⁾

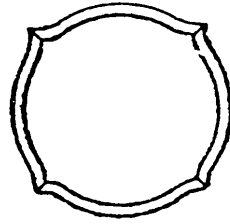


図1.4.1 - 2 据え込んだ角材の平面図

られた部分、 の区域は最も多く歪を受ける部分、 の区域は最初は一様に圧縮されるが、据え込みが進むにしたがって の区域の材料の横への張り出しによって外に膨らむ部分で、据え込み量が多い場合、外表面では縦方向に伸ばされることもある。

図1.4.1 - 2は角材を据えこんだものを上から見た図で、角の平面が膨らんで円形に近くなっていることがわかる。

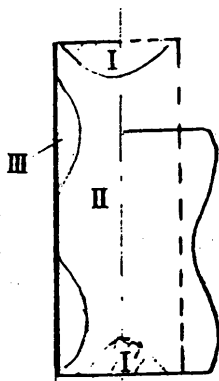
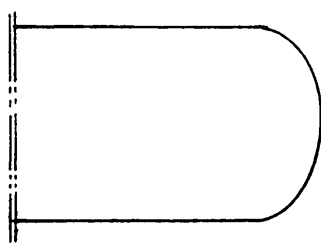


図1.4.1 - 3 長い円柱の据え込み時の歪分布と変形

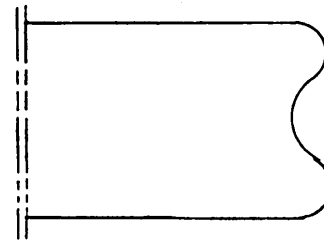
図1.4.1 - 3は高さの高い円柱の据え込みの場合で、 の分布が異なり、最初は高さの中央部で の横への張り出しが少ないので、ある高さになるまでは中央部の変形が少なく、高さが低くなるにしたがって、中央部の膨らみが起こってくる。限度を超えて高径比 (H/D) が大きいと、座屈・くびれ等が生じ、据えこみがうまくいかなくなる。この限界の H/D が2.5～3という訳である。

実体鍛造で、角材や丸棒を鍛造する場合に、その変形過程で常に観察されるのが、材料の端面の形状の変化である。十分な容量の鍛造機で金敷のかけ幅を十分に取った場合、材料の端面は図1.4.1 - 4 (a)のように中央が凸状になる。鍛造機の容量が

不足であったり、極端に狭い金敷を用いるか、あるいは金敷のかけ幅が狭い場合、(b)の様に端面中央が凹状の形となる。



(a)端面が凸の鍛造品



(b)端面が凹の鍛造品

図1.4.1 - 4 打ちあがりの端面形状

このような現象は、角材を圧下した場合の側面の形状としても、一回毎の圧下の度に多少の差はあれ、必ず発生しており、作業中の現象として観察される。ただ、側面の場合は次にその側面が圧下され、平らに均されるため、出来上がった鍛造品ではどのような変形過程を経てきたかを見ることはできない。それに引き換え、端面の場合は出来上がり直前に据え込みで均されない限り、この現象の名残を見ることができる。

端面が凸になるような鍛造品は、金敷と材料表面の摩擦によって生じた上下のコーンの先端が近いが、あるいはぶつかりあっている場合に、中心部が表面よりも多く圧縮変形を受けて、押し伸ばされ

た結果として生じる。一方上下のコーンが離れすぎている場合端面は凹となる。凸となるか凹となるかは応力の分布の異いである。

またこうした現象を観察できるのは端面のみで、両端以外の長さ中央の大部分では見る事ができない。観察できるか否かは両隣に材料があるかないかの異いなのである。

鍛造中の材料の内部の応力のあり方をモデル的に実験する方法として、熱間の鋼とよく似た変形挙動を示すプラスティシンの用いていくつかの試みがなされているので、その一例を紹介し応力と変形との関係を説明する。

図1.4.1 - 5はプラスティシンの角材モデルに、3方向の応力を測定するための圧力センサーを埋め込んだ図である。このモデルを用いて、金敷幅と材料との比(w/h)と圧下率(r)を変えながら圧下時の発生応力を測定し、グラフ化したものが図1.4.1 - 6である。長さ(x)方向の応力に着目すると w/h が0.3では中心部応力は25%まで圧下してもなおプラス(引っ張り応力)となっている。 w/h が0.6の場合では圧下率が約5%までは圧縮、それ以上20%まではプラスとなり、これを超えるとようやくマイナス(圧縮応力)となる。

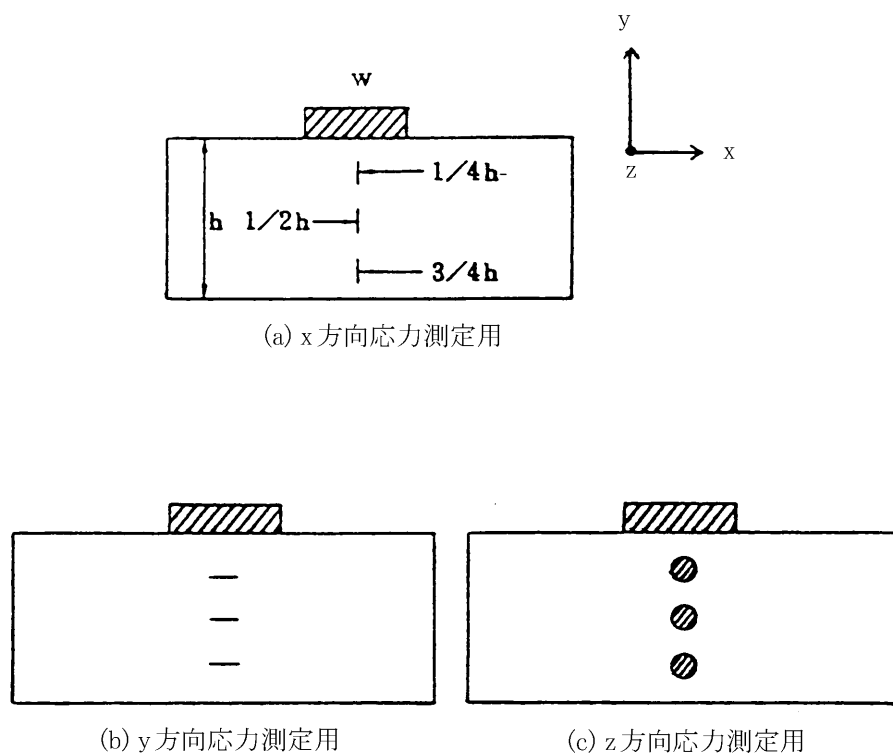


図1.4.1 - 5 プラスティシンの角材モデルに埋め込んだ圧力センサーの位置と方向³⁾

w/h が0.95では中心部の長手方向応力は常にマイナス(圧縮)である。

z (幅)方向応力も w/h が小さい時、プラスである場合が多い。

y (圧下方向)はすべての場合にマイナス(圧縮)応力が働いている。

このような内部の応力分布は鍛造中の材料の変形の様子をよく表しているといえることができる。つまり、端面の中心部が凸になる場合とは、 x 方向の中心部応力が圧縮応力となる場合である。反対に、端面が凹になるのは同応力が引っ張りの場合である。

長さの中央部でも端部でもこの応力分布は変わらないが、端部のみに凹凸の変化が見られるのは、隣り合う片方の材料が存在しないからである。端面が凹になる条件下では長さの中央寄りでは、隣り

合う表面付近の材料の伸びによって中心部の材料も引っ張られて変形し、一見均一な応力下で加工されているように見える。しかし、端面では最早引っ張ってくれる片側の材料がないから中心部で凹状の形となる。

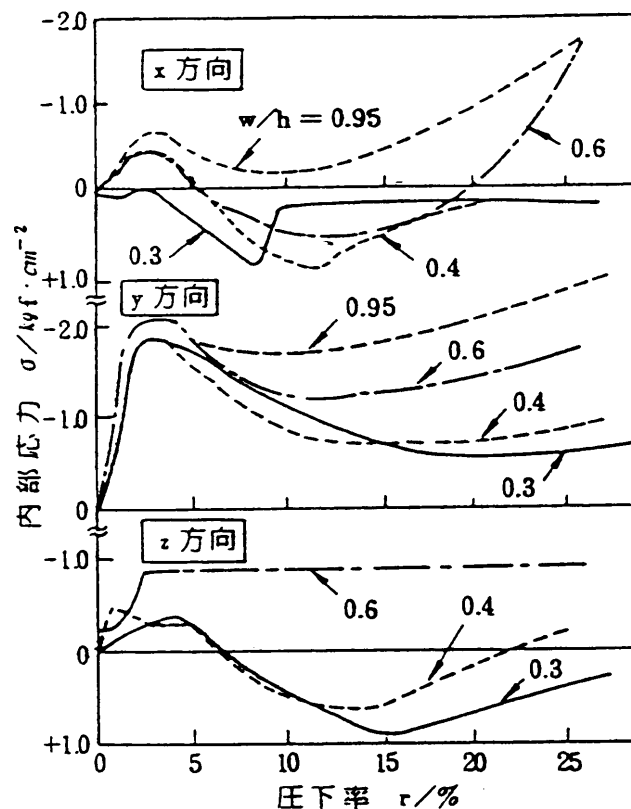


図 1.4.1 - 6 プラスティシン実験による角材中心部の三方向応力³⁾,
x:長さ方向, y:圧下方向, z:幅方向, w/h 金敷幅比, +:引張り, -:圧縮

端面凸の条件下では、中心部に圧縮、表面部に引っ張りの応力が働いていて、端面では片側の隣り合う材料がないため、中心部は押し出され、表面部は伸びが遅れる。

実際の鍛造では全断面が均一な温度で加工されることはほとんどなく、表面付近は放熱によって冷却され変形しにくくなるため、端面凸を助長する傾向となる。

以上のように端面凸の状態の鍛造品は、中心部を圧縮応力によって加工されているので、ザク疵などの圧着が増す方向となる。巷間、端面形状が凸の鍛造品は品質が良いとされるのは、比較的性状の良い中心部により多くの鍛造効果を与えられているのを言い当てていると言うことができる。

1.5 鍛錬成形比⁴⁾⁵⁾

1.5.1 鍛錬成形比の表し方

鍛錬成形比については、JIS G 0701 に次のように規定されている。

(1) 各種の鍛錬作業により鍛錬された鋼材の鍛錬成形比は、3方向のひずみ中、常に最大ひずみの方向の変形比で表示する。

(2) 鍛錬成形比の表示方法は、原則として鍛錬作業の種類を、定められた記号で添記して、工程に明瞭に記載する。

鍛錬作業の種類および鍛錬成形比の表し方に関する JIS の規定を要約して図 1.5.1—1 に示した。実際の鍛造では、いくつかの鍛造法を組み合わせで行うことが多く、その場合には鍛造工程の順に表示する。一例を図 1.5.1—2 に示した。

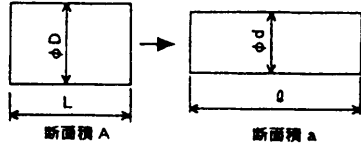
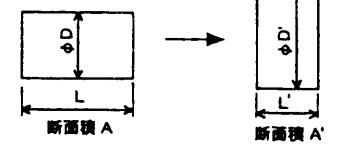
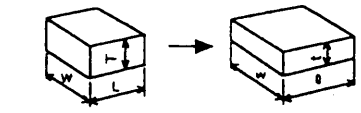
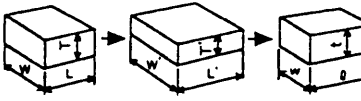
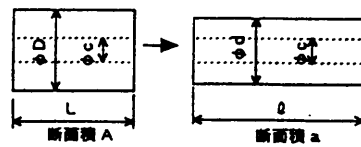
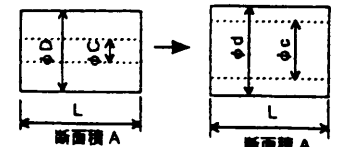
	工 程 図	鍛錬成形比	記号	表示例
実体 鍛錬		$\frac{A}{a}$ または $\frac{l}{L}$	S	2 S
掘込 鍛錬		$\frac{1}{\frac{L'}{L}}$	U	$\frac{1}{2} U$
展伸 鍛錬	イ) T 方向に圧縮し、 $\frac{b}{L} > \frac{w}{W}$ とする。 	$\frac{1}{\frac{T}{t}} \left(\frac{l}{L} \right)$	F	$\frac{1}{2} (1.7) F$
	ロ) 2 方向よりUの展伸鍛錬を含めた場合 はじめの展伸で $\frac{L'}{L} > \frac{W'}{W}$ とし、次にW方向に圧縮する。  (1) $\frac{b}{L'} > \frac{t}{T'}$ の場合 (2) $\frac{b}{L'} < \frac{t}{T'}$ の場合	$\frac{1}{\frac{T}{t}} \left(\frac{L'}{L} \right), \frac{1}{\frac{W}{w}} \left(\frac{l}{L'} \right)$ $\frac{1}{\frac{T}{t}} \left(\frac{L'}{L} \right), \frac{1}{\frac{W}{w}} \left(\frac{t}{T'} \right)$		$\frac{1}{2} (1.7) F, \frac{1}{2.2} (1.8) F$ $\frac{1}{2} (1.6) F, \frac{1}{2.2} (1.9) F$
中空 鍛錬		$\frac{A}{a}$ または $\frac{l}{L}$	M	3 M
穴詰め 鍛錬		$\frac{D-C}{d-c}$	E	2 E

図 1.5.1-1 鍛錬成形比の表し方、JIS の要約

この鍛錬成形比の表示を見れば、およそどのような鍛造が行われたかが分かる。しかし一方ではトータルとしてどれだけの加工が行われたかを見るには不便である。そこで、次項では鍛錬成形比の意味や、計算について解説を加える。

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

まず 3 方向のひずみのうち最大となる方向とはどういうことであろうか。今、図 1.5.2—1 のように、長さ L_0 の材料を L まで掘込んだ場合ひずみは

$$(L_0 - L) / L_0 = 0.6 \quad \dots \dots \dots$$

実際の鍛造工程が図 1.5.2—2 のようにいくつか分割し、各ステップ毎のひずみを計算し、その総和を求めると 式 のようになる。

$$(L_0 - L) / L_0 + (L_1 - L_2) / L_1 + (L_2 - L_3) / L_2 \quad \dots$$

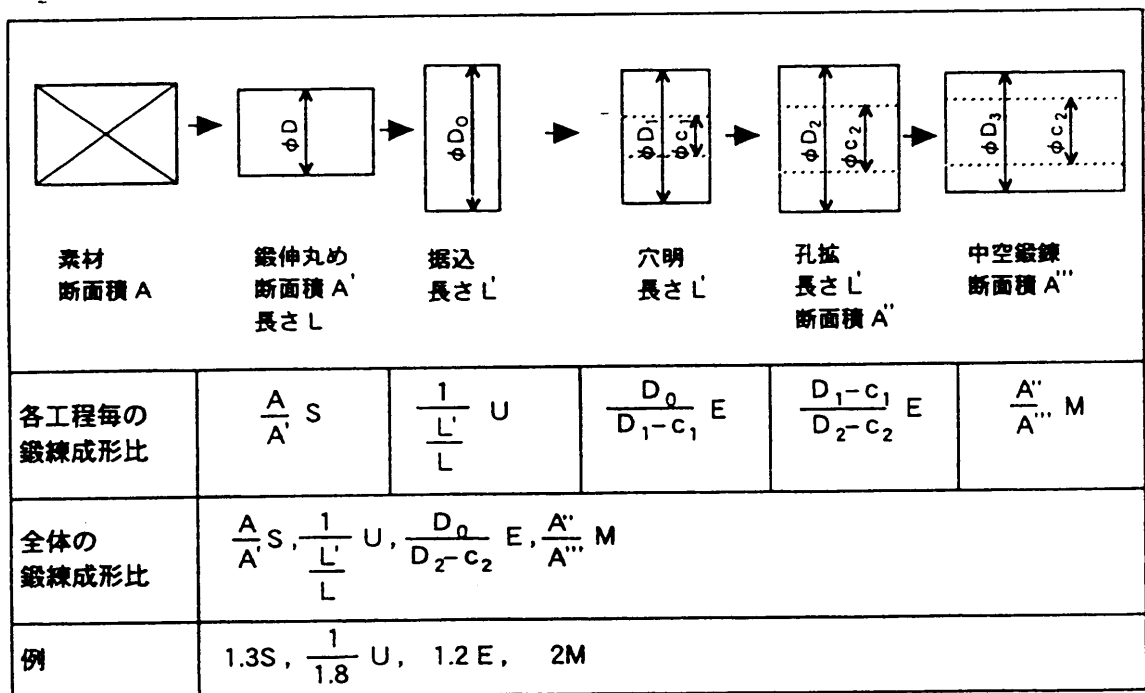


図 1.5.1—2 鍛錬工程と鍛錬成形比の表し方

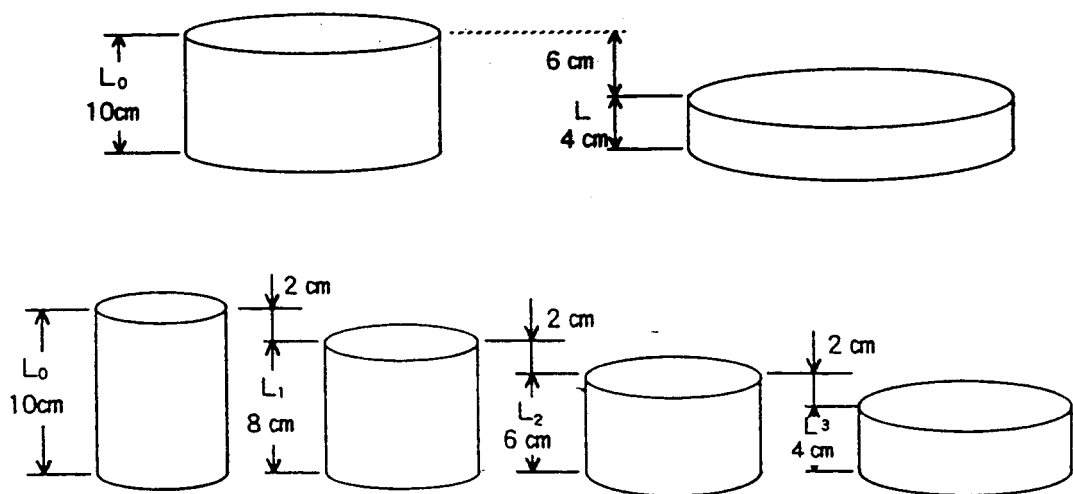


図 1.5.2—2

図 1.5.2—1

これは、 $2 / 10 + 2 / 8 + 2 / 6 = 0.2 + 0.25 + 0.333 = 0.783$ となり、 の値と異なる。

そこで、 のひずみを公称ひずみ ε_c といい、 のように全体のひずみを限りなく多くの小区間に分割し、その区間ごとのひずみをすべて加えたものを真ひずみ ε_t といい、これを図で表すと図1.5.2—3のようになる。図1.5.2—3のように小区間に分割してひずみを加えることを数式で表すと

$$\varepsilon_t = L_0 / L_0 + L_1 / L_1 + L_2 / L_2 + L_3 / L_3 + \cdots + L / L \quad \text{となり、これは}$$

$$\varepsilon_t = \sum (L / L) = \int_{L_0} dL / L \quad \text{であり、}$$

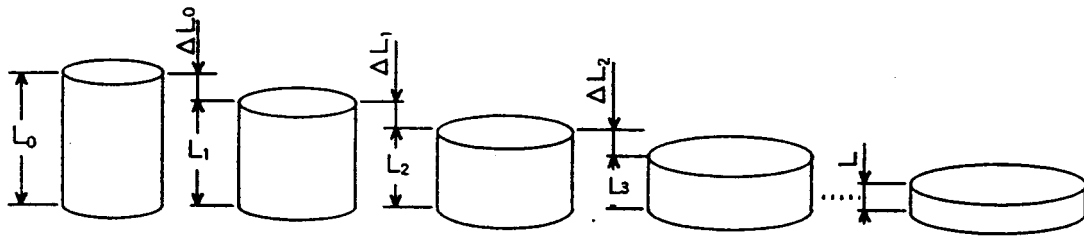


図 1.5.2—3

定義より $\int_{L_0} dL / L = \ln(L_0 / L)$

すなわち、図 1.5.2—1, —2, —3, のように、据えこまれた材料の軸方向の真ひずみは、

$$\ln(L_0 / L) = \ln 0.4 = 0.916 \dots \dots \dots$$

である。ひずみは軸方向・半径方向・周方向の 3 方向に分けて考えることができ、ひずみを与えた前後の体積は不変であるから、

$$\varepsilon_L + \varepsilon_R + \varepsilon_T = 0 \dots \dots \dots$$

である。

丸材の場合半径方向と周方向のひずみは常に等しく $\varepsilon_R = \varepsilon_T$ である。故に、 $\varepsilon_L = -(\varepsilon_R + \varepsilon_T) = -2\varepsilon_R = -2\varepsilon_T$ である。

符号は、プラスが伸びの方向、マイナスが圧縮の方向としているので、絶対値を取ると、 $|\varepsilon_L| = 2|\varepsilon_R| + 2|\varepsilon_T|$ であり、据えこみは軸方向、すなわち圧縮方向のひずみが最大となる。これにより、据えこみの場合の鍛錬成形比は、軸方向の長さの変化比で表すことを説明できる。同様に、実体鍛造および中空鍛造による鍛伸の場合は、長さの変形比(言い換えれば断面積の変化率)で、穴拡げ鍛造の場合は、肉厚の変形比で表すこととなる。

さて、各種の鍛造法の組み合わせで鍛造された材料の、トータルの加工率をもとめるには、各ステップ毎に最大となる真ひずみを求め、この絶対値を全部加えた上で、その自然対数の真数を求めればよさそうである。図 1.5.1—2 の鍛造工程を JIS 表示の鍛錬成形比「1.3S, 1/1.8U, 1.2E, 2M」の自然対数を取り、

$$\ln 1.3 + |\ln 1 / 1.8| + \ln 1.2 + \ln 2 \dots \dots \dots \text{とすると、}$$

$$= 0.262 + 0.588 + 0.182 + 0.693 = 1.725 \text{ である。自然対数の定義から } e^{1.725} = 5.61$$

となり、対数の足し算は真数の掛け算に等しいから、

$$1.3 \times 1.8 \times 1.2 \times 2 = 5.61 \dots \dots \dots \text{としてもよい。}$$

以上の説明から、各ステップ毎の変形比をすべて掛け合わせることによって、全鍛造工程でどれだけの加工を行ったかを、計算することができる。ただし、これは仕様で鍛錬成形比を決められているような場合に、判断の根拠とする程度にとどめるほうがよい。

参考文献

- 1) 金属工学講座 6、加工編 「塑性加工」 朝倉書店 1960 年
- 2) 一部引用 鍛造(今日と未来) 社団法人全日本鍛造協会 1998 年
- 3) 田村 至 学位論文 1982 年
- 4) やさしい塑性変形 全鍛会報 NO.107 1997 年 1 月
- 5) JIS ハンドブック 鉄鋼 1999 年版

2. リングローリング鍛造

2.1 リングローリング鍛造とは

環状鍛造品を作る方法の1つとして、肉厚を徐々に減少させることにより、外径を増大させ所定寸法にする鍛造法がある。型内で一挙に成形する型鍛造と異なり、一種の局部鍛造で、これを間歇的と連続的に行う方法である。前者は、古くから使用されている馬掛け法である。(図2.1-1)この方法は手作業のため、生産性や寸法精度において非常に劣るため、特別な場合以外に行われなくなり、現在では、油圧圧延ローを用いて成形する後者の方法であるリングローリング鍛造が殆どである。

(図2.1-2)に2個のロールを使用したリングローリング鍛造の基本概念を示す。JIS B 0112によると、リングローリングとは“リング状の材料を数個のロールを用いて、半径方向の厚みを減らすことによって、より大きな直径の輪に成形する鍛造”と定義されている。

米国鍛造協会の定義では、“リング状の材料を複数個のロールを用いて、半径方向の厚さや軸方向の高さを減らすことによって、より大きな直径の輪にすると同時に断面形状を成形する。”という内容になっており、最近では、リングローリング鍛造は直径を大きくすると同時に内外径面に溝や凹みの成形をする加工方法と定義されるようになってきている。

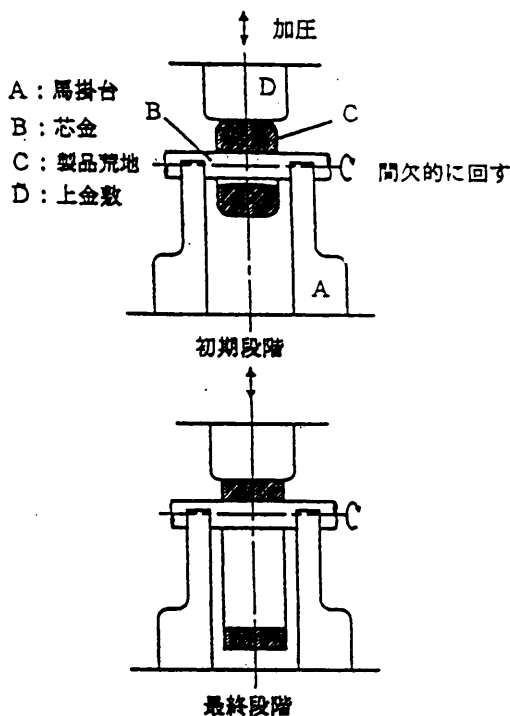


図 2.1-1

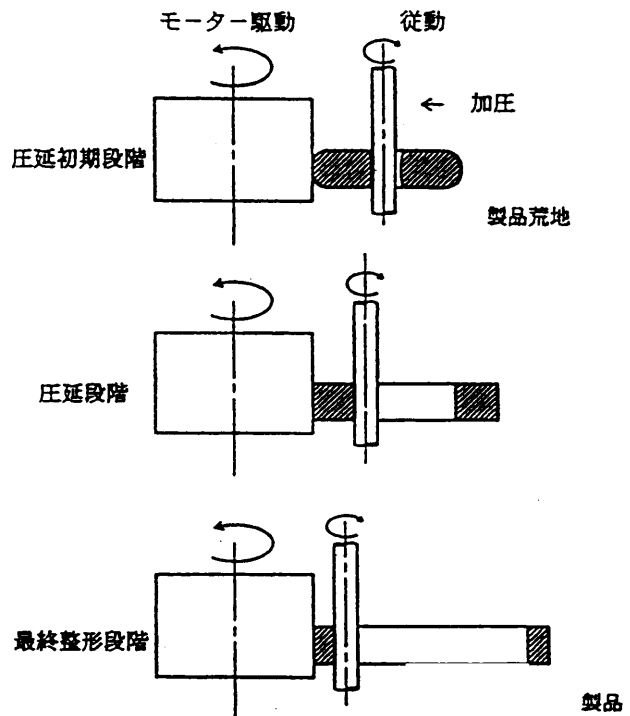


図 2.1-2

2.2 リングローリング鍛造の歴史^{1, 2)}

最初のリングローリングミルは、1842年にイギリスのManchesterで製作されたと云われている。以後、ヨーロッパでは鉄道の発達に伴い急速に発展し、特に、鉄道用のタイヤのマスプロダクションにドイツのFried Kruppはタイヤミルと呼ばれるリングロールミルの開発に尽くした。従って、当初はタイヤ圧延が主であった為、現在でもタイヤミルと呼ばれるケースもある。

1930年に入ると、ボールベアリングの需要増に伴いタイヤミルと異なった機構のリングミルが開発された。ドイツのワグナー社製偏芯ターンテーブルミルや(図2.2-1)日本の斎藤式2枚主ロール式ミル等がある。(図2.2-2)

しかし、現在の主流はラジアルキシャルリングミル(RADIAL-AXIALRING MILL)と呼ばれる形式の

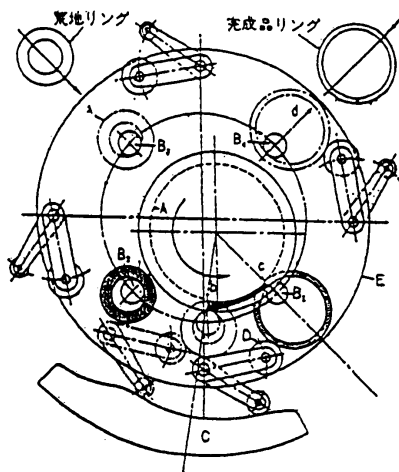


図 2.2-1 偏心ターンテーブル (ワグ)

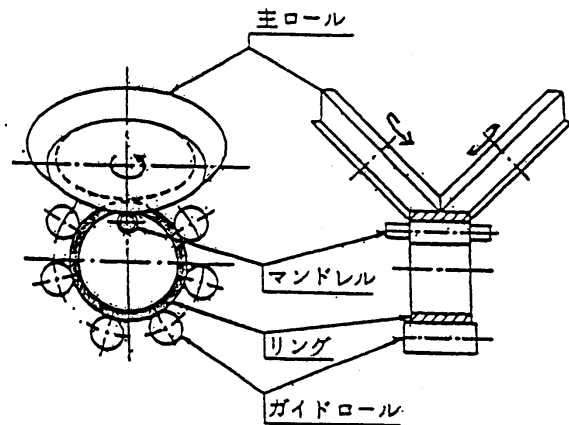


図 2.2-2 斉藤式リングミル

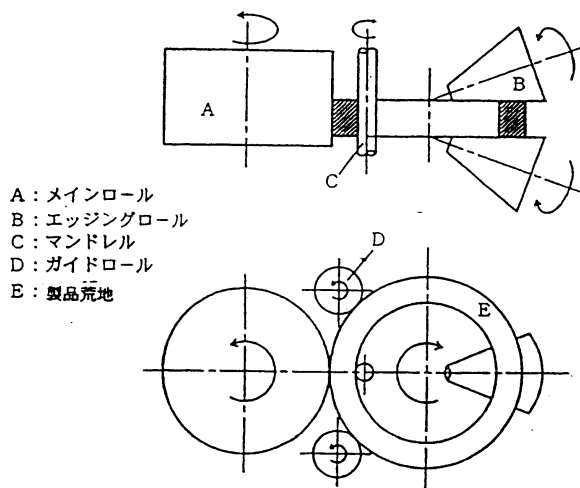


図 2.2-3

ものが殆どである。(図 2.2-3)

更には、1950年代半ばから建設機械及び産業機械設備用の大型ベアリングやギヤならびにフランジの需要増大によりミルの改良が進み現在では油圧サーボ機構とD.C.モータを駆使したコンピュータ制御の自動運転ミルの普及が著しい。

WROUGHT IRON からチタン、チタン合金、インコロイ、インコネル、ニモニックと云った超合金や黄銅、アルミ合金等の非鉄金属も可能となって来た。

2.3 リングローリングミル鍛造工程

前述したように、肉厚を減少して外径を大きくする鍛造法がリングローリング鍛

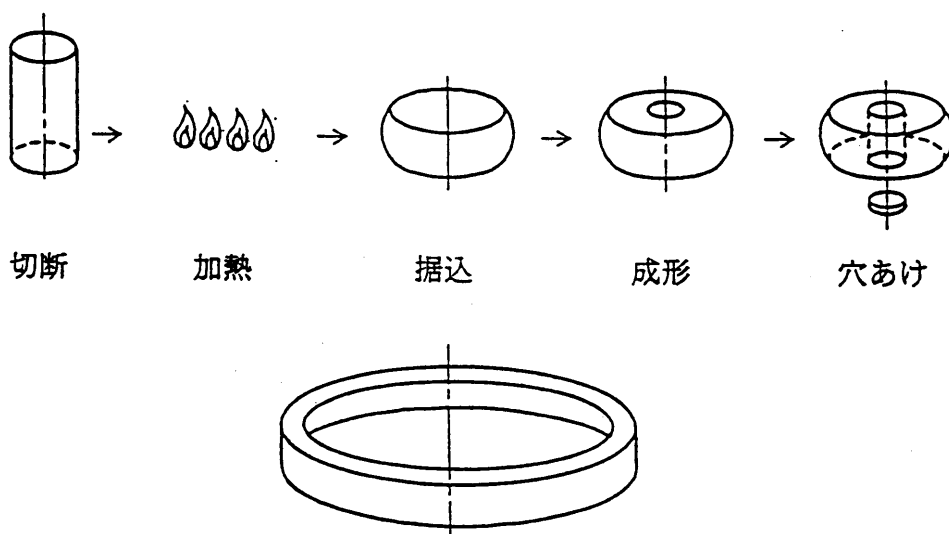


図 2.3-1 ローリング圧延

造であるが、その前工程としての荒地(Preform)鍛造は、主としてプレスが用いられ、小径物にはメカニカルプレス、大径物には油圧プレスが一般に用いられる。

(図 2.3-1)に代表的なローリング鍛造工程を示す。

工程上特に留意せねばならないのは、荒地鍛造である。簡単な短形断面のリングの

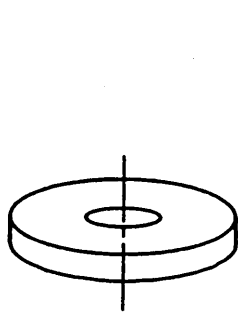


図 2.3-2



図 2.3-4

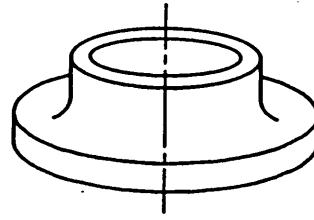


図 2.3-3

場合はさして問題にならないが、次の場合は十分な経験と配慮を必要とする。

イ) 円板状の肉厚大で低い高さのリング ...円板状リング(DISC TYPE RING)

(図 2.3-2)

ロ) 外径が小さく高さの高いリング ...筒状リング(BUSH TYPE RING)

(図 2.3-3)

ハ) 内外径に各種の形状をつけたリング ...形状リング (PROFILE OR CONTOUR RING)

(図 2.3-4)

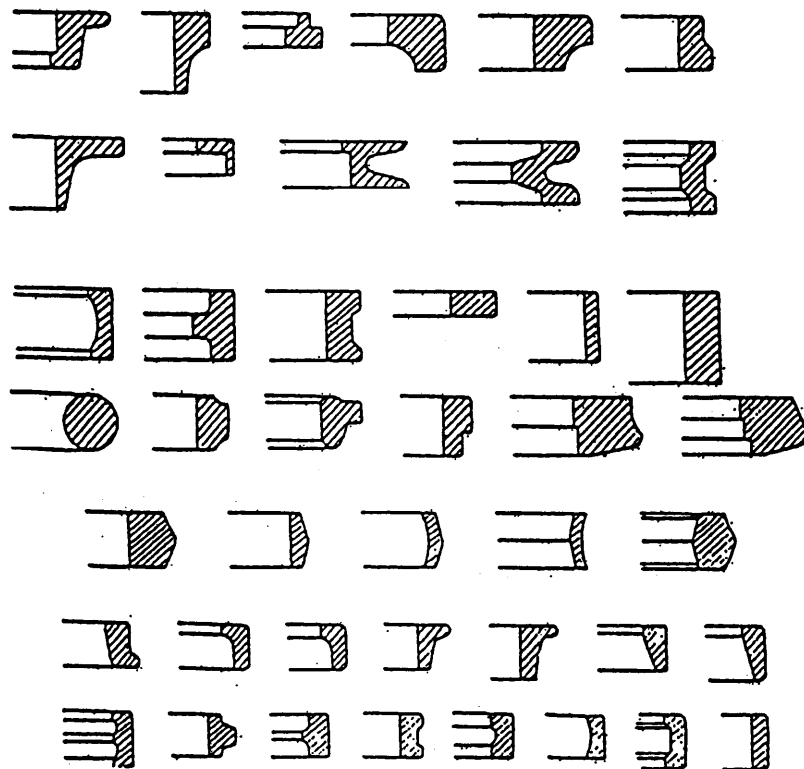


図 2.3-4

ローリング鍛造可能な各種形状リング鍛造品の一例を（図 2.3-5）に示す。

2.4 実際のローリングパターン

今、仕上寸法 外径 : 3495
 内径 : 3239
 高さ : 185 材質 SCM440H

のリング鍛造をする場合、

）鍛造寸法の決定 後工程の熱処理が調質とすれば、その調質変化量を加味して鍛造寸法を次のように定める。

外径 = 3521 , 内径 = 3204 , 高さ = 215

これにより重量Wは、

kg と定まる。

）荒地寸法の決定 全く焼きべり、その他を無視したとして、

$$\text{マンドレル径 } W = \frac{\pi}{4} \left(3521^2 - 3204^2 \right) \times 215 \text{ } r = 2824 \text{ kg}$$

高さ圧延量 = 110mm とすると

これより

荒地寸法 ; 外径 : 1250

内径 : (マンドレル径 + 40) = 390

高さ : 110 + 215 = 325 と定まる。

）コンピュータ インプット

リング重量 : 2824kg , 圧延速度 $\frac{dD}{dt}$ 8mm/s

荒地外径 : 1250 n 値 = 1.5

荒地高さ : 325 リング最終外径 $1.015 \times 3521 = 3574$

 リング最終高さ $1.015 \times 215 = 218$

以上の基本的な量をインプットすることにより、作業者の技術や勘にたよらなくても再現性のある圧延制御が可能である。

2.5 これからの課題

リングローリング鍛造には、

他の鍛造法による場合に比べ、数分の1の容量の加圧力を具備したリングミルで鍛造可能。

材料歩留りが最も良い。これは高級な合金材のとき、特に注目すべき点である。

均一な肉厚で、後工程の機械加工での工数削減ができる。

プレス鍛造やハンマー鍛造の場合のように鍛流線の切断がなく、特にリングの円周方向の機械的性能が優れている。

サイジング、コイニング等の後工程を導入すれば、更に精度の良い公差内に収まり、一部ベヤリングレースの場合、旋削を省き研磨加工で終わっているものもある。と長所はあるが、課題も多い。

ローリング完了時のリング温度ばらつきによる寸法変動、特に大径リングになればその差は著しい。自動的に温度補償できる制御法の開発がいる。

サイジング等の工程を入れられない大径リングの真円度向上に決定的な方法が未だ見い出されていない。

fully- automatic control となり得る大径リング圧延制御の開発が待たれる。どうしても現状では人の介入が必要な状態が多くある。

参考文献

1) 守谷 巖樹：鍛造技報 第 34 号 88.7

2) HANS-JURGEN MARCZIINSKI : FORGING INDUSTRY ASSOCIATION 担 FORMING EQUIPMENT SYMPOSIUM
JUNE 1982

3 . 自由鍛造作業各論

3.1 材料切断

3.1.1 目的

材料切断の方法については、第2章にて一部述べたが、本章では、さらに、その目的と各切断方法毎の特徴について詳述する。

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。後者は、不良部との切断が不十分な場合に不良部を起点に発生する、冷却時の熱応力割れや、鍛造後の運搬等、取扱いの煩雑さが問題となる程度であるが、前者が、鍛造品の品質、作業性、コストに及ぼす影響は多大である。

3.1.2 切断方法と特徴

一般的な切断方法として、鋸切断、ガス切断、鑿、シャー切断の3つの方法と、その他の切断方法として、砥石、プラズマ、レーザー、放電、ウォータージェット等の切断方法があることを述べたが、それらの特徴を表4.3.1-1に示す。

表 4.3.1-1 各切断方法の特徴

切断法	被切断材	長所	短所
鋸切断	金属材全般 (HRc45 程度まで)	切断代少(3-5mm) 帯鋸は数本同時切断 比較的安価	温間,熱間材の切断不可
ガス切断	普通鋼	切断能率良好 熱間切断可	切断代大 切断面近傍に熱影響層残存 設備費大、環境対策要
鑿、シャー切断	金属材全般	熱間切断可 切断能率最良	切断面のダレ,バリ残存 切断精度悪い、大型設備要
砥石切断	金属材全般	切断能率良好 冷間～熱間切断可	砥石費用大、砥石原単位悪い 作業環境悪い
プラズマ切断	金属材全般	切断能率良好 曲切り可能	設備費用、切断費用大 肉厚材の切断不可 熱影響部残存
レーザー切断	金属材全般	切断能率良好 曲切り可能	設備費用、切断費用大 肉厚材の切断不可 熱影響部残存
放電切断	金属材全般	あらゆる材質の切断可	設備費用、切断費用大 肉厚材の切断不可 熱影響部残存
ウォーター ジェット	金属材全般	あらゆる材質の切断可	設備費用大 肉厚材の切断不可

3.1.3 切断作業が及ぼす影響について

次に、切断作業が、品質、作業性、コストに及ぼす影響について、図4.3.2-1に模式的に述べる。

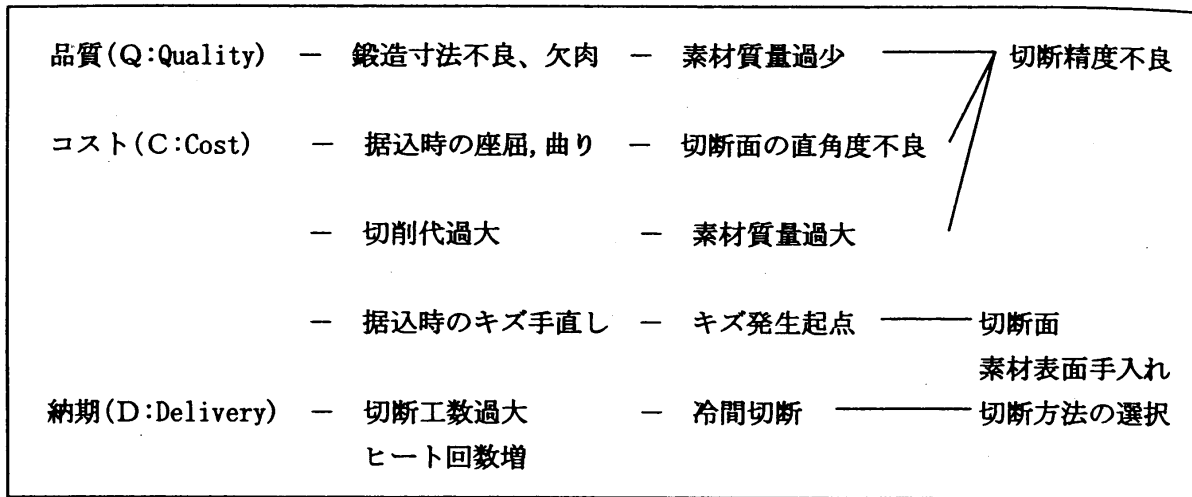


図 4.3.1-1 素材切断と QCD の関係

(1) 切断精度

切断された素材の切断精度は、後に続く鍛造工程の作業性を左右し、型打ち品や冷間鍛造ほどではないにしても、自由鍛造においても、鍛造製品の精度や品質に大きく影響する。

具体的に言えば、切断面の直角度が悪いと、据込工程での座屈や曲りの原因となり、又、切断長さの精度が悪いと、鍛造後の切削代の過大や、逆に鍛造時の欠肉の原因となる可能性がある。

(2) 切断面、および素材表面の手入れ

切断時に考慮しなければならないもう 1 点は、切断面、素材表面の手入れである。特に、鍛造性(熱間加工性)の悪い材料で、切断後、据込鍛造を必要とする場合、据込時のキズ発生や、座屈、曲りを防止する為に、以下の方法が有効である。

切断面の角部の面取り

切断面の角部は、加熱炉から抽出後、最も冷却が進行する為、鍛造性が悪い材料では、この部分に温度低下による割れが発生する場合がある。切断後に、この部分をグラインダー又は旋盤等にて面取りを施しておく、冷却速度が緩和され、据込時の割れを防止出来る可能性がある。

素材表面の手入れ

鍛造性の悪い材料を据込する場合、素材表面の残存キズを起点として割れが発生する場合がある。上述の面取りと同様、素材表面の割れ起因の除去にも十分に気を配る必要がある。手入れ方法としては、グラインダー、旋盤等があるが、グラインダーの場合は、局所的なキズの除去となる可能性がある、逆に手入れ状況に注意を要する。

(3) 素材寸法と切断長さの管理

第 4 章 1.1.2 節で述べられている通り、据込作業の品質、作業性には、長さ $\times$ 直径の比(H / D)が大きく影響をおよぼす。上記、切断精度の管理や、切断面、素材表面の手入れの管理と同様、鍛造製品の質量から逆算した、使用する素材寸法と切断長さの最適な比率についても十分な考慮が必要である。

(4) まとめ

以上、切断作業の詳細と管理項目等について述べたが、自由鍛造の場合、小ロット、多品種の製造という、生産面での制約により、常に最適な方法での切断作業が可能であるとは限らず、いくつかの条件を十分検討した上で、個別に最良の方法を採用する必要がある。切断作業に限らず、種々

のトラブルを回避する為には、過去の製造実績を記録に残し、次回以降の製造に反映させる技能の蓄積が、今後とも重要であると考える。

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
- 2) 「鍛造技術講座 生産技術編」 財団法人鍛造技術研究所 1991 年

3.2 加 熱

3.2.1 加熱温度、加熱時間の考え方

鍛造作業を行う上で、加熱作業は、最も重要な作業の1つである。すなわち、加熱作業の良否が、鍛造作業の難易のみならず、製品の品質、生産性、および燃料原単位等に及ぼす影響が極めて大きい為であり、適正な加熱温度、加熱時間を設定することが必要がある。

本節では、加熱作業の目的、管理すべき項目と加熱作業が品質に及ぼす影響等について述べる。

(1) 加熱の目的

鍛造の目的の1つに、鋼塊内部の空隙性欠陥を圧着し、組織を微細化することが挙げられる。一般に、金属材料の変形抵抗は、温度が高いほど小さくなる為、加熱温度が高いほど、塑性加工は容易になる。これが加熱の目的である。

(2) 加熱温度

加熱作業を行う上で最も重要な管理項目が加熱温度である。上述のように塑性加工を容易にする為には、加熱温度は高い方が有効であるが、あまり高温に加熱し、材料の凝固温度に近づくと過熱状態となり、組織は粗大化および劣化し、さらには結晶粒の粒界酸化、部分溶融の状態が出現し、いわゆるパーニング状態となって使用できなくなる。

図4.3.2-1 に鋼の平衡状態図と鍛造、および熱処理温度の関係を示す。加熱温度の上限は、材料の凝固温度によって支配され、炭素量の増加とともに低くなる。従って最高加熱温度は材料の化学成分によって決定すべきであり、一般的には凝固温度以下、100～150 程度としている。これは、鋼塊凝固時に不可避免的に存在する化学成分の偏析を考慮して経験的に得られた値である。特殊鋼の場合、合金元素の影響により固相線等が変化するので、状態図による判断や、グリーブル試験等による検討が必要な場合がある。表4.3.2-1 に各種材料の加熱温度の例を示す。

一般的に鍛造によって結晶粒に大きな変形を与えると、結晶粒は微細化する。これは再結晶によるも

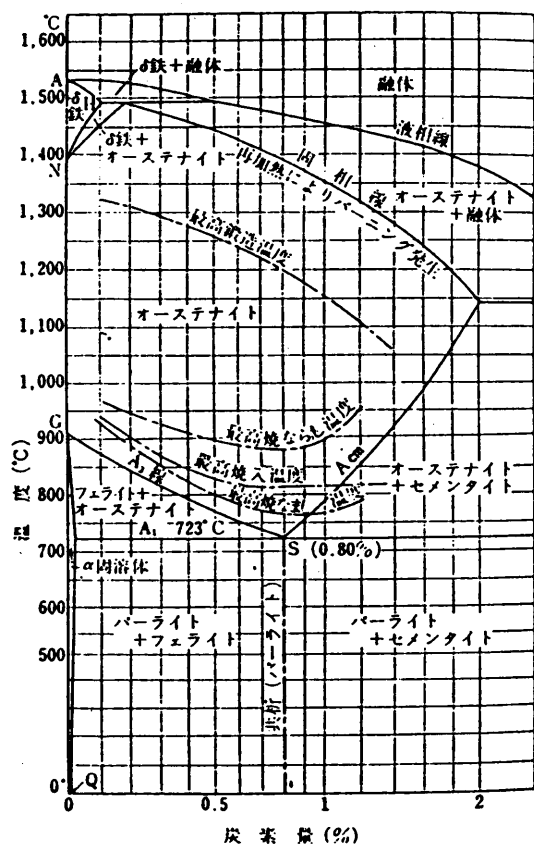


図4.3.2-1 鋼の平衡状態図と鍛造、及び熱処理温度

表 4.3.2-1 各種材料と加熱温度

材 質	加熱温度 ()	最高加熱 温度()	ハーニング 温度()	材 質	加熱温度 ()	最高加熱 温度()	ハーニング 温度()
1.1%C 炭素鋼	1080	1080	1140	3%Ni-Cr 鋼	1250	1250	1370
0.9%C 炭素鋼	1120	1120	1220	Cr-Mo 鋼	1250	1250	1370
0.7%C 炭素鋼	1180	1180	1280	5%Ni 鋼	1200	1200	1450
0.3%C 炭素鋼	1250	1293	-	13%Cr ステンレス	1150	-	-
0.1%C 炭素鋼	1260	1350	1490	18-8 ステンレス	1220	1280	1380

ので、鍛造による変形が十分であれば、鍛造前の結晶粒の大小は影響を及ぼさない。

鋼材の再結晶温度は一般に 900 以上であるので、再結晶温度以上の温度域では、結晶の変形、再結晶が繰り返され、再結晶粒の成長も起こる。従って、鍛造温度と鍛錬比、特に鍛造終了時の温度と加工度が結晶粒微細化に大きな影響を与える。一般に鍛造温度を高くすれば鍛造終了温度も高

くなり、結晶粒は微細になりにくい。

図 4.3.2-2 は鍛造温度、時間と結晶粒の大きさの変化状況を模式的に示したものである。図中の円の大きさは結晶粒の大きさを示している。Ac1,Ac3 は変態点、tb,tf は鍛造開始終了温度を示す。斜線部は鍛造中の温度範囲にあることを示している。

(2) 加熱時間

材料の内部まで均一に保持される為に必要な加熱時間は鋼塊、あるいは鋼片の寸法、および材質によって異なるが、加熱時間を決定する基準として広く使用されている式を以下に示す。直径 D (m) の材料を 1200 に加熱する為

に必要な加熱時間 (t) は

$$t(\text{Hr}) = 9.2 D^2 + 4.9 D + 5.4 D^2$$

第 1 項(第 1 段階): 材料が 500 ~ 550 (弾性を有する温度範囲)になるまで

第 2 項(第 2 段階): 約 550 から表面温度が最高温度になるまで

第 3 項(第 3 段階): 表面温度が最高温度を保持し、中心温度が所定の温度に達するまで

一般に、合金鋼は 800 以下での熱伝導度が小さいが、特に高合金ではその差が著しいので、上式は修正して活用する必要がある。

参考文献

- 1) 「鍛鋼品ハンドブック」 日本鍛鋼会 1967 年

3.2.2 燃焼加熱

鍛造作業工程における加熱手段として、もっとも多く用いられているのが燃焼加熱である。加熱炉や熱処理炉に用いられる工業用燃焼機器は、燃料を炉内で燃焼させるためのバーナ装置、燃焼用空気をバーナに供給し、かつ燃焼排気を排出するための通風装置、燃料をバーナに供給するための燃料供給装置、負荷に応じて燃料供給量を調節し、かつ燃料量と空気量の比率（空気比）を訂正に保つための燃焼制御装置、運転から停止までの運転操作を誤りなく、かつ安全に行わせるための燃焼安全装置等で構成される。

本項では燃料、燃焼及びバーナ装置、通風装置、燃焼制御装置、燃焼安全装置について述べる。

(1) 燃料¹⁾

気体燃料

表 3.2.2-1 各種燃料ガスの特性値

項 目 \ 名 称	都市ガス 6C	都市ガス 13A	ブタン	プロパン	コークス 炉ガス	高炉ガス
高発熱量						
kJ/m ³ N	18841	46055	133408	102099	20494	3040
kcal/m ³ N	4500	11000	31864	24386	4895	726
低発熱量						
kJ/m ³ N	16957	41617	122987	93847	18552	2973
kcal/m ³ N	4050	9940	29375	22415	4331	710
比重 (空気=1)	0.53	0.665	2.08	1.56	0.37	1.06
自然着火温度	℃	530~630	630~730	400~470	530~630	600~700
理論空気量	m ³ N/m ³ N	4.0	10.95	30.81	23.45	4.44
理論湿り排ガス量	m ³ N/m ³ N	4.8	12.05	33.30	25.57	5.13
						1.46

上表中の発熱量は 1 kcal=4.1868kJ にて換算

代表的な気体燃料である燃料ガスの特性値を表 3.2.2-1 に示す。

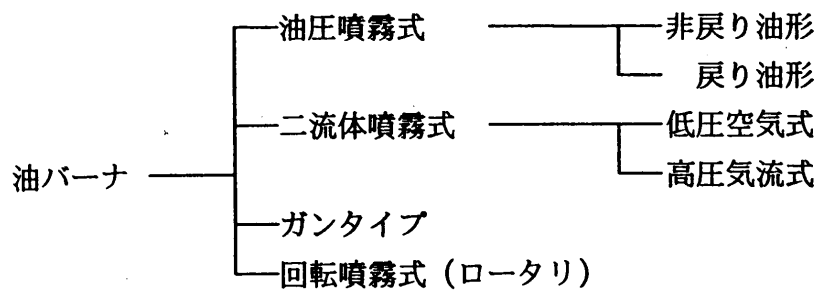
尚、一般の LPG は上表中のプロパン、ブタンガス等がミックスされたものである。また、ブタンガスを空気で希釈したブタンエアースガスも使用されている。

液体燃料

表 3.2.2-2 各種燃料油の代表性状と特性値

油 種 項 目		灯油	A重油		C重油	
			低硫黄分	高硫黄分	低粘度	高粘度
高発熱量	kJ/kg	46390	45134	45008	43292	42454
	kcal/kg	11080	10780	10750	10340	10140
低発熱量	kJ/kg	43250	41261	46222	40696	39942
	kcal/kg	10330	10070	11040	9720	9540
比重	(15/4℃)	0.799	0.860	0.856	0.955	0.999
動粘度	c St (50℃)	1.4 (30℃)	3.0	3.0	170	700
硫黄分	wt%	0.004	0.07	0.90	2.95	2.75
引火点	℃	50	90	90	120	120
理論空気量	m³N/kg	11.3	11.2	11.2	10.8	10.7
理論湿り排ガス量	m³N/kg	12.1	12.0	12.0	11.4	11.4

上表中の発熱量は 1 kcal=4.1868kJ にて換算



代表的液体燃料である、灯油、重油の特性値を表 3.2.2-2 に示す。

尚、我が国の灯油および重油の規格は紙面の都合上省略した。

(2) 燃焼およびバーナ装置

ガス燃焼²⁾

a. はじめに

ガスバーナの種類は数千種に達し、大は数千万kcal/hから小は100kcal/hまで使われているが、原理的には次の

- ・拡散燃焼
- ・予混合燃焼
- ・外部混合燃焼

に大別できる。

天然ガス、LPGなど、高い発熱量の気体燃料が主流を占めた昨今では、拡散火炎はさすが発生しやすいので嫌われ、フレイムカーテン、ガストーチ、特殊なガラスアニールのみに使用されて、特にトーチはムー照明用に使用されるが、実用性がないのでここでは触れない。

b. 予混合燃焼

代表的な予混合炎はブンゼンバーナの炎である。これは理論空気量の40～80%の一次空気をあらかじめガスと混合して燃焼するもので、ガス特有の青白い炎が内炎と外炎の二層に分かれて形成され、外炎の先端の近くは1,300℃を越す高温となる。

この高温を利用したガス灯や炎色反応による分析は、今世紀初頭に開発され、今日のガス普及の基となった。

予混合炎は一次空気の混入割合が高いほどハードで高温の炎が得られるが、反面、炎の安定性が悪化し、吹き消えを起こしやすくなるので、火炎の安定化技術が研究された。

安定な火炎を作るバーナの例にフレイムリテンションバーナがある。

これは、パイロット炎、すなわち、袖火を持ったバーナでメイン炎の10～30%の量のパイロット炎はメイン炎の根本を予熱し炎の安定化を図る。

このパイロット炎によってメイン炎の燃焼容量は従来の10倍となり、燃焼室負荷で最大500万kcal/hに達するので、高温、高火力を要する用途に最適である。

予混合火炎はその反面、若干の欠点も見られる。ガスと空気の混合気体を扱う関係でバックファイアの危険性があり、あまり大型のものは推奨できない。また、ターンダウン比も(最大燃焼量/最小燃焼量)も3程度しか確保できないので、大型の炉に適さない。従って、もっぱら局部加熱強熱の目的に知用され、ろう付け、管球のガラス溶断、封止などに多く使用されている。また、炎の電気特性が優れているため、フレイムロッド付きのパイロットバーナとして広く一般的に使用されている。

c. 外部混合燃焼

気体燃料が加工用燃料からボイラ、加熱炉用の一般燃料として広く知られる用になった現在では、ガスバーナもますます大容量化と、広いターンダウン領域が求められるようになった。

この条件を満たすバーナは外部混合バーナである。

- ・非常に広いターンダウン領域を有し設計が優れている場合には、30:1以上を確保できる。

- ・混合気体を作らないため、バックファイヤの恐れがなく、どのようにも大容量化できる。

など、外部混合火炎の優れた点は多い。

しかし、この形のバーナはガスと空気の最初の遭遇方法が大切なキーポイントで、この混合方法が適切でないと火炎が不安定となり、吹き消えの恐れが生じる。

ガスと空気の遭遇方法を工夫する方法としては、

- ・ガスと空気が遭遇、混合する場所に渦を作るとともに、ガス、空気、混合割合に濃い場所と、薄い場所を人為的に作り、ターンダウン時でもどこか適切な混割合の場所が生じる構造にする。

- ・バーナタイルをつけて炎の基盤をバーナタイルの赤熱によって、予熱、安定化する。

などの保炎方法を幾つか組み合わせてバーナの全燃焼範囲火炎を安定化した構造のものが現在のバーナである。

予混合燃焼、外部混合燃焼のいずれの場合も、ガスと空気の空燃比の制御はバーナの性能を左右する重要な問題であるが、特に予混合火炎は炎が安定する空燃比範囲がせまいので優れた空燃比調節方式が必要となる。

外部混合形のバーナは、多少過剰空気に空燃比がずれても、火炎の安定性は損なわれないので、この面でも使いやすいバーナといえる。

d. ガスバーナの取扱い

航空機の事故が離着陸時に多発するのに似て、バーナの事故も点火、消火時に多い。

特に点火直後はバーナが所定の温度に達するまで10数秒間は炎の安定も弱いので、注意が必要である。

ガスバーナは、みな所定の点火場所が定められており、これ以外の場所に点火しても着火しなかったり、炎が消えることがあるから、必ず所定の点火位置に所定の方法で、素早く確実に点火し、着火したことを必ず確認することが大切である。

高度に自動化されたバーナも自動機器が人間に代わってこの操作を行っているだけで、本質的には同じである。

そのほか2~3の取り扱い上の注意点をあげると、

- ・使用するバーナは、使用する燃料ガスの性状に適合したものであること。

- ・バーナに表示されている最大燃焼量を超えるようなオーバーロード運転は絶対に許されない。

- ・異常音、異常温度上昇の場合は、直ちに消火・停止し、以後は使用しないこと。

- ・少なくとも数ヶ月に1度はバーナを目視点検して、保炎機構が損傷していないことを確認する。

などの諸注意が必要である。

油の燃焼³⁾

a. はじめに

紙面の都合上、極く小容量のタイプのバーナや実用性の少ないタイプを省略し、噴霧燃焼方式で工業用として多く使用されているものについて説明する。

b. 油の燃焼

油の燃焼の課程を簡単に述べると次のようになる。すなわち、噴霧燃焼方式では、まず、何らかの方法（次項参照）で油を微粒化して噴霧すると、この微粒化した油滴は表面から蒸発する。そして点火源、または着火温度以上の雰囲気の中でそこに供給された空気中の酸素と反応して燃焼が行われる。ガス燃焼に比べて、油の場合は、微粒化、蒸発の過程が必要であり、燃焼性の良否はバーナの性能はもちろんのこと、空気の供給方法や保炎方法に、ガスバーナ以上の細心の設計が要求される。

c. 油バーナの種類

主な油バーナの噴霧燃焼方式は次のとおりである。

ガンタイプバーナは霧化方式の分類では油圧噴霧方式であるが送風機一体型で機能、用途などが他と異なるので、独立して揚げた。

- ・油圧噴霧方式

燃料油に高圧を与え、油圧エネルギーで霧化する方式のバーナで、普通10～70kgf/cm²の圧力で霧化を行う。高油圧により強力な旋回流を与えてノズルから噴出し霧化させるもので、このタイプには非戻り形と戻り形がある。非戻り形は油流量を減少させると噴霧特性が悪くなるのでターンダウン比が狭い。戻り形はバーナ本体に送り込んだ油を戻すことができる構造で、流量を減少させた場合にチップにおける油の旋回力を確保して霧化特性を維持するようにしてターンダウン比を広くしたものである。構造は単純で、噴霧媒体を必要としないので、ランニングコストが安い利点はあるが、基本的には、流量調節範囲が狭く、また高圧使用のポンプ及び配管構造が必要である。

- ・2 流体噴霧式

空気、又蒸気のような気体を用い、その運動エネルギーで燃料油を微粒化する方式のバーナで、低圧空気式は400～2,000mmAqの比較的低下の空気を噴霧媒体とするものである。高圧気流式には噴霧媒体と油の混合がバーナノズルの外部で行われる外部混合形と、バーナの内部で行われる内部混合形および両者の中間形でYジェット形アトマイザと呼ばれるものの3形式がある。二流体式は油圧が低く、ノズル口径を大きくとれるので重質油の燃焼にも適し、ターンダウン比も比較的多くとれる。バーナの複数設置が可能で、大型ボイラにも適するが、油圧噴霧式に比べ、配管系が複雑であり、またランニングコストがやや高い。

- ・ガンタイプバーナ

燃焼用空気を供給する送風機と、バーナノズル部及び各機器が一体にまとめられたバーナで、本体全体がガンに似ていることから、この名称がある。霧化方式は油圧噴霧式に属し、油圧は軽質油では10kgf/cm²前後、重質油では20kgf/cm²前後で使用される。一般には軽質油で使用されるが重質油使用もある。高油圧のため、ノズル口径が小さいので、重質油を使用する場合は、ノズルの詰まりに注視する必要がある。大容量のバーナでは、送風機別置となるものもある。

- ・回転噴霧式（ロータリーバーナ）

カップ状で高速回転する機構のアトマイザにより遠心力で霧化する方式のバーナで、更に微粒化を促進するための霧化用送風機を内蔵しているのが普通である。粘度の影響が少ないため重質油でも加熱温度は比較的低くてもよく、またターンダウン比が大きい特徴がある。バーナへの送油系が低圧油のため、燃料油の通路に狭隘部がなく、詰まりを起こさないで、粗悪油の燃焼や、廃油の燃焼処理にも使用される。

- d. 保炎

次々を噴出して微粒化した油滴が気化して火移り（火炎伝播）としていき、燃焼が継続されるのであるが、油滴の噴出速度、空気の噴出速度が速いため、これが火炎伝播を上回ると息つき燃焼や吹き消えを起こすことになる。そこで、燃焼を安定に継続するため、各種の保炎器（スタビライザ、バッフルプレート、コンバスタ等）やバーナタイルがバーナの着火位置付近に設けられる。保炎器は過流を作ったり、その前面（燃焼室側）に負圧域を作って、そこに燃料、空気、あるいは燃焼過程の混合ガスを巻き戻して着火位置の安定を図り、また燃料と空気の混合を促進するのである。保炎器は単に円板状のものや、コーン状のもの等があり、その前面にカーボンが付着しないように小孔をあけたり、スリット状の切り込みを入れて少量の空気を出す等の工夫が施されている。バーナタイルはそれ自体の蓄熱により着火を安定させるものであり、耐火物等を成形して制作される。

- e. 軽質油の燃焼

軽質油燃焼としては、主として灯油およびA重油（JIS・1種）が使用される。我が国では、軽油は

税法の関係で使用されないが、海外では多く使用されている。

軽質油は残留炭素、灰分、硫黄分、窒素分の含有率が低く、燃焼によるばいじん、SOx、NOxの発生は少ない。また、発煙、カーボンの付着等の燃焼トラブルも起こりにくい。ただし、A重油の場合はその性状にかなりの幅があるので公害対策面では注意する必要がある。軽質油は気化速度が速く、燃料油の燃焼室内漏えいで短時間に爆発等の事故を起こすことになるので、燃料供給系の設計や保守管理に特に配慮が必要である。

f. 重質油の燃焼

通常、C重油（JIS 3種）が使用される。B重油はほとんど使用されていない。

C重油では残留炭素、窒素分の含有量についての規格値は決められていない。また灰分、硫黄分を含めこれらはすべて大気汚染の排出規制に関わるものであり、C重油の購入品の品質レベルに注意する必要がある。また、動粘度については、非常に許容範囲が広く、これによる燃焼への影響は大きい。

重質油は粘度が高いので、通常加熱して粘度を下げてから使用する。適正粘度（加熱温度）はバーナの種類（噴霧方式）により、ある程度の相違があるのでバーナの取扱説明書で確認する必要がある。また、原油は産地により、パラフィン分が多いものがあり、この場合流動点が高い。重質油は温暖地域でも冬期に固化化することが多く、配管内、バーナ内で固まると処置が困難であるので注意を要する。

g. 油バーナの取扱い

運転管理、保守管理上の実施次項を以下に記す。

- ・電磁弁のゴミ噛み等による漏洩の点検
- ・空燃比制御のリンク装置のズレの点検
- ・煙道ダンパが開いているのを確認
- ・点火装置の点検（すす、生油の付着の有無、点火スパークの隙間のチェック）
- ・手動運転方式のとき、点火前に必ずプレバージを実行
- ・不着火が発生したときは原因を調査し、その原因を必ず除去した後、再点火を試みる。
- ・電磁弁の漏洩等で燃料油が燃焼室内に溜まったときは、火気厳禁でこれを完全除去すること（漏洩油は完全に拭き取るしかない）

パイロットバーナ

工業用に使用されるバーナ装置では、バーナを起動するとき、着火をスムーズに行わせるためにパイロットバーナを使用する。

パイロットバーナに使用する燃料は着火性の良い気体燃料か、灯油、軽油などが用いられる。これらの点火源として、一般には点火電極や点火栓に高電圧を印可して放電した時の火花を利用する。

パイロットバーナを大別すると、燃料と空気の混合方式によりノズルミックス型やプレミックス型等があり、また使用方法（いつ点火しているか？）により時限点火、重複点火、連続点火等があり、炉内温度760℃以下の場合は連続点火が望ましい。

(2) 通風装置⁴⁾

通風装置は燃焼用空気をバーナに供給し、燃焼排気を大気中に排出するための装置で通風のあり方によって、自然通風、押し込み通風、誘引通風、平衡通風に分類される。

自然通風は、煙突の吸引力のみで通風するもので通風量はバーナ入口の制御ダンパーによって調節される。

押し込み通風とは、大気を加圧してバーナに供給する押し込み送風機のみによって通風（給排気）するシステムで、押し込み送風機の入口、または出口に設けられた制御ダンパーによって通風量を調節するものである。

誘引通風とは、燃焼炉出口の排気ダクト（煙道）中に誘引送風機を設けて通風するもので、通風量の調節は、バーナの入口か、誘引送風機の吸込口に設けられた制御ダンパーによって行われる。

平衡通風は、空気を供給する押込送風機と、排気を主とする誘引送風機を併用して通風するシステムで、送風量は、押込送風機の入口か出口に設けられた制御ダンパーによって調節し、排気量は誘引送風機の入口に設けられた制御ダンパーによって常に炉内の圧力を一定に保つようコントロールする事で、送風量にバランスした排気量の調節が行われる。

(3) 燃焼制御装置

燃焼制御装置は、負荷に応じて燃焼量を調節する燃焼量制御(負荷追従)機能と負荷に追従して調節された燃焼量と燃焼用空気量を適正比率に保つように調節する空燃料比制御機能から成り立っている。

燃焼量制御には代表的なものとして不連続制御と連続制御がある。不連続制御には負荷に応じてバーナ着火、消火させる二位置制御(ON-OFF制御)負荷に応じて高燃焼、低燃焼、消火の3段階で制御する三位置制御(HI-LOW-OFF制御)等がある。連続制御は比例制御やPID制御と呼ばれるもので、燃焼を停止せず負荷に比例して燃料量を連続して調節する。

空気比制御はフィードバック制御とフィードフォワード制御とがあり、フィードバック制御では燃料量の信号に見合うように燃焼空気ダンパーを調節したとき、その結果得られた空気量をオリフィスなどで測定し、その測定量と燃料量の信号値とバランスするまでダンパ開度を補正する方法である。フィードフォワード制御の場合、先のフィードバックを持たず燃料量信号によって空気量を一時的に操作するもので、一般的に使用されている燃料調節弁と空気ダンパをリンケージで接続して燃料量と空気量を同時に制御する機能を持つものである。

(4) 燃焼安全装置⁵⁾

燃焼安全装置はバーナの着火から燃焼中、消火にいたるまでの総ての運転操作を誤りなく、かつ安全に行わせるために用いられている装置で、燃焼中に連続して火災を監視し、異常断火時には燃焼遮断信号を発する火災検出器(ウルトラビジョンやフレイムロッド等)火災検出器からの信号を受けて遮断弁に燃料遮断の信号を伝送する燃焼安全制御器(主安全制御器)炉の操業を正常に保つための各種の条件を監視する各種制限器(圧力スイッチ等)などから構成されている。

安全の基本的な考え方としてフェールセーフとフルプルーフがある。

フェールセーフ(fail-safe)とは加熱設備ならびに制御・操作系に故障や異常が発生しても安全側に作動する機能をいう。

フルプルーフ(fool-proof)とは燃焼設備の誤動作を防止するとともに、誤って操作しても安全を確保する機能をいう。

このような基本的な機能に基づいて、安全装置にはバーナの点火から燃焼中および消火にいたるまでの操作が誤りなく、かつ安全に行われるように、正しい操作手順がプログラム化され、操作を誤ったときや誤動作したときはプログラムが進行できないようにインタロックしたシーケンス制御が組み込まれている。

プレパージ

燃焼を開始するときは、たとえば短時間で再起動するときでも点火の前に必ず十分な空気量で炉内ガスの排出(プレパージ)を行う。

プレパージに要する空気量は、煙道や煙突を含む燃焼ガス側の空間容積の4倍とする。

低燃焼スタート

30万kcal/h以上のバーナでは、低燃焼で点火を行った後に最大燃焼量へ移行する手順を取る。

パイロット火災検知

パイロットバーナが確実に着火し、安定燃焼していることが確認されなければ、主バーナの燃料弁を開くことができないように、パイロットバーナの火災を検出する時間を設ける。

主バーナの火炎検知

パイロットバーナの火炎を消した後(時限点火のとき)メインバーナの火炎が安定していることを検知し、以後、燃焼継続中は連続的に火炎検知する。メインバーナが着火しなかった場合および燃焼中に断火したときは、直ちに燃料遮断弁を閉じて警報を発する。

参考文献

- 1) 工業加熱「基礎知識シリーズ」日本工業炉協会 vol.25 No.4,5
- 2) 工業加熱「基礎知識シリーズ」日本工業炉協会 vol.27 No.6
- 3) 工業加熱「基礎知識シリーズ」日本工業炉協会 vol.28 No.1,2
- 4) 「新人研修テキスト」日本工業炉協会 1999年
- 5) 「工業炉用燃焼炉の安全通則」日本工業規格JIS B 8415-1982

3.2.3 熱効率の向上

(1) 求められる高性能工業炉¹⁾

1992年に行われた「地球環境会議」の時点から、我が国においても全エネルギー消費の約1/4を占めると言われている工業炉に対し、さらに徹底した省エネルギー、低NOx対策の実施が求められ、1993年に通産省と新エネルギー・産業技術開発機構(NEDO)は日本工業炉協会への委託事業として高性能工業炉プロジェクトを発足させた。

さらにプロジェクトの中で得られた種々の成果を具体的な省エネルギー、低NOx効果を実現するために1998年から「高性能工業炉フィールドテスト事業」が実施され、98年度では加熱炉23件、熱処理炉29件、溶解炉6件、合計58件の共同研究事業が開始されている。

開発プロジェクトでは高性能工業炉の位置づけとして

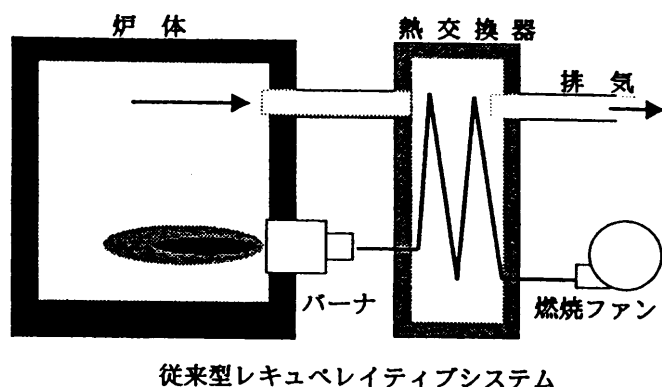
1. 30%以上の省エネルギー
2. 20%以上のダウンサイジング
3. 低NOx化

をクリアするものと定義され、30%の省エネルギーを達成するための基盤技術として採用されたのが、切換蓄熱式燃焼システム(リジェネレイティブバーナ)である。

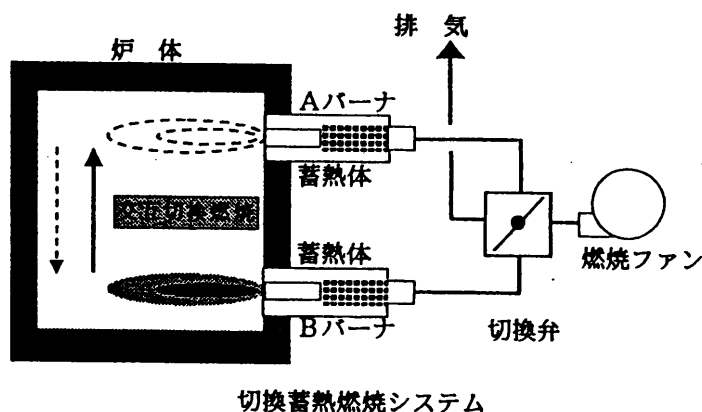
(2) 新しい省エネルギー燃焼技術

省資源、省エネルギー、低NOx化の三者を同時に成立させる最新の燃焼技術として脚光を浴びている

切換蓄熱式燃焼技術を紹介する



従来型レキュペレイティブシステム



切換蓄熱燃焼システム

図 3.2.3-1 従来型レキュペレイティブシステムと切換式蓄熱燃焼システムの概要

高い熱効率

従来のレキュペレータでは、熱回収率をあげて高い熱効率を得ようとするに非常に大きな伝熱面積を要し、また高温に対する耐熱性の考慮など設備面、材料面、コストの面などから制限があり、現実

この燃焼技術の概要は図3.2.3-1に示すように、一対のバーナを交互に切り換えて燃焼し、それぞれのバーナに装備したセラミックス製の蓄熱器を介して排気と空気の熱交換を行う燃焼方法で、古くからの高温の予熱空気を得る手法として高炉用の熱風炉やガラス溶解炉などに広く利用されてきた方法である。しかし、これらの熱風炉や溶解炉の切換時間は20分から40分に及ぶ長時間で行われるため、炉に匹敵するほどの大きな蓄熱器容積を必要としながらも温度効率が低く、特に高温の空気を必要とする炉以外では一般の燃焼炉に利用するなど思いも及ばなかったものである。

これらに対して近年、切換時間を30秒から1分程度にまで短縮して運転することにより蓄熱器の容積を従来の1/100以下にして一般の燃焼炉にも適用できるほどに小型化した高周期切換式蓄熱燃焼システムとして実用化されたものである。

(3)切換蓄熱燃焼システム(リジェネレイティブバーナ)の特長

に達成可能な温度効率 $\geq 60\%$ 程度が限界とされていた。

しかし、切換蓄熱式燃焼システムでは耐火物製（セラミック）の蓄熱体を介しての交番型熱交換であり燃焼ガスの入口温度は耐火物の許容温度までと事実上の制限が無く、かつコンパクトな構造でありながら $\geq 85\%$ 以上の温度効率が容易に得られるのである。

温度分布の向上

切換蓄熱燃焼は交互燃焼であるため、燃焼と加熱が同方向で同時に進行する従来の一方向燃焼火炎特有の温度勾配が相殺され、炉内の温度分布が均一になるとともに、被加熱物への伝熱が向上する。

ゾーン制御性の向上

切換蓄熱式燃焼システムは、対となるバーナ間で燃焼空気の供給と炉内燃焼ガスの排気が行われるため、対となるバーナの取付位置や燃焼量を適宜選ぶことによって、炉の随所（ゾーン）で炉温を自由に設定することが可能となり、被加熱物が要求する加熱特性を満足する最適な加熱を行うことができる。

希薄燃焼、過剰空気燃焼および低酸素燃焼

低位発熱量が $2000\text{kJ/m}^3\text{N}$ を下回るような低位カロリー燃料では、従来のレキュペレータでは完全燃焼を可能にするまで予熱空気温度を上げることができず、発熱量の高い高カロリー燃料を補助的に加えて燃焼するのが普通であった。

切換式蓄熱燃焼システムでは、安定燃焼を可能にする温度まで上げる事ができるから、このような、超希薄燃焼の燃焼にあっても燃焼安定化のための補助燃料を全く必要としない。又、高温空気燃焼では、その反応範囲が広く従来の燃焼では実現が困難であった空気過剰率 $\geq 300\%$ 以上の希薄燃焼も容易に行われる。

さらには、従来の燃焼では、予想すらし得なかった酸素濃度 $\geq 5\%$ 程度の低酸素濃度空気による燃焼も可能である。

低 NO_x 性

高温予熱空気を高速で噴出し、燃料を空気からある距離をおいて噴出する高速オフセットインジェクション方式により、規制に十分適合した低 NO_x 対策を容易にしている。

(4) その他の熱効率改善手法

平成11年改正された省エネルギー法では、「工業炉」に関する設備の指針が提示された。以下に蓄熱燃焼関連項目を除いた改善内容を記す。

燃焼設備（バーナおよび燃焼制御機器）

内 容	設備・システム・技術名	設備・システム・技術の具体的内容
a. 空気比の改善 排ガス中の酸素濃度を測定し、空気比を常に適正に保つ。理論空気量に対し過剰になれば、炉内酸化スケールや廃ガス熱損失の増大につながる。	自動燃焼制御計測装置	排ガス中の酸素濃度、温度を計測し、流量、空気比設定を含む総合的な燃料制御装置。
	高度空気比制御装置	制御ループごとに空気比パターンを燃焼条件に合わせて選択し、コンピューターによりリモート制御するもの。より高度なシステムでは、複数設備全体の総合制御も可能なものもある。
	排ガス中酸素濃度分析装置	燃焼炉排ガス出口の残存酸素濃度を分析する装置。
	燃料/空気・流量比率設定調節装置	燃料流量測定装置（瞬間流量、積算流量）、燃料流量調節装置、燃焼空気流量測定装置、燃焼空気流量調節装置から構成され、供給する燃料流量に伴って空気流量をカスケード制御するもの。
b. 熱効率の向上 廃熱回収式燃焼装置は削除	順序燃焼制御装置	複数のバーナーを定められたタイムチャートにより順番に燃焼制御を行う装置。高速噴流による炉気攪拌効果を併用するとより有効。
	容量可変燃焼空気送風装置	回転数制御装置（V V V F）による送風量制御。
	燃焼用空気予熱設備	換熱式又は蓄熱式熱回収装置で廃熱を回収し、燃焼用空気を加熱するもの。
	蒸気アトマイズ、ガスアトマイズ	重質油、低質油の燃焼向上のために固体バーナ内に蒸気又はガスを噴霧する装置。
c. 通風装置の改善 炉圧変動を抑え、炉開口部からの熱風吹き出しや冷風吸い込みを防ぐ。	自動通風計測制御装置	圧力検出装置による炉圧測定から通風量を計算し、これにより自動的にハイレスポンスダンパ等の炉圧制御装置により通風量を自動的に制御するもの。
	排気量可変排気ファン	回転数制御装置（V V V F）による排気量を圧力信号により制御するもの。
e. 燃焼管理	排ガス/炉内ガス計測制御装置	酸素、一酸化炭素、二酸化炭素、窒素酸化物等を分析・記録し、適正燃焼の制御を行うもの。
	燃焼監視装置、燃焼管理・診断装置	燃料使用料、燃焼空気量、排ガス温度等を計測し、燃焼管理又は診断のできるもの。
	流量（瞬間流量、積算流量）測定装置	熱設備の燃料消費量のトレンド、異常を監視する装置。
	燃料流量調整装置	プロセス値に合わせて燃料供給量を制御するもの。
	燃焼空気流量測定装置、燃料空気流量調整装置	プロセス値に合わせて燃焼空気供給量を制御するもの。

熱利用設備

内 容	設備・システム・技術名	設備・システム・技術の具体的内容
a. 効率的な熱回収	高効率熱交換器	クロムメッキ、クロム蒸着などの表面処理を施すこと又はチタン等の耐食性素材を用い、構造的には熱交換表面積を向上させるためにプレート型、スイスロール型、フィンの付いたもの。
b. 炉壁面の放射効率向上 高ふく射率のクロマイトを主成分としたコーティング材が市販されている。	炉内壁面輻射増進塗装	炉内壁面に炭化けい素系又はジルコニア系塗料等耐熱・高輻射材料を塗布し、熱放射率を上げたもの。
c. 熱伝達の向上 効率85%のリジェネレイティブラジアントチューブバーナもある。	高効率工業炉	急速加熱式（排気ガスを被加熱物に噴射し、又は近距離で加熱することにより加熱時間を短縮したもの）、予熱・加熱一体炉、高断熱、燃空流量比例制御、衝撃噴流加熱。
	噴流加熱装置	排気ガスを被加熱物に直接噴射し、又は近距離から加熱することにより加熱時間を短縮できるもの。
	炉内攪拌装置	炉内の高温あるいは加温ガスを攪拌・循環し、伝熱効果を高める装置。
	炉内伝熱シミュレーション	シミュレータによる解析からプロセスの最適条件を見出すこと。
d. 熱交換器の改善	燃焼空気等予熱用熱交換器	換熱式又は蓄熱式熱回収装置で廃熱を回収し、燃焼用空気を予熱するもの。洗浄装置付きが有効。
e. 加熱設備での熱の複合利用	廃熱利用焼戻し炉	焼入れ炉の燃焼排ガスを焼戻し炉の熱源とするもの。
	廃熱利用原材料予熱装置	アーク炉、溶解炉、焼成炉、加熱炉などの排ガスで投入原料を予熱するもの。
f. 加熱制御方法の改善	熱設備エネルギー利用率化自動制御システム	加熱炉、熱処理炉、ボイラ等のエネルギー使用予測及び管理を行うためのコンピュータによる監視・制御システム。
	ヒートパターン制御装置	バッチ炉では処理ごとにヒートパターンを選択設定できるもの。連続炉では処理材の切替に伴い炉長方向の温度プロファイル（ゾーン温度）を材料移動に従って順次設定できるもの。
g. 加熱工程の短縮化	プロセス・工程改善	プロセス省略化、プロセス低温化、プロセス統合化、プロセス低圧化。
h. 工業炉の断熱向上	高性能炉壁断熱材	セラミックファイバ等の軽量・低熱伝導断熱材。
i. 加熱設備の断熱向上	熱輸送管断熱強化	大径管の内面断熱のセラミックファイバ等計量・高断熱保温材による断熱強化。また、小径管の外部保温材としてグラスウール、ロックウール、セラミックファイバ、マイクロサーム等の計量・高断熱保温材による断熱強化。
	スーパーインシュレーション	低輻射率材積層断熱、真空断熱。

j. 開口部の縮小・密閉装置	親子扉	大型加熱炉、鍛造炉において大扉の他に材料寸法に合わせた子扉の設置。
	スロート部カーテン装置	スロート部に複数段の金属鎖、耐熱クロス等の仕切りカーテン又は仕切り板を設け、その仕切り間に空気又は排ガスを噴出することにより炉内熱ガスの流出及び放射損失を低減させるもの。
k. その他	熱設備エネルギー利用効率化自動制御装置	製造工程における熱利用設備のエネルギー使用の予測・管理をコンピュータにより自動制御するもの。

参考文献

- 1) 「新人研修テキスト」日本工業炉協会 1999 年
- 2) 工業加熱「改正 省エネルギー法の要点」日本工業炉協会 vol.36 No.6

3.3 鍛 造

3.3.1 ハンマとマニプレータによる鍛造

自由鍛造作業におけるハンマ使用による作業形態は騒音等の問題から減少して来ている。

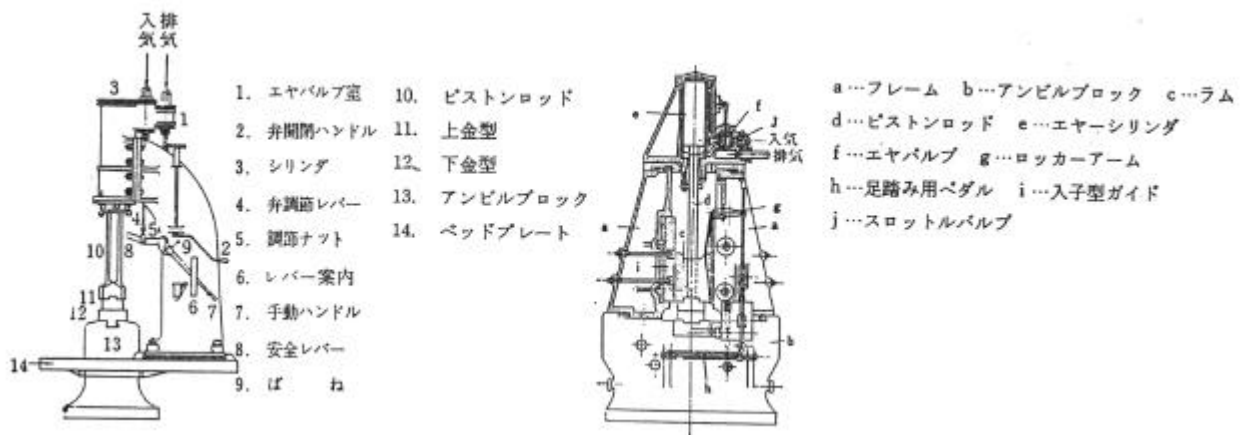
従って、設備面からの改善はあまりなされていないのが現状である。また、ハンマとマニプレータの連続連動化はハンマのストローク設定等が被加工材の材質・寸法・温度等々によって著しく変わるので極めて難しい。

これらの理由により、マニュアルオペレーションが一般的でハンマとマニプレータの個々にオペレータが必要となっている。よって生産性はあまり向上して来ていない。この事を解決できたのが4頭式のGFMであるが、ここでは省略する。

自由鍛造のハンマとしてはドロップ式のハンマが多く、駆動源としてはエアーとスチームのどちらが使われている。一般的には圧縮空気を利用したエアーハンマが多い。スチームハンマはボイラー設備が必要でエアーハンマはコンプレッサ設備が必要となるが、後者の方がコンパクトな事とスチームはドレン問題があり、パッキン等のメンテも多く要するのでエアーの方が多い。

また、ラムの引きあげのみにエアーを作用させ、落下は自重で落下する単動式とラムの引きあげと落下の両方にピストンの上下部に圧縮空気を送り、落下時の打撃力を増大する複動式がある。

また、ハンマの機体が片フレームと両フレームのものがあるが、1トン前後以下の小型の容量のも



のは、前者の片フレーム構造で、大型のものとなると両フレーム構造が多い。(図3.3.1-1参照)
以上の様なハンマを使つての自由鍛造作業であるが、古くは人力とクレーン等による作業形態であったが、安全面、効率面等からマニプレータを使用したハンドリングとなっている。但し、前述したようにマニプレータには1名のオペレータ、ハンマにも1名のオペレータという方式が一般的である。(写真3.3.1-1参照)

マニプレータは軌条式と自由走行式の2通りがあるが軌条式は鍛造作業にしか使用できないので、素材の加熱炉からの搬出については、他の方法(クレーンの利用あるいはチャージングマニプレータ)が必要となる。しかし、ハンマの待ち時間は少なくなる為、生産性は良い。また、位置制御が精度良く出来るので鍛造品の精度向上にもつながる。一方、自由走行式は軌条式の自由度のなさを解消できる利点がある。それぞれの得失があるので、その選択は鍛造品の大きさ、数量、材質、精



写真3.3.1-1 マニピュレータを使ってハンマによる鍛造作業

要する必要がない事や打撃回数あるいは打撃エネルギーによつての圧下でなく、静水圧的圧下の為、ラムの位置制御等が行ない易い。

従つて、プレスとマニプレータのオペレータのワンマン化、プレスとマニプレータの連動化あるいは自動運転化等が実施されて来ている。但し、これらの省人・省力化方式はマニプレータとして軌条走行式でなければならない。

これらの技術により、作業を行なっている人員は以前に比べて半減以下になって来ている。また、近年はバルブの技術改善により応答性が良く、プレスのスピードアップ化が図られて来ており、S

P Mもプランニングで 100 位迄になっている。

また、火災等の問題から水圧プレスが従来は多かったが、バルブ、パッキン等々の改良により漏れ事故等も減少し、潤滑性の良く且つ腐食の問題に心配のない油圧プレスに置き替わっている。

写真3.3.2-1に1000 T プレスと10 T - M マニプレータを示すが、作業のスピードアップ化による生産性向上、鍛伸材の曲がり防止と掴み替え防止あるいは鍛造温度範囲の狭い材質の鍛造時のロスタイム防止等の為にプレスの両サイドにマニプレータを設置するツインマニプレータ方式も実施されている。

小型粗材を扱っているプレスにおいては加熱炉の搬出入も兼ねての自由走行式マニプレータを使用しているケースや自由走行式マニプレータとチャージングマニプレータ（改造フォークリフトも含む）との組合せ等で作業を実施している。

いずれにしてもプレス作業におけるマニプレータの使用率は極めて高い。

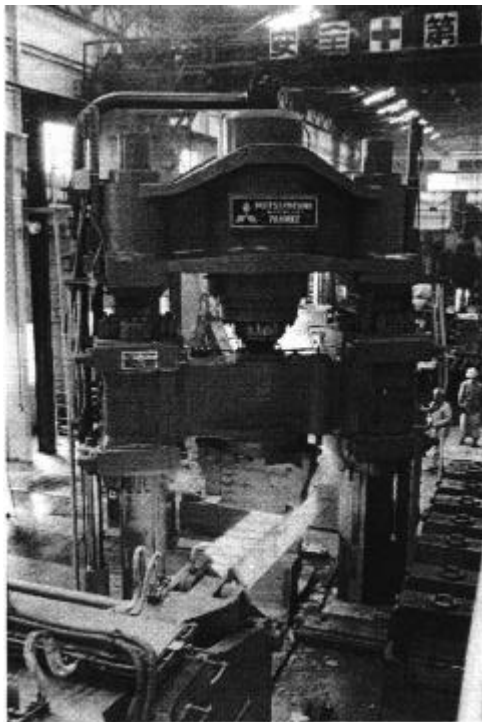


写真3.3.2-1 1,000Tプレス、10M/Tマニプレータ、ダイカジン

一方、マニプレータの使用はこれ迄省人・省力・スピードアップ等と生産性の面に役立って来たが、最近ではプレス位置制御の精度向上等とあいまってマニプレータの走行位置制御やトンクの回転ピッチ制御等々の精度向上が図られて来ている為、鍛造品の寸法精度の向上にもつながっている。プレスの圧下精度が、そのまま鍛造品の寸法精度とはならないが、機械精度としては1～2mm程度となっている。

また若手作業者の習熟度も早くなっている。つまり、作業形態が単純化して来ていることや、数値化して来ていることが、習熟度のスピードアップにつながっている。

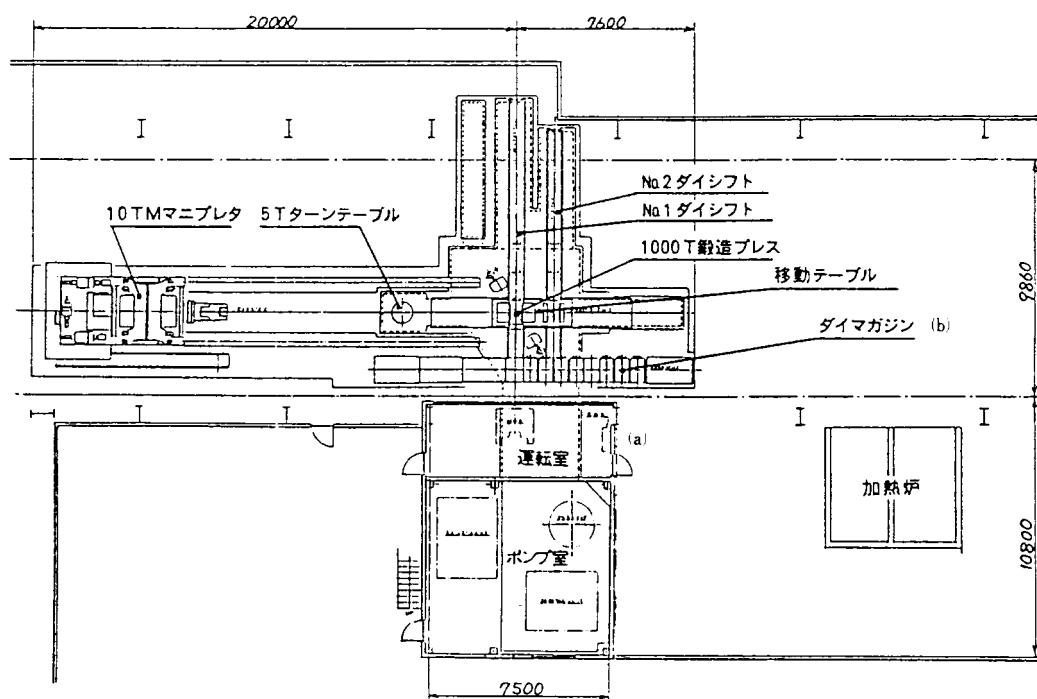


図 3.3.2-1 1000T 鍛造設備のレイアウト

しかし反面、変形挙動等の基本的な事象に対しての知見が乏しくなっているのも事実である。

参考文献

- 1) 鍛造技術と作業法、全日鍛造工業会、1966 年
- 2) 鍛造技術講座（製造技術編）財団法人 鍛造技術研究所、1992 年

3.3.3 鋼の鍛造

鋼塊に存在する鑄造組織は粗く、偏析や微細な収縮孔、鑄巣などの空隙性欠陥が存在する。鍛造では鋼塊内に存在するこれらの空隙性欠陥を圧着し、組織を微細にし、かつ好ましいメタルフローを与えることと、所定の製品形状にできるだけ近く成形加工することが必要である。その為には、鋼塊の形状、材質に応じた適切な加熱温度と時間の設定、十分な鍛錬成形比を確保できる大きさの鋼塊選定と適切な鍛造法の選定、製品形状に応じた鍛造法と鍛造治具の使用がポイントとなる。

(1) 鍛造温度

鍛造により結晶粒に大きな変形を与えると、結晶粒は微細になる。これは再結晶によるもので、鍛造による変形が十分であれば、鍛造前の結晶粒の大小は無視できる。鋼材の再結晶温度は一般に900℃以上であるので、再結晶温度以上の温度域では、結晶の変形、再結晶が繰り返され、再結晶粒の成長も起こる。したがって、鍛造温度と鍛錬比、とりわけ鍛造終了時の温度と加工度が、結晶粒微細化に大きな影響を与える。鍛造終了温度は、高くなり過ぎると結晶粒が大きくなり、低くなり過ぎると表面割れや、鍛造品に残留する応力が高くなることによる内部割れを生じるなどの問題が発生する。これらのことから、鍛造終了温度は700℃～800℃程度とするのがよい。

(2) 鍛錬成形比と機械的性質

鋼材の鑄造組織を破壊し、空隙性欠陥を圧着して強靱な材質を得るためには、ある程度以上の鍛造加工を行う必要がある。鋼材の加工前の断面積を A_0 、加工後の断面積を A_1 とすると、この比すなわち A_0/A_1 を鍛錬成形比(鍛錬比)と呼び、鍛造加工の大きさの程度を表す。しかしながら、鍛錬成形比は外部寸法変化により求めた平均的成形比であり、鋼材内部の真の変形量を意味するものではない。図3.3.3-1に、最近の真空造塊法によって製造したMn-Ni-Mo鋼の鍛錬成形比と機械的性質の異方性の関係を示す。縦方向では、鍛錬成形比が3以上になると機械的性質が著しく改善される。横方向では、鍛錬成形比があまり大きくなると、伸び、絞り、衝撃値などの靱性がむしろ低下する。JIS G 0306では鍛鋼品の形状によって異なるが、代表的形状のものについて、3以上の鍛錬成形比を規定している。なお、性質の異方性は真空溶解、ESR溶解などの特殊溶解法の開発と進歩により著しく改善されている。

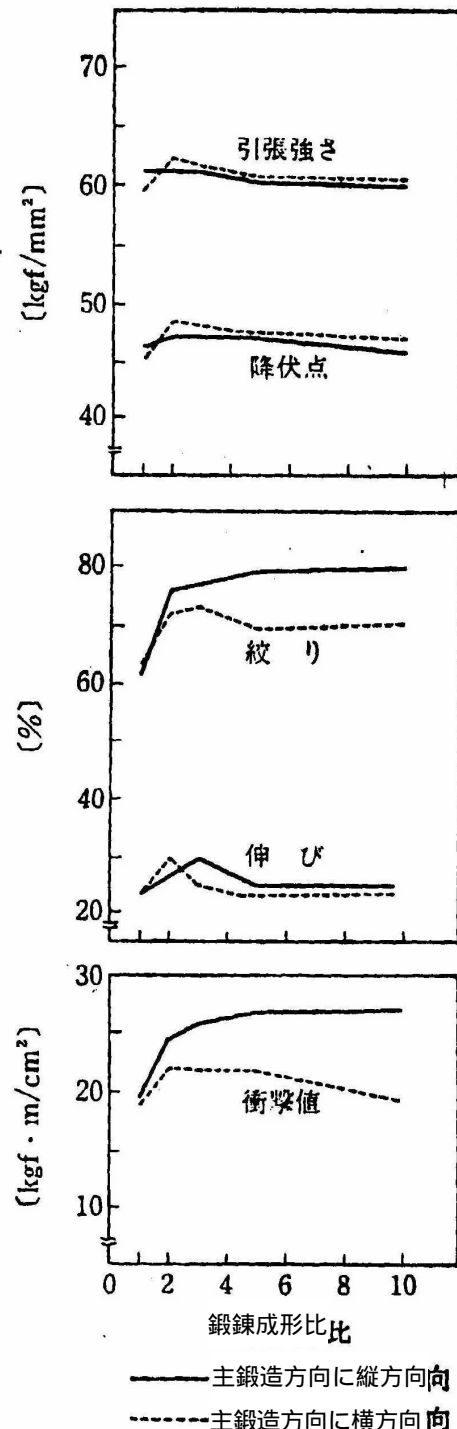


図 3.3.3-1 真空造塊鋼の鍛錬比と異方性
(20MnMoNi55 鋼, 105t 鋼塊底端側)

参考文献

1) 鉄鋼便覧 鑄造・鍛造・粉末冶金 日本鉄鋼協会編 1982 年

3.3.4 ステンレス鋼の鍛造

(1) ステンレス鋼の定義

ステンレス鋼とは、錆の発生を防止する為に表層に不動態を形成し、不銹性を保つ鋼で、主成分として、Cr を含有する特殊鋼と定義されている。広義には、Cr 5 % 以上の合金鋼を総称する場合もあるが、一般的には、Cr を 1 2 % 程度以上含有したものを指し、Cr の含有量が多くなるに従って不動態被膜が強固になり、耐食性が向上する。

ステンレス鋼は、その化学成分から、フェライト系、マルテンサイト系、オーステナイト系、析出硬化系、二相系の 5 種類に大別される。これらのいずれもが、熱伝導性が悪く、且つ、変形抵抗が通常の鋼に対して大きい為、鍛造作業においては、注意が必要である。以下に、各種ステンレス鋼の鍛造時の注意点について述べる。

(2) フェライト系ステンレス

ステンレス鋼の中では比較的、変形抵抗が低く、鍛造性も良好であるので、キズ発生等のトラブルは比較的少ない。変態点がない為、昇熱、冷却の熱取扱いも容易であるが、逆に熱処理による結晶粒度の調整が困難な為、加熱温度と時間の管理が重要となる。

(3) マルテンサイト系ステンレス

焼入れ硬化性に優れ、硬さと強度の要求される用途に使用される。C (炭素) 量によって硬さを向上させることは出来るが、耐食性を確保する為に Cr 添加量も増加するので、鍛造性は低下し、昇熱、冷却時の熱取扱いには注意が必要となる。

(4) オーステナイト系ステンレス

変態点がなく、熱取扱いは容易であるが、変形抵抗が大きく、鍛造性が悪い上に、熱処理による結晶粒度の調整が困難な為、鍛造時には、加熱温度、鍛造スケジュール、最終鍛錬比等を十分に考慮する必要がある。又、切削性が悪い為、S(硫黄)等、快削元素が添加されている場合があるが、快削元素が添加されると鍛造性が悪化するので、素材の選定にも注意を要する。

(5) 析出硬化系ステンレス

ステンレス鋼の中で最も高硬度、高強度が得られるが、熱取扱いや鍛造性に細心の注意が必要である。特に、大断面の鍛造品を製造する場合には、熱取扱いに注意が必要である。

(6) 二相ステンレス

耐海水用途等、特に過酷な腐食環境で優れた耐食性を有し、オーステナイト系ステンレスより高い強度を持つ為、最近、需要が拡大している。但し、鍛造性は悪く、鍛造前後や熱処理時の熱取扱いが極めて困難であるので、加熱温度、鍛造スケジュールだけでなく、熱処理時の管理にも注意が必要である。

(7) 鍛造工程における各材質毎の注意点

以上の特徴を持つ各ステンレス鋼の、鍛造工程毎の注意点を表 4.3.3-1 に示す。

表 4.3.3-1 鍛造工程における各材質毎の注意点

工 程	昇熱工程	加熱工程	鍛造工程		冷却工程
要 因	熱伝導性	再結晶挙動	変形抵抗	熱間加工性	熱伝導性
トラブル内容	急速加熱 割れ	結晶粒度 粗大化	中心鍛錬 不足	キズ発生	冷却割れ
フェライト系	○	×	○	○	○
マルテン サイト系	×	○		○	×
オーステ ナイト系	○	×			○
析出硬化系	×		×	×	×
二相系	×	×	×	×	×

○：該当トラブル事例は発生しにくい

○：該当トラブル発生の可能性あり

×

参考文献

- 1) 「特殊鋼便覧」：理工学社 1967 年

3.4 熱処理

3.4.1 焼入れ、焼戻し

(1) 焼入れの目的

鋼の焼入れは高温に加熱した鋼を適当な速度で冷却する処理であり、その目的は鋼を硬化させる場合と高温で安定な金属組織状態を室温にもちきたす場合とがある。前者は適量の炭素を含有して、高温からの急速冷却により硬化する鋼に対して行われる。後者はステンレス鋼や高マンガン鋼など、一部の鋼に適用されるものである。

(2) 焼入れ性と質量効果

鋼を焼入れ硬化させる場合、焼入れによってマルテンサイトと呼ばれる硬い組織にする必要がある。そのためには、臨界冷却速度以上で冷却する必要がある、この速度に達しなければマルテンサイトは得られない。

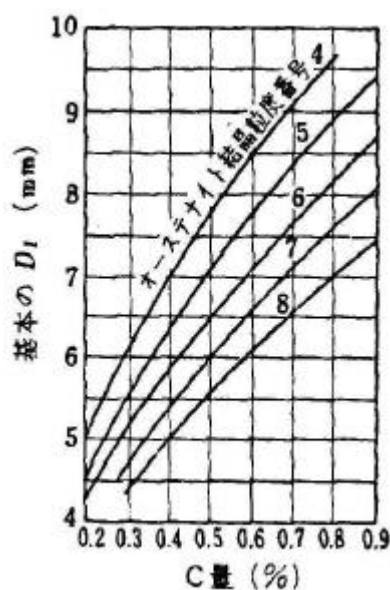


図 3.4.1-1 基本の D_1 に及ぼす C 量および結晶粒度の影響

焼入れ性とは焼きの入りやすさ、焼入れ硬化しやすさのことで、上記の臨界冷却速度の大小が焼入れ性の一つのパラメーターとなる。臨界冷却速度は鋼種によって異なり、一般に炭素鋼では大きく、合金鋼では小さくなる。すなわち、合金鋼のほうが焼入れ硬化しやすく、焼入れ性が高い。ここで注意すべきことは、焼入れ性と焼入れ硬さは別のものということである。焼入れ性とは、マルテンサイト組織の生成しやすさであるが、焼入れ硬さとは、得られたマルテンサイト組織の硬さであり、その硬さは、炭素量のみに支配され、合金元素の種類や量にはほとんど影響されない。

ある大きさを持った鋼材を焼入れすると、最表面部の冷却速度が最も大きく、中心部に近づくほど冷却速度が小さくなる。この現象は、鋼材の大きさが大きくなるほど顕著になり、臨界冷却速度と鋼材の各部位における実際の冷却速度との相対関係により鋼材の各部位での焼入れ効果が変化する。このような、鋼材の大きさにより、焼入れ効果が変化することを質量効果という。焼入れ性の大きい鋼は質量効果が小さい。

(3) 焼入れ性に影響を与える諸因子

鋼の焼入れ性に影響を及ぼす諸因子のうち、最も基本的なものは、炭素量、オーステナイト結晶粒度、合金元素の種類と量である。

これらのほかに、オーステナイト化温度などもあるが、この影響はオーステナイト結晶粒度に含まれるものとする。

炭素量

鋼に含まれる炭素量が多いほど焼入れ性は増大する。

オーステナイト結晶粒度

オーステナイトとは、鋼を焼入れするために鋼材を加熱したときに生成する相で、その結晶粒の大きさが大きいほど焼入れ性が高い。図 3.4.1-1 に焼入れ性に及ぼす炭素量ならびにオーステナイト結晶粒度の影響を示す。結晶粒度番号は大きいほど結晶粒が小さいことを示す。図中の D_1 とは、直径 D_1 (mm) の丸棒試験片を無限大の冷却速度で冷却したとき、中心部まで焼きが入る

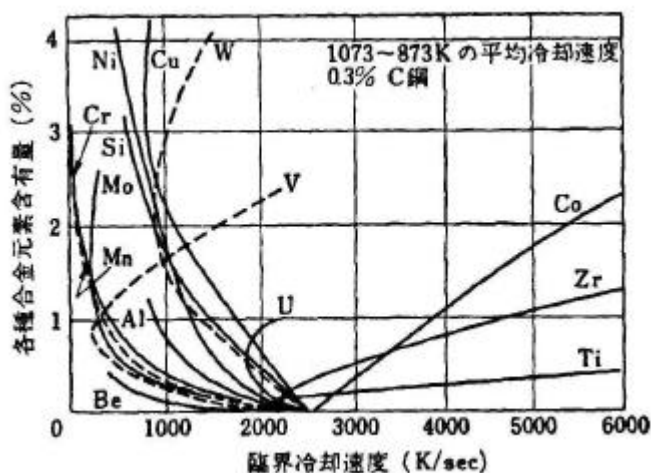


図 3.4.1-2 臨界冷却速度に及ぼす各種合金元素の影響

(50% マルテンサイトになる)場合の試験片直径を示し、大きいほど焼入れ性がよい。

合金元素

図3.4.1-2に臨界冷却速度に及ぼす合金元素の種類と量の影響を示す。多くの元素は含有量の増加とともに焼入れ性を増大させる(臨界冷却速度が小さくなる)が、V、W、Ti、Zrなどは増やし過ぎると焼入れ性を低下させる。またCoは添加すると焼入れ性が低下する。

(4) 焼入れにおける加熱と冷却

焼入れ温度

焼入れは、鋼を変態点以上の高温域に加熱してオーステナイトと呼ばれる組織にした後、急冷してマルテンサイト組織にするものであるが、炭素量、鋼種によって適切な加熱温度は異なる。図3.4.1-

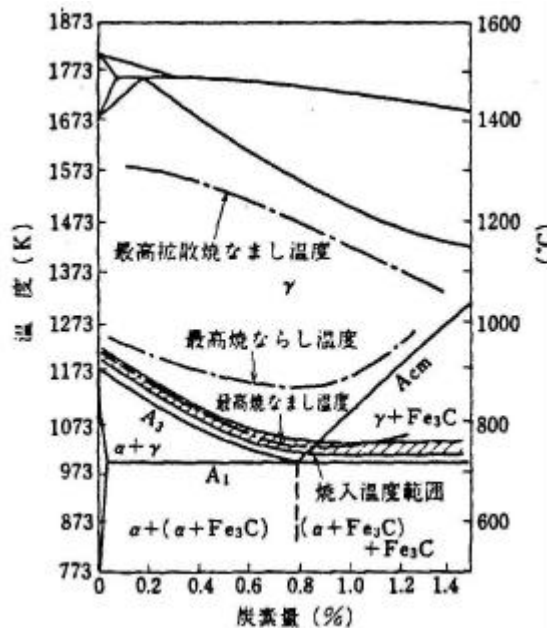


図 3.4.1-3 炭素鋼の焼き鈍しおよび焼入れ温度範囲

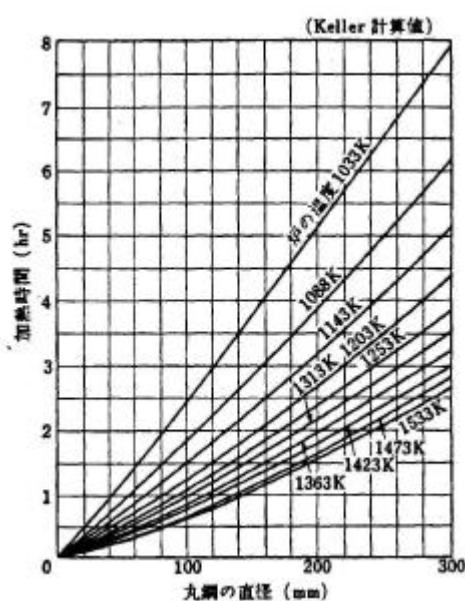


図 3.4.1-4 丸鋼棒直径と加熱時間の関係 (一定温度の炉中に挿入した場合)

3に炭素鋼の焼入れ温度範囲を示す。図には焼入れのほか後述する焼ならし、焼なまし温度範囲についても示している。炭素量が0.8%以下の亜共析鋼では A_3 線よりも30～50 高い程度がよい。 $A_3 \sim A_1$ 間の温度から焼入れすると、その温度ではオーステナイトのほかにフェライトと呼ばれる硬化に寄与しない組織が共存するため、その部分は硬化しない。一方、炭素量が0.8%を超える過共析鋼では A_1 線より30～50 高い温度から炭化物を残した状態で焼入れされる。過共析鋼では焼入れによって硬いマルテンサイトを得るとともに、焼入れ温度でもオーステナイトと共存し、焼入れによってマルテンサイトよりも硬く、耐摩耗性に富んだ炭化物(セメントイト, Fe_3C)が粒状にマルテンサイトの基地中に分散したものが得られる。 A_{cm} 線を超えた温度から焼入れすると、炭化物がすべて固溶しているため焼入れ時にセメントイトが結晶粒界に沿って網目状に析出し、耐疲労性や耐衝撃性を劣化させるだけでなく、焼入れ時に割れが発生しやすくなる。このことから、通常、焼入れ温度は A_1 線からあまり高くない温度とする。このように、焼入れ加熱温度は変態点より30～50 高い温度とするが、変態点は合金元素の存在により変化するので、必要に応じて事前に変態点を測定する必要がある。また、加熱時間は炭化物などを十分に分解、固溶させる必要があるため、焼入れする材料の中心部の温度が所定の温度に達した後0.5～1.0時間程度の保持が必要である。図3.4.1-4に鋼の丸棒を一定温度の炉中に入れて、その温度に達するまでの時間を示す。加熱温度が高いほど、温度の上昇は早い、加熱温度が高すぎると結晶粒が粗大となり、急冷したときに割れたり、焼戻しを行ったあとの靱性が悪くなる。

焼入れ冷却

焼入れにおける冷却は、冷却過程でパーライトと呼ばれる比較的硬さの軟い組織の生成を阻止することが重要である。パーライトは500～550 付近で最も生成されやすいので、この温度付近を早く通過させることが重要である。一方、マルテンサイトの生成が始まる温

度(Ms点)以下では、一般には焼割れや変形防止のために、冷却はむしろ緩慢な方が望ましい。しかしながら、炭素量の高い鋼では室温まで焼入れ冷却してもマルテンサイトにならずオーステナイトが混在(残留オーステナイト)するようになる場合があるので、Ms点以下に冷却されてもできるだけ早く室温まで冷却するのがよい。Ms点は炭素量、合金元素量によって変化し、炭素を含む大部分の合金元素は、その含有量の増加によってMs点を低温側に移行させる。特に炭素の影響が大きい。Ms点の低い鋼は残留オーステナイトが生成しやすく、氷点以下の温度まで冷却する処理(サブゼロ処理)が必要となる場合が生じる。焼入れにおける冷却媒体として、一般に水(水焼入れ)および油(油焼入れ)が用いられるが高合金鋼など、焼入れ性にすぐれた鋼では衝風あるいは静止空気などによる焼入れも行われる。

a. 水焼入れ

水焼入れは鋼を急速に冷却する場合に行われ、20℃以下の水を用いることが肝要である。20℃の水における冷却速度は120～160℃/sec程度といわれているが、水温の上昇とともに急激に冷却速度は低下し、80℃では20～30℃/secになる。水焼入れの場合、冷却に際し水蒸気が鋼材の周囲に多量に発生し、鋼材表面に付着すると、その部分の冷却は著しく遅くなり硬化せずに軟点となって残ったりするので、冷却中に鋼材を水中で激しく動かし、冷却水を十分に攪拌したり噴水によって冷却するなどにより全表面を一様に急冷する必要がある。

b. 油焼入れ

油焼入れは主として焼入れ性のよい合金鋼に適用される。20℃の油の場合、冷却速度は20～80℃/sec程度であり、油温が上昇しても冷却速度があまり変化しないのが特徴である。実作業では一般的に60～70℃の油温で行われる。

(5) 焼戻しの目的

焼入れ状態の鋼は内部応力が高く、その組織は大部分がマルテンサイトとなっている。マルテンサイトは硬くて強いが靱性に欠け、繰返し荷重や衝撃荷重を受けると破壊しやすい。このような状態のものをA₁変態点以下に加熱することにより、内部応力を解放するとともに安定な金属組織とし、強度と靱性を兼備したすぐれた機械的性質を持つ鋼を得ることを目的としている。

(6) 焼戻しによる機械的性質の変化

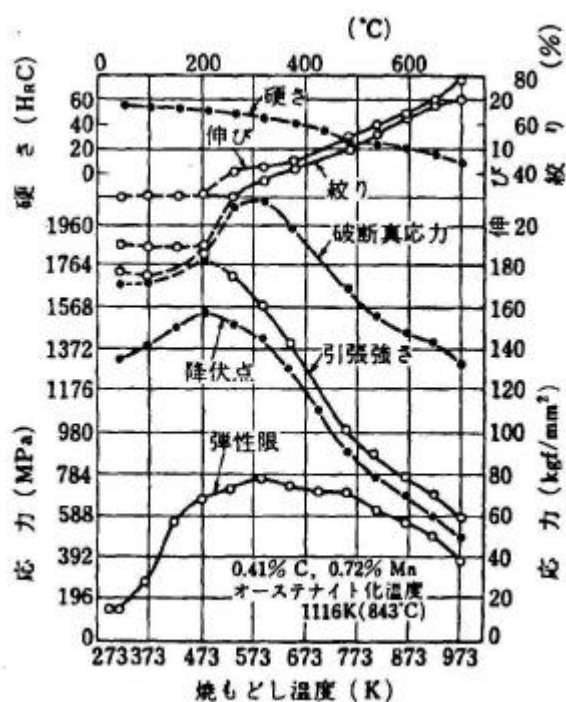


図 3.4.1-5 炭素鋼の機械的性質に及ぼす焼き戻しの影響

図3.4.1-5に炭素鋼を焼入れ後、各温度で焼戻ししたときの機械的性質の変化を示す。硬さは温度の上昇とともに連続的に低下するが引張強さ、降伏点、弾性限などは低温焼戻し域で一度高くなり以後減少する。伸び、絞りなどの延性は連続的に増大する。

図3.4.1-6には、焼入れした炭素量の異なる炭素鋼の焼戻しにともなう衝撃値の変化を示す。いずれの鋼も300℃付近の焼戻しにより、衝撃値が著しく低下する。しかし、一度高温で十分焼戻しされたものをこの温度に再度加熱しても衝撃値の低下は起こらない。この脆性は低温焼戻し脆性と呼ばれ、高純度鋼では現れずPやNなどの不純物元素を含有する鋼ほど著しい。

一方、図3.4.1-7には焼入れしたNi-Cr鋼を400～650℃間の温度で焼戻ししたときの衝撃値の変化を示す。実線は焼戻し後水冷したもの、また破線は1℃/minで炉冷したもので、焼戻し後の冷却速度の影響を調べた結果である。これからわかるように550～650℃の焼戻し温度から徐冷したものには著

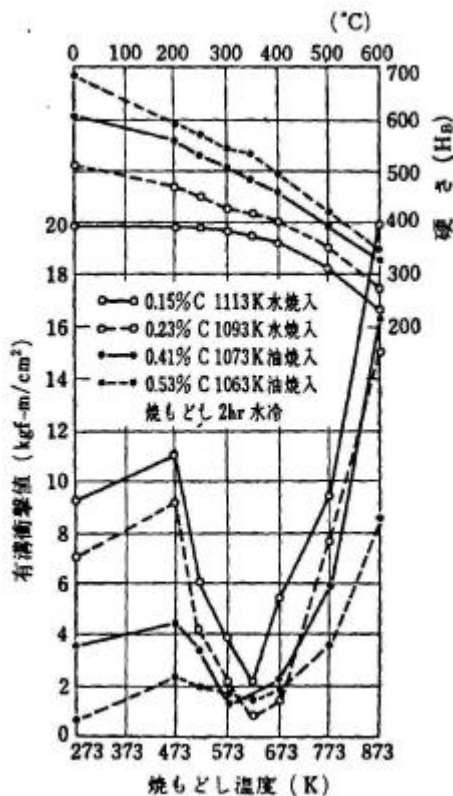


図 3.4.1-6 各種炭素鋼の焼き入れ焼き戻しによる硬さおよび衝撃値

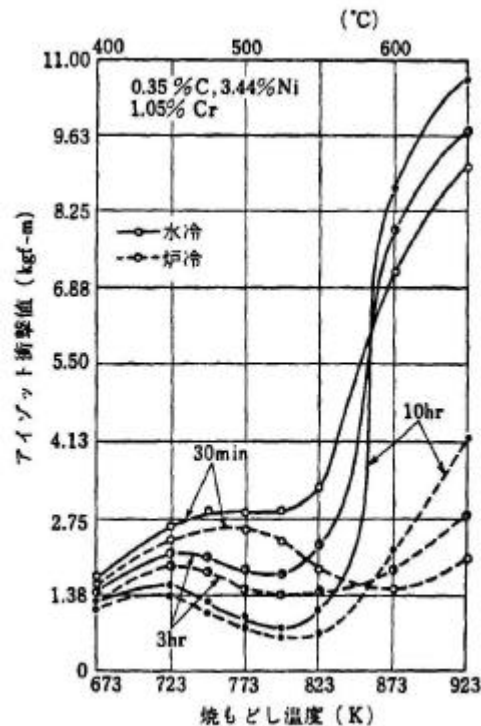


図 3.4.1-7 Ni-Cr 鋼の焼き戻し脆性

しい脆化が認められるが、急冷したものには脆化は認められない。これは高温焼戻し脆性と呼ばれ、550 を超える高温で一度十分に焼戻しを行って靱性を付与した鋼でも、再度500 付近に加熱保持したり、高温焼戻し後この温度域を徐冷すると発現する。逆に、一度高温焼戻し脆化を起こしたもので、600 以上に再加熱し、500 付近の温度域を急冷すれば靱性は回復する。すなわち、低温焼戻し脆性は不可逆的であるのに対し、高温焼戻し脆性は可逆的である。この脆性はP、Sb、Sn、Asなどの

不純物元素によるとされ、Mn、Si、Ni、Crなど多くの合金元素はこれを助長し、Moは抑制する効果をもっている。Moは高温焼戻し脆性の顕著な抑制効果を有する貴重な元素で、0.2～0.5%程度のMo添加で効果が著しが、多量の添加では効果がない。焼入れ焼戻しをして使用される多くの合金鋼がMoを有する理由の一つは高温焼戻し脆性感受性の抑制にある。大型の鋼材では焼戻し後の冷却速度が小さくなるので、この脆性への配慮が必要である。

以上のことから、焼入れ鋼を焼戻しする場合、低温および高温焼戻し脆性を避けて150～200 の低温焼戻しか、600 以上の高温焼戻しを行うのがよい。

図 3.4.1-8 には各種Mo鋼を焼入れ後、各温度で焼戻しした場合の硬化曲線を示す。Moを含有しない鋼では、温度上昇とともに硬さは一様に低下するが、Mo鋼ではMo量によって変化するものの600 付近で硬さの上昇が認められる。この現象を二次硬化という。この現象は、Cr、Mo、V、W、Ti、Nbなどの強い炭化物形成元素を含む鋼に見られる現象である。これらの強炭化物形成元素を含有する焼入れ鋼を450 以上の焼戻し温度で焼戻すと特殊炭化物が析出し、これによって焼戻し

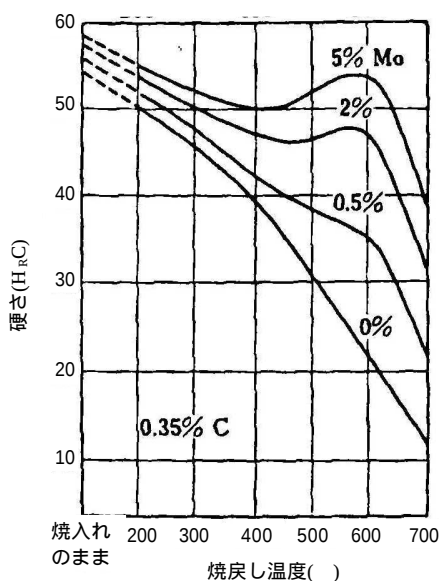


図 3.4.1-8 0.35%C-Mo 鋼の焼戻し軟化抵抗におよぼすMo%の影響

軟化が抑制され、析出硬化を起こす。二次硬化現象は高速度鋼などの強炭化物形成元素を多量に含む工具鋼などの焼戻し時に顕著に認められるが、これらの強炭化物形成元素を少量含む低合金鋼でも、焼戻し軟化抵抗が高くなる。

3.4.2 焼ならし（焼準）

(1) 焼ならしの目的

鋼を A_3 または A_{cm} 変態点以上の適当な温度に加熱し、均一なオーステナイト組織になるまでその温度で適当な時間保持した後、静かな大気中で冷却する操作を焼ならしという。鍛造品では、熱間加工の際の高温加熱によって結晶粒が粗大化し、その後の鍛錬成形比や鍛造終了温度の部分的な変動により、結晶粒の大きさの不均一化、あるいは炭化物の局部的な凝集粗大化などが生ずる。これらの好ましくない組織の解消が焼ならしの主要な目的である。

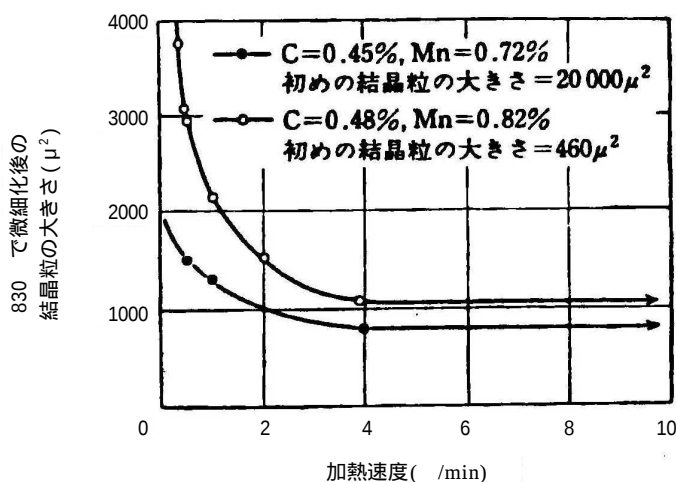


図 3.4.2-1 結晶粒微細化後のフェライト粒度におよぼす加熱速度の影響

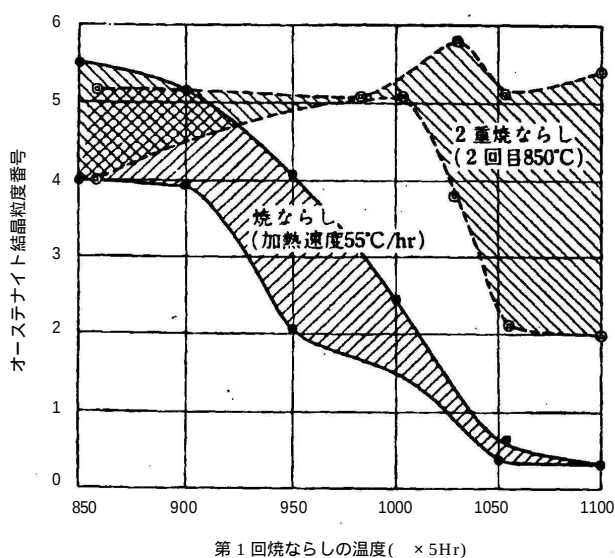


図 3.4.2-2 炭素鋼鍛鋼品 (SF55) の2回焼ならしによるオーステナイト結晶粒度の変化

(2) 焼ならしによる結晶粒の微細化

鋼を加熱して A_{c3} （加熱したときの A_3 で加熱速度が大きいほど A_3 より高温側にずれる）または、 A_{cm} 変態点の直上温度に保持すると、組織全体が微細なオーステナイト結晶粒で占められる。この結晶粒の大きさは、変態区間（ $A_{c1} \sim A_{c3}$ または A_{cm} ）を通過するときの加熱速度が早いほど微細になる。一方、冷却変態によって生ずるフェライト結晶粒の大きさはオーステナイト結晶粒度に直接的に支配され、オーステナイト粒度が小さいほうがフェライト粒も細くなる。図3.4.2-1

はこの関係を示したもので、その影響は加熱速度の小さい範囲で強くなる。この図からわかるように、もともとの結晶粒が大きいほうが細粒化の効果は大きい。したがって、焼ならしは混粒組織を整粒化する効果を有することがわかる。

焼ならし温度は通常変態点以上 40 ～ 60 °C の焼なましの場合に比べてやや高くする。それは、変態区間の加熱速度を早くするためである。加熱速度は目標温度に近づくほど急激に低下するので、目標温度をやや高くして変態区間通過速度を早くする。保持時間は結晶粒の成長を抑えるために、鋼材の内外の温度が均一になるまでの時間で十分で、均熱状態に入れば直ちに冷却に移るのがよい。

(3) 2回焼ならし

鍛造品の過熱組織や大型鍛造品に見られることがある粗大結晶粒は、1回の焼ならしでは十分な微細化が困難なことが多い。このような場合には2回(2重)

焼ならしを行うのがよい。この場合、1回目の焼ならしは A_{c3} 点以上 150 ～ 200 °C の高温で行い、拡散による粗大組織の破壊を図る。2回目は通常の焼ならし条件によって組織を微細化する。図3.4.2-2に炭素鋼鍛鋼品の2回焼ならしによるオーステナイト結晶粒度の変化を示す。1回目の焼ならし温度は

横軸に示す温度で、850～1100 に変化させてある。2回目の焼ならし温度は850 で一定にしてある。1回だけの焼ならしでは1050 以上にならないと整粒化せず、しかもその場合の結晶粒は著しく粗大になっている。次に、850 で2回目の焼ならしすると、1回目の温度が950～1000 の場合のみ整細粒になることがわかる。2回焼ならしによって細粒化するためには、適当な加熱温度の設定が肝要である。

(4) 焼ならしによる機械的性質の変化

焼ならしによる結晶粒微細化にともなって、鋼材の機械的性質や衝撃特性が向上する。したがって、炭素鋼など焼入れ性の小さい鋼で、質量効果の大きな鍛造品では、焼入れ焼戻しを行わず、焼ならしまたは焼ならし焼戻しの状態で使用するものが多い。

3.4.3 焼なまし（焼鈍）

(1) 焼なましの種類

焼なましとは、鋼を適当な温度に加熱してその性質を変え、目的に沿う性質を得る熱処理方法である。その目的に応じて、代表的なものとして、 拡散焼なまし 完全焼なまし 恒温焼なまし 球状化焼なまし 応力除去焼なましなどがある。

(2) 各種の焼なまし

拡散焼なまし

鋼塊における元素の偏析を軽減するための焼なましで、鍛造の前処理として行われる。鋼塊内部にはマクロ的にも、ミクロ的にも成分元素や不純物元素の偏析が存在する。これらの偏析により機械的性質その他に好ましくない不均質が生じることがある。従って、これらの偏析を拡散させ、成分を均質化させるための焼なましは拡散焼なましである。拡散焼なましの温度域は図3.4.1-3に示してあるが、拡散は高温ほど活発化するので A_3 または A_{cm} よりはるかに高い温度が採用される。鋼塊は、通常鍛造などの熱間加工に先立って高温に均熱されるので、拡散焼なましを兼ねることが多い。

完全焼なまし

鋼を軟化させてその被削性を改善するために、 A_{c3} または A_{c1} 点以上の温度に十分な時間保持した後、 A_{r1} (冷却過程で現れる A_1 変態点で、状態図に示されている A_1 点よりも低温側にずれる)以下の温度まで徐冷する操作を完全焼なましといい、単に焼なましといえば完全焼なましを指すのが普通である。

加熱温度は、亜共析鋼では A_{c3} 上、また過共析鋼では A_{c1} 上の20～30 付近が最適である(図3.4.1-3参照)。過共析鋼の被削性改善のためには後述の球状化焼なましを行うのがよいが、単に結晶粒を微細化し、均一なパーライトと粒状炭化物との混合組織を得るのが目的であれば、 A_{c1} ～ A_{cm} 間の温度に加熱した後、徐冷すればよい。合金鋼では変態点が合金元素の種類や量によって変化するので最適な加熱温度を選定する必要がある。MoやWを多量に含む鋼では、加熱温度が高すぎると安定な炭化物を形成し、焼入れに際して固溶しにくく、焼入れ性が悪化するので注意しなければならない。オーステナイトからの徐冷過程で生成されるパーライトは冷却速度によって大きく影響される。パーライトの層間距離はその生成温度によって支配され、低温で生成するものほど小さく、それに応じて硬くなる。したがって、十分に軟化させるためには A_{r1} 点から50 以内の高温で変態を完了させることが望ましい。最適冷却速度は鋼種、大きさによって異なるが、合金鋼や寸法の大きいものほど徐冷する必要がある。変態が完全に終了すれば、その後の冷却は変形が問題にならない限り早くてもよい。なお、完全焼なましでも結晶粒の微細化が可能であるが、焼ならしのほうがより微細になる。

恒温焼なまし

この焼なましは完全焼なましの变形とでもいえるもので、完全焼なましにおける冷却過程の変態を連続変態から恒温変態に置き換えたものである。一般に A_1 点直下におけるパーライトの生成速度は小さく、完全焼なましにおいて、徐冷により変態を完了させるにはかなり困難をとまなう場合がある。この徐冷に代えて、 A_1 点直下の適当な温度に恒温保持することによりパーライトを生成させる。これにより、冷却時間の短縮が可能となる。加熱温度範囲は完全焼なましと同じでよい。処理後の硬さを低くするためには、オーステナイト化温度を低めとし(完全焼なましの場合も同じ)、恒温変態させる

温度を高め設定する。このことは完全焼なましにおける冷却速度をより小さくすることに相当する。恒温変態温度への冷却は早くてもよいので、時間短縮のためには、所定の温度に保った別の炉に移してその温度まで急冷するほうがよい。合金鋼など焼入れ性のよい鋼をパーライト変態させるには、完全焼なましより好都合である。

球状化焼なまし

炭素量の高い炭素鋼やMo、Wを多量に含む合金鋼などのように、完全焼なましでは十分に軟化できないものや、中程度の炭素含有量の鋼に冷間加工を行うような場合に、硬さを低下させ延性を向上させる目的で炭化物を球状化させる焼なましを球状化焼なましという。軟化の程度は炭化物の分布と大きさによって異なり、数が少なく粒子が大きいほど軟らかい。

球状化の方法として

- (a) A_1 点直下のオーステナイトが生成しない温度で長時間保持する。
- (b) A_1 点を中心に、直上直下の温度間での加熱冷却を繰返す。
- (c) A_1 点直上または A_1 点と A_{cm} 点の間の温度に比較的短時間加熱後、非常にゆっくり冷却するか A_1 点直下の温度に長時間保持する。
- (d) 炭化物が固溶する A_{cm} 点以上の最低温度に加熱後、網目状炭化物の再析出を防ぐ適当な速度で冷却してから、再加熱して(a)または(b)の方法を適用する。

がある。

(a)の方法は主として焼入れまたは冷間加工された鋼の球状化に適用されるもので、加熱温度が高いほどよい。この方法では最初から網目状炭化物が存在すると、その部分は球状化できない。

(b)の方法は亜共析鋼に最適で、最も早く球状化する。ただし、加熱温度が高すぎると球状化が困難になる。冷却時の速度は遅いほどよい。加熱冷却の繰返しは2～3回でよい。

(c)の方法は処理が簡単で球状化も比較的早い。低炭素鋼ではパーライトを生じやすい。焼なましの操作は完全焼なましおよび恒温焼なましと変わらないが、加熱温度をより低く、加熱時間をより短くしてオーステナイトをより不均一にし、 A_1 点の通過冷却速度をより遅くするか、直下での保持温度をより高く、保持時間をより長くする必要がある。

(d)の方法は微細でしかも分散度のよい球状化組織が得られる。まず、 A_{c3} または A_{cm} 点以上に加熱後、粗大パーライトや網目状炭化物の生成を防ぐために急冷を行う。通常空冷とするが、油冷または水冷する場合もある。低炭素鋼では炭化物の分布が不均一になりやすいので急冷する必要がある。

球状化焼なましの対象となるのは、主として炭素量が0.5%以上のものであるが、最近では冷間鍛造成形技術の普及により、0.3～0.5%Cを含有する鋼に球状化焼なましをすることも行われている。一般に炭素量が少ない鋼ほど球状化が困難で、熱間ダイス鋼や高速度鋼などの高炭素鋼のほうが球状化は容易である。

応力除去焼なまし

焼入れ、溶接、鍛造などによって生じた残留応力を除去するための熱処理で、ひずみ取り焼なましともいう。鋼の場合、変態点以下の適当な温度で加熱後徐冷する。加熱温度は、応力の程度や鋼種によって異なるが、温度が高いほど短時間で残留応力は減少する。

参考文献

- 1) 鋼の熱処理 日本鉄鋼協会編 1969年
- 2) 鍛鋼品ハンドブック 日本鍛鋼会編 1967年
- 3) 金属熱処理技術便覧 金属熱処理技術便覧編集委員会編 日刊工業新聞社 1971年
- 4) 鉄鋼便覧 鑄造・鍛造・粉末冶金 日本鉄鋼協会編 1982年

3.5 仕上・検査処理

3.5.1 表面処理

鍛造品は鍛造作業や熱処理作業によって、その表面にスケールが付着しており、肌も粗雑になっている。また、機械加工を行う場合には、スケールのため刃物の寿命を短くし、能率が低下することが多くなるため、これを除去することが必要である。スケールを除去することで検査工程において鍛造品表面の欠陥を検査することにも役立つ。さらに、金属の表面に油脂、腐食生成物、塵埃などの汚れがあると、表面の物理的、化学的性質が変化する。したがって、その後の表面処理、例えばメッキ、塗装などをする場合に密着性、連続性、耐久力に大きな影響を与える。そこで、表面の適当な前処理 - 清浄化が必要になる。

ここでは錆やスケールを取り除く除錆作業等の表面処理と表面の一時的な防錆方法について述べる。

(1) 除錆作業

一般的にはブラスト法などの機械的方法と酸洗いなどの化学的方法がある。

ブラスト法

表面の脱スケールおよび清掃に砥粒を使用するブラストクリーニングは最も普通に用いられる便利な方法である。砥粒は圧縮空気あるいは遠心力を利用して鍛造品に吹き付けられる。

a. 砥粒の種類

砥粒は非金属材料と金属材料に分かれ、非金属では桂砂、SiC、酸化アルミニウムなどがあり、金属では鋳鉄、熱処理鋳鉄、鋳鋼、引拔鋼線などがある。粒の形状によって球状のものをショット、鋭い角のものをグリット、引拔鋼線のみはカットワイヤーショットと呼ぶ。一般にショットを用いれば平滑な面、グリットを用いれば粗い面となる。

b. サンド（砂）、ショット（鉄粒）、グリット（鉄粒片）の比較

ショット、グリットはサンドに比べ物理的、機械的性質および経済上、衛生上すべての面で優れている。分離性、脆さ、比重、硬さについてもサンドは軽く、硬さは劣り脆いため寿命についてもショット、グリットはサンドの60～80倍とされている。さらにサンド使用の場合には塵埃の5～10%は5μm以下の微塵で完全除去は困難であるため作業者の珪肺病の問題があり、現在ではあまり用いられなくなっている。

表3.5.1-1 鋳鉄および鋳鋼の化学成分

分 種類	化学成分 (%)			硬度(Hv)
	C	Si	Mn	
鋳鉄	318	1.12	0.11	592
鋳鋼	1.2	0.16	0.68	115
	1.15	0.98	0.72	398

c. ブラストクリーニングの装置

処理する鍛造品の形状、大きさ、量などによりエプロンコンベヤ式、回転ドラム式、テーブル式、台車式、連続式などの装置がある。

酸洗い

鍛造品を酸につけ、酸の作用によってスケールを取り除く方法である。除錆のために長時間行うピッキングや、表面処理の直前に薄い酸化皮膜を除去するために短時間で酸洗する酸浸漬がある。この酸洗いの方法では酸の作用でスケールが鍛造品の表面から除去されると同時に鍛造品の表面を腐食させるおそれがあるため、促進剤（インヒビタ）を加えて、母材とスケールの間に浸透させ、密着をゆるめた後、スケールの除去を行う。鉄鋼の酸洗液には塩酸、硫酸、硝酸などがあり、このうち約5～15%の希塩酸水（温度40～50℃）が多く用いられている。鍛造品に付着している油脂、潤滑剤およびその他の付着物は酸で除去することが困難であるため、酸洗い前にあらかじめ除去するか、アルカリ液に浸して表面を十分にきれいにしてから酸液につける。

酸洗い後は清水または温湯で十分に酸を洗い落とす。温湯で洗うとその後の乾燥が速く、表面の錆発生防止に役立つ。

(2) 研削作業

自由鍛造品の切り口の不具合部分、たがねはつり跡および微小な表面きずを除去するためにグラインダによるすり落しが行われる。この場合強いグラインダかけによって焼きが入ったり、細かい毛割れが発生したりする恐れがあるので、特に焼きいれた製品や、特殊鋼の場合には十分注意して作業を行わねばならない。

(3) 防錆作業

製品の貯蔵、輸送時や加工、組立前の中間工程における錆止めには防錆包装と各種の一時的防錆法が行われる。防錆包装は防水防湿包装材 - 高分子物質フィルム、高分子物質加工紙、金属箔などを用いて行い、内部の湿気をシリカゲル、活性アルミナなどの乾燥剤などにより低下させる。乾燥剤の使用量などについては JIS-Z0301 に定められている。

一時的防錆法（関連規格：JIS K 2246、JIS Z 0303、JIS Z 0305 など）

a. 防錆油の使用

鉱油は金属になじみにくく、水や酸素を透過させるので塗布しても防錆効果は少ない。そこで防

表 3.5.1-2 防錆管理項目

管理項目	備考・注意点
・ 前工程の油剤	①油剤のタイプ
	油性、エマルジョン、水溶性
	②腐食性成分の混入
	塩素、硫黄など
	③腐食性成分の蓄積
	錆の原因となる
・ 材料の性質	④不溶解物質の混入
	結露の核となる
	⑤水分の混入
	錆の原因、防錆油の劣化
	⑥指紋の付着
	指紋錆の原因
・ 防錆期間	①材料大→結露しやすい
	②機械加工直後→錆びやすい
	③熱処理焼戻後→錆びやすい
	④非鉄金属は水を嫌う
・ 保管条件	水溶性防錆剤の使用を避ける
	①防錆期間の設定
・ 運搬条件	②梅雨時→錆、結露の原因
	場合によって50%、100%増しの安全度をとる
	①屋内か屋外か
	②周囲工場内外の排気ガス影響
・ 後工程	③通気性
	④海岸からの距離
	①搬送条件
	温度上昇による防錆力低下
	②搬送経路
	急激な温度変化
・ 防錆油の日常管理	③梱包条件、除湿剤の充填
	①寒地対策
	結露、氷結対策要
	⑤結露時期
	1月～6月、日の出前30分頃
・ 防錆油の日常管理	①防錆油の脱脂方法、条件
	②化成処理の有無
	③メッキまたは塗装の有無
	①タンク下層からの水分除去
・ 防錆油の日常管理	前工程から混入
	②混入物のフィルター除去
	鉄屑、塵埃、カーボンなど
	③水分以外の腐食因子である塩素分、硫酸分の定期的な定量
・ 防錆油の日常管理	④粘土、比重、引火点等の性状変化の定期的な検査

錆油は石油系炭化水素を基油として、これに金属の表面に吸着して防錆効果を上げる極性物質である有機添加材、界面活性剤を配合する。防錆力はあまり強くなく一時的な錆止めであり、石油系溶剤で容易に除去できることが特徴である。防錆油は主として塗膜形成剤による油膜強度、厚みによる物理的保護作用と防錆添加材による吸着、可溶化、中和、水分置換作用の相乗的な効果により錆の発生を防止する。

b. 気化性防錆材の使用

気化性防錆材は昇華性をもつ腐食抑制剤で一般には防錆材を密閉容器中に必要量入れるか、クラフト紙やターポリン紙に塗布し製品を包装すれば、防錆材が金属表面に吸着して防錆効果を上げる。したがって金属表面に塗布する必要がない。普通はDICHAN(Dicyclohexyl ammonium nitrite: $(C_6H_{11})_2NH_2NO_2$)が用いられ、この粉末は開放した空間では効果はないが、密閉容器30cm立方について1g撒けば、これが気化して防錆効果が得られる。

防錆管理

一時的防錆法による錆発生抑制は非常に効果的な手段であるが、下記に示すような一連の管理を行うことで防錆管理の水準がより一層高くなる。

3.5.2 寸法検査

(1) 長さの標準

現在我が国で用いられている長さの単位はメートルでありその基準は国際的に「クリプトン 86の原子の準位、 $2p_{10}$ と $5d_5$ との間の遷移に対応する光の真空下における波長の1650763.73倍に等しい長さ」と定められている。工業的に用いられる長さ測定標準はミリメートル(mm)である。インチの定義については工業的には $1in=0.0254m$ によりメートルから換算するものが多く用いられる。

(2) 長さ測定器

長さを測定する場合は形状、測定精度、測定部位により、以下に示すような種々の測定機器が一般に用いられる。

直尺(スケール: JIS B 7514、JIS B 7516)、巻き尺

直尺は最も多く使用され、一般に鋼製のものが用いられる。1mm目盛りのものが多く、0.5mm目盛りのものもある。直接鍛造品に当てて使用する場合と、パスなどを用いて鍛造品の寸法を直尺に写して読みとる場合がある。木、竹、合成樹脂、ガラス製などがある。巻き尺は簡単な測定をする場

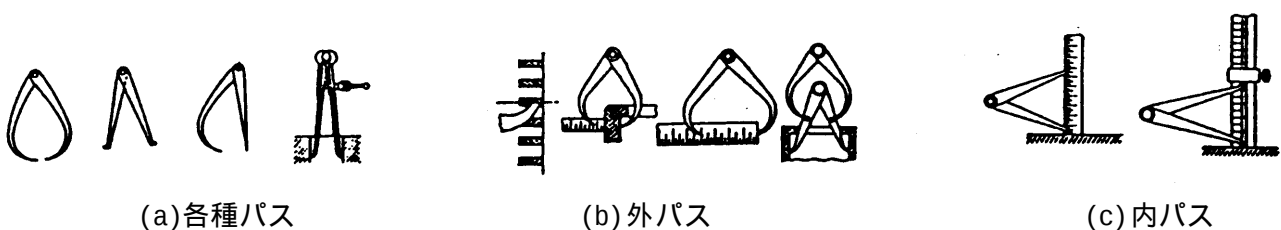


図3.5.2-1 各種パスと測定方法

合に用いられ、繊維性帯状巻き尺はJIS B 7522に、鋼製巻き尺はJIS B 7512に規定されている。

パス(キャリパー)

寸法を測定したり、寸法を写したりする測定器具であり熱間加工中で用いることもある。使用法は図1に示すように両足を開閉させ、その足先で工作物をはさみ、その開きを直尺で読みとり、外径、内径および肉厚を測定する。

使用上の注意点

- 直尺の線からパスの両足の先が等距離になるようにする。
- 内パスではパスの足の一方が直尺の縁に直角にあたるようにする。
- 熟練することにより測定精度はよくなる。

ノギス（バーニヤキャリパー：JIS B 7507）

本尺と副尺を組み合わせた構造をしており、直尺よりも更に精密に測定できる。ノギスにはmm単位のもの、inch単位のものがあり、それぞれ1/20mm、1/128inまで測定できるものが多く、外径、内径、深さの測定ができる。

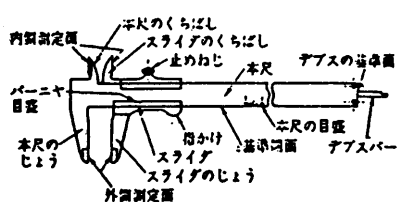
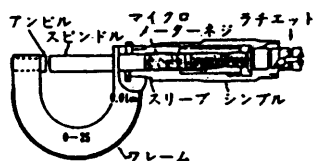
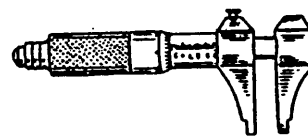


図 3.5.2-2 ノギス



(a) 外径マイクロメータ



(b) 内径マイクロメータ

図 3.5.2-3 マイクロメータ

マイクロメータ（JIS B 7502）

ねじが1回転にすることによりねじの1ピッチだけ進む性質を利用した測定器で、ノギスよりも更に精度の高い測定値が得られ、通常1/100mmまでの読みとりが可能である。用いられるものは測定範囲0～500mmまで25mmとびのものがある。図3.5.2-3に外径マイクロメータならびに内径マイクロメータを示す。

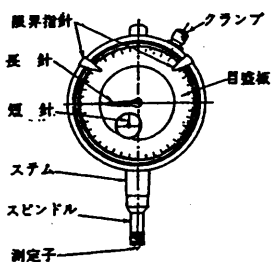
その他の測定器具

広範囲に使用されるダイヤルゲージ（JIS B 7503）、内径測定用のシリンダゲージ（JIS B 7515）、高さ測定用のハイトゲージ（JIS B 7517）、穴や溝の深さ測定用のデプスゲージ（JIS B 7518）、平面の凹凸や垂直度の測定用直角定規（スコヤ：JIS B 7526）、角度測定用の角度ゲージ（JIS B 7506）などがある。

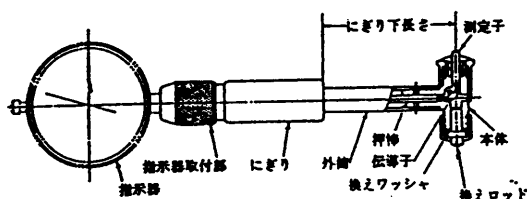
(3) 寸法測定器具の感度と精度

感度

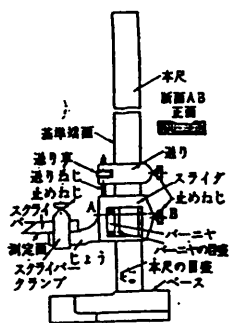
測定しようとする量の変化に応ずる測定器の指針の動きの多少のことで、一般にはその最小目盛



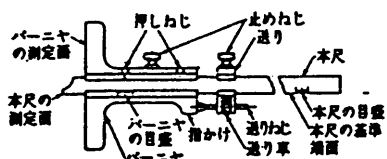
(a) ダイヤルゲージ



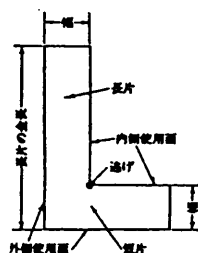
(b) シリンダゲージ



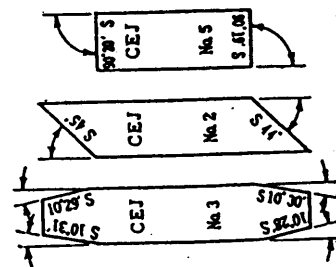
(c) ハイトゲージ



(d) デプスゲージ



(e) スコヤ



(f) 角度ゲージ

図 3.5.2-4 各種測定器具

りによって表す。

精度

測定器具(または機械)はその使用方法が十分正しく行われ、さらに正常な測定者に測定されたときに表された最大誤差を、その測定器具(または機械)の精度といい、一般にその絶対値に±をつけて表す。この精度はそれによる測定値に対する信頼の程度を表すもので精度が高くなるほど、その測定器の価値は高くなり、また高価になる。

測定の誤差

測定の誤差は、測定値から真の値を減算した値のことをいうが、これにはその原因を調べることによって補正できる系統的誤差と、原因不明で測定者の注意だけでは避けられず補正もできない偶然誤差とがある。測定の誤差には次のようなものがある。

- a. 測定器：使用状況による誤差、目盛りその他の不変誤差、拡大機構の誤差
- b. 測定者による誤差
- c. 熱変位による誤差
- d. 材料の弾性による誤差

3.5.3 材料検査

鍛造品として完成後、欠陥の有無を調べるために完成検査が行われる。最終的な検査にあたる完成検査は最も重要であるが、多くの工程を経て最終段階で不良品を出すことは経済上最も大きな損失となる。特に自由鍛造品のように比較的大きなもの、特に鋼塊から直接鍛造される製品には鋼塊自身の欠陥(パイプ、ゴースト、砂きず、白点)もあり、加工中の熱取り扱いなどにより欠陥が生じやすいので最終検査が必要である。

(1) 材料簡易鑑別法

最も実用的で、広く普及しているのはグラインダ火花検査法(JIS G 0566)であり、粉末火花試験やペレット試験を補助的に併用し、さらに切り粉や切り出しブロックを利用した分光分析法(JIS G 1202)により特殊元素を確認すればほぼ完璧な鑑別が可能である。グラインダ検査法によれば、鋼種の判定、異材の選別、リムド鋼の判別、脱炭、窒化程度の判別、焼きが入っているか否かの判定及び可鍛化程度の判定ができる。検査をする場合には同一器具、同一条件で行うようにし、薄暗い同一光度の場所で行い、屋外で行う場合には携帯用簡易暗室などを利用する。

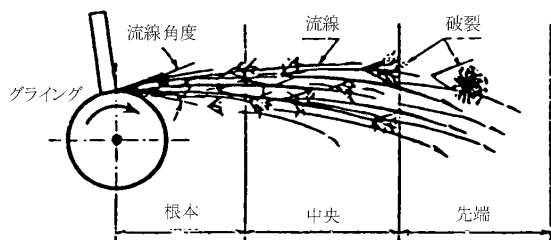


図 3.5.3-1 グラインダ火花試験

(2) 非破壊検査法

一般的に製品の品質管理を徹底するために非破壊検査法が検査の過程に取り入れられている。非破壊検査法には次のような方法がある。

ここでは主に外観検査、浸透探傷検査、磁粉探傷検査、超音波探傷検査について紹介する。

外観検査

目視により容易に発見できる項目、例えば

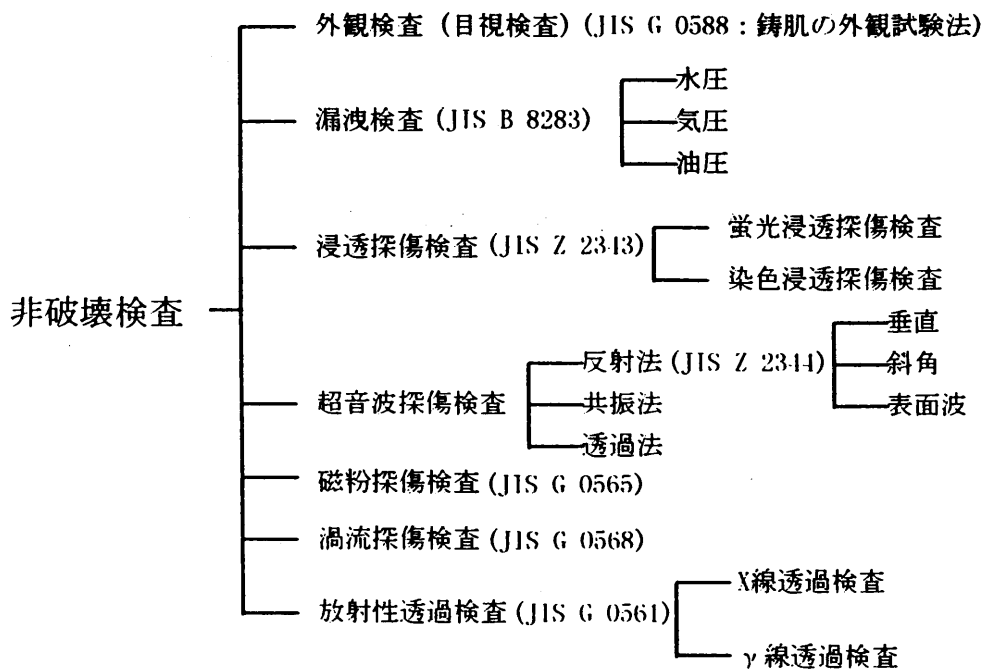
3.5.2 節で取り上げた寸法や形状、重量、欠肉、だ肉、かぶさり、食い違い、その他の目で見えるきずについて検査する。

浸透探傷検査

この方法は、浸透液を金属表面に浸透させ、欠陥を検出する方法で、表面に開口した欠陥の検出のみ有効であり、表面検査法としては簡便なため広く利用されている。

a. 蛍光浸透探傷試験

この方法は鉱油と水との乳剤に蛍光物質を混じた液を用いるので、検出するには液中に 20 ~ 30 分程度の浸漬でよい。場合によっては吹きつけや刷毛塗りが行われる。検出する際には浸透液を十分に洗浄して表面を乾燥後、現像剤を散布し浸透液をしみ出させ薄暗い場所で紫外線(ブラックライト)を用いて検査する。



b. 染色浸透探傷試験（ダイチェック、カラーチェック）

着色浸透液（一般に赤色）を表面に浸透させ、欠陥を検出する方法で現像の際には白色粉末懸濁液をスプレーまたは刷毛などで一様に塗布し、明所にて色のコントラストによって欠陥の有無が判別できる。

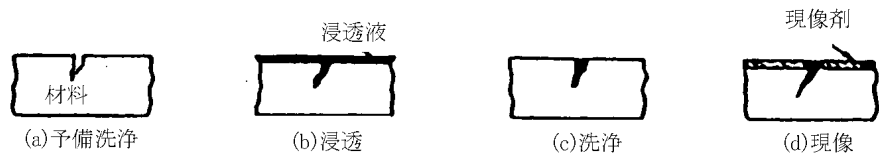


図 3.5.3-2 浸透探傷試験の手順

磁粉探傷検査

強磁性体を直流あるいは交流と通じて磁化し、欠陥部に生じた磁束の漏れに磁粉を付着させて表面および表面直下の欠陥を検出する方法である。磁粉の散布方法にはそのまま散布する乾式法と軽油に懸濁させた湿式法とがある。磁束と欠陥の方向関係は相互に横切るように選べば、欠陥の検出精度がよくなる。したがって、欠陥の状態が不明な場合には磁束の方向を変えて2回以上検査を行

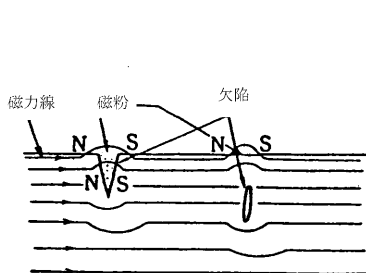


図 3.5.3-3 磁粉探傷の原理

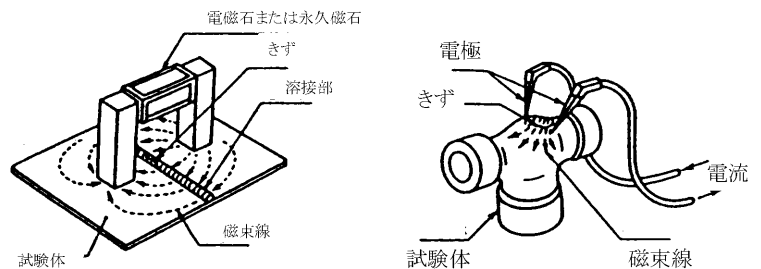


図 3.5.3-4 各種磁化方法

うべきである。主な磁化方法には、直線磁場法であるコイル法と極間法、円形磁場法である軸通電法、貫通法、プロッド法などがある。また検査後の鍛造品については必要に応じて脱磁を行う。

超音波探傷検査

超音波を試験体中に伝えたときに、試験体が示す音響的性質を利用して、試験体の内部欠陥や材質などを調べる検査方法であり、大型鍛鋼品の内部欠陥を検出するのに最も有力である。また現代では自動化がすすみ、より検査が簡便に行われるようになった。超音波探傷の方法を大別すると反射式、透過式および共振式があり、そのうち反射式が広く利用されている。

探傷する場合の注意点として試験の目的に応じた周波数や形状の探触子を選ぶ、探傷面は平滑清浄にする、探傷の際に適当な接触媒質を使用し、探触子を手あるいは機械により安定な探傷図形が得られるよう接触させる、などが挙げられる。下記に各種反射法について紹介する。

a. 垂直法

最もよく使用される方法で、材料の表面から垂直に超音波を送り込み、欠陥波からの反射波を底面波と同時に検出し、底面波と欠陥波の相互位置から欠陥の位置を正確に推定することができる。

b. 斜角法

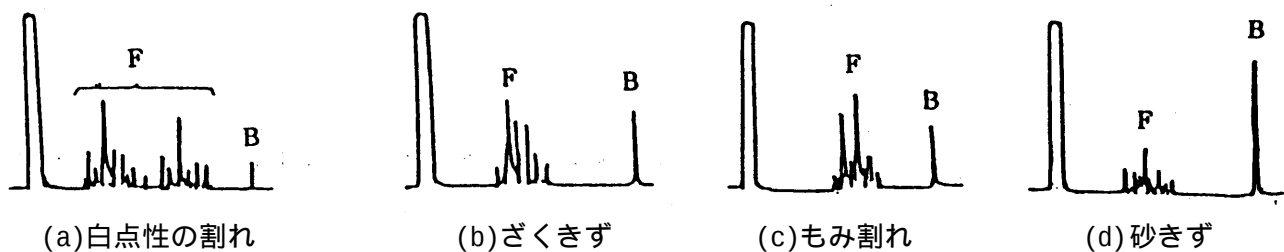
鍛造品の表面から斜めに超音波を入射し、欠陥を検出する方法でパイプ類、薄物品や溶接部の欠陥検出に利用されている。

c. 表面波法

表面波を用いて検査体の表面近くの欠陥を検査する方法で、検査体の表面仕上状態が良いことが適用条件となる。

d. 水浸法

水中の検査体に水を通じて超音波を入射する方法であり、超音波の指向性が鋭いので検出精度が高く、探触子の連続移動が容易であり、検査体の表面状況の影響がなく、探傷器の不感帯を避けることができ表面近くのきずも検出可能なことが特徴である。



* : F : 欠陥エコー B : 底面エコー

** : 探傷図形は B_{G1} (健全部の第1回目の底面エコー高さ) = 80%とした場合を示す。

図 3.5.3-5 代表的欠陥波形の例

いづれの検査方法においても検査対象の鍛鋼品に適した試験条件を確立すると共に、検査員の個人差なく、同一欠陥を同一に検出し、評価できる体制を整えることが必要である。また、検査結果に対してJIS規格によるランク分けはあるが、ユーザーとの明確な取り決めを行い、検査を行うことが重要である。

(4) 硬度検査

硬度の測定は比較的簡単な上、その値から他の機械的性質の概略値を推測できる。硬度検査には1つの硬い物質を被検体に押しつけ、その時の変形に対する抵抗の大小を測定する方法がとられる。したがって、圧子の種類、形状、圧痕の測定基準が異なる場合には、測定結果が異なるため硬度の表示方法も各種ある。

ブリネル硬さ (H_B : JIS Z 2243、JIS B 7724)

最も一般にひろく用いられている方法で測定結果の信頼度も高い。直径10mmの鋼球を3000kg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り、実際には試験片の表面にできたくぼみの直径を機械に付属する計測拡大鏡で読み、換算表にて求める。

ビッカース硬さ (H_V : JIS Z 2244、JIS B 7725)

対面角 136° 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。

ロックウェル硬さ (H_{RC} 、 H_{RB} : JIS Z 2245、JIS B 7726)

ブリネル硬さよりも圧痕を小さくするため、小さな鋼球(B硬さ H_{RB})またはダイヤモンド円錐(頂角 120°)の圧子(C硬さ H_{RC})を用いて軽荷重で加圧し、くぼみの深さによって硬さを求める。

ショア硬さ (H_S : JIS Z 2246、JIS B 7727)

～ の硬度検査は材料の圧子を押し込むことに対する抵抗で硬さを決めていたが、ショア硬さは被検体の表面に、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、そのおもりの跳ね返り高さから硬さを求める方法である。そのため硬さを測定してもくぼみがほとんど残らず、試験機が携帯可能で簡便であるため現場的に広く利用されている。通常5回連続し

表 3.5.3-1 各種機械試験方法

試験名	試験方法	測定項目	関連JIS規格
引張試験	試験材料をJISに規定された一定寸法の試験片に加工し、引張試験機にて試験片を軸方向に引張り、引き切れるまでの変形量と、これに対応した力を測定して、試験材の変形に対する抵抗力の大小を求める	降伏点 (N/mm^2) 耐力 (N/mm^2) 引張強さ (N/mm^2) 伸び (%) 絞り (%)	JIS Z 2201 JIS Z 2241 JIS B 7721
曲げ試験	材料の変形能を試験する最も簡便な方法であり、規定の試験片を規定の内側半径にて規定の角度まで曲げ、湾曲部の外面を観察することにより裂けきずやその他の欠陥を調査する	曲げ性	JIS Z 2204 JIS Z 2248
衝撃試験	材料の靱性または脆性を調べるため、試験片に衝撃荷重を加えて破断し、要したエネルギーの大小、破面の様相、変形挙動、亀裂の進展挙動などにより評価する試験法である 試験片を両端で指示し、振り子のハンマを振り下ろすシャルヒー試験法と一端指示にて行うアイゾット試験法があり、前者が多く用いられる	衝撃値 (J/cm^2) 脆性破面率 (%) 延性破面率 (%) 横膨出量 (mm) 遷移温度 ()	JIS Z 2202 JIS Z 2242 JIS B 7722 JIS B 7723
疲れ試験	試験片に繰り返し応力、又は変動応力を加えて、疲れ寿命や疲れ限度などを求める試験方法 応力の種類に応じてねじり疲れ試験、軸荷重疲れ試験、回転曲げ疲れ試験、平面曲げ疲れ試験などがある	疲れ寿命 (N) 疲れ限度 (σ 、 τ) S-N線図	JIS Z 2273
クリーフ試験	試験片を一定の温度に保持し、これに一定の荷重を加えて、時間と共に変化する歪みを測定する試験方法である	引張クリーフ試験 歪み - 時間線図 引張クリーフ破断試験 伸び (%) 絞り (%) 時間	JIS Z 2271 JIS Z 2272

た読みの平均値で求め、目視で測定を行う場合には試験機の鉛直度、目線と目盛りとの平行度などに注意する必要がある。

(5) 材料試験（機械的試験法、破壊検査法）

機械や構造物を製造する場合にはこれに使用する材料の適否を試験してその性質を十分に知っておく必要がある。ここでは機械的性質を知るための試験方法について述べる。

一般に材料の機械的性質を知るには主として次の試験が行われている。

静的試験・・・引張試験、圧縮試験、曲げ試験、ねじり試験、剪断試験

動的試験・・・衝撃試験、疲れ試験、クリープ試験

これらの材料試験の結果は、機械や構造物の設計基準となることは当然であり、また材料の売買の際の検査にも用いられるので、その方法が普遍性のあるものでなければならない。上記のような一般的に行われる試験項目に対しては厳密な規格があり、試験機、試験片および試験方法についてJISにて規定されている。

上記方法のうち、いくつかの主要な試験方法について表3.5.3-1に示す。

参考文献

- 1) 大谷南海男：金属表面工学〔増補版〕、日刊工業新聞社 1962 年
- 2) 鍛鋼品ハンドブック、日本鍛鋼会 1967 年
- 3) 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
- 4) 機械加工マニュアル委員会 編：機械加工マニュアル、誠文堂新光社 1970 年
- 5) J I S ハンドブック鉄鋼、日本規格協会 1999 年
- 6) 鍛鋼品の欠陥、日本鑄鍛鋼会鍛鋼研究部会 1983 年
- 7) 防錆油資料、大同化学（株）技術研究所 1986 年
- 8) 金属材料、鉄鋼短期大学 人材開発センター 1975 年
- 9) 鉄鋼便覧、日本鉄鋼協会編 1971 年

3.6自由鍛造品に現れる欠陥事例

自由鍛造品にはその鍛造過程で、さまざまな欠陥が現れる。いずれも鍛造条件が適正值より外れた結果として現れるものであるが、原因が複合して現れるものもある。

鍛造工程が上流であればある程欠陥の原因を作り易く、後工程はその欠陥の除去ないし改善に努力することになる。

例えば、自由鍛造品の三大欠陥は「砂きず（砂かみを含む）」、「ザク疵」および「水素割れ」であり、これらはその発生原因ないしは防止の方策が二つ以上の工程にかかわっている。

「砂きず」の原因は一義的に製鋼工程にあるが、発生し易い部分を鍛造品の中に含めないで、切り捨ててしまう仕事は鍛造工程が担う。

「ザク疵」は多少の差はあっても、製鋼工程で必ず内在する欠陥である。これを圧着し改善するのは、一義的に鍛造の使命である。大型の中実材の中心部や、厚肉の円板材などに残存し易く、この圧着のために、鍛造工程でさまざまな工夫が凝らされている。

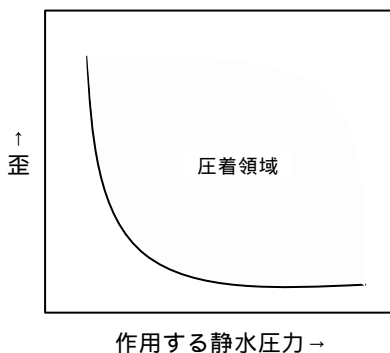


図1 ザク疵の圧着条件

ザク疵の圧着には、図1の加工率とその時の静水圧とが斜線内の領域にくる必要がある。

即ち定性的には、加工率が非常に大きく静水圧は小さいか、加工率は小さいが静水圧は大きい場合、または両者が程よくバランスしている時に、有効な圧着が行われるのである。

この境界線がどの様に引けるかは鍛造条件によってさまざまであり、明確ではないが、経験によってつかんでいくものであろう。

「水素割れ」は鋼中の水素量がある程度以上の時に、鍛造や熱処理での熱扱いが不適切であった場合に発生する内部割れであり、発生した場合には致命傷となる。水素量が高く産出された材料を使用する場合には、鍛造後の冷却を緩やかにし、熱処理の冷却に十分に注意しなければならない。即ち、水素が高いと、後工程で

コストと時間を要することとなり、忙しい現代に相応しない上、不確定な要素に悩まされることになる。製鋼段階で、十分な脱水素を行うのが昨今の常識となっている。それでも水素割れは、皆無となっていないようである。

UT検査した場合その波形、存在位置、広がり等から、その欠陥の性状を推定することができる。そうして発見されたザク疵や水素割れは、再鍛造することにより、圧着し消失させることができる。ただし、水素割れの圧着はわずかな加工で可能なのに対し、ザク疵の圧着には、程度にもよるが、かなりの加工を必要とする。

その他さまざまな原因でさまざまな欠陥が発生しているが、頻度は少なく、おおむね原因が単独で、したがって対策も比較的立て易いものである。

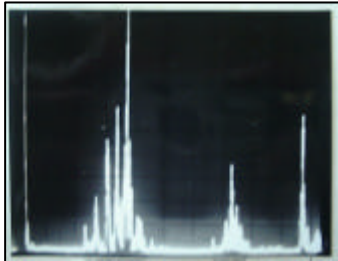
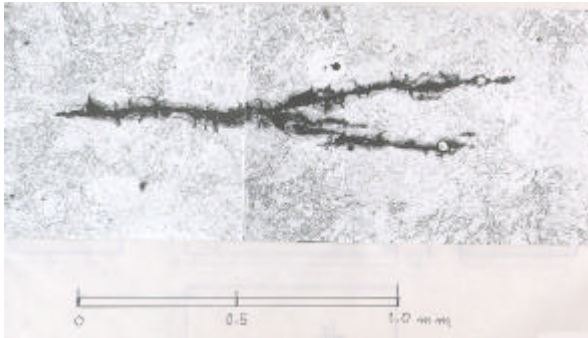
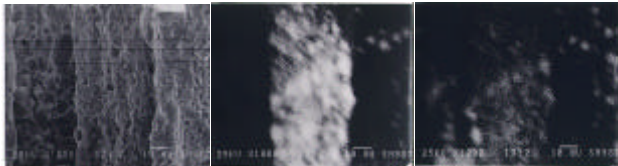
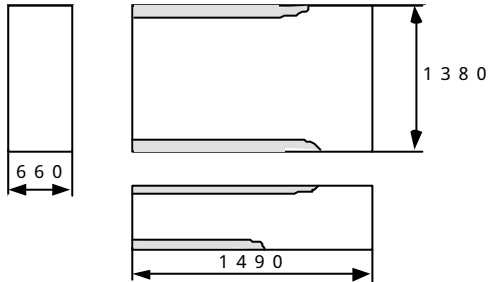
それらを一覧表として表1に示し、最近の欠陥事例をまとめて編集した。

欠陥の名称	欠陥の発生状態・性状・特徴など	主たる原因	防 止 法	備 考
1. 砂きず	製品の表面または表層に、鋼塊のボトム側に 出やすい。目視、UT、PT、MT等で見つ かる非金属介在物の集合体	製鋼・造塊時の懸濁介 在物の浮上不足	製鋼段階での対策 鍛造段階では正確な切り捨て	
2. 砂かみ	耐火物・スラグ等の巻込みによる砂傷に似た 大型の非金属介在物 出現の位置的傾向は少ない	耐火物・スラグの浮上 不足	製鋼段階での対策 鍛造で割れ疵の原因となる事もあり、ス カーフオフ	砂きずとの区別はむずかしく、 砂きずと総称されることもある
3. ゴースト	機械加工した表面に、異常光沢の筋、又は点 として見える	逆V偏折部の表面への 露出	P、Sの低下 なるべく小さい鋼塊の使用。鍛造形状を 適正にし露出の防止	
4. パイプ	製品端面の中心に、穴または割状のきずとし て現れる。軸方向にかなり長く入り込む場合 が多い	押湯量不足 トップの切り捨て不足	製鋼段階での対策 押湯の切り捨て確保	もみ割れと混同する場合があ り、要注意
5. ザク疵	製品のトップ側中心部にUT欠陥として、ト ップ側端面にPT・目視欠陥として検出され る。内面は無酸化状態	鍛造時の圧着不足 (稀に給湯不足)	中心部に十分な鍛錬効果を与えること。 形状・サイズによっては、圧着のための 特殊な鍛錬をおこなう	製鋼段階で避けることのできな い欠陥。圧着には鍛錬がもっと も効果のある方法
6. かぶさり (かぶり)	表面の材料が押されたことにより隣の材料に 乗り上げた状態	金敷の形状不良 送りの少なすぎ 圧下量過大	金敷のR・面取りを大きく送り、圧下量 を適切に	背切りの際にでやすい
7. しわきず	鍛造で表面が極端に縮まった部位に現出する 表面疵	角の角はりが過大のと き。滑らかでない表面 を縮込んだとき	角はりを2回に分けてする縮込み途中で 一度ならす	浅い場合が多い Ti, Ti合金はしわがでやすい
8. まきこみ	製品に対し鍛造力不足か、径に対し金敷幅が 狭いなどの理由で、端面の中心部の伸びが遅 れて、表面の材料中心まで巻き込まれた状態 のきず	プレス・ハンマーの容 量不足 背切り後の端の長径比 が小さすぎる	十分な容量の鍛造機の使用 背切り長さを十分に取れる材料の持ち込 み	鍛造前にあらかじめ対策を取る ことが可能
9. 引き割れ (うち割れ)	中空鍛造品の端面やシャフト類の端に現出す る大きな割れ 温度が下がった材料に無理に大きな加工を加 えたときにしやすい	温度低下材への強圧下 変形態の低い材料に引 張・剪断力付与	温度の高いうちに端を先に鍛造する。 端は様子を見ながら丁寧な鍛造 (特に中空鍛造時)	内径に極端な曲率部を作らない こと

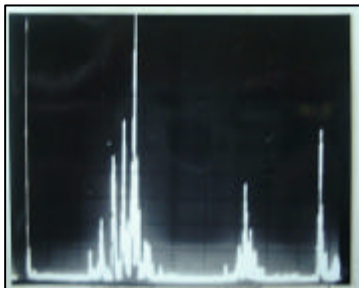
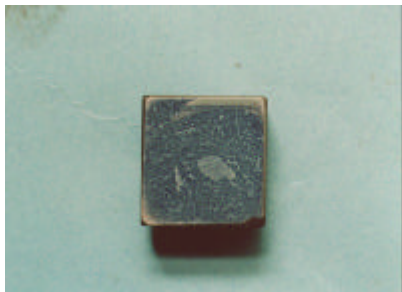
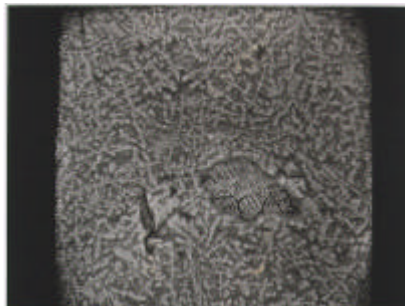
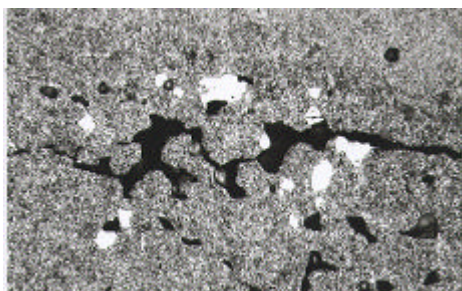
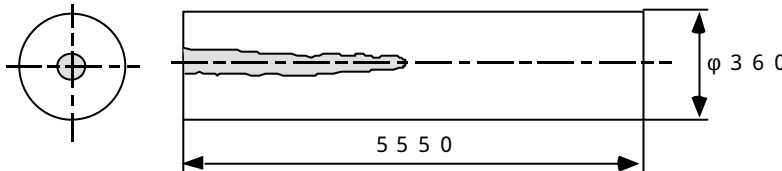
欠陥の名称	欠陥の発生状態・性状・特徴など	主たる原因	防 止 法	備 考
10. もみ割れ	主として製品の端面に割れとして現出する。端面だけでなく中央部に発生することもある。特に難鍛材に発生しやすい。	鍛造温度の低すぎ 圧下量の過大	温度が下がったら早めに再加熱する。 一回の圧下量を少なくする上下V金敷・ タップ使用	高C材、高合金では特に注意を 要する
11. 急熱割れ	常温の材料を急激に加熱した場合の割れ。外表面部は一見何ともないが中は完全に割れている。大根割れが多い。	塑性域までを急加熱した 場合に発生する。熱 処理でも起こる。	塑性域までを徐加熱する工程間の冷却を できるだけ避け、熱・赤材送りとする。	高強度材は特に注意
12. 焼けすぎ (オーバーヒート (バーニガ))	表面のスケールが溶融するまで加熱内部組織が一部溶融している(加工は問題なく終わる場合もある)組織の一部が溶融し、加工によって割れが発生する 等	加熱温度の高すぎ 打撃エネルギーの注入 で内部発熱による温度 上昇	加熱温度を上げすぎない。短時間に強打 撃を繰り返さない(時間をあけて熱の拡 散を待つ)	ハンマーや高速四面鍛造機では 内部発熱に注意
13. ガス加工 割れ	ガス加工した面に大きな割れが発生する	予熱不足 加工面に内部欠陥	予熱を十分に行い加工後の急速冷却を避 ける。	
14. 急冷割れ	鍛造後・焼き鈍し後に発生する大割れ	速すぎる冷却による熱 応力過大	ゆっくり冷却	
15. 焼き割れ	焼き入れ中又は焼き入れ直後に発生する直線 状の割れ	冷却速度過大、過冷焼 き入れ形状不適切	冷媒を適切に選ぶ。冷やしすぎない。形 状注意	焼入性の良い材料ほど注意
16. 置き割れ	焼入れ後長時間経過後、大根割れ	残留応力過大 残留オーステナイトの変態応 力	適度な焼き戻グゼロ処理による早めの残 留 γ の分解	高硬度材は注意
17. 水素割れ	鋼中の水素が高い場合に、高温からの冷却が 不適当な場合に、材料内部に発生する毛割れ ある程度以上の深さの位置に発生の方はア ットランダム	水素量過大 熱扱い不適当	水素含有量を下げる 鍛造・熱処理後の熱扱いを丁寧に。(ゆっ くり冷却し水素の拡散時間を与える)	旧くから問題とされているが ら、今日でも発生している。発 生したら致命傷となる。 再鍛造での圧着は容易
18. 研削割れ	研磨によって表面に生じた亀甲状の割れ	研磨作業不適応 熱処理不適応	重研削を避ける	肉眼で発見できない場合でも、 MT, PTで可能

第5章 欠陥事例

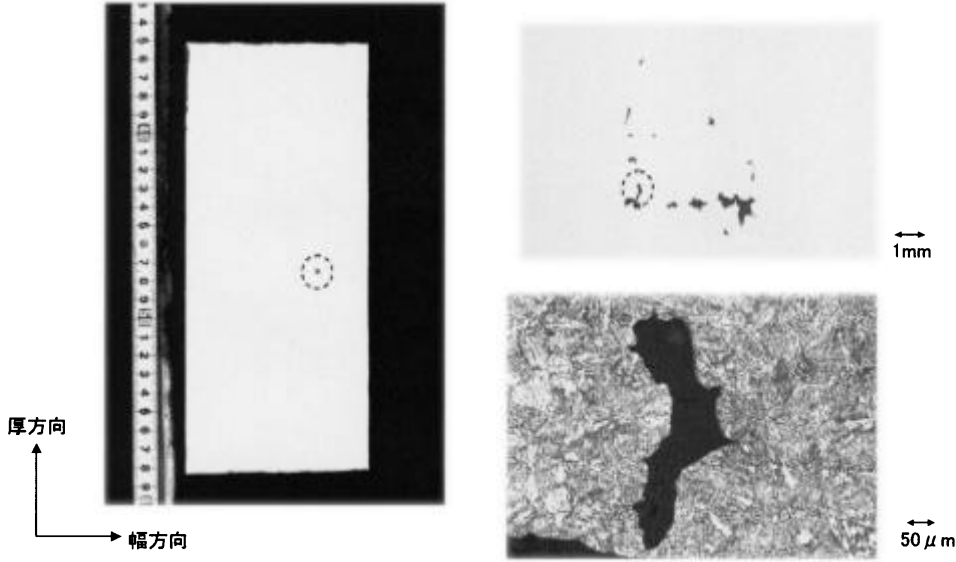
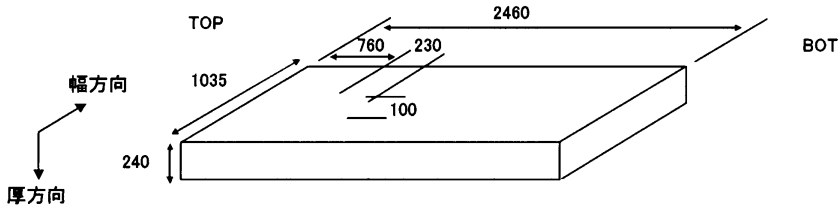
鍛造品の欠陥事例

欠陥名		砂 き ず	
発生状況	欠陥の形態	    Al KaCa Ka	
	製品図・発現部位		
製造条件	材 質： Cr - Mo 鋼 製品名： 鍛造板 重 量： 10.7 TON 材料サイズ： 660 × 1380 × 1490 実施した検査： UT PT 発見した方法： UT PT	欠 陥 の 説 明	
		UT の波形。 表層 PT 欠陥部のミクロ組織。 内在欠陥部の顕微鏡観察（×100倍）。 欠陥強制開口後の SEM によるイメージ分析。 Al・Ca を主体とした酸化物。	
原因	原因：製鋼工程に於いて、炉外精錬での真空処理後に成分調整のため合金鋼を多量に添加したため、溶鋼中の酸素が増加したことが原因。		
対策	対策：真空処理後に一定量以上の合金鋼を添加する場合には、再度真空処理を実施する。		

鍛造品の欠陥事例

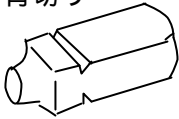
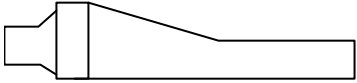
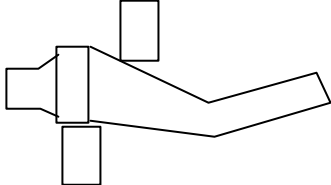
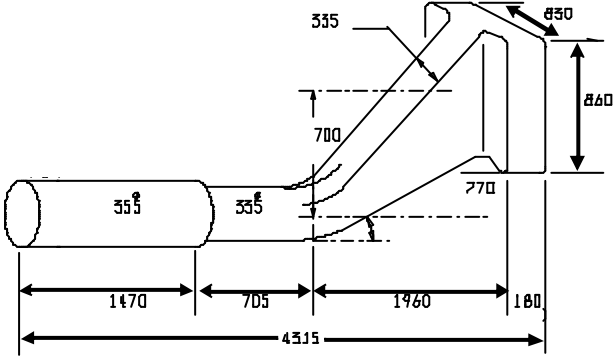
欠陥名		バーニング	
発生状況	欠陥の形態	   	
	製品図・発現部位		
製造条件	材質： Ni-Cr-Mo鋼 (C = 0.47wt.%) 製品名： 鍛造丸棒 重量： 4.4 TON 材料サイズ： φ 360 × 5550 L 実施した検査： UT PT 発見した方法： UT PT	欠陥の説明	
		UTの波形。軸中心部にクラスター状の波形が現出。 端面現出の欠陥をサンプル採取したもの。 プロジェクターによる観察 × 5。偏析部に空隙が見られる ミクロ組織 × 400。偏析部が溶け落ちて空隙となっている。	
原因 対策	原因：鍛錬加熱温度が高かったため (1270)		
	対策：鍛錬加熱温度を下げて鍛錬実施 (1250)		

鍛造品の欠陥事例

欠陥名		ザク疵（未圧着）	
発生状況	欠陥の形態		
	製品図・発現部位		
製造条件	材質 : SCM440 相当 製品名 : プラ型 重量 : 4,800kg 材料サイズ : 240T × 1035W × 2,460 実施した検査 : UT 検査 発見した方法 : UT 検査		欠陥の説明
			・鋼塊 TOP 側で 230mm×100mm の範囲内に点在する欠陥を検出 ・欠陥サイズは最大で FBH=2.0φ ・未圧着による欠陥
原因・対策	原因 : 鍛錬効果の不十分 対策 : 広幅の金敷を用いて大きい圧下量で鍛錬を実施		

第 6 章 自由鍛造の製造工程事例取りまとめ

製品名弓ラダーストック

鍛造の狙い 1) ザク圧着 2) 機械加工代の低減	工 程 1) 溶解・造塊 ・材質：SF440 1) 加熱 ・加熱温度：1200 ～ 1250
製品概観(写真添付) 	3) 鍛造 3 - 1) 据え込み  3 - 2) 荒押・背切り  4) 加熱 ・加熱温度：1200 ～ 1250 4 - 1) 鍛伸  4 - 2) 下げ鍛錬 
製品図(径・寸法等明示) 	4 - 3) 打上  5) 焼鈍 6) 検査 7) ガス成形 8) 熱処理 9) 検査

作業手順	管理ポイント	作業上の注意(不適合発生要因)
・電気炉溶解 ・真空処理 ・下注ぎ	・化学成分	
	・加熱温度	
・3000ton プレス ・40M Tマニプレーター	3 - 1) 圧縮 ・圧縮高さ ・圧縮径 3 - 2) 荒押・背切り ・背切り寸法 ・鍛錬終了温度	・未圧着
	・加熱温度	
・3000ton プレス ・40M Tマニプレーター	4 - 1) 鍛伸 ・段形状 4 - 2) 下げ鍛錬 ・下げ量及び曲げ量 ・フランジ部倒れ 4 - 3) 打上 ・鍛錬終了温度 ・打上寸法	・寸法不良 ・低温鍛錬割れ
・連続冷却(放冷)		
・寸法検査	・検査基準に基づく	
・予熱 ・ガス加工 ・ガウジング ・後熱	・ガス成形切断最低温度 ・ガウジング最低温度 ・寸法	・ガス割れ ・ガウジング割れ
・焼ならし ・焼戻し	・熱処理温度 ・熱処理時間	・機械的特性の不良
・目視検査 ・UT 検査 ・MPT	・検査基準に基づく	

自由鍛造の製造工程事例取りまとめ

製品名ワークロール

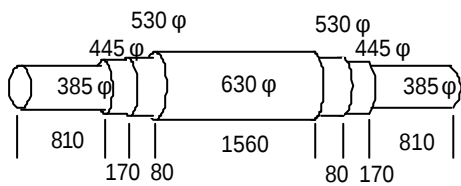
鍛造の狙い

- 1) ザク圧着
- 2) 機械加工代の低減

製品外観(写真添付)



製品図(径・寸法等明示)



工 程

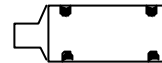
- 1) 溶解・造塊
・材質：CrMo 鋼

- 2) 加熱
・加熱温度：1200 ~ 1250

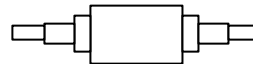
- 3) 鍛造
3 - 1) 圧縮



- 3 - 2) 荒押・背切り



- 3 - 3) 打上



- 4) 焼鈍

- 5) 検査

- 6) 機械加工

- 7) 熱処理

- 8) 機械加工

- 9) 検査

作業手順	管理ポイント	作業上の注意(不適合発生要因)
・電気溶解 ・真空処理 ・下注ぎ	・化学成分	
	・加熱温度	
・3000ton プレス ・40MT マニプレーター	3 - 1) 圧縮 ・圧縮高さ、圧縮径 ・圧縮径(鍛錬比) 3 - 2) 荒押・背切り ・背切り径 ・背切り位置 3 - 3) 打上 ・軸部被さり ・軸部偏芯 ・鍛錬終了温度 ・打上寸法	・寸法不良(軸偏芯等) ・未圧着 ・低温鍛錬割れ ・表面被さりキズ
・球状化焼なまし ・焼戻し	・焼鈍温度 ・焼鈍時間	
・寸法検査	・検査基準に基づく	
・粗加工		
・中周波焼入れ ・焼戻し	・熱処理温度 ・熱処理時間	・焼き割れ ・硬度不良
・仕上加工		
・超音波探傷検査 ・硬度検査 ・寸法検査	・検査基準に基づく	