

特殊鋼

2020
Vol.69 No.5

9

The Special Steel

特集／塑性加工（主に鍛造）のやさしい解説



特殊鋼

| 9 |

目次

2020

【編集委員】

委員長	井上幸一郎	(大同特殊鋼)
副委員長	渡辺 豊文	(中川特殊鋼)
委員	宇田川毅志	(愛知製鋼)
〃	福岡 義晃	(神戸製鋼所)
〃	西森 博	(山陽特殊製鋼)
〃	小川 道治	(大同特殊鋼)
〃	浜田 貴成	(日本製鉄)
〃	正能 久晴	(日本金属)
〃	殿村 剛志	(日本高周波鋼業)
〃	及川 誠	(日本冶金工業)
〃	北園 大輔	(日立金属)
〃	簀口 光樹	(三菱製鋼)
〃	阿部 泰	(青山特殊鋼)
〃	高橋 秀幸	(伊藤忠丸紅特殊鋼)
〃	岡崎誠一郎	(UEX)
〃	池田 祐司	(三興鋼材)
〃	関谷 篤	(竹内ハガネ商行)
〃	平井 義人	(平井)

【特集／塑性加工（主に鍛造）のやさしい解説】

I. 総論

1. 塑性加工概論…………… 大阪大学 小坂田宏造 2
2. 鍛造業界の現状… 一般社団法人日本鍛造協会 鈴木 太 8
3. 最近の自動車部品の鍛造… トヨタ自動車㈱ 小浜 孝行 15

II. 塑性加工方法

1. 条鋼の型鍛造
 - (1) 鍛造用条鋼…………… ㈱神戸製鋼所 千葉 政道 19
 - (2) 熱間鍛造…………… ㈱ゴースュー 加藤 陸 24
 - (3) 冷間鍛造…………… 名古屋工業大学 北村 憲彦 28
 - (4) 熱冷複合鍛造…………… ㈱メタルアート 竹村 好正 32
2. 板材の成形方法
 - (1) 深絞り加工…………… 日本製鉄㈱ 中田 匡浩 36
 - (2) 穴広げ加工…………… 愛知製鋼㈱ 宇田川毅志 40

III. 特殊塑性加工方法

1. インクリメンタルフォーミング…………… 日産自動車㈱ 小山田圭吾 42
 2. 軸肥大加工…………… 高周波熱錬㈱ 桑原 義孝 46
- “特集”編集後記…………… 愛知製鋼㈱ 宇田川毅志 61

●一人一題：「新しい価値の創造に向けて」

..... 佐藤商事(株) 音羽 正利 1

■業界のうごき	50
▲特殊鋼統計資料	53
★倶楽部だより (2020年6月1日～7月31日)	57
☆特殊鋼倶楽部の動き	58
◇お知らせ 関西高機能金属展に特殊鋼倶楽部として初出展	59
☆一般社団法人特殊鋼倶楽部 会員会社一覧	60

特集／「塑性加工（主に鍛造）のやさしい解説」編集小委員会構成メンバー

役名	氏名	会社名	役職名
小委員長	宇田川毅志	愛知製鋼(株)	品質保証部 お客様品質・技術室 担当員
委員	増田 智一	(株)神戸製鋼所	鉄鋼事業部門 線材条鋼商品技術部 課長
〃	西森 博	山陽特殊製鋼(株)	東京支社部長 市場開拓・CS ソリューションパートナー部
〃	小川 道治	大同特殊鋼(株)	名古屋ソリューションパートナー室 副主席部員
〃	正能 久晴	日本金属(株)	技術部門 技術部 部長
〃	殿村 剛志	日本高周波鋼業(株)	技術開発本部開発企画部 担当次長
〃	浜田 貴成	日本製鉄(株)	棒線事業部 棒線技術部 棒線技術室 室長
〃	及川 誠	日本冶金工業(株)	ソリューション営業部 部長
〃	北園 大輔	日立金属(株)	金属材料事業本部 技術部長
〃	福田 方勝	三菱製鋼(株)	技術開発センター
〃	阿部 泰	青山特殊鋼(株)	常務取締役 特殊鋼部 統括部長
〃	高橋 秀幸	伊藤忠丸紅特殊鋼(株)	特殊鋼本部 前橋支店 副支店長
〃	岡崎誠一郎	(株) U E X	常務執行役員
〃	池田 祐司	三興鋼材(株)	代表取締役社長
〃	金原 茂	(株)竹内ハガネ商行	技術部長
〃	渡辺 豊文	中川特殊鋼(株)	鉄鋼事業部 技術部長
〃	平井 義人	(株) 平 井	取締役 業務部長

一人一題

「新しい価値の創造に向けて」

佐藤商事(株)
代表取締役社長

おと お まさ とし
音 羽 正 利



特殊鋼倶楽部会員の皆様初めまして。佐藤商事株式会社の代表取締役社長の音羽と申します。どうぞ宜しくお願い申し上げます。

まずは新型コロナウイルスにより、お亡くなりになられた方にお悔やみ申し上げますと共に、罹患者の皆様に対しまして、心よりお見舞い申し上げます。

さて、新型コロナウイルスの猛威に晒されて、全世界が過去に経験したことのないような恐怖のつぼに陥り、さながら第三次世界大戦の様相で、未だ見えない敵と戦っています。

私も3月末から在宅勤務が中心となり、ようやく6月中旬から本格的に仕事に復帰したものの、経済は米中貿易戦争でガタガタになった上に、更に新型コロナウイルスの猛威で、立て直しには暫く時間を要すると思われまふ。

私自身10年前にすい臓がんの手術をしており、それ以来糖尿病を患っておりますので、コロナに罹患したら命が危ないと、徹底的に予防して極力外に出ないようにしていたため、体重が3キロ増えて、着用できる背広が数少なくなりました。

運動しなければと、普段は全くスポーツとは縁がないのですが、部屋でスクワットなどしていい気分になっていたら、腰を痛めてダウンして踏んだり蹴ったりです。

コロナ騒動を契機に、暮らし方・働き方も大きく変わろうとしています。

弊社でも、時差通勤・テレワーク・ウェブ会議等々、今後も対面でのユーザーとの接触の場面は少なくなってくるでしょうし、商売の形態も変わってくるでしょう。

メーカーで作ったものを単にユーザーに販売する流通機能だけでは、これからの新しい時代では生き残っていきません。

メーカー→商社→ユーザーの図式にも変化が訪れ、商社の役割というものを、改めて構築していかなければなりません。

当社も5年前から本格的に加工部品に力を入れてきており、その売り上げは全体の売上の10分の1の200億を超えるまでになりました。

素材から始まって加工までコーディネート出来る、ユーザーに直結した商社を目指しています。

そのために、営業マンがある程度図面を読解できるように社員教育と、様々な業界をリタイアした人の匠の力を借りて取り組んでいます。

加工部品の取り扱いによって、より完成品メーカーに近い所での営業展開ができることが利点で、加工による付加価値と共に当然素材もくっついてくることになります。

また、ユーザーの作っているものを当社で販売する等々、ユーザーに選ばれる商社としての仕掛け作りにも力を入れています。

今後EV化によって、車産業での特殊鋼の需要も変化していくと言われていますが、我々流通商社もメーカーと一緒にあって、新たな特殊鋼需要の開拓と日本の特殊鋼の優位性をPRして、「新しい価値の創造」に向けて取り組んでいかなければなりません。

それには、会員の皆様との連携が必要不可欠ですので、更なる結束を宜しくお願い申し上げます。

I. 総論

1. 塑性加工概論

大阪大学 名誉教授 小坂田 宏 造

◇ 塑性加工とは

塑性加工 (metal forming) は工具により金属材料に力を加えて永久 (塑性) 変形させ、工具の形に応じた形状に加工する方法である。塑性加工方法は使用目的により、圧延や押し出し、引抜きなどの「素材製造」、鍛造や転造などの「塊状製品の成形」、深絞りや張り出しなどの「板の成形」に分類されるが、詳細は2010年の本誌の記事¹⁾を参考されたい。

塑性加工では一度に大変形を与えることができ、生産能率や材料歩留まりが高く、精度や材質が均一な製品の経済的な大量生産に多く使われている。一方、高荷重、大圧力が加わる塑性加工の機械や工具は高価となりがちであり、最近では、これらの問題を解決して少量生産にも対応することが求められるようになっている。

金属製品の製造には塑性加工のほかには切削、鋳造、溶接など各種の加工法が用いられている。これらは塑性加工と競合関係にあることも多いが、通常は加工法を組み合わせることで製品をつくり上げる。このため前後工程も考慮して塑性加工での最適化を行っている。

◇ 塑性加工の発展経過

欧州で進展した産業革命で蒸気動力を用いた鍛造ハンマや圧延機のほか液圧プレスなどが発明さ

れ、現在の塑性加工の基本形が19世紀中に確立された。20世紀初めに電動モータを用いた機械プレスが出現し、1920年代には米国で薄鋼板の連続圧延が始まり、それらを使った薄板のプレス加工が発展し、乗用車の大量生産に利用されるようになった。

日本では江戸時代末期に蒸気ハンマが輸入されて兵器生産が始まり、1901年に官営八幡製鉄所の操業とともに棒材や厚板の圧延も始まった。第二次大戦までに大型液圧プレスによる大砲の鍛造など兵器生産では塑性加工も高い技術水準になっていた。敗戦後の1960年頃から社会インフラや造船で用いる厚板などの圧延が増え、その頃に始まった乗用車生産のために薄鋼板の圧延、板プレス加工、冷間鍛造などの技術が欧米から導入された。

1970年代半ばに起こった石油ショックにより急成長していた鉄鋼生産は減速し、燃費の良い小型乗用車の輸出が伸びて自動車生産に関連した板プレス加工や鍛造による生産が増加した。1980年頃には日本の塑性加工の技術水準は欧米に追いつき、世界に先駆けて精密鍛造技術や高張力鋼板のプレス加工技術などが開発されるようになった。

2000年頃に自由なスライド運動を可能にした機械式サーボプレスが日本で開発され、急速に広まった。乗用車ボディの成形に大型のサーボプレスが採用されてスライドの動きを最適化して生産能率を上げた。冷間鍛造では複数の駆動軸を持つ油圧サーボプレスなどにより複雑形状品を1工程

で成形する技術が開発されるようになった。

2010年頃から始まった自動車の電動化は部品の軽量化を加速している。自動車ボディの軽量・高強度化のために高張力鋼板の採用が増えており、部品の軽量化するために板鍛造などの軽量化部品の鍛造技術の開発も進められている。以下では、鍛造技術を中心に塑性加工技術の概況を説明する。

◇ 鍛造の分類

1. 加工温度による分類

金属学的に塑性加工を大別すると、再結晶温度を境界として冷間加工と熱間加工になる。再結晶温度は鉄鋼で約700℃、アルミ合金で約400℃程度と金属によって異なる。冷間加工では材料の加工硬化を生じるが、熱間加工では加工中の回復・再結晶により材料の強化は生じない。

熱間加工では材料が軟らかい状態で加工するので大形品を少ない工程で加工できる。しかし、鉄鋼を空气中で900℃以上に加熱すると酸化膜（スケール）が急速に厚くなり、表面の脱炭が進んで製品強度が低下する。このために、熱間鍛造品では加工後の切削加工が不可欠である。

冷間鍛造では室温の素材を加工するので、金型や製品の熱変形が小さく、製品の寸法精度は良い。しかし、材料強度（変形抵抗）が高いため、工具面圧や加工荷重が非常に高くなり、多くの工程を要する。加工エネルギーが熱エネルギーに変換されて一工程で100～200℃の加工発熱を生じ、4～7工程を連続加工するコールドフォーマの後段では300～400℃程度以上の製品温度になっている。

鉄鋼の鍛造では、厚い酸化膜の生じない600℃～900℃に素材を加熱する鍛造を「温間鍛造」と呼んでいる。温間鍛造では冷間鍛造と同じような金型と加工形式を用いるが、冷間鍛造で行われる素材

の軟化熱処理やリン酸塩皮膜処理が不要であり、熱間鍛造用の潤滑剤を用いる。

2. 金型拘束による分類

金型による拘束方法で鍛造を大きく分けると「自由鍛造」と「型鍛造」になる。自由鍛造は単純形状の型により素材を圧縮する方法で、後述の「すえ込み」もその一種である。熱間自由鍛造で成形する製品としては重量が数百トンもある発電機用ローターなどがあり、圧下の位置や方向を変えて逐次成形している。大形製品の自由鍛造では、鑄造素材の微細空孔の押しつぶしや粗大結晶の細粒化などの改質も行っている。日本刀の鍛造のように自由鍛造だけで複雑形状品の加工も可能であり、コンピュータ制御の自由鍛造機による少量生産も研究されている。

型鍛造は各種の金型を用いて型形状に沿った製品形状に成形する方法であるが、それらを分類すると図1のようになる。図1(a)の「すえ込み」は、ボルト頭部成形のように単純形状品の加工に用いられるほか、素材直径を調整したり、切断面を矯正したりする目的でも使われる。

図1(b)の「半密閉鍛造」は熱間型鍛造で多く使われる鍛造形式である。素材は円柱などの単純形状であるが金型は複雑な形状をしている場合が多い。金型の細部まで材料を流すことが重要であるため、型鍛造の最終段階では薄いバリを圧縮して材料流れをせき止め、型内の圧力を上げている。このために、加工の進行とともに金型による拘束が大きくなり、鍛造荷重が急増する。通常の熱間型鍛造では、ロール鍛造などの予成形で金型に収まる素材形状にしたあとで、概略の形状をつくる「荒打ち」と細部に材料を充満させる「仕上げ打ち」で成形し、最後にバリの除去をする。

図1(c)の押し出し鍛造は冷間鍛造の中心的な加工方法であり、図の「後方押し出し」はカップ状の

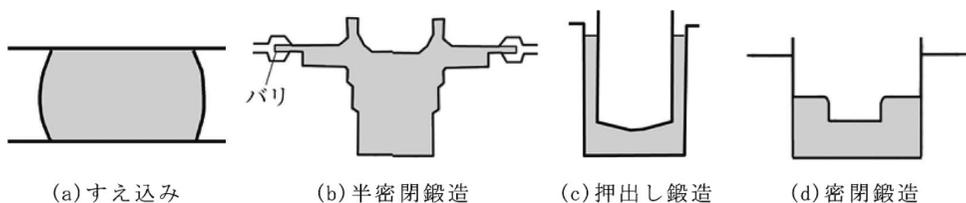


図 1 工具による拘束による型鍛造の分類

製品の加工に用いられる。この他に車軸のような軸を細める前方押しや、後方と前方の両方に押し出す複合押しなどの方法がある。後方押しでは、内面の表面積が素材の50~100倍にもなるため、表面の伸びに潤滑剤が付いて行けず鋼材では工具との焼き付きが生じやすい。20世紀前半に鋼の後方押しを可能にしたのは、素材表面と強固に結合して直接接触を妨げるリン酸塩皮膜処理の採用であり、この処理方法が最近まで冷間鍛造の潤滑法として使われてきた。

図1(d)の密閉鍛造は最終的に材料の逃げ場のない拘束の大きい加工法であるが、高精度の製品を得るには適している。従来の機械プレスの場合にはプレスの下死点が決まっているために、素材体積が規定より大きいと過充填になって金型内圧が非常に上がり金型を破壊する。油圧プレスの場合には最大荷重を制御できるのでこうした金型破壊の問題はないが、生産速度は遅い。後で紹介する閉塞鍛造のように、サーボプレスや多軸駆動機構などを組み込んだ金型などで密閉状態の直前で加工を終えたり金型内圧を下げたりする方法が開発されている。

◇ 冷間鍛造

押し出し形式の鋼の冷間鍛造は1930年代のドイツでリン酸塩皮膜処理を採用して実用化され、葉巻生産に用いられた。第二次大戦後の欧米で自動車部品の大量生産に活用され、1950年代になって日本に導入され、乗用車生産の増加とともに急速に進歩・普及した。初期の冷間鍛造ではボルトのような軸と頭部を持つ製品や、カップなど円形断面形状製品など単純形状品の成形が中心であった。

1980年頃に冷間鍛造と同じ考え方で温間鍛造や

熱間フォーマ鍛造も行われるようになり、それらを総称して「精密鍛造」と言うようになった。この頃から日本では前輪駆動の小型車の生産が増加し、小型車に不可欠な等速ジョイント用の異形部品の閉塞鍛造など、新しい精密鍛造法が開発・使用されるようになった。

閉塞鍛造は図2のように上下金型を締め付けて閉塞し、上下パンチで素材を金型間の空間に押し込んで側方へ押し出して成形する。一定の力で締め付けられた金型は過大な圧力を逃がすので金型への負担が小さい。この加工には多数の駆動軸を有する設備が必要であるが、通常使われる熱間半密閉鍛造に比べ加工力は大幅に低く、切削加工も少なく済む。

1990年頃から歯車やスプラインなどの精密部品の鍛造が多くなったが、その原動力は分流鍛造や背圧鍛造など、閉塞鍛造から始まった多軸駆動機構を用いた新しい鍛造方法である。最近でも、板成形、切削、圧延といった鍛造以外の加工法と組み合わせ、多軸駆動機構を用いた冷間鍛造法が発展している。

冷間鍛造を可能にしたリン酸塩皮膜処理は潤滑設備が大がかりで、処理時間が長く、残滓（スラジ）や廃液が環境に有害であるため、2000年頃には使用が困難になった。このため、潤滑剤を含んだ液に短時間つけた後、高温の空気で乾燥させるだけで素材表面に高性能な固体潤滑膜を生成させる「一液潤滑」と呼ばれる潤滑方法が開発され急速に普及している。

◇ 温・熱間鍛造

熱間型鍛造は1000~1200℃でバリだしの半密閉鍛造で行なわれる。一方、温間鍛造は厚いスケー

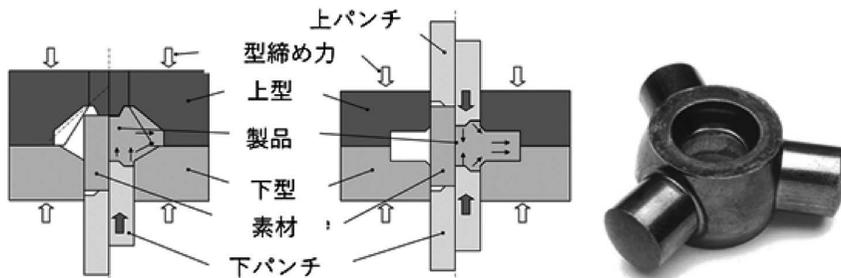


図 2 閉塞鍛造方法と製品

ルが生じはじめる900℃以下の温度で冷間鍛造と同じ押し形式で行われる。冷間に比べ温間では鋼の変形抵抗が大幅に低いため大形品の加工に用いられ始めたが、冷間鍛造に必要な中間焼鈍やリン酸塩皮膜処理が不必要であるといったメリットも見いだされた。

図3は等速ジョイント部品のアウターレースの鍛造工程²⁾である。大変形が生じる第5工程までは温間鍛造で行い、切削加工の困難な溝部を冷間鍛造だけで精密に加工している。

温・熱間鍛造では黒鉛が潤滑・離型剤として用いられていたが、1990年頃から「白色潤滑」と言う高分子系の潤滑剤の使用が増加している。サーボプレス の出現によっても熱間鍛造では冷間鍛造のような新規鍛造方法が現れていない。その主な原因は、実用金型材料では高温素材と瞬間的にしか接触できないためと見られ、熱間鍛造用の耐熱性のある型材の開発が喫緊の課題である。

◇ 鍛造と他の加工法の複合加工

塊状製品を製造する鍛造は、通常、丸棒を切断した素材を用いるが、材料を半溶融状態に加熱して鍛造する「半溶融・半凝固鍛造」や、鉄粉を焼

結した素材を熱間で鍛造してコンロッドを製造する「焼結鍛造」なども一部で使われている。最近になり、自動車の軽量化部品や電池部品の製造を目指して、他の加工法と鍛造とを組合せた新しい精密鍛造法が提案されている。

1. 板成形と鍛造の組合せ

板材を用いて軽量化部品を成形する場合、深絞りなどの板プレス加工だけでは高精度製品を加工できないため、板プレス成形と冷間鍛造技術とを組み合わせる板鍛造が最近増えている。板鍛造では厚板を素材として使い、初期工程で深絞りなどの板成形でカップなどの概略の形状を作製したあとで、精密鍛造で形状精度を高める。

板を素材とした鍛造では板材特有の問題を生じる。板厚方向への圧縮鍛造では、工具接触圧力が非常に高くなるため、板面に平行に引張り力を加えて面圧を下げる工夫もされている。また、鍛造で板厚を増加するには板面に平行に圧縮力を加える必要があるが、これにより座屈を生じるため、座屈なしに板厚を増加する各種の工夫がなされている。

図4にトヨタ自動車の最近の板鍛造製品の事例を示す³⁾。鍛造品を板鍛造化して部品形状が板材

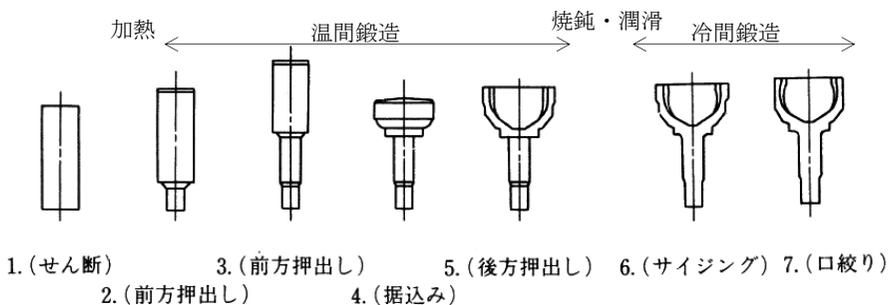


図 3 温間鍛造を用いたアウターレースの工程²⁾



図 4 トヨタ自動車における板鍛造事例³⁾

に適したように変化したものもあり、既存部品を板鍛造化する場合には、部品設計の考え方を変えることも考慮する必要がある。

2. 切削と鍛造の組合せ

後方押しや深絞りで作製したカップ状製品の底を図5のように切削刃物のような鋭い角を有するパンチ押し込み、側壁を切削しながらカップ底部を移動して任意の位置にウェブをつくることができる。この加工では刃物パンチはカップ内径より大きいために、カップ側面を内側から切削しながら切屑をカップ底部に流し込んでいる。

カップの底部を移動させるために必要なパンチ圧力は、通常用いられる後方押し加工法より非常に低くできる。このため寸法が大きく複雑な断面形状をもつ中空部品の精密加工に適していると考えられる。

3. 圧延と鍛造の組合せ

通常、角筒の成形は多段の深絞りで行われてい

るが、今後需要が増大すると見られる電気自動車用の電池ケースを想定して、冷間鍛造と圧延を組合せた深い角筒の成形法が提案された⁵⁾。図6(a)のように、第1工程で後方押しにより底付き角筒容器素材を作製し、第2工程で図7(b)のように、後方からパンチにより加圧しながらロール間で圧延して、容器の側壁を薄く引き伸ばす。図7(c)に示すように、第1工程で角筒内部形状を成形し、第2工程では製品の外形形状および肉厚を決定する。

圧延における後方からのパンチ力は、素材をロールに噛み込ませて大きな圧下を行うことを可能とし、成形中には圧延中の素材に前方張力を加えることにより、ロール面圧を低下させる。ロールを駆動した圧延では、摩擦駆動により加工圧力を低下させて断面減少率を非常に大きくできる。

板圧延では非常に薄い製品ができることが知られており、この方法においても薄肉の角筒製品の

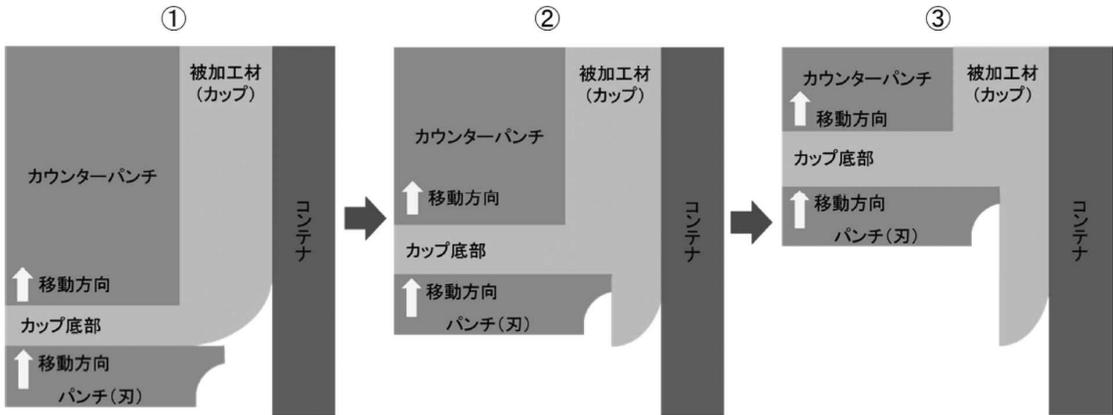


図 5 切削鍛造⁴⁾

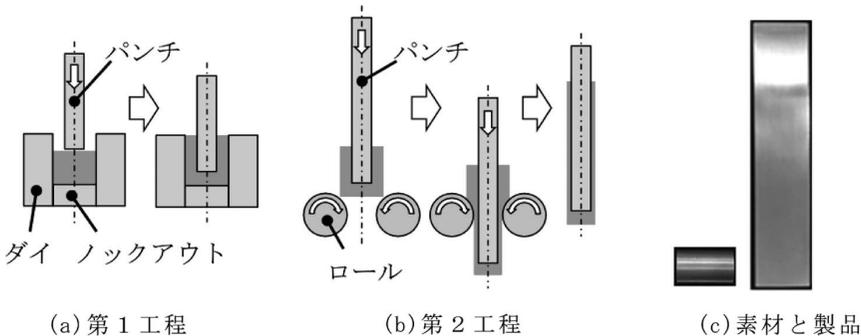


図 6 押しと圧延を組み合わせた角筒容器の成形法⁵⁾

加工が期待できる。さらにロールとパンチの形状やクリアランスを調整することで側壁の厚さ分布を変えたり、側壁に各種の形状を付与することもできる。

参考文献

- 1) 塑性加工概論：特集／最近の鍛造技術：小坂田宏造、特殊鋼 59-4 (2010)、2-6
- 2) 塑性加工技術シリーズ4「鍛造」：日本塑性加工学会編：コロナ社、(1995)、203
- 3) 自動車生産における塑性加工技術の発展：森下忠晃、塑性と加工、52-600 (2011)、101-107
- 4) Application of flow model in metal cutting to cold forging of tubular products: Z.G. Wang, T. Hakoyama, Y. Endo, K. Osakada: CIRP Annals-Manufacturing Technology 68 (2019)、273-276
- 5) 精密鍛造と圧延を組み合わせた深穴角筒容器の成形法の開発 - 第2報2方向4ロール圧延による角筒容器の成形 - : 竹下和也、森満帆、村井映介、伊藤直紀、古元秀昭、小坂田宏造 (阪大)、第70回塑性加工連合講演会講演論文集、(2019)、21-22



2. 鍛造業界の現状

一般社団法人日本鍛造協会 常務理事 鈴木 太

◇ 素形材産業における鍛造業の位置づけ

日本の鍛造の起源は、弥生時代後期から始まったという説が有力のようで、古事記や日本書紀に鍛冶の神が登場し、鍛冶のことは「かぬち（語源は金打）」と称されている。鍛造技術は日本刀に应用され、平安時代の8世紀をピークに急速に進歩を遂げ、この日本刀の技術が現代の鍛造技術の原点となっている。鍛冶職から鍛造業へ、大手企業が鍛造部門を興す、あるいは軍の工商で、技能・技術を習得して独立するなど、全国に鍛造業が拡大し今日に至っている。鍛造業は、農業、工業などの発達、近代化の流れと共に飛躍的に進展し、日本の機械的な鍛造業の始まりは、文化13年（1816年）長崎製鉄所にハンマが導入されたのが最初と伝えられている。

鍛造業は、日本標準産業分類で、鍛工品製造業、非鉄金属鍛造品製造業、鍛鋼製造業の3つに分類される。鍛工品製造業は、主として他から受け入れたビレットや棒鋼をハンマやプレスなどの鍛造機で鍛造している事業所のことで、これに対し鍛

鋼品製造業は、主として鋼塊を製造し、その鋼塊を直接ハンマやプレスなどの鍛造機で鍛造する事業所をいう。

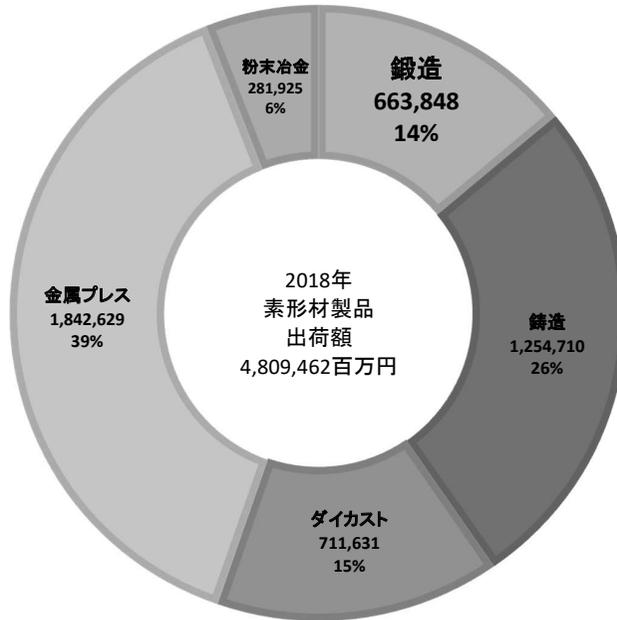
素材（材料）を鍛造、鑄造、プレス、粉末冶金等の加工法で成形された部品や部材のことを素形材といい、部品や部材のニーズに応じて加工法が選ばれる。素形材の分類を表1に示す。平成30年（2018年）における素形材産業の生産額は4,809,462百万円で、金属プレス製造業が全体の39%、鑄造業が26%、鍛造業は14%、ダイカスト製造業が15%、粉末冶金製造業が6%の割合である（図1）。鍛工品製造業は、素形材製品全体の9.6%で、出荷額は459,585百万円の実績である。

◇ 鍛造業の現状について

鍛工品の生産量は、平成2年（1990年）、当時では過去最高の240万トンに達し、その後緩やかに下降及び横這い傾向を辿りながら、平成19年（2007年）は最高実績となる265万トンを記録した（図2）。鍛造業は、主として受注産業であり、環境問題（排ガス規制等）、公共投資、資源開発、エ

表 1 素形材産業の分類

区分	産業分類（日本標準産業分類より）	製品
鍛 造	鍛工品製造業	鍛工品
	非鉄金属鍛造品製造業	非鉄金属鍛工品
	鍛鋼製造業	鍛鋼品
鑄 造	銑鉄鑄物製造業	ねずみ鑄鉄品、球状黒鉛鑄鉄品
	可鍛鑄鉄製造業	可鍛鑄鉄品
	鑄鋼製造業	鑄鋼品
	銅・同合金鑄物製造業	銅・同合金鑄物
	非鉄金属鑄物製造業	非鉄金属鑄物
ダイカスト	アルミニウム・同合金ダイカスト製造業	アルミニウム・同合金ダイカスト
	非鉄金属ダイカスト製造業	亜鉛・同合金ダイカスト
金属プレス	アルミニウム・同合金プレス製品製造業	アルミニウム・同合金プレス製品
	金属プレス製品製造業	鉄系金属プレス製品
粉末冶金	粉末冶金製品製造業	粉末冶金製品



データ：経済産業省 工業統計「産業編」従業者4名以上の事業所

図 1 素形材製品出荷額割合

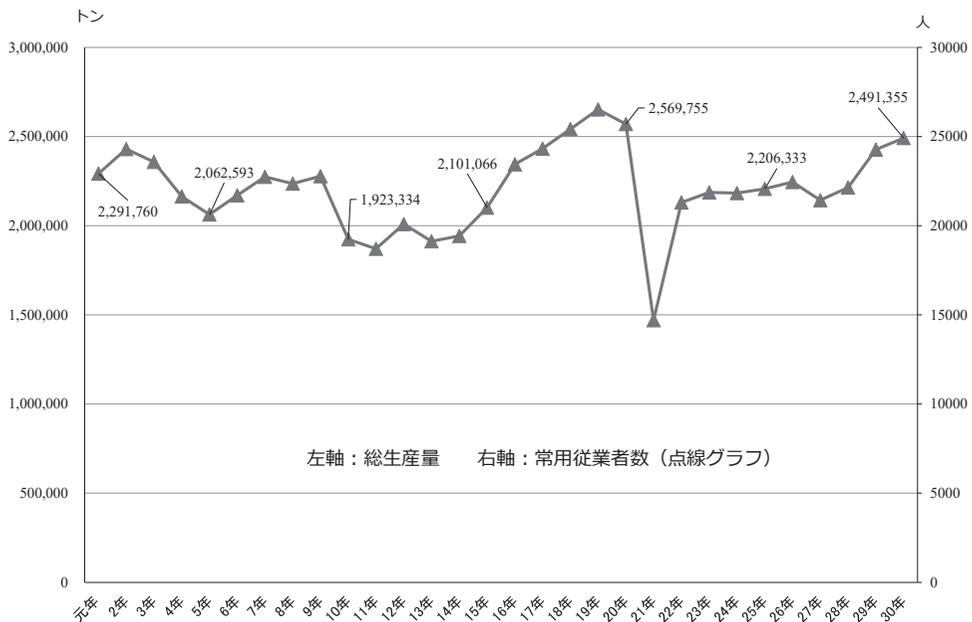


図 2 鍛工品生産量推移 (データ：経済産業省「鉄鋼・非鉄金属・金属製品統計月報」)

エネルギー問題、為替、ユーザー産業の海外調達・海外進出、自然災害（地震、洪水等）、といった国内外における様々な外的な要因によって、生産量が大きく左右される。

鍛工品の需要先は、自動車産業向け約72%、産業機械・土木建設機械向けが約16%、輸送機械約1%、その他が11%で、自動車産業に大きく依存している。図3、図4に需要分野別の生産推移及

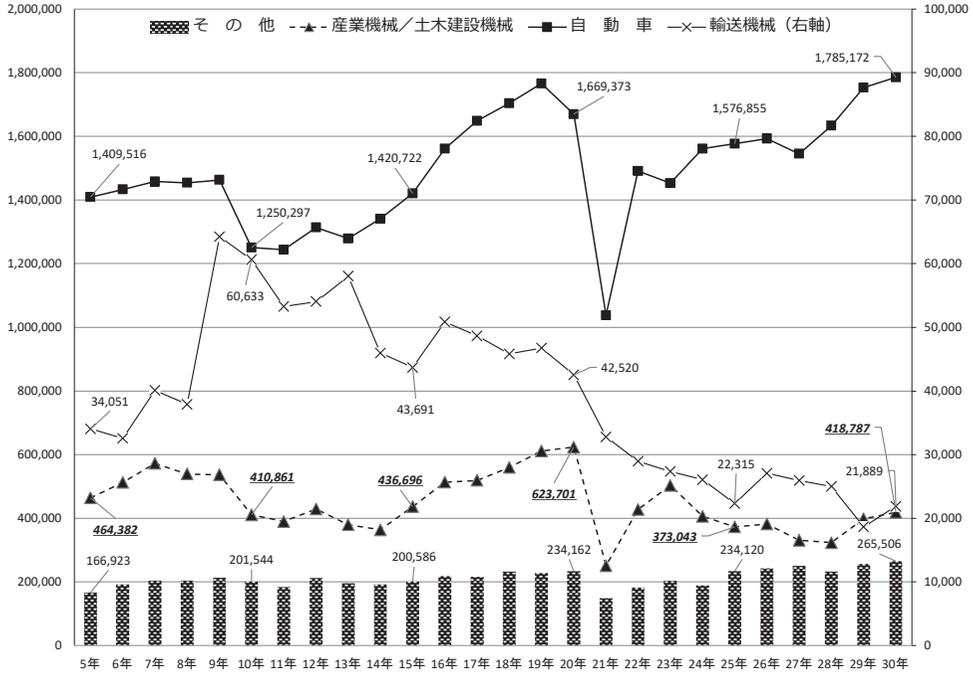


図 3 需要分野別推移 (データ：経済産業省「鉄鋼・非鉄金属・金属製品統計月報」)

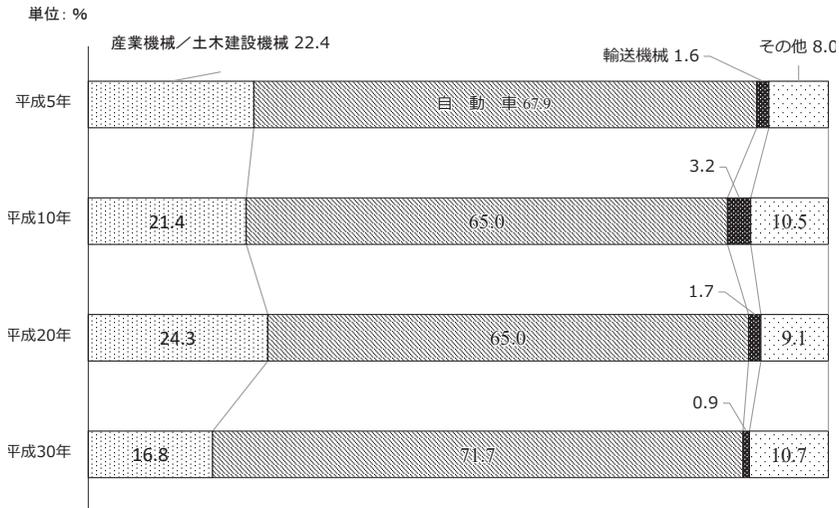
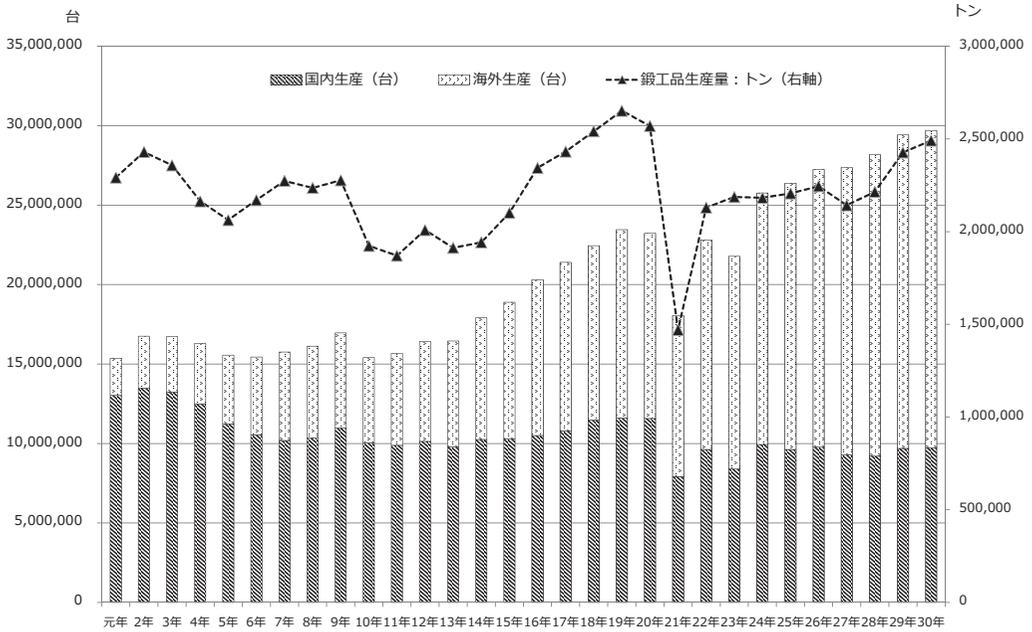


図 4 需要分野比率推移 (データ：経済産業省「鉄鋼・非鉄金属・金属製品統計月報」)

び生産比率推移を示す。

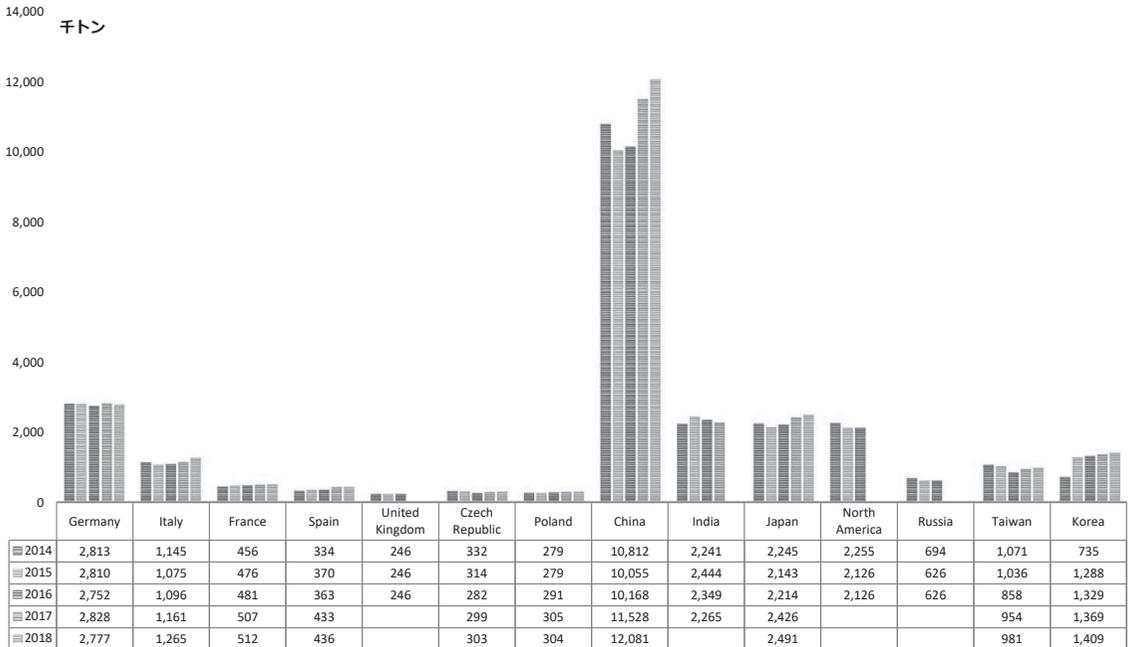
「令和」となった新時代の幕開けに伴い、平成30年間の生産推移をみると、上述の要因で生産実績の増減はあるが、30年前と比べると約9%増加しており、この間厳しい環境を乗り越えてきた日本の鍛造業の強さが読み取れる(図5)。実際、円高を背景とした製造業の空洞化が叫ばれていた当時、

鍛工品の最大の需要先である自動車関連産業においては、平成19年前後から四輪車の海外生産が国内生産を上回り、鍛造品の大幅な受注減が懸念されたが、統計上ではその限りではなく、ユーザーの海外調達及び海外生産の増加が全く影響がないとはいえないものの、グローバルな競争のもとで、日本の鍛造業の安定した生産力、技術力、高い品



データ出所：(社)日本自動車工業会、経済産業省「鉄鋼・非鉄金属・金属製品生産月報」

図 5 四輪車生産台数及び自動車向け鍛工品生産量推移



データ：一般社団法人日本鍛造協会調査

図 6 主要各国における鍛造品生産量推移

質の優位性はある程度保っていると考えられる(図6)。

日本の鍛造業は、職人的技能、蓄積された経験

的知識に基づく秀でた現場技術をはじめ、優秀な材料品質、設備技術、金型技術等に支えられてきたが、低コスト国や、多様なグローバル競争の時

代において、今後更に競争力を維持、向上を図るためには継続的な人材の確保及び育成、鍛造プロセス全体の改善、技術力、創造力、開発力の向上が必要不可欠になっている。

◇ 鍛造業の課題、方向性

昨今の環境規制は、日本のみならず世界共通の関心事であり、自動車業界、輸送機器業界、航空機分野などにおいては、さらなる省エネルギー化、CO2排出量削減が求められ、軽量化技術が急務とされている。

とりわけ、次世代自動車の普及動向に伴う鍛造品が受ける影響に関しては、各国の鍛造業界にとって経営の根幹を揺るがす大きな問題である。2019年にインドで開催された鍛造会議で、e-Mobilityについてパネルディスカッションが行われ、インドのパネリストは、バッテリーの軽量化、低コスト化、サイズのコンパクト化、チャージ時間の短縮を背景に、電気自動車への移行が予想以上に速く進展すると力説していた。これに対し、EUにおいては新車の二酸化炭素排出削減目標が法律で定められており、2015年時点で1km走行あたりCO2排出量が130g、2021年には27%減の95gに設定され、2030年は37.5%減、小型商用車は31%減に規制され、そのため、欧州では、欧・米・日の鍛造会社、冷間鍛造グループ、大学及び研究機関、鉄鋼連盟等がコンソーシアムを立ち上げ、各種の業界団体のサポートを得て鍛造部品の軽量化に取り組み、これまでの3年間で乗用車に搭載する鍛造品の総重量を42kg減、トラックでは99kg、ハイブリット乗用車は93kgの軽量化が可能との結果を導いている旨を説明した。また、欧州の環境規制に対し、研究会を立ち上げて議論をしており、電気自動車の普及に伴う鍛造品の影響については、ハイブリット車への鍛造品の供給は15%増加する一方、電気自動車の普及によって20%の鍛造品が減少するとの見解を示した。更に、同研究会では、レアメタルの鉱山（資源）の問題、バッテリーセルの生産能力、インフラの未整備などの理由から2030年の環境規制目標は達成できず、環境規制に対しては新たな評価方法が必要、との結論に達したと報告があった。他方、人口数第一位の中国は、環境規制が欧州より厳格になってきており、電気

自動車の普及に伴う鍛造品の減少に対し、設備の老朽化が進んでいる鍛造会社は、鍛造設備を更新（増強）するのではなく、金属プレス加工設備を導入する企業が増加している旨の報告があり、徐々に電気自動車用の製品づくりにシフトする動きが高まっていると推測している。

これに直接関連しているわけではないが、日本では、中小企業・小規模事業者の技術開発からその事業展開における第4次産業革命への対応に向け、中小ものづくり高度化法の指針などを含め技術開発の枠組みについてIoTやAI等の技術革新を取り込み、付加価値の向上を進めることを狙いとして、平成30年（2018年）3月、「特定ものづくり基盤技術及び高度化指針」を見直した。この指針は、戦略的基盤技術高度化支援事業への開発テーマのもととなるものであり、鍛造技術が該当する【精密加工に係る技術】の高度化の方向性が以下の通り示された。

■精密加工に係る技術に関する事項

1) 医療・健康・介護分野に関する事項

製品の長寿命化に向けた高硬度材（高強度セラミックス等）や生体適合性及び生体親和性の高い材料、生体修復機能材料等の新材料開発が進みつつあり、難削材加工、複雑形状加工、衛生面に配慮した一品加工への対応が求められる。

[高度化目標]

- ア. 精密・微細加工技術等の向上
- イ. 衝撃を吸収するために工夫された構造と素材に対応した加工技術の構築
- ウ. 難加工材・新材料加工対応
- エ. 複雑形状加工対応
- オ. IT、IoT等を活用したフレキシブル生産技術の向上
- カ. 洗浄工程の削減及び潤滑剤使用の低減
- キ. ソフトウェアを利用したカスタムメイド対応
- ク. 多品種少量生産等に対応した低コスト化技術の向上

2) 環境・エネルギー分野に関する事項

風力発電や水力発電に用いる機器においては、複雑形状部材や大型部品、新材料を用いた発電の効率化が重要。特に二次電池

のケースや防爆機能部材、燃料電池のセパレーター等を量産する際のプレス加工法や成形システムが求められている。

[高度化目標]

- ア. 複雑形状部品の加工性向上
- イ. 微細形状の加工技術の向上
- ウ. 薄肉材料の加工技術の確立・高度化
- エ. 難加工材・新材料加工対応
- オ. 大型部品の少量生産技術の向上
- カ. 複合材料の加工技術の向上
- キ. 自然由来材料の活用技術の向上

3) 航空宇宙分野に関する事項

航空分野においては、航続距離延長や低燃費化等の観点から、機体の軽量化が求められ、構造の一体化、中空化、薄肉化やCFRP (Carbon-Fiber-Reinforced Plastic) 等の複合材の導入等が進められている。また、エンジンの燃費向上の流れを受けたタービン部の高温化に伴い、エンジン関連機器・部品では超耐熱鋼が用いられる。これらの材料は難加工材であり、機械加工ロスを削減するためネットシェイプ化が急務。

宇宙分野においては、人工衛星の小型化に伴い、構造の一体化、3Dプリンタ利用等の新手法による構体製造等が進められている。今後、ロケット等の需要増加に伴い、コスト競争力強化や、それを実現するための生産性を高める技術開発が求められる。

[高度化目標]

- ア. 一体部品・複雑形状部品加工対応
- イ. 薄肉形状・中空形状加工対応
- ウ. 難加工材 (耐熱合金、チタン合金等) に対応した加工技術の向上
- エ. 新材料 (CFRP等) 加工対応
- オ. 新規製造手法への対応

4) その他の川下分野に関する事項

a. 自動車分野に関する事項

各国において自動車に対する燃費規制、排出ガス規制等の環境規制が逐次強化されている中で、環境対応や徹底したコストダウンが求められ、車体の軽量化、エンジン、バッテリー、モーターその他電子部品の効率の向上等が課題。また、自動

車が本来持つ機能上の付加価値の創出や、多様化する顧客ニーズにこたえるために、デザイン形状や衝突安全性の高度化、短納期開発・フレキシブルな生産も重要な事項。近年では、自動車部品のリサイクル性及びリユース化への配慮も必要。

[高度化目標]

- ア. 衝撃を吸収するために工夫された構造と素材に対応した加工技術の構築
- イ. 複雑三次元形状等を創成する加工技術及び一体加工技術の構築
- ウ. 難加工材・新材料加工対応
- エ. IT、IoT等を活用したフレキシブル生産技術の向上
- オ. 複合加工、部品組立及び工程短縮等を可能とする技術の向上
- カ. 材料歩留まりの向上に寄与する技術の高度化

b. スマートホーム分野に関する事項

情報技術の進展やデジタル家電製品の高機能化の進展に伴い、微細化された電子部品等の稼動時の発熱等に対応した新材料等についても加工技術を確立していく必要がある。

デジタル家電については軽量化・薄型化が進む中で高い剛性・耐衝撃性の確保が必要であり、高強度化、軽量化・小型化に適した非鉄金属加工の高度化、応用展開の進展が見込まれる。生活シーンに密接な関係にある様々な製品がIT、IoT製品に置き換わることが見込まれており、新たな使用場面や環境を想定した加工技術が重要。

[高度化目標]

- ア. 難加工材に対応した加工技術の向上
- イ. 精密・微細加工技術等の向上
- ウ. 複雑三次元形状等を創成する加工技術の向上
- エ. 高い意匠性を付加する加工技術の向上
- オ. 中量・多品種生産に対応した加工技術の実現
- カ. 複合材加工、部品組立及び工程短縮等の実現

キ. 材料歩留まりの向上に寄与する技術の高度化

c. ロボット分野に関する事項

高度な知能ソフトウェアやネットワーク技術、分散システム技術、センシング技術等の情報通信技術の活用による機能の更なる高度化と活用範囲の拡大が求められている。今後、需要の増加が見込まれるサービスロボットでは、安全性、信頼性、利便性に係る技術的な水準が従来の産業用ロボットに比べて高いレベルで要求されることから、要素技術の高度化が必要。

[高度化目標]

- ア. 精密・微細加工技術等の向上
- イ. IT、IoT等を活用したフレキシブル生産技術の向上
- ウ. 複合材加工、部品組立及び工程短縮等を可能とする技術の高度化
- エ. 中量・多品種生産に対応した加工技術の実現

d. 産業機械・農業機械分野に関する事項
[高度化目標]

- ア. 加工技術を組み合わせ・複合化した加工プロセスの高度化

誰も予想だにしていなかった新型コロナウイルス感染症の世界的流行によって、経済活動が停止するなど、世界経済は短期間のうちに甚大なショックを受け、深刻な景気後退に陥っている。日本の鍛造業界としては、上述の高度化指針に則り、国の補助事業である『中小企業・小規模事業者ものづくり・商業・サービス革新事業』及び『戦略的基盤技術高度化支援事業』を活用するなど、IT、IoTを活用した効率的な生産システムの構築を目指し、軽量化をはじめ、低コスト、高付加価値化、さらなる高品質化に向けた技術開発に取り組み、新規需要開拓を目指している。また、近年ではFRP（繊維強化プラスチック）やCFRP（炭素繊維強化プラスチック）と金属との複合加工技術が開発され、鍛造業においても、鍛造領域を越えた鍛造関連技術の研鑽が期待されている。

3. 最近の自動車部品の鍛造

トヨタ自動車(株) 小 浜 孝 行
素形材技術部 主幹

まえがき

近年の自動車を取り巻く環境変化として、燃費規制をはじめとするCO2低減など地球環境への対応が必要であり、それを踏まえ、自動車市場も従来エネルギー車から次世代環境車へと様変わりが予測されている。

また自動車の在り方も、世界中のお客様のニーズの変化やAI（人工知能）技術の急激な進化、発展もあり、自動車産業そのものが、「CASE（コネクテッド、自動運転、シェアリング、電動化）」に代表される大変革期を迎えている。

それにあわせ、自動車部品のモノづくりにおいても、車両走行段階での走行エネルギー低減に向けた部品軽量化、素材製造段階での製造エネルギー低減に向けた部品省材料化、製造段階での製造エネルギー低減や廃棄物低減に向けた環境対応やCO2排出低減など、多角的に新たな生産技術構築と生産変動に強い、柔軟かつ高い競争力の追求が鍛造部品に必要となっている¹⁾。

本稿では、最近の自動車部品における鍛造技術や環境対応技術にあわせ、部品技術開発の早期・高精度化や鍛造ラインの高生産性化に貢献するデジタル化技術も含め、塑性加工の動向と現状を紹介する。

◇ 軽量化技術

自動車の燃費向上には、まず要求される車両走行仕事量を減らし、さらに無駄なエネルギー消費を少なくすることで効率向上ができる。それには部品軽量化が必要で永続的な重要テーマである。

これまでに、クランクシャフトの余肉削除やコンロッドの高精度化など進められてきたが、軽量化には素材、鍛造、熱処理、表面処理の改良による強化、また、それら組み合わせによる総合的なレベルアップと対応が有効的である¹⁾。

1. 軽量金属の鍛造

アルミニウム合金、チタン合金、マグネシウム合金等の比強度（引張強さ／比重）が高い材料として軽量金属への適用開発が進められているが、素材の低コスト化・高強度化と、安価な加工法の開発が重要となっている²⁾。

①アルミニウム鍛造

ナックルステアリングのアルミ鍛造は、丸棒素材をロール鍛造により荒地を成形し、2工程成形の鍛造とバリ抜きで仕上げる（図1a）。このプロセスでは、プレス、熱処理炉も新たに開発し、後工程の機械加工と直結して同じ工場に配置し（1個流し）、遅いタクトタイム（40秒）も機械加工のスピードに合わせたことで、鍛造の弱点であるバッチ処理を解消できる革新的な一貫ラインとなっている。材料費は高価でも、鋼の鍛造と比較して低い鍛造温度、低い成形荷重などの有利性を活かして、設備の小型化、省スペース化、省投資による製造原価低減を達成させたもので、グローバル化にも対応できると報告されている³⁾。

②マグネシウム鍛造

マグネシウムの比重は鉄の約4分の1、アルミ



(a) アルミニウム製ナックルステアリング



(b) マグネシウム製スクロール (c) 中空鍛造シャフト

図 1 軽量化技術

ニウムの3分の2と実用金属の中で最軽量であり、マグネシウム合金の比強度は鉄鋼やアルミニウム合金を上回り、自動車のシートフレームなどが注目されている。自動車空調機器圧縮機のスクロール部品に、従来のアルミニウム合金に代わり、レアースフリーの耐熱高強度マグネシウム合金の適用を検討、本材料をベースに押出し工程と鍛造工程の一体化が可能な材料、および鍛造工法を開発し、高強度部品として適用する(図1b)²⁾。

マグネシウム部品の問題点のひとつに可燃性であり、鍛造における加熱では発火することはないが、今後、カルシウムを加えて難燃性化したマグネシウム素材の開発が必要になる²⁾。

その一方で、双ロール鋳造法によって急冷凝固された高AL含有マグネシウム合金鋳造材を、直接、熱間鍛造することで結晶粒径の微細化が期待でき、高い機械的特性を有する成形品を得ることができるという報告がある⁴⁾。今後の実用化に向けて材料の製造の低コスト化、クリープ強度の保証、熱処理や鍛造に適した潤滑剤の開発が必要になるが、型製品の実用化が期待されている。

③チタン合金鍛造

合金の種類によって冷間鍛造が可能だが、自動車での多用には、素材の高価格が課題とされる²⁾。

2. ネットシェイプ化

ネットシェイプ化とは、鍛造加工で成形した部位を切削加工無しで製品として使用する技術で、部品軽量化と、切削加工エネルギーの低減によるCO₂削減に大きく貢献する技術である。ここでは、中空鍛造と板鍛造について紹介する¹⁾。

①中空鍛造

中空鍛造は、主にシャフトなどの軸の多いトランスミッション部品の軽量化に使われ、鍛造素材にパイプ材を用いることもあり、前方・後方・複合など押出し工法にて成形される(図1c)⁵⁾。

課題となる高荷重対策として、背圧付加による成形部に張力付与しての押出し加工や、加工部品外径より小径素材を使う押し広げ加工など、押し出し圧力を低減する方法や技術を応用して、いろいろな中空部品の鍛造が行われている⁶⁾。

またシャフトの材質に使用されるS45Cなど中炭素鋼で発生しやすいクラック対策も重要で、背圧(300kN)負荷での温間(200℃)加工で製品内部

クラック発生を抑制できる報告もある^{註1)}。

今後は、さらなる長尺の中空シャフト成形をめざし、多軸油圧サーボプレス利用による鍛造技術開発も進められている。

②板鍛造

板鍛造は、板成形技術と冷間鍛造技術の組み合わせ工法で、精度、強度、工程数、生産性、後工程削減で大幅なコストダウンが可能となる。軽量化に向けたさらなる薄板(減肉)かつ高強度板製品の精密鍛造をするには、高荷重対策と、熱処理との組み合わせによる技術開発が必要となる²⁾。

板鍛造成形では、板の破損やしわ発生を防止するために成形時の潤滑を良くする必要がある。

それには振動鍛造が有効で、サーボプレスのスライドを上下運動させながら加工する方法がある。これはサーボプレスによる圧縮途中の除荷を数回繰り返すことで、素材外周の工具接触が離れるため潤滑が回復した結果、摩擦係数が回復、大幅に低下することを利用したものである⁷⁾。

◇ 高機能化技術・高品質化技術

ネットプロパティ鍛造化に代表される部品の組織制御による強度傾斜を行うなど、必要などころに必要な機械特性を造り込むことで部品の高機能化を行う鍛造技術が進められ、部品の軽量化や高品質化に貢献している⁸⁾。

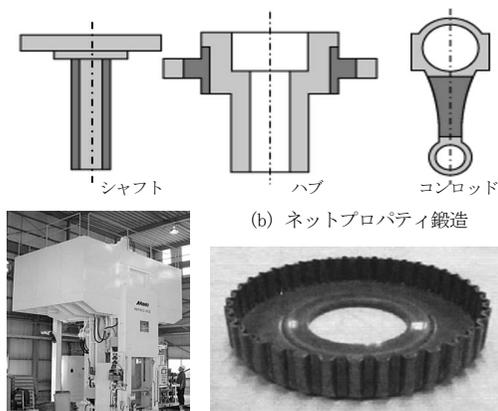
1. サーボプレス活用による鍛造

複動多軸油圧プレスでの高精度(各軸±0.005~±0.050mm)な繰返し位置決め性を活用し、製品ワンショット化、設備小型化、複合ラインでのリードタイム短縮、設備費削減、金型高寿命化など、活用拡大が進められている(図2a)⁹⁾。

①ネットプロパティ鍛造

VやTiなどを添加した材料を用いて、制御加熱・制御鍛造にて強度の傾斜機能を付与する技術で、軸物シャフト等の表面を強化する部品、ハブ等の内部を局部的に強化する部品、コンロッド等の一部を強化する部品へ適用される(図2b)¹⁰⁾。

材料に温度分布を持たせる加熱技術、鍛造時の材料温度を制御する技術、加工後の製品温度を制御する技術など、精巧な熱マネジメント技術が必要であり、材質予測システムとサーボプレスの活用により、多くの展開先が期待される¹⁰⁾。



(a) 複動多軸油圧サーボプレス (c) 1ストローク成形クラッチハブ

図 2 高機能化技術・高品質化技術

② 1ストローク成形（多軸油圧サーボプレス）

1ストローク成形は、多工程の冷間鍛造を1台のプレスで可能にする技術で、駆動軸が多い加工方法に用い、低コスト化やグローバル対応に適しているが、加工速度が低いため、大量高速生産より、切削工程などと同期させる生産に適している。

5軸油圧サーボプレス（上3軸／下2軸）でのクラッチハブ部品の成形報告があり、各軸が順次駆動し、①ボス部圧縮成形②絞り加工③コーナー成形④歯形成形の工程で鍛造される（図2c）²⁾。

◇ 環境対応化技術

自動車部品の製造段階のエネルギー低減として、CO2排出低減に向けた切削加工エネルギー低減のネットシェイプ化、廃棄物低減に向けた粗材製造エネルギー低減の省材料化がある¹⁾。

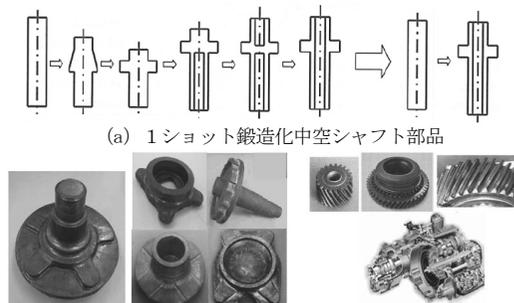
1. CO2低減

① 工程削減（1ショット鍛造化）

全ストロークどの位置でも最大荷重を発生させることができる油圧プレスの特性を活かして、スライド側、ボルスタ側に複数のシリンダを装備することにより、1ストロークにて種々の成形を順次行うことができる複動多軸油圧サーボプレスを活用することで、フランジ部を持つ中空シャフトの1ショット鍛造化（例えば5→1工程）が進められている（図3a）⁹⁾。

② 成形荷重低減（小エネルギー化）

ホイールハブや類似展開可能部品では、材料の加熱温度と加工中のスライドモーションをうまく



(b) 成形荷重 (c) 複雑形状部品の一体・高精度加工

図 3 環境対応化技術

組み合わせることで、成形時の材料流動を抑制し、加工エネルギーの発熱量を制御することで、加工中の変形抵抗を最小化し成形荷重を低減（2500→700T）させることができる（図3b）¹¹⁾。

2. 省材料化

① ヘリカルギヤの一体・高精度加工

ヘリカルギヤやハイポイドギヤなどの複雑形状であり多軸成形が必要な部品の成形は、各軸の動作タイミングをサーボ機能で自由制御させ、最適な分流条件での材料の充填性を向上させることでネットシェイプ化できる（図3c）¹²⁾。

3. 廃棄物低減

鍛造での廃棄物のひとつの潤滑剤は、回収・再使用に難があり、利便性の良い潤滑剤への変更・改良や使用量ミニマム化が進んでいる。ここでは、精密鍛造への潤滑技術の高度化開発を紹介する¹⁾。

① 鍛造潤滑剤

冷間鍛造用潤滑では、セッケン-リン酸塩被膜での処理スペースと時間、廃液に対策した、高性能潤滑油の開発を、また、しごき加工用には環境対応もあり潤滑の非塩素化を進めている⁸⁾。

また温間鍛造用潤滑では、材料の最適な加熱条件と潤滑塗布条件の見極めにて、ガラス潤滑剤での800℃ばね鋼温間鍛造が実用され、黒鉛系潤滑剤で鍛造できないものを量産可能にしている¹³⁾。

熱間鍛造用潤滑では、アルミ鍛造において白色潤滑剤の付着保持に適切な型表面粗さの確立で、アルミ凝着と型費低減をめざしている¹⁴⁾。

◇ デジタル化技術（鍛造の進化を支える技術）

CAE解析ほか、高生産性化へのIoT活用によるデータ取得や、データ分析、製品合否判定へのAI

技術活用など、デジタル化技術でリードタイム短縮や生産省人化など鍛造の進化を図る。

1. CAE解析技術

最近では鍛造加工点の見える化に加えて、新たに組織予測をはじめとした材料物性同定の機能が新規に開発・付与されるなど、鍛造技術の進化に合わせ機能高度化と用途拡大が進んでいる。

①最適化解析技術

鍛造技術の早期解決には、実証結果に効く型設計パラメータの選択と値出しが必要で、応答局面法の最適化を活用した解析が有効になる(図4a)。

②部品軽量化の予測技術

部品軽量化の検討で、高強度成立の組織、材料特性の変化予測を温度解析と連成解析開発し、形状変化では見極められない合否を可視化する。

2. 製造データの収集&分析技術活用

①鍛造設備の兆候管理

鍛造品の高品質かつ安定した生産環境維持には、IoT技術を駆使し鍛造設備の状態変化をデジタル可視化・監視し、兆候管理にて生産の長時間停止の回避技術が展開されている(図4b)¹⁵⁾。

②サイバーフィジカルシステム(CPS)

鍛造生産ラインからデータ収集・分析した結果をフィードバックし、良品条件維持・制御にて生産性をより向上させるもので、生産現場のデジタ

ル変革を含め、今後活用拡大が予想される。

3. AI技術活用

①生産ラインの製品自動検査

鍛造型打品の良否検査では、生産ラインのカメラ撮影した画像からAI技術による自動判定化が進んでいる。特定不具合に対し検査技能員の良否判断基準を画像の判定指標として使用することで高度な自動検査が可能となる(図4c)。

むすび

自動車産業の変革やグローバル対応に合わせ、今後の鍛造分野の発展のために、素材から製品までの一貫プロセスを考慮した、さらなる鍛造技術開発と他技術融合・複合化プロセス開発、および人材育成、関連機関との連携が重要になるだろう。

注1) ヤマナカコーキン提供

参考文献

- 1) 森下弘一：特殊鋼 59-4 (2010)
- 2) 小坂田宏造：Sanyo Technical Report 22-1 (2015) 2-12
- 3) 森下弘一：素形材 47-1 (2006) 47-52
- 4) Watari, H., Davey, K., Rasgado, M.T., Haga, T. & Izawa, S: J. Mater. Process. Technol., 155 (2004) 1662-1667
- 5) 村井映介：プレス技術 52-7 (2014) 36-38
- 6) 工藤英明、篠崎吉太郎：塑性と加工 14-151 (1973) 629-636
- 7) 前野智美、小坂田宏造、森謙一郎：塑性と加工 50-585 (2010) 951-955
- 8) 北村憲彦、大森俊英、団野敦、川村益彦：塑性と加工 37-429 (1996) 1083-1088
- 9) 森孝信：日本塑性加工学会鍛造分科会 第36実務講座テキスト (2009) 61-68
- 10) 五十川幸宏：NEDO「鉄鋼材料の革新的高強度高機能化基盤研究開発」シンポジウム講演予稿集 (2010) 123-124
- 11) 安藤弘行：日本塑性加工学会鍛造分科会研究集会
- 12) 安藤弘行：日本塑性加工学会鍛造分科会 第38回実務講座 (2011)
- 13) Nonoyama, F., Kitamura, K., Danno, A. & Osakada, K.: CIRP Ann., 42-1 (1993) 353-356
- 14) Asai, K., Kitamura, K. & Tearo, M.: Steel Research International 2011, Special Edition1 (2011) 235-239
- 15) 青木崇：第335回塑性加工シンポジウム (2019)

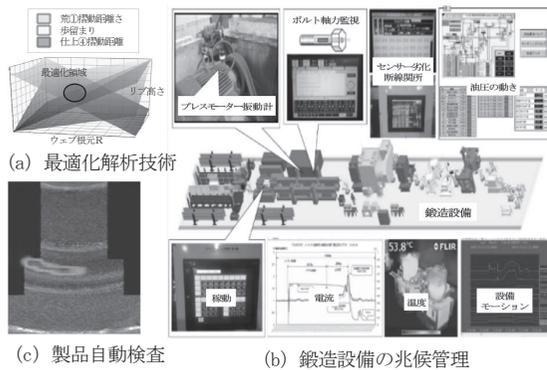


図 4 デジタル化技術

Ⅱ．塑性加工方法

1．条鋼の型鍛造

(1) 鍛造用条鋼

(株)神戸製鋼所 技術開発センター ちば まさ みち
線材条鋼開発部 線材条鋼開発室 千葉 政道

まえがき

冷間鍛造は、各種の機械構造部品を高寸法精度で大量生産することができ、部品の製造コスト低減に有望な加工方法である。また鍛造加工を室温で行うことから、材料加熱に伴うCO₂発生もなく環境負荷が低い利点も有する。

冷間鍛造の普及初期（1950～1960年代）においては、鍛造技術（鍛造機械、鍛造金型、潤滑皮膜など）や鋼材品質面の課題から、複雑形状や寸法精度の厳しい部品は熱間鍛造と切削加工の組合せや全てを切削加工する必要があった。低い材料歩留りや長時間のタクトタイムが部品製造コストの低減を困難にしていたが、近年では、シミュレーション技術を活用した鍛造工程の設計技術や鍛造金型の製造技術、更には、冷間鍛造用鋼の高品質化・高機能化により、冷間鍛造のメリットを最大発揮できる部品が大幅に拡大している。

冷間鍛造の適用効果を最大化するには、要素技術を最適条件で組み合わせることが重要となる。特に、冷間鍛造用鋼材には、加工限界や部品強度に応じた鋼種、素材寸法を最適に選定することが求められる。

本稿では、冷間鍛造用鋼材として使われる鋼種と必要な材料特性、および冷間鍛造性を改善した新商品の事例について概説する。

◇ 鍛造用素材として使われる鋼種

冷間鍛造用鋼に求められる品質は、「当たり前品質」と「魅力的品質」に大別でき、前者は鍛造加工で最も重要な「変形能が優れ、割れにくいこと」

および「変形抵抗が低く、鍛造金型寿命が良いこと」である。一方、魅力的品質は、当たり前品質を維持した上で、鍛造工程前後の熱処理省略・簡略化による製造コスト低減や、部品の機能を従来鋼よりも向上・高機能化できることである。

現在、冷間鍛造は自動車部品などを中心に広く適用されており、使用される鋼材も炭素鋼から合金鋼まで多岐にわたる。各鋼材での高品質化手段は、対象部品によって若干異なるものの重要品質（高変形能、低変形抵抗）は共通であり、これらは素材のマイクロ組織に大きく影響を受ける。そのため、最終的な部品機能も考慮の上、合金元素を選定・組合せると共に、熱間圧延の条件や鍛造加工前の処理条件を精緻に調整することで、種々の高品質冷間鍛造用鋼が生み出されている。

高品質冷間鍛造用鋼には、その鋼材の採用が、部品製造コストの低減に直接貢献できるもの〔下記①、②〕と、製造工程でのコスト低減に直接寄与できないが、部品の高機能化を通して、ユニット全体としてのコスト低減を実現できるものがある〔下記③〕。

- ①：部品の製造工程を合理化できる鋼
- ②：資源を節約できる鋼（省合金鋼）
- ③：新しい機能を備えた鋼

前者の代表例としては、ボロン鋼や非調質ボルト用線材が挙げられる。ボロン（B：ホウ素）は少量添加で焼入れ性を向上させる効果を有し、高価な合金元素（Ni、Cr、Mo等）を削減して素材コストを抑制すると共に、鍛造前の軟質化焼鈍（球状化焼鈍）を合金鋼に比べて簡略・省略して、部品製造コストを低減できる。また、非調質線材

では、伸線や鍛造工程での加工硬化を積極活用して部品強度を担保することで、合金元素の低減に加えて焼入れ焼戻し処理も省略でき、低コスト化を実現できる。昨今では、長尺部品の熱処理曲がり抑制、熱処理炉の投資抑制、温室効果ガス低減からも注目されている。

一方、機能向上では、高強度ボルトによる小型・軽量化が挙げられる。ボルトの強度確保と耐遅れ破壊性向上を目的にNi、Cr、Mo等を増量添加し、高温焼入れ・高温焼戻しを行うことから、単位重量当たりのコストは増加するが、従来材に比べボルトのサイズダウンや使用本数を低減でき、締結部材全体での小型・軽量化を通して、自動車の燃費向上やトータルコスト低減が可能となる。

◇ 冷間鍛造性に及ぼす各種因子の影響

冷間鍛造で製造される部品の用途は多岐にわたるため、冷間鍛造用鋼にも様々な性質が要求される。先ず挙げられるのが、鍛造加工での基本特性、すなわち高変形能、低変形抵抗である。更に、最終部品での寸法精度を確保する上で、切削加工を施すものについては、被削性（切削抵抗、切屑処理性、仕上げ面粗さ等）が合わせて要求される。そして製品特性面からは、最終機能としての引張特性、衝撃特性、遅れ破壊特性等、種々の機械的性質を確保することが必要となる。近年では、自動車の電動化や運転支援技術の高度化を背景に、電子・電磁制御部品が増加傾向にあり、機械的性質に加え、電磁特性を必要とする用途も増加して

いる²⁾。

1. 化学成分の影響

図1に、冷間鍛造性の代表指標である変形抵抗への化学成分の影響例を示す。鋼材の組織形態により影響度は多少異なるが、主要元素の増量が変形抵抗の増加を招くことが分かる。特にCとSiの悪影響が著しい¹⁾。

また、変形能に対しては、応力集中源となる析出物や介在物、組織の延性低下などが悪化因子となる。よって、機械特性等の製品機能を確保して、鋼材の冷間鍛造性を向上させる成分設計としては、C、Si、Sを低減し、且つN、O量を低減することが基本指針となる。化学成分の影響について、以下に代表例を述べる。

Siは、鋼材製造過程で不可欠な脱酸処理に有用な元素であるが、一方で、固溶強化によってフェライト相の延性を低下させることから、現在では脱酸処理をAl添加で行い、Si量を0.10質量%以下とした冷間鍛造性に優れた低Si-Alキルド鋼が既に広く普及している。更に、製鉄・製鋼技術の進歩により、現在では、極低硫鋼、極低酸素鋼、極低窒素鋼などの製造が可能となっている。

Sは、鋼中でMnとの化合物MnSを形成し、鍛造加工時に応力集中源となって割れ発生を助長するため、冷間鍛造性には悪影響をもたらす元素である。S量の低減に伴い割れ発生限界圧縮率は向上する傾向を示し、加工発熱や表層の引張応力が大きくなる太径サイズでの改善効果が大きい。反面、被削性は低下するため、部品の加工プロセスを考

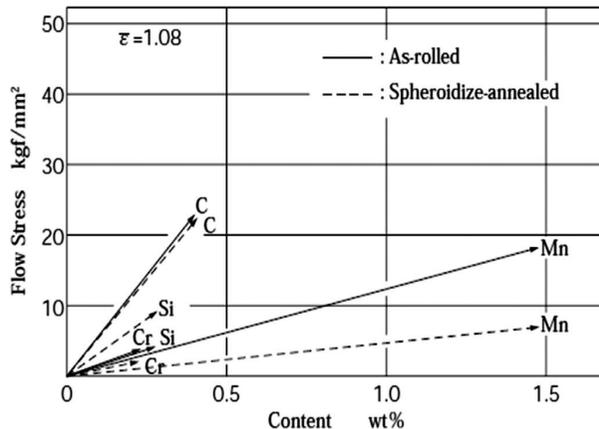


図 1 変形抵抗に及ぼす合金元素の影響¹⁾

慮した成分選定が必要となる。

また前述したようにBの微量添加は、冷間鍛造性を阻害することなく、焼入れ性を向上できる点で非常に有効である。ただし、この効果の発揮には、Bを固溶状態で存在させる必要がある。BNが析出して固溶Bが減少すると焼入れ性が低下するため、一般にボロン鋼にはNとの親和力の強いTiやNbが少量添加される。

なお最近では、B添加を焼入れ性向上目的ではなく、固溶Nの悪影響を無害化する技術として活用し、鍛造ままで使用する非調質部品の金型寿命改善や熱処理省略などへの適用事例が報告されている（後述）。

2. 組織の影響

C量の増加に伴い、鋼中の硬質炭化物（セメンタイト： Fe_3C ）の含有率が増加する。通常の圧延材では、板状のセメンタイトが分散した組織を有しており、塑性変形に対する抵抗が大きく、割れ発生の起点にもなりやすい。このため、C量が0.25質量%を超える中炭素鋼では、炭化物を粒状分散させる熱処理（球状化焼鈍）が一般に行われている。塑性変形に対する影響が少ない炭化物形態に変えることで、変形能と変形抵抗を大幅に改善できるが、球状化焼鈍は長時間の熱処理を必要とするため、部品製造工程の全体を通した CO_2 排出量やエネルギーコストの面では課題を有する。

◇ 最近の高品質冷間鍛造用鋼の品質概要

高品質冷間鍛造用鋼の代表例として、以下3鋼種について、鋼材設計の考え方と、品質概要を報告する。

1. 10.9級ボルト用ボロン鋼

コスト低減を目的に、ボロン鋼の採用が広がっているが、一般のボロン鋼を10.9級以上の高強度ボルトに用いた場合、使用環境によっては耐遅れ破壊性や靱性の低下が問題となる。これを改善した新しい高強度ボルト用ボロン鋼が開発されている¹⁾。

従来ボロン鋼では、焼入れ加熱時にオーステナイト結晶粒が粗大化し、靱性や耐遅れ破壊性が低下する問題があった。そこで、結晶粒成長の抑制作用を持つTiを増量添加し、加えて、熱間圧延時に制御圧延を行ってTi化合物を微細分散させることで、焼入れ時の結晶粒粗大化を防止することに成功した。更に、耐遅れ破壊特性の向上策として靱性を高めるため、不純物元素であるP、S量を低減し、かつC量も最適化した。

新ボロン鋼は、10.9級強度で一般に用いられている合金鋼（SCM435）と同等の耐遅れ破壊性（図2）を有し、冷間鍛造性にも優れることから、球状化焼鈍の省略など工程省略にも活用でき、今後も拡大が期待される。

2. 工具寿命に優れた冷間鍛造用鋼

冷間鍛造時には、加工発熱によって部品の温度

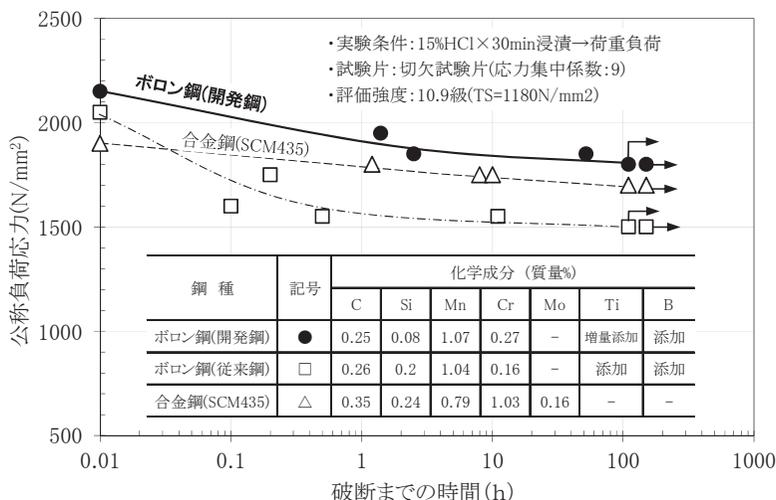


図 2 10.9級ボロン鋼の遅れ破壊試験結果

鋼種	化学成分 (質量%)				
	C	Si	Mn	Cr	B
開発鋼(KTCH25K)	0.23	0.19	0.35	添加	添加
従来鋼(S25C)	0.25	0.19	0.47	-	-

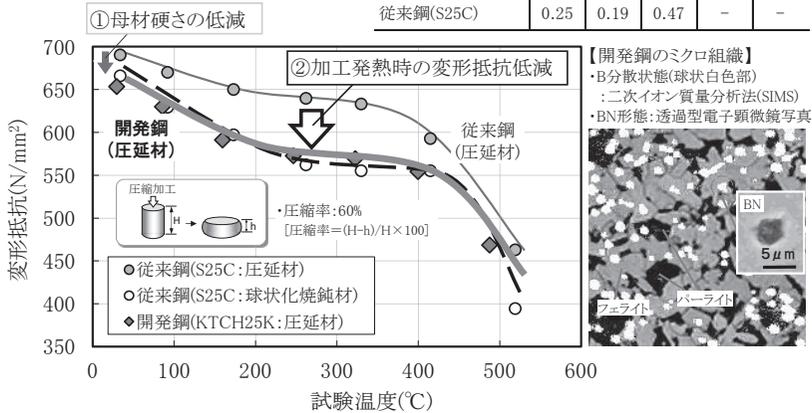


図 3 動的ひずみ時効の抑制による変形抵抗低減

が300℃程度まで上昇する。この温度域では、鋼中の固溶C、固溶Nと可動転位との相互作用による動的ひずみ時効が生じ、冷間鍛造時の圧造荷重は、室温の静的な引張強さや硬さからの想定以上に増大する場合がある。

動的ひずみ時効の抑制には、鋼中の固溶C、Nの低減が有効であり、これまでCrやAlの増量添加による対策が図られてきた。しかし、これらの対策を講じて、冷間鍛造前の軟化熱処理を完全に省略ができる鋼種は、C量が0.10%程度の低炭素鋼に限定されていた。

そこで、動的ひずみ時効の根本抑制を図るため固溶C、Nの析出挙動に着目し、圧延条件、化学成分の影響を詳細に検討した。その結果、制御圧延(低温圧延・徐冷処理)を採用し、かつ化学成分面では少量Cr添加と微量B添加で固溶Cと固溶Nを化合物として析出させることで、動的ひずみ時効の大幅低減に成功した³⁾。

開発鋼では、加工発熱領域である200～300℃での変形抵抗を従来炭素鋼の球状化焼鈍材に近いレベルまで低減でき、M12フランジボルトの圧造試験でも、同等の金型寿命を確認している(図3)。

3. 工具寿命に優れた非調質ボルト用線材

非調質ボルト用線材は、鍛造前の鋼線強度を高めた上でボルト成型可能な冷間鍛造性を付与したもので、ボルト圧造前の軟化熱処理と圧造後の焼

入れ・焼戻し処理が省略できる。ボルト強度は鋼線の強度で決まり、鋼線の強度は圧延線材強度と伸線による加工硬化により決定される。非調質ボルト用線材は圧造前の強度が高く、軟化熱処理した中炭素鋼鋼線に比べて変形抵抗や割れ発生限界が悪化する傾向がある。六角フランジボルト等、加工率が高い部品に対しては、8.8級の強度までが殆どである。9.8級以上の強度では、工具寿命低下が顕著になるため、主にスタッドボルトやUボルトなど簡単な形状の部品に限定されている。

非調質ボルト用線材の工具寿命改善は、8.8級強度でも課題であり、工具寿命改善を図った新しい非調質ボルト用線材も開発されている⁴⁾。開発鋼の化学成分としてはSiやN量を低減し、加工硬化や動的ひずみ時効による変形抵抗上昇を抑制することで、圧造時の変形抵抗を低減している。また、伸線加工率を適正化し、一種のバウシinger効果を最大限に利用することで、変形抵抗の低減を実現した(図4)。従来型の非調質ボルト用線材に比べ、開発鋼は工具寿命が約2倍に向上しており、比較として用いた中炭素鋼の球状化焼鈍材と同程度の工具寿命が得られた。

非調質線材では、圧延後の線材の強度が最終製品の強度に直接影響を及ぼすので、圧延後の線材の強度バラツキを抑える必要がある。化学成分の変動幅を小さくするとともに、圧延後の冷却条件

鋼種	記号	化学成分 (質量%)						備考	
		C	Si	Mn	Cr	Al	N		Al/N
KNCH8S	●	0.29	0.02	1.45	0.1	0.045	0.0032	14.1	非調質線材(冷圧性重視型)
KNCH8	■	0.3	0.24	1.51	0.05	0.033	0.0045	7.3	非調質線材(従来型)
KCH45KT-W	△	0.45	0.18	0.72	0.15	0.024	0.0046	5.2	従来工程(焼入れ・焼き戻し)

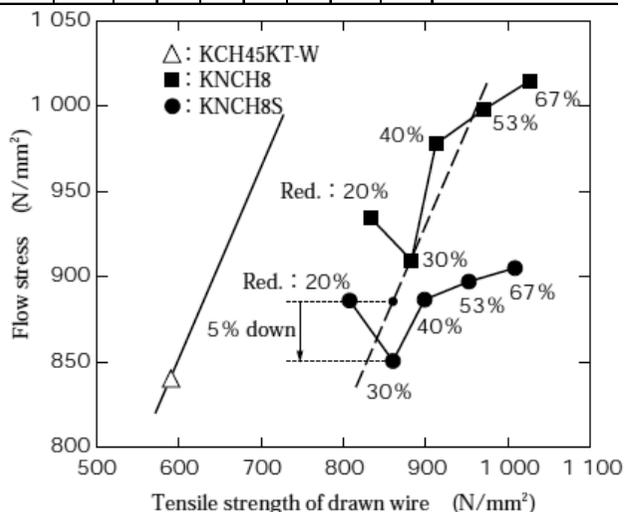


図 4 伸線材の引張強さと減面率の関係

をコントロールすることにより、線材の強度バラツキを抑えつつ所定の強度を確保している。

むすび

冷間鍛造に適した材料について、材料が本来保有する加工性を最大限に発揮させるために、素材の化学成分、伸線加工条件等の全てで適正化が必要であることを述べた。各種冷間鍛造部品での製造コスト低減が進む中で、冷間鍛造用鋼に要求される品質は益々厳しさを増すと予想される。

今後、更なる複雑形状部品への対応や、小型・軽量化に向けた高強度材での加工技術へのニーズも高まっていくと考えられ、これらに対応できる鋼材と冷間鍛造技術の充実を図って行く必要がある。

参考文献

- 1) 阿南ら：R&D神戸製鋼所技報、Vol. 48、No. 1 (1998)、p 39
- 2) 千葉ら：R&D神戸製鋼所技報、Vol. 52、No. 3 (2002)、p 66
- 3) 百崎ら：R&D神戸製鋼所技報、Vol. 50、No. 1 (2000)、p 45
- 4) 鹿磯ら：R&D神戸製鋼所技報、Vol. 52、No. 3 (2002)、p 52

(2) 熱間鍛造

株式会社
技術部 技術課 担当課長 加藤 睦

まえがき

鍛造の歴史は古く古代より産業の基盤を担ってきたが、中でも熱間型鍛造は今日においても鍛造品生産における主力の加工技術である。鍛造には汎用性のある工具または金型を用いて少しずつ形を造り上げる自由鍛造と、目的の形に型彫りされた金型を用いて、ハンマー鍛造、プレス鍛造等を行う型鍛造に大別できる。また、鍛造加工する温度域により常温で鍛造する冷間鍛造、600℃～900℃で鍛造する温間鍛造、そして再結晶温度以上、固相線温度以下の1100℃～1250℃で鍛造する熱間鍛造に分けられている。

ここでは、熱間型鍛造について、その特徴や事例について当社の事例を交えて述べる。

◇ 熱間鍛造の特徴

熱間鍛造では、材料を加熱することにより、材料の引張り強さや降伏強さを大幅に低下させることができ、伸び、絞りは大幅に向上する。すなわち変形抵抗が大幅に低下することになる。このことにより常温では加工しにくい材料を加工できたり、また大きな変形も与えることができるので、大型で複雑な形状の鍛造品を比較的容易に製造することができる。

しかし、加熱と鍛造後の冷却の際に表面の酸化や脱炭が生じ、また、高温下での加工による金型の熱膨張や摩耗、鍛造品の熱収縮等による寸法精

度のばらつきが生じるため、精度が必要な部位においては後加工が必須である（表1参照）。

◇ 熱間鍛造における動向

熱間鍛造の動向としては、鍛造設備は手動機から自動化、さらに自動化でも生産性を向上する為に高速自動化や様々な機能が付き、作業環境面からプレス鍛造で多く用いられる金型潤滑剤は黒鉛系から非黒鉛系（白色）へと移行が進んでいる。また、鍛造品の向け先として高い割合を占める自動車業界では昨今の温暖化対策としての技術革新、特に化石燃料を使用する従来の自動車からハイブリッド車や電気自動車、燃料電池自動車への移行が加速してきており、鍛造品の部品形態もそれに伴い変わりつつある。

◇ 材料切断

鍛造用材料の切断方法としては一般的にのこ切断とシャー切断の2種類であるが、高速自動熱間鍛造プレスにインライン化する等の場合は、のこ切断ではサイクルタイムが合わないためシャー切断が利用されることが多く、のこ切断の場合は多台設置することもある。

シャー切断では低炭素鋼のような硬度が低い材料を切断すると変形により精度の高い切断面が得られず、キズ、欠肉等の品質欠陥に繋がるため、そのような材料を切断する場合はのこ切断で行うことが望ましい。

表 1 鍛造方法の分類と特徴

分類	冷間鍛造	温間鍛造	熱間鍛造	
鍛造温度	常温	600～900℃	1100～1250℃	
精度	直径	±0.01～±0.1	±0.1～±0.3	±0.3～±0.7
	厚さ	±0.1～±0.3	±0.3～±0.5	±0.5～±1.0
	抜勾配	≒ 0	1°以下	3～7°
表面脱炭	0（焼鈍時の脱炭は残存）	0.1以下	0.3～0.5	

1. のこ切断

切断方法の中では古くから利用されているが、今日でも下記の特徴により採用されている。

<長所>

- 切断面はきれいな平行面が得られる。
- 外径の変形が無く型打ち時の製品品質が安定しやすい
- 切断長さのばらつきが少ない。
- のこ切断では短い端材でも切断できる。
- 材料の鋼種、硬度に関係なく切断できる。
- シャー切断に比べ設備費が安い。

<短所>

- 切断のC/Tが長い。
- 切粉が発生するので材料の歩留まりが低い。

切断速度の対応策として数本の材料をまとめて切断を行う方法、もしくは多台設置にて対応する方法もある。材料径により切断時間が決まるため、特に太い材料では不利と言える。

2. シャー切断

ビレットシャーによる切断は下記の特徴により熱間鍛造の工場では広く採用されている。

<長所>

- サイクルタイムが短く高速自動熱間鍛造プレスとライン化しやすい。
- 切粉が発生しない為歩留まりがよい。

<短所>

- 切断時のカエリが発生する可能性がある。
- 切断時に材料が変形する（のこ切断に比べ切断精度が低い、又は悪い）。
- のこ切断に比べ設備費が高い。

◇ 熱間型鍛造の基本的考え方

1. 変形抵抗

円柱状の材料を平板金型で圧縮する場合、工具と材料の接触面に摩擦を生じるので、材料を変形させるのに必要なエネルギーはその分だけ大きくなる。摩擦を0と考えたときのその材料の固有値を“変形応力”と言う。また、実際の圧縮圧力は摩擦係数などによって異なるので、前者と区別してこれを“変形抵抗”と言う。熱間鍛造を行う場合の変形抵抗は被加工材の材質によって異なることはもちろんであるが、同じ材質でも加工温度、歪み速度、結晶粒子の大きさ、加工履歴、熱処理

履歴などによっても異なる。

2. 加工温度による影響

図1に炭素鋼の高温引張り強さを示す。炭素鋼では300℃～400℃では引張り強さが最大になる。一方、伸び、衝撃値は低くなり、この温度域で鍛造を行うと割れが発生する可能性が高く鍛造する温度には適さない。更に500℃以上になると急激に引張り強度が下がり、伸びは高くなる。すなわち変形抵抗が減り、鍛造性が増し、金型の負荷が小さくなる。一般的に鍛造温度が1200℃であれば常温に比べて変形抵抗が約10分の1となる。

3. 加工速度による影響

図2はS35Cの変形抵抗とひずみ速度を表したものである。油圧プレスの一般的な速度 $0.1S^{-1}$ の変形応力は $60kgf/mm^2$ 、ハンマーの一般的な速度 $450S^{-1}$ の変形応力は $70kgf/mm^2$ となり、ハンマーの変形応力は油圧プレスの約1.2倍になる。また、加工速度を落とせば加工性は上がるが、加工に必要なエネルギーを得るのに装置が大きくなること

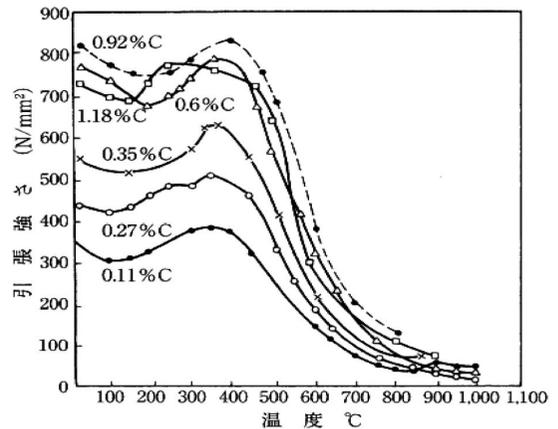


図 1 炭素鋼の高温引張り強さ

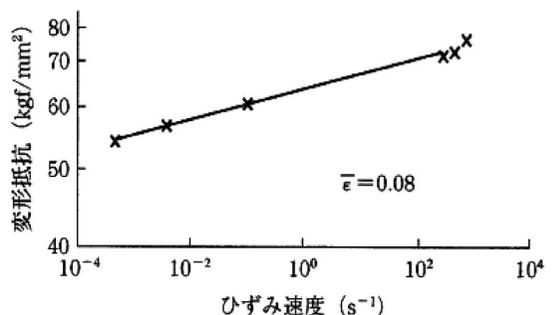


図 2 S35Cの変形抵抗とひずみ速度の関係



素材

押し成形（成形速度：遅）

据込み成形（成形速度：速）

写真 1 加工速度を変更した事例

があり、また金型に接する時間が増える為に金型寿命数が悪化することも考えられるので、その製品にあった加工速度を選択する必要がある。

実例として写真 1 に分割式クランクシャフトの鍛造工程を示す。このクランクシャフトの工程は軸押し工程では速度の遅いプレスを使用して変形抵抗を下げた加工を行い、次に頭の部分は広がり量が多く加工熱の発生が金型の摩耗に大きく影響するので金型とワークの接触時間を極力短くするため速度の速いプレスを使用して成形を行っている。

4. 金型設計の注意点

熱間鍛造型は前述の諸条件や様々な要因を考慮しながら設計を行う必要があるが、ここでは一般的注意点に加え非黒鉛系潤滑剤を使用した高速自動熱間鍛造プレス型の設計の注意点を以下に示す。

- ①鍛造時、金型に水平方向の力が作用しないよう上下金型の分割面を考慮したか。
- ②材料及び前工程品が次工程にて安定した位置決めができるか。
- ③キズ、欠肉の原因となる小さな角Rや隅Rになっていないか。
- ④鍛造後確実に金型から製品を取り出せるか。
(安定した上下ロックアウト機構)
- ⑤穴抜き及びばり抜きの変形を考慮したか。
- ⑥トランスファーフィンガーにてグリップする面があるか。
- ⑦トランスファーフィンガーと金型及びホルダーとの干渉がないか。
- ⑧金型の冷却方法及び鍛造時の潤滑剤及びガスが抜ける構造か。

◇ 金型潤滑

型潤滑は鍛造加工において不可欠であり、従来より加工方法に適した様々な潤滑剤が使用されてきた。

熱間型鍛造においては油性又は水溶性の黒鉛系潤滑剤が多く使用されてきたが、1980年頃にカルボン酸系の白色潤滑剤が開発され、現在では多岐にわたる非黒鉛系（白色）の潤滑剤が開発されている。特に近年では環境面より黒鉛系から非黒鉛系に移行する動きも多く見られ、潤滑能力を発揮するための使用条件や周辺機器の整備が急務となっている。

1. 潤滑剤の目的と選定条件例

1) 潤滑剤の目的

潤滑剤は次の目的のために使用される。

- ①金型の温度上昇を防ぐこと。
- ②被加工材と金型の摩擦抵抗を減らすこと。
- ③型摩耗を抑制すること。
- ④材料の流動をよくして型の各部に材料を充満しやすくすること。
- ⑤型離れをよくし、作業を容易にすること。

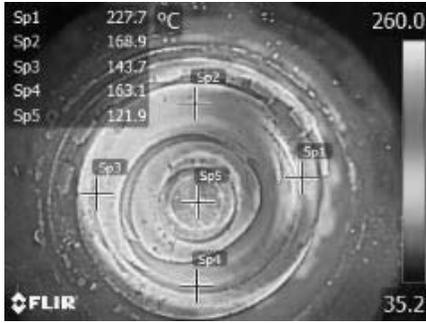
2) 潤滑剤の選定条件

潤滑剤には次の条件が必要である。

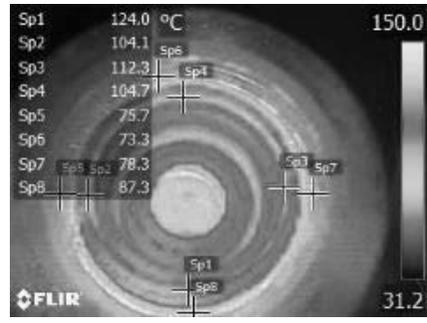
- ①高温で安定し、分解しないものであること。
- ②摩擦係数が小さいこと。
- ③離型性がよいこと。
- ④金型と材料との間で断熱効果があること。
- ⑤金型の冷却効果があること。
- ⑥金型表面への付着性がよいこと。
- ⑦作業環境を害さないこと。
- ⑧金型や周辺設備を腐食させないこと。
- ⑨経済的であること。

2. 高速自動熱間鍛造プレスにおける型潤滑の事例

自動プレスでは安定した型潤滑が必須であり、中でも重要な要件は十分な型冷却、金型表面への均一な付着、安定した離型性である。これらの条件が一つでも欠けてしまうと生産性や品質に大き



温度ムラがあり悪い状態



均一な冷却状態

図 3 金型冷却後の型表面温度

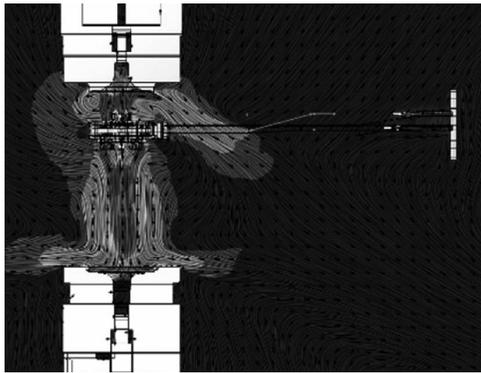


図 4 流体解析例

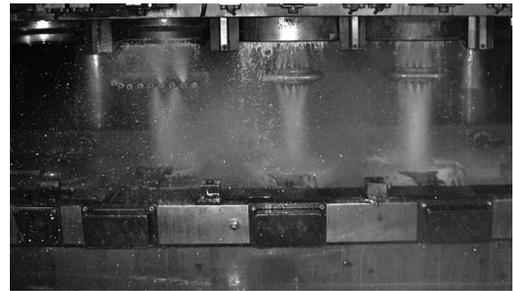


写真 2 潤滑剤吹付状況

むすび

く影響を及ぼすこととなる。更に高速自動プレスになるとサイクルタイムは3秒程度にまで早められ、型潤滑も1秒以内に行わなければならない。その短時間で前述の要件を満たすために様々な検証と試行錯誤を繰り返してハード、ソフト両面で絶えず改良、改善が行われている。

図3は鍛造中の金型における冷却直後の温度分布を示しており、潤滑剤吹付ノズルの流量ばらつきにより型温度にムラが生じた例である。

図4はノズルから潤滑剤を吹付けた状況を流体解析により検証した例であり、ノズルからの流量を均一化するために、ノズル内の流路設計や吹付位置の検討等を行う際にツールの一つとして活用されている。また写真2は実機での潤滑剤吹付け状況を示す。

今後の課題として型温度の常時監視と得られたデータのフィードバックによる吹付け流量の自動調整等の計測技術や制御技術、更にはIOT、AI等のデジタル技術の構築が急務であると考えている。

日本で生産されている鍛造品はその約70%が自動車産業用であり、自動車の生産量に伴い鍛造品の生産重量も増加の一途をたどってきた。その自動車がCASEと言われる100年に一度の大改革を迎えようとしている。冒頭にも述べたが特に従来の化石燃料車からハイブリッド車への移行、そして近い将来、電気自動車や燃料電池自動車主流になる時代が来ると考えられ、鍛造品においては高付加価値の鍛造品需要が予測される。この状況に対応する為には高付加価値すなわち高機能でありながら低コストな鍛造品を提供していかななければならない。その1つの対応策としてそれぞれ会社の歴史をまとめ特徴を整理し、長所短所を見つけることで自社の強み弱み再認識し、今後の展開をどう考え実行していくかを明確にすることが重要と考える。

参考文献

- 日本塑性加工学会 「わかりやすい鍛造加工」
- 日本塑性加工学会 「すばらしい鍛造の世界」
- 鍛造技術研究所 「やさしい鍛造技術」
- 日本鍛造協会 「鍛造技術講座」

(3) 冷間鍛造

名古屋工業大学 教授 きた むら かず ひこ 北村 憲彦

映画「もののけ姫」では、鉄を作るために森の木を伐り出す人間と森を守ろうとする「もののけ」との対峙が描かれています。この話の中で、砂鉄を溶かして鉄を作るシーンがあります。たたら吹きと呼ばれる工程ではリズムカルにフイゴが踏まれ、熔けた鉄が湯口から流れ出す様子も描かれています。熔けた鉄は冷えて固まると、粗い組織で細かい気泡状の空隙(巣)もあり、そのままでは脆く、実用的には使えません。これを鋏、鋤、刀、鉄砲で利用するには、鉄に少量の炭素や他の元素を添加し、鍛造で材料を強化する必要があります。

人気アニメ「鬼滅の刃」では刀鍛冶のシーンが出てきます。鉄を熱して、打って、鍛え、強い刀を鍛錬する作業で、鍛造が登場します。強い圧縮力で鋼が変形すると、内部の組織がつぶれ、再び加熱すると細かい結晶に変化します。繰り返しの鍛造作業を経て、鋼の中の粗い組織を細かくて強い組織に質を高めます。このように鍛造は、金属の形を変えるためだけでなく、金属自体を強化するために欠かせない工程でした。

鋼のように強い金属は熱を加えないと軟らかく変形しやすくなりませんので、加熱工程が必要です。赤い色になるまで鋼の温度を上げて、型で金属素材を打つ加工方法を熱間鍛造と言います。図1に金属の鍛造温度域を示します。熱間(ねっかん)

は鋼なら1000℃~1200℃くらいに加熱する温度区間を意味します。

これに対して、予め金属を軟らかく(焼きなまし)しておけば、金属は割れにくく楽に形を変えられるようになります。特に細かい結晶粒の球状化焼きなましは、鍛造加工性を高めるのに効果的です。このように熱間よりもずっと低い温度区間の鍛造を冷間鍛造といいます。大きな荷重の出せるプレス機械と丈夫な型材料が開発されてからは、この冷間鍛造によって、加熱しなくても金属を叩いて変形させることが可能になりました。その後、自動車部品の高精度化や高強度化に伴い、中間温度域で鍛造する温間鍛造も開発されました。予想以上に、実現が難しかった温間鍛造は、型材、加熱方法、潤滑剤など多くの技術的な課題を克服し、実用的に量産可能な技術になっています。

冷間鍛造では、熱間のような加熱による素材の表面に浮き上がる黒く薄い皮状の酸化膜(スケール)が出ません。製品の寸法精度も熱間よりけた違いに上げられます。しかもプレスで短時間に形状変化をさせ、材料歩留まり(材料の使用効率)も高いので、冷間鍛造は塑性加工の中でも各段に高い生産性を誇る加工方法です。

戦後もまもなく、焼け野原に家を建てるために大量の釘や必要となり、自動車が日本でも普及し始めると、精度と強度の必要な部品を安く、効率良く生産するために、冷間鍛造品が活用されました。初めのころは、外国からの技術導入でした。しかし日本でも工業化が進み、技術研究・開発が進みました。

その進歩に伴い、工法、プレス機械、ワーク材、工具材、潤滑剤、シミュレーション技術、検査技術などの周辺技術も進歩し、冷間鍛造の適用範囲は図2のように広がりました。最近では、板素材を鍛造加工する、板鍛造の開発が盛んです。自動車の軽量化のために、小型軽量かつ強度や剛性の高い部品に設計が見直され、それに必要な方法と

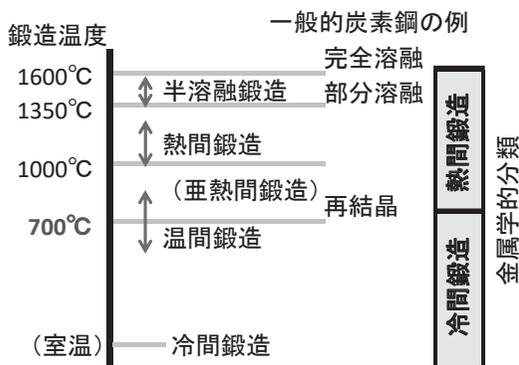


図 1 鋼の鍛造における素材加熱温度域



図 2 冷間鍛造品の例（単純品ボルト→複雑ギア、中空品）

して、板鍛造が注目されています。

この20年間は、冷間鍛造の生産量の増加は以前ほどではなく、むしろ質の転換が優勢です。例えば、冷間鍛造品のネットシェイプ化、複雑形状の一体化、工程削減、機能向上が目指されています。ここで、ネットシェイプ（Net shape）というのには、「使用時に必要な製品の正味の（net）寸法をもつ形状（shape）」を意味し、初期はニアネットシェイプ（Near-Net shape）として、冷間鍛造後の部分的な切削仕上げを許容していました。

しかし、工法や工程、型設計、プレス機械の剛性向上、材料管理、成形温度管理などのさまざまな工夫によって、次第に寸法精度、形状精度が上がりました。また、従来の切削製品を想定した部品から、冷間鍛造の特徴を理解した進んだ設計も徐々に取り入れられていることもネットシェイプ化を助長しています。

しかし冷間鍛造には注意や課題もあります。材料は冷間温度域で大きな変形を受けると硬くなります。これを加工硬化と言います。適当な加工硬化により材料は強くなりますが、同時に脆くもなります。冷間鍛造で大きな変形をさせたい場合には、工程の途中で材料を焼きなまし（中間焼きなまし）して、再び割れにくく、塑性変形しやすいように軟化させる必要もあります。しかし省エネルギーや工程時間の短縮など、環境問題と原価低減の課題を解決するために、このような中間焼きなまし工程を減らす努力が欠かせません。

また、鍛造用型材は高価で、製作には工数と技術が必要で、熱処理や表面コーティング処理、磨きなど手間を要します。そこで良好な製品を大量生産できれば、製品1個当たりの型に係る費用を減らすことができます。熱間鍛造では熱による型

の軟化による硬さ不足からくる摩耗や型の一部分の変形、あるいはヒートチェックと呼ばれる型表面の細かいひび割れなどのせいで、型寿命は数1000程度のこともあります。

一方、冷間鍛造では、素材の変形に必要な圧力が 1mm^2 当たりにお相撲さん一人分（体重200kg）を超えることもあります。少しの曲がり、荷重のバランス崩れが、破断事故を招きます。現在では、かなり精密に荷重の予測できるようなコンピュータを活用したシミュレーション技術が開発されました。この当初1980年代に比べると、コンピュータの計算速度がけた違いに向上し、荷重と材料変形の精度も格段にあがりました。これを使って、量産開始直後に型が破損する事故を防止することができるようになりました。

このシミュレーションを支えているのが、塑性力学です。塑性的な大変形する材料に生じる力や変形の程度には、体系的な原理や原則があることが解き明かされ、具体的な事例を参考に考え方が整備されてきました。この力学がなければ、冷間鍛造の型を設計することはできません。

冷間鍛造でうまく行けば、量産での型寿命は10万~100万くらいに延びます。これにより製品1個当たりの型単価を相当に下げることができます。これも冷間鍛造の魅力のひとつです。この場合の寿命は微小な摩耗の積み重ねの累積です。金型が摩擦で摩耗していき、そのうちに所定の製品寸法から外れるようになると型寿命です。そこで、型材の開発や型の表面を特に硬くする技術や摩擦を下げる潤滑技術が発達してきました。

冷間鍛造用の型材には冷間ダイス鋼（SKD11）や高速度工具鋼（SKH51）などを焼入れ・焼戻し熱処理した材料が用いられ、のちに粉末高速度工

具鋼、超硬工具も盛んに使われるようになりました。今では、工具への無理な荷重や不適切な熱処理、工具材内部に残っている脆い偏析組織などが原因で工具が破損することは減りました。しかし、材料全体の硬さだけを単純に上げると、少しの曲げでもパンチ工具が折れたり、小さい角丸み半径（アール）の工具端が欠けたり、歯形工具が欠けやすくなります。

そこで工具表面だけを工具材の内部はある程度の硬さにとどめて全体に折損し、その代わりに工具表面を工具材の数倍硬いセラミックスの一種のコーティングで物理的、化学的に覆う技術が開発されました。コーティングには金色の窒化チタン（TiN）、鼠色の炭化チタン（TiC）や炭化バナジウム（VC）、さらに添加元素を追加して特性を上げたものが広く利用されています。

工具表面コーティングは、硬いだけでなく、一般に金属材料の焼付きを防ぐ効果もあります。冷間鍛造では工具材とワーク材との間の接触圧力が高く、強く擦るので、工具材よりも軟質なワーク材の表面が微小に剥がれ、それがワークから工具へ移着することがあります。これが「焼付き」で、さらにひどく摩耗して気づくこともあって、「かじり」と言われることもあります。焼付きが生じると、製品に深い縦筋が多く残り、製品の表面品質が落ちます。また摩擦も大きくなって、成形に必要な荷重が増え、材料の流れが阻害され所定の形状に成形できなくなります。

ここでよく勘違いされるのは、コーティングによって摩擦が下がるということです。確かに、焼付が生じなければ、摩擦は大きくなりません。実はその時には、工具と材料との表面に塗られている潤滑剤が摩擦を下げるために働いているから摩擦を低く保てているのです。この潤滑膜が破れると、工具とワークが直接接触し、摩擦はかなり増加します。ただ現場では、しばらく生産を続けていても特に製品表面に擦れた傷が目立つわけでもないの、摩擦の増加に気づかないこともあります。そうなると、おそらく製品精度も公差ギリギリになっているかもしれません。プレス機械は、より大きな荷重を出そうとして電気をより消費しているかもしれません。

そこで潤滑剤は、工具とワークとの間の摩擦が

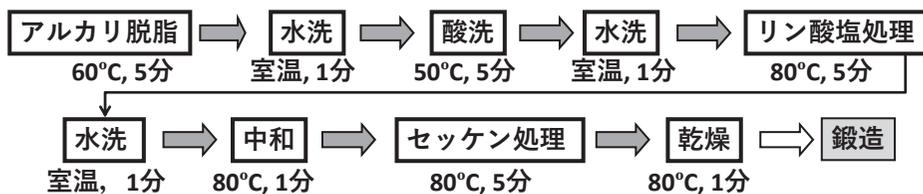
異常に高くないように保ち、安定した量産を実現させるために役立っています。第二次世界大戦までは、潤滑には油が用いられていました。この潤滑油には、工業的に安価で品質が安定な鉱物が使われ、潤滑特性を上げるために塩素、リン、硫黄などの化合物が添加されました。今でもパーツフォーマなどは、潤滑油主体です。ただし環境問題などから、塩素系添加剤は使用が減少、あるいは禁止されています。リン系添加剤もボルト製品などでは侵リンによる遅れ破壊という、問題も生じて使用を制限される場合があります。

これに対して、第二世界大戦の末期に、ドイツで鉄の葉きょうを大量生産する必要から、潤滑油に代わる固体潤滑剤が開発されました。これは素材（工程中間の場合には、ワーク）に化学的に潤滑処理し、その結果として素材が潤滑剤に覆われるようにします。工具や素材（ワーク）に潤滑油を塗る方法とは違って、**図3**に示すように、潤滑処理装置、処理時間、反応温度などの熱エネルギーが必要ですが、潤滑油に比べて抜群の潤滑性能を発揮し、鉄系の素材であれば、どんな冷間鍛造でも安定して潤滑するという画期的な発明で、戦後から今でも世界中の冷間鍛造で使われています。

しかし先に示した占有スペース、時間、エネルギーなどは、工場では減らしたい課題です。また、化学的な処理であるため、メッキと同様に、廃液処理に費用を要し、地球環境的に見ても避けたい工業技術となっていました。これを解決する画期的な潤滑剤が約20年前に日本で開発されました。これは化学的な反応を伴わない非化成固体潤滑剤です。素材に物理的に塗布するだけなので、処理スペースも小さく、オンライン生産にも対応でき、処理エネルギーも低いなどのメリットが生まれ、大いに潤滑の環境問題の解決に貢献しています。その後、各潤滑メーカーが競って、より使いやすくして性能の高いものが開発され、従来の化成処理潤滑の代替としてこの環境対応型の非化成潤滑剤が普及しつつあります。

冷間鍛造は**図4**にまとめたように、多くの周辺技術の進歩に支えられ、今日まで進歩してきました。考えてみれば、室温の鉄系素材に鉄系工具を押し付けて所定の形に変形させようとする無理から始まったのが冷間鍛造です。この技術開発には

化成潤滑処理（リン酸塩処理＋セッケン処理），合計25分



非化成潤滑処理，合計3分

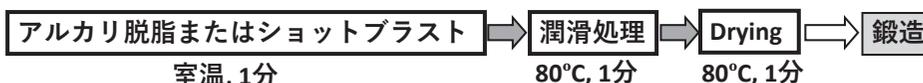


図 3 化成潤滑処理と非化成潤滑処理の例

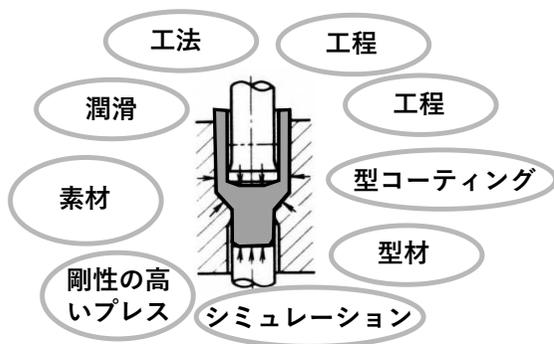


図 4 冷間鍛造を支える代表的な技術群

相当の時間と技術者、研究者が関わっています。一見すると無理そうなことを実現し、進歩させるために、結果的に周辺技術が格段に進歩し、関連の産業を活性化させたと言えないでしょうか。「原理的に不可能ではない、今はまだ不足する何かはある。しかし、もし冷間鍛造で製品を量産することができたら、世の中に大いに貢献するであろう。」という確信と希望を抱き続けられたからこそ、ここまで冷間鍛造技術が成長したのだと思います。最後に、若い皆さんには「夢を持って技術の世界で活躍してください」とエールを送ります。

(4) 熱冷複合鍛造

(株)メタルアート たけむらよしまさ
執行役員 **竹村好正**

まえがき

熱冷複合鍛造とは、熱間鍛造と冷間鍛造のそれぞれの長所をうまく組み合わせたコンビネーション鍛造である。熱間鍛造の起源は、紀元前2000年とも3000年とも言われ、農具や刀、鉄砲などと共に長い歴史の中で発展してきた。対照的に、冷間鍛造の歴史は浅く、第二次世界大戦時に鉄製薬莢の製法として開発され、戦争と言う時代の要求が生み出した工法といえる。日本では1960年代に実用化が始まった。

それぞれの工法には長所と短所があり、熱間鍛造は1200℃付近の高温に加熱し、変形抵抗が低い状態で鍛造するため、大型で複雑な物は得意とするが、精度的には劣る。逆に、冷間鍛造は常温かつ高応力下で鍛造するため、小型で単純な物しかできないが、高精度で高強度であるという特徴をもつ。1980年代になるとこれらの双方の長所を利用し、大型で複雑な変形は熱間鍛造で成形し、精度の確保と共に機械加工が省略できる部位は冷間鍛造で成形するという複合鍛造工法が開発された。これにより、従来は溶接や分割構造で造られていた部品の一体成形やスプラインなどの歯車製品に広く利用されるようになった。

近年、高品質・低コスト、更には形状の複雑化などのニーズが高まる中、自然・環境への配慮、エネルギーや資源の削減など、鍛造に関わる周囲の環境は著しく変化し、鍛造品のネットシェイプ化や加工工数の削減などがより一層求められている。複合鍛造はこれらのニーズに対応し、製品の付加価値を高める工法として注目されている。

本稿では、複合鍛造による歯車鍛造を中心に、その工法の特徴や鍛造品の加工について事例を交えながら紹介する。

◇ 複合鍛造のメリットと留意点

鍛造によるものづくりは、その特性を生かした

歩留まりの良さと大量生産によるコストメリットにあるが、更なる付加価値向上とコスト削減のためには、精度向上による仕上げ加工の削減が必要となる。複合鍛造は、歯車鍛造においては有効な手段であり、多くの歯車がこの方法で実用化されている。写真1に「複合鍛造品の例」を示す。

複合鍛造のメリットとして次のことが挙げられる。

- ①機械加工では、2部品や3部品に分割・接合されていた製品の一体化が図れる。
- ②機械加工における工具の逃げやヌスミ溝など、加工都合による形状を廃止・省略することが可能で、これにより小型化や軽量化及び強度アップが可能となる。
- ③ネットシェイプやニャネットシェイプによる後加工の軽減とコストダウンが図れる。
- ④ホブ盤や専用加工機等の設備投資が削減できる（設備の老朽化による更新時の工法置換などで活用）。



写真1 複合鍛造品の例

次に、複合鍛造における留意点を挙げる。

- ①複合鍛造による成形上の特性を見極め、成形可能な精度や形状を把握しておくことが必要である（シェービングや歯研歯車とは、完成精度にまだまだ差がある）。
- ②製品に合った複合鍛造工法の選択や工程設計が重要である（特に熱間鍛造品と冷間鍛造品間の形状・寸法設定）。
- ③多くの場合、熱間鍛造で歯形などの予備成形を行うため、熱間鍛造品は従来よりも高い寸法精度と管理が求められる（特に、寸法バラツキの抑制、鍛造・熱処理・潤滑処理などで生じる打痕やキズの管理）。
- ④鍛造品の加工基準（チャッキング）と機械加工方法の確立が重要となる。
- ⑤鍛造仕上がり部位の単体（無加工状態）での精度測定方法と測定技術が必要となる。

◇ 複合鍛造のフローと工法

「複合鍛造品のフロー」図1に示す。冷間鍛造は、あくまでも精度を必要とする部位の局部的な成形であり、熱間鍛造品の出来が最終製品の精度を左右することが多い。

熱間鍛造後の熱処理は、従来の焼きならしの他に、冷間鍛造において比較的大きな変形を行う場

合や難加工材である場合、球状化焼きなましを実施する。また、冷間鍛造前の機械加工は、製品公差が極めて厳しく熱間鍛造品のバラツキが冷間鍛造で吸収しきれない場合や、熱間鍛造品の抜け勾配が冷間鍛造に悪影響を及ぼす場合に行う。

潤滑処理は、冷間成形時の焼き付きを防止し、肉の流れを良くするための必須条件であり、一般的には、りん酸塩皮膜処理（ボンデ処理）を用いるが、最近は、廃液処理や環境の問題から、廃液の発生が無く処理が簡単でコスト的にも有利な一液潤滑処理が用いられることも多い。また、冷間鍛造の成形量が少なく、比較的軽い成形においては油潤滑を用いることも可能である。

複合鍛造で使用する冷間鍛造の工法には、据え込み成形、しごき成形、絞り成形、押出し成形に分類でき、熱間鍛造はその工法に合わせて寸法を決定する必要がある。

図2に「複合鍛造の各成形工法のイメージ」を示す。

1. 据え込み（コイニング）成形（図2-(1) 参照）

据え込み成形は、熱間鍛造品の歯形を冷間鍛造金型にすっぽり収まる程度の寸法に成形し、必要部分を据え込むことによって歯車の精度を得る。歯幅の短いスプラインやチャンファー付きスプ

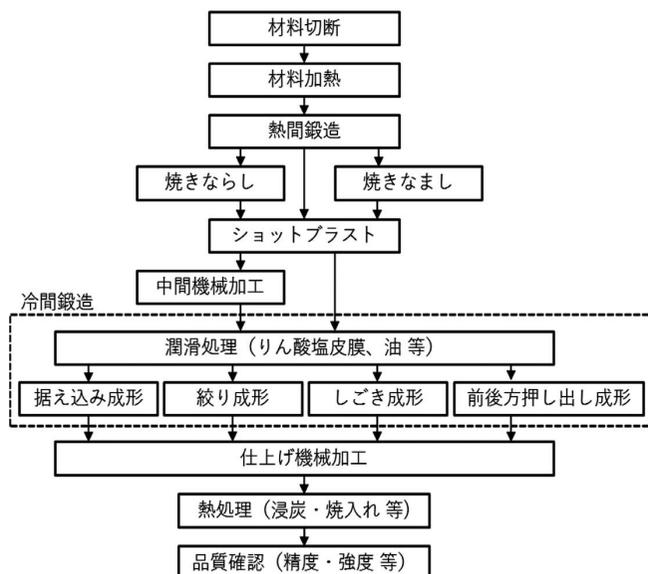


図 1 複合鍛造のフロー

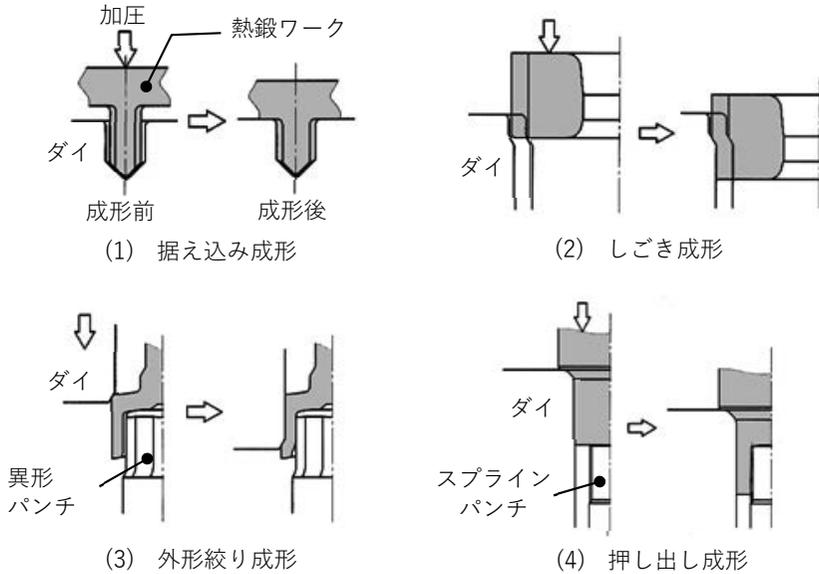


図 2 複合鍛造の各工法のイメージ

インの歯形成に多く用いられる。

2. しごき（アイオニング）成形（図2-(2) 参照）

しごき成形は、歯幅の長い歯車やモジュールの大きな歯車の成形に用いられ、冷間鍛造金型寸法より少し大きく成形した熱間鍛造品を、冷間鍛造金型でごく表面をしごきながら所定の寸法を得る。工法的には単純であるが、冷間金型の成形アプローチ形状（金型の入り口の形状）の良し悪しが、鍵を握る。

3. 外形絞り成形（図2-(3) 参照）

等速ジョイント外輪のような内側の異形状を仕上げる場合、製品寸法より少し大きく成形した熱間鍛造品を、冷間鍛造のパンチにかぶせ、外周をダイスで絞ることにより内側に肉を流動させ、パンチにワークを密着させることで精度を得る。

4. 押し出し成形（図2-(4) 参照）

大きな製品や複雑な製品に穴スプラインや軸スプラインがある場合、熱間鍛造で全体を成形し、その後冷間鍛造で前方押し出しや後方押し出しによりスプライン等を成形する。この時、それぞれの成形に相互関係は無く独立した成形となるが、熱間鍛造で成形した部位が冷間鍛造の金型で拘束できない場合が多く、意図しない変形を生じることがあるため注意が必要である。

◇ 複合鍛造品の機械加工と歯車精度

一般に、ホブ盤やギャシューパーなどの機械で歯切りを行う場合、取り付けを行う軸や穴を加工基準として歯車を加工するため、歯の部位をチャッキングすることは無い。

しかし、鍛造歯車の場合は先に歯車が仕上がり、その後取り付けの基準となる内径や軸を加工する。そのため、歯車が加工基準（チャッキング）となり、チャッキングが不安定であるため加工エラーを起こし易く、加工方法やチャッキング位置、加工順序などを事前に十分に検討しておく必要がある。

図3に鍛造歯車のチャッキング例を示す。基本的に、(a)のようにチャックを歯形に加工し、歯面を直接グリッする方法や (b)のように円形チャックにより、ギャの大径をグリッすることが望ましい。しかし、形状的にギャ部のグリッが不可能な場合は、基準となりそうな部位を歯車と同時に冷間鍛造し、同軸度や直角度を得ることで加工基準とすることも可能である。

製品の軸（穴）と歯車の同軸度や直角度は、製品の精度にとって非常に重要である。鍛造品自身の精度が重要なことは言うまでも無いが、加工エラー（チャッキングミス）が製品の精度を左右す

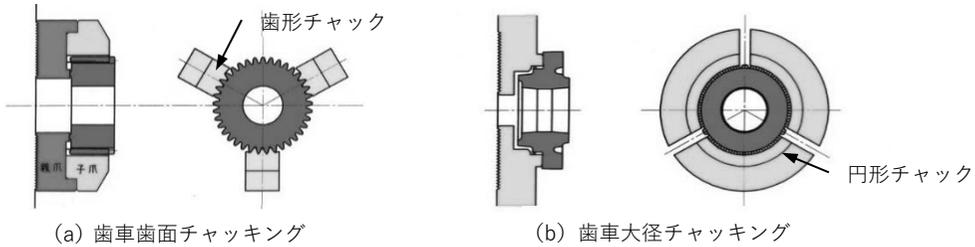


図 3 鍛造歯車のチャッキング例

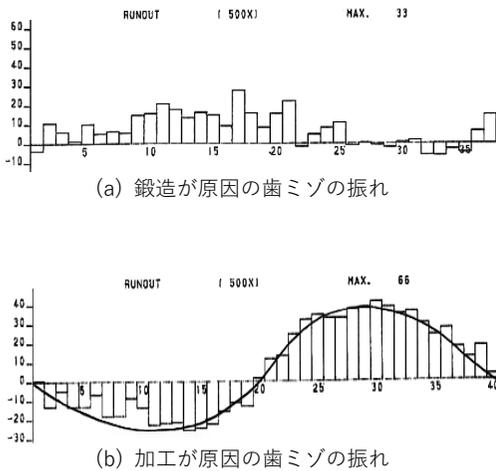


図 4 歯車の歯ミゾの振れデータ

ることも多くある。

鍛造が原因で歯車の精度不良が発生する場合は、金型精度や工程に問題があり、不良が連続的に発生するため比較的発見し易いが、加工が原因の場合は、切り屑の噛み込みやミスチャックがほとんどで、発生は単発的となり発見が難しい。そのため、事前に切り屑噛み込み対策や着座検知などの加工不具合対策を行うことが重要である。

歯車のチャッキング不良は、歯みぞの振れ及びピッチ誤差と歯すじ誤差に深刻な影響を与える。図4に歯みぞの振れの測定データを示す。(a)のようにデータに何ら整合性が無く、ばらつく場合は鍛造固有の誤差であるが、(b)のようにサインカーブを描く場合は、ほとんどの場合、チャックミスもしくは切り屑噛み込みによる芯ズレと判断できる。

製品が傾いてチャックされた場合は、歯すじ誤差に大きな差を生じる。歯すじの左右歯面のデー

タが全周に渡りほぼ同じ傾きの場合、鍛造が原因であるが、データに上向きと下向きが存在し、かつ左右歯面の数値が180度で対称になる場合は、製品が傾いてチャックされた場合に発生することが多く、加工に原因があると考えられる。

以上のように、測定結果から不具合の原因をある程度想定できるが、不具合の原因が鍛造によるものなのか、加工によるものなのかの判断がつかない場合もまた多く存在する。従って、鍛造品を無加工のまま加工基準ベースで測定する方法を確立しておかなければならない。

むすび

精度の良い鍛造品を効率良く安く造ることが重要であるが、個々の製品に合った工法と工程を見極め、顧客ニーズに合った付加価値の高い鍛造品を創出していかなければならない。

その工法のひとつに複合鍛造があるが、複合鍛造というと、冷間鍛造による精度に目が向きがちである。しかし、多くは熱間鍛造の良し悪しが成功のカギを握っていると言っても過言ではない。

また、鍛造品の状態で精度測定が出来なければ、鍛造品自身の良し悪しが分からない。更に、浸炭など熱処理による歪みも考慮する必要がある。従って、鍛造や加工だけに留まらず、熱処理や測定技術も含め総合的な技術として確立する必要がある。

ここでは、主に複合鍛造における歯車鍛造を紹介したが、機械加工の歯車と比較して、強度的には勝っていても精度的にはまだまだかなわず、鍛造歯車の利用はスプラインギヤやスプロケットに止まっている。今後、更なる精度向上のための技術開発が必要である。

2. 板材の成形方法

(1) 深絞り加工

日本製鉄(株) 技術開発本部 鉄鋼研究所 なか た まさ ひろ
材料ソリューション研究部 上席主幹研究員 **中 田 匡 浩**

まえがき

板状の金属素材を所望する形状や寸法に加工する方法が板材成形である。この板材成形には、広義にはロールフォーミング、スピニング加工なども含まれるが、ここではプレス機械と金型を用いて加工するプレス成形を取り扱う。プレス成形は、鍛造や圧延などの塑性加工技術とは異なり、“薄板材料に面内の引張り主体（あるいは面内の圧縮との組み合わせ）の力を作用させ、金型のパンチ（凸型）と類似の形状を創成する”、“金型により様々な形状が実現できる”点が特徴となる。また、変形が面内引張り主体であるため寸法変化はあまり大きくない。板材のプレス成形で加工される工業製品の中で代表的なものに自動車の車体部品がある。例えば、車体部品はパネル部材（外板、内板）、構造部材、足回り部材等で構成されるが、いずれの部品も主にプレス成形主体で量産されており、これら部品の成形性を理解するためには、基本的な

プレス成形の知識が必要である。プレス成形を理解する上では、材料側から見た基本的な成形様式と、加工側から見たプレス設備、金型等の知識が重要となる。前者の視点において、板材のプレス成形は、深絞り成形、張出成形、伸びフランジ成形、曲げの4つの基本成形様式に分類される¹⁾。図1に、これら基本様式と材料変形の特徴を示す。実際の部品はその形状の複雑さゆえ、複合的な成形となり単純ではないが、その加工性は基本成形様式の組み合わせで議論できる。本編では、これらの4様式の内、深絞り成形について解説する。

◇ 深絞り成形の力学

深絞り成形は、円筒容器の成形（円筒絞り）の力学的解釈を通じてその成形特性を理解することが出来る。円筒絞りの構成要素は、円形素板（ブランク）、パンチ、ダイ、しわ押さえであり、材料はブランクから深絞り部品に変化する。その変形状態を図2に示す。成形過程で、フランジ部にお

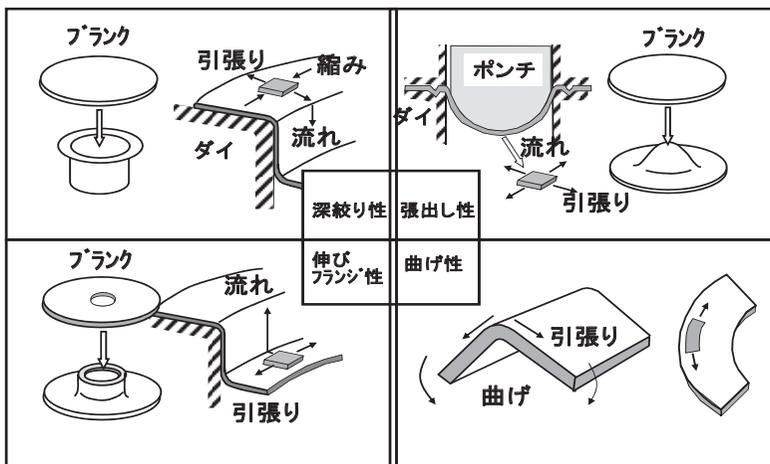


図 1 板成形の4つの基本成形様式

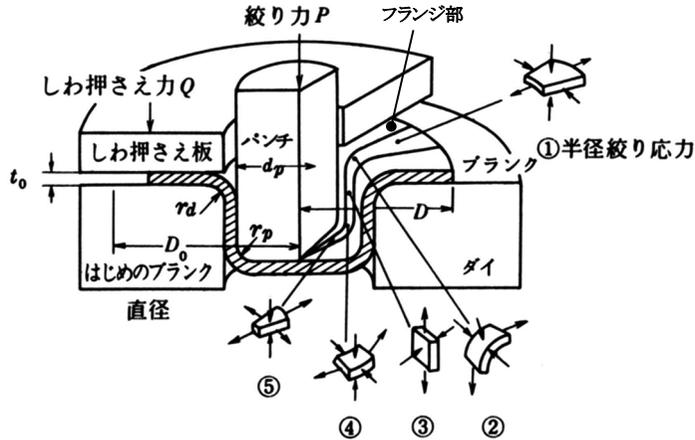


図 2 円筒絞りにおける変形状態

けるプランクの外周側の材料は周方向の圧縮を受け縮み変形するが、この変形により材料は加工硬化し、材料内には周方向の圧縮応力が発生する。この圧縮応力に抗して深絞りを進めるためには、流入方向（プランク基準での半径方向）に引張りを加える必要があり、その結果、フランジ部の材料の変形様式は“伸び-縮み”（図2①）となる。次に、フランジ部からダイス穴内に流入し側壁を構成する材料には、深絞りの進行に必要な引張力が加わるが、側壁部に対応するパンチの直径は一定であるので周方向には伸び・縮みは起きない。そのため、側壁部の材料の変形様式は“幅縮みのない1方向伸び（平面歪）”（図2③）となる。また、側壁部に作用するプランク半径方向の引張力は、パンチ肩部を經由して部品底面部の材料に作用する。その結果、底面部の材料には“引張り-引張り”の応力が加わり、変形様式は“伸び-伸び”（図2⑤）となる。このように深絞り部品の底面・側壁・フランジの変形様式は「伸び-伸び」・「平面歪」・「伸び-縮み」となる。このような薄板の深絞り性については、日本でも過去数十年間に実験的・理論的な研究が多数行われ、それらにより得られた結果は一般的に認知されて実際の成形現場や材料開発に応用されている。深絞り性の評価においては図3に示すように、パンチ荷重 P と破断荷重 P_{cr} を比較して論ずることが可能である。パンチ荷重 P はフランジ部の圧縮変形抵抗（図2①）、ダイスR部の曲げ・曲げ戻し抵抗（図2①→②→③の変形）、ダイスR部とフランジ部の摩擦力の合計

パンチ荷重 P =フランジ絞り変形+R部曲げ・曲げ戻し変形+摩擦力

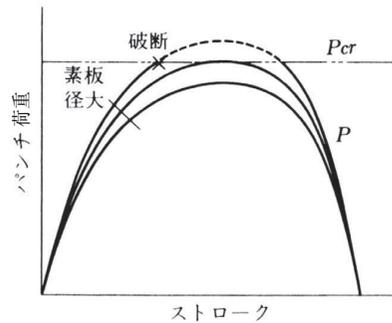


図 3 円筒絞り成形性とパンチ荷重

となる。パンチストロークとパンチ荷重の関係では最大絞り荷重 P_{max} が存在し、 P_{max} と破断荷重 P_{cr} とを比較し、両者が一致した点の限界絞り比 LDR （絞り比：円形素板の径とパンチ径の比）を評価値としている。そのうち福田の研究²⁾においては、先ずR. Hillの塑性異方性理論式³⁾とH. W. Swiftの塑性不安定条件⁴⁾を用いて側壁部の破断荷重 P_{cr} を求める。ついで、フランジ部の変形状態は半径方向に一樣でないことから、これをフランジの幾何学的寸法から得られる絞り比を用いて半径方向に一樣である実用値を求め、これに前記の塑性異方性理論式を適用して最大絞り荷重 P_{max} を計算している。得られた P_{cr} と P_{max} との比を限界絞り比の向上係数（相当絞り荷重）と呼び、これと r 値および n 値との関係を求めている。ここで言う r 値とは、板材の変形の板厚異方性を示す指標であり、値が大きいほど引張力に対して板幅が縮

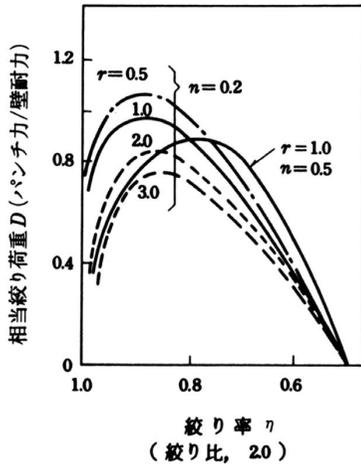


図 4 深絞り性に及ぼすr値、n値の影響

みやすい(板厚が増えやすい)変形特性を示す。一方、n値は加工硬化指数である。図4に相当絞り荷重に及ぼすr値、n値の影響を示す。深絞り性は材料のr値と相関が高いことが知られており、数多くの実験において証明されている。また、パンチ荷重に摩擦力が含まれることからわかるように、プレス加工油の塗布や金型へのコーティング処理など摩擦力を低減させると成形性が改善する。

本節では、円筒絞りという基本形状を題材に深絞り成形を解説したが、ほかに角筒絞り、異形絞り、円錐台絞り、角錐台絞り、球頭絞り、ハット絞りなどがあり、工業製品ではこれらを組み合わせたより複雑なプレス成形が存在する。しかしながら、成形性はいずれの場合もパンチ肩部の破断荷重と、フランジ部の変形抵抗および摩擦抵抗によって支配されると考えて良い。

◇ 深絞り用鋼板

自動車部品・容器類をはじめ建築用部材、電機器具筐体など産業界で広範囲に使用されている薄鋼板を対象に説明する。薄鋼板は、その素材が適用される産業分野での必要機能(加工性、溶接性、耐食性、意匠性など)を認識しながら材料開発が進められてきた。特に、薄鋼板の開発は自動車産業と密接に関わってきており、成形時の割れやしわ発生を抑制し、意匠性の要求を満足する形状に成形可能とすることを目的に、プレス成形性、特に深絞り性を重視した開発が進められてきた。成

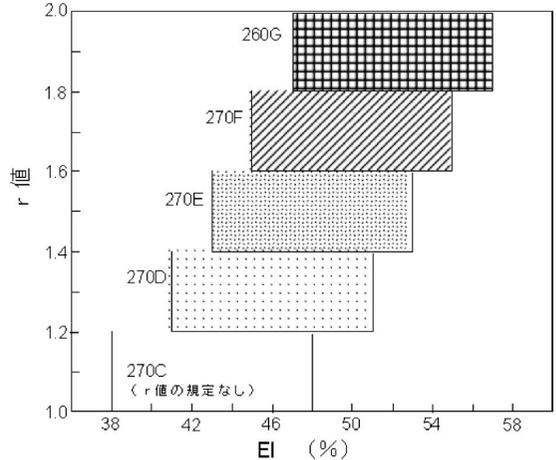


図 5 軟鋼板の規格(全伸び-r値)

形試験から得られた知見に基づき化学成分および製造条件を制御することで鋼板の金属組織の結晶方位を適正に制御し、深絞り性向上を狙う技術開発が進められ、連続焼鈍での深絞り性に優れた鋼板開発へと繋がっている。本節では、薄鋼板に要求される性能と材料特性の関係について、実用化されている材料を対象に紹介する。

軟鋼板には冷延鋼板と熱延鋼板があるが、いずれも成形性がグレードが決められている。熱延鋼板は全伸びの量で鋼種が分類され、冷延鋼板では全伸びとr値で鋼種が規定されている。図5に冷延軟鋼板の規格を示す。複雑形状の難成形部品のプレス成形では、主に深絞り成形が適用されるため、伸びとともに深絞り成形性に優れた鋼板が求められる。その代表的な材料が侵入型固溶元素(Interstitial element)である炭素(C)や窒素(N)を極限まで低減したIF(Interstitial Free)鋼板である。製鋼での真空脱ガス技術により炭素量(C量)を50ppm以下に低減した極低炭素鋼(Ultra Low Carbon Steel)にチタン(Ti)やニオブ(Nb)などの炭窒化物形成元素を単独または複合添加して、鋼中のCやNを完全に析出物として固定する。これにより、冷間圧延後の焼鈍段階の再結晶過程において、深絞り成形性を向上させる結晶方位を優先的に形成する。そのためr値が高く深絞り成形性に優れる。現在では、C量が20ppm以下で飛躍的に優れた成形性を有するIF系冷延・めっき鋼板が、鉄鋼各社で大量に生産されている。

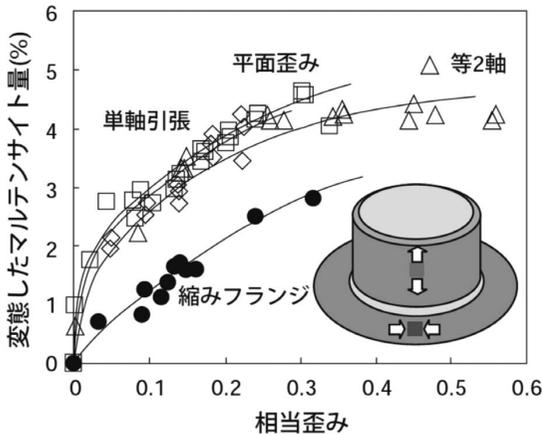


図 6 TRIP鋼の変態量に及ぼす変形様式依存性

また、深絞り用鋼板ではないが、TRIP（変態誘起塑性：Transformation Induced Plasticity）効果を活用したTRIP型高強度鋼板（ハイテン）はn値が高いため、張出し性に優れることは知られているが、深絞り性にも優れる。そのメカニズムは、残留オーステナイトが加工に誘起されてマルテンサイトに変態する際に変形様式依存性を有するからである⁵⁾。図6に示すようにフランジでの縮み変形部では残留オーステナイトがマルテンサイトに変態しにくく、変形抵抗が低く保たれる一方、引張変形部ではTRIP効果によるマルテンサイト変態が促進され、材料の硬化が著しい。すなわち、フランジ部変形抵抗は低く、パンチ肩から縦壁の破断耐力は高まるため、深絞り変形に適した応力状態になるのが、その理由である。

◇ 熱を利用する深絞り加工

熱を利用するプレス成形に、ステンレス薄鋼板の加工に用いられる温間成形、ならびに近年自動車車体の軽量化と衝突安全性への要求の高まりを背景に普及が進んでいるホットスタンプという技術がある。温間成形は、ダイとしわ押さえをヒーターで加熱し、パンチを冷媒で冷却して深絞りを行う技術である。金属材料は高温で軟化低下する

ためフランジの変形抵抗が低下し、逆にパンチは相対的に強くなるため、深絞り性が向上する。ステンレス薄鋼板では絞り深さを大きく向上させた事例が紹介されている。一方、ホットスタンプとは、焼入れ性を持たせた鋼板を加熱炉などで一定温度（オーステナイト変態温度）以上に加熱し、材料強度が低い状態で成形し、成形と同時に温度管理された金型内で急冷することで高い強度の製品を得る方法である。この方法はホットプレス、ダイクエンチとも呼ばれる。ホットスタンプの利点として、焼き入れ後の成形品には1,500MPa以上の超高強度が得られることと、形状凍結性が良いことが挙げられる。しかしながら、加工中にフランジ部の材料が金型と接触して冷却されフランジ変形抵抗が増加してしまうため、深絞り性はあまり良好ではない。そのため、潤滑の活用や金型形状の最適化、そして成形速度の向上など、成形性を改善する技術開発が進められている⁶⁾。

むすび

深絞りを代表とする板材成形は、新たに見出された加工技術の蓄積やシミュレーションによる成形性予測技術の進展、そして金属素材の高機能化に伴い、現在も進化を続けており、従来では困難な高強度と複雑な造形を両立する事例も生まれてきている。自動車部品においては、より材料強度の高い板材を適用することで軽量化と衝突安全性の両立に貢献できる。深絞り成形の高度化はそれに貢献する技術であり、更なる技術の進展が期待される。

参考文献

- 1) 吉田清太：「薄板のプレス成形の成形域区分と体系化に関する研究」、学位論文、(1959)
- 2) 福田実：塑性と加工、5-36 (1964)、3-15
- 3) Hill, R.: J. Mech. Phys. Solids, 1 (1952)、19
- 4) Swift, H. W.: J. Mech. Phys. Solids, 1 (1952)、1
- 5) 高橋学：新日鉄技報、378 (2003)、2
- 6) 楠見和久ら：塑性と加工、60-699 (2019)、102

(2) 穴広げ加工

愛知製鋼(株) 品質保証部 宇田川 毅 志
お客様品質・技術室 主任職

まえがき

昨今の地球環境問題からCO₂排出量の削減は重要な課題として挙げられており、自動車に関して言えば、燃費向上による対応が求められている。鉄鋼材料は自動車部品に多く用いられており、燃費向上のため、その高強度化による部品の小型化・軽量化は重要である。その中で、鋼板について言えば、軽量化の他に、衝撃安全性確保の観点からも部材の高強度化が求められており、高張力鋼板への置換が求められている。

鋼板のプレス成形方法としては、大きく、深絞り成形、張り出し成形、伸びフランジ成形、曲げの4つの基本成形に分別される¹⁾。高張力鋼板は軟鋼板と比較して、プレス成形性が低くなるため、プレス成形性を理解することは非常に重要である。4つの基本成形のうち、伸びフランジ成形について言えば、代表的な加工としてパーリング加工(穴広げ加工)が知られている。パーリング加工とは板の穴あけの加工をした後(この穴を下穴という)、下穴に大きなパンチ押し込むことで、下穴を広げながら、穴の縁を立ち上げるような加工である。このパーリング加工の成形性を評価する方法として、穴広げ成形試験(穴広げ性評価)がある。この穴広げ性の評価指標である穴広げ率への材料的な影響因子としては①素材の成分、②ミクロ組織、③介在物、④打ち抜き端面性状(粗さ、マイ

クロクラック等)が指摘されている²⁾。本稿ではこのうち、②と④について解説する。

◇ 穴広げ成形試験と評価指標

図1に穴広げ成形試験の概略図を示す。図1に示すように、穴広げ成形試験は試験片に穴を打ち抜いた後、その穴に穴広げ用の円錐状のパンチを押し込み、初期打ち抜き穴径を拡大する試験である。パンチを押し込んでいくと、初期打ち抜き穴径が広がりながら、伸びフランジ部が成形され、その部位にて破断が生じる。図1に示すように破断が生じたときの穴径をDとし、初期穴径をD₀としたとき、本試験の評価指標である穴広げ率は式(1)にて表される。

$$\text{穴広げ率} = (D - D_0) / D_0 \times 100 \quad \dots \text{式(1)}$$

なお、本試験方法はJIS Z 2256に制定されている試験であり、その詳細についてはJISを参照いただきたい。

◇ 穴広げ率に対する材料的な影響因子

1. ミクロ組織

鋼板を高硬度化(高強度化)していくと、冒頭に述べたように成形性が悪化する。これを抑制するためにはミクロ組織を制御することが重要である。鋼板のプレス成形を考える場合、今回解説して

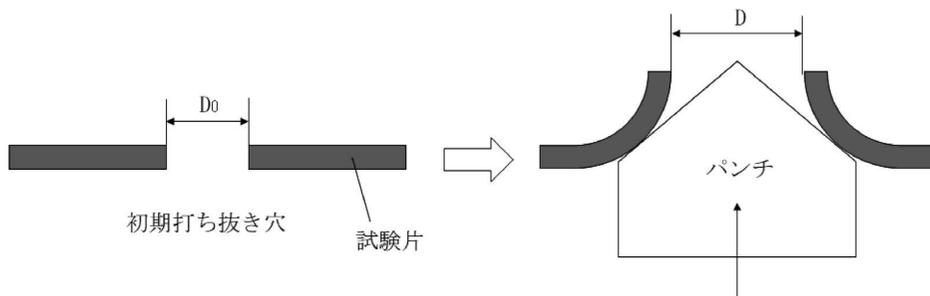


図 1 穴広げ成形試験概略図

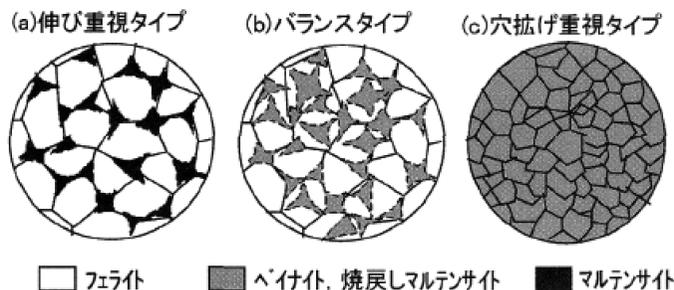


図 2 各タイプの組織イメージ 引用：参考文献3)

いる穴広げ率に関して言うと、局部延性の確保が重要となってくる。穴広げ率をよくすることを考えた場合、マイクロ組織が単一ではないと、組織の界面にて局所的にひずみが集中し、ボイドの発生や、マイクロクラックの進展を助長させてしまうため、組織を単一化、均一化することが非常に重要である。このために、材料成分で考えた場合には炭素を下げることで粗大な炭化物の生成を抑制する。また、熱処理で言うと、高温で処理することにより、不均一組織を抑制するなどの対策がとられている。

ただし、高強度鋼板にて、穴広げ性を確保することを考えて、組織を単一化、均一化すると全伸びが小さくなってしまうため、張り出し成形性が悪化してしまうので、注意が必要である。

なお、穴広げ性と張り出し成形性を両立するために、全伸びを確保しつつ、図2に示すように、焼戻しマルテンサイトやベイナイトを活用して、軟質相と硬質相の硬さ差を抑制することが重要であることが報告されている³⁾。

2. 打ち抜き端面性状

穴広げ成形試験は図1に示すように初期打ち抜き穴が形成されている。図3に打ち抜き穴加工の概略図を示す。打ち抜き穴加工は試験片にパンチで穴をあける加工である。本工法ではせん断応力による穴あけとなるが、切り口面においてはだれ、せん断面、破断面、かえりから形成されている。破断面の粗さは粗く、かえりが発生すると、応力集中源になるため、穴広げ加工時に割れが発生しやすくなる。そのため、打ち抜き穴成形工程にて、切り口面の性状を制御することは穴広げ率を向上させるには非常に重要である。

打ち抜き穴部の切り口面の損傷を低減する方法

として、削り抜きやコイニングなどをするという、穴抜き部の後工程が比較的有効であることは広く知られているが⁴⁾、穴抜き手法（条件）そのものの改善に主眼において、「パンチやダイのクリアランス調整」や工具形状を工夫することによって、後工程を付与せずに、1工程の穴抜きで損傷低減に取り組みされている事例が紹介されている⁵⁾。

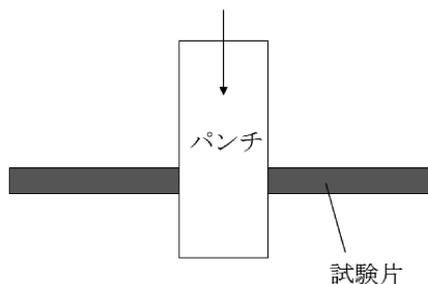


図 3 打ち抜き穴加工概略図

◇ おわりに

本稿では、プレス成形のうち、伸びフランジ成形（穴広げ率）について、簡単に解説した。鋼板の高強度化にともない、加工技術やシミュレーション技術は日々発展して言っており、自動車用途に関して言えば、より高強度の鋼板を加工することで、自動車の軽量化、衝突安全性の確保に貢献できる、非常に重要な加工技術と言える。

参考文献

- 1) 吉田清太、理化学研究所報告、35 (1959) No. 3、199
- 2) 高橋ら、鉄と鋼、Vol. 8 (2012) No. 7
- 3) 野中ら、まてりあ、第46巻第2号 (2007)
- 4) 例えば、中川威雄ら、塑性と加工、10-104 (1969)、P. 665-671
- 5) 松野崇、素形材、Vol. 53 (2012) No. 10

Ⅲ. 特殊塑性加工方法

1. インクリメンタルフォーミング

日産自動車(株) 車両生産技術開発本部 おやまだ けい 吾
生産技術研究開発センター 要素技術開発課 課長代理 小山田 圭 吾

まえがき

金属薄板で作られる製品は、その多くがプレス成形によって作られる。プレス成形はプレス機と金型を用いることで、1枚あたり数秒程度で形状が出来上がる。金型はそれなりに費用がかかるが、大量に生産するほど、成形品1枚に占めるあたり金型費用は低減し、1枚当たりの部品費は安くなる。しかし、少量の部品を試作あるいは生産する場合には、成形品1枚に占める金型費用の割合が大きくなる。仮に最終製品の価格が同じである場合、少量生産では価格に占める金型費の割合が大きくなってしまふ。

また、これまでは同一製品を大量に生産していた産業でも、顧客要望によりマスカスタマイゼーションなど多品種少量生産が求められつつある。そのため、少量生産を安く実現するための工法が求められている。その一つとして、金型を使用しない成形工法であるインクリメンタルフォーミングの活用が挙げられる。

本稿では、インクリメンタルフォーミングの概要とその特徴、および弊社での開発事例(対向式ダイレス成形)について紹介する。

◇ インクリメンタルフォーミングの成形方式

インクリメンタルフォーミングは、金型を使わずに部品形状を成形する工法で、図1のように汎用の棒状工具を用いて、周囲を固定した板材料を徐々に変形させ、目的とする形状へ成形していく技術である。インクリメンタルフォーミングの研究は1990年代から本格的に行われており、技術としては比較的新しいものといえる^{1), 2)}。

インクリメンタルフォーミングの成形方式は、図2に示すように、成形時に被加工材に接触する

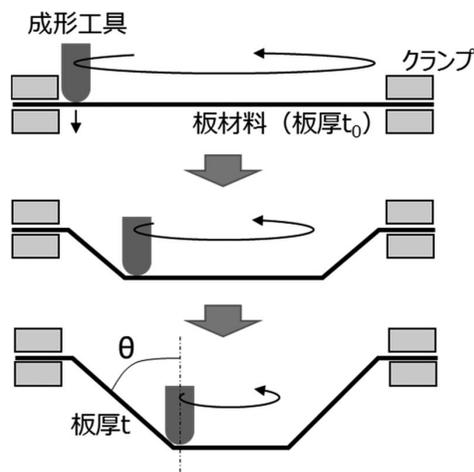


図 1 インクリメンタルフォーミング

工具の数と、受け治具としての下型の有無で整理すると、大きく3方式に分類できる。工具1本を用いて板材料を1方向から成形する方式(ここでは1方向成形と呼ぶ)、工具1本と受け治具として下型を用いて、1方向から工具を板材料に押し込み、反対側の下型へ押し当てながら成形する方式(1方向・下型あり成形)、工具2本で板材料を挟み込みながら、2つの工具で目的の形状に成形する方式(対向式成形)である。以下に、3の方式それぞれについて特徴を説明する。

1. 1方向成形

インクリメンタルフォーミングの最も基本的な方式である。機械加工の等高線加工のように、1本の工具を移動させて、部品形状を成形していく。そのため3軸加工機能を持つ工作機械に工具を取り付けることで、工具を回転させずに、加工経路を移動させるプログラムを実行することで、本方式の実験を行うことができる^{3)~5)}。

シンプルな構造であることが本方式の利点であ

	工具1本	工具2本
受け治具なし	<p>1方向成形</p>	<p>対向式成形</p>
受け治具あり	<p>1方向下型あり成形</p>	

図 2 インクリメンタルフォーミングの成形方式

る。しかしその反面、1方向へ進む加工であるため、工具の進行方向にしか成形力を付与できない。そのため、工具進行方向に対し凸となる形状（下凸形状）を成形することはできるが、進行方向に対し反対方向に凸となる形状（上凸形状）の成形はできず、成形できる形状が限定される。成形形状の寸法品質は、加工用設備の工具軌跡精度に依存する。

2. 1方向・下型あり成形

板材料に対し、工具と反対側に受け治具である下型が配置された状態で、1方向成形と同様に、工具を移動させながら成形する。成形の際、板材料は工具と下型に挟まれることになり、目的の形状を作りやすい。1方向成形では基本的に下凸方向にしか形状を作ることができないのに対し、本方式では、上凸形状も成形することができる。また、工具と下型とで板材料に対し圧縮力を加えることもでき、1方向成形よりも形状精度を出しやすい。そのため、現在、最も多く採用されている方式と言える。

本方式は、下型の種類によりさらに2つの方式に分かれる。ひとつは、凹形状（下凸形状）の下型を用いて、形状を等高線状に外側から中心方向へ向かって成形していく方式である。これは1方向成形同様に、3軸工作機械相当の装置に下型を設置し、その上に板材料を固定することで実験可能である。もう一つは、凸形状（上凸形状）の下

型を設置し、等高線状に中心から外側へ向かって成形していく方式である。この場合、工具のZ送りと共に板材料を送り量分Z方向に移動させる機構が必要となる。この方式については、専用装置が開発され、実用化されている^{6), 7)}。

3. 対向式成形

1方向下型あり成形の下型の代わりに工具を配置し、板材料を両側から工具で挟み込むようにして、形状を成形する方式である。1方の工具が板材料を押し込み成形する役割を持ち（成形工具）、もう1方の工具が板材料を反対側から支えることで（支持工具）、成形工具の成形力が板材料に伝わる。両工具の位置関係を制御しながら加工経路に沿って移動させることで、形状が成形される。1方向下型あり成形の下型をなくすことができ、かつ、上凸形状も成形できるため、メリットとしては大きい。しかし2工具間の位置制御が必要であり、他の2方式に比べ設備の構造と制御の難易度は高く、他の2方式と比べ事例は少ない。3軸スライダを2組装着する専用設備や、ロボット2台による設備で研究開発されている例がある^{8)~10)}。

◇ インクリメンタルフォーミングの成形プロセスとその特徴

インクリメンタルフォーミングの基本的な成形プロセスについて述べる。まず、対象とする部品データから加工形状を作成する。データの無い部

品は3Dスキャンにより作成することもできる。次に、加工形状をもとに工具の移動経路（加工プログラム）を生成する。ここまではデジタル上（CAD、CAM等）で行われる。次に、成形工具、板材料をインクリメンタルフォーミング設備に固定し、加工プログラムを用いて加工を開始する。加工終了後、必要に応じ不要部分をレーザー等で切断し、成形品が完成する。例えば、小型の単純形状部品を1方向成形で成形する場合、加工形状作成から加工終了までのリードタイムは、早ければ数時間である。これは金型を製作する必要のあるプレス成形に比べると圧倒的に早い。また、スプリングバック等により、1回の成形で目的の形状寸法に至らない場合、プレス成形の場合は金型を修正する期間が必要であるが、インクリメンタルフォーミングの場合は、デジタル上でプログラムを修正後すぐに再トライアルが可能である。そのため、プレス成形と比べ、品質玉成サイクルをより短期間で繰り返すことができる。そして、一度、品質玉成した加工プログラムが出来上がれば、インクリメンタルフォーミング設備があるところであればどこでも同じ形状を成形することができる。

一方で、インクリメンタルフォーミングは、徐々に形状を作る特性上、1枚数秒で成形できるプレス成形に比べると、加工時間が数十分、数時間単位と長い。しかし、1度に高額投資が必要なプレス設備と異なり、目的の生産能力に応じて、適切な設備を少しずつ追加することができる。また、主要形状部分はプレス成形で大量に作り、細部の部分的な作り分け加工にインクリメンタルフォーミングを利用するという方法も考えられる。このように、インクリメンタルフォーミングはフレキシブルな生産体制の構築を実現できる可能性を持つ技術である。

◇ インクリメンタルフォーミングの成形特性

インクリメンタルフォーミングはその名の通り、板材料を徐々に伸ばしていく成形であり、成形によって板材料の板厚が一定量減少する。この板厚減少割合は成形時の工具と成形形状とのなす角度に依存することが知られている。これはSIN則と呼ばれるもので、図1に記載のように加工前の板厚を t_0 、加工後の板厚を t 、工具軸と成形壁面のな

す角を θ とすると、 $t=t_0\sin\theta$ で表される^{11)、12)}。例えば、四角錐を成形する場合、壁角度が大きくなるほど板厚が減少していき、垂直壁で囲まれた弁当箱のような形状になると、板厚が0になり成形できないことになる。そのため、部品に対する板厚減少割合の許容値が設定されている場合は、それを超えないような成形角度になるよう、部品を配置して加工形状を設定するか、部品形状（の壁角度）を変更する必要がある。一方で、板厚減少を抑制しながら成形角度を増加させるための工法技術の研究も行われている。

また、成形形状によるが、プレス成形に比べスプリングバックが大きいという特徴がある。これは、板材料の工具接触面の残留応力と反対側の工具非接触面との残留応力の差に起因するものである。これに対しては、反対側から成形輪郭をなぞることでスプリングバックを矯正する方法、加工面に加工後ショットピーニング等で圧縮残留応力を付与して板内外の応力差をバランスさせる方法などが研究されている^{13)、14)}。

◇ 最近のインクリメンタルフォーミング技術

ここでは、最近のインクリメンタルフォーミング技術の事例として、昨年、弊社で開発・実用化した対向式ダイレス成形とそのプロセスの概要について説明する¹⁵⁾。

図3に対向式ダイレス成形装置と成形プロセスを示す。材料固定用の治具1式と、その両側に成形工具を持たせたロボットを1台ずつ配置している。これにより、インクリメンタルフォーミングの成形方式3方式全てに対応することができ、3方式を柔軟に使い分けることで、様々な形状の成形を行うことができる。

図3に示す成形品形状を成形する場合のプロセスについて説明する。凹凸形状を持つ場合、要素形状に分け、加工形状を作成し、それぞれについて加工プログラムを作成する。この場合の要素形状は、部品から凹凸を取り除いた外形形状、それぞれの凹凸形状、曲げ形状に分類できる。

成形の第1工程として、外形形状を1方向成形で成形する。次に、第1工程で成形した成形面上に凹凸形状を一つずつ成形する。これを第2工程として対向式成形で行う。第2工程終了後にレー

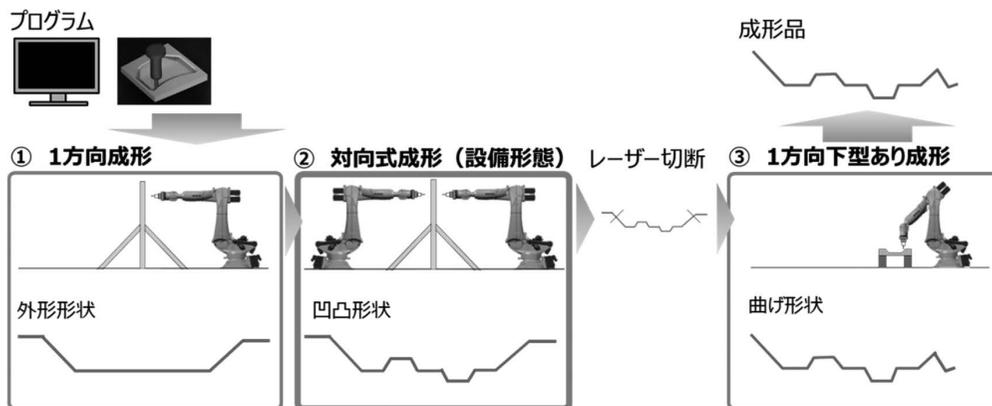


図 3 対向式ダイレス成形



図 4 対向式ダイレス成形による成形品例

ザー切断によって部品輪郭に沿って切り取る。その後、第3工程として部分型を用いて曲げ成形を行い、成形品が完成する。

本装置を用いて、実際に、小型試作部品やショーカー部品の一部を成形し、許容品質に仕上げることができた。実際に試作した試作部品を図4に示す。弊社では、今後も開発を継続しながら、補修部品や少量生産などへも、徐々に適用範囲を広げていく計画である。

むすび

インクリメンタルフォーミングの概要とその特徴について説明し、最近の技術として弊社で開発した対向式ダイレス成形について紹介した。インクリメンタルフォーミングは現在も研究が行われており、さらなる技術の向上が期待される。今後、より多くの方々がインクリメンタルフォーミング技術に興味を持つことで、より高度な技術が開発

され、本工法のメリットを生かした多品種少量生産のための画期的な生産システムが発展・普及することを期待したい。

参考文献

- 1) 松原茂夫：塑性と加工、第35巻、406号、pp. 1258-1263 (1994)
- 2) 田中繁一：日本機械学会誌、Vol. 110、No. 1059、p. 142 (2007)
- 3) 木村豊恒：奈良県工業技術センター研究報告、No. 37、pp. 23-27 (2011)
- 4) 平松信也 他：精密加工学会春季大会学術講演会講演論文集、pp. 793-794 (2004)
- 5) 高松良平：ぶらすとす、第2巻、第17号、pp. 17-20 (2019)
- 6) Masaaki Amino et al: Procedia Engineering, volume 81、pp. 54-62 (2014)
- 7) 網野雅章、溝口雅士：ぶらすとす、第2巻、第17号、pp. 21-25 (2019)
- 8) H. Meier et al: Key Engineering Materials, Vol. 344、pp. 599-605 (2007)
- 9) Matthew J. Zaluzec: U. S. DOE Advanced Manufacturing Office Program Review Meeting (2015)
- 10) N. V. Reddy, R. Lingam: Journal of Physics: Conf. Series 1063、NUMISHEET2018、GS4-1: Keynote、pp. 1-6 (2018)
- 11) G. Ambrogio et al.: Advanced Materials Research, Vol. 6-8、pp. 479-486 (2005)
- 12) Salah B. M. Ehrif, Meftah Hrairi: Mechanical Engineering, pp. 185-196 (2011)
- 13) 溝口雅士：第334回塑性加工シンポジウム、pp. 9-16 (2019)
- 14) 小山田圭吾 他：第70回塑性加工連合講演会講演論文集、pp. 149-150 (2019)
- 15) 小山田圭吾 他：自動車技術会2019秋季大会学術講演会講演予稿集、pp. 1-5 (2019)

2. 軸肥大加工

高周波熱錬(株) 研究開発本部 技術開発部 加工開発課 課長 **桑原 義孝**

まえがき

軸部品には、様々な理由で、その一部に直径の太い部分が設けられていることがある。従来、そのような部品を製作する場合は、太い素材から削り出したり、あるいはアプセット鍛造などの据込み加工を行った後に削り出したりといった方法が取られている。高周波熱錬(株)の独自技術である軸肥大加工は、冷間もしくは温間において丸棒鋼材の一部を据込んで拡張させることができる塑性加工技術^{1)、2)}であり、軸部品の新たな製作手段である。切削に対しては材料が節約でき、鍛造に対しては加工エネルギーを節約できる省資源・省エネルギーな加工法である。本稿では軸肥大加工の概要と加工事例を紹介する。

◇ 加工方法

通常の据込み加工では、材料には圧縮荷重のみが付与されて成形が行われる。成形の進行に伴い、断面積の増大と材料の加工硬化が起こるので、成形を継続させるに足る面圧を得るには、最終的に大きな圧縮荷重を付与する必要がある。そのため、加工設備も大型化してしまう。一方、軸肥大加工では、**図1**に示すように、回転している材料に曲げを加えた状態で圧縮荷重を付与する。曲げを加えたことにより、圧縮荷重は曲げ圧縮側の断面に集中的に作用し、尚且つ曲げ応力も重畳するので、

比較的小さな圧縮荷重であっても大きな面圧を得ることができ、その高面圧領域が塑性変形する。材料は回転しているので、円周方向で逐次的に変形が生じて、成形が進行していく。目標の寸法まで成形したのち、軸を曲げ戻しつつ圧縮荷重を除荷し、最後に回転を停止させて加工完了となる。直径32mmのS45Cミガキ棒鋼を、冷間において、据込み比L/D=2.5、据込み率60%で成形する場合の加工条件の一例を示すと、曲げは角度にして3°、圧縮荷重は700kN、回転速度は60rpmといったものとなる。この場合の成形に要する時間は、ハンドリングの時間を含めて60秒程度である。

◇ 軸肥大加工の特徴

1. 加工装置および生産性

軸肥大加工は、小さな圧縮荷重で大きな塑性変形を得ることができるので、加工装置がコンパクトであり、消費電力も少ない。圧縮と曲げの駆動は油圧システム、回転駆動は電動モータを使用している。打撃を伴うような動作がないので騒音や振動がほとんど発生しない。次工程で切削する場合などは、旋盤の隣に設置することも可能な装置である。**図2**に加工装置の外観を示す。生産速度は、ハンドリングの時間が部品のサイズや重量によって変わるので一概には言えないが、冷間加工では成形自体に30秒程度は要するので、他の鍛造工法と比べると劣ってしまう。圧造等で製造可能

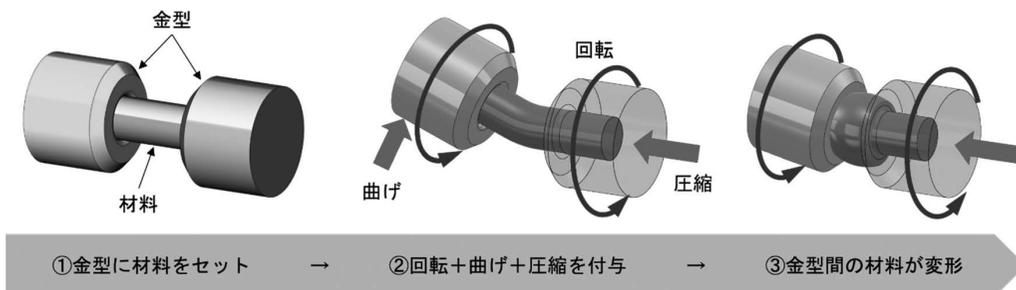


図 1 軸肥大加工方法

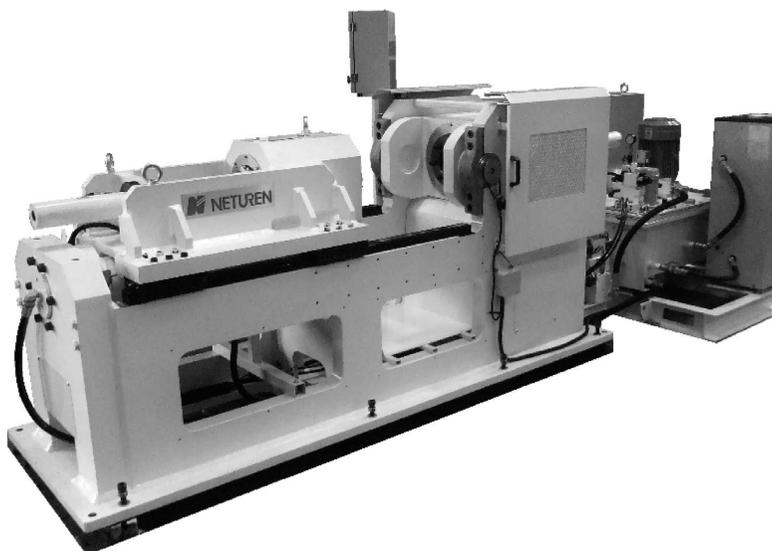


図 2 軸肥大加工装置

な比較的小さな部品よりも軸径が太くて長い部品に適用したほうが、材料費削減や切削工数低減などの経済的メリットが出やすい。温間加工では材料の変形抵抗が下がるので成形に要する時間は十数秒ほどに短縮され、重量が4kg程度の部品であれば時間あたり100個を超える生産も可能である。

2. 少量多品種への対応

金型は単純な筒状の形状をしており、材質はSKD11やSKD61といったダイス鋼を使用している。割れや凝着対策として、ハイスや超鋼製のニブを圧入し、更にコーティングを施す場合もある。加工する棒鋼の直径毎に一对の金型を準備しておけば、軸の長さや太径部の寸法が異なる様々な部品形状に対しても同じ金型を流用することができるのでイニシャルコストを抑えることができる。太径部をどの位置に作るかは、両側の金型に挿入する軸の長さを調整して設定する。その方法は厚みの異なるスペーサーを組み合わせて金型の奥に入れるだけなので、軸の長さが異なる部品を製造する場合の段取り替えは非常に短時間で行うことができる。また、太径部の径や厚みが変わる場合は、その部分に相当する体積を持つように材料の長さを変更し、加工機側では圧縮量を変えるために品番毎に予め設定された加工プログラムを呼び出す操作を行うのみであるので、少量多品種の製造にも対応しやすい。

3. 加工範囲

装置の構造上、基本的に太径部は軸の1箇所にしかなれない。割り型を使用して2箇所を加工した実績はあるが、作業効率が著しく低下する。また、片方の軸の長さがゼロ、すなわち軸の端に太径部を作ることも、加工の方法からして難しい。少なくとも素材直径の0.5倍以上の軸長さがないと曲げ応力をきちんと作用させることができない。ただ、そういった場合には、太径部の要求寸法次第ではあるが、左右対称の軸長さで成形しておき、別工程で太径部の中央で二つに切断して所望の部品を得る方法も考えられる。直径をどこまで拡張できるかは材料の延性割れ限界によって制約を受ける。この拡張限界の目安としては、圧延組織を有する鋼材を冷間で加工する場合において素材直径の1.6倍程度であり、基本的には鋼材の炭素含有量が低ければ限界値が上昇し、高ければ低下する傾向となる。事前に素材に球状化焼鈍を施した場合は2～3倍の拡張が可能である。また、温間加工の場合は球状化焼鈍なしでも3倍以上の拡張が可能である。太径部の厚みに関しては、同時に得ようとする直径によって制約を受ける。その理由は、通常の据込み加工と同様に据込み比L/Dが約2.5倍を超えてくると座屈を生じてしまうからである。多少の軸振れによる切削代の増大を許容できるならばL/D=3.5くらいまでは何とか成形できる

が、それ以上は完全に屈曲してしまい据込むことが出来なくなってしまう。仮に、拡張限界の目安である1.6倍の拡張を行った場合、同時に得られる太径部の厚みは素材直径の1倍程度が限界となる。

4. 品質および精度

軸肥大加工の加工方法は特徴的ではあるが、成形品自体の特性は通常の据込み加工品と同様と考えて良い。金型間の材料は自由側面であるので、圧縮によって樽形変形を呈す。ひずみが大きくなるのは金型に拘束されている端面周辺部と中心部であり、中実円柱の圧縮試験を行った場合のひずみ分布³⁾と同等である。冷間加工においては、変形領域には加工硬化による硬さの上昇が見られる。炭素鋼の場合、ひずみが最も大きい中心部において、素材硬さに対して3割ほど硬くなる。この近傍の金属組織は軸方向に押しつぶされた繊維状の組織となっている。適用される部品の仕様や後工程での不具合発生懸念等を鑑み、必要に応じて焼準あるいは焼鈍を行う。寸法精度に関しては一律的に言うことが難しいが、目安としては一般公差の粗級のイメージである。よって、基本的には切削加工にて仕上げるのが前提となってくる。同軸精度は材料と金型のクリアランスに大きく依存するので、精密圧延材もしくは引抜材等を使用して、金型とのクリアランスをなるべく小さくしたほうが切削代をより少なくできる。

◇ 加工事例

1. 温間加工による大拡張加工

図3は直径48mmのSCr420材を温間加工した事



図 3 大拡張加工事例

例である。素材に球状化焼鈍を施すことなく、直径146mm（素材の約3倍）の太径部を成形することができた。材料の加熱は、できる限りエネルギーを節約するために、成形する部分のみを当社のコア技術である高周波誘導加熱により行った。また、特筆すべき点として、この事例では潤滑・離型剤を全く使わない、いわゆるドライ加工が実現できている。誘導加熱による短時間加熱であることと、その加熱温度を調整することで厚いスケールの発生を抑制できている。加熱された材料の表面には薄い酸化被膜が生成されるが、この被膜が潤滑の役割を果たしていると思われ、焼付き等の不具合もなく、ほぼ鏡面といえるほどの滑らかな加工面が得られた。この成形に要した圧縮荷重はおよそ2,000kNであったが、これは他の工法と比べ圧倒的に小さい荷重である。

2. 中空材の加工

図4は直径40mm、肉厚10mmのS45C継目無鋼管を加工した事例である。ここでは太径部の直径を70mm（素材の1.75倍）まで成形したが、当初に冷間加工を試みた際には外周に割れが発生してしまっただけで、最終的に温間加工にて行った。ここまで拡張する必要がなければ冷間加工でも問題ない。また、この事例では内径側にも材料が張り出しているが、内径はストレートのまま外径のみ太らせることも可能である。但し、中実材の場合と同じく据込む際の座屈との兼ね合いで加工範囲が制約を受ける。中空素材の断面積に対して、あまり大きな断面積をもつ太径部は作ることができない。ある程度、肉厚が厚くないと中空材の場合は

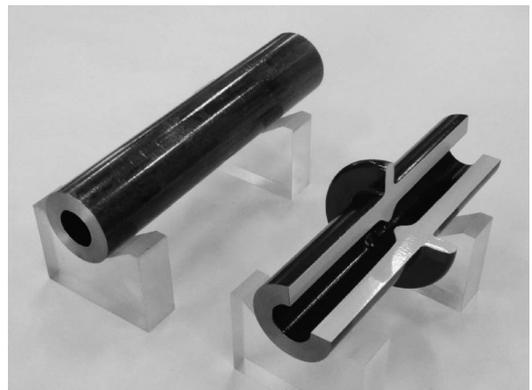


図 4 中空材の加工事例（カットサンプル）

成形自体が困難である。しかしながら、軽量化のための部品の中空化ニーズは益々高まっており、更なる加工範囲拡大を目指した取り組みを行っているところである。尚、こちらも先の事例と同様にドライ加工である。

むすび

軸肥大加工はツバ出しに特化した加工法なので、それ以外の部分でネットシェイプ化を図るには、他の各種塑性加工と適宜組み合わせる用になる。パーツフォーマーやトランスファープレスで既に工法が確立されている部品に適用しようとすれば、逆に非効率になる場合もある。ツバ出し工程において、技術および品質上の課題があったり、多大なエネルギーを消費しているといった生産課題があったりする部品への適用を期待したい。ただ、そのような部品は、既に設計段階での改善が行われている場合も多いだろう。本加工法

をうまく活かすには、例えば、従来はアセンブリ品であった部品を一体部品で設計することによって、システム全体の品質・コストを向上させメリットを出そうとするような、より上流からのアプローチが有効ではないかと考える。現状、まだ量産の実績が少ないが、基本的な技術は確立されており、コストに直結する金型寿命などの改善について、随時データを蓄積しながら検証を進めているところである。本稿が読者の方々の課題解決の一助となれば幸いである。

参考文献

- 1) 井浦忠、岡部永年、朱霞：「新しい発想による部分軸肥大加工法の開発」、塑性と加工、vol. 44、No. 514 (2003-11) pp. 1115-1119
- 2) 生田文昭、桑原義孝、川寄一博、岡部永年：「軸肥大拡張加工法」、特殊鋼、vol. 64、No. 2 (2015-3)、pp. 15-17
- 3) 日本塑性加工学会編：「新塑性加工技術シリーズ9 鍛造 - 目指すは高機能ネットシェイパー」、コロナ社、(2018) pp. 48-52



業界のうごき

碓井鋼材、宮島特殊鋼を完全子会社化 商権の維持発展目指す

碓井鋼材は5月1日付で特殊鋼二次店の宮島特殊鋼（本社・群馬県高崎市）を買収し、完全子会社化した。設備、商権や従業員10人を引き継ぎ、碓井達郎社長が代表取締役会長、永藪二郎専務が代表取締役社長を兼務している。2カ月半を経て、永藪社長は「見えてきた課題に対し改善に着手している。社員が今後の発展を意識できる方向へ持っていきたい」と話す。

宮島特殊鋼は1966年創業。最近では経済環境の変動も大きく、先行きの不透明感に不安もあり、碓井鋼材に経営支援を打診。碓井鋼材が同社商権の維持発展を目指し、事業を承継した。宮島樟二社長は退任し、社員は全員、碓井鋼材に転籍（宮島特殊鋼へ出向）した。

宮島特殊鋼は本社工場に切断機9台、島野工場（高崎市）に機械加工設備6台を置く。営業担当者1人を増員し、営業の強化も図っている。碓井鋼材・群馬支店とは配送、営業の両面で連携を深めていく。（7月15日）

UEX、19年度のチタン販売実績 前期比17%減の580トン

UEXは都内で決算説明会を開催し、19年度のチタン販売実績を明らかにした。売上高は34億4,400万円で前期比7.9%減、売上数量は580トンで同17.1%減だった。内需低下局面で販売は減少したが、過去10年間では18年度（700トン）、17年度（600トン）に次ぐ水準だった。過去最高は05年度の820トン。

UEXはチタン店売りで国内最大手級。20年度は新型コロナ感染拡大に伴う販売減を予想する。岸本則之社長は「昨秋まで電解鋼箔製造設備や医療向けの受注が堅調だった。足元

は新型コロナの影響で冷え込んでいる」と説明した。

4、5月の連結業績については「ステンレス単価はほぼ見込み通りだが、新型コロナの影響で数量面は苦戦している。5月は営業日数が少なく、また一部子会社（大崎製作所、上野エンジニアリング）で季節要因に伴う低下影響もある。4月は連結営業黒字を確保したが、5月は良くて水面すれすれと見ている」と話した。（6月10日）

佐藤商事子会社、本社工場を移転拡張 鋼板シャー加工、3割増へ

佐藤商事は、南関東の薄板・鋼管切断・物流拠点を集約・拡張し、生産性向上、能力増強を進めた。完全子会社の大東鋼業が、川崎市川崎区から佐藤商事・神奈川コイルセンターの旧工場跡（藤沢市桐原町）に本社・工場を移転し、5月11日から新体制で業務を開始した。

大東鋼業は鋼板シャー部門を大幅に増強するとともに、佐藤商事から商用車向け鋼管の切断加工の移管を受け、鋼管の受託加工も始めた。今月末には、特殊鋼丸棒切断も開始する。

大東鋼業の新社・工場の総面積は約3,700平方メートル。鋼板シャー部門は約1,400平方メートルで旧工場の3倍近くに拡張した。シャーは1台増の7台体制で集積機も完備し、月間加工能力を1,750トンに拡大。当面は鋼板切断販売を約3割増の月1,400トンへ伸ばす。黒皮・酸洗が中心で、3分の1相当の3.2ミリ以下は神奈川CCから母材供給を受ける。（6月11日）

南海鋼材、新自動肉盛り設備を開発へ プラズマとレーザーの機能併用

南海鋼材は、プラズマとレーザー双方の長所を生かした、ハイブリッドな金型自動肉盛り設備の開発に力を入れている。今年末から商品化に

向けて具体的に検討していく。同社の金型肉盛りは、粉末状の高合金を溶融し、金型の損耗部分を補修したり、新品の金型に耐摩耗性や耐熱性などの性能を部分的に付加し長寿命化を図る。自社に導入した設備で金型の受託肉盛りも行っている。

溶融熱源としてのプラズマは、肉盛り量が多くできるが、熱集中の良さは中程度。またプラズマアークを作るのにアルゴンガスを用いるため、金型の形状によってはガスを巻き込むなどアークの不安定要因を抱える。一方でレーザーは大量の肉盛り溶接に向かないが、コーティングのような施工もできる。レーザー光が熱源のためアーク安定性（精度）が良く、金型の内径部や繊細な形状積層に用いることができる。（7月27日）

野村鋼機、熱間工具鋼の加工体制強化 関東テクノセンターで設備増設

野村鋼機は6月下旬、関東テクノセンター（群馬県前橋市）に両頭フライス盤を増設する。熱間工具鋼の機械加工体制を強化するのが狙いで、関東テクノセンターや兵庫支店（兵庫県加東市）を中心に数年がかりで進めた一連の設備投資はこれで一巡する。自然災害を想定したBCP対策では、停電時の緊急電源として本社に自家発電設備を今期中に設置する。工場事務所での自家発電設備の設置も検討する。

関東テクノセンターは大型から小型まで対応する熱間工具鋼加工の中核拠点。西日本では大型中心の兵庫支店と中小型中心の広島支店（広島県福山市）で熱間工具鋼の加工体制を整えている。19年度の主な設備投資は兵庫支店の5面加工機、横中ぐり盤の増設など。今回の関東テクノセンターの両頭フライス盤増設で、数年がかりで進めた設備増強は一巡する。（6月22日）

業界のうごき

マクシス、豊川営業所の倉庫拡張 新規アイテムの在庫拡充

マクシスコーポレーションは、鋼材事業で新規アイテムの在庫体制を拡充するため、豊川営業所の倉庫（愛知県豊橋市）を3割拡張する。現在の倉庫は約1,000平方メートルで、年内完成の予定で倉庫増築を進める。豊川営業所の事務所はJR線三河一宮駅近く（愛知県豊川市）に移転した。建機部品部門では、大阪営業所・倉庫（兵庫県尼崎市）の職場環境改善を狙いに、JR尼崎駅前に営業事務所を移転した。

豊川営業所は大手切削工具メーカー向け特殊品種の即納サービスをメインとする。これとは別に鋼材事業部で新規分野の開拓が進んでおり、新規アイテムの在庫体制を拡充する狙いで倉庫を拡張する。倉庫拡張のスペースを作るため、事務所は5月に移転した。

鋼材事業の中核物流拠点は北関東営業所・鋼材物流センター（栃木県佐野市）だが、今回は豊川営業所の倉庫機能を高める。（7月3日）

リントツ、半田加工センターに空調設備 環境改善、品質向上狙う

リントツは、主力生産拠点の半田ステンレス加工センター（愛知県半田市）の第一工場に空調設備を導入し、5月末から本稼働を始めた。第二工場でも暑熱対策で屋根工事を実施した。職場環境の改善が狙いで、品質向上にもつながる環境を整えた。今後段階的にハード整備を進め、現場力を高めていく。

同社は近年、ファイバーレーザ加工機など生産設備だけでなく、厚生設備にも積極的に投資している。現場の作業効率向上を目的に、18年に潮干コイル流通センター、昨年は半田・第二工場に空調設備を据え付け

た。両工場で高温時の冷却効果が明確に認められており、レベラー加工、コイルヤード機能がある第一工場（建屋面積9,742平方メートル）にも導入した。

面積が大きく、オペレーターの数も多い建屋への設置に当たり、体感温度を引き下げること重点を置いた。（6月1日）

愛知製鋼、中国でボンド磁石を拡大 現地磁石会社を連結子会社化

愛知製鋼は、中国の磁石事業を強化するため「浙江愛智機電有限公司」（浙江省平湖経済開発区）への出資を拡大し、連結子会社化した。浙江愛智機電の生産拡大に伴う2回目の増資引き受けを行い、出資比率を56.5%に高めた。

中国市場で磁石製品需要は着実に拡大しており、浙江愛智機電の業容も拡大している。愛知製鋼は18年に初出資し、翌19年に生産能力増強のための1回目の増資引き受けを行っている。今回、設備をさらに増強するための追加増資を引き受けた。これにより浙江愛智機電の資本金は4,150万円（約6億4,000万円）、愛知製鋼の出資額は2,350万円（約3億6,000万円）となった。

浙江愛智機電はボンド磁石「マグファイン」の圧縮成形、射出成形を手掛けており、従業員数は50人。設備増強後の生産能力は月間160万個（従来比約14%増）となる。（7月29日）

JFEスチール、倉敷の転炉を改良 溶銑予備処理を効率化

JFEスチールは溶銑から不純物を取り除く溶銑予備処理工程の生産性を高めるため、西日本製鉄所倉敷地区（岡山県倉敷市）の転炉を改良する。投資額は105億円。改良するのは第2製鋼工場の3基の転炉。6月に着工しており、来年5月の完工を

目指す。自動車鋼板や造船厚板など高級鋼の生産性向上につなげる。

現在は同工場と別の建屋でトープードカーを反応容器として使う溶銑予備処理を行っている。転炉型に切り替えることで不純物のリンの除去効率が改善し、副原料となる生石灰の使用量を減らす効果などが見込める。

倉敷では第1製鋼工場にある転炉3基で同じ改良を完了している。倉敷に先立ち同製鉄所福山地区（広島県福山市）に導入済みで、地区間で技術を水平展開した。倉敷の製鋼工程では連続铸造機の増設工事も実施中で、今年度内の稼働を目指している。（7月2日）

新「NSステンレス」が10月発足へ NSSC、日物、住商が最終契約

日鉄ステンレス（NSSC）、日鉄物産、住友商事の3社は、NSステンレスと日鉄ステンレス販売を10月1日付で統合することで最終契約を締結した。NSステンレスが存続会社となり日鉄ステンレス販売を吸収合併する。出資比率はNSSC36%、日鉄物産32%、住友商事32%。社長は澤田充NSステンレス社長が務める。NSステンレスが6月に移転した現本社（東京都千代田区）を本社とする。

20年3月期の単独売上高はNSステンレスが849億円、日鉄ステンレス販売が285億円。新「NSステンレス」は19年度実績ベースで年間国内販売量30万トンをゆうに超え、日鉄ステンレスの国内販売の約3分の1を占める巨大流通になる。人員は約140人。

両社が永年培ってきた知見と実績を有機的に結合し、顧客の要望に応えるプロ集団として機能を高める。営業拠点は従来の東京、大阪、名古屋、直江津、中国、九州に加えて、燕に新設する。（7月2日）

業界のうごき

日本製鉄、名古屋の第3高炉を改修 22年実施を決定、490億円投資

日本製鉄は名古屋製鉄所・第3高炉の改修を決めた。投資額は約490億円で22年上期に実施する。名古屋は自動車用高級鋼板を一貫製造する戦略拠点で、高炉改修を通じて自動車鋼板の供給安定性を強化する。

名古屋製鉄所は高炉2基体制で粗鋼生産量は年585万トン（18年度）。自動車鋼板など高級薄板の主力拠点で、他製鉄所向けに自動車鋼板の母材のスラブやホットコイルを供給する役割もある。改修するのは00年4月の火入れから20年を経過した第3高炉。22年1月下旬に吹き止め、6月上旬に再火入れする。工期は約130日間の予定。

改修により炉容積は現在の4,300立方メートルから4,425立方メートルに3%拡大する。炉容積の拡大はステープ（炉体冷却装置）の構造変更によるもので、生産能力は増えない。経年劣化した炉体の更新に加え、人工知能（AI）を駆使した最新システムも導入する。（6月8日）

日本冶金工業、新ニッケル基合金を開発 高塩化物・硫酸への高耐食性を両立

日本冶金工業は、高濃度塩化物イオン環境と硫酸環境が混在する極めて過酷な腐食環境で優れた耐食性を発揮するニッケル基耐食合金「NAS355N」を開発した。価格と性能の両面でステンレスと高耐食ニッケル基合金の中間に位置する合金で、7.5%Mo系で耐高塩化物・硫酸腐食兼用型の性能を実現したのは世界初。

4フィート幅の熱延、冷延コイルや超広幅プレートも製造できる。既存鋼種の改良型ではない全く独自のニッケル基合金の開発は同社として初めて。排煙脱硫装置や船舶用SOxスクラバなど環境汚染防止装置や化

学プラントなどで拡販を図る。

耐孔食指数（PRE）は51で、6%Mo含有の高耐食スーパーオーステナイト系ステンレスを大きく上回る。同時にCuを3%配合することで硫酸などの還元性の酸に対する耐酸性を飛躍的に向上させた。Ni量は35%で、高耐食ニッケル基合金の約半分に抑えている。（6月4日）

ネツレン、新商品・新事業の売上高比率 20年度、14%を計画、市場開拓進める

ネツレン（高周波熱錬）は20年度の新商品・新規事業の売上高比率について、前年度より5ポイント高い14%を計画している。米中貿易摩擦や新型コロナウイルス禍で既存事業が厳しい市場環境に直面する中、高付加価値製品を中心に市場開拓を進める。

今年度の連結売上高予想は11.9%減の430億円だが、新商品・新規事業は36.9%増の63億円と想定。誘導加熱で部分的に高強度化した異形鉄筋「ダブルスターク」は一昨年の市場投入から着実に採用実績を伸ばし、今年度も現在2物件で導入が決まっている。

高強度せん断補強筋「ウルボン1275」は、顧客に対する大幅なコスト低減に寄与し、21年度にかけて前年を超える売上規模で推移すると見込む。

シース内に予めグラウトを充填したPC鋼棒を連結するシステムは昨年7月から納入を開始しており、建設現場での取り扱い件数を増やしていく。

（6月15日）

日立金属、黄銅製品事業を来年3月譲渡 サンエツ金属、部品事業の強化を狙う

サンエツ金属は、日立金属・桶川工場の銅合金製造事業と、日立金属商事の当該事業に関する営業権を来年3月1日に譲り受ける。自動車のマニュアルトランスミッション用部品が中心で、サンエツ金属は譲受事業の実績を生かし、精密部品事業で

も自動車部品メーカーへの販路を開拓したい考えだ。

日立金属の桶川工場は航空機・エネルギー部材事業を主力とする一方、マニュアル車のトランスミッション用シンクロナイザーリング向け高力黄銅加工品やアルミ青銅加工品などを製造している。これら高力黄銅やアルミ青銅は国内外の市場で高いブランド力を持ち、大手自動車部品メーカーなどに納入している。

譲渡対象は鋳造設備や切断機、切削加工機、検査機など。サンエツ金属の砺波工場やプレジジョン工場に順次移設する予定。（7月6日）

三菱製鋼、JATIM社を積極活用 「素材からの一貫生産モデル」を拡大

三菱製鋼は中期経営計画（20～22年度）で『素材からの一貫生産ビジネスモデル』を拡大する。コスト管理可能範囲を拡大する上でも、製品開発力を高めて顧客に付加価値を提供する上でも、素材から製品まで一貫生産する強みを生かす。『鋼材とばね』では、インドネシアのJATIM社を活用したシナジー拡大を図る。インドネシアにおける商用車用板ばねの一貫生産の拡大に加えて、適用製品の横展開も進める。

北米ばね事業では、車用巻ばね生産を米国からカナダに集約したのに続き、21年度内に車用スタビライザ生産もカナダ、メキシコに集約する。カナダ工場は22年度にフル操業化する見通し。

素材材事業では、タイで量産する精密鋳造品に使う合金素材の内製化を目的に、アドバンスド・マテリアルズ・センター（千葉製作所内）にVIM（真空誘導溶解炉）を導入し、20年度下期に稼働開始する予定。

（6月29日）

文責：（株）鉄鋼新聞社

特殊鋼統計資料

特殊鋼熱間圧延鋼材の鋼種別生産の推移

鋼種別

(単位：t)

年月	工具鋼	構造用鋼			特殊用途鋼						計	合計
		機械構造用炭素鋼	合金鋼	計	ばね鋼	軸受鋼	ステンレス鋼	快削鋼	高抗張力鋼	その他		
'18 暦年	265,850	5,232,401	4,055,787	9,288,188	428,588	1,029,788	2,954,588	651,312	5,616,124	552,701	11,233,101	20,787,139
'19 暦年	220,798	4,696,002	3,849,414	8,545,416	397,465	939,803	2,667,128	570,971	5,335,063	506,642	10,417,072	19,183,286
'18 年度	254,113	5,231,860	4,054,690	9,286,550	430,796	1,032,732	2,881,369	648,216	5,498,472	564,665	11,056,250	20,596,913
'19 年度	208,719	4,424,471	3,684,277	8,108,748	371,016	858,786	2,648,575	548,062	5,236,485	483,150	10,146,074	18,463,541
'19. 7-9月	50,278	1,114,002	921,737	2,035,739	90,686	205,660	645,485	134,225	1,348,062	136,324	2,560,442	4,646,459
10-12月	51,780	1,081,657	908,954	1,990,611	91,364	219,030	667,193	129,102	1,313,859	98,224	2,518,772	4,561,163
'20. 1-3月	47,054	1,013,820	849,930	1,863,750	82,571	176,140	673,671	133,117	1,249,122	119,663	2,434,284	4,345,088
4-6月	38,716	634,069	547,545	1,181,614	55,850	133,035	486,844	78,179	799,176	76,124	1,629,208	2,849,538
'19年 5月	20,098	406,199	330,484	736,683	35,942	84,342	235,021	47,734	445,952	39,429	888,420	1,645,201
6月	18,219	395,419	326,729	722,148	36,357	87,783	216,153	51,722	468,751	45,260	906,026	1,646,393
7月	20,072	410,278	333,648	743,926	31,001	68,405	223,023	49,985	468,266	48,818	889,498	1,653,496
8月	15,421	353,393	289,877	643,270	27,841	65,863	204,477	41,776	459,321	43,043	842,321	1,501,012
9月	14,785	350,331	298,212	648,543	31,844	71,392	217,985	42,464	420,475	44,463	828,623	1,491,951
10月	16,576	371,057	318,789	689,846	29,293	76,101	221,915	45,273	432,550	36,549	841,681	1,548,103
11月	19,290	374,968	315,272	690,240	32,384	74,985	218,159	42,006	437,449	33,759	838,742	1,548,272
12月	15,914	335,632	274,893	610,525	29,687	67,944	227,119	41,823	443,860	27,916	838,349	1,464,788
'20年 1月	13,363	330,582	275,829	606,411	24,844	56,694	220,519	38,409	436,453	38,423	815,342	1,435,116
2月	16,793	333,166	290,703	623,869	27,987	57,385	227,566	45,370	409,818	37,993	806,119	1,446,781
3月	16,898	350,072	283,398	633,470	29,740	62,061	225,586	49,338	402,851	43,247	812,823	1,463,191
4月	15,670	267,876	220,510	488,386	24,788	55,965	172,201	30,273	311,152	36,720	631,099	1,135,155
5月	12,532	195,199	166,504	361,703	12,185	44,349	170,977	26,008	242,975	18,400	514,894	889,129
6月	10,514	170,994	160,531	331,525	18,877	32,721	143,666	21,898	245,049	21,004	483,215	825,254
前月比	83.9	87.6	96.4	91.7	154.9	73.8	84.0	84.2	100.9	114.2	93.8	92.8
前年同月比	57.7	43.2	49.1	45.9	51.9	37.3	66.5	42.3	52.3	46.4	53.3	50.1

出所：経済産業省『鉄鋼生産内訳月報』から作成。

形状別

(単位：t)

年月	形鋼	棒鋼	管材	線材	鋼板	鋼帯	合計
'18 暦年	374,683	6,452,802	1,188,873	4,261,952	1,647,479	6,868,340	20,794,129
'19 暦年	327,633	5,859,800	1,229,819	3,910,932	1,310,485	6,550,016	19,188,685
'18 年度	383,020	6,439,522	1,203,698	4,292,348	1,495,812	6,788,499	20,602,899
'19 年度	293,237	5,497,480	1,202,218	3,709,327	1,333,238	6,433,580	18,469,080
'19. 7-9月	81,867	1,376,572	298,841	940,262	354,394	1,595,937	4,647,873
10-12月	73,569	1,331,340	317,912	899,060	321,818	1,618,568	4,562,267
'20. 1-3月	62,203	1,226,254	289,689	869,361	345,757	1,553,297	4,346,561
4-6月	60,177	771,677	220,453	536,404	264,727	997,763	2,851,201
'19年 5月	21,523	505,525	100,690	337,026	101,841	578,912	1,645,517
6月	33,959	528,207	87,484	329,981	104,743	562,684	1,647,058
7月	29,571	480,049	106,271	348,559	118,268	571,126	1,653,844
8月	25,128	431,139	97,429	298,588	127,327	522,140	1,501,751
9月	27,168	465,384	95,141	293,115	108,799	502,671	1,492,278
10月	23,692	468,339	111,905	305,014	110,233	529,333	1,548,516
11月	23,142	465,065	108,670	308,188	106,924	536,650	1,548,639
12月	26,735	397,936	97,337	285,858	104,661	552,585	1,465,112
'20年 1月	24,198	391,670	95,270	277,185	109,583	537,703	1,435,609
2月	17,837	412,341	98,659	286,062	105,492	526,858	1,447,249
3月	20,168	422,243	95,760	306,114	130,682	488,736	1,463,703
4月	19,558	314,292	90,566	230,476	106,283	374,493	1,135,668
5月	20,843	227,442	69,200	163,329	83,012	325,713	889,539
6月	19,776	229,943	60,687	142,599	75,432	297,557	825,994
前月比	94.9	101.1	87.7	87.3	90.9	91.4	92.9
前年同月比	58.2	43.5	69.4	43.2	72.0	52.9	50.1

出所：『経済産業省生産動態統計』から作成。

特殊鋼鋼材の鋼種別販売(商社+問屋)の推移 (同業者+消費者向け)

(単位:t)

年月	工具鋼	構造用鋼			特殊用途鋼						計	合計
		機械構造用炭素鋼	構造合金鋼	計	ばね鋼	軸受鋼	ステンレス鋼	快削鋼	高抗張力鋼	その他		
'18 暦年	330,317	3,525,290	2,049,316	5,574,606	122,660	581,255	1,703,148	181,436	95,234	49,039	2,732,772	8,637,695
'19 暦年	273,872	2,970,829	1,631,511	4,602,340	62,907	376,372	1,488,018	141,142	89,625	82,507	2,240,571	7,116,783
'18 年度	322,765	3,543,660	2,028,274	5,571,934	119,549	546,004	1,681,386	179,074	95,026	47,294	2,668,333	8,563,032
'19 年度	259,702	2,759,143	1,499,742	4,258,885	52,877	356,356	1,413,730	132,161	90,062	96,935	2,142,121	6,660,708
'19年 10月	23,177	239,723	133,016	372,739	4,436	29,891	122,771	11,241	7,120	9,590	185,049	580,965
11月	21,163	211,065	121,318	332,383	4,479	28,304	125,585	10,517	6,120	9,206	184,211	537,757
12月	20,267	218,509	117,010	335,519	3,863	27,468	113,562	10,167	7,077	7,835	169,972	525,758
'20年 1月	19,439	210,769	115,133	325,902	3,543	26,310	113,334	10,695	7,182	8,190	169,254	514,595
2月	19,705	211,477	113,424	324,901	4,415	28,316	111,776	11,005	8,860	7,844	172,216	516,822
3月	20,710	206,708	107,773	314,481	6,832	30,577	105,632	10,545	8,090	8,904	170,580	505,771
4月	16,015	195,961	94,730	290,691	6,156	30,602	114,762	8,126	6,519	6,954	173,119	479,825
5月	11,052	106,148	56,564	162,712	3,749	16,304	101,837	4,594	3,338	4,442	134,264	308,028
6月	13,412	124,631	69,708	194,339	4,112	19,464	67,881	6,542	4,159	5,056	107,214	314,965
前月比	121.4	117.4	123.2	119.4	109.7	119.4	66.7	142.4	124.6	113.8	79.9	102.3
前年同月比	56.9	54.6	52.9	54.0	84.9	63.4	54.9	55.3	54.8	52.9	57.0	55.1

出所: 一般社団法人特殊鋼倶楽部『特殊鋼鋼材需給月報調査』から作成。

(注) 2018年3月より経済産業省『鉄鋼需給動態統計調査』から特殊鋼倶楽部業界自主統計化へ変更した。

特殊鋼熱間圧延鋼材の鋼種別メーカー在庫の推移

(単位:t)

年月	工具鋼	構造用鋼			特殊用途鋼						計	合計
		機械構造用炭素鋼	構造合金鋼	計	ばね鋼	軸受鋼	ステンレス鋼	快削鋼	高抗張力鋼	その他		
'18 暦年	9,022	265,513	163,666	429,179	30,989	37,438	132,754	28,173	163,433	19,784	412,571	850,772
'19 暦年	10,060	251,976	163,330	415,306	24,572	30,691	129,191	26,275	186,987	18,501	416,217	841,583
'18 年度	8,276	237,787	154,530	392,317	29,638	33,728	122,372	25,391	162,107	28,897	402,133	802,726
'19 年度	10,477	244,436	157,976	402,412	22,405	31,778	132,154	28,139	140,036	25,484	379,996	792,885
'19年 10月	9,438	248,897	159,291	408,188	21,907	29,949	133,737	30,109	174,612	24,465	414,779	832,405
11月	8,434	258,185	167,297	425,482	23,736	31,736	122,793	30,562	163,789	21,846	394,462	828,378
12月	10,060	251,976	163,330	415,306	24,572	30,691	129,191	26,275	186,987	18,501	416,217	841,583
'20年 1月	9,233	258,760	171,897	430,657	20,456	30,217	134,564	27,267	196,168	24,370	433,042	872,932
2月	9,462	252,222	164,866	417,088	19,932	29,051	133,687	30,923	160,507	24,003	398,103	824,653
3月	10,477	244,436	157,976	402,412	22,405	31,778	132,154	28,139	140,036	25,484	379,996	792,885
4月	10,249	236,787	145,309	382,096	21,575	27,309	131,446	27,476	138,469	26,256	372,531	764,876
5月	11,406	227,322	137,756	365,078	17,481	29,475	122,552	26,843	132,083	21,374	349,808	726,292
6月	10,577	215,267	132,338	347,605	20,266	25,703	128,651	22,304	129,105	20,956	346,985	705,167
前月比	92.7	94.7	96.1	95.2	115.9	87.2	105.0	83.1	97.7	98.0	99.2	97.1
前年同月比	110.1	84.6	80.5	83.0	73.3	69.4	92.1	79.8	65.0	81.4	76.0	79.7

出所: 経済産業省『鉄鋼生産内訳月報』から作成。

特殊鋼鋼材の流通在庫の推移 (商社+問屋)

(単位:t)

年月	工具鋼	構造用鋼			特殊用途鋼						計	合計
		機械構造用炭素鋼	構造合金鋼	計	ばね鋼	軸受鋼	ステンレス鋼	快削鋼	高抗張力鋼	その他		
'18 暦年	65,783	207,930	157,295	365,225	13,020	47,754	170,896	9,657	10,264	2,925	254,516	685,524
'19 暦年	78,181	249,537	186,489	436,026	12,273	59,071	178,758	14,078	10,161	9,526	283,867	798,074
'18 年度	71,065	243,896	179,491	423,387	12,518	51,977	183,062	13,627	10,935	3,646	275,765	770,217
'19 年度	78,320	240,274	184,120	424,394	12,436	52,625	178,599	14,953	9,126	9,668	277,407	780,121
'19年 10月	77,379	241,079	181,868	422,947	12,515	55,841	175,953	11,527	9,969	11,443	277,248	777,574
11月	77,688	246,661	184,746	431,407	12,647	57,869	175,952	11,294	10,655	10,761	279,178	788,273
12月	78,181	249,537	186,489	436,026	12,273	59,071	178,758	14,078	10,161	9,526	283,867	798,074
'20年 1月	78,978	241,257	184,276	425,533	12,055	56,417	178,710	11,476	10,037	9,051	277,746	782,257
2月	77,774	238,190	185,915	424,105	12,456	54,001	180,592	13,186	10,011	9,461	279,707	781,586
3月	78,320	240,274	184,120	424,394	12,436	52,625	178,599	14,953	9,126	9,668	277,407	780,121
4月	77,550	253,095	179,660	432,755	12,149	54,528	183,441	15,093	10,157	10,062	285,430	795,735
5月	78,237	263,270	190,150	453,420	12,421	59,464	189,492	16,610	10,268	10,606	298,861	830,518
6月	79,070	259,246	189,532	448,778	12,674	57,333	194,662	17,213	10,455	10,478	302,815	830,663
前月比	101.1	98.5	99.7	99.0	102.0	96.4	102.7	103.6	101.8	98.8	101.3	100.0
前年同月比	106.7	104.1	97.4	101.2	98.0	98.3	106.0	129.5	97.9	92.6	104.3	102.8

出所: 一般社団法人特殊鋼倶楽部『特殊鋼鋼材需給月報調査』から作成。

(注) 2018年3月より経済産業省『鉄鋼需給動態統計調査』から特殊鋼倶楽部業界自主統計化へ変更した。

特殊鋼鋼材の輸出入推移

輸出

(単位：t)

年月	工具鋼	構造用鋼			特殊用途鋼					その他の鋼			特殊鋼鋼材合計
		機械構造用炭素鋼	構造用合金鋼	計	ばね鋼	ステンレス鋼	快削鋼	ピアノ線材	計	高炭素鋼	合金鋼	計	
'18 暦年	42,373	471,715	598,677	1,070,392	189,872	975,751	118,025	92,901	1,376,549	3,582	5,507,686	5,511,269	8,000,583
'19 暦年	37,039	373,118	549,771	922,888	187,541	912,981	96,189	78,476	1,100,522	3,982	4,847,994	4,851,976	7,087,091
'18 年度	40,883	457,288	586,191	1,043,479	189,839	943,017	119,463	92,202	1,344,521	3,295	5,260,314	5,263,608	7,692,492
'19 年度	35,063	353,608	527,588	881,195	174,665	925,925	95,132	74,822	1,270,544	3,858	5,014,950	5,018,808	7,205,611
'19年 9月	3,150	27,958	38,454	66,412	11,930	83,834	5,326	11,937	113,029	442	430,028	430,470	613,061
10月	3,209	28,313	42,889	71,202	15,892	79,534	9,268	2,107	106,801	288	422,162	422,450	603,662
11月	2,946	32,813	47,057	79,870	12,843	75,424	6,638	436	95,340	325	406,535	406,860	585,015
12月	2,593	29,796	42,592	72,388	15,349	85,655	10,016	2,850	113,871	228	403,485	403,713	592,565
'20年 1月	1,922	23,812	29,142	52,954	12,280	64,736	5,105	3,290	85,411	259	400,973	401,232	541,518
2月	2,603	27,827	46,831	74,657	10,510	74,081	5,765	5,105	95,460	261	473,355	473,616	646,336
3月	2,711	31,955	44,113	76,068	12,055	88,833	12,642	9,794	123,324	224	445,322	445,547	647,650
4月	3,209	21,425	29,992	51,418	12,335	76,452	8,075	8,665	105,526	354	348,716	349,070	509,223
5月	2,478	18,282	25,783	44,065	11,189	60,025	6,754	2,550	80,518	258	295,258	295,516	422,576
6月	2,783	18,042	28,687	46,729	5,625	67,647	6,897	2,253	82,423	167	242,750	242,917	374,851
前月比	112.3	98.7	111.3	106.0	50.3	112.7	102.1	88.4	102.4	64.8	82.2	82.2	88.7
前年同月比	90.2	55.5	55.7	55.6	38.9	94.5	66.3	28.3	78.9	48.4	62.1	62.0	64.3

出所：財務省関税局『貿易統計』から作成。

輸入

(単位：t)

年月	工具鋼	ばね鋼	ステンレス鋼					快削鋼	その他の鋼			特殊鋼鋼材合計	
			形鋼	棒鋼	線材	鋼板類	鋼管		計	高炭素鋼	合金鋼		計
'18 暦年	3,821	4,446	1,079	11,731	9,183	222,159	16,704	260,857	297	5,724	444,746	450,470	719,892
'19 暦年	3,901	7,382	557	15,075	8,603	193,072	15,995	233,301	306	8,622	536,308	544,930	789,819
'18 年度	3,789	4,813	901	12,809	9,392	214,008	17,217	254,327	379	6,282	524,362	530,643	793,952
'19 年度	4,566	8,270	575	14,214	7,762	198,515	15,501	236,568	283	8,259	476,144	484,403	734,090
'19年 9月	345	541	8	971	653	15,460	1,421	18,514	13	176	54,877	55,053	74,466
10月	253	512	82	1,051	639	18,269	1,443	21,482	37	1,260	36,040	37,300	59,584
11月	303	708	49	1,117	430	14,096	1,272	16,964	39	767	63,127	63,894	81,908
12月	313	498	54	1,416	580	19,802	1,195	23,047	28	1,428	46,444	47,871	71,758
'20年 1月	383	986	60	1,215	396	17,680	1,302	20,654	・	233	45,646	45,878	67,901
2月	868	770	31	689	367	17,336	1,229	19,652	51	1,055	30,849	31,904	53,245
3月	292	446	33	944	758	19,064	1,508	22,306	17	104	28,122	28,226	51,288
4月	535	677	36	1,128	540	18,507	1,615	21,826	25	2,091	25,641	27,732	50,795
5月	464	380	38	781	567	16,967	1,242	19,596	8	294	54,074	54,368	74,816
p 6月	415	1,169	35	1,232	406	12,729	1,332	15,734	15	236	16,845	17,081	34,414
前月比	89.4	307.3	92.9	157.7	71.6	75.0	107.2	80.3	202.0	80.1	31.2	31.4	46.0
前年同月比	149.9	187.6	51.2	86.3	62.5	86.0	131.7	87.6	107.2	32.9	71.6	70.4	79.8

出所：財務省関税局『貿易統計』から作成。

(注) p: 速報値

関連産業指標推移

(単位：台)

(単位：億円)

年月	四輪自動車生産		四輪完成車輸出		新車登録・軽自動車販売		建設機械生産		産業車輛生産		機械受注額	産業機械受注額	工作機械受注額
	うちトラック	うちトラック	うちトラック	うちトラック	うちトラック	うちトラック	ブルドーザ	パワーショベル	フォークリフト	ショベルトラック			
'18 暦年	9,729,594	1,257,111	4,817,470	350,091	5,272,067	867,205	-	192,131	121,971	12,099	105,091	50,701	18,158
'19 暦年	9,684,294	1,232,917	4,818,132	324,973	5,195,216	880,539	-	192,203	110,794	10,972	104,323	48,441	12,299
'18 年度	9,750,021	1,265,838	4,837,553	347,731	5,259,589	882,342	-	197,549	122,145	12,318	104,364	52,276	16,891
'19 年度	9,489,302	1,196,578	4,714,027	318,555	5,038,727	852,328	-	190,374	111,919	9,935	104,036	47,879	10,995
'19年 9月	828,889	102,274	400,971	30,382	548,209	88,107	-	18,405	10,522	1,246	8,549	4,273	990
10月	778,590	99,359	404,811	25,549	314,798	54,098	-	14,710	7,524	1,083	8,279	3,752	875
11月	804,523	102,272	413,054	26,242	385,858	69,337	-	8,433	5,006	510	9,261	3,829	817
12月	725,296	93,618	399,262	25,657	344,875	59,614	-	11,767	7,679	700	8,157	3,877	901
'20年 1月	762,315	94,008	334,800	20,756	360,103	58,146	-	16,165	9,725	668	8,394	2,374	808
2月	769,161	93,628	393,610	28,047	430,185	66,949	-	15,546	10,037	530	8,585	3,092	774
3月	828,702	101,105	379,956	29,910	581,438	94,067	-	17,985	11,309	544	8,547	9,343	772
4月	438,770	70,985	193,602	17,626	270,393	50,389	r	13,187	10,203	516	7,526	3,754	561
5月	308,061	54,356	119,920	12,834	218,285	43,470	-	9,582	7,774	599	7,650	2,448	512
6月	-	-	200,080	14,274	347,371	62,928	-	14,067	8,868	671	7,066	3,258	672
前月比	-	-	166.8	111.2	159.1	144.8	-	146.8	114.1	112.0	92.4	133.1	131.1
前年同月比	-	-	48.2	50.5	77.1	76.4	-	78.7	84.8	72.3	74.7	83.8	67.9

出所：四輪自動車生産、四輪完成車輸出は(一社)日本自動車工業会『自動車統計月報』、
 新車登録は(一社)日本自動車販売協会連合会『新車・月別販売台数(登録車)』、
 軽自動車販売は(一社)全国軽自動車協会連合会『軽四輪車新車販売確報』、
 建設機械生産、産業車輛生産は『経済産業省生産動態統計』、
 機械受注額は内閣府『機械受注統計調査』、産業機械受注額は(一社)日本産業機械工業会『産業機械受注状況』、
 工作機械受注額は(一社)日本工作機械工業会『受注実績調査』

(注) r: 訂正値

特殊鋼需給統計総括表

2020年6月分

鋼種別	項目	月別					
		実数 (t)	前月比 (%)	前年同月比(%)	2015年基準指数(%)		
工 具 鋼	熱間圧延鋼材生産	10,514	83.9	57.7	51.0		
	鋼材輸入実績	415	89.4	149.9	134.5		
	販売業者	受入計	14,245	121.3	58.8	52.8	
		販売計	13,412	121.4	56.9	51.1	
		うち消費者向	10,738	121.3	54.8	56.8	
		在庫計	79,070	101.1	106.7	133.9	
	鋼材輸出船積実績	2,783	112.3	90.2	58.4		
	生産者工場在庫	10,577	92.7	110.1	127.5		
	総在庫	89,647	100.0	121.6	133.1		
	構 造 用 鋼	熱間圧延鋼材生産	331,525	91.7	45.9	48.5	
販売業者		受入計	189,697	103.4	51.0	29.0	
		販売計	194,339	119.4	54.0	29.7	
		うち消費者向	155,292	118.4	54.2	35.4	
		在庫計	448,778	99.0	101.2	127.5	
鋼材輸出船積実績		46,729	106.0	55.6	56.9		
生産者工場在庫		347,605	95.2	83.0	99.4		
総在庫		796,383	97.3	9.2	113.5		
ば ね 鋼		熱間圧延鋼材生産	18,877	154.9	51.9	52.5	
		鋼材輸入実績	1,169	307.3	187.6	286.9	
	販売業者	受入計	4,365	108.6	87.1	20.6	
		販売計	4,112	109.7	84.9	19.6	
		うち消費者向	1,578	111.8	47.5	33.9	
		在庫計	12,674	102.0	98.0	103.8	
	鋼材輸出船積実績	5,625	50.3	38.9	35.8		
	生産者工場在庫	20,266	115.9	73.3	78.5		
	総在庫	32,940	110.2	81.2	86.6		
	ス テ ン レ ス 鋼	熱間圧延鋼材生産	143,666	84.0	66.5	62.6	
鋼材輸入実績		15,734	80.3	87.6	108.7		
販売業者		受入計	73,051	67.7	58.1	29.1	
		販売計	67,881	66.7	54.9	27.0	
		うち消費者向	24,251	37.6	35.5	43.4	
		在庫計	194,662	102.7	106.0	142.4	
鋼材輸出船積実績		67,647	112.7	94.5	77.1		
生産者工場在庫		128,651	105.0	92.1	111.7		
総在庫		323,313	103.6	100.0	128.3		
快 削 鋼		熱間圧延鋼材生産	21,898	84.2	42.3	42.7	
	販売業者	受入計	7,145	116.9	56.9	50.5	
		販売計	6,542	142.4	55.3	45.5	
		うち消費者向	6,292	139.0	38.7	45.2	
		在庫計	17,213	103.6	129.5	127.2	
	鋼材輸出船積実績	6,897	102.1	66.3	72.1		
	生産者工場在庫	22,304	83.1	79.8	80.4		
	総在庫	39,517	90.9	95.8	95.7		
	高 抗 張 力 鋼	熱間圧延鋼材生産	245,049	100.9	52.3	59.4	
		販売業者	受入計	4,346	126.0	60.5	42.3
販売計			4,159	124.6	54.8	40.9	
うち消費者向			3,282	126.8	57.3	49.0	
在庫計			10,455	101.8	97.9	95.4	
生産者工場在庫		129,105	97.7	65.0	68.1		
総在庫		139,560	98.0	66.7	69.6		
そ の 他		熱間圧延鋼材生産	53,725	85.6	40.4	38.8	
		販売業者	受入計	22,261	84.9	51.4	54.9
			販売計	24,520	118.2	60.9	60.5
	うち消費者向		22,427	126.9	60.7	61.0	
	在庫計		67,811	96.8	97.4	127.6	
	生産者工場在庫	46,659	91.8	74.3	67.4		
	総在庫	114,470	94.7	86.5	93.6		
	特 殊 鋼 鋼 材 合 計	熱間圧延鋼材生産合計	825,254	92.8	50.1	52.5	
		鋼材輸入実績計	34,414	46.0	79.8	42.4	
		販売業者	受入計	315,110	91.9	53.4	31.0
販売計			314,965	102.3	55.1	31.0	
うち消費者向			223,860	97.0	51.8	38.9	
在庫計			830,663	100.0	102.8	130.3	
鋼材輸出船積実績計		374,851	88.7	64.3	58.3		
生産者工場在庫		705,167	97.1	79.7	89.7		
総在庫		1,535,830	98.7	90.7	107.9		

出所: 鋼材輸入実績及び鋼材輸出船積実績は財務省関税局『貿易統計』、

それ以外は経済産業省『経済産業省生産動態統計』、『鉄鋼生産内訳月報』、但し総在庫は特殊鋼倶楽部で計算。

(注) 総在庫とは販売業者在庫に生産者工場在庫を加算したもの、生産者工場在庫は熱間圧延鋼材のみで、冷間圧延鋼材及び鋼管を含まない。また、工場以外の置場にあるものは、生産者所有品であってもこれに含まない。

倶楽部だより

(2020年6月1日～7月31日)

総会 (6月30日・書面審議)

- ①2019年度事業報告について
- ②2019年度決算について
- ③役員選任について

理事会

第1回 (6月12日・書面審議)

- ①2019年度事業報告について
- ②2019年度決算について
- ③役員選任について
- ④総会書面表決の実施について

第2回 (6月30日・オンライン・電話会議)

- ①副会長の選定について
- ②2021年賀詞交換会について

運営委員会

第2回 (6月23日・オンライン・電話会議)

2021年賀詞交換会について

海外委員会

専門部会 (6月18日・Web会議)

- ①2019年度調査事業「ロシアの特殊鋼需給動向調査」最終報告
- ②2020年度調査事業について

市場開拓調査委員会

本委員会 (7月27日・Web会議)

- ①2019年度活動報告
- ②2020年度活動計画の検討

調査WG (6月9日・Web会議)

- ①2019年度調査事業「建設機械の需要動向調査」最終報告
- ②2020年度調査事業について (ブレインストーミング)

関西高機能金属展出展キックオフミーティング (7月21日・Web会議)

- ①スケジュール確認
- ②各社出展内容の紹介
- ③ブース内レイアウト決定
- ④情報交換

編集委員会

本委員会 (7月1日・Web会議)

11月号特集「腐食・防食 (仮題)」の編集方針、内容の確認

小委員会 (6月16日・Web会議)

11月号特集「腐食・防食 (仮題)」の編集内容の検討

小委員会 (7月30日・Web会議)

2021年1月号特集「溶接 (仮題)」の編集内容の検討

流通委員会

説明会 (7月9日)

演 題：2020年度第2・四半期の特殊鋼需要見通し

講 師：経済産業省 製造産業局 金属課
課長補佐 篠原 康人 氏

方 式：オンライン配信

参加者：51名

[大阪支部]

定時総会 (6月19日・書面審議)

- ①2019年度事業・決算報告
- ②2020年度事業計画 (案)・収支予算 (案)・役員体制 (案) 承認

[名古屋支部]

定時総会 (6月2日・書面審議)

- ①2019年度事業・決算報告
- ②2020年度事業計画 (案)・収支予算 (案)・役員体制 (案) 承認

特殊鋼倶楽部の動き

「副会長交代について」

去る6月30日（火）において、特殊鋼倶楽部の2020年度第2回理事会をオンライン・電話会議により開催し、副会長の交代による新副会長が選定されました。

【新任副会長】

山下 敏明 氏（大同特殊鋼株式会社 取締役常務執行役員）

樋 巳芳 氏（辰巳屋興業株式会社 代表取締役社長）

【退任副会長】

立花 一人 氏（大同特殊鋼株式会社 代表取締役副社長執行役員）

佐久間 貞介 氏（佐久間特殊鋼株式会社 代表取締役執行役員社長）

一般社団法人特殊鋼倶楽部 三役名簿

2020年6月30日付

	役 名	氏 名	会 社 名	役 職 名
	会長（代表理事）	樋 口 眞 哉	山陽特殊製鋼(株)	代表取締役社長
新任	副会長	山 下 敏 明	大 同 特 殊 鋼 (株)	取締役常務執行役員
新任	副会長	樋 巳 芳	辰 巳 屋 興 業 (株)	代表取締役社長
	副会長	宇都宮 悟	三井物産スチール(株)	代表取締役社長
	専務理事（代表理事）	小 澤 純 夫	(一社)特殊鋼倶楽部	事 務 局 長

お知らせ

～関西高機能金属展に特殊鋼倶楽部として初出展～

第7回 関西高機能 金属展

会期：2020年10月7日(水)～9日(金)

時間：10:00～18:00 9日(金)のみ17:00終了 会場：インテックス大阪

主催：リードエグジジションジャパン(株) 協賛：(一社)特殊鋼倶楽部

特殊鋼倶楽部では、ユーザー業界での「特殊鋼の本当の価値」の理解を深めていく事業の一環として、例年、東京で開催される「高機能金属展」に出展しております。

今回、市場開拓調査委員会において検討の結果、関西圏で初めて「第7回関西高機能金属展」に出展することにしました。

会場では、東京と同様に、特殊鋼倶楽部ブースにて、特殊鋼商品知識の普及及び啓蒙、特殊鋼倶楽部及び会員会社の紹介、会員会社の出展ブース会場案内図、当倶楽部出版物配布、共同出展される会員会社の製品・サービスを展示します。

是非ともご来場下さい。お待ちしております。

【特殊鋼倶楽部ブース位置：55-8】

弊社が出展します！

第7回 関西 高機能 金属展

金属材料・金属加工機などが出展

会期：2020年10月7日[水]～9日[金]

会場：インテックス大阪

【倶楽部ブース内会員会社展示】

- ・秋山精鋼株式会社 様
 - ・三菱製鋼株式会社 様
- (上記、五十音順)

また、専門技術セミナーで我が国特殊鋼の優れた技術水準をPRする予定です。

◆専門技術セミナー

日	時	テ ー マ	講 師	
10月8日(木)	10:00～10:45	高機能金属粉末の開発の現状と適用事例	山陽特殊製鋼(株)	相川芳和 氏
	11:45～12:30	引抜き鋼材の残留応力制御～切削後の部品変形低減技術～	秋山精鋼(株)	西田 智 氏

一般社団法人特殊鋼倶楽部 会員会社一覧

(社名は50音順)

<p>[会 員 数]</p> <p>(正 会 員)</p> <p>製造業者 25社</p> <p>販売業者 103社</p> <p>合 計 128社</p>	【販売業者会員】		
<p>【製造業者会員】</p> <p>愛 知 製 鋼 (株)</p> <p>秋 山 精 鋼 (株)</p> <p>(株)川口金属加工</p> <p>高周波熱錬(株)</p> <p>(株)神戸製鋼所</p> <p>合同製鐵(株)</p> <p>山陽特殊製鋼(株)</p> <p>J F E スチール(株)</p> <p>J X 金 属 (株)</p> <p>下村特殊精工(株)</p> <p>大同特殊鋼(株)</p> <p>高砂鐵工(株)</p> <p>東北特殊鋼(株)</p> <p>日鉄ステンレス(株)</p> <p>日 本 金 属 (株)</p> <p>日本高周波鋼業(株)</p> <p>日 本 精 線 (株)</p> <p>日 本 製 鉄 (株)</p> <p>日本冶金工業(株)</p> <p>日 立 金 属 (株)</p> <p>(株)広島メタル&マシナリー</p> <p>(株)不二越</p> <p>三 菱 製 鋼 (株)</p> <p>ヤマシンスチール(株)</p> <p>理 研 製 鋼 (株)</p>	<p>愛 鋼 (株)</p> <p>青 山 特 殊 鋼 (株)</p> <p>浅 井 産 業 (株)</p> <p>東 金 属 (株)</p> <p>新 井 ハ ガ ネ (株)</p> <p>粟 井 鋼 商 事 (株)</p> <p>伊 藤 忠 丸 紅 鉄 鋼 (株)</p> <p>伊 藤 忠 丸 紅 特 殊 鋼 (株)</p> <p>井 上 特 殊 鋼 (株)</p> <p>(株) U E X</p> <p>確 井 鋼 材 (株)</p> <p>ウ メ ト ク (株)</p> <p>扇 鋼 材 (株)</p> <p>岡 谷 鋼 機 (株)</p> <p>カ ネ ヒ ラ 鉄 鋼 (株)</p> <p>兼 松 (株)</p> <p>兼松トレーディング(株)</p> <p>(株) カ ム ス</p> <p>(株)カワイスチール</p> <p>川 本 鋼 材 (株)</p> <p>北 島 鋼 材 (株)</p> <p>ク マ ガ イ 特 殊 鋼 (株)</p> <p>ケー・アンド・アイ特殊管販売(株)</p> <p>小 山 鋼 材 (株)</p> <p>佐 久 間 特 殊 鋼 (株)</p> <p>櫻 井 鋼 鐵 (株)</p> <p>佐 藤 商 事 (株)</p> <p>サ ハ シ 特 殊 鋼 (株)</p> <p>(株) 三 悦</p> <p>三 協 鋼 鐵 (株)</p> <p>三 京 物 産 (株)</p> <p>三 興 鋼 材 (株)</p> <p>三 和 特 殊 鋼 (株)</p> <p>J F E 商 事 (株)</p> <p>芝 本 産 業 (株)</p> <p>清 水 金 属 (株)</p> <p>清 水 鋼 鐵 (株)</p> <p>神 鋼 商 事 (株)</p> <p>住 友 商 事 (株)</p>	<p>住友商事グローバルメタルズ(株)</p> <p>大 同 興 業 (株)</p> <p>大同DMソリューション(株)</p> <p>大 洋 商 事 (株)</p> <p>大 和 興 業 (株)</p> <p>大 和 特 殊 鋼 (株)</p> <p>(株)竹内ハガネ商行</p> <p>孟 鋼 鉄 (株)</p> <p>田 島 ス チ ール (株)</p> <p>辰 巳 屋 興 業 (株)</p> <p>千 曲 鋼 材 (株)</p> <p>(株)テクノタジマ</p> <p>(株) 鐵 鋼 社</p> <p>デルタステール(株)</p> <p>東京貿易マテリアル(株)</p> <p>(株) 東 信 鋼 鉄</p> <p>(株) ト ー キ ン</p> <p>特 殊 鋼 機 (株)</p> <p>豊 田 通 商 (株)</p> <p>中 川 特 殊 鋼 (株)</p> <p>中 野 ハ ガ ネ (株)</p> <p>永 田 鋼 材 (株)</p> <p>名 古 屋 特 殊 鋼 (株)</p> <p>ナ ス 物 産 (株)</p> <p>南 海 鋼 材 (株)</p> <p>日 金 ス チ ール (株)</p> <p>日 鉄 物 産 (株)</p> <p>日鉄物産特殊鋼西日本(株)</p> <p>日 本 金 型 材 (株)</p> <p>ノ ボ ル 鋼 鉄 (株)</p> <p>野 村 鋼 機 (株)</p> <p>白 鷺 特 殊 鋼 (株)</p> <p>橋 本 鋼 (株)</p> <p>(株)長谷川ハガネ店</p> <p>(株)ハヤカワカンパニー</p> <p>林 田 特 殊 鋼 材 (株)</p> <p>阪 神 特 殊 鋼 (株)</p> <p>阪 和 興 業 (株)</p> <p>日 立 金 属 工 具 鋼 (株)</p>	<p>日 立 金 属 商 事 (株)</p> <p>(株)日立ハイテク</p> <p>(株) 平 井</p> <p>(株) フ ク オ カ</p> <p>藤 田 商 事 (株)</p> <p>古 池 鋼 業 (株)</p> <p>(株) プ ル ー タ ス</p> <p>(株)堀田ハガネ</p> <p>(株)マクスコーポレーション</p> <p>松 井 鋼 材 (株)</p> <p>三 沢 興 産 (株)</p> <p>三 井 物 産 (株)</p> <p>三井物産スチール(株)</p> <p>(株) メ タ ル ワ ン</p> <p>(株)メタルワンチューブラー</p> <p>(株)メタルワン特殊鋼</p> <p>森 寅 鋼 業 (株)</p> <p>(株)山一ハガネ</p> <p>山 進 産 業 (株)</p> <p>ヤ マ ト 特 殊 鋼 (株)</p> <p>山 野 鋼 材 (株)</p> <p>陽 鋼 物 産 (株)</p> <p>菱 光 特 殊 鋼 (株)</p> <p>リ ン タ ツ (株)</p> <p>渡 辺 ハ ガ ネ (株)</p>

“特集” 編集後記

塑性加工は工業製品製造において、重要な技術になると考えています。塑性加工と言っても、定義は広く、鍛造、半溶融加工、粉末冶金、接合、押出加工等があります。その中でも鍛造はまだまだ広く活用されている加工方法であり、また、部品の高機能化・軽量化を達成するために新たな鍛造技術開発が進められています。そのため、今回は塑性加工の中でも主に鍛造加工として特集しました。

鍛造加工に重点をおいた特集は2015年の「鍛造と特殊鋼」で特集していますが、今後も鍛造加工技術は重要と考えているため、改めて鍛造に主眼をおいた特集を今回企画し、鍛造に関わる多くの

方に分かりやすく執筆いただきました。また、本特集は前述のように鍛造加工を主としていますが、それ以外にも重要な加工と考えているプレス加工の一部についても解説しております。

本特集にて、鍛造、プレス成形等について、理解を深めていただき、今後の活躍のきっかけに少しでも貢献出来れば幸いと存じます。

最後に本特集を発刊するにあたり、(一社)日本鍛造協会様には非常に多大なご協力をいただきました。紙面を借りて、厚く御礼申し上げます。

〔愛知製鋼(株) 品質保証部 お客様品質・技術室 主任職 うだがわたくし 宇田川毅志〕

特 集 / やさしく知る腐食・防食

- I. 総論 腐食防食の基礎
- II. 環境の腐食作用
- III. 耐食材料
- IV. 会員メーカーの特徴ある耐食材料

1月号特集予定…最近の溶接技術と接合用材料

特 殊 鋼

第 69 卷 第 5 号
© 2 0 2 0 年 9 月
2020年8月25日 印 刷
2020年9月1日 発 行

定 価 1,252円 送 料 200円
1年 国内7,434円 (送料共)

発 行 所
一般社団法人 特殊鋼倶楽部
Special Steel Association of Japan

〒103-0025 東京都中央区日本橋茅場町3丁目2番10号 鉄鋼会館
電 話 03(3669)2081・2082
ホームページURL <http://www.tokushuko.or.jp>

編集発行人 小 澤 純 夫
印刷人 増 田 達 朗
印刷所 レタープレス株式会社

本誌に掲載されたすべての内容は、一般社団法人 特殊鋼倶楽部の許可なく転載・複写することはできません。