

特殊鋼[®]

2024 5
Vol.73 No.3
The Special Steel

特集

鍛造技術の今

特殊鋼

| 5 |

目次

2024

【編集委員】

委員長	迫間 保弘 (大同特殊鋼)
副委員長	白神 哲夫 (中川特殊鋼)
委員	平地 伸吾 (愛知製鋼)
〃	斎藤 隆 (神戸製鋼所)
〃	西森 博 (山陽特殊製鋼)
〃	深瀬美紀子 (大同特殊鋼)
〃	松原 大 (日本製鉄)
〃	竹内 俊哉 (日本金属)
〃	黒川 政人 (日本高周波鋼業)
〃	佐藤 正昭 (日本冶金工業)
〃	上野 友典 (プロテリアル)
〃	佐山 博信 (三菱製鋼)
〃	阿部 泰 (青山特殊鋼)
〃	高橋 秀幸 (伊藤忠丸紅特殊鋼)
〃	番場 義信 (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／鍛造技術の今】

I. 総論

1. 鍛造概論	大阪大学	小坂田宏造	1
2. 鍛造業界の現状	一般社団法人日本鍛造協会	鈴木 太	6
3. 自動車部品の鍛造	トヨタ自動車(株)	小浜 孝行	13

II. 鍛造用鋼材

1. 鍛造用条鋼	(株)神戸製鋼所	高知 琢哉	17
2. 鍛造用ステンレス鋼	大同特殊鋼(株)	高橋 伸幸	22

III. 鍛造技術

1. サーボプレスを活用した鍛造技術	日本製鉄(株)	成宮 洋輝	25
2. e-Axle部品の冷鍛成形開発事例	愛知製鋼(株)	岩崎 一真	30
3. アイアングルフヘッドの精密鍛造	ミズノ(株)	土井 一宏	34
4. 熱間鍛造におけるダイレクト式サーボプレスと 複動成形による多品種成形	(株)栗本鐵工所	寺川 直人	38
5. 最近のフォーマーの動向	(株)阪村機械製作所	黒川 則夫	42

IV. 鍛造周辺技術

1. 鍛造用金型（熱間・冷間）用鋼	日本高周波鋼業(株)	谷井 一也	47
2. ウェットブラスト＋非化成潤滑剤による 冷間鍛造前潤滑処理	マコー(株)	橘 和寿	51

“特集”編集後記	愛知製鋼(株)	平地 伸吾	70
----------	---------	-------	----

■業界のうごき	56
▲特殊鋼統計資料	59
★倶楽部だより（2024年2月1日～3月31日）	63
☆特殊鋼倶楽部の動き	66
◇お知らせ 2024年経済産業省企業活動基本調査に御協力ください	67
2024年「経済構造実態調査」にご協力ください	68
☆一般社団法人特殊鋼倶楽部 会員会社一覧	69
「特殊鋼」定価・年間購読料改定のお知らせ	71

【お詫びと訂正】

「特殊鋼」誌 Vol. 73 No. 2（2024. 3）掲載の「特集／「特殊鋼の切断と最新動向」に関する編集会議構成メンバー（2023年9月22日現在）」の記載中に誤りがありました。

深くお詫び申し上げますとともに、下記のとおり訂正させていただきます。

項目：編集委員

〔誤〕 上野友典（株）プロテリアル 金属材料事業本部 冶金研究所長 兼 特殊鋼研究部長

〔正〕 上野友典（株）プロテリアル 特殊鋼事業部 技術部長

特集／「鍛造技術の今」に関する編集会議構成メンバー（2023年11月21日現在）

役 名	氏 名	会 社 名	役 職 名
編 集 長	平地 伸吾	愛 知 製 鋼（株）	品質保証部 お客様品質・技術室 チーム長
委 員	斎藤 隆	（株）神 戸 製 鋼 所	鉄鋼アルミ事業部門 線材条鋼ユニット 線材条鋼商品技術部 主任部員
〃	西森 博	山陽特殊製鋼（株）	東京支社部長 市場開拓・CS
〃	深瀬美紀子	大 同 特 殊 鋼（株）	技術開発研究所 企画室 主任部員
〃	松原 大	日 本 製 鉄（株）	棒線事業部 棒線技術部 棒線技術室 室長
〃	竹内 俊哉	日 本 金 属（株）	技術部門 技術部 部長
〃	谷井 一也	日本高周波鋼業（株）	富山製造所 技術部 開発室 課長
〃	佐山 博信	三 菱 製 鋼（株）	技術開発センター 研究第一グループ グループ長
〃	高橋 秀幸	伊藤忠丸紅特殊鋼（株）	特殊鋼本部 前橋支店 支店長
〃	白神 哲夫	中 川 特 殊 鋼（株）	フェロー

鍛造技術の今

I. 総論

1. 鍛造概論

大阪大学 名誉教授 小坂田 宏 造

◇ 日本における鍛造の発展

第二次大戦で壊滅した日本の鍛造産業は、乗用車の国内生産が始まった1960年ごろに欧米先進国から技術導入を始めた。自動車の国内生産の順調な増加に助けられて、鍛造設備や鍛造用鋼材などの日本の鍛造技術は1980年ごろに先進国に追いつき、温間鍛造などでは世界に先駆けて新技術を使用するようになった。

その後も、自動車の国内生産が急速に増加するとともに鍛造品の生産量も増えていった。しかし、1990年ごろから始まった円高により輸出競争力がなくなり、国内自動車会社は海外生産を増加していった。これに伴い、鍛造部品の現地調達が多くなり、多くの鍛造企業が海外生産をするようになった。

海外生産ではロット数が小さく、ライン停止への柔軟な対応が難しいため、鍛造の海外生産は出遅れていたが、鍛造設備のコンパクト化など、海外生産に適した鍛造設備や鍛造工程が開発され使われるようになった¹⁾。

2000年以後、自動車用の鍛造品に大きな変化がなかったため、現在も2000年以前に開発された鍛造技術が多く用いられている。2000年頃から自動車の衝突安全規制が厳しくなり自動車部品の高強度化がはじまった。また、CO2排出規制が強化され自動車部品の軽量化が進められ中空品や板材の鍛造が行なわれるようになった。

2015年に起きたドイツ企業のディーゼル車の排気検査不正から欧州はバッテリー電気自動車(BEV)推進に方針転換して、2035年以後ハイブリッド車(HEV)を含む内燃機関車の販売を禁止し、日本はBEV化に取り残されるという危機感が広がった。しかし、エネルギー危機で電気代が高騰し電池生産での環境負荷が疑問視されるようになり、最近では利便性や価格が評価されたHEVの売り上げが欧州でも増えている。

BEVになるとエンジンがなくなり鍛造品は大幅に少なくなるが、HEVでは鍛造品はエンジン部品としても不可欠であるため鍛造業としては一息つける。しかし将来は電氣化して行くことは確実であるため、電氣化へ対応する鍛造技術の開発は不可欠である。

◇ 鍛造設備

(1) 鍛造機械

鍛造機械にはハンマー、油圧プレス、機械プレスなどの縦型機械と、「フォーマ」と呼ばれる横型機械とがある。1965年ごろまではハンマー鍛造が主流であったが、順次機械プレスに置き換えられ生産速度が向上した。フォーマは高速生産に向いているため小型品の大量生産品にはフォーマが使われている。生産性向上には、素材の投入・搬出や自動搬送設備のロボット化や全自動化、鍛造製品の検査の自動化も不可欠である。

三菱重工は1970年代に多軸鍛造用の油圧サーボプレスを開発し「閉塞鍛造」を可能にしたが、1990年ごろから多軸駆動を用いる背圧鍛造、分流鍛造などの新しい鍛造方法が日本で開発された。1997年にコマツが機械サーボプレスを発売してから各種の機械サーボプレスが販売されて鍛造に利用されるようになった。機械サーボプレスは1ストローク中の速度を自由に変えることができることが特徴であり、これを応用して冷間鍛造品の精度を向上させることも行われるようになった²⁾。

(2) 工具材料

冷間鍛造工具には冷間工具鋼SKD11が使用されていたが、1980年ごろから疲労寿命の長い高速度鋼（ハイス）が使用されるようになり、さらに高強度の粉末ハイスや高靱性のマトリックスハイスも開発された。高硬度材料としてWC-Co系の超硬合金も使用されていたが、その高い弾性係数を利用して工具の弾性変形を小さくして冷間鍛造製品の精度を上げるためにも超硬合金金型が用いられるようになった。1990年頃から、CVDやCVDによるTiCNなどの硬質膜コーティングが冷間鍛造工具に施されるようになった。

600℃以上になると鋼系材料は軟化し、超硬合金は酸化のために使用が困難になる。熱間鍛造では熱間工具鋼SKD61の金型を用い、素材との接触時間を短くし工具を水冷して温度上昇を抑えている。より高温ではニッケル合金やセラミックスが用いられるが、工具価格が非常に高くなるために高温環境に耐える工具材料の出現が求められている³⁾。

◇ 冷間鍛造

(1) 鍛造方法

金属学的には再結晶温度以下の加工を冷間加工と言うが、実務では室温の鍛造を冷間鍛造、素材を加熱する場合を温間鍛造と呼ぶ。釘の頭の成形のような据込み型の冷間鍛造は1840年代の英国で始まったが、押出し型の鍛造では焼付きを生じるため鋼の冷間鍛造は長年不可能であった。1930年代のドイツで素材にリン酸亜鉛皮膜処理を行って焼付きを防ぎ、冷間押出しが可能になった。冷間鍛造は1950年ごろに日本に導入されて自転車や自動車二輪車の部品に、1960年頃から自動車部品に適用され始めた。1980年頃に日本の冷間鍛造技術レベ

ルは先進国に追い付き2000年頃に世界の先頭に立った。

冷間鍛造では製品精度は高いが、工具面圧が非常に高いため多工程で少しずつ加工する必要がある、場合によっては球状化焼鈍や中間焼鈍で材料を軟化する。

(2) 閉塞鍛造

冷間鍛造は主に回転対称形状部品の生産に用いられていたが、前輪駆動車に不可欠な等速ジョイントの異形部品の製造方法として「閉塞鍛造」が日本で始まった。閉塞鍛造は、上下の型を押付けて出来た型穴の中に上下のパンチで素材を押込んで側方に流す「側方押出し」である。押込み部の接触面積が一定であるので半密閉（バリだし）鍛造に比べ加工力は大幅に低く、傘歯車や等速ジョイント部品製造のために用いられている。この方法では上下パンチの動きと共に金型の閉め付けも必要であるため、1970年代に多軸プレスが開発されたが、最近では特別仕様の多軸ダイセットが多く使用されている。

(3) 分流鍛造

1990年ごろから歯車などの精度の高い製品が冷間押出しで加工できるようになり、さらに熱間や温間鍛造品を冷間鍛造で高精度に仕上げることも多くなった。冷間鍛造では加工圧力を低下させることが工程削減や製品精度向上に繋がるため、鍛造中に出来るだけ自由表面を多くして工具面圧を下げながら、最終的に未充填部を無くする方法として「分流鍛造」が開発された。

図1に分流の原理を利用して歯車を鍛造する工程を示す⁴⁾。第1工程の密閉鍛造で完全に充填するとパンチ圧力が非常に高くなるため、充填する前に終了して歯形に未充填部を残す。第2工程では中央のパンチを引いて内部に空間を作りながら外側のパンチで歯部を上下から圧縮し、歯の未充填部と内部空間の両方に材料が流れるようにして低いパンチ圧力で歯形を成形する。最近では、サーボプレスやダイクッションを用いて内外のパンチの動きを制御する方法が使われている。

(4) 板鍛造

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の複雑形状品が生産できない。板プレス成形と鍛造技術を組

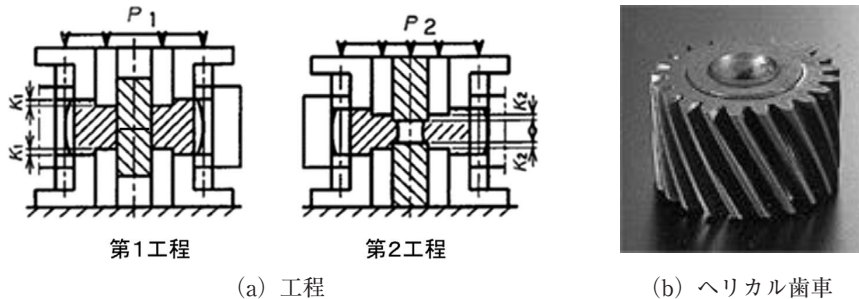


図 1 ヘリカル歯車の分流鍛造工程と製品

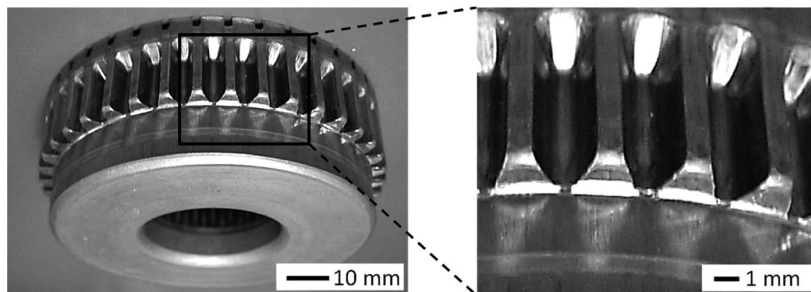


図 2 板鍛造によるスプロケット

み合わせる「板鍛造」が最近増えている。図2はエンジンバルブのタイミングシステムに用いられるスプロケットの板鍛造品である⁵⁾。板鍛造には複数の工具を独立に動かす油圧サーボプレスを用い、第1工程で穴あき円板を部分圧縮、深絞り、バーリング、圧縮して予備成形素材を作り、第2工程で歯車部の押し出し加工をして完成している。

(5) 一液潤滑

鋼の冷間鍛造にはリン酸亜鉛皮膜を素材表面に処理してアルカリ石鹼の潤滑剤と組み合わせて長年用いられてきた。しかし、皮膜処理の廃液やスラッジ（沈殿物）が環境へ与える負荷が大きいことが2000年頃から問題になり、「一液潤滑」と呼ばれる潤滑処理が開発された。一液潤滑には環境負荷の小さい樹脂系潤滑剤を用い、塗布、乾燥するだけで潤滑被膜を形成する。処理設備が小さく、素材の搬送設備と鍛造プレス間に設置するインライン処理が可能になり、急速に広まった⁶⁾。

(6) 今後期待される冷間鍛造技術

過去30年間の冷間鍛造の進歩は高精度化であり、最近ではヘリカル歯車の冷間鍛造も可能になっている。しかし、ヘリカル歯車ではスムーズな歯当

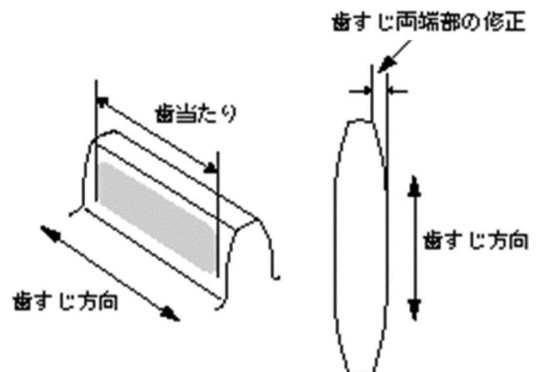


図 3 歯車のクラウニング

たりで騒音を防ぐために、図3に示すように歯の端をわずかに補正する「クラウニング」が必要であるが、冷間鍛造でクラウニングをつけると製品のノックアウトができなくなる。このために、冷間鍛造の最後に金型を弾性変形させてクラウニングを付与する方法も検討されているが実用化に至っておらず、冷間鍛造されたヘリカル歯車の利用率は小さい。冷間鍛造でクラウニング加工まで行えると、冷間鍛造ヘリカル歯車は大幅に増加する可能性がある。

自動車の軽量化のためには鍛造品を中空化するような鍛造方法が求められ、現在までに後方押出しされたカップや板材などの薄肉素材の冷間鍛造が行われている。軽量化には材料の高強度化が不可欠であり、高張力鋼板の板鍛造も考えられる。

◇ 熱間鍛造

(1) 鍛造温度

金属学的には再結晶が生じる温度での加工を「熱間加工」と言い、鉄鋼材料では約700℃の再結晶温度以上に素材を加熱する鍛造が熱間鍛造である。実務では素材を1000～1250℃に加熱する場合を熱間鍛造、700℃～1000℃に加熱した型鍛造を「亜熱間鍛造」と呼ぶこともある。

熱間の自由鍛造は紀元前から行われていたが、「型鍛造」は産業革命時代の1800年代にイギリスで蒸気ハンマーが開発されて始まり、当時の半密閉のバリだし鍛造が現在まで熱間型鍛造の中心的方法として使われている。

鋼の熱間鍛造では金型の熱負荷が大きいために、熱間工具鋼の焼戻し温度の約500℃以下に金型温度を保持しておく必要があり、加圧時間が短いクランクプレスを用い、大量の水で金型を冷却している。

(2) 非調質鋼

炭素鋼などの熱間鍛造品は鍛造後に冷却して、焼入れ焼戻し（調質）をして強度を保証してきた。焼入れ焼戻しは加熱のエネルギー消費が大きいことから、鍛造後に直接焼入れを行う「鍛造焼入れ」が1960年代から一部の部品で採用された。さらに、炭素鋼に0.1%程度の少量のパナジウムを添加した「非調質鋼」と言われる鋼種が1970年代のドイツで開発された。この鋼は熱間鍛造後に空冷するだけで調質材と同程度の強度を与えることができ、日本では1980年代以降にクランクシャフトなどに適用されて生産リードタイムの削減につながった。さらに、調質鋼の鍛造温度とその後の冷却パターンの組み合わせによる制御鍛造で製品特性を向上することも行われている。

(3) 焼結鍛造

1980年ごろから日本で最初に実用化に成功した鍛造技術の一つに「焼結鍛造」がある。これは鉄粉と黒鉛粉、銅粉などを混合した粉末の重量を制

御して圧粉・焼結し、熱間で密閉鍛造をする方法であり、高強度で重量管理が不可欠なコンロッドにトヨタが適用した。

(4) 熱間温度域における温間鍛造

再結晶温度以上であるが酸化膜が余り生じない700～900℃で行われる鍛造も「温間鍛造」と呼んでいる。温間鍛造は押出し中心の冷間鍛造方式であるが、再結晶などの材料挙動、潤滑方法、鍛造プレスは熱間鍛造と同じである。冷間鍛造で行われる中間焼鈍やリン酸亜鉛皮膜処理が不要であり、熱間鍛造品で不可欠な酸化スケールの切削除去の必要はなく、冷間と熱間の長所の組み合わせが可能である。しかし、熱間より荷重が高く、冷間より製品精度が低いいため適用できる製品は限られている。

図4は「アウターレース」と呼ばれる等速ジョイント部品⁷⁾であり、熱間鍛造品を切削で仕上げで製造されていた。溝部の切削加工コストが高いために1980年代初めに冷間鍛造化され、カップ内面の溝部形状を冷間鍛造のまま残して活用し、回転形状部を旋削する「ニヤネット鍛造技術」であった。同じ頃に大まかな形状を温間鍛造で作成した後に、冷間鍛造で形状を整えるサイジングを行う方法が小松製作所により提案され、アウターレースの主流の加工方法になっている。

(5) 離型剤と潤滑剤

熱間型鍛造の潤滑・離型のため水に分散したコロイド状黒鉛潤滑剤を金型に塗布していた。黒鉛は良好な潤滑剤であるが、鍛造現場の作業環境を黒くするため、切削加工などと組合せた一貫工程にできない。作業環境を汚さない潤滑剤が求められるようになったため、1990年頃に高分子系の非

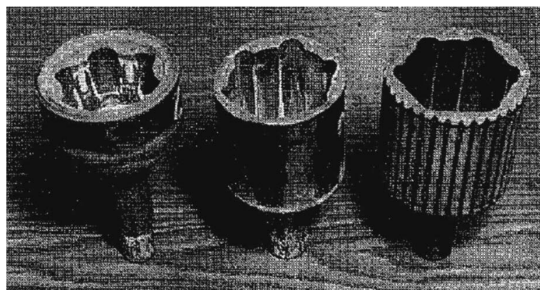


図 4 温間鍛造と冷間鍛造の組み合わせによる等速ジョイントのアウターレース

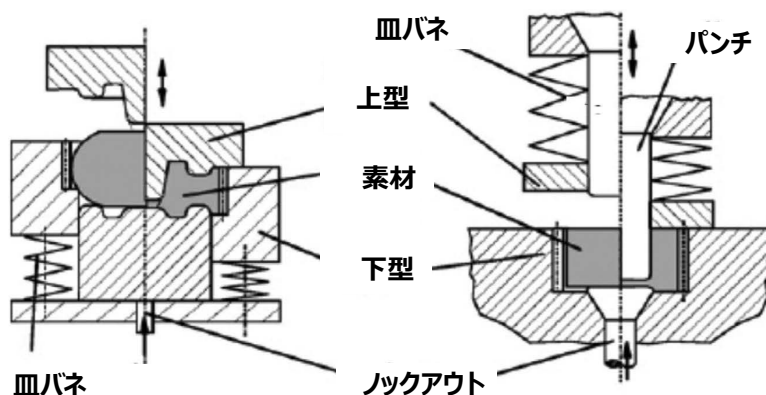


図 5 歯車の密閉熱間鍛造方法

黒鉛系の「白色潤滑剤」が開発された。白色潤滑剤の厚い乾いた被膜は低い摩擦係数を示し型寿命は長い、最適な潤滑膜生成には金型温度の高度な管理が不可欠である。

(6) 今後期待される熱間鍛造技術

熱間型鍛造の加工方式は、一部で用いられている小物部品のホットフォーマ鍛造以外はバリ出し鍛造がほとんどである。バリの体積は投入材料の20～40%にもなり、コストダウンのためにバリなしの熱間精密鍛造方法が注目されている。図5はドイツ・ハノーバ工科大学で研究されている精密熱間鍛造方法である⁸⁾。バネで押さえた工具が充滿時に逃げて、余剰材を逃がす方法であり、閉塞鍛造の一種と言える。

熱間の密閉鍛造や閉塞鍛造では高温の素材と工具の接触時間が長く、通常の熱間工具鋼の金型では寿命が短くなるため、高温に耐えて熱伝導が低く、素材を冷却しにくい工具材料の開発が必要である。

むすび

日本の製造業を苦しめてきた円高・デフレが収束し、海外生産を国内生産に戻す動きもあるが、自動車のグローバル生産が国内生産に戻る可能性は小さい。いずれにしても自動車の軽量化は重要課題であり、鍛造でも軽量化のための技術開発は不可欠である。さらに、新規分野として電気部品の鍛造化にも取り組む必要がある。

今までの日本の鍛造業は自動車産業の保護のもとに成長してきたが、今後は世界の競争の中で生き残り、成長する必要がある。その方法としては、形状・精度・材質などのオンリーワン鍛造製品を開発し、海外マーケットに進出することが考えられるが、それには技術開発や海外に対応できる高度な人材の育成が不可欠である。

参考文献

- 1) グローバル生産に向けた小ロット・コンパクト鍛造ラインの開発、森下弘一・ほか5名、塑性と加工、52-611 (2011)、1247-1251
- 2) インライン生産を実現する複動1ストロークプレスの実用化、堀智之：鍛造分科会・第40回鍛造実務講座、(2013)、32-35
- 3) 最新の脱WC・Co工具材料について、森章司：素形材、52-10 (2011)、18-21
- 4) 分流鍛造法を活用した歯形部品のネットシェイプ化、大賀喬一、村越文夫、安藤弘行、三吉宏治、近藤一義、塑性と加工、41-477 (2000)、1021-1025
- 5) A new forming method of solid bosses on a cup made by deep drawing, Wang, Z.G., Yoshikawa, Y., Osakada, K.: CIRP Annals-Manufacturing Technology, 62 (2013)、291-294
- 6) 一液潤滑化によるボンデ処理廃止、高橋寛和・ほか：IMS 2010第15回資源循環型ものづくりシンポジウム (2010)、140-147
- 7) 温・熱間鍛造部品の高精度化、安藤弘行、塑性と加工、33-382 (1992)、1245-1249
- 8) Precision forging processes for high-duty automotive components: Behrens, B.-A., Doege, E., Reinsch, S., Telkamp, K., Daehndel, H., Specker, A.: Journal of Materials Processing Technology, 185 (2007)、139-146

2. 鍛造業界の現状

一般社団法人日本鍛造協会 事務 鈴木 太

◇ 鍛造業の位置づけ

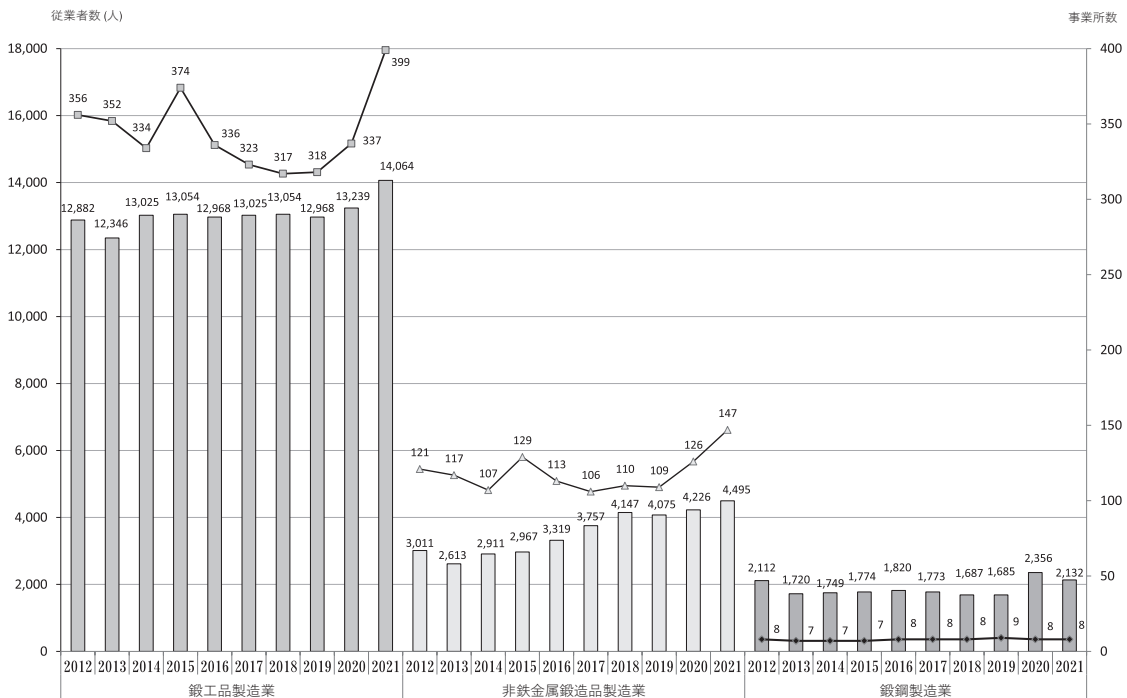
鍛造業は、日本標準産業分類で、鍛工品製造業、非鉄金属鍛造品製造業、鍛鋼製造業の3つに分類され、主として他から受け入れたビレットや棒鋼をハンマやプレスなどの鍛造機で鍛造品を生産している事業所が鍛工品製造業と言われ、これに対し、主として鋼塊を製造し、その鋼塊を直接ハンマやプレスなどの鍛造機で鍛造する事業所を鍛鋼品製造業とよんでいる。図1にそれぞれの事業所数、従業員推移を示す。

素材（材料）を鍛造、鋳造、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、部品や部材に求められる機械的性質などに応じ、顧客にとって最適な加工法が選ばれる。

素形材の分類を表1に示す。経済産業省工業統計の最新データである2021年（令和3年）における素形材産業の生産額は5,030,224百万円で、10年前の2011年（平成23年）に比べ17.5%増加している。鍛造業の生産額は768,845百万円、対2011年比10.9%増で、素形材産業全体の15.3%を占めている。うち、鍛工品製造業は、素形材製品全体の10.7%、出荷額は540,224百万円の実績である。

◇ 鍛工品製造業の現状について

鍛工品の生産量は、産油国における投資意欲の拡大、経済成長が目覚ましいアジア諸国をはじめとするそれらの国々における公共投資に伴うプラント及び受電産業の旺盛な需要増、活発な設備投資に伴う需要増等々を背景に、2007年（平成19年）



データ出所：経済産業省 工業統計 産業別

図 1 鍛造業における事業所数、従業員数の推移

表 1 素形材産業の規模

分 類	2011年出荷額 (百万円)	対合計比率 (%)	2021年出荷額 (百万円)	対合計比率 (%)
鍛 造	692,981	16.2	768,845	15.3
鍛工品製造業	505,062	11.8	540,224	10.7
非鉄金属鍛造品製造業	89,048	2.1	120,332	2.4
鍛鋼製造業	98,871	2.3	108,289	2.2
鑄 造	1,162,284	27.1	1,203,367	23.9
鋇鉄鑄物製造業	663,372	15.5	616,086	12.2
可鍛鑄鉄製造業	101,156	2.4	91,404	1.8
鑄鋼製造業	130,929	3.1	186,814	3.7
銅・同合金鑄物製造業	105,465	2.5	116,953	2.3
非鉄金属鑄物製造業	161,362	3.8	192,110	3.8
ダイカスト	567,637	13.3	682,030	13.6
アルミニウム・同合金ダイカスト製造業	538,595	12.6	635,835	12.6
非鉄金属ダイカスト製造業	29,042	0.7	46,195	0.9
金属プレス	1,590,677	37.1	2,034,219	40.4
アルミニウム・同合金プレス製品製造業	527,381	12.3	541,719	10.8
金属プレス製品製造業	1,063,296	24.8	1,492,500	29.7
粉末冶金	269,112	6.3	341,763	6.8
合 計	4,282,691	100.0	5,030,224	100.0

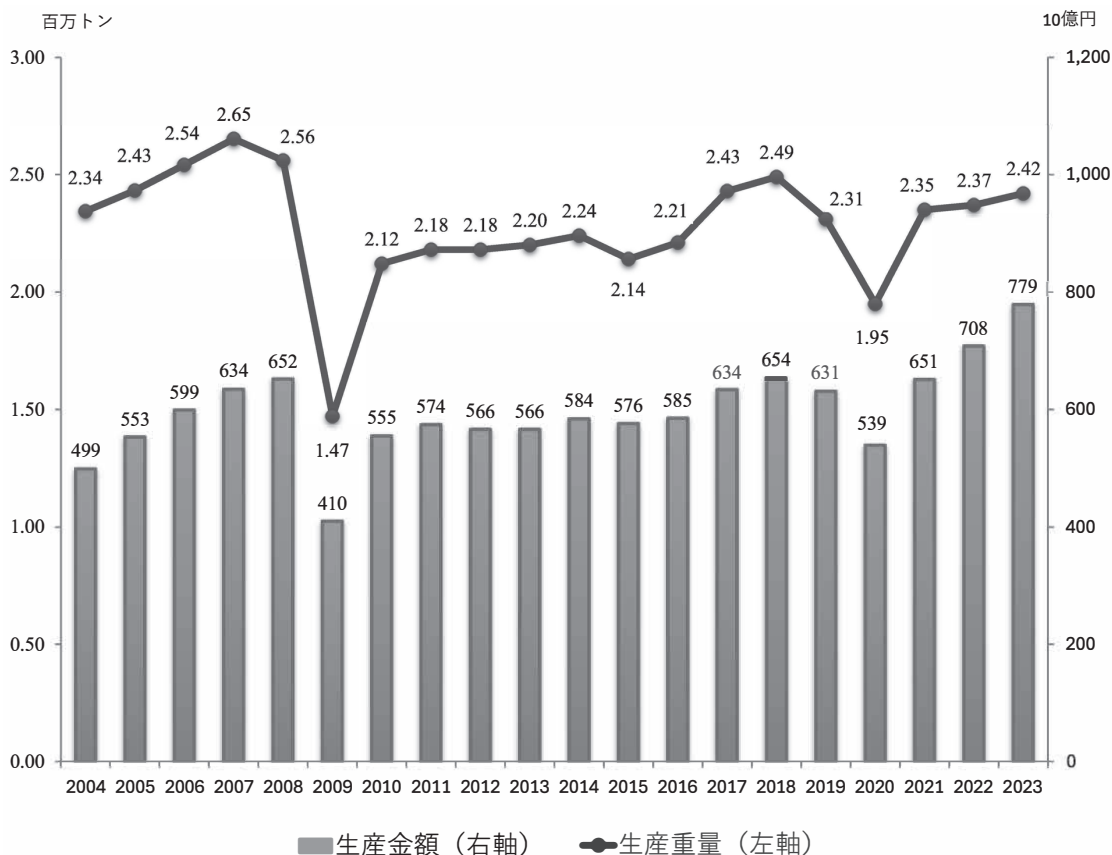
データ出所：経済産業省 工業統計「産業編」従業者4名以上の事業所

に最高実績となる265万トン記録した。その後、アメリカの金融危機に端を発した世界経済の急激な悪化に伴う輸出急減を受けて、前例のないペースでユーザー産業の生産が落込み、受注型産業である鍛造業界も大幅な需要減の影響を受けて急落し、その都度、環境問題、エネルギー問題、公共投資、資源開発、為替、自然災害等、といった国内外における様々な外的な要因によって鍛造品の需要は大きく左右されてきた。2022年（令和4年）は、オミクロン株によるコロナ感染拡大、ロシアのウクライナ侵攻によるエネルギー及び穀物価格の高騰、歴史的なインフレがもたらした株主と債券の同時安、米欧の相次ぐ利上げを受けての外国為替市場の円相場の円安加速、上海ロックダウン、欧米のインフレ加速と景気悪化の影響を受けた。2023年（令和5年）は、ロシア・ウクライナ戦争の長期化や欧州経済の低迷、堅調な米国経済がもたらす大幅な円安の進行、イスラエル・ハマス紛争、等々相変わらず世界情勢が不安定で不透明感が拭い去れない経済状況の中、2023年（令和5年）の生産量は2,421,587トン、生産金額は779,378百万円

の実績となった（図2）。

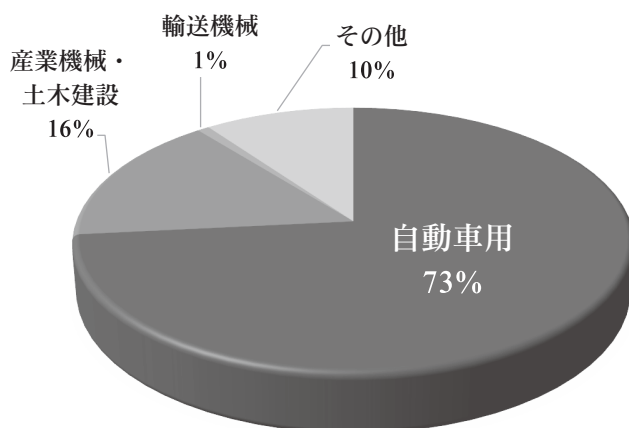
鍛工品の需要先は、自動車産業向け73%、産業機械・土木建設機械向けが16%、輸送機械1%、その他が10%と、鍛造業界は自動車産業に大きく依存している（図3）。各需要分野別の生産推移は図4の通り。鍛造業界の最大の需要先である自動車関連産業においては、平成19年前後から四輪車の海外生産が国内生産を上回り、ユーザーの現地調達及び海外生産によって、鍛工品の受注が大幅に減少することが懸念されたが、統計をみる限りでは、グローバルな競争のもとで、日本の鍛造業の安定した生産力をはじめ、技術力、高い品質、納期面等の優位性があると考えられる（図5）。

次に、世界における日本の生産量の位置づけは図6のとおりで、これらの数値は、あくまで各国鍛造協会の報告による実績値である。中国の生産量は1,356万トンと群を抜いている。次にインド268万トン、そして日本、ドイツ、アメリカ（カナダ、メキシコを含む）がほぼ同様な生産動向を示している。因みに、これらの生産実績に伴う中国の工場数は約450、従業員総数約130,000人、イン



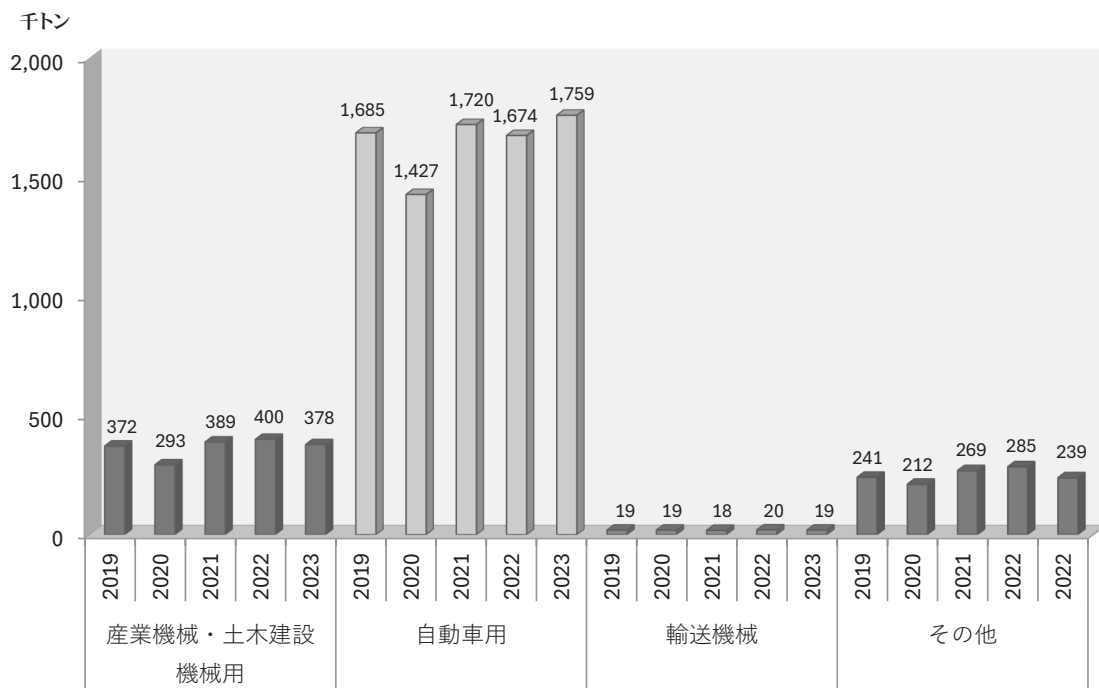
データ出所：経済産業省経済産業政策局 調査統計部 「鉄鋼・非鉄金属・金属製品統計月報」

図 2 鍛工品生産重量及び生産金額推移



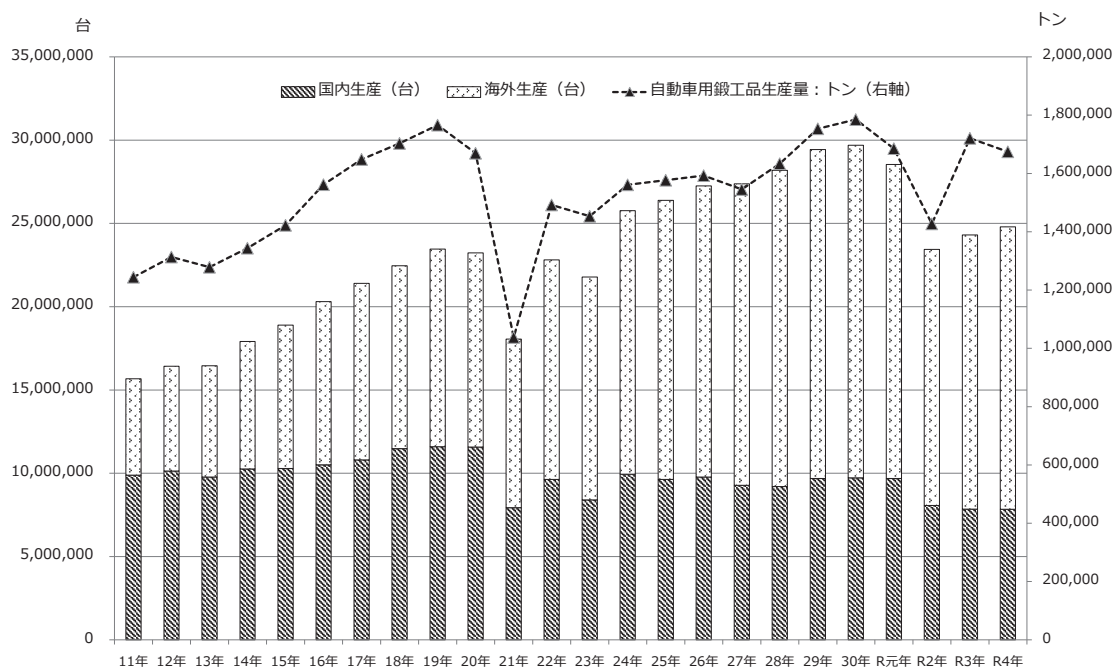
2023年生産実績 2,421,587トン

図 3 鍛工品の需要先



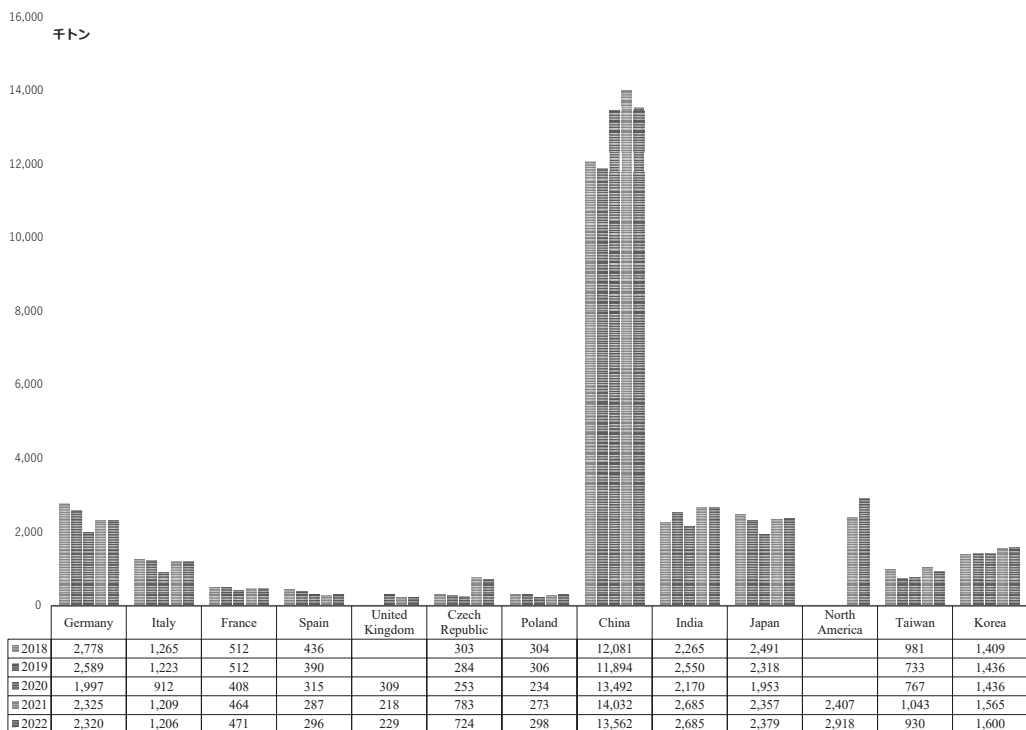
データ出所：経済産業省経済産業政策局 調査統計部 「鉄鋼・非鉄金属・金属製品統計月報」

図 4 需要分野別生産重量推移



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



データ出所：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

ドは工場数約450、従業員総数約300,000人、ドイツの工場数約240、従業員総数31,000人、アメリカが工場数約240、従業員総数24,000人、日本はこの実績とデータの出所が異なるが、事業所数399(2021年)、従業員総数約14,000人である。

将来的に現在の少子化問題が急激に解決する見込みが少ない状況を鑑みると、各社で苦慮している労働力確保の問題の解消も難しく、省人化、ロボット化、自動化等、デジタル技術を生産ラインの随所に駆使し、現状の品質を維持しながら最適で効率的な生産体制を構築しないとこの生産水準を保てない。そのためには各社における人材育成のさらなる強化が欠かせない要因となると思われる。

◇ 鍛造業の課題、方向性

近年の環境規制は、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排出量の削減が求められ、とりわけEV自動車

にとっては軽量化技術が急務とされている。EV自動車の進展は、総生産量の約73%を占める日本の鍛造業においても非常に関心が高い問題である。2022年(令和4年)の世界の電気自動車(BEV:バッテリー式)販売台数は約7,100,000台、世界における乗用車販売台数は57,485,378台と公表され、電気自動車が12.4%を占めている。電気自動車の購入補助金の終了をはじめ、欧州のメルセデスが2030年完全EV化を撤回し、新規エンジンの開発にシフトすることが公表され、更に巷の話では、EV自動車は寒冷地に弱い、タイヤの寿命が1/2、ガソリン車、ハイブリッド車を作るよりCO₂を排出する等々、EV自動車に対してブレーキがかかってきた感も否めなく、各国政府が掲げた電気自動車普及目標値が予定通りに達成できるかは……。世界の乗用車の生産台数が6,566,318台(2022年)、このうち、世界では未だマニュアル車も普及している状況下、まだまだ課題が山積しているように感じる。一方、ガソリンスタンドの減少が確実に加速していることを旅先でも実感しており、その不

便さから、充電設備の普及次第で状況が変わってくることもあるかと想像する。ただ、いずれにせよ、将来的には電気自動車の普及率が上がってくることは間違いないと思われる。

電気自動車の普及に伴う鍛造業界への影響については、いろいろな見方があるので、その予測は難しいが、直接的にはエンジン、トランスミッション、足回りの構成部品が影響を受けることになる。自社の生産品が、上述の6,566,318台のどこに使用されているか、日本車、あるいは海外メーカーの乗用車、車種によっても影響度合いが異なってくる。既存の鍛造部品の減少によって、より競争が激化することも予想され、鍛造業として存続するためには、デジタル化（IT、IoT）の推進や、海外需要の取り込み、鍛造領域の拡大、また、他事業への転換、自社が持つソフト及びノウハウの提供等、事業の多角化といった企業存続に向けた活動が必要となってくる。

環境問題に関していえば、2020年（令和2年）、菅前総理大臣が2050年カーボンニュートラルの宣言を表明し、中期的な目標として2030年度温室効果ガス排出量を2013年度46%削減とすることを盛り込んだエネルギー基本計画及び地球温暖化対策計画及び国連気候変動枠組み条約第26回締約国会議（COP26）において、世界の平均気温の上昇を産業革命前から1.5度に抑える努力を追求し、石炭火力発電を「段階的削減」することなどが合意されたことを受け、鍛造業をはじめとする素形材業界や、その属するサプライチェーンにおいても更なる省エネ、CO₂排出削減への対応が喫緊の課題となっている。当協会としては、カーボンニュートラル特別委員会を設置し、カーボンニュートラルに向けた活動として、CO₂排出量の把握、CO₂排出量削減のための省エネ活動等を推進している。

今後の方向性については、平成30年（2018年）に、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、「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、製造業における特定ものづくり基盤技術の観点から、研究開発に取り組む中小企業が参考とできるように今後社会で求められる技術の方向性及び具体的な開発手法の情報について明示されたものであり、この指針に則り、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、上述したように、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。2020年（令和2年）から2024年（令和6年）にかけて、各社が受託したテーマは以下の通りであり、今後これらの成果が期待される。

■採択案件■第3次締切～第16次締切

- ・高性能立形CNC旋盤導入による鍛造金型の内製化及び鍛造から機械加工までの一貫体制構築。
- ・鍛造加工をコアとする高合金材料の加工開発。
- ・金型生産プロセス改善による売り上げ強化計画。
- ・高性能ワイヤ放電加工機を駆使したアルミ精密鍛造金型の実現。
- ・高度な鍛造加工技術を駆使した新しい建築用耐震金物部品の開発計画。
- ・金型設計技術×ITによる鍛造品の高付加価値化および技能伝承。
- ・高品質な自由鍛造を実現するための型加工技術開発。
- ・熱間鍛造のシミュレーション技術導入による生産プロセス改善。
- ・鍛造用金型の高効率生産体制を構築し、分業による超短納期体制を強化する計画。
- ・日本の自動車産業のEV化に資する精密加工技術を活かした新規事業。
- ・大量加工が難しい大型部品の鍛造から成形までの加工工程の強化。
- ・高周波誘導加熱炉へのセラミック方式ワークコイル採用による型打ち鍛造の製造力強化。
- ・大型サイズの鍛造／旋盤複合加工の実現による特注品短納期対応の実現
- ・事業部骨子強化、生産性向上と自社製品開発による利益の拡大

- ・ 高効率誘導加熱装置導入による良品量産及びCO₂排出量削減
- ・ ハンドリングロボットの導入による生産工程の合理化
- ・ 工程自動化による次世代荷役機械向け鍛造品の生産技術確立
- ・ 食肉需要増を受けたミートスライサー用鍛造刃物製造事業への進出
- ・ 冷間鍛造によるヘリカルスプライン形状加工の高精度化と品質保証体制の確立
- ・ サーボプレスによる板鍛造技術の確立
- ・ 最先端の切断機導入による宇宙事業向け自由鍛造部品の提供
- ・ 世界的に電動化が進む自動車部品の一部自動化した製造体制の構築
- ・ 鍛造金型の生産リードタイム短縮と労働環境改善による事業継続性向上
- ・ 鍛造金型製造への挑戦
- ・ 電気鍛造生産方式の向上による生産効率・内製化効果増大
- ・ ブローチ加工の自動化と独自冷間鍛造技術の融合による新たな低コスト生産体制の構築



3. 自動車部品の鍛造

トヨタ自動車(株) 小 浜 孝 行
素材材技術部 主幹

ま え が き

近年、カーボンニュートラル達成に向けた様々な取り組みが本格化しており、自動車産業においても電動化シフトやエネルギー利用の見直しといった動きが加速している。弊社においても、2035年までに全世界の自社工場におけるCO₂排出ゼロの目標を掲げており、再生可能エネルギーや水素利用のほか、エネルギー利用の多い工程の日常改善や省エネ活動に取り組んでいる（図1a）。

特に自動車部品に使われる鍛造部品は、成形過

程において多くのCO₂を排出する製造工法のため、加熱を含む工程の見直しをはじめ、製品素材の材料の置き換えを進めるなど、自動車を構成する部品の製造の変革が求められるようになった。

本稿では、弊社のステアリングナックル（足回り基幹部品）の「高強度アルミニウム熱間鍛造の新プロセス開発」の取り組みを中心に、電動化ニーズに対応する①軽量化技術 ②高強度化技術 ③CN（環境対応）技術 および、④開発効果 ⑤さらなる技術革新 について紹介する。

◇ 軽量化技術

電動化を支える中核材料として、バッテリーやセンサーなどの機能材料と軽量化のための構造材料がある。バッテリー性能は急速に進化しており、充電時間の問題も解決に向かっていて、それでも内燃機関車の航続距離には及んでおらず、電動車の普及に対しては航続距離の延長が不可欠である。そのため自動車業界においては燃費・電費の向上に向けて、高張力鋼板の採用や、アルミニウムや樹脂への置き換えなど様々な軽量化技術の開発に取り組んでいる。

この背景を受けて、足回りの基幹部品であるステアリングナックルにおいては、従来の鋳鉄製からアルミ鍛造製への置き換えが進められており、従来の鋳鉄ナックルと比較した場合、同程度の強度を確保したことで、鋳鉄ナックル重量比で50%軽量化し、車両軽量化の観点から、さらなるアルミ鍛造化へのニーズ拡大が期待される（図1b）。

また、ステアリングナックルは前輪側のバネ下位置に搭載されているステアリングシステムの構成部品であるため、この軽量化の効果により、乗り心地と操縦安定性の向上を実現した（図1c）。

◇ 高強度化技術

（1）高強度アルミニウム鍛造の新プロセス開発
一般的なアルミ鍛造ナックルはT6プロセスによ

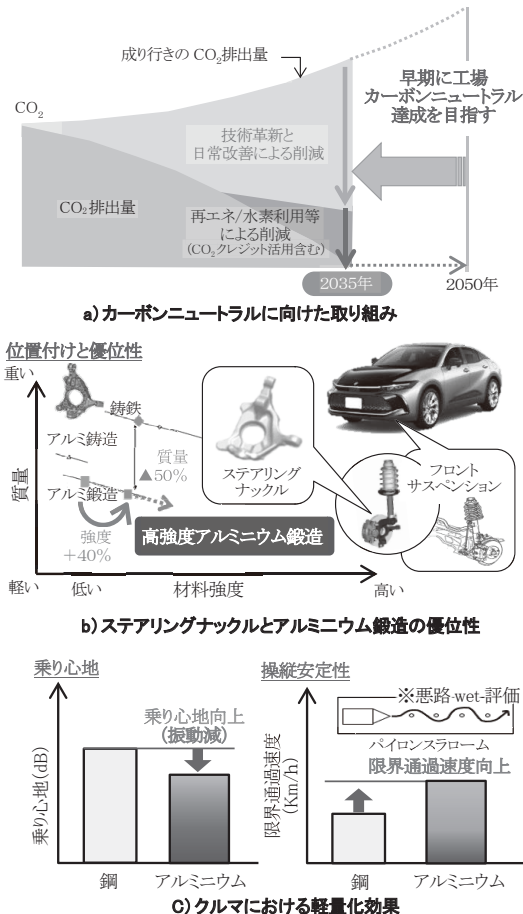


図 1 ステアリングナックルと軽量化効果

り製造されている。加熱したアルミビレットに熱間鍛造を行うことで製品形状を造り込み、その後、溶体化処理、焼入れ、時効処理を施すことで強度を付与している（図2a）。

T6プロセスは鋳鉄と比較すると、鍛造前の加熱工程、溶体化工程、時効工程でそれぞれ長時間の加熱を必要とするため製品製造時のCO₂排出量が多いという欠点がある。また、鍛造工程で導入された多量の転位が起点となり、高温の溶体化工程で再結晶や結晶粒の粗大化が進むことが強度低下の要因となっている（図2c）。これらの課題を解決するために新プロセスの開発に着手した。

新プロセスでは、鍛造前の加熱工程と溶体化工程を集約した（図2b）。加熱回数をT6プロセスの3回から2回に低減したことで、CO₂排出量を大幅に低減しただけでなく、時効後も微細結晶粒を維持できるため強度や耐応力腐食性（耐SCC性）を向上させている（図2c）。

高強度化には、強度を決める組織となる微細析

出状態にすることが重要で、成形工程それぞれに必要な組織の制御技術を開発した（図2d）。

（2）制御冷却技術

強度向上には、溶体化温度が高いほどアルミ母相への合金元素の固溶（溶体化）が促進されることで有利となる。しかし新プロセスでは溶体化処理を鍛造前に行うため、溶体化温度をより融点に近い温度に設定すると、鍛造時の加工発熱により材料が融点を超えて溶解する“バーニング”と呼ばれる現象が発生する（図3b）。一方で、バーニングを防止するために溶体化温度を下げると、溶体化が不十分なため強度が低下するという背反があった。そこで、溶体化工程の後に短時間の制御冷却工程を追加した。融点近傍まで溶体化温度を上げることで強度を向上させながら、その後の制御冷却工程で加工発熱分を見越した抜熱を行うことで鍛造時のバーニング発生を防止した。

（3）ワーク温度低下抑制技術

T6プロセスでは溶体化処理後に直ちに焼入れを行うことで、室温でもアルミ母相に合金元素が過飽和固溶した状態を維持している。

新プロセスでは溶体化処理後に熱間鍛造を行い、その後、焼入れを行うため焼入れ前の製品温度低下が不可避であるが、製品温度が低下し過ぎると固溶していた合金元素が粗大な析出物そして生成し強度が低下するという課題があった。

そこで製品温度低下を抑制するため、溶体化完了から焼入れ開始までの時間短縮と抜熱量の低減に取り組んだ（図3c）。

弊社のT6プロセスでは油圧プレスを採用していたが、新プロセスではサイクルタイムの短縮（57秒→12秒）を目的にメカプレスを導入することで鍛造速度を向上させた。それによりワークそのものの温度低下を抑制した。

また、従来は焼入れ前に熱間トリミングを実施していたが、工程順序を入れ替えて焼入れ後の冷間トリミングとすることで焼入れまでの工程数を削減した。

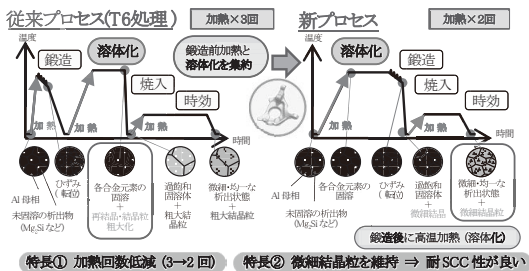
抜熱量低減に対しては、鍛造時の金型への抜熱量を最小限にするため、従来よりも金型温度を高温化した。高温化に伴い鍛造時に金型に塗布する潤滑剤の付着性と潤滑性能が低下することが懸念されたため、新たに高温用の潤滑剤を開発し、金



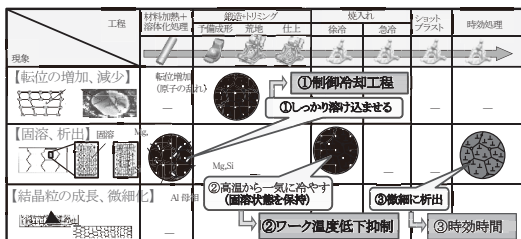
a) T6 プロセスでの鍛造成形工程



b) 新プロセスでの鍛造成形工程(工程集約)

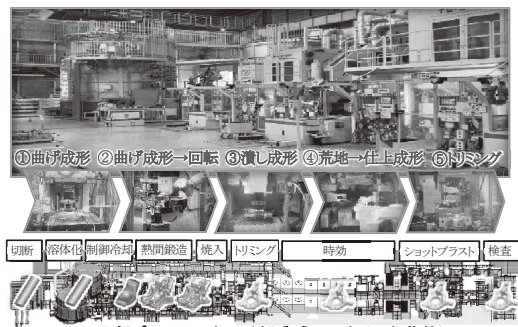


c) T6 プロセスと新プロセスとの比較

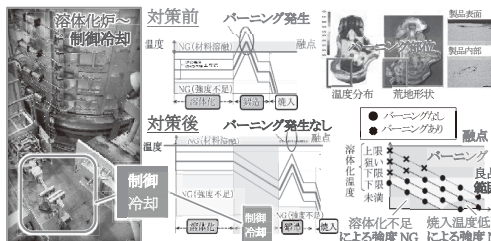


d) 強度を決める組織の状態と微細析出状態にする技術

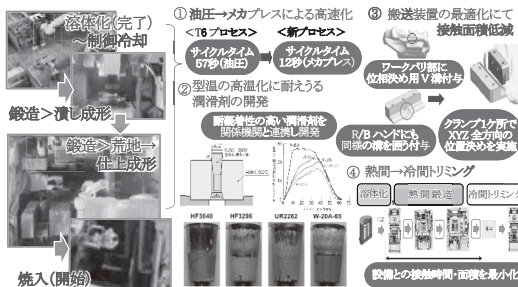
図 2 T6プロセスと新プロセスの比較



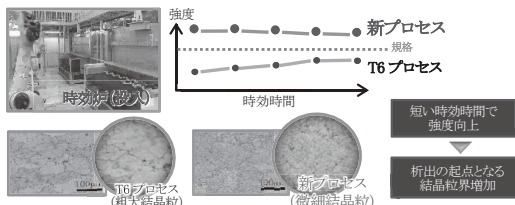
a) 新プロセスにおける鍛造成形工程(工程集約)



b) 制御冷却技術



c) ワーク温度低下抑制技術



d) 時効時間短縮技術

図 3 新プロセス技術まとめ

型へのアルミの凝着を防止した。

また、製品のバリ部と搬送装置のR/Bハンドに位相決め用の溝を付与することで、XYZ全方向の位置決めと接触面積低減を両立させ、搬送中の抜熱量を低減した。

以上の取り組みにより、パーニング発生を防止し、製品温度の低下を最小限に抑制させることで、本アルミ鍛造部品に必要な高強度を確保した。

◇ CN（環境対応）技術

(1) 工程集約ライン構築

新プロセスにおけるアルミニウム鍛造成形の生産ラインでは、加熱工程を集約することでCO₂排出を削減した（図3a）。

(2) 時効時間短縮技術

一般的なT6プロセスでは、均一で微細な析出物を生成させることで強度が向上するよう、低温かつ長時間の時効条件を設定する。そのため連続炉で時効処理する場合には30m以上の炉長が必要となる。一方、新プロセスの製品は鍛造前に高温の溶体化処理を実施するため、製品は微細結晶組織を維持している（図3d）。析出の起点となる転位が亜結晶粒界を増加させることで時効処理時間をT6プロセスの約1/3まで短縮しても同等以上の強度を確保でき時効炉の長さを短縮できる。

◇ 開発効果

新プロセスはT6プロセスと比較し、コスト9%、投資15%の低減ほか、以下評価を向上している。

(1) 軽量化技術効果

鋳鉄ナックル重量比50%低減（図1b）や、乗り心地と操縦性安定を向上（図1c）した。

(2) 高強度化技術効果

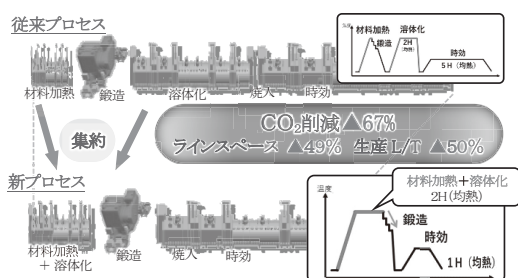
引張強さ5%、疲労強度8%、耐SCC性10%、それぞれ向上した（図4b）。

(3) CN（環境対応）技術効果

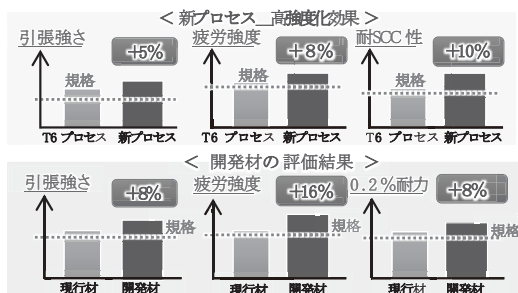
CO₂排出量67%、ラインスペース49%、生産L/T50%、それぞれ低減した（図4a）。

(4) 高強度アルミニウム鍛造技術の展開拡大

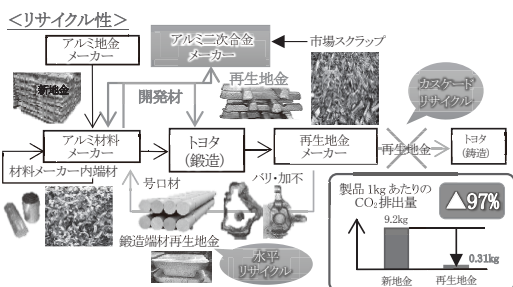
新プロセスで製造したステアリングナックルの鍛造粗材は'22/5よりトヨタ自動車（株）本社工場にて号口生産を開始し、これまでにクラウンクロスオーバーやハリアー、bZ4XなどミドルクラスのSUVに採用しており現在生産中である。今回の新プロセスによる鍛造成形技術はこのあとの鍛造粗材の新しいモノづくりとして、現在生産能増ラインの導入と並行して、新プロセスでの試作・生産準備も進めている。さらには本開発プロセスでの生産技術はモビリティ分野における部品にも活用することができる。



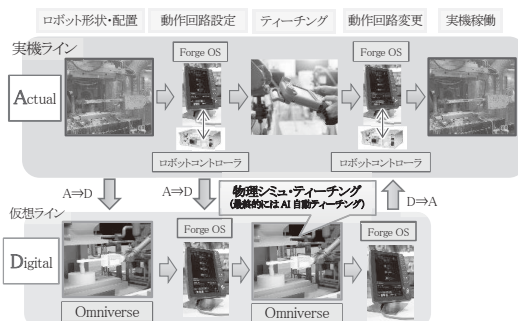
a) 新プロセスによる<GN技術>効果



b) 新プロセスによる<高強度化>効果と開発材の評価結果



c) アルミ材料の流れ



d) デジタル技術活用によるライン構築

図 4 新プロセスの効果と将来展開

◇ さらなる技術革新

(1) アルミ新材料開発

新プロセスではT6プロセスと比較して耐SCC性を向上させることができるため、Cuなど耐食性を

低下させるが強度向上効果のある合金元素量を増やすことで、更なる高強度化での車両軽量化を実現できる。現在の開発材の評価結果を示す(図4b)。現行材と比較し耐食性を維持し強度向上することで10%以上の軽量化が期待できる。

(2) リサイクル性開発

アルミニウムの新地金はボーキサイトから取り出されたアルミナを電解精錬して得られるが、製造時に電力消費しCO₂排出量が多い。一方スクラップから製造する再生地金のCO₂排出量は新地金の3%程度のため材料製造時のCO₂排出量の低減には再生地金の積極的活用が望ましい(図4c)。

しかし再生地金はスクラップ回収段階でFeなどの不純物が多く混入し製品の強度や耐食性が低下するため特に成分規格の厳しい鍛造用途では一部の活用に限定されるが、新プロセスは不純物に対し強度や耐食性を維持しやすいため成分規格緩和し再生地金の配合量増化が可能となる。

従来は鍛造工程で発生するバリや加不の鍛造端材は、再生地金メーカーを経て社内の鑄造工場で再利用していたが(カスケードリサイクル)、現在は材料メーカーに返す取組み(水平リサイクル)を始めた。機械工場に出る切粉も再生地金での活用評価を開始している。更に材料メーカーと連携した再生地金の配合量を増やせる規格緩和合金の開発など、サプライチェーン全体の環境負荷低減に貢献していく。

(3) デジタル技術開発

アルミ製造ラインの生産強化や能増の加速にデジタル技術の活用に取り組んでいる(図4d)。

実機ライン(Actual)の困り事や開発検討を仮想ライン(Digital)で解消、高度化し実機ラインに返す“A→D→A”にて現場高技能の織り込みとデジタルによるライン構築完成度向上をめざす。

むすび

これからの自動車産業の変革に合わせてこれまで以上に柔軟で強靱なものの造りが求められる。さらなる技術開発と人材育成を推進していく。

参考文献

鈴木一広、殿園広、小林岳人、浅井千尋、堀井元気、山田正洋、五十川雅之、阪本正悟：素形材 64-12 (2023) 2-6

Ⅱ．鍛造用鋼材

1．鍛造用条鋼

(株)神戸製鋼所 技術開発センター 線材条鋼開発部 線材条鋼開発室 主任研究員 高知琢哉

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、鍛造用素材を加熱しないため、部品製造工程におけるCO2排出量削減にも寄与することから、将来のカーボンニュートラル実現へ向けた技術変革において、関心が一層高まっている。

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、部品製造工程に応じて、要求される加工限界や部品強度を担保する鋼種、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て、コスト低減や環境負荷低減に寄与する開発鋼材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、重要品質である「高変形能、低変形抵抗」は共通であり、これらは素材の化学成分および金属組織に影響を受ける。そのため、部品製造工程や最終的な部品機能を考慮の上、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、部品製造コストや環境負荷の低減に直接貢献できるもの〔下記①、②〕と、部品製造工程に対して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機能向上や、トータルコスト低減、環境負荷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（熱処理省略など）

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（高強度化など）

前者の代表例としては、ボロン鋼や非調質ボルト用鋼が挙げられ、共に合金元素低減と熱処理省略を実現する鋼材である。ボロン（B：ホウ素）は少量添加で鋼材の焼入れ性を向上させる効果を有し、Ni、Cr、Moなどの高価な合金元素を削減して素材コストを低減すると共に、合金鋼に比べて鍛造前の軟化熱処理を簡略・省略化して、部品製造コストやCO2排出量を削減できる。また、非

調質ボルト用鋼では、炭素鋼をベースとした低合金鋼の圧延材質の造りこみと、伸線や鍛造工程での加工硬化を積極活用して、軟化熱処理省略可能な冷間鍛造性と共に、焼入れ焼戻し処理も省略可能な部品強度を担保する。熱処理工程の大幅省略を実現できることから、長尺部品の熱処理曲がり抑制、熱処理炉の投資抑制の点でも関心を寄せられている。

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、V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・軽量化を通じた自動車の燃費向上、トータルコスト低減や、鋼材使用量低減によるCO₂削減、省資源化が可能となる。

◇ 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、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、耐遅れ破壊特性等、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、応力集中源となる炭窒化物やMnSなどの非金属介在物、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：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。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。耐へたり性向上や調質ボルトの耐遅れ破壊特性向上などを目的に積極添加される事例もあるが、冷間鍛造性の観点からは低減することが望ましい。
- ・ S：鋼中でMnSなどの硫化物を形成し、鍛造加工時に応力集中源となって割れ発生を助長する。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、鋼材中の硫化物量低減により被削性が低下するため、部品製造工程を考慮した添加量の調整が必要となる。
- ・ B：前述したようにBの微量添加は焼入れ性向上に有効であるが、効果の発揮にはBが鋼中に固溶状態で存在する必要がある。Bは窒化物を形成しやすく、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、ボロン鋼にはBよりもNとの親和力の強いTiやNbが少量添加される。一方、TiやNbを過剰添加するとそれらの炭窒化物による析出硬化が増大し、冷間鍛造性が劣化する場合があるため、適量添加と鋼材製造時の炭窒化物制御が必要である。

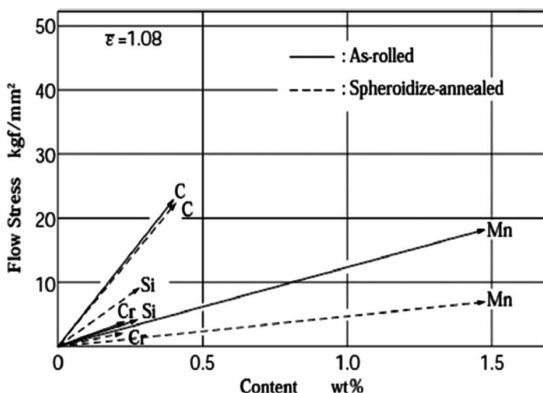


図 1 変形抵抗に及ぼす合金元素の影響¹⁾

また、次章で紹介するように、B添加を焼入れ性向上ではなく、固溶Nの悪影響を無害化する技術として活用し、軟化焼鈍省略や金型寿命改善を実現する鋼材も開発されている。

2. 組織の影響

C量の増加に伴い、鋼中の炭化物（主にセメンタイト： Fe_3C ）の含有率が増加する。通常の圧延材では、セメンタイトは、微細な板状のセメンタイトとフェライトが層状に配列したパーライト組織を形成しており、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、炭化物を粒状粗大化させる軟化熱処理、いわゆる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、更に、球状化焼鈍中に、後述する動的ひずみ時効に影響する固溶C、固溶Nが顕著に低減するため、球状化焼鈍を施すことにより、変形抵抗と変形能を大幅に改善できる。一方、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CO2排出量やエネルギーコストの面では課題を有する。

◇ 高品質冷間鍛造用鋼の開発事例

これまでに開発、実用化されてきた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、鋼材設計と品質を概説する。

1. 10.9級ボルト用ボロン鋼

以前より、コスト低減を目的に、合金鋼からボロン鋼への置換が広がっているが、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⁾。

遅れ破壊は鋼材中に侵入した水素により旧オーステナイト粒界破壊が助長され、低強度破壊する現象である。従来ボロン鋼では、焼入れ加熱時に結晶粒が粗大化し、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、熱間圧延時の制御圧延によりTi炭窒化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している。更に、耐遅れ破壊特性の向上策として、粒界破壊を助長するP、S量の低減、C量の最適化も図った。開発ボロン鋼は、図2に示すように、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を有している。

前述のとおり、Ti増量は析出強化を増大させ冷間鍛造性を劣化させる懸念があるため、適量化するとともに熱間圧延での炭窒化物析出制御が行われている。開発ボロン鋼は圧延材のままで冷間鍛造性に優れることから球状化焼鈍省略にも活用でき、CO2削減の時流から今後も益々の拡大が期待される。

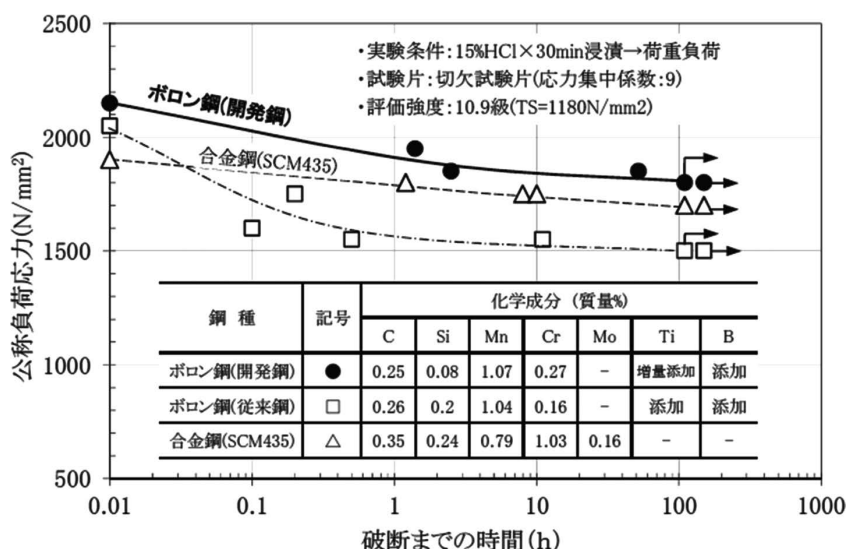


図 2 10.9級ボロン鋼の遅れ破壊試験結果

2. 軟化焼鈍省略鋼

冷間鍛造時には、加工発熱によって部品の温度が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。動的ひずみ時効は耐割れ性も顕著に悪化させるため、良好な冷間鍛造性の担保には動的ひずみ時効への対策が不可欠である。

冷間鍛造用鋼における動的ひずみ時効の抑制には、特に鋼中の固溶Nの低減が有効であり、製鋼技術によるN量低減や、Alキルド鋼の採用によりNをAlNとして析出させ固溶Nを低減することで改善が可能である。しかし、軟化焼鈍省略を実現するため、N量の更なる低減や、圧延材ままで固溶Nの安定的な低減を実現するには課題があった。そこで、固溶Nによる動的ひずみ時効の根本抑制を図るため、AlよりもNとの親和力の強いTi、Nb、V、Bなどの添加によるN無害化が検討された。Ti、Nb、Vは窒化物のほかには微細な炭化物も形成して析出強化するため、温間での動的ひずみ時効は抑制できるが室温での変形抵抗が増大するのに対し、Bであれば動的ひずみ時効の抑制と変形抵抗の増大抑制を両立できることが判明した³⁾。

図3に示すように、B添加した開発鋼では、圧延材ままであっても、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。

3. 非調質ボルト用鋼

非調質ボルト用鋼は、鍛造前の鋼線強度を高めたと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。それ故、非調質ボルト用鋼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。

非調質ボルト用鋼の工具寿命改善は8.8級強度でも課題であり、工具寿命改善を図った非調質ボルト用鋼も開発されている⁴⁾。開発鋼の化学成分としてはSiやN量を低減し、過度な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、図4に示すように、圧延材組織に応じて伸線加工率を適正化し、冷間鍛造時のバウシinger効果を最大限に利用することで、変形抵抗低減と耐割れ性向上を実現した。従来型の非調質ボルト用鋼に比べ、開発鋼は工具寿命が約2倍に向上しており、比較

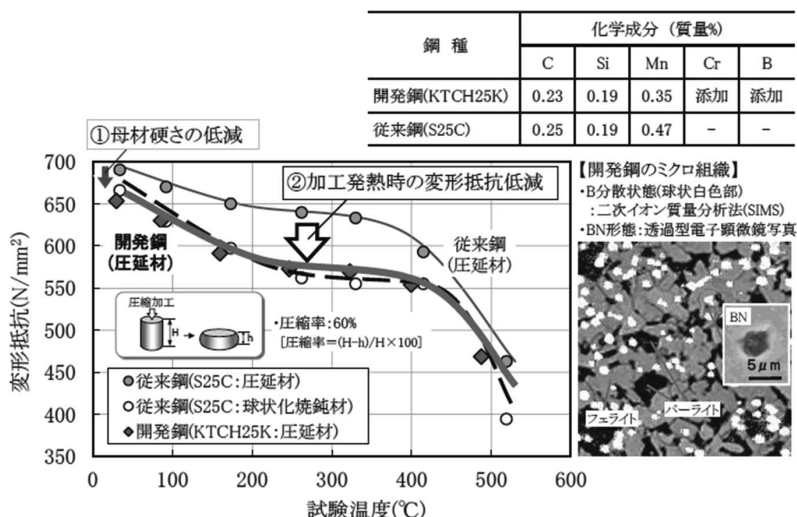


図 3 動的ひずみ時効の抑制による変形抵抗低減

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)

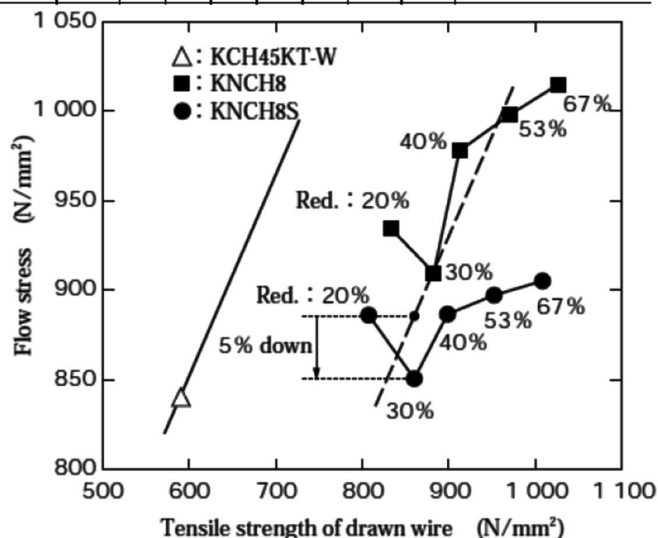


図 4 伸線材の引張強さと減面率の関係

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。

非調質ボルト用鋼では、圧延線材の強度が最終製品の強度に直接影響を及ぼすため、圧延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、制御圧延・制御冷却技術により、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。

また、現在量産化されている非調質ボルト用鋼では、軟化熱処理と焼入れ焼戻し処理を省略可能だが、ボルトに必要な特性の一つである永久伸びを担保するため、ブルーイング処理（低温熱処理）が施されており、全熱処理フリーではない。ブルーイング省略と上述の高強度鋼の冷間鍛造性向上を実現する鋼材設計、加工プロセス設計が、今後の非調質ボルト用鋼の適用拡大に必要な課題の一つである。

むすび

冷間鍛造に適した鋼材について、鋼材が本来保

有する加工性を最大限に発揮させるためには、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。各種冷間鍛造部品での製造コスト低減は止まることはなく、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。一方、カーボンニュートラル、持続可能な社会の実現に向けて、CO2削減や省資源化に寄与する鋼材、技術への期待も高まっている。加えて、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。社会を支える鉄鋼材料、特殊鋼の安定供給と技術革新を通じて、新たな社会の実現に貢献していきたい。

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. 鍛造用ステンレス鋼

大同特殊鋼(株) 技術開発研究所 たか はし のぶ ゆき
耐食・耐熱材料研究室 高 橋 伸 幸

まえがき

産業技術の発展とともに材料の使用環境が過酷化しており、特殊鋼に要求される特性も高まっている。ステンレス鋼は特に耐食性を要求される厳しい環境下で使用できるが、加工性は総じて炭素鋼や低合金鋼に比べて悪い。本稿では、ステンレス鋼の分類、各種鍛造方法および鍛造用に開発されたステンレス鋼を紹介する。

◇ ステンレス鋼の分類

ステンレス鋼とは、Feを主成分とし10.5%以上のCrを含有する合金鋼の総称であり、Crの含有により表面に不動体被膜を形成し高い耐食性を有することを特徴とする。一方でCr等の合金成分を含有することで炭素鋼や低合金鋼と比べ加工に荷重が必要となるなど、一般に加工性は悪化する場合が多い。またステンレス鋼はその金属組織によりマルテンサイト系ステンレス鋼、フェライト系ステンレス鋼、オーステナイト系ステンレス鋼、析

出硬化系ステンレス鋼、オーステナイト・フェライト系（二相系）ステンレス鋼に分類され、鍛造加工性、鍛造条件、鍛造後の諸特性、および鍛造後の処理はそれぞれの金属組織や鋼種により異なるため注意が必要である。

◇ 鍛造方法

1. 熱間鍛造

熱間鍛造とは、鍛造前に材料をおおよそ1000℃以上に加熱後、温度の高い状態のまま鍛造する成型方法である。ステンレス鋼を含む鋼は一般的に高温の方が低強度であるため低荷重で加工でき、また高延性であるため複雑形状に成形できる点が熱間鍛造のメリットである。低荷重で加工できるため、大型鍛造品を製造しやすいことも特徴である。熱間鍛造に際し、適正な鍛造条件の一例を表1に示す。変態応力や熱応力の高くなる大型鍛造品では、特に靱性の低いマルテンサイト系ステンレス鋼において割れが発生する懸念があるため、鍛造後には十分徐冷する必要がある。

表 1 各種ステンレス鋼の熱間鍛造条件（ステンレス鋼便覧¹⁾を元に作成）

分類	鋼種	加熱温度 (℃)	鍛造温度 (℃)	後処理
マルテンサイト系	SUS410J1	1100～1200	1200～870	炉中冷却
	SUS431	1150～1230	1230～870	
	SUS403	1100～1200	1200～870	
	SUS410	〃	〃	
	SUS420J1	〃	〃	
	SUS420J2	〃	〃	
	SUS416	〃	〃	
	SUS440C	1050～1150	1150～870	
フェライト系	SUS430	1050～1150	1150～700	徐冷
	SUS405	1050～1150	1150～870	
オーステナイト系	SUS304 ↓ SUS347 SUS303	1150～1250	1250～950	放冷
析出硬化系	SUS630	1180～1230	1230～1000	炉中冷却
	SUS631	〃	〃	〃
	AM-350	max 1150	1150～930	放冷
	AM-355	〃	〃	〃

鍛造後の機械的特性という観点では、特にフェライト系ステンレス鋼、オーステナイト系ステンレス鋼は変態を利用した熱処理による結晶粒の微細化が困難なため、鍛造工程で結晶粒の作りこみを行う必要があり鍛造工程設計が重要となる。具体的には、鍛造前の加熱温度を低く設定する、加工率を高く設定するなどが考えられる。

2. 冷間鍛造

冷間鍛造は熱間鍛造とは異なり、鍛造前の過熱を実施せず冷間（室温）で鍛造する成型方法である。熱間鍛造と比較し材料の強度が高い冷間で鍛造するため大きな荷重が必要となり、大型鍛造品の製造には向かない。一方で表面の仕上がりや加工精度は熱間鍛造より一般的に優れる。また熱間鍛造とは異なり事前に加熱する工程が不要なため、カーボンニュートラルという観点では有用な加工方法である。

冷間鍛造の特徴として、図1に示すように加工硬化により圧縮率が高いほど強度の向上が見込まれる点が挙げられる。オーステナイト系ステンレス鋼（SUS304等）の方がフェライト系ステンレス鋼（SUS430等）よりも加工硬化が顕著に起こり、鍛造時の過重は大きくなるが、鍛造後の製品は高強度となる。後述するが、これを利用したオーステナイト系ステンレス鋼の高強度ボルトなどの製品がある。

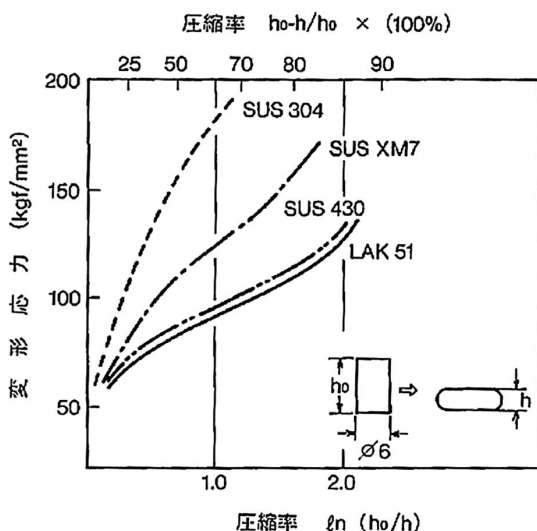


図 1 各種ステンレス鋼の冷間での変形応力²⁾

3. 温間鍛造

温間鍛造とは、材料を予加熱後、一般的に200～850℃の温度範囲で鍛造する成型方法であり、ある程度の加工硬化を生じることが特徴である³⁾。冷間加工ほど加工精度が高くない一方で、加熱による変形抵抗の減少のために、荷重の関係で冷間鍛造が困難な変形抵抗が高い材料や大型鍛造品の製造が比較的容易となる。また冷間と比較して延性が向上することから、複雑形状への成型や高加工率の鍛造も比較的容易である。基本的には低温ほど、またひずみ量が多いほど変形抵抗が増加するため加工に要する荷重が増加するが、鍛造後の製品は高強度となるため、目標とする形状や強度を踏まえ適切な鍛造温度と加工率を設定する必要がある。

◇ 鍛造用ステンレス鋼

1. 冷間鍛造用ステンレス鋼

建材、自動車、家電などにステンレス製部品が大量に使用されているが、部品加工の生産性向上の要求が強く、切削加工から冷間鍛造加工へと移行する傾向にある。冷間鍛造では冷間での鋼材の変形抵抗の高さ、換言すると加工に必要な荷重の大きさがひとつの問題となるが、SUS430のようなフェライト系ステンレス鋼は比較的軽荷重で加工できるため重用される。より低荷重での加工を実現するため、SUS430に比べて低C、Sとし、その他Ni、Cu、Mo、Nbなどの元素を適量添加した冷間鍛造用のLAK51²⁾などの材料が開発されている。

一方でフェライト系ステンレス鋼では必要な特性を満足できない場合、例えば、より高い強度、耐食性、耐熱性、あるいは非磁性が要求される場合はオーステナイト系ステンレス鋼の冷間鍛造が用いられる。代表的なオーステナイト系ステンレス鋼であるSUS304を冷間鍛造する際、変形抵抗の高さと、加工で生じるマルテンサイト相による磁気特性の変化が問題となる場合がある。SUSXM7は加工硬化を抑制する効果のあるCuを含有することを特徴とし、SUS304と比べ低い荷重で加工できる（図1参照）ため、コールドヘッダー・ボルト等に用いられる。例えば電気自動車においては車重の軽量化のためボルトの高強度化ニーズ、またエレクトロニクス分野への適用に際し非磁性材の

ニーズなどがあるため、加工硬化を促進しマルテンサイト相の生成を抑制する効果のあるNをSUSXM7に添加した冷間鍛造高強度ボルト用の材料が開発されている⁴⁾。同様に高強度と加工性、あるいは非磁性などの両立のため、QSM10⁵⁾やDSN9⁶⁾などNを利用したオーステナイト系ステンレス鋼の開発は数多くなされている。

2. 温間鍛造用ステンレス鋼

温間鍛造を利用した大型鍛造品の例として、非磁性ドリルカラー用のオーステナイト系ステンレス鋼を紹介する⁷⁾。ドリルカラーは石油や天然ガスの掘削部品のひとつであり、ドリル直上に連結され、掘削に必要な荷重を与える役割を果たす。掘削技術の進歩により従来の垂直掘りだけでなく、陸上から沖合油田への掘削や海上基地からの多数掘りのような傾斜掘りが増加している。この傾斜掘りにはドリル先端の位置情報を把握するための地磁気測定器が必要であり、探査しながら掘削する場合では位置情報に加えて地下情報（ガス、岩質など）を得るために電磁抵抗や岩層密度等をリアルタイムに測定できる電子機器が必要となる。それぞれドリルカラーに埋め込まれるため、誤作動を防止すべく非磁性であることが求められる。また、その肉厚を薄肉化するためより強度の高い材料であることに加え、地下には硫化水素が活性な場所などもあり、厳しい腐食環境に耐えうる耐食性も求められている。高強度を実現するためのひとつのアイデアとして冷間加工による高強度化が考えられるが、主に使われるドリルカラーの外

径はΦ119～238mm、長さは約9mと大型のためこれは困難である。DNM140は、このような製品形状を踏まえ、温間鍛造にて加工成型し高強度が得られること、加えて非磁性であることや耐食性などの諸特性を満足するための成分設計がなされ、ドリルカラーとして利用されている。

むすび

ステンレス鋼は多種多様な金属組織を持ち、それぞれの用途に適した鋼種と工法を選択する必要がある。また加工性や特性の観点だけではなく、カーボンニュートラルの観点から冷間鍛造を選定するなど、多角的な視点が重要である。本稿で紹介した通り、鍛造加工性あるいは鍛造後の諸特性を改善することを目的に各種ステンレス鋼が開発されているため、最新の鍛造技術を組み合わせて鍛造工程設計し、より良いモノづくりをしていくことが求められる。

参考文献

- 1) ステンレス協会編：ステンレス鋼便覧、第3版、日刊工業新聞社、pp. 896-902
- 2) 電気製鋼、Vol. 61、No. 2 (1990)、pp. 152-154
- 3) 五十川幸宏：電気製鋼、Vol. 66、No. 3 (1995)、pp. 193-203
- 4) 磯部晋、岡部道生：日本鉄鋼協会、第113回（春季）講演大会（1987）
- 5) Sanyo Technical Report、Vol. 2、No. 1 (1995)、pp. 119-120
- 6) 濱野修次、古賀猛、清水哲也、桂井隆、西山忠夫：電気製鋼、Vol. 75、No. 2 (2004)、pp. 77-84
- 7) 石川浩一、植田茂紀、清水哲也、栗原勇介、関口秀明：まてりあ 第48巻第2号 (2009)、pp. 85-87

Ⅲ．鍛造技術

1．サーボプレスを活用した鍛造技術

日本製鉄(株) 技術開発本部 鉄鋼研究所 なる みや ひろ き
鋼材ソリューション研究第二部 主幹研究員 成 宮 洋 輝

まえがき

生産性、材料歩留まりに優れる鍛造は、自動車・産業機械用部品の製造に欠かせない加工方法の一つである。鍛造は素材の加熱温度によって熱間鍛造と温間鍛造、冷間鍛造に分けられる。素材を高温（再結晶温度以上）に加熱して加工する熱間鍛造は、素材が加熱によって柔らかくなり延性も高まるため、大型部品・複雑形状部品の製造に適している。素材を常温のまま加工する冷間鍛造は、酸化スケールが発生しない、寸法精度が高いという特長を有し、切削仕上げ加工の省略あるいは簡略化が可能な加工方法として活用されている。一方で冷間鍛造は変形に伴う加工硬化が大きく、金型と素材の接触面圧が高くなるため、鍛造荷重の低減や金型と素材の焼付き防止のためには潤滑

が重要であり、潤滑皮膜や潤滑油が使用されている。また、冷間であっても素材の塑性変形量が大きいと加工発熱も大きくなり、後述のように鍛造品形状精度に影響を与える場合もある。温間鍛造は、熱間鍛造と冷間鍛造の中間的な特徴を持つ。

鍛造に多く用いられている機械プレスは、素材を加工するために往復運動するスライドの動き（＝スライドモーション）がプレス毎に決まっている。機械プレスの一つであるクランクプレスのスライドモーションを図1(a)に示す。横軸に時間、縦軸にスライド位置をプロットすると、クランクモーションは正弦波の様なカーブとなる。

一方、2000年頃に日本のプレスメーカーで開発・実用化されたサーボプレスは、サーボモーターや油圧サーボバルブなどのサーボ機構を組み込むことで、スライド位置を高精度に制御でき、

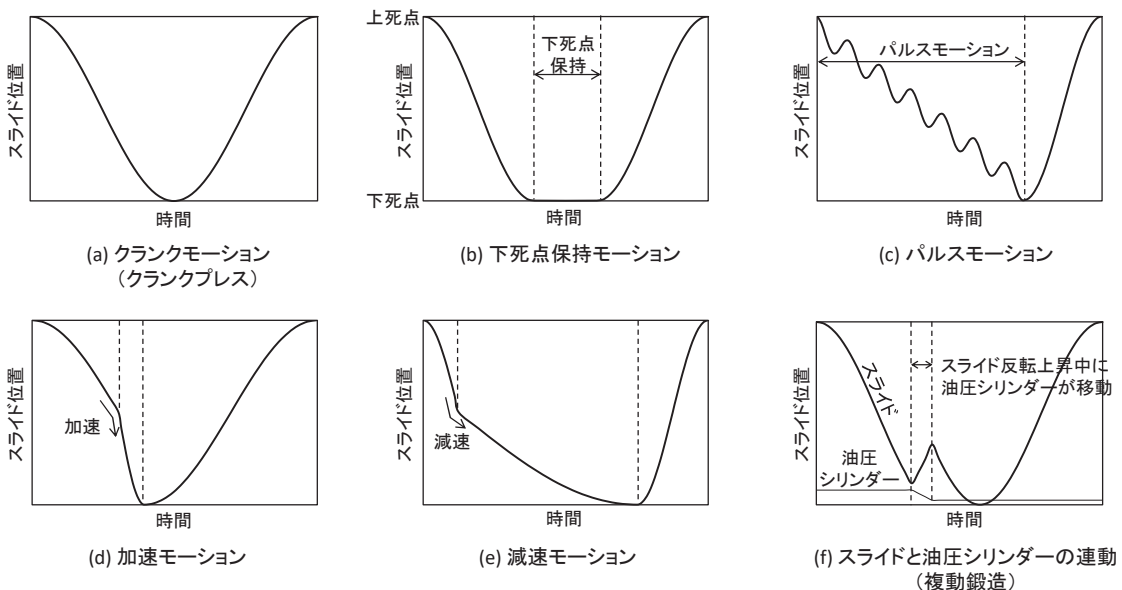


図 1 スライドモーション

図1 (b)～(e) に示す様々なスライドモーション設定が可能である。また、主スライドの他に副スライドを備えた複動プレスや、油圧シリンダーを組みこんだダイセット（金型をプレス機に取り付けるための治具）を用いると、図1 (f) に示すような、スライドと副スライドもしくは油圧シリンダーの動きを連動させた複動鍛造も行える。

サーボプレスの様々なスライドモーションや複動鍛造を活用し、加工限界や鍛造品形状精度の向上、鍛造荷重の低減、鍛造工程数の削減など、製造コスト・CO₂排出量の低減に寄与する取り組みが行われている。本稿では、サーボプレスを活用した技術開発事例を紹介する。

◇ スライドモーションを工夫した高機能鍛造

本節では、スライドモーションを工夫することによって、形状精度や加工限界を向上させた事例を紹介する。

1. 下死点保持モーション

図1 (b) に示した下死点保持モーションは、下死点でスライドを一定時間静止させるモーションである。下死点保持モーションにより、形状精度を向上させた事例や鍛造品の材質付与を行った事例が報告されている。

【事例1】

薄板のプレス成形分野では、下死点保持モーションにより、形状精度が向上することが示されている。下死点保持中に素材に作用する応力が緩和され、スプリングバックが減少するためである¹⁾。この現象をコイニング加工に適用した事例が報告されている²⁾。この事例では、ステンレス鋼（JIS SUS304）の動圧軸受の表面に深さ10 μ mの極めて浅い溝を成形する際、下死点保持が溝深さ精度に及ぼす影響を検討した。下死点保持を行わない場合は溝深さの最大値と最小値の差（ Δd ）が1.01 μ mであったのに対し、1秒の下死点保持を行うことで Δd が0.01 μ mに改善された。

【事例2】

Matsumotoら³⁾は、熱間鍛造と下死点保持モーションを組み合わせる鍛造品の材質付与を行うダイクエンチング鍛造を提案した。ダイクエンチング鍛造は、熱間鍛造直後にスライドを下死点で一定時間静止させ、金型で素材の熱を奪うことで素

材を急冷して焼入れを行う。この手法では、金型との接触により素材を急冷する必要があるため、金型材には熱伝導率が高い超硬合金を用いるのが有効である。超硬合金製の金型を用いて初期高さ7.5mmのクロム鋼（JIS SCr420）試験片を圧縮せずにダイクエンチングした場合は5秒以上の下死点保持、35%圧縮してダイクエンチングした場合は3秒以上の下死点保持により、水焼入れと同等の硬さが得られたことが報告されている。

2. パルスモーション

図1 (c) に示したパルスモーションは、スライドの下降と上昇を交互に繰り返しながら徐々に素材を加工していくモーションである。パルスモーションを用いることで、加工限界を向上させた事例や形状精度を向上させた事例が報告されている。

【事例3】

Matsumotoら⁴⁾は、潤滑油用流路を内部に設けたパンチとパルスモーションを組み合わせることで、油潤滑でのアルミニウム合金（AA6061-T6）の冷間後方押出しにおける加工限界の向上に取り組んだ。潤滑油は加工前にパンチと試験片の接触面に塗布されるが、通常の後方押出しでは、後方押出しが進むにつれて潤滑油が切れた部分で金型と素材が直接接触して焼付きが生じる。一方、Matsumotoらの手法では、加工途中でパンチを上昇させた際にパンチ先端と素材の間に空間が生まれ、負圧によって潤滑油が逐次供給されるため焼付きが抑制され、後方押出しの加工限界が向上したことが報告されている。

【事例4】

Ishikawaら⁵⁾は、冷間後方押出しされたカップ部品の外径寸法精度に及ぼすスライドモーションの影響を調べた。クランクモーション、下死点保持モーション、パルスモーションでアルミニウム合金（JIS A6061）の後方押出しを行ったところ、中心軸方向の外径ばらつきが最も小さいのはパルスモーションであった。有限要素法を用いた温度解析の結果、パルスモーションでは、スライドが下降・上昇を繰り返す間に加工発熱により生じた温度分布の不均一さが素材内の熱伝導により緩和され、鍛造後の熱収縮がほぼ均一だったため外径ばらつきが小さくなった、と考察された。

3. 加速モーション・減速モーション

図1(d)、(e)に示した加速モーション・減速モーションは、通常モーションの途中で、加速あるいは減速を行うモーションである。加速モーション・減速モーションにより、素材の温度分布を最適化し、加工限界を向上させた事例が報告されている。

【事例5】

Matsumotoら⁶⁾は、Mg合金の温間鍛造時の素材割れに及ぼすスライドモーションの影響を調査した。200℃に加熱したMg合金を、通常モーション、加速モーション、減速モーションで圧縮したところ、減速モーションが最も加工限界が高かった。減速モーションでは、金型との熱伝達、素材内部の熱伝導によって素材温度分布の不均一さが緩和されることで、局所的な結晶粒の粗大化が抑制され、不均一変形が抑えられたため加工限界が向上したと考察された。

◇ 高機能複動鍛造

本節では、主スライドの他に副スライドを備えた複動プレスや、油圧シリンダーを組みこんだダイセットを用いて、複数の金型を連動して動作させる複動鍛造について説明する。複動鍛造により、鍛造工程数を削減した事例、形状精度を向上させた事例が報告されている。この他にも、複動鍛造を用いた歯車成形の事例が多く報告されている^{7)~11)}。

1. 複動鍛造による工程数削減

【事例6】

綾瀬¹²⁾は、一般的には中実素材を用いて6工程成形する鋼製のフランジ・段付き中空シャフトを、中空素材と複動鍛造を用いることにより1工程で冷間成形する技術を開発した。この技術では、サーボプレスと複数の油圧シリンダーを内蔵したダイセットを使用し、多段の加工を一つの金型内で行えるようにした。スライドおよび油圧シリンダーの動きは図1(f)に示す通りである。まず、スライドを途中まで下降させてフランジ部を成形した後、スライドを反転上昇させる間にダイセットの油圧シリンダーで段付き部を成形するための金型配置に変更する。その後、スライドを反転下降させることで、フランジ・段付き中空シャフトの成形が完了する。

2. 複動鍛造による形状精度向上

【事例7】

新貝ら¹³⁾は、クロム鋼(JIS SCr420)を用いた歯形スプラインシャフトの冷間前方押出しにおいて、加速モーションと油圧シリンダーを内蔵した特殊な金型機構を用いて複動鍛造を行い、歯形形状精度を向上させた。通常のカランクモーションでは、スプライン後端部が先端部と比べて太径化し、シャフト長手方向の精度不良が生じた。カランクモーションでは、下死点に近づくにつれてスライド速度が低下して、スプライン後端部における金型抜熱量は、先端部と比べて大きくなる。その結果、歯形成形終了時の素材温度は、スプライン後端部の方が先端部より低くなり、冷却時の熱収縮量が先端部より減少するため後端部が太径化すると考えられた。そこで、スプライン後端部でもスライド速度が低下しない工法を開発・適用することで、スプライン後端部の太径化を抑制した。特殊金型の機構については、参考文献を参照されたい。

【事例8】

下死点保持モーションと油圧シリンダーを内蔵したダイセットを用いた複動鍛造により、冷間鍛造歯車の歯形部充満度を向上させた例¹⁴⁾を紹介する。歯車成形の概要を図2に示す。素材は中空で、鍛造品はモジュール1.25mm、歯数36の円筒平歯車である。供試材はクロム鋼(JIS SCr420)で、軟質化させるために球状化焼鈍処理を施した後、ショットブラスト、亜鉛系のリン酸塩石けん皮膜処理を行った。成形の際、素材と金型の間の摩擦係数を下げるため、潤滑油を塗布した。

本成形は、AIDA-NSF工法¹⁵⁾に倣い、素材を単純に歯形部へ押し込む通常鍛造(図2段階①~③)と、その後、複動機構を用いて鍛造荷重の増大なしに歯形部充満度を向上させる分流鍛造(段階③~⑤)からなる。分流鍛造とは、目的とする素材流れとは別方向にも素材が流れるように空間を設けて、鍛造荷重を低減する手法である。

複動鍛造にはサーボプレスと油圧シリンダーを内蔵したダイセットを使用し、スライドを下死点保持する間は、素材がパンチから一定の荷重を受け続ける金型構成とした。まず、スライドを下降させてパンチで素材を歯形ダイに押し込んでいく

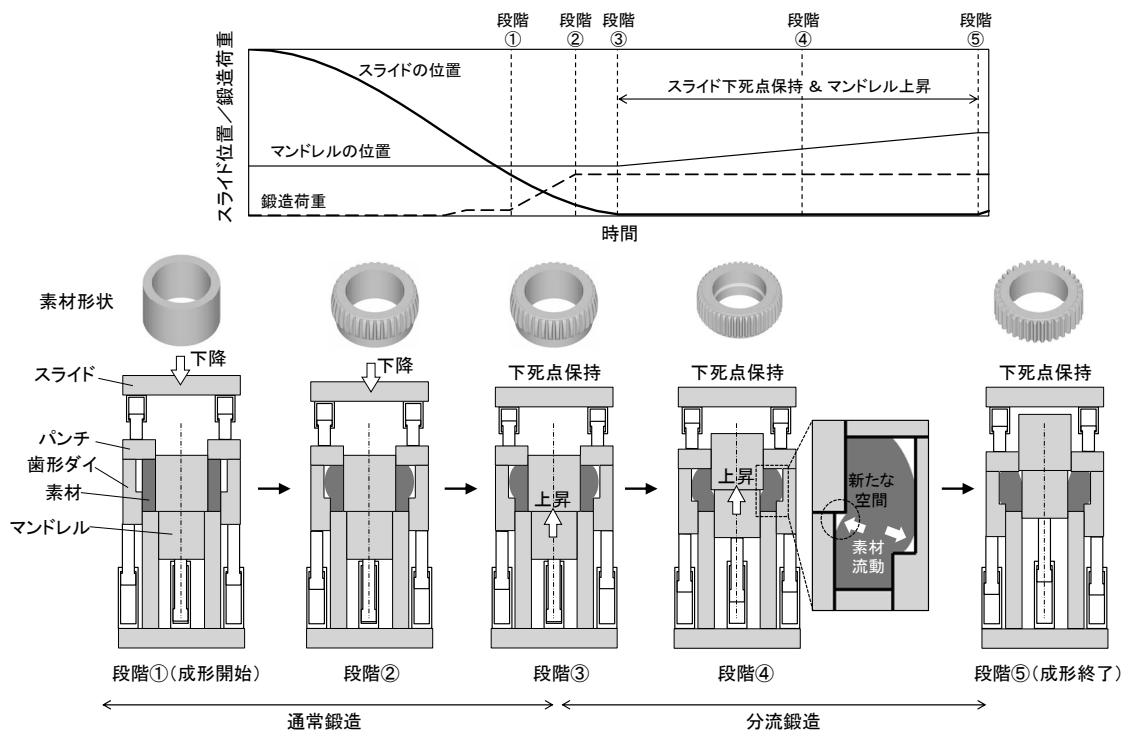


図 2 複動鍛造を用いた歯車成形の概要

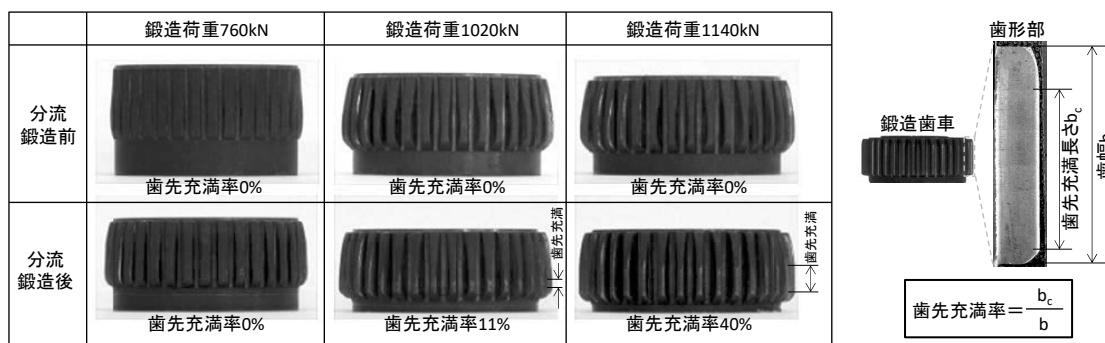


図 3 鍛造品形状

(図2段階①～②)。次に、スライドを下死点に保持し、パンチに一定荷重を負荷し続けた状態で、大径部と小径部を有するマンドレルを上昇させる(段階③)。そうすると、素材内側に新たな空間(逃がし穴)が生成され、素材はパンチから荷重を受け続けているため、生じた空間に素材が流れ込む(段階④)。この流れが、歯形ダイの未充満部への素材流動を促進し、鍛造荷重は一定のまま歯形部の充満率が上昇する(段階⑤)。

鍛造荷重を760、1,020、1,140kNに設定して成形した場合の鍛造品形状を図3に示す。パンチ荷重の大小にかかわらず分流鍛造により歯形部の充満性が向上することが確認された。鍛造荷重1,140kNの分流鍛造後の歯形形状を通常鍛造で得ようとする、有限要素法を用いた変形解析では1,500kNの鍛造荷重が必要となる。これより、分流鍛造を活用することで、鍛造荷重を24%低減できたと言える。

む す び

本稿では、サーボプレスが多様なスライドモーションや複動鍛造を活用して、形状精度向上や材質付与、加工限界の向上を図った事例を紹介した。サーボプレスの特徴を活かした鍛造技術は、工程削減・コスト低減のみならず、CO₂排出量低減ニーズにも対応するため、今後の適用拡大が期待される。併せて、鍛造に用いる素材（例えば、焼鈍省略可能な軟質冷間鍛造用鋼¹⁶⁾）の開発がセットとなって進められることを期待する。

参 考 文 献

- 1) 久野拓律・田村慎太郎：型技術、27-10（2012）、28-33
- 2) 西村尚：塑性と加工、49-565（2008）、97-98
- 3) 松本良・大住勇太：平成22年度塑性加工春季講演会講演論文集、(2010)、157-158
- 4) R. Matsumoto, J. Jeon, H. Utsunomiya: J. Mater. Process. Technol., 213（2013）、770-778
- 5) T. Ishikawa, T. Ishiguro, N. Yukawa, T. Goto: CIRP Annals, 63-1（2014）、289-292
- 6) R. Matsumoto, K. Osakada: J. Mater. Process. Technol., 210-14（2010）、2029-2035
- 7) 中島將木・新井慎二・近藤一義：塑性と加工、50-587（2009）、1086-1090
- 8) 廣田智之・澁谷和徳・松石秀明・小林一登：素形材、40-6（1999）、11-15
- 9) 小倉真義・訓谷法仁：住友金属、50-3（1998）、16-24
- 10) 小野訓正・小倉真義・生島幸一・井下寛史・近藤一義：平成14年度塑性加工春季講演会講演論文集、(2002)、41-42
- 11) 金秀英：第308回塑性加工シンポジウムテキスト、(2014)、13-20
- 12) 綾瀬英之：第314回塑性加工シンポジウムテキスト、(2015)、55-59
- 13) 新貝康晴・西村隆一・佐藤明：第71回塑性加工連合講演会講演論文集、(2020)、41-42
- 14) 成宮洋輝・加田修：第63回塑性加工連合講演会講演論文集、(2012)、7-8
- 15) 小林一登：プレス技術、32-11（1994）、49-52
- 16) 西島良二：特殊鋼、70-6（2021）、38-39



2. e-Axle部品の冷鍛成形開発事例

愛知製鋼(株) いわさき かず ま
鍛造生産技術部 主幹 岩崎 一 真

まえがき

自動車の電動化に伴い、トランスアクスルとインバータ、モーターを一体化させたe-Axleユニット開発が急速に進んでいる。e-Axleユニットのトランスアクスルには従来同様に鍛造品が使用されるが、求められる仕様（形状、機能）は大きく異なる。

e-Axleユニットの主要部品の一つであるアウトプットシャフトは従来のFFトランスアクスルにはなく、長尺かつその一端に高精度内スプラインを有する。

弊社の当該部品の成形技術開発の取組みを紹介する。

◇ 対象製品紹介

1. e-Axleユニット用アウトプットシャフトの機能

図1にe-Axle用アウトプットシャフト外観を示す。この部品は軸の一端に図2に示す内スプラインを有する長尺部品であり、従来のFFトランスアクスルにはないe-Axleユニット特有の新規形状部品である。図3に従来トランスアクスルとe-Axle

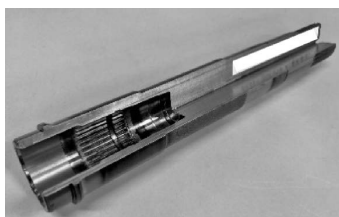


図 1 アウトプットシャフト外観



図 2 内スプライン部

ユニットの概略図を示す。従来トランスアクスルにおいては、駆動トルクはデフサイドギヤを介してドライブシャフトへ伝達するが、e-Axleユニットにおいては、省スペース設計要件とモーターとの干渉を避けるためアウトプットシャフトを介して駆動トルクをドライブシャフトへ伝達する構造となっている。このように、アウトプットシャフトはドライブシャフトとデフサイドギヤを繋ぐ役割を担うが、部品増えることでの伝達ロスを最小限に抑えるため、求められる精度は非常に高いものとなっている。

2. 製造工程

弊社のアウトプットシャフトの製造工程を図4に示す。通常、機械加工と冷鍛工程は生産速度の

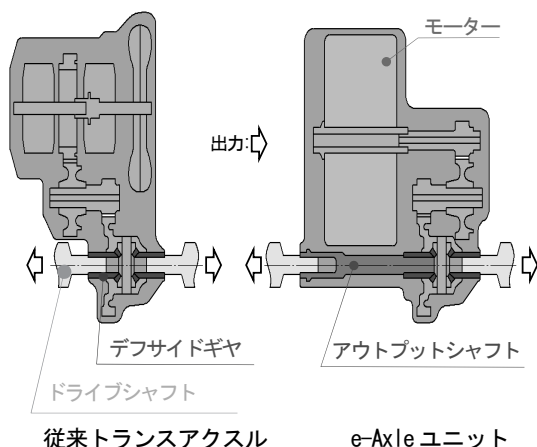


図 3 従来トランスアクスルとe-Axleユニット構造比較

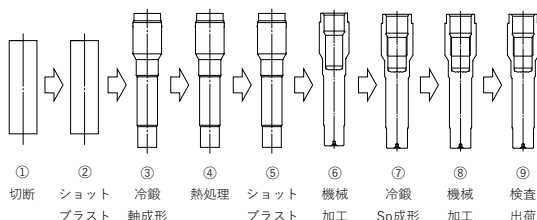


図 4 アウトプットシャフト製造工程

違いにより工程を分断するが、弊社では⑥、⑦、⑧をスルーで流動する一貫自動ライン化に取り組み、これによりリードタイム短縮と中間在庫低減となり、高い品質、高いコスト競争力を実現した。

◇ 内スプライン成形上の課題

1. 高精度内スプライン成形の実現

長尺部品への内スプライン成形にて管理すべき主な項目に、大径、小径、B.B.D.、歯形精度、内スプラインの振れ精度がある。このうち、内スプラインの振れ精度は、その基準をどこに設けるかが議論されることが多い。弊社では、後工程の機械加工や精度管理のし易さを考慮し、図5に示すように内スプライン振れの測定基準を両軸端に加工されたのセンター面とした。当部品はe-Axleユニットに搭載される部品であり、厳しい内スプライン振れ精度が要求されている。

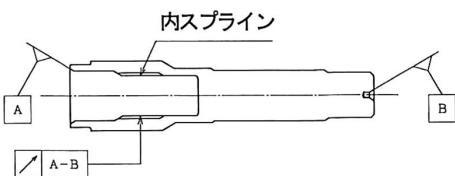


図 5 内スプライン振れ精度基準

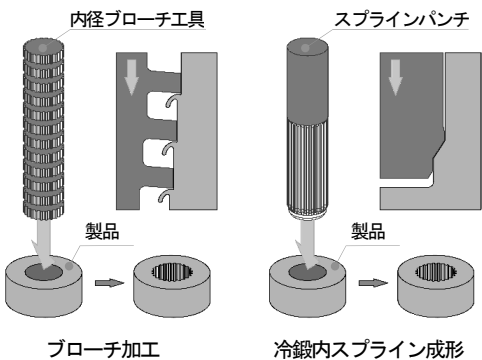


図 6 内スプライン成形方法

表 1 内スプラインの主な成形方法

加工方法	特徴
ブローチ加工	加工精度が高い。 長尺ブローチ工具を通す必要があり 底付穴には加工不可。（貫通穴のみ加工可）
冷鍛成形	加工精度はブローチ加工に劣る。 底付穴にも加工可能。

1.1 ブローチ加工と同等の要求品質

アウトプットシャフトの内スプライン歯形精度には機能上、デフサイドギヤの内スプラインと同等の精度が要求される。デフサイドギヤの内スプラインは貫通穴形状のため、同部はブローチ盤により加工されるのが一般的である。一方、図6に示すように、アウトプットシャフトは底付き穴形状であるため機械加工には適さず、生産性、コストの点から冷鍛成形が最適である。表1に内スプライン成形に当たってのブローチ加工と冷鍛成形特徴をまとめる。一般的に、冷間鍛造で成形されたスプラインの精度は、ブローチ盤で加工されたそれに劣る。また、スプラインを冷鍛成形する際は、比較的小さなモジュールに対して適用されることが多いが、同部品は機能上モジュールが大きい。

1.2 薄肉円筒への内スプライン成形

アウトプットシャフトは類似品と比較し、内スプライン部の肉厚が薄い。これはe-Axleユニットの軽量、コンパクト仕様からの制約である。内スプライン部肉厚の薄さは内スプライン振れ確保の難易度を高くする要因の一つとなっている。スプライン部肉厚が薄くなることによる内スプライン振れ悪化は、冷間成形時の製品伸びに起因する。スプライン部肉厚が薄いほど成形時の断面減少率が増加し、製品の伸びが増加するが、様々な理由により製品の伸びは円周方向不均一となる。このことが製品の曲がりの原因となり内スプライン振れを悪化させる。

1.3 高硬度材への内スプライン成形

部品の強度を上げる方法として熱処理による硬度アップがある。その際、例えば浸炭処理など全体を焼入れする方法と、高周波熱処理により必要な部位にのみ焼入れする方法に大別される。当部品は長尺部品であることと、熱処理コストを安価に抑える目的で高周波熱処理を採用することとなった。高周波熱処理による部分焼入れのデメ

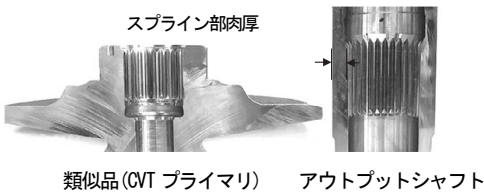


図 7 類似品との内スプライン部肉厚差

リットとして、焼入れされない部分の硬度は粗材のままであることがある。焼入れされない部分に必要な硬度を検討した結果、冷鍛前素材の一般的な熱処理、例えば焼鈍しでは製品強度が不足することが分かったため、より高い硬度を持たせるため焼入焼戻を採用することにした。

以上により、高硬度材に内スプライン成形することとなったが、このことも内スプラインの精度確保はもちろん型寿命確保の難易度を上げる原因となった。

2. 長尺部品対応

アウトプットシャフトの全長は約300mmであり、従来トランスアクスル、e-Axleユニット部品の中でも最長サイズとなっている。このような長尺部品の冷鍛成形には、大きなラムストローク、大きなロックアウトストロークを備えた設備が必要となる。図8にこれらを考慮した冷鍛成形機の動作イメージを示す。このことは投資額アップに直結し、かつ、機械加工工程との一貫ライン構築するための障害となる。弊社では、必要な機能は確保しつつ、小型で安価な冷鍛成形機を開発した。

◇ 課題解決のための開発内容

1. 内スプライン振れ精度の改善

内スプライン成形上の課題1.2で述べた通り、内スプライン振れ精度悪化は製品が軸方向に不均一に伸びることに起因する。よって製品伸びの不均一量を低減することが内スプライン振れ精度向上に必要である。

1.1 スプライン成形前素材の位置決め性向上

スプライン成形時の伸びの円周方向不均一の要因の1つに製品の位置決め精度がある。成形前素材はダイスに対して同心且つ平行にセットされる

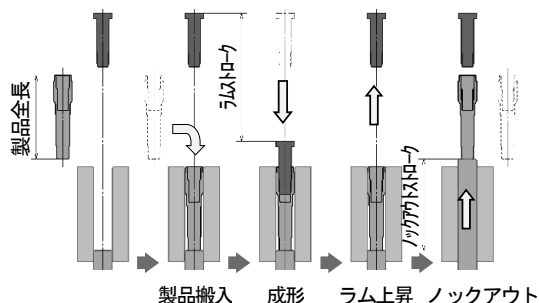


図 8 長尺部品成形動作図

必要がある。図9に成形前素材と冷間ダイスのクリアランスの位置決め性への影響を示すが、従来技術でもこの精度を向上させるため成形前素材とダイスのクリアランスの縮小が行われている。

今回は更なる位置決め性向上のため、成形前素材とダイスのクリアランスを圧入設定に変更した。

1.2 スプライン成形荷重低減

当部品は、前述のように高硬度粗材に冷鍛内スプライン成形するため、金型寿命の点から成形荷重低減は非常に有効な方策となる。弊社では、冷鍛内スプライン成形の前粗材形状は切削で内外径を加工しているが、軸方向に真直な形状ではなく、スプライン精度を確保しつつ荷重を低減させるために凹凸形状としている。凹形状を深く、広い範囲にすれば冷鍛荷重低減に大きな効果があるが、内スプラインの肉張り性が悪化し歯形精度はもちろん内スプライン振れ精度も確保できない。これらの相反する課題の解決のため、様々な凹凸形状でテストを行ったうえで形状を決定した。

また、その形状を高精度で維持するために、前述の図4の製造工程の⑥から⑧までの一貫自動ラインでは、全数自動寸法測定をライン内で行い、かつ、測定結果を前工程にフィードバックして自動寸法補正を行っている。

2. 小型内スプライン成形機の開発

前述の通り、アウトプットシャフトは長尺部品であり、その内スプライン成形には大きなストロークを備えた成形設備が必要となる。ただしその大きなストロークの大半はダイスからの製品の取出し及び、製品の搬送性から必要な要件であり、内スプライン成形自体に必要なストロークはそのごく一部である。このことからダイスを二分割（上型と下型）し、製品を横から搬入搬出する方法を採用して、成形設備ストロークの低減を行った。

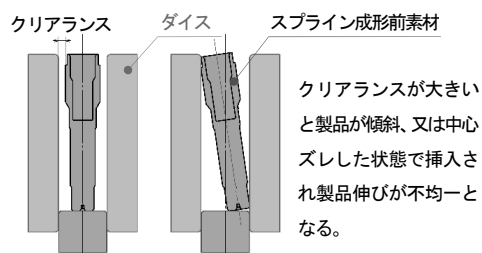


図 9 クリアランスによる粗材位置決め性への影響

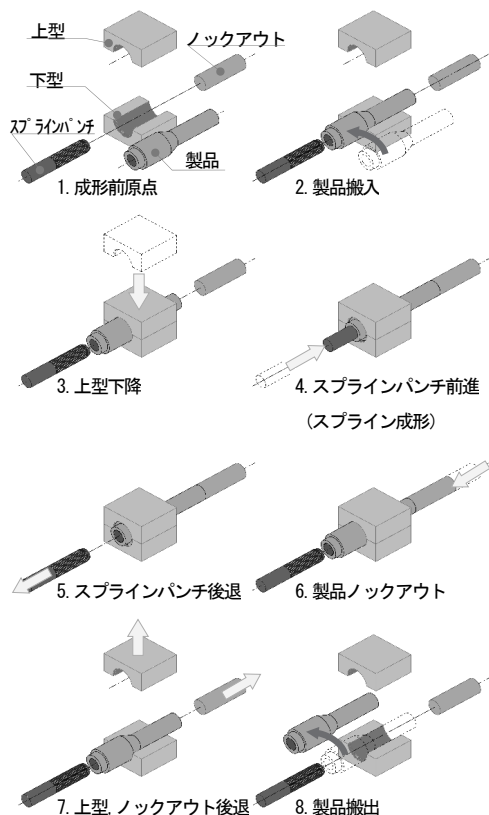


図 10 横打二分割型内スプライン成形機構

また搬送性を考慮し横打成形を採用した。さらに成形後すぐに上下型を開くと製品が上下型へ張付く問題が発生するため、開く前に製品をロックアウトできる機構とした（図10）。

二分割型を用いるデメリットとして内スプラインの真円度悪化の懸念がある。この懸念を解消するため二分割型を閉じる機構は油圧とし、この圧力の管理と調整により製品の真円度を確保している。

◇ 効 果

1. スプライン振れ要求精度の達成

上記の取組により、e-Axleユニット用アウトプットシャフトに求められる内スプライン歯形精度、両センター基準振れを始めすべての要求精度を達成することができた。

また今回の取組を通して内スプライン振れ精度を制御するための多くの知見を得ることができたことで、今後更なる高精度、高難易度内スプラインを手掛けることができる足掛かりとなった。

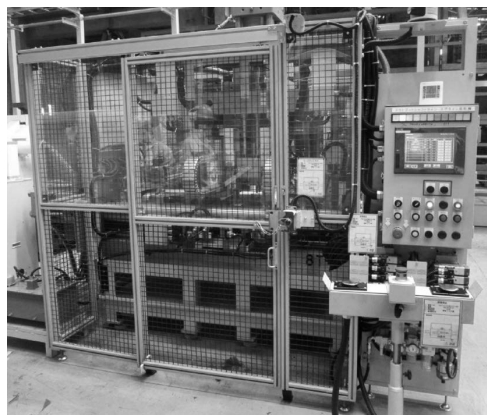


図 11 横打二分割型内スプライン成形機



図 12 一貫ライン外観

2. 小型内スプライン成形機の実現

開発した横打二分割型内スプライン成形機により目標コストの達成と、内スプライン成形機の一貫ラインへの組み込みに成功した。加えて従来の縦打一体型内スプライン成形と比較し、今回開発した横打二分割型スプライン成形機は製品全長の制約を受けづらい特徴を備えている。

む す び

e-Axle用アウトプットシャフトに対し、高精度な内スプライン成形技術を開発した。今後、幅広い出力のユニットへも対応するため、今回のサイズを超えるスプラインも高精度成形する技術、更なる長尺部品にも対応する技術の開発を継続していく必要がある。またe-Axleユニットの構造自体も自動車メーカー、ユニットメーカー各社が最適化を模索中であり、部品設計の変更にも柔軟に対応できる成形技術開発を今後も継続していかなければならない。

3. アイアンゴルフヘッドの精密鍛造

ミズノ(株) グローバルイクイップメント ど い かず ひろ
プロダクト部 ゴルフ企画開発課 主任技師 **土 井 一 宏**

まえがき

歴史：

ゴルフクラブの歴史について、まずは少し触れていきたい。1901年、日本で最初のゴルフ場が作られ、1910年頃から徐々にゴルフというものが知られていくようになった。当社は1906年に創業し、15年後の1921年にゴルフクラブ作りの計画を開始し、1933年にはミズノ初の国産ゴルフクラブを発売することとなった。現在とは材料も製法も異なるが、これがミズノが日本国内で最初に製造、販売をしたゴルフクラブであり、そのアイアンには鍛造製法が使用されていた。今から90年も前のこととなる。

1943年、岐阜県に養老工場を開設し、1940年代後半にはゴルフクラブの一貫生産を開始した。そして1965年、養老工場内に建てられたゴルフ工場は当時としては世界最大規模だったと言われている。それまでも試行錯誤しながら様々な鍛造方法で製造をしていたが、1960年代後半から現在の原型となる製法へと徐々に移行していった。

1973年にはミズノ初の鍛造製法でのアイアンも設計開始し、少しずつではあるが凹凸のある複雑な形状も設計できるようになってきた。そして1979年には鍛造製法のアイアンにおいても、後方に凹みを有するキャビティアイアンと言われる現状の設計原型となる形状のものも製造開始されることとなった。

◇ 製 法

鍛造と鍛造：

ゴルフクラブを大別するとウッド型とアイアン型とある中で、今回はアイアン型ゴルフヘッドに関して説明をしていく。

鍛造製法：ゴルフ分野では主にロストワックス製法を用いている。製品形状に加工代などを付与した形状の金型を作製し、その金型にワックス

(ロウ材)を射出する。金型から取り出されたワックスの表面にセラミック材や石膏などを何層にもコーティングしていく。その後、ワックスを溶かし出し、焼き固めたものが鋳型となる。鋳型に溶かした金属を流し込み、冷却させた後、鋳型自体を破壊し、中身を取り出したものが所謂AC (As Cast) と呼ばれる鍛造製品の原型となる。そこから研磨、加工、彫刻、メッキ処理などを施し、製品へと仕上がっていく。大きな特徴として、比較的複雑な形状作製に適しているということである。しかしながら凝固時の収縮や反りなどに留意する必要がある他、材料内部には巣孔などの鍛造欠陥も避けては通れない為、製品性能上で許容される限界を考慮する必要もある。また材料の組成を変えることで、硬さ、引張強度などの材料特性も向上させやすいが、靱性・伸びが少ないことも考慮しなくてはならない。

鍛造製法：まずは粗鍛造工程。1000℃以上に加熱した丸棒材料を金型の上に置き、高圧プレスやハンマーなどを使って叩き、成形しながら靱性を高めていく。アイアンゴルフヘッドにはバリ出し鍛造製法を使用しており、型鍛造をしながら成形された分をバリとして出しつつ、型内の細かい形状なども作り上げていく。その後精密鍛造工程へとつり、最終的な肉厚、形状、細かい意匠やロゴなどのデザインも入れていく。鍛造していくことで文字通り鍛錬され、金属組織も緻密な状態、かつ高い靱性を持ち合わせた製品作りが可能となる。しかしながら一般的には鍛造成形性の良い材料を使用しなければならず、材料選択としては鍛造よりも制限があることが多い。

当社鍛造アイアンの製造方法について触れていく。

ミズノ使用材料及び鍛造製法：

一般的に鍛造アイアンゴルフヘッドに使用されている材料は低炭素鋼S20CもしくはS25Cの丸棒材である。当社はS25Cを使用しているが、通常のS25Cと異なる点が2点ある。1点目は炭素含有量

の公差範囲が通常JIS規格の約1/3に狭めていること、2点目は鋼の5元素の中でも脆さを助長するような元素であるP（リン）とS（硫黄）の含有量をJIS規格の約半分に制限していることを特徴とする、厳選素材を使用している。

丸棒材料を所定の材料長に切断、加熱し、熱間鍛造による粗鍛造工程に入っていく。まずは絞り加工によって丸棒の一端を小径にし、所望の角度へ曲げる工程を経て、粗鍛造金型上で複数回鍛造を行う。その後、不要部分をトリミングし取り除く。

この粗鍛造工程で最も大事にしていることは鍛流線の繋がりであり、その為に主に3つの工夫をしている。1つ目は、前述したように丸棒の一端を小径に絞ることにより丸棒での断面積分布を最終製品形状での断面積分布に近い形状にしている。2つ目は、曲げ加工を入れることによって、最終製品形状のシルエットに類似させている。そして3点目は、金型形状を工夫することでボールを打球する付近にて鍛流線が密になるようにしている。一般的には鍛流線をもたせることで強度や靱性を高めることを目的にしていると思うが、それとは別に長年の当社研究により、ボールを打球した時に生じる打球音を向上させる為には、鍛流線を切断しないように作製する方が良いことが分かった。つまりバリが少なければ少ない程、材料歩留まりが向上することは当然であるが、我々にとってはせっかくの厳選素材を捨てたくない（実際にはリ

サイクルする）だけでなく、打球音を向上させる為にも鍛流線を余すことなく製品内に閉じ込めたいという設計思想に繋がっている。また複数形状あるアイアンの番手によって材料径も変更しているのはこの為である。

その後、温間鍛造による精密鍛造工程に入っていく。この精密鍛造工程とは大きな形状変化ではなく、一種のコイニング加工のようなもので、アイアンヘッドの背面部の詳細なデザイン、立体的なロゴマークや意匠、表面品質改善、そして打球面に存在するスコアラインと呼ばれる溝を付与していく工程となる。形状によって精密鍛造を行う回数や、金型設計、金型数は異なるが、一度の精密鍛造工程で出てくるバリ量は少なく、このバリ厚や量を制御しながら金型内に肉を充填させていくように鍛造していく（図1）。

粗鍛造、精密鍛造、全ての鍛造工程において、温度管理を厳しく行っている。温度がばらつくことによって、金属組織の違いに繋がりが、それが硬さや靱性の差を生み出してしまうことになる為、耐久強度だけでなく、後述する調角性にも悪影響を及ぼすことになる。

また一般的な鍛造部品と異なると思われる点を2点挙げたい。まず1点目として、アイアンヘッドの鍛造には厚みと重量の両方に公差を設けており、その公差範囲は極めて狭い。もちろん厚ければ重くなるのは当然であるが、設計厚みと設計重

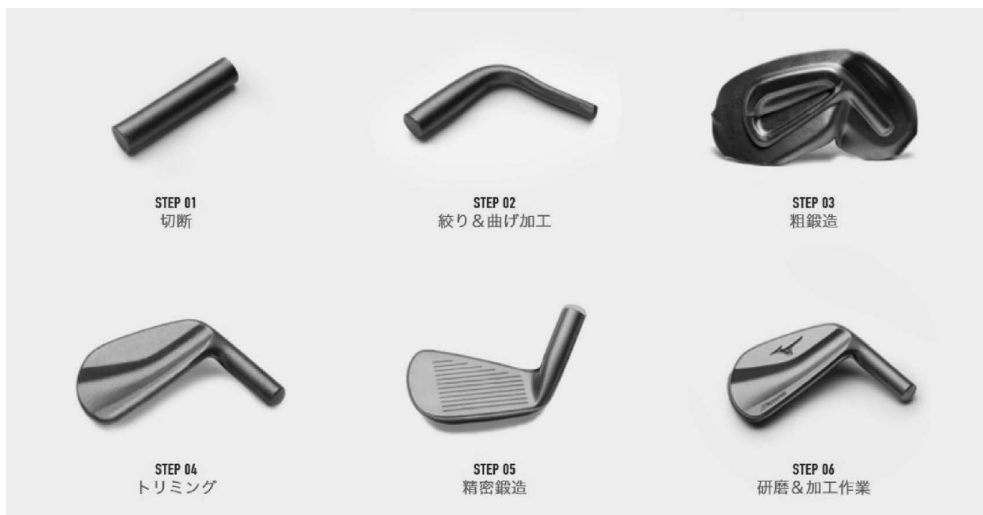


図 1 工程別パーツ

量の両方を狭い公差範囲で達成するのは、なかなか難しいことは容易に想像して頂けるだろう。そして2点目は、外観品質が非常に厳しいことである。当社の鍛造仕上がり品から最終製品にまで仕上げるまでの加工重量は非常に少ないと自負している。それが精密鍛造と言われる所以だが、鍛造仕上がり品に形成された黒皮を取り除く程度の研磨量に近いと思って頂ければ分かりやすいだろう。ゴルフをされる方は製品自体を想像して頂けると思うが、基本的には鏡面状に研磨し、クロームメッキ加工を施す。その表面には小さな傷やシワ、凹凸などが残っていることは許されないため、まさに工芸品に近いレベルと言っても過言ではない。

◇ 設 計

設計方向性：

昨今のアイアンゴルフヘッドにて取り組んでいる課題を少し紹介していく。

当社がアイアンゴルフヘッドの開発、設計で取り組んでいる大きな方向性として、打球部分の強度を高めながら、ホーゼル部（ヘッドとシャフトを連結する部分）を軟らかくし、かつ打球部とホーゼル部は一体素材の鍛造で作ること、である。打球部の強度を高める理由は反発性能（飛距離性能）の向上である。打球部を薄肉化し、撓みやすい肉厚形状に取り組んでいる。しかし打球部が撓めば自ずと応力も増し破壊されていく。破壊されないようにするには打球部の引張強度を高め、靱性も高くすることが必要となる。

次に、ヘッドとシャフトを連結している部分であるホーゼル部と呼ばれる箇所を軟らかくさせたい。ゴルフクラブを販売する過程でお客様のスイングをセンサーで計測し、スイングに合わせたクラブを推奨するフィッティングシステムが存在する。当社ではクラブスペックを推奨するだけでなく、ライ角と呼んでいる地面とシャフト中心の角度をスイングに合わせることを強く推奨している。その角度を調整することを調角と言い、常温状態にてホーゼル部分に力をかけ、手作業で曲げる。つまりアイアンヘッド全体が強く、硬いと曲げることができないのである（図2）。

そして最後に打球部とホーゼル部を一体素材の鍛造で作ることである。ここに前述した鍛流線が

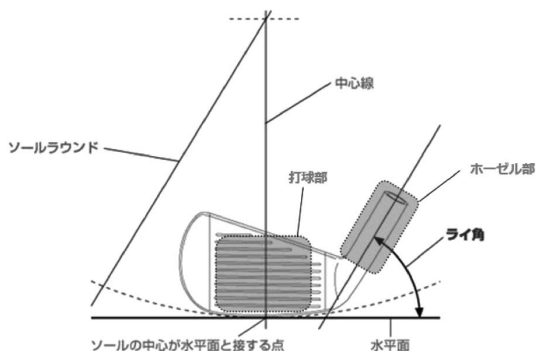


図 2 各部位説明

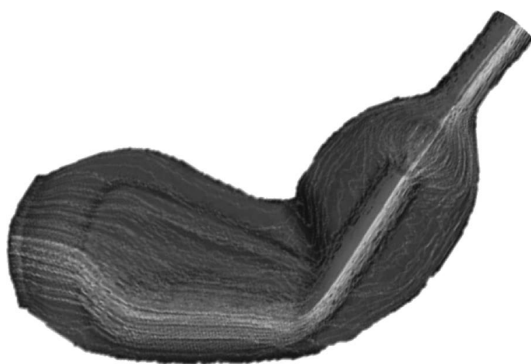


図 3 鍛流線シミュレーション画像

再び出てくる。丸棒の一端を小径に絞り、曲げ、そして打球部とホーゼル部を一体鍛造で作製することで、鍛流線が途切れにくく繋がっている状態を目指している（図3）。これにより、心地良く、澄んだ、余韻のある打球音を奏でることができやすくなり、それが一般的に「打感が良い」というアイアンゴルフクラブを設計できていると考える。鑄造製法でも複合素材でも打球音設計は可能である。CAD・CAEを駆使し、周波数を調整し、音圧を予測し設計している。全てのゴルフクラブヘッドの打球音は設計によって作られている。しかし大多数のゴルファーの方々が好む傾向である澄んだ、余韻のある打球音を作るには、鍛流線を途切れにくいように丸棒から一体で作られた鍛造製品が非常に有利であることが当社の研究から分かってきたことである。

こういった設計の想いのもと、丸棒からの一体鍛造成型に強い拘りを持ち、打球部付近を強く、ホーゼル部を軟らかくさせ、そして打感が良く、

高反発化と調角性を両立することを目標に、昨今ではボロン鋼やクロムモリブデン鋼などにおいてもあえて丸棒を使用した鍛造アイアンヘッドの設計、開発を行っている。

一方で他製法での優位性も当然ある。例えば打球部を除く本体とホーゼル部を casting や鍛造、機械加工などで複雑な形状に作製し、打球部に casting やプレス加工で作製されたマルエージング鋼などの高強度材を溶接することで、高い飛距離性能をもったアイアンヘッドが作製可能となる。鍛造技術もここ10年で飛躍的に向上してきている為、当社でも一体鍛造で深いポケット部を有し、打球部も高強度プレス材に負けないような強度を有する飛距離性能に特化したものも存在し、好みが分かれるかもしれないが、打球音も設計することで高音を抑えた良い音にすることができている。

「設計した音を活かしたい」「設計で音を抑える」どちらも良い打球音に違いは無いが、構造や素材によって打球音設計へのアプローチが異なっていく。

一昔前のゴルフ業界では、「鍛造と鍛造の違い」を良く取り沙汰されていたが、鍛造アイアンと呼ばれる様々な製品が存在する為、当社としては丸棒一体鍛造成型に拘りと信念を持って開発を続けている。

むすび

アイアンゴルフクラブで設計したいことが多くある。鍛造アイアンで成し遂げたいこともまだまだ存在する。

どの分野でも同じだと思うが、今年2024年に発売されるような製品達は5年、10年前では作ることすらできなかったものも存在する。材料、加工技術、金型精度、鍛造・鍛造技術など、どの分野においても少しずつでも進化を成し遂げているお陰で設計したものを実現することが可能となっている。偶然にも鍛造アイアンゴルフヘッドの開発に携わることが多かったのだが、お陰で日本国内の鍛造メーカー様に材料開発や新規技術開発を一緒になって取り組んで頂き、グローバルで設計・開発・製造とものづくりをする時代に日本国内で試作できることに感謝したい。

“NOTHING FEELS LIKE A MIZUNO”

2011年に米州、欧州の両ゴルフツアーにおいて賞金ランキング1位になった選手の言葉である。

この言葉を胸に感動を与える商品作りを続けていきたい。

4. 熱間鍛造におけるダイレクト式 サーボプレスと複動成形による多品種成形

(株)栗本鐵工所 機械システム事業部 寺川直人
塑性加工機本部 塑性加工機技術部 鍛圧機技術課

まえがき

当社は、1957年からプレス機械の製造に取り組み、現在に至るまで600台以上を国内外の市場に納入してきた。1980年には現在の主力製品となる自動熱間鍛造プレスC2Fシリーズをリリース、その後のCFMシリーズと合わせて、350台以上を市場に送り出してきた。近年は海外向けの輸出も増加している。近年の受注状況から熱間鍛造品の大型化や鍛造成形形状の複雑化からプレス成形能力が1,600tonから2,500ton～3,000tonに大型化する傾向も見られる。

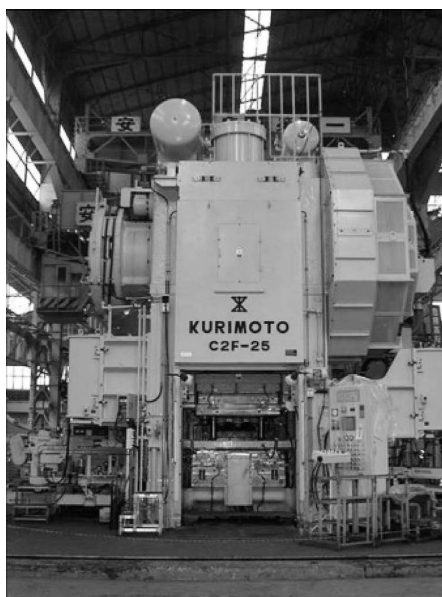
また自動機の生産速度も断続機であれば15spmから25spmに高速化している。これらの背景より当社では資料1に示すような熱間鍛造用ACサーボモーター式トランスファー装置を国内で初めて商

品化し、搬送装置の高速化と機能性の充実を図ることで、その後の鍛造業界における生産性向上に寄与してきた。その後もプレス本体主装置以外の鍛造材料搬入装置、鍛造成形品搬送コンベア、鍛造金型への金型潤滑装置、金型交換装置などの付帯設備に対しても商品化を行い、鍛造ライン全体での設備提案を行ってきた。また、これらの付帯設備により、鍛造成形の生産数だけでなく、段取り交換時間の短縮にも寄与してきた。

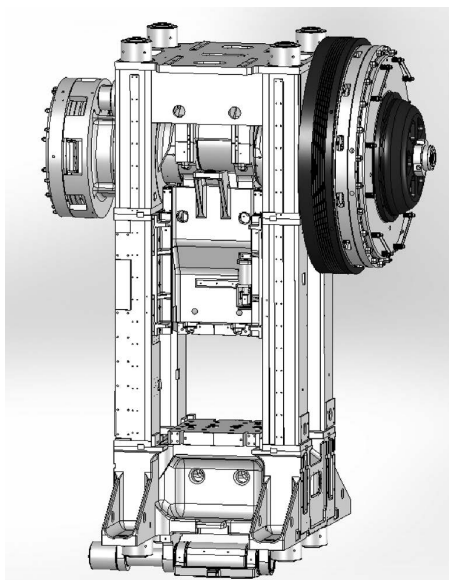
近年では熱間鍛造品形状の複雑化だけでなく多品種生産の需要も増加し、プレス成形動作の多様化が求められるようになった。このように市場ニーズの変化に伴い、当社は2013年にプレス成形動作をサーボモーターにて行う、ダイレクト式サーボプレスの商品化を行った。また2016年にはダイレクト式サーボプレスでプレス上下動作による成形に加えて、ダイスペース内に装備した油圧シリンダーにて加圧成形が行える、複動成形可能なモデルの商品化を行った。ダイレクト式サーボプレスによる多様な成形モーションとダイスペース内の複動成形機構を組み合わせることによって、多種多様な鍛造成形を可能にした。

◇ ダイレクト式サーボプレスの構造

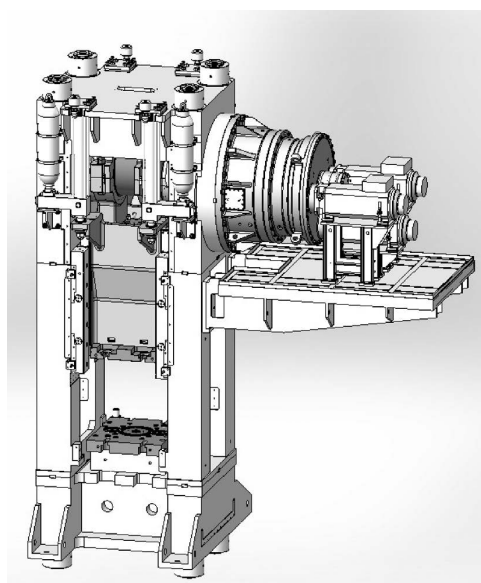
従来のクランク式プレスの特徴として、資料2に示すように電動機にてフライホイールを回転させ、その回転エネルギーをクラッチを介してクランクシャフトへ伝達、クランクシャフトの偏心機構によって回転運動を上下運動へ変換することで、成形動作を行い、成形後はブレーキによってプレス動作を停止する。ダイレクト式サーボプレスでは資料3に示すようにフライホイール、クラッチ、ブレーキの機構を無くし、サーボモーターの回転トルクを減速機を経由してクランクシャフトへ直



資料1 2,500ton自動プレス



資料 2 従来のクランク式プレス



資料 3 ダイレクト式サーボプレス

接伝達する機構を採用している。これによりクランクシャフトを任意の回転速度で動作し、様々な成形モーションを実現させた。またダイレクト式サーボプレスの駆動源として、サーボモーターを複数使用する多軸式を採用し、それらを同期制御することでプレス成形能力500tonから2,000tonまでをラインナップしている。

◇ ダイレクト式サーボプレスの特徴

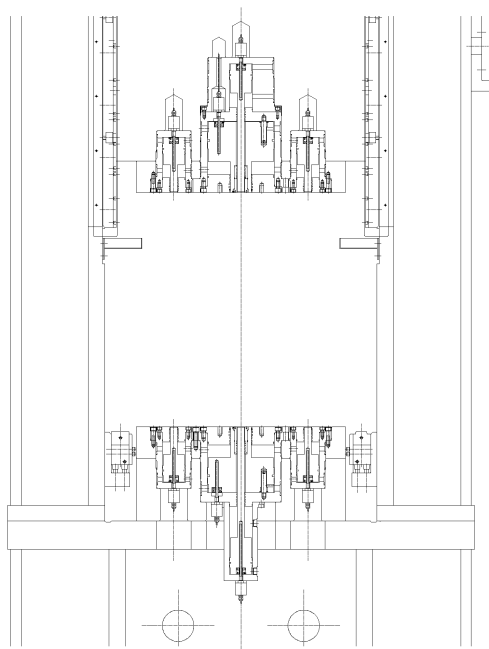
サーボモーターの回転をプレスの成形動作へ反映できることから、従来のクランクプレスモーションに加えてリンクモーションなども再現が可能となる。また、プレス成形下死点付近にて成形速度を減速させる絞り成形やサーボモーターの逆回転動作を組み合わせた複数打鍛成形なども可能となる。

機構上の特徴としても、従来のクランク式プレスではクラッチ、ブレーキがライニング板による摩擦力によりエネルギーを伝達していたため、消耗品が存在するが、ダイレクト式サーボプレスでは減速機内の遊星歯車にてエネルギーを伝達しており、減速機内はオイルバスにより油潤滑されているため、摩耗部の箇所が極めて少ない。

また使用環境としても従来のクランク式プレスと異なり、空圧や油圧を動作源とするクラッチやブレーキが廃止されていることにより動作音の低減、設備工場の空気などのユーティリティ低減になる。大型サーボモーター加速時には瞬時に大電力を供給する必要があるため、バッファ用サーボモーターを併設するシステムも存在している。バッファ用サーボモーターの軸端に疑似フライホイールを取付けて回転エネルギーを発生させる。サーボプレス本体の駆動用サーボモーターが大きく電力消費する鍛造後にバッファ用サーボモーターの回生電力を駆動用サーボモーターに供給し、電源からのピーク電力を抑えることができる。また駆動用サーボモーターが減速する際に発生する回生電力をバッファ用サーボモーターへ供給することで、設備として消費電力を抑えることが可能であり、動作音の低減、設備工場の空気などのユーティリティ低減、ピーク電力の低減などにおいて環境に配慮したプレスである。

◇ 複動成形機構の構造

資料4に示すようにプレスダイスペース内に複動成形用油圧シリンダーを装備することにより、プレスの上下動作による鍛造成形と合わせて油圧シリンダーでの成形を行える機構となる。油圧シリンダーには変位センサが装備されており、シリンダーピストンの動作を制御するサーボバルブへ



資料 4 プレス内油圧シリンダー

シリンダーピストンの位置情報をフィードバックする制御を行っている。また、油圧シリンダーについてもシリンダー圧力センサを設け、シリンダー動作の圧力情報もサーボバルブへフィードバックする機構としている。また、鍛造成形品を金型から離型する油圧シリンダーにも複動成形用シリンダーと同様の構造を採用しているため位置制御、圧力制御が可能である。

◇ 複動成形機構の特徴

油圧シリンダーの動作制御としてサーボバルブを用いており、油圧シリンダー内に装備されている変位センサを用いてシリンダーの位置をサーボバルブへ常にフィードバックしているためシリンダーピストンストロークを任意に変更でき、シリンダーピストンの速度も任意に設定することが可能である。また、圧力センサにより圧力をサーボバルブへ常にフィードバックすることで、任意の加圧力を設定することが可能である。当社が提案する複動成形機構は、ダイホルダーではなく、プレス本体側に装備するため、熱や離型剤の影響を受けにくく、ダイホルダー交換時に大口径の油圧配管・ホースの脱着作業も不要となる。

◇ サーボプレスと複動成形の有用性

サーボプレスによる鍛造成形モーションと複動成形機構の油圧シリンダー動作を組み合わせることによってプレス上下運動による成形を行いながら、金型内を複動成形用油圧シリンダーにて加圧することにより成形対象に背圧をかけながら成形し、上下金型を閉塞した状態で成形することが可能となる。このことにより複雑形状の成形に対して有効であり、鍛造成形モーションとの組み合わせで金型寿命の改善が期待できるなどの複合的な効果も期待できる。

従来より、冷間での閉塞鍛造は実用化されているが、熱間に用いられることは少ない。閉塞鍛造は、金型寿命に課題は残すものの、バリレスによる素材費の削減や工程削減・荷重低減による設備の小型化など、大きなメリットが期待される。

◇ 非鉄金属成形への応用性

サーボプレスの大きな特徴としてあげられるスライドモーションを任意に設定できるという特徴を生かし、従来では油圧プレスによるリンクモーションなどで成形していた製品についてもクランク式サーボプレスで成形することが可能となる。近年ではアルミ材の鍛造に加え、FRP製品の成形についてもサーボプレスが注目されている。特にFRP製品に関しては油圧プレスを主とした成形工法が主流となっており、金型をダイキスさせた状態で、加熱、成形したFRP製品が硬化するまでの時間を確保するための保持が行いやすいという点がFRP製品の成形に油圧プレスが用いられる大きな要因となっている。しかしながら油圧プレスは機械式クランクプレスと比較してスライドの昇降速度が遅いという点があり、製品を成形するサイクルタイムが長くなる。

油圧プレスにおけるFRP成形のネックともいえるサイクルタイムを短縮する方案としてサーボプレスを用いることで、スライド上限からは高速でスライドを下降させ、金型はまり込み時はスライド速度を低速とし金型精度に追従させながらスライドを下降、成形時は下死点にて位置を保持するため超低速での動作をおこなうことで対応が可能となる。

合わせてFRP製品の成形において高精度の成形が求められるため、成形時のスライド平行度の精度確保が重要となる。スライドの平行度を確保するためサーボモーターを用いた位置制御によるスライド平衡装置の開発についても検討中である。

◇ IoTとの連携

近年、IoTやAIの活用が各業界においても広がっており、当社もプレス設備のデータ活用を目的とした「プレス機械の見える化」を進めている。プレス設備には圧力・温度・位置・ひずみなど様々なセンサが取り付けられており、それらはPLC（コントローラ）に入力され設備全体の制御を行っている。プレス機の詳細な状態を把握するために、センサの入力情報をデータ化して収集することは過去より行われていたが、収集したデータを活用する最適なツールはこれまで無かった。そこでソフトウェアの開発を行い、今までできなかったプレス動作の見える化を実現することで、保全性の向上に加えて顧客設備仕様へ柔軟に対応できるよう自由度と拡張性を併せ持つシステ

ム化を実現している。サーボプレスはそれらのシステムと相性がよく、従来は成形荷重でしか成形状態を把握できなかったが、サーボプレスは駆動用サーボモーターのトルクと共に、複動成形油圧シリンダーの圧力やシリンダストロークなどを相対的に監視することで、設備状態はもちろん、製品の良品条件管理にも生かすことができるようになった。

◇ 今後の展開

鍛造業界において、今後多種多様な形状をした成形品が増加してくると推測される。これらに対応するため、様々な成形動作モーションが可能なサーボプレスは成形性、汎用性共に優れており、今後活躍の場が増えていくと推測される。また、金属製品の鍛造成形にとどまらず、近年増加傾向にあるFRP成形にもサーボプレスが有効であると考えられ、サーボプレスと合わせた成形精度確保や成形工法を確立するための付帯設備などの開発は重要となり、塑性加工という捉え方でサーボプレスの多様化に寄与していきたい。

5. 最近のフォーマーの動向

（株）阪村機械製作所 黒川 則夫
設計部 設計部長

まえがき

フォーマーはコイル材の切断から鍛造成形まで一貫成形することができる横型多段式鍛造機であり、最大 450min^{-1} の圧造を行う高性能な機械能力と金型構成により、さまざまな形状のパーツを生産できる。高精度な機械と金型によってネットシェイプのパーツを生産することが可能であり、産業界に大きく貢献している。

ただ、フォーマーと縦型プレスと比較すると、高速生産が行えるという点ではフォーマーの方が優れているが、製品のニアネットシェイプ化という点では、縦型プレスに遅れをとっている。縦型プレスではサーボ駆動がすでに普及しており、ダイクッション等の背圧を併用したニアネットシェイプ化が進んでいる。一方フォーマーではサーボ駆動や背圧装置を利用した加工方法がまだ普及していない。

昨今では、カーボンニュートラルの実現に向けてBEV（battery Electric Vehicle）の推進、軽量化が進められており、精密部品やギヤ製品への展開が期待されている状況下、フォーマーでの生産効率の有利性を見出し、弱点を補い活用すべく、サーボ駆動フォーマーに機械式油圧発生装置を搭載、フォーマーでの新たな鍛造工法の開発を行っている。

また、歩留まり改善、不良品ゼロを行う為、フォーマーからコンベアラインまで一貫した無打痕ラインの構築を目指している。

◇ フォーマー装置概要

1. サーボフォーマー

通常のフォーマーは、モーターを駆動源としてフライホイールを回転させて、クラッチをつなげることによってクランクシャフトに回転力を伝達、ラムの往復運動を行うがサーボフォーマーの場合、フライホイールは使用せず、サーボモーターから

ギヤを介して直接クランクシャフトを回転させるため、ラム速度制御が任意に行え、さまざまなモーションで圧造できるメリットがある。モーション制御できるサーボ駆動のフォーマーでその特長を生かした試作を行っている。

サーボ駆動フォーマーの特有な制御として、切断時の速度を上げるモーションがある。フォーマーは、コイル材を機内で切断できる切断機構を有していることから、切断時の速度を高く保ち、切断面の向上を図っているが、反面圧造成形時には速度を落とした方が製品精度や金型寿命向上効果が得られる。通常のフォーマーであれば成形速度を落とすと同時に切断速度も落ちることとなる。

そこでサーボ駆動の特長であるモーション制御を行い、成形時には速度を低く保ち、切断時に速度を上げることで、切断面の向上＝製品品質向上につながられる。

フォーマーでは、切断面の優劣が製品形状の良し悪しに大きく影響することもあるためモーション制御を行うことで成形精度向上への優位性を発揮できることとなる。

2. 背圧装置の開発（機械式油圧発生装置）

通常の油圧ポンプによる油圧発生装置を使用してフォーマーの高速運転に追従させようとした場合、非常に大きく、かつ高価な機器を装備した油圧発生装置が必要である。そこで、機械駆動を利用した油圧発生装置を開発した（PAT.）。

初期の圧力充填をフォーマー本体に既設の油圧ポンプを使用して行う。初期圧力充填後はポンプから送り込まれる回路を閉鎖し、油圧管路内を閉回路とした。

圧造時に必要となる油圧圧力については、ダイブロック内に油圧シリンダーを設置し、ラムの前進によって金型を介してシリンダーを加圧、圧力を発生させる構造とした（図1）。

圧力制御については、市販のエアシリンダー図1の17を利用し、エアシリンダーの圧力を変える

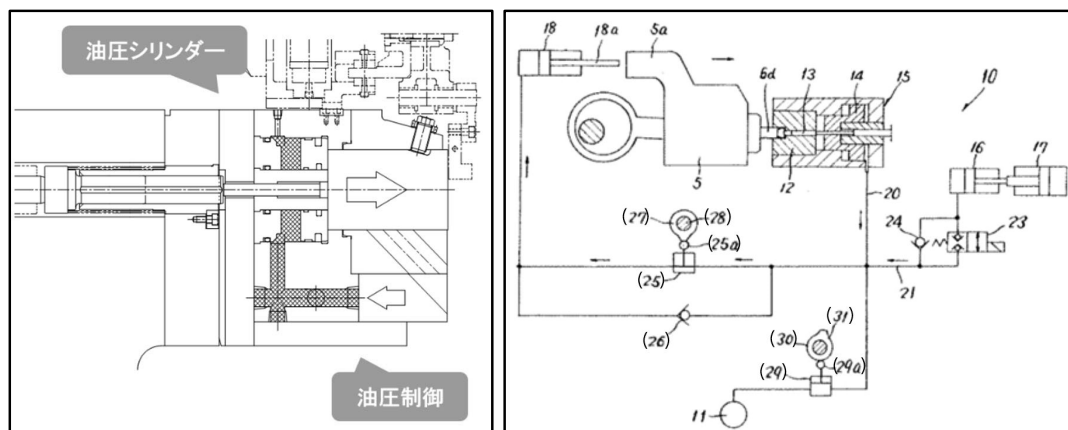


図 1 背圧用ダイブロック内油圧シリンダー及び背圧装置概略図

ことでダイブロック内の油圧力を制御している。

背圧を利用した鍛造工法の一つに、成形過程で圧力を開放する分流鍛造法がある。これを通常のポンプ式の油圧発生装置で行う場合、特殊な開閉弁を利用するが、機械の高速稼働に追従させるためには高価な機器が必要となり、合理的ではない。

本装置では、フォーマーに回転カム（図 1 の 25～31）を設け、そのカムによってバルブを開閉させる機械式の開閉弁を利用する構造とした。また圧力開放時に放出された油は、ラムの後死点側に設置された油圧シリンダー図 1 の 18 内に移動する。シリンダー内に移動した油は、圧造後に後退するラムによって油圧シリンダーのピストンが押されることで背圧装置内に戻される。

これら機械動作を利用した油圧発生装置を開発し、フォーマーに適した追従性、設置スペース削減を行い、油圧装置のコンパクト化と低価格化を行った。

最新の背圧装置では、大型機への展開、複数工程での背圧による成形を実現している。

◇ 背圧を利用した鍛造方法

背圧装置を製作するにあたり、背圧を利用した鍛造方法として、閉塞鍛造法、分流鍛造法、背圧鍛造法の 3 種類の鍛造方法を想定し設計を行った。

1. 閉塞鍛造法

上型・下型や割型のような分割された金型に背圧を付加し、金型を拘束した状態で成形する鍛造方法である。従来工法では、コイルスプリングや

ガススプリングを使用して金型を拘束するが、フォーマーの限られた金型スペースに設置できるものでは十分な拘束力を発生させるのが難しい。それを改善すべく油圧を利用し、拘束力（背圧力）を高めた。

2. 分流鍛造法

成形過程で材料が流れる方向とは異なる方向にも積極的に材料流動を促すことで、成形圧力を軽減するとともに、成形時の未充填部を最小限にする鍛造方法である。背圧を使用しない従来工法では、2 工程に分けて行われるのが一般的であるが、背圧を利用した分流鍛造工法によって、1 工程で成形が可能となり工程削減が実現できる。

3. 背圧鍛造法

成形荷重に対抗する工具に圧力（背圧）を設けることにより、押し出し先端形状や後方押し出し形状を整える鍛造方法である。背圧装置を使用しない従来工法では、2～3 工程に分けて成形が行われるが、それでも金型形状に沿わない場合もある。背圧を利用することによって、1 工程で成形が行え、工程削減につながるとともに、金型に沿った形状に成形することが可能となる。

◇ 各種鍛造方法での成形事例

サーボモーションと背圧を利用して行った各鍛造法での試作事例の代表的なものを紹介する。

試作に使用した材料はいずれも SCM415 材である。

1. 閉塞鍛造法による試作事例（コンロッドボルト）

細径の軸部を割型で拘束、先端部は据込み成形を行う金型構造とし割型部を背圧で拘束した。

背圧装置有無での形状比較を示す（写真1）。

試作結果としては、油圧での背圧で拘束し成形したものは、軸径 $\phi 10.15\text{mm}$ となり 0.05mm の拡大で抑えられた。筋状の傷は微小に抑えられ、先端部の充満度も改善している。

2. 分流鍛造法による試作事例（ヘリカルギヤ）

フォーマーでギヤ製品を成形する際、押出し加工で成形するのが一般的である。押出し加工での

ギヤ成形では素材部分が多く残り、切削代が増えるため歩留まりが良くない。歩留まりの改善を行うべく、両端面までギヤ形状を必要とする製品では、据込みによるギヤ成形が必要となる。ヘリカルギヤの据込み成形においては、歯先までの材料充満がポイントであり、単純に据込むと充満できない。したがって、捨て軸を利用した分流鍛造法による成形が一般的に用いられるが、従来のフォーマーでは背圧装置を組み込むことができず成形が困難であった。

そこで本装置を用い、背圧を利用した分流鍛造法による据込み加工の試作を行った（図2）。

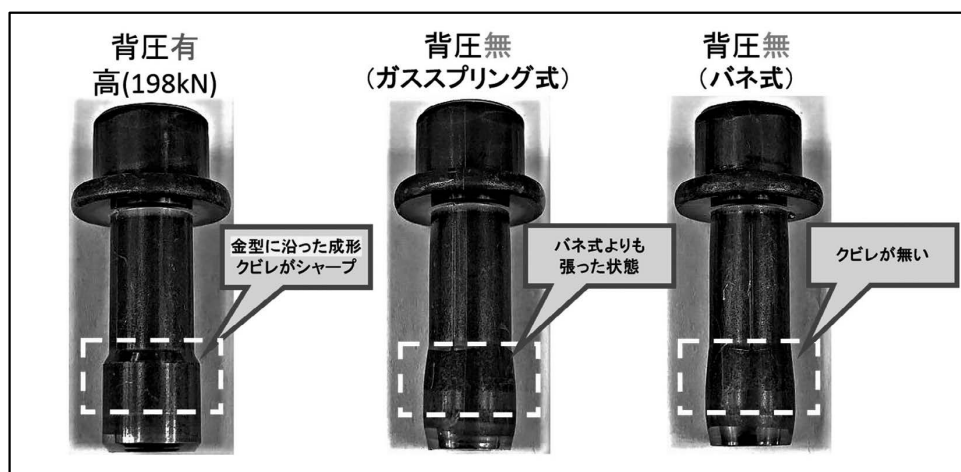


写真1 背圧有無による形状比較

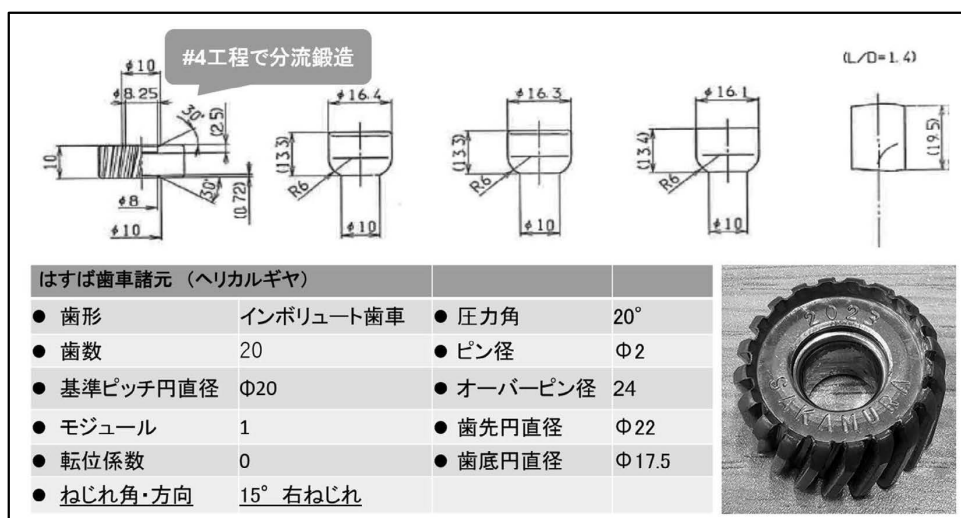


図2 ヘリカルギヤの成形工程

試作結果としては、背圧無しの製品ではギヤ歯先に材料が充満していないが、背圧を利用することで、ギヤ歯先の充満度が大きく改善、成形荷重も低減が出来、金型寿命向上が期待できる。

◇ フォーマーでの無打痕ラインの構築 (打痕傷防止とともに省人化の実現)

1. 開発目的

フォーマーで圧造した製品の打痕傷防止対策は以前より強く求められており、当社では約30年前にフレーム側面を貫通するコンベアで圧造製品を機外に搬出する打痕傷防止コンベア（Scarring Preventionコンベア）を開発している。

SPコンベアの採用率は100%近くとなっており、打痕傷防止に貢献しているが、コンベアから最終的に製品を取り出して箱詰めする作業は、傷を付けないように人の手によって行われている。大型部品の場合は重労働にもなり、この手作業をなくして自動化したいというユーザーからの要望はかねてより寄せられていた。そこでフォーマーで圧造した製品を機外に搬送し、洗浄・乾燥してから箱詰めするまでの一連の無打痕ラインを完成させるべく、ロボットによる製品ピッキングの開発に着手した。

2. 開発内容

開発にあたっては、まずロボットが製品を取り出しやすいコンベアをテーマにSPコンベアをウェーブ状にした。ウェーブ一つ一つに圧造製品が収ま

ることで製品同士がぶつかることなく、かつ安定した姿勢で搬送される。

一般的な大型の圧造製品の場合、SPコンベアから水平コンベアに乗り移らせた後、製品洗浄および乾燥を行う。このとき直交した水平コンベアだと製品同士が接触しないように搬送するには水平コンベアの手速を上げるしか方法がなかった。水平コンベアの手速を上げると、洗浄・冷却・乾燥の時間が短くなり、十分な効果が得られないというデメリットがあった。

そこで、圧造製品の方向を90°ターンさせるためにカーブ形状のコンベアを開発した。さらに製品同士の干渉を防ぐために、カーブ部分をウェーブ形状とした。

カーブウェーブコンベアを採用することで製品同士が干渉せず、一つのウェーブに一つの製品で傷がつくこともなく安定した搬送が可能となった。また、従来に比べて洗浄・冷却・乾燥の時間が大幅に長くできたため、打痕傷を解消するだけでなく、圧造製品表面の変質が最小限で抑えられることから歩留まりが向上するという附帯効果があった。

こうして「ロボットが製品を取り出しやすい」というテーマでコンベアの開発を進めることで、水平コンベアのウェーブ部に整然と製品が並ぶ環境が整った。

次に人手を介さず、ロボットで傷を付けずに製品ピッキングを行うというテーマに取り組んだ。

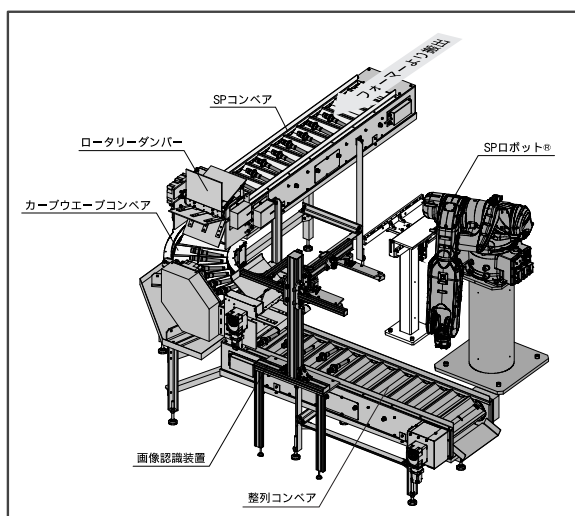


図 3 社内研究用コンベアライン

社内研究用に製作したコンベアラインでは、SPコンベア、ロータリーダンパー、カーブウェーブコンベア、整列コンベアをフルサーボ化したことで、製品位置やコンベア速度、製品受け渡しタイミングなどの精密制御が可能となり、製品位置情報をロボットへの確に伝え、コンベアに同期させたロボットでピッキングを行う（図3）。

3. 開発成果

この社内研究用コンベアラインでの検証を重ね、2021年4月には生産数 50min^{-1} で稼働する実機に追従させるために3台設置したロボットによる製品取り出しに成功、2024年2月にはロボット9台による大型機への実機装備を行った。

実際の生産現場での稼働にはまだ課題が残っているものの、フォーマーで圧造された製品の機外搬出から箱詰めまでという一連のラインの無打痕化への道筋はすでに見えており、実用化へと進んでいる。

むすび

当社経営理念の「顧客第一主義に徹しパフォーマンスNo. 1の塑性加工技術とサービスを追求する」を念頭に、工場スペース合理化、製品精度向上、打痕防止、IoTでの稼働状況の見える化、カーボンニュートラル（CN）への対応など顧客ニーズに応じて開発を進めている。

ご紹介したサーボフォーマーは、京都工場の研究開発棟に設置し、試作機として活用、新たな鍛造技術の追求を行っている。

業界の動向として、カーボンニュートラルの実現に向けてCO₂の削減、部品の軽量化、ネットシェイプ化が求められている。今後もお客様に「役立つ」モノへとお客様のニーズに応じるべく、試作のご提案、ご教示を頂きながら、開発段階から実用化へとより顧客ニーズに近づけていけるよう技術追求を行っていく。



Ⅳ．鍛造周辺技術

1．鍛造用金型（熱間・冷間）用鋼

日本高周波鋼業(株) 谷 井 一 也
営業本部 営業部

ま え が き

鍛造加工とは金属素材に力を加え、変形させて目的形状に加工することである。又、冷間領域から熱間領域まで幅広い温度領域にて金属素材を鍛造加工する技術として自動車を始め様々な産業領域で使用されている加工手法である。

鍛造加工の中で使用される鍛造用金型は熱間鍛造金型と冷間鍛造金型に大別される。近年は鍛造技術の高度化や鍛造品への要求特性向上（品質や寸法精度）、コスト削減ニーズもあり、鍛造用金型の使用環境が過酷となって来ており、最適な金型用鋼の選定が必要であると共に周辺技術（熱処理や表面処理等）向上も重要な課題となってきた。本稿では、鍛造周辺技術の一つである鍛造用金型用鋼（熱間・冷間）に関して、昨今の自動車EV化の流れも踏まえながら説明する。

◇ 鍛造用金型（熱間）用鋼

1．はじめに

熱間鍛造は被加工材である金属素材を高温度域で塑性変形させる作業の事であり、熱間鍛造の長所は大きな変形が可能である為、大型鍛造部品の成形に使用されている。本鍛造作業の中で使用される金型素材が熱間金型用鋼である。

熱間金型用鋼は高温度域で使用される為に金型への熱的負荷が大きい。更にコスト低減の為のニアネットシェイプ化や部品の一体化を目的とした製品形状の複雑化等により金型への機械的負荷も過酷になっている¹⁾。又、自動車電動化（EV化）の流れの中でも航続距離を伸ばす為に車両軽量化は重要な課題であり、その方法として、高強度鋼板の使用に際し、ホットスタンプ工法が用いられる。

本稿では熱間鍛造の種類や金型用鋼に求められ

る特性など熱間鍛造用金型用鋼に関する内容を紹介する。

2．熱間鍛造の種類と熱間金型用鋼の位置づけ

代表的な熱間鍛造用金型鋼の主要成分系を図1に示す。代表的な鋼種の特性は下記の通りである。

①SKT4

SK材にCr、Ni、Mo、Vを添加させた鋼材でハンマー鍛造型に用いられる。

②SKD61

SK材にMo、Cr、V等を多く添加した鋼材です。耐熱性・耐ヒートショック性に優れ、プレス型、ダイカスト型等で使用される。

3．熱間鍛造用金型鋼に求められる特性

熱間鍛造金型の成形面は高温の金属素材（ワー

主要成分%

	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	W	V
SKT4	0.50～0.60	0.10～0.40	0.60～0.90	1.50～1.80	0.80～1.20	0.35～0.55	—	0.05～0.15
SKD61	0.35～0.42	0.80～1.20	0.25～0.50	—	4.80～5.50	1.00～1.50	—	0.80～1.15
SKD7	0.28～0.35	0.10～0.40	0.15～0.45	—	2.70～3.20	2.50～3.00	—	0.40～0.70
SKH51	0.80～0.88	0.45以下	0.40以下	—	3.80～4.50	4.70～5.20	5.90～6.70	1.70～2.10

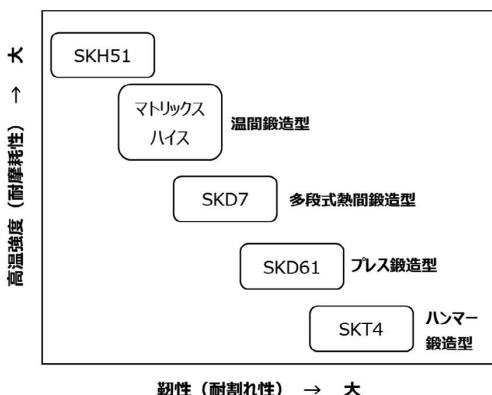


図 1 熱間鍛造の種類と代表的な熱間金型用鋼

ク)からの伝達熱、ワークと金型の摩擦熱による加熱と潤滑・離型剤塗布や噴霧による冷却の繰返しの熱サイクルを受けてヒートクラックが発生する。更に加熱により金型表層部が軟化して流動摩耗を促進する。同時に金型は鍛造による衝撃的な応力を受ける。従って、熱間鍛造用金型鋼には高温強度や高い靱性が求められる²⁾。

上記使用環境下や大型の金型用鋼に対する高靱性化対策として、特殊溶解 (ESR) の適用などの製造プロセス改善で高い靱性値を確保した金型用鋼も開発されている。

4. ホットスタンプ工法と熱間金型用鋼の要求特性

自動車EV化の流れの中でも自動車の軽量化は重要な課題であり、軽量化対策として使用鋼板の薄肉化と共に衝突安全性を満足する為、使用鋼板の高強度化が進んでいる。高強度鋼板の成形手法として、ホットスタンプ工法がありその手法や使用される金型材料に求められる特性について、説明する。

4.1 ホットスタンプ工法について

ホットスタンプ工法は鋼板をAc3点以上に加熱してオーステナイト化し、加熱ブランクを金型でプレス成形し、下死点保持中に金型に抜熱させ、急冷して焼入れを行い、マルテンサイト変態させ、高強度部品を得る工法である³⁾。

高温で成形を行う為、低プレス荷重で成形可能であるが、加熱したブランクを金型内部で急冷する必要がある為に生産性が低い (サイクルタイムが長い) 事が課題となっている。生産性向上の一つの解決策として金型用鋼の熱伝導率を高くする事でブランクの冷却効果が大きくなり、プレス下死点での保持時間を短縮できる事が期待されており、各特殊鋼メーカーは熱伝導率に着目し、ホットスタンプ工法用の金型用鋼を開発している。

4.2 ホットスタンプ工法用金型に求められる特性

先に述べたようにホットスタンプ工法の生産性向上の為、金型用鋼には高い熱伝導率が要求される。ホットスタンプ工法に使用される鋼種の位置づけを図2に示す。代表鋼種であるSKD61の熱伝導率は室温では24W/mk程度であるが、昨今、各特殊鋼メーカーから添加成分の最適化等で熱伝導

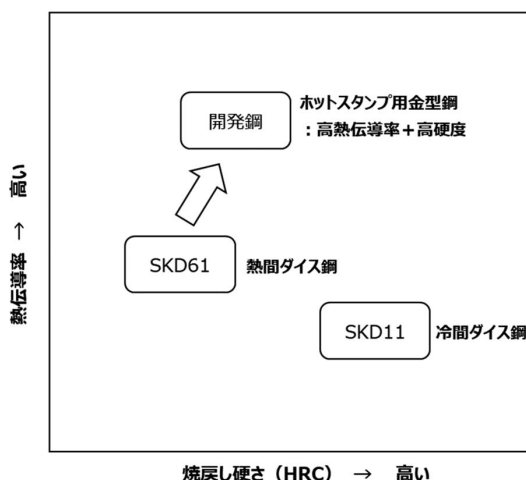


図 2 ホットスタンプ用金型鋼の位置づけ

率36W/mkとSKD61より約1.5倍高めた鋼種が開発され、実際にお客様で使用されている^{4)、5)}。

熱伝導率以外の要求特性としては、以下が求められる。

- ①高軟化抵抗：高温の鋼板接触による金型表面の軟化低減の為。
- ②高硬度：金型摩耗抑制の為。
- ③耐食性：鋼板の冷却用に金型内部に水冷孔が設置されており、その水冷孔からの応力腐食割れ抑制の為。
- ④靱性：金型割れ抑制の為。

更なる生産性向上や金型損傷改善を図った新しい熱間金型用鋼や周辺技術の開発が今後も進められると考えられる。

◇ 鍛造用金型 (冷間) 用鋼

1. はじめに

冷間鍛造は被加工材である金属素材を加熱する事なく常温で鍛造する事であり、その際に使用される金型素材が冷間金型用鋼である。

冷間鍛造の特徴は製品表面が綺麗、寸法や形状精度が良く高精度な製品が製造出来る点である。しかし、常温で加工する為、熱間鍛造に比べ変形抵抗が高く、冷間金型用鋼への負荷が大きくなり金型の破損などが発生することもある。

又、自動車の車体軽量化に関し、冷間鍛造の分野では冷間プレス成形にて自動車の骨格に強度が高い超ハイテン鋼板を使用している。

本稿では昨今の超ハイテン鋼板成形も踏まえ、冷間鍛造の種類や金型用鋼に求められる特性など、冷間金型用鋼に関する内容を紹介する。

2. 冷間鍛造金型用鋼の位置づけ

冷間鍛造金型用鋼の主要成分系と特性位置づけを図3に示す。

各冷間金型用鋼の特徴は下記の通りで金型への負荷や損傷形態を把握した上で適切な金型材料を選択し、最適な硬さで使用する事が重要である。

①合金工具鋼（SKS3）

SKS3は、SK材にCrやWを加えて耐摩耗性や耐熱性を高めた鋼材で、中・少量生産のパンチ、ダイに使われます。その他では、焼き入れを必要とするストリッパやパンチプレートなどにも使われる。

②合金工具鋼（SKD11）

ダイス鋼とも呼ばれ、冷間鍛造用のプレス金型材料として多く用いられパンチやダイの主流と言える鋼材です。SK材にCr、MoおよびVが添加された材料です。SKD11は多量の炭化物を保有している為に耐摩耗性が大きいのが特徴である。

③高速度工具鋼（SKH51やSKH40）

鋼にCrやWなどを加えて耐摩耗性や靱性を高めた鋼材であり、切削工具や金型に用いられること

が多く、非常に硬い鉄鋼材料として知られています。主に3種類（W系、Mo系、Co系）があり、使用される金型によって使い分ける必要があります。又、製造方法も鉄鋼材料などの原料を溶解して製造する方法と、一度溶かしたものを粉末にして熱と圧力をかけながら焼結していく方法がある。

3. 冷間鍛造用金型鋼に求められる特性

冷間鍛造用金型に負荷される応力は大きく、負荷の形態も引張、圧縮、曲げ、ねじりあるいはこれらが複合され多様である。金型や工具寿命を改善するには金型の損傷形態・要因を把握し、適した鋼材の選択が必要となる。冷間金型の代表的な損傷形態は摩耗や割れであり、その損傷を低減する為に必要な特性について以下に説明する。

①耐摩耗性

摩耗による損耗にはワークに含まれる炭化物や酸化物あるいは摩耗粉等によって金型表面が掘り起こされるアブレシブ摩耗と、ワークの一部が局部的に溶着と脱落を繰り返すうちに金型表面の一部が剥離する凝着摩耗、そして高速加工やステンレス等の変形抵抗の大きいワークを加工するとき金型表層が昇温、軟化して塑性変形する流動摩耗等がある。これらの摩耗に対しては、耐摩耗性を高める事が重要であり、金型の設定硬さを高める事・金型材料に含まれる炭化物量が多い事が要求される²⁾。

②靱性

割れを抑制するには靱性の高い鋼材を使用する事が重要である。靱性の指標であるシャルピー衝撃値は硬さが高くなれば低下する。又、金型材料に含まれる炭化物が微細、均一化するほどシャルピー衝撃値は高い²⁾。

4. 超ハイテン成形用の冷間金型用鋼

自動車の軽量化対策として使用鋼板の薄肉化と共に衝突安全性を満足する為に自動車の骨格に強度が高い超ハイテン鋼板の適用が図られている。この項では超ハイテン鋼板の冷間プレス成形に使用される金型用鋼について説明する。

4.1 冷間プレス成形における金型損傷形態

冷間プレス成形時に金型表面に被加工材が凝着し、成形部品表面を掘り起こした筋状欠陥をかりじと言う。金型表面の凝着物は摺動の繰返しにより成長と剥離を繰り返し、時として金型損傷を引

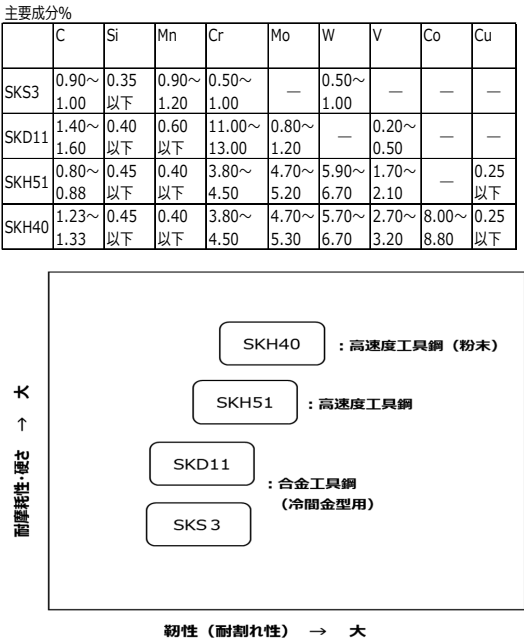


図 3 冷間鍛造金型用鋼の成分と特性位置づけ

き起こす⁶⁾。実際の被加工材や金型に発生しているかじりや金型損傷事例を図4に示す。

超ハイテン鋼板の使用増加に伴い、かじり・金型損傷といった生産トラブルが増え、メンテナンスコストの増加や生産性悪化に繋がる恐れがある。

4.2 超ハイテン鋼板成形用鋼に求められる特性

超ハイテン鋼板は高強度であるためプレス成形時の面圧が高くなり、金型への負荷が増大して早期金型寿命になる事がある。金型寿命向上の為に硬さ向上、耐摩耗性向上、靱性向上が必要である。特に切断工程で使用する金型には靱性の良い鋼材など耐チップング性も要求される。その他の必要特性としては、金型製造コスト低減を目的に被削性が良い事や周辺技術である表面処理

(PVD処理等)を金型に施す事も多い為に表面処理性も要求される。

むすび

本稿では熱間鍛造用金型鋼と冷間鍛造用金型鋼の位置づけや特性などを紹介してきた。金型用鋼の使用環境がより過酷下して行く中で生産性を高める為には被加工材による金型への負荷の見極めや損傷形態を把握した上で最適な鋼材を選定する事が重要である。又、熱処理や表面処理等の周辺技術も金型寿命向上には重要な因子である。適切な鋼材や周辺技術の選定に加え、成形工程の最適化など設計面での改善も踏まえトータルで最適な鍛造方法を検討して行く事が、今後ますます重要になってくると考えられる。

参考文献

1) 難波剛士 特殊鋼71巻6号(2022)8-10
2) 中小企業事業団 鍛造加工・技能マニュアル 平成11年3月13
3) 匹田和夫 特殊鋼66巻3号(2017)14
4) 梅森直樹 型技術 第35巻10号(2020)38-41
5) 殿村剛志 特殊鋼68巻1号(2019)33
6) 片桐知克 ぶらすとす第2巻第19号(2019)22

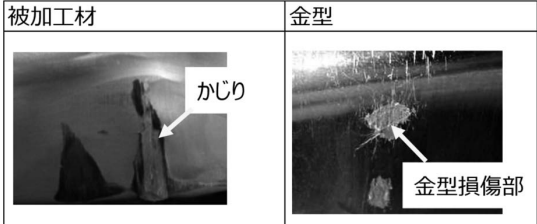


図 4 被加工材のかじり・金型損傷事例

2. ウェットブラスト + 非化成潤滑剤による 冷間鍛造前潤滑処理

マ コ ー (株) たちばな かず とし
中京支店 営業部 橘 和 寿

ま え が き

冷間鍛造において、潤滑膜は金型と被加工材との間で高面圧、高温、表面積拡大といった過酷な環境に曝される^{1), 2)}。これらの環境下で生産性の高い加工を成り立たせるためには、潤滑膜を金型と被加工材の接触界面に介在させ続けることが重要であり、接触界面から流出しにくい潤滑膜として、一般的に被加工材表面に固体潤滑皮膜が付与される³⁾。固体潤滑皮膜形成には長らくリン酸塩に代表される化成皮膜処理が行われているが、化成処理を省略するものとして、塗布・乾燥を経て固体潤滑皮膜を形成する環境対応型潤滑剤（以下、非化成潤滑剤）が採用されている。非化成潤滑剤の皮膜は、皮膜形成プロセスで化成反応を伴わないため、従来の化成皮膜より密着性が低く、厳しい加工においては焼付きが発生しやすいことが知られている^{3), 4)}。近年、この潤滑皮膜を金型と被加工材との間に適切に介在させるための補助技術として被加工材へのブラスト処理（以下、ブラスト）が適用され、ピニオンギヤの閉塞鍛造などの強加工領域向けにも非化成潤滑剤の適用範囲を広げる上で役立っている^{5)~7)}。ここではブラストの一つであるウェットブラストの特徴を平易に解説するとともに、その効果について紹介する。

◇ ウェットブラストによる下地処理

1. ブラストの効果

ブラストは、固形粒子（以下、粒子）を圧縮空気や機械的な羽根車の遠心力を用いて高速に投射し、被加工材に衝突させることで加工効果を得る遊離砥粒加工法の一つである。表面物質の除去・洗浄、粗面化、活性化、ピーニング作用といった処理効果が同時に働き、複合的な効果が得られる

のが特徴である^{8), 9)}。金属加工分野においては、線材や棒鋼材、あるいは熱間鍛造品のスケール除去、機械加工品や鋳造品のバリ取り、部品の疲労強度向上などの用途で広く採用されている。被加工材よりも硬度の高い粒子を衝突させた場合、被加工材表面が粒子形状にならって塑性変形することで無方向性の梨地性状が得られる。特に多角形状の粒子で得られる梨地性状は、異材質の密着性向上を目的とした用途にも広く採用されている。例えば、鋼材塗装やリン酸塩処理等を行う場合の前処理である^{10), 11)}。これらの報告において、異材質の密着性向上に対するブラストの効果は、次のように述べられている。

- ①密着阻害物（油脂、錆）の除去
 - ②表面粗化による機械的引掛り（アンカー）効果
 - ③表面粗化による表面積拡大
 - ④化学的に活性な新生面の露出
- ②、③は梨地性状の直接的效果を指し、一方で④は化学的效果である。化学的效果は、表面活性の程度に影響することが知られている。

2. ウェットブラストの特徴

ウェットブラストは、粒子を水と混合させたスラリーとして扱う点で、ショット／サンドブラストと称される乾式（以下、乾式ブラスト）と異なる。図1にウェットブラスト装置の基本的なシステム構成を示す。スラリーをポンプで圧送し、ブラストガンにて外部から導入する圧縮空気と混合することで、スラリーを高速且つ分散させて投射する。被加工材に衝突したスラリーはシステム内で回収され、循環利用される。

このように粒子をスラリーとして扱うウェットブラストは、大きく二つの特徴を持つ。一つは乾式ブラストに対して微細な粒子でも処理効果を得られることである。粒子が水と混じって噴射され

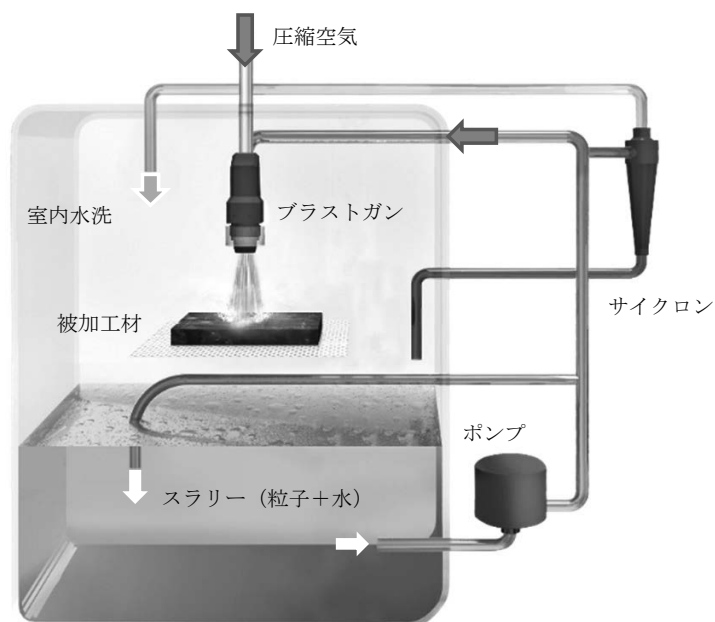


図 1 ウェットブラスト装置のシステム構成

るため、乾式に比して空気抵抗による速度エネルギーの損失が少なく⁹⁾、微細粒子であっても被加工材に衝突させることができる。例えば、乾式ブラストでは困難とされた $3\mu\text{m}$ 以下の微細粒子でもブラスト可能¹²⁾である。また衝突後のスラリーの飛沫は凝縮して水滴となるため大気中で沈下しやすく、粉塵爆発の懸念回避や衛生的な作業環境を保つことが容易である⁹⁾。前述のように、異材質の密着性向上には多角形状の粒子で得られる梨地性状が有効であるが、ウェットブラストは、小径の多角形状粒子を扱えることで、ブラスト装置の課題である装置損耗を抑えつつ、密着性向上に適した表面を得ることができる。

もう一つの特徴は被加工材表面の高い洗浄効果である。被加工材表面は、スケールやその他表面付着物が除去された後、直ちにスラリーに覆われる。水膜を介して表面に粒子や除去された物質が載ることになるが、これらは次工程の rins で容易に洗い流せるため、清浄で活性な状態の素材表面を露出することができる⁹⁾。なお、被加工材に多量に油脂が付着している場合はスラリーに脱脂剤を、錆が生じやすい素材の場合は防錆剤をそれぞれ投入することで、洗浄効果を補助することもできる。

つまりウェットブラストは、清浄で活性、且つ多角形粒子による密着性向上に適した梨地性状を得やすいという特徴を有している。

3. ウェットブラスト下地処理+非化成潤滑剤の実装効果

ウェットブラストの特徴を生かし、当社ではプレス機の前付帯としてインラインで導入可能な、被加工材の下地処理から潤滑処理までを一貫で行う小規模設備「WLS (Wetblast Lubricant System)」を開発し提供している。WLSの概要を図2に示す。従来複数工程に分かれていた被加工材の下地処理工程と潤滑工程を一体化することで工程間の運搬を省略し、リードタイムを短縮する。また化成処理に伴うスラッジが発生しないため、産業廃棄物については90%以上削減できる。さらに非化成潤滑剤の塗布はスプレーによる掛け捨て方式とし、潤滑剤を循環利用する際に必要な成分管理を省いている。これらの結果、複数工程で管理項目の多い従来の潤滑皮膜形成プロセスをシンプルなものにしている。

さらに先行研究で得られたブラスト下地処理に関する知見をWLSに導入した結果、非化成潤滑剤では代替が困難とされていた強加工領域での量産が可能になってきている。さらに化成皮膜の場合

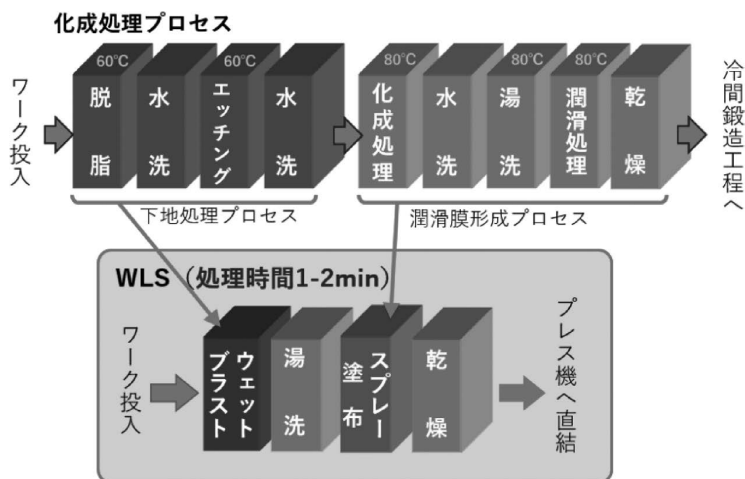


図 2 WLS (Wetblast Lubricant System) の概要

	粒子 SEM 像	レーザー顕微鏡観察像	断面曲線 [μm]
旋削加工			
ウェット ブラスト 多角形粒子 140 μm			
乾式 ブラスト 球形粒子 300 μm			

図 3 粒子SEM像とブラスト後の梨地性状

に比べて金型寿命が延びるといった実装効果も報告されている¹³⁾。このように、ウェットブラスト下地処理と非化成潤滑剤の組合せは、工業的に成果を挙げつつある。

◇ 潤滑性能向上に寄与するウェットブラスト下地処理

ウェットブラスト下地処理の潤滑性能向上への寄与に関する知見について、3つ紹介する。

1. 素材の表層剥離抑制

ここでは、ウェットブラストした被加工材表面

が、固体潤滑皮膜の剥離抑制に有効であることを述べる。旋削加工した試験片（S10C球状化焼鈍材）に対して、平均径140 μm の多角形粒子でウェットブラスト（以下、多角形粒子）、平均径300 μm の球形粒子で乾式ブラストした場合（以下、球形粒子）を比較する。それぞれの粒子は、実際の製造現場で潤滑下地処理に適用されているものに準じて選定している。図3に、粒子SEM像とブラスト後の梨地性状のレーザー顕微鏡観察像と断面曲線を示す。旋削仕上げ面には旋削痕による周期的な凹凸が見られるが、ブラストによって非周

期的な凹凸が付与される。多角形粒子と球形粒子では同程度の算術平均粗さ Ra を示すが、凹凸周期の間隔を表す RSm は多角形粒子の方が小さい。

これを圧縮率0.3になるまで圧縮し、金型に接していない自由表面の圧縮前後の変化を比較した結果を図4に示す。左がSEM観察像、右が試験片断面を研磨、ナイトール液でエッチングした後のマイクロスコープ観察像である。なお、断面観察像の白い部分は、観察試料作製時の端面ダレ防止のために施したニッケルめっき層である。球形粒子の場合、鱗片状に表層が剥離している箇所が散在している様子が観察される。断面観察像においては、表面近傍の結晶粒が薄く扁平につぶれていることがわかる。一方で多角形粒子ではこのような表面剥離や結晶粒のつぶれは観察されない。球形粒子が表面に押込み変形を与えたのに対して、多角形粒子は、試験片表面を圧縮しつつ微小に削り取ったため、圧縮変形域はほとんど残留していないと推定される。つまり、より質量の大きな球形粒子でたたいた表面は硬くて脆く、塑性変形能が低下するため、表層の割れ、剥がれが起きやすいと考えられる。非化成潤滑皮膜は、潤滑時に化成反応を伴わないため、下地処理を施した被加工材表面に物理的に吸着しているだけであり密着性が低い。そのためこのような表層剥離が素材側に発生した場合、潤滑皮膜が脱落して素材自体が暴露する懸念がある。一方で、多角形粒子の場合は加工硬化層が抑制されることで、潤滑皮膜の剥離が

抑制されると推察できる。

2. 狭ピッチのミクロプール形成

塑性加工において、被加工材表面の凹部を有する表面性状が、工具との間の潤滑油を捕捉するオイルピット（以下、ピット）となり、ピット内の潤滑油が工具からの圧力を負担することで接触率を減少させ¹⁴⁾、また、ピットからの潤滑油の流出によって流体摩擦域を増やす¹⁵⁾ことは良く知られている。これらは液体潤滑環境下の潤滑機構を説明しているものであるが、冷間鍛造の固体潤滑環境下における潤滑機構においても、同様に表面性状の影響について多くの研究が行われ、多角形粒子による狭ピッチの表面性状の効果が述べられている。ここでは紙面の都合上省略するが、是非とも先行研究を参照されたい^{16)~19)}。

3. 表面活性による濡れ性向上 付きまわり性

これまで示したように、多角形粒子によるウェットブラストは素材表面を削り取る。同時に洗浄性の高い処理であるため、ウェットブラスト直後は高い活性をもった表面を露出できる。高い活性により非化成潤滑剤の濡れ性が著しく向上するため、被加工材表面を隙間なく覆う固体潤滑皮膜が形成できる。

むすび

ウェットブラストの特徴を解説するとともに、非化成潤滑剤を用いる冷間鍛造工程への実装効果、ならびにウェットブラスト下地がどのように潤滑

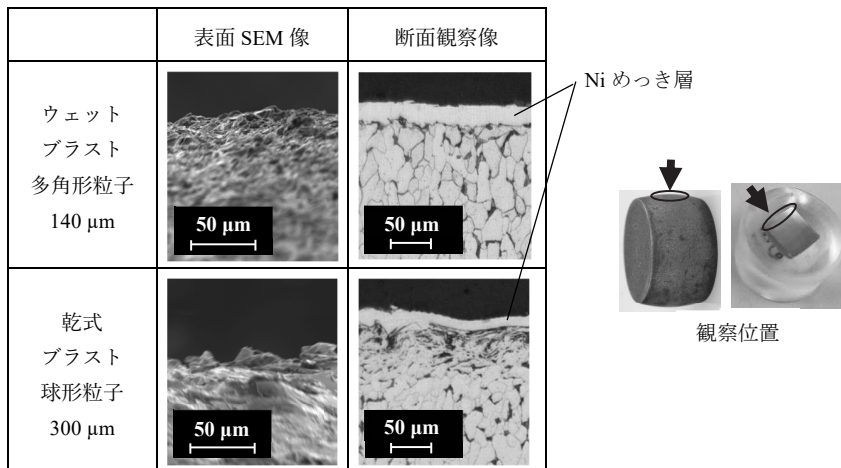


図 4 圧縮片表面近傍の観察像（圧縮率0.3）

性能向上に寄与するかについて紹介した。ウェットブラストは、非化成潤滑剤を被加工材表面に密着・保持することで潤滑性能を底上げする補助技術として認知いただけるようになってきた。当社としても、皮膜密着性をさらに強固なものにすべく、引き続きプロセストライボロジー技術を探究していく。

参 考 文 献

- 1) 団野敦、阿部勝司、野々山史男：塑性と加工、24-265 (1983)、213-220
- 2) 北村憲彦：精密工学会誌、80-12 (2014)、1053-1056
- 3) 小見山忍：第169回塑性加工講座、(2020)、105-115
- 4) Bay, N., Azushima, A., Groche, P., Ishibashi, I., Morishita, M., Nakamura, T., Schmid, S. and Yoshida, M.: CIRP Ann., 59 (2010)、760-780
- 5) 小見山忍、王志剛、山岡祐一：塑性と加工、51-597 (2010)、29-34
- 6) 鷺坂芳弘、石橋格、中村保、関澤雅洋、住岡優、河野正宏：塑性と加工、52-608 (2011)、65-69
- 7) 高橋寛和、林直樹、慶島浩二、松井浩孝：第15回資源循環型ものづくりシンポジウム、(2010)、140-147
- 8) 小林重治：日本機械学会誌、88-800 (1985)、699-705
- 9) 諏訪誠：実用湿式・乾式ブラストとその応用、(1974)、不二機材株式会社
- 10) 玉井康勝、村沢正信：防蝕技術、18-1 (1969)、17-19
- 11) 玉井康勝、森誠之：金属表面技術、31-9 (1980)、482-486
- 12) 佐田俊彦：メカニカル・サーフェス・テック、12 (2022)、39-41
- 13) 橘和寿：第47回鍛造実務講座、(2020)、47-57
- 14) 春日保男、山口勝美、加藤勝人：日本機械学会論文集、33-252 (1965)、1302-1308
- 15) 河合望、中村保：塑性加工における摩擦と表面、精密機械、39-12 (1973)、1231-1237
- 16) 鷺坂芳弘、石橋格、中村保、関澤雅洋、住岡優、河野正宏：塑性と加工、52-608 (2011)、1027-1031
- 17) 小見山忍、王志剛、山岡祐一：塑性と加工、51-597 (2010)、947-952
- 18) 鷺坂芳弘、石橋格、中村保、笹岡瑛嗣、早川邦夫：第62回塑性加工連合講演会講演論文集、(2011)、103-104
- 19) Hayakawa, K. and Nakamura, T.: Key Engineering Materials, 767 (2018)、157-162



業界のうごき

愛鋼、衣浦第二工場の能力底上げ 資源循環社会への寄与目指す

愛鋼は、ステンレス鋼構造物のエンジニアリング事業（AE事業）の拡大、増産を見据えた機能強化を進めている。中核機能を担う2019年に新設した衣浦第二工場（愛知県半田市）で、レイアウトと設備、人員体制双方を拡充する。

AE事業は土木関連を中心にさまざまな分野で受注が拡大してきており、現場では現在フル稼働が続いている。今後増産を狙う中で能力を底上げするため大規模なレイアウト変更を行う。建屋南側を材料受入・加工エリアとして新たにAE事業に有効活用。合わせて、建設業取得を目指し加工・溶接エリア全体を拡張する計画だ。これにより、大型構造物の加工を従来比3倍まで手掛けられることができる。この取り組みは3月までに完了する見通し。

愛知製鋼直系の流通ファブリケーターとして資源循環社会、カーボンニュートラル社会実現への貢献も強く求められており、その役割を果たしていく。（2月19日）

浅井産業、3分野で受注強化図る YTCのコーティング受託加工

浅井産業は、独自開発した「アモルファスCr-N処理」の受託加工を手掛ける横浜テクニカルセンター（略称・YTC）で、皮膜欠陥が皆無であることによる抜群の「耐食性」と「離型性」を生かし、とくに三つの市場に対する受注強化を進める。

「射出成形用スクリュー」では、難燃剤が添加されたスーパーエンブラ樹脂に対する抜群の耐食性能で評価を得ており、大手射出成形機メーカーやプラスチック加工メーカーからの引き合いが多い。「樹脂成形金型」では、ハイサイクル化に伴い増加し

ているベリリウム銅を中心に、一般的なCrNでは処理温度が高く対応できない中で、低温処理の特長を生かして引き合いが増加中となっている。

もう一つは「粉末成形金型」。薬剤用打錠パンチや圧粉成形において、（粉体が固着・固結し杵面に錠剤の一部が付着して剥がれる）スティッキングへの対策として多数の販売実績がある。（2月14日）

新井ハガネ、墨田区から表彰 健康経営顕彰制度で「横綱」

新井ハガネ（本社・東京都墨田区）は墨田区の「すみだ健康経営顕彰制度」で横綱（金賞）を受賞した。墨田区が健康経営を支援するため2023年度に創設した制度で、先週末に初の表彰式が行われ、同社を含む優良事業所5社（横綱2、大関1、関脇2）が表彰された。

新井ハガネは東京金属事業健康保険組合の健康企業宣言参加事業所として銀の認定を受け、経済産業省と日本健康会議が共同で顕彰する「健康経営優良法人（中小規模法人部門）」では2年連続（23、24年）で認定された。「時代に選ばれる会社となり、永続します」という自社のビジョンを実現するため、ウェルビーイング推進の観点から推進の大きな柱である健康経営に積極的に取り組んでいる。

墨田区は、区内企業が行う従業員の健康づくりを応援する「すみだ健康経営支援事業」の一環で、すみだ健康経営顕彰制度を創設した。（3月27日）

ISSHD、製造子会社が工場新設 特殊金属など加工機能強化

ISSリアライズを中心としたISSホールディングスは、製造子会社の加工機能を強化するため工場の拡張移転や建屋の増設を実施する。微細加工のISSダイニチ（岐阜県可児市）は現在と同じ工業団地内に工場を建

設し拡張移転する。型打鍛造のISS山崎機械（滋賀県湖南市）は、水口工場（滋賀県甲賀市）の敷地内に工場を新設し機械加工を強化する。初期投資額は、ISSダイニチが10億円、ISS山崎機械が11億円。

ISSダイニチは、新工場の建設に着手しており、11月に完成する予定。完成後の工場面積は現在の2.7倍、事務所面積は同1.3倍になる。既存の設備を移設し、新たな設備の導入も検討していく。

ISS山崎機械は、2017年に同じグループの井上マシナリーと合併し、機械加工を水口工場で開始した。すでに新工場の着工に入っており、完成後は特殊金属の機械加工を行う。（2月26日）

岡谷鋼機が譲受け、高いブランド力 プロテリアル配管機器事業

岡谷鋼機は、プロテリアル配管機器事業を7～8月予定で譲り受ける。プロテリアルは国内外の配管機器事業の全てが対象で、事業規模は約330億円（2022年度連結売上高）とみられる。岡谷鋼機は、ガス・水道向けなど社会インフラに不可欠な継手バルブ事業の価値や、半導体製造装置向けなどのファインフロー事業の成長力を評価し、事業買収を決めた。プロテリアルが培った技術を継承し、高い信用力を持つブランドを維持しながら、市場のニーズに対応した製品の開発を進める方針。

プロテリアル配管機器事業は、継手バルブ事業（鋳物・ステンレス継手、フレキシブル管・継手、ガス用ポリエチレン管・継手、各種バルブ、膨張タンク、チルドタワーの開発・製造・販売）、ファインフロー事業（半導体製造装置向け流体制御装置、気化器の開発・製造・販売）で構成する。具体的なスキームは今後両社で協議を進める。（3月22日）

業界のうごき

佐藤商事、井上マテリアルに出資 非鉄金属分野を強化

佐藤商事は、ニッケル合金（ハステロイ、インコネルなど）の流通・加工会社である井上マテリアル（資本金・1千万円、本社・横浜市港北区）の発行済株式の33.5%を取得し、持分法適用会社にする。株式譲渡は4月3日を予定する。佐藤商事にとってニッケル合金、特にハステロイは新しい商材であり、井上マテリアルとの協業を通じて事業領域の拡大につなげる。

佐藤商事は現行中期経営計画においてM&Aを含めて積極的な投資戦略を進めている。今回の出資は非鉄金属部門の事業強化の一環。井上マテリアルは半導体製造装置などの分野で主にニッケル合金を加工・販売しており、相互のネットワークを有効活用しながら対象商材の拡販を推進する。佐藤商事の商流や取引先に井上マテリアルの商材を紹介するなど、コラボレーションを進めていく方針。

（3月22日）

三和特殊鋼、帯鋸切断機を更新 「お客様サービス本部」設置も

三和特殊鋼は、本社工場の帯鋸切断機2基を老朽化更新した。切断速度の向上で生産性を高め、切断品の精度向上も図った。1月に設置し、既に本格稼働に入っている。同社は工具鋼を中心に扱い、本社のほかに本社近隣の東田町倉庫、名古屋支店（愛知県豊田市）に加工設備を設置し、切断や機械加工を手掛けている。本社工場2階の帯鋸切断機2基は設置後20～30年経過し老朽化していた。

新設した帯鋸切断機は2基ともアマダマシナリー製のHFA250。250ミリ径までの切断が可能。NCプログラム機能、手元照明、自動先端位置

決めなど現場で使い勝手の良い機能を装備している。2基のうち1基は2021年8月から在庫販売を開始した山陽特殊製鋼の粉末ハイス「SPM30」の切断専用機として活用する。

2月26日には、顧客満足度を高めるため、営業と生産部門を管理統括する「お客様サービス本部」を設立した。

（3月5日）

JFE商事、電磁鋼板加工で欧州進出 セルビアで80億円投資

JFE商事が欧州で初の工場建設に乗り出す。東欧のセルビアに電磁鋼板の加工・販売会社、JFE商事セルビア（略称・JSS）を設立し、現地で起工式を開催した。欧州で伸びるモーターコア需要を捕捉する。現中期経営計画で掲げる「電磁鋼板のグローバル加工流通ナンバーワン」実現に向け、日本・米州・中国・アセアンの4極に加え欧州でもSCMを構築していく狙いだ。

JSSは首都・ベオグラードから北西へ約40キロメートルのインジャ市で建設。敷地面積は約10万平方メートルで、来年1月の竣工、7月の本稼働を予定している。投資額は約80億円、資本金は61億4,000万セルビア・ディナール（約78億円）で、モーターコアプレスや連続焼鈍炉を導入。従業員は100人規模となる。

3月18日の起工式でアレクサンダル・ヴチッチ大統領は「今回の投資はセルビアにとっても非常に重要。最大限の支援を約束する」と期待を述べた。

（3月28日）

住商グローバルメタルズなど5社 浮体式洋上風力発電で集会開催

住友商事グローバルメタルズが戸田建設など4社と共催する「浮体式洋上風力発電カンファレンス」が26日、都内で開かれた。浮体式は世界的にも大規模な実用化例がまだない。

参加者からは「産業化に向け関係各国が相互に連携すべき」と訴える意見が相次いだ。

最初のパネルディスカッションでファシリテーター（促進役）を務めた同社の猪狩元嗣・厚板建材事業部事業開発チームリーダーは「浮体式の産業化には国際連携が欠かせない」と指摘。米英とノルウェー、デンマークの政府関係者4人の意見を踏まえ「技術標準化や許認可手続きの仕組み整備などで各国の知識や経験の共有が非常に重要になる」と総括した。

催しは今年で3回目。今回の参加者数は約300人と、初回と比べほぼ倍増し、浮体式に関する総合的な情報発信の場として注目度が高まっている。

（2月27日）

愛知製鋼、「GMPS」を提供 大型自動運転バス実証実験に

愛知製鋼は、12日から行われている名古屋市のガイドウェイバスへの自動運転技術導入に向けた大型自動運転バスの実証実験に、同社独自技術の磁気マーカによる自車位置推定技術「GMPS」を提供している。GMPSはすでに各地で多数の実証試験を行っており、引き合いも旺盛。さまざまな環境に対応できる自動運転システムとして普及が期待されている。

名古屋市では、ガイドウェイバス志段味線（愛称／ゆとりーとライン）で、自動運転技術を活用した新たなシステムの導入を検討している。GMPSは誘導方式の一つとして、上空の遮蔽物や天候に左右されないなどの特長で安定かつ高精度な自車位置推定を担う。実証実験は21日まで名古屋市が所管する守山南部処分場（愛知県尾張旭市）の管理通路で行われる。国土交通省の「地域公共交通確保維持改善事業費補助金（自動運転実証調査事業）」の採択を受けて実施されている。

（2月14日）

山陽特殊製鋼が資本参加 鉄スクラップ大手の「山陽」に

山陽特殊製鋼は、製鋼原料の加工・販売業の山陽（本社・姫路市）の株式の一部を取得した。カーボンニュートラルに向けた電炉シフトなどを背景に「鉄スクラップの需給ひっ迫が避けられない状況」とし、山陽特殊製鋼の鉄スクラップのメインサプライヤーとして長年の間、親密な関係を築いてきた山陽とのパートナーシップを強固なものとし、鉄スクラップの安定調達を目指していく。

山陽の鉄スクラップ取り扱い規模は関西大手となる年間約60万トン。鉄スクラップの需給のひっ迫が予想される中、山陽特殊製鋼は鉄スクラップの安定調達に向け、調達ソースの確保・拡大や日本製鉄グループとの連携などを推進してきた。今回の山陽への資本参加によって、山陽特殊製鋼は必要となる鉄スクラップの約半分を、日本製鉄グループを含む資本関係先から安定的に確保できるようになる。（3月1日）

大同特殊鋼、真空浸炭炉に機能追加 電動車部品の高強度化ニーズに対応

大同特殊鋼は、自動車部品の表面硬化を目的とした真空浸炭処理を行う設備として2008年から販売する真空浸炭炉「ModulTherm」（モジュールサーモ）に、更なる高強度化に貢献する浸炭処理を連続的に行う機能を追加して4月から販売開始する。モジュールサーモの浸炭浸炭処理によって、従来の浸炭処理と比べてギア歯面強度が40%向上し、焼き入れ後の歪み量は40%低減する。自動車部品の高強度化ニーズにCO₂低排出、省エネ技術で対応する。

今回モジュールサーモに搭載する浸炭浸炭処理は、電動車の歯車部品などに求められる高い強度を引き出

す熱処理として有望な技術であり、ガス浸炭炉と比べてCO₂排出量を35%削減するほか、省エネルギーでの処理を実現する。狙った浸炭浸炭層を得るための熱処理条件を容易に決定することが可能で、安全操業が可能といった特性も持つ。（3月25日）

日本金属、コイル管量産体制確立 ステンレス樹脂複合小径管

日本金属は、「FINE PEEK-ST キャピラリーコイル管」の量産体制を確立した。国内外の分析機器メーカーに対して、キャピラリー配管用に最長2メートルの直管をサンプル提供し高い性能評価を得ているが、キャピラリー配管は数量を必要とするため長尺化のニーズが多かった。同社は長尺化を進めるため、2021年12月にコイル管を開発し、その後製造装置の設計などを進め、このほど最長20メートルに対応する量産体制を確立した。

「FINE PEEK-ST キャピラリーコイル管」の標準サイズは外径1.59ミリ、内径0.1～0.5ミリ。外管はオーステナイト系ステンレス鋼、内管はPEEK樹脂で構成する。最長20メートルのコイル形状のため、自由な長さで切断することが可能になり、顧客の使用時の歩留まり向上によるコスト削減や、長尺化による用途の拡大が見込まれる。（3月28日）

プロテリアル、モータコア用に開発 アモルファス合金積層接着リボン

プロテリアルは、モータコア用アモルファス合金積層接着リボンを開発した。ラジアルギャップ型モータコア用に、複数枚のアモルファス合金リボンを連続的に積層接着する技術を開発した。接着剤を薄く均一に形成する独自の技術を開発することで90%以上の高い占積率を実現し、アモルファス合金の優れた磁気特性

を損なうことなく積層する。2022年頃からサンプル提供を開始し、2023年から量産技術の確立を目指しており、早ければ25年にも量産開始する予定。

アモルファス合金は低損失で高効率モータに適した材料とされているが、電磁鋼板に比べて硬度が高く、素材が薄いためモータコアへの量産適用はアキシアルギャップ型に限られていた。アモルファス合金積層接着リボンの開発により、xEV駆動用モータとして一般的なラジアルギャップ型モータへの適用を可能にする。（2月14日）

三菱製鋼、報告会を初開催 「新規事業創出チャレンジ」

三菱製鋼は、第1回の「新規事業創出チャレンジ報告会」を本社で開催した。25件の応募から最終選考まで残った3人が山口淳社長ら経営層に対して報告した。「2030年のありたい姿」の実現に向けて戦略事業の育成を推進しており、この中には新規事業創出も含まれる。その一環で今年度から公募型研修「新規事業創出チャレンジ」を開始しており、自ら課題を見つけ自ら解決していくアントレプレナーシップ人材の育成を目指す。

「新規事業創出チャレンジ」は、ソニーグループが運営する「ソニー・スタートアップ・アクセラレーション・プログラム」の全面的なサポートを受けながら、考案した新規事業アイデアをビジネスに進化させるためのノウハウ獲得を目指す。

同社はこうした取り組みを継続していくことで、新規事業のアイデアが生まれやすい社内の風土づくりとそれを担う人材の育成を進めていく。

（3月12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	構 造 用 鋼				特 殊 用 途 鋼						計	合 計
	工具鋼	機械構造用炭素鋼	構 造 用合金鋼	計	ばね鋼	軸受鋼	ステンレス鋼	快削鋼	高抗張鋼	その他		
'22 暦年	206,094	4,161,155	3,482,662	7,643,817	318,691	838,284	2,439,490	475,955	4,516,055	447,854	9,036,329	16,886,240
'23 暦年	131,234	3,899,876	3,309,651	7,209,527	305,663	732,298	1,949,309	440,740	4,731,166	371,781	8,530,957	15,871,718
'21 年度	227,889	4,669,266	3,691,309	8,360,575	359,466	975,524	2,584,063	571,328	4,747,315	487,191	9,724,887	18,313,351
'22 年度	182,740	4,012,556	3,357,873	7,370,429	311,005	793,313	2,311,937	456,157	4,507,723	423,410	8,803,545	16,356,714
'23. 1-3月	35,338	984,492	785,333	1,769,825	74,388	175,694	493,810	111,681	1,125,730	97,788	2,079,091	3,884,254
4-6月	38,246	952,827	846,719	1,799,546	76,517	188,980	495,423	106,383	1,144,291	89,220	2,100,814	3,938,606
7-9月	26,313	978,133	866,866	1,844,999	75,678	187,207	471,916	111,729	1,248,342	96,472	2,191,344	4,062,656
10-12月	31,337	984,424	810,733	1,795,157	79,080	180,417	488,160	110,947	1,212,803	88,301	2,159,708	3,986,202
'23年 1月	10,758	331,191	262,646	593,837	23,487	64,599	164,079	34,868	387,230	32,249	706,512	1,311,107
2月	12,306	321,354	252,217	573,571	26,558	57,958	162,938	36,468	334,507	31,260	649,689	1,235,566
3月	12,274	331,947	270,470	602,417	24,343	53,137	166,793	40,345	403,993	34,279	722,890	1,337,581
4月	14,111	294,106	274,535	568,641	24,121	56,801	158,871	31,869	341,088	27,530	640,280	1,223,032
5月	12,338	328,136	301,747	629,883	24,464	63,799	163,134	36,763	416,512	32,096	736,768	1,378,989
6月	11,797	330,585	270,437	601,022	27,932	68,380	173,418	37,751	386,691	29,594	723,766	1,336,585
7月	10,747	339,636	307,640	647,276	27,577	67,017	167,599	35,808	397,380	30,878	726,259	1,384,282
8月	7,165	298,290	250,449	548,739	20,496	56,933	157,521	33,753	419,799	31,087	719,589	1,275,493
9月	8,401	340,207	308,777	648,984	27,605	63,257	146,796	42,168	431,163	34,507	745,496	1,402,881
10月	10,637	330,374	289,712	620,086	25,381	56,771	148,392	35,709	407,462	32,767	706,482	1,337,205
11月	10,268	340,608	286,660	627,268	27,645	62,265	170,404	39,084	419,744	26,926	746,068	1,383,604
12月	10,432	313,442	234,361	547,803	26,054	61,381	169,364	36,154	385,597	28,608	707,158	1,265,393
'24年 1月	8,297	305,237	260,534	565,771	20,176	58,454	156,079	36,081	443,561	35,346	749,697	1,323,765
2月	10,399	285,776	254,630	540,406	26,042	60,596	174,801	32,795	380,592	34,116	708,942	1,259,747
前 月 比	125.3	93.6	97.7	95.5	129.1	103.7	112.0	90.9	85.8	96.5	94.6	95.2
前年同月比	84.5	88.9	101.0	94.2	98.1	104.6	107.3	89.9	113.8	109.1	109.1	102.0

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
'22 暦年	293,422	5,401,742	1,019,267	3,386,987	1,083,496	5,701,276	16,886,190
'23 暦年	232,299	r 5,089,014	930,232	3,120,799	1,021,303	5,477,902	r 15,871,549
'21 年度	286,265	6,050,584	877,842	3,749,037	1,115,176	6,239,200	18,318,104
'22 年度	278,130	r 5,185,205	997,569	3,270,099	1,070,471	5,555,186	r 16,356,660
'23. 1-3月	55,479	r 1,244,230	222,519	780,532	254,009	1,327,469	r 3,884,238
4-6月	62,224	r 1,278,281	251,833	735,664	237,077	1,373,420	r 3,938,499
7-9月	63,402	1,291,768	248,030	793,923	279,239	1,386,253	4,062,615
10-12月	51,194	1,274,735	207,850	810,680	250,978	1,390,760	3,986,197
'23年 1月	19,898	411,241	78,269	261,088	89,757	450,854	1,311,107
2月	16,185	406,995	71,180	257,956	66,834	416,414	1,235,564
3月	19,396	r 425,994	73,070	261,488	97,418	460,201	r 1,337,567
4月	20,279	r 395,035	95,916	220,493	80,985	410,313	r 1,223,021
5月	19,762	439,045	84,860	260,339	79,810	495,172	1,378,988
6月	22,183	444,201	71,057	254,832	76,282	467,935	1,336,490
7月	20,995	438,701	103,368	263,532	86,255	471,432	1,384,283
8月	11,866	392,938	69,527	244,818	84,371	471,964	1,275,484
9月	30,541	460,129	75,135	285,573	108,613	442,857	1,402,848
10月	18,966	437,015	83,080	260,985	76,245	460,914	1,337,205
11月	18,457	434,810	75,327	281,251	94,100	479,660	1,383,605
12月	13,771	402,910	49,443	268,444	80,633	450,186	1,265,387
'24年 1月	15,336	384,265	84,493	262,672	95,569	481,430	1,323,765
2月	16,926	382,904	80,180	253,809	81,099	444,828	1,259,746
前 月 比	110.4	99.6	94.9	96.6	84.9	92.4	95.2
前年同月比	104.6	94.1	112.6	98.4	121.3	106.8	102.0

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 用合金鋼	計	ばね鋼	軸受鋼	ス テ ン ス 鋼	快 削 鋼	高 抗 張 力	そ の 他			
' 22 暦 年	240,621	2,647,463	1,418,096	4,065,559	60,774	373,650	1,457,325	114,890	71,058	91,912	2,169,609	6,475,789	
' 23 暦 年	222,460	2,603,870	1,370,867	3,974,737	96,262	338,483	1,206,080	101,169	58,915	82,812	1,883,721	6,080,918	
' 21 年 度	247,110	2,752,134	1,092,322	3,137,987	36,133	300,281	1,125,634	93,152	45,860	73,500	1,674,560	4,996,127	
' 22 年 度	232,624	2,551,967	1,358,265	3,910,232	72,037	360,226	1,396,971	106,248	68,738	89,161	2,093,381	6,236,237	
' 23年	6月	18,776	216,782	113,450	330,232	8,076	29,208	103,453	8,928	5,012	7,187	161,864	510,872
	7月	18,564	214,988	110,039	325,027	7,952	27,956	99,028	9,154	4,869	7,972	156,931	500,522
	8月	16,961	210,199	117,866	328,065	7,868	26,542	83,966	7,529	4,048	6,276	136,229	481,255
	9月	18,200	244,202	133,483	377,685	7,752	28,706	97,337	8,535	4,385	6,402	153,117	549,002
	10月	20,581	250,129	136,525	386,654	9,094	32,455	99,104	8,612	4,769	7,386	161,420	568,655
	11月	18,519	244,028	131,643	375,671	8,659	28,419	100,228	9,121	5,759	6,667	158,853	553,043
	12月	16,649	226,282	124,265	350,547	8,312	28,074	96,034	8,163	4,878	6,255	151,716	518,912
	' 24年	1月	16,736	211,956	115,755	327,711	7,219	25,628	87,119	6,793	4,638	6,138	137,535
2月		17,298	215,734	119,487	335,221	7,398	27,393	95,542	8,486	5,313	6,178	150,310	502,829
前 月 比	103.4	101.8	103.2	102.3	102.5	106.9	109.7	124.9	114.6	100.7	109.3	104.3	
前年同月比	91.5	103.9	111.5	106.5	94.8	91.6	90.2	103.6	95.4	92.3	91.6	101.0	

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 用 合金鋼	計	ばね鋼	軸受鋼	ス レ テ ン ス 鋼	快 削 鋼	高 抗 張 力	そ の 他			
'22 暦 年	10,897	221,700	136,904	358,604	21,346	37,569	156,975	22,390	137,751	16,870	392,901	762,402	
'23 暦 年	6,379	184,699	122,687	307,386	17,529	33,998	112,876	17,584	147,601	16,229	345,817	659,582	
'21 年 度	7,544	239,228	149,869	389,097	21,922	36,386	140,730	29,025	139,691	23,830	391,584	788,225	
'22 年 度	8,870	207,670	133,119	340,789	17,942	28,734	126,791	21,907	129,474	19,381	344,229	693,888	
'23年 6月	11,124	198,175	132,254	330,429	18,880	32,376	129,892	19,138	141,017	18,740	360,043	701,596	
7月	8,903	198,786	129,848	328,634	20,510	33,025	128,468	18,643	142,136	19,783	362,565	700,102	
8月	5,300	202,583	135,438	338,021	17,208	35,141	115,344	22,024	160,053	21,536	371,306	714,627	
9月	5,147	196,741	138,584	335,325	19,157	35,195	99,891	22,671	171,599	18,890	367,403	707,875	
10月	5,326	193,014	124,999	318,013	17,787	31,816	96,180	21,202	148,963	23,132	339,080	662,419	
11月	5,719	195,715	122,668	318,383	17,681	30,703	107,724	19,403	137,179	20,080	332,770	656,872	
12月	6,379	184,699	122,687	307,386	17,529	33,998	112,876	17,584	147,601	16,229	345,817	659,582	
'24年 1月	6,275	193,940	123,871	317,811	17,848	30,429	112,645	21,139	155,758	26,397	364,216	688,302	
2月	6,834	199,119	124,482	323,601	19,326	32,509	115,026	19,220	154,755	27,598	368,434	698,869	
前 月 比	108.9	102.7	100.5	101.8	108.3	106.8	102.1	90.9	99.4	104.5	101.2	101.5	
前年同月比	65.0	91.5	92.2	91.7	86.2	100.2	82.4	77.4	110.2	132.5	96.8	94.0	

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							合 計
		機械構造用炭素鋼	構造用合金鋼	計	ばね鋼	軸受鋼	ス レ テ ン ス 鋼	快 削 鋼	高 抗 張 力	そ の 他	計	
'22 暦 年	81,587	253,146	197,352	450,498	11,832	52,605	258,437	12,975	14,050	8,869	358,768	890,853
'23 暦 年	79,254	272,987	225,003	497,990	4,212	53,648	245,905	12,373	13,819	6,796	336,753	913,997
'21 年 度	77,786	312,576	208,973	521,549	13,253	62,840	253,404	15,438	16,809	10,270	372,014	971,349
'22 年 度	81,307	258,660	201,555	460,215	5,698	53,549	251,097	11,289	13,844	10,330	345,807	887,329
'23年 6月	82,604	248,417	198,112	446,529	4,003	54,554	247,344	10,829	13,729	9,301	339,760	868,893
7月	81,511	243,074	195,606	438,680	4,153	53,439	250,109	9,966	13,327	8,168	339,162	859,353
8月	80,427	240,311	194,421	434,732	3,758	56,113	247,957	10,393	13,427	7,168	338,816	853,975
9月	79,628	241,644	198,384	440,028	3,784	55,401	251,703	11,187	13,504	7,972	343,551	863,207
10月	78,816	241,960	195,315	437,275	3,936	52,542	246,707	11,192	13,959	7,272	335,608	851,699
11月	77,771	238,409	192,463	430,872	3,348	53,053	246,656	12,289	13,241	7,019	335,606	844,249
12月	79,254	272,987	225,003	497,990	4,212	53,648	245,905	12,373	13,819	6,796	336,753	913,997
'24年 1月	78,805	273,421	217,674	491,095	3,983	52,479	247,115	12,445	13,791	7,098	336,911	906,811
2月	78,950	262,986	215,291	478,277	4,189	53,578	247,111	13,237	13,772	7,232	339,119	896,346
前 月 比	100.2	96.2	98.9	97.4	105.2	102.1	100.0	106.4	99.9	101.9	100.7	98.8
前年同月比	97.5	100.4	106.3	103.0	76.6	101.0	97.3	113.3	99.8	75.9	97.6	100.4

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	
'22 暦 年	39,183	381,705	495,244	876,949	166,355	786,001	97,860	71,081	1,121,297	3,180	4,900,636	4,903,816	6,941,245
'23 暦 年	27,430	330,181	432,404	762,585	154,170	687,942	77,594	49,297	969,003	2,384	4,406,918	4,409,302	6,168,319
'21 年 度	42,446	428,197	548,765	976,962	197,417	846,850	121,221	64,398	1,229,885	3,006	5,313,266	5,316,272	7,565,565
'22 年 度	37,482	369,309	484,741	854,050	164,491	757,239	90,378	70,711	1,082,819	3,209	4,735,671	4,738,880	6,713,231
'23年 5月	2,225	24,124	33,154	57,277	13,428	52,497	6,689	4,364	76,978	172	400,166	400,338	536,818
	6月	2,411	28,546	35,738	64,283	15,747	58,963	5,871	84,887	186	406,436	406,621	558,203
	7月	1,831	27,605	37,452	65,057	14,660	52,268	6,492	76,947	176	372,250	372,426	516,262
	8月	1,656	24,686	29,736	54,422	8,361	57,766	3,876	73,557	143	374,416	374,559	504,194
	9月	2,051	30,472	35,489	65,961	13,741	56,952	9,076	85,314	162	364,442	364,603	517,929
10月	2,276	28,373	38,103	66,476	12,640	53,845	5,500	3,238	75,223	132	363,648	363,780	507,755
11月	2,124	25,926	38,496	64,422	12,866	52,844	8,150	4,203	78,063	153	375,885	376,038	520,647
12月	2,180	32,094	35,514	67,607	12,199	62,200	6,849	5,511	86,758	219	361,427	361,646	518,192
'24年 1月	1,964	24,215	29,411	53,626	10,843	51,299	6,154	2,166	70,462	142	389,404	389,546	515,598
	2月	2,038	25,993	34,570	60,563	11,784	56,863	5,731	7,758	82,136	270	370,271	370,541
前 月 比	103.8	107.3	117.5	112.9	108.7	110.8	93.1	358.1	116.6	189.8	95.1	95.1	99.9
前年同月比	76.7	73.3	80.4	77.2	134.7	90.1	109.5	200.1	101.4	80.6	109.5	109.4	102.9

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	
'22 暦 年	4,066	16,285	344	12,418	11,486	264,312	20,503	309,062	171	7,158	178,111	185,269	514,853
'23 暦 年	2,272	21,741	399	9,614	9,100	201,615	18,626	239,354	74	13,527	170,682	184,208	447,649
'21 年 度	3,909	9,290	270	12,657	12,725	249,314	19,380	294,346	270	7,528	237,040	244,568	552,383
'22 年 度	3,489	17,731	395	11,981	10,646	235,419	20,335	278,777	138	8,721	173,885	182,606	482,740
'23年 5月	219	2,012	22	946	866	15,108	1,730	18,673	-	666	12,956	13,622	34,526
6月	230	2,608	24	785	581	18,897	1,768	22,054	-	1,257	16,870	18,127	43,020
7月	150	2,246	41	843	647	19,303	1,465	22,299	2	2,440	13,791	16,231	40,928
8月	171	1,425	22	805	689	20,019	1,446	22,979	-	357	13,388	13,744	38,319
9月	250	1,751	32	830	686	18,214	1,756	21,519	2	975	17,190	18,165	41,686
10月	127	1,701	38	673	881	15,234	1,390	18,215	3	486	11,512	11,998	32,044
11月	175	1,648	43	649	736	17,558	1,780	20,767	2	1,273	16,720	17,992	40,585
12月	164	1,449	17	866	935	16,705	1,201	19,724	2	1,835	12,205	14,040	35,379
'24年 1月	170	1,698	63	712	828	19,173	1,567	22,343	3	779	13,911	14,690	38,903
2月	123	1,540	50	738	715	21,994	1,310	24,808	12	382	12,658	13,040	39,524
前 月 比	72.6	90.7	79.8	103.7	86.4	114.7	83.6	111.0	435.2	49.0	91.0	88.8	101.6
前年同月比	67.3	107.2	78.9	95.0	119.9	177.0	99.6	163.4	73.7	40.4	106.6	101.7	133.3

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	フル 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			
'22 暦 年	7,835,482	1,184,553	3,813,269	406,156	4,201,320	747,543	-	232,157	126,574	11,795	107,418	52,146	17,596
'23 暦 年	r 8,998,538	r 1,127,470	4,422,682	341,140	4,779,086	777,949	-	r 238,886	r 105,102	r 13,322	103,550	55,504	14,865
'21 年 度	7,545,141	1,130,201	3,684,025	384,446	4,215,826	742,108	-	228,906	122,697	11,671	103,732	49,494	16,675
'22 年 度	r 8,100,863	r 1,195,947	3,864,096	396,817	4,385,649	765,986	-	r 230,526	r 123,367	r 12,099	107,937	52,652	17,056
'23年 5月	r 623,435	r 74,155	296,960	23,005	326,731	54,228	-	17,897	7,752	983	r 8,395	3,731	1,195
6月	r 763,374	r 88,618	408,641	31,982	392,719	60,131	-	r 22,051	9,811	1,219	r 8,574	4,725	1,220
7月	r 778,052	r 90,188	396,705	30,756	379,052	57,436	-	20,312	9,143	1,108	r 8,463	6,138	1,143
8月	639,383	85,332	354,697	26,056	340,341	59,114	-	r 18,611	7,681	977	r 8,447	4,423	1,148
9月	840,648	100,193	411,833	30,877	437,493	73,318	-	20,944	8,780	1,257	r 8,548	5,487	1,339
10月	818,358	100,250	403,899	28,334	397,672	62,456	-	21,210	8,592	1,348	r 8,536	3,099	1,121
11月	857,001	104,551	399,591	24,474	411,089	66,278	-	20,533	8,649	1,306	r 8,219	3,428	1,159
12月	741,457	90,612	432,532	29,727	362,839	60,334	-	19,282	7,957	1,144	r 8,378	7,359	1,271
'24年 1月	578,126	61,653	295,133	22,755	334,876	48,691	-	17,370	6,780	888	8,238	3,716	1,110
2月	-	-	350,166	21,657	344,820	45,355	-	18,150	7,825	1,123	8,868	4,075	1,142
前 月 比	-	-	118.6	95.2	103.0	93.1	-	104.5	115.4	126.5	107.7	109.7	102.9
前年同月比	-	-	111.8	74.9	80.8	65.0	-	91.2	79.7	120.4	99.9	101.9	92.0

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:訂正值

特殊鋼需給統計総括表

2 0 2 4 年 2 月 分

鋼種別	月 別		実 数 (t)	前 月 比 (%)	前 年 同月比(%)	2015年基準 指 数(%)	
	項 目						
工 具 鋼	熱 間 圧 延 鋼 材 生 産		10,399	125.3	84.5	50.5	
	鋼 材 輸 入 実 績 計		123	72.6	67.3	40.0	
	販 売 業 者	受 入 計	17,443	107.1	97.1	64.6	
		販 売 計	17,298	103.4	91.5	65.9	
		うち消費者向	14,400	101.6	90.7	76.1	
		在 庫 計	78,950	100.2	97.5	133.7	
	鋼 材 輸 出 船 積 実 績 計		2,038	103.8	76.7	42.8	
	生 産 者 工 場 在 庫		6,834	108.9	65.0	82.4	
	総 在 庫		85,784	100.8	93.8	127.4	
	構 造 用 鋼	熱 間 圧 延 鋼 材 生 産		540,406	95.5	94.2	79.0
販 売 業 者		受 入 計	322,403	100.5	99.8	49.3	
		販 売 計	335,221	102.3	106.5	51.3	
		うち消費者向	274,788	103.1	110.1	62.6	
		在 庫 計	478,277	97.4	103.0	135.9	
鋼 材 輸 出 船 積 実 績 計		60,563	112.9	77.2	73.7		
生 産 者 工 場 在 庫		323,601	101.8	91.7	92.5		
総 在 庫		801,878	99.1	98.1	114.3		
ば ね 鋼		熱 間 圧 延 鋼 材 生 産		26,042	129.1	98.1	72.4
		鋼 材 輸 入 実 績 計		1,540	90.7	107.2	377.9
	販 売 業 者	受 入 計	7,604	108.8	132.8	35.9	
		販 売 計	7,398	102.5	94.8	35.2	
		うち消費者向	2,435	79.2	104.7	52.4	
		在 庫 計	4,189	105.2	76.6	34.3	
	鋼 材 輸 出 船 積 実 績 計		11,784	108.7	134.7	74.9	
	生 産 者 工 場 在 庫		19,326	108.3	86.2	74.8	
	総 在 庫		23,515	107.7	84.3	61.8	
	ス テ ン レ ス 鋼	熱 間 圧 延 鋼 材 生 産		174,801	112.0	107.3	76.1
鋼 材 輸 入 実 績 計		24,808	111.0	163.4	171.4		
販 売 業 者		受 入 計	95,538	108.2	89.9	38.1	
		販 売 計	95,542	109.7	90.2	38.0	
		うち消費者向	47,173	106.3	91.3	84.4	
		在 庫 計	247,111	100.0	97.3	180.8	
鋼 材 輸 出 船 積 実 績 計		56,863	110.8	90.1	64.8		
生 産 者 工 場 在 庫		115,026	102.1	82.4	99.8		
総 在 庫		362,137	100.7	92.0	143.8		
快 削 鋼		熱 間 圧 延 鋼 材 生 産		32,795	90.9	89.9	63.9
	販 売 業 者	受 入 計	9,278	135.1	131.7	65.6	
		販 売 計	8,486	124.9	103.6	59.0	
		うち消費者向	8,168	125.5	103.7	58.7	
		在 庫 計	13,237	106.4	113.3	97.8	
	鋼 材 輸 出 船 積 実 績 計		5,731	93.1	109.5	59.9	
	生 産 者 工 場 在 庫		19,220	90.9	77.4	69.3	
	総 在 庫		32,457	96.6	88.9	78.6	
	高 抗 張 力 鋼	熱 間 圧 延 鋼 材 生 産		380,592	85.8	113.8	92.2
		販 売 業 者	受 入 計	5,294	114.8	97.0	51.5
販 売 計			5,313	114.6	95.4	52.2	
うち消費者向			4,565	118.4	96.2	68.1	
在 庫 計			13,772	99.9	99.8	125.6	
生 産 者 工 場 在 庫		154,755	99.4	110.2	81.6		
総 在 庫		168,527	99.4	109.3	84.0		
そ の 他		熱 間 圧 延 鋼 材 生 産		94,712	101.0	106.2	68.4
		販 売 業 者	受 入 計	34,804	112.6	97.0	85.9
			販 売 計	33,571	105.7	91.7	82.8
	うち消費者向		32,640	106.7	91.7	88.8	
	在 庫 計		60,810	102.1	97.2	114.5	
	生 産 者 工 場 在 庫		60,107	105.8	112.9	86.9	
	総 在 庫		120,917	103.9	104.4	98.9	
	特 殊 鋼 鋼 材 合 計	熱 間 圧 延 鋼 材 生 産 合 計		1,259,747	95.2	102.0	80.1
		鋼 材 輸 入 実 績 計		39,524	101.6	133.3	48.6
		販 売 業 者	受 入 計	492,364	103.7	98.2	48.4
販 売 計			502,829	104.3	101.0	49.4	
うち消費者向			384,169	104.1	104.5	66.7	
在 庫 計			896,346	98.8	100.4	140.6	
鋼 材 輸 出 船 積 実 績 計		515,277	99.9	102.9	80.1		
生 産 者 工 場 在 庫		698,869	101.5	94.0	88.9		
総 在 庫		1,595,215	100.0	97.5	112.1		

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を含まない。

倶楽部だより

(2024年2月1日～3月31日)

理事会 (3月22日・対面+Web会議)

- ①2023年度事業報告案について
- ②2023年度決算見込み案について
- ③2024年度事業計画案について
- ④退会について
- ⑤2024年度予算案・会費徴収方法について
- ⑥2024年度貿易一般保険包括保険特約の締結について
- ⑦会員・委員会・組織等の現状について

運営委員会

本委員会 (3月21日・対面+Web会議)

- ①2023年度事業報告案について
- ②2023年度決算見込み案について
- ③2024年度事業計画案について
- ④退会について
- ⑤2024年度予算案・会費徴収方法について
- ⑥2024年度貿易一般保険包括保険特約の締結について
- ⑦運営委員会委員の増員 (名古屋支部長・大阪支部長) について
- ⑧会員・委員会・組織等の現状について

総務分科会・財務分科会 (3月15日・対面+Web会議)

総務分科会

- ①2023年度事業報告案について
- ②2024年度事業計画案について
- ③退会について
- ④2024年度貿易一般保険包括保険特約の締結について
- ⑤会員・委員会・組織等の現状について

財務分科会

- ①2023年度決算見込み案について
- ②2024年度予算案・会費徴収方法について

海外委員会

本委員会 (3月12日・対面+Web会議)

- ①2023年度事業報告案について
- ②2023年度決算見込みについて
- ③2024年度事業計画案について
- ④2024年度海外調査事業案について
- ⑤2024年度予算案・賦課金徴収方法について

- ⑥2024年度貿易一般保険包括保険特約の締結について

専門部会 (2月19日・対面+Web会議)

- ①2023年度海外委員会調査事業中間報告「中国、欧州における電動車普及に伴う特殊鋼産業への影響」について
- ②通商問題関連について

専門部会 (3月5日・対面+Web会議)

- ①2023年度事業報告案について
- ②2023年度決算見込みについて
- ③2024年度事業計画案について
- ④2024年度海外調査事業案について
- ⑤2024年度予算案・賦課金徴収方法について
- ⑥2024年度貿易一般保険包括保険特約の締結について

専門部会 (3月28日・対面+Web会議)

- ①2023年度海外委員会調査事業最終報告「中国、欧州における電動車普及に伴う特殊鋼産業への影響」について
- ②「中国ステンレス熱延WTO紛争解決手続き／再調査について

商社分科会 (2月28日・対面+Web会議)

- ①最近の貿易保険を巡る情勢等について
- ②2023年度貿易一般保険包括保険に関する業務の報告について
- ③2024年度貿易一般保険包括保険特約の締結について

市場開拓調査委員会

調査WG (2月20日・対面+Web会議)

- ①2023年度市場開拓調査事業プレ最終報告「水素の利用拡大に向けた取組みと特殊鋼への影響に関する調査」について
- ②2023年度「特殊鋼の最終用途別需要実態調査」進捗状況とこれからの予定

調査WG (3月26日・対面+Web会議)

- ①2023年度市場開拓調査事業最終報告「水素の利用拡大に向けた取組みと特殊鋼への影

響に関する調査」について

- ②2023年度「特殊鋼の最終用途別需要実態調査」進捗報告

編集委員会

本委員会（2月21日・Web会議）

- ①委員交代の報告
- ②2024年7月号特集「軸受および軸受用鋼の最新動向」の編集方針、内容の確認
- ③2025年1月号～11月号特集テーマ選定方法について

編集会議（3月25日・Web会議）

- ①委員交代の報告
- ②2024年9月号特集「ミルシートに関するやさしい解説（仮題）」の編集内容の検討

人材確保育成委員会

2023年度ビジネスパーソン研修講座（2月15日、16日）

- テーマ：企業活動シミュレーション
- 講師：コベルコビジネスパートナーズ(株)
ビジネス研修部 研修開発グループ
シニアコンサルタント
今岡 伸一 氏
- 場所：「鉄鋼会館」802～804号室
- 受講者：19名

流通海外展開委員会

講演会（3月4日）

- 演題：「豊田通商 鉄鋼事業の紹介」
「新興国（メキシコ・インド）での事業運営におけるポイント」
- 講師：豊田通商(株) 東日本鋼材部 部長
田尻 義征 氏
- 場所：「鉄鋼会館」812号室
- 聴講者：90名（一部オンライン参加）

カーボンニュートラルWG（第Ⅱ期）

第8回会合（3月19日・Web会議）

その他

物流2024年問題について、一般社団法人日本鉄鋼連盟主催「製品物流小委員会」への特殊鋼メーカー3社と共に参加協力した。

3月度小委員会（3月13日・ハイブリッド会議〔対面＋Web〕）

[大阪支部]

運営委員会（2月28日・対面）

- ①2023年度事業実績
- ②2023年度収支見込
- ③2024年度事業計画案
- ④2024年度収支予算案

ビジネスパーソン研修講座（3月12日・二団体共催）

- テーマ：アサーティブコミュニケーション研修
- 講師：日鉄総研(株) 柳生 幸枝 氏
- 方式：オンライン方式
- 受講者：13名

工場見学会（3月14日・二団体共催）

- 見学先：安川電機 ロボット工場
- 参加者：32名

[名古屋支部]

部会（対面会議）

- 企画部会（2月19日）
- 工具鋼部会（2月14日）
- 構造用鋼部会（2月8日）
- ステンレス鋼部会（2月6日）

人材確保育成委員会（3月5日・対面会議）

- ①2024年度役割分担
- ②研修テーマの提案依頼
- ③2023年度実績と2024年度計画

生産性向上研修（2月7日・三団体共催）

- テーマ：品質管理実践
- 講師：中部産業連盟 山口 郁陸 氏
- 方式：対面方式
- 参加者：14名

生産性向上研修（3月7日・三団体共催）

- テーマ：作業手順の作成によるノウハウの伝承
- 講師：中部産業連盟 谷口 雄一 氏
- 方式：対面方式
- 参加者：7名

中堅社員研修（2月20日・三団体共催）

- テーマ：仕事の質とスピードを上げるための思考力を鍛える
- 講師：(株)名南経営コンサルティング
三軒 佳 氏

方 式：対面方式
参加者：23名

技術講演会（3月13日・三団体共催）

テーマ：アセアン自動車市場における電動化
とEV産業の今後

講 師：(株)現代文化研究所 町田倉一郎 氏

方 式：オンライン配信

参加者：130名

ビジネスパーソン研修講座（3月12日・三団体
共催）

テーマ：アサーティブコミュニケーション研修

講 師：日鉄総研(株) 柳生 幸枝 氏

方 式：オンライン方式

受講者：10名

優良企業見学会（2月22日・三団体共催）

見学先：トヨタ自動車九州(株) 宮田工場

方 式：オンライン リモート見学

参加者：57名



「自動車バッテリー交換（BaaS）ビジネスの現状と今後の展望」 講演会を開催しました

市場開拓調査委員会では、特殊鋼の需要開拓事業の一環として、需要産業の動向・展望について講演会を実施しております。

今回、トヨタ自動車系マーケティング会社である現在文化研究所より講師をお招きして、「自動車バッテリー交換（BaaS）ビジネスの現状と今後の展望」と題してご講演いただきました。足下、電気自動車（BEV）の普及・成長速度がやや鈍化している背景を突き詰めると「使い勝手の悪さ」（航続距離の短さ、充電時間の長さ等）が主要因であると想定されています。それらBEV特有の課題の解決策として、2000年代のBEV登場時から「バッテリー交換サービス（BaaS: Battery as a Service）」の導入が連綿と企図され、紆余曲折を経ながら現在に至っています。

「乗用ユース（主にヒトの移動）」のBEV普及については、前述通り停滞感があるものの「商用ユース（主に法人向けやモノの移動）」については、自動車やベンチャー企業を含めた様々なプレイヤーが、BaaSサービスの事業化に向けた取り組みを進めています。

そこで本講演では、BaaSビジネスについて「商用車」、「乗用車（含む小型モビリティ）」、「2輪車」の各カテゴリーの代表的なプレイヤー（例：中国のNIOやCATL、台湾Gogoro、日本Gachaco（ホンダ＋Eneos）等）に焦点を当て、そのビジネスモデルの現状や課題を踏まえた上、BaaSが今後のBEV普及のブレークスルーとなり得るのか等を展望します。

1. 日 時：2024年3月29日（金） 13時30分～15時30分
2. 場 所：「鉄鋼会館」802～804号室
3. 演 題：「自動車バッテリー交換（BaaS）ビジネスの現状と今後の展望」
4. 講 師：株式会社現在文化研究所 主任研究員 山元哲史 氏
5. 申込数：44名（一部オンライン参加含む）

お知らせ

2024年経済産業省企業活動基本調査に御協力ください

経済産業省大臣官房調査統計グループ

経済産業省では、我が国企業における経済活動の実態を明らかにし、経済産業政策等各種行政施策の基礎資料を得ることを目的として、1992年以降「経済産業省企業活動基本調査」（基幹統計調査）を実施しており、2024年も実施いたします。調査に対する御協力をお願いいたします。

○実施期間：2024年5月15日から6月30日まで

○根拠法令：統計法（平成19年法律第53号）

○調査目的：我が国企業における経済活動の実態を明らかにし、経済産業政策等各種行政施策の基礎資料とします。

○調査対象：経済産業省が所管する産業（別表）に属している事業所を有する「従業員50人以上かつ資本金3,000万円以上の企業」。

○調査結果：2025年1月に速報を公表予定。

○調査方法：対象の企業へ調査関係用品を直接郵送します。

※調査票の提出は、インターネットからオンライン提出が便利です。紙調査票での御提出もできます。
※調査票に記入していただいた事項の秘密は、統計法により厳重に保護されますので御協力をお願い申し上げます。

この調査は、鉱業・採石業・砂利採取業、製造業、電気業・ガス業、卸売業、小売業、クレジットカード業・割賦金融業のほか、下記の産業の括弧内の業種が対象となります。

- 飲食サービス業（一般飲食店、持ち帰り・配達飲食サービス業）
- 情報通信業（ソフトウェア業、情報処理・提供サービス業、インターネット不随サービス業、映画・ビデオ制作業、アニメーション制作業、新聞業、出版業）
- 物品賃貸業（産業用機械器具賃貸業（レンタルを含む）、事務用機械器具賃貸業（レンタルを含む）、自動車賃貸業（レンタルを除く）、スポーツ・娯楽用品賃貸業（レンタルを含む）、その他の物品賃貸業（レンタルを含む））
- 学術研究、専門・技術サービス業（学術・開発研究機関、デザイン業、エンジニアリング業、広告業、機械設計業、商品・非破壊検査業、計量証明業、写真業）
- 生活関連サービス業、娯楽業（洗濯業、その他の洗濯・理容・美容・浴場業、冠婚葬祭業（冠婚葬祭互助会を含む）、写真プリント、現像・焼付業、その他の生活関連サービス業、映画館、ゴルフ場、スポーツ施設提供業（フィットネスクラブ、ボウリング場など）、講演、遊園地・テーマパーク）
- 教育、学習支援業（外国語会話教室、カルチャー教室（総合的なもの））
- サービス業（廃棄物処理業、機械等修理業、職業紹介業、労働者派遣業、ディスプレイ業、テレマーケティング業、その他の事業サービス業）

問い合わせ先：経済産業省大臣官房調査統計グループ構造・企業統計室 TEL：03-3501-1831

2024年「経済構造実態調査」にご協力ください

総務省・経済産業省

総務省・経済産業省では、2024年6月に全ての産業における企業・事業所や団体を対象とした「経済構造実態調査」を実施いたします。

経済構造実態調査は、全ての産業における企業・事業所や団体の経済活動の状況を明らかにする、統計法に基づく報告義務のある基幹統計調査であり、「国民経済計算（GDP 統計）の精度向上」に資するほか、「より正確な景気判断・効果的な行政施策の立案」「企業経営の参考資料」などに広く利活用されることを目的としています。

調査をお願いする企業・事業所や団体の皆さまには、国が調査を委託した事業者から、調査書類を5月から順次郵送いたしますので、インターネットにて、ご回答をお願いいたします（郵送でご回答いただくこともできます）。

なお、今回の調査については、同時期に実施される「経済センサス-基礎調査」と同時一体的に実施し、調査対象企業・事業所の負担軽減を図ることとしています。

詳しくは、以下のURLから経済構造実態調査のホームページをご覧ください。

<https://www.stat.go.jp/data/kkj/index.html>

一般社団法人特殊鋼倶楽部 会員会社一覧

(社名は50音順)

[会 員 数] (正 会 員) 製造業者 24社 販売業者 100社 合 計 124社	【販売業者会員】		
	【製造業者会員】		
	愛 鋼 (株) 青 山 特 殊 鋼 (株) 浅 井 産 業 (株) 東 金 属 (株) 新 井 ハ ガ ネ (株) 栗 井 鋼 商 事 (株) 伊 藤 忠 丸 紅 鉄 鋼 (株) 伊 藤 忠 丸 紅 特 殊 鋼 (株) (株) I S S リ ア ラ イ ズ (株) U E X 碓 井 鋼 材 (株) ウ メ ト ク (株) 扇 鋼 材 (株) 岡 谷 鋼 機 (株) カ ネ ヒ ラ 鉄 鋼 (株) 兼 松 (株) 兼松トレーディング(株) (株) カ ム ス (株) カ ワ イ ス チ ー ル 川 本 鋼 材 (株) 北 島 鋼 材 (株) ク マ ガ イ 特 殊 鋼 (株) 小 山 鋼 材 (株) 佐 久 間 特 殊 鋼 (株) 櫻 井 鋼 鐵 (株) 佐 藤 商 事 (株) サ ハ シ 特 殊 鋼 (株) (株) 三 悦 三 協 鋼 鐵 (株) 三 京 物 産 (株) 三 興 鋼 材 (株) 三 和 特 殊 鋼 (株) J F E 商 事 (株) 芝 本 産 業 (株) 清 水 金 属 (株) 清 水 鋼 鐵 (株) 神 鋼 商 事 (株) 住 友 商 事 (株) 住友商事グローバルメタルズ(株)	大 同 興 業 (株) 大同DMソリューション(株) 大 洋 商 事 (株) 大 和 特 殊 鋼 (株) (株) 竹 内 ハ ガ ネ 商 行 孟 鋼 鉄 (株) 辰 巳 屋 興 業 (株) 千 曲 鋼 材 (株) (株) テ ク ノ タ ジ マ (株) 鐵 鋼 社 デルタスチール(株) 東京貿易マテリアル(株) (株) 東 信 鋼 鉄 (株) ト ー キ ン 特 殊 鋼 機 (株) 豊 田 通 商 (株) 中 川 特 殊 鋼 (株) 中 島 特 殊 鋼 (株) 中 野 ハ ガ ネ (株) 永 田 鋼 材 (株) 名 古 屋 特 殊 鋼 (株) ナ ス 物 産 (株) 南 海 モ ル デ ィ (株) 日 金 ス チ ー ル (株) 日 鉄 物 産 (株) 日 鉄 物 産 特 殊 鋼 (株) 日 本 金 型 材 (株) ノ ボ ル 鋼 鉄 (株) 野 村 鋼 機 (株) 白 鷺 特 殊 鋼 (株) 橋 本 鋼 (株) (株) 長 谷 川 ハ ガ ネ 店 (株) ハ ヤ カ ワ カ ン パ ニ ー 林 田 特 殊 鋼 材 (株) 阪 神 特 殊 鋼 (株) 阪 和 興 業 (株) (株) 平 井 (株) フ ク オ カ 藤 田 商 事 (株)	古 池 鋼 業 (株) (株) プ ル ー タ ス (株) プロテリアル特殊鋼 平 和 鋼 材 (株) (株) 堀 田 ハ ガ ネ (株) マ ク シ ス コ ー ポ レ ー シ ョ ン 松 井 鋼 材 (株) 三 沢 興 産 (株) 三 井 物 産 (株) 三井物産スチール(株) (株) メ タ ル ワ ン (株) メタルワンチューブラー (株) メタルワン特殊鋼 森 寅 鋼 業 (株) (株) 山 一 ハ ガ ネ 山 進 産 業 (株) ヤ マ ト 特 殊 鋼 (株) 山 野 鋼 材 (株) 陽 鋼 物 産 (株) 菱 光 特 殊 鋼 (株) リ ン タ ツ (株) 渡 辺 ハ ガ ネ (株)

“特集” 編集後記

ちょうど今月号の特集を練り始める前の秋口、久々に催されたジャパンモビリティショーで目にした近未来のクルマのシャシーからは、さらなる軽量化ニーズの高まりにより高級グレードの車種を中心にスチール鍛造品がほぼ駆逐されているかのように見受けられた。

特殊鋼・鍛造業界にとって決して明るい方向ではない未来予想図に満たされたわたしの脳内から発せられた本特集の寄稿お願い文は、EVシフトへの警戒感に満ち満ちたものであった。だが、鍛造技術を取巻く環境を語るには大き過ぎるテーマでもあり、寄稿をお願いした識者の方々からも当惑の声があったこともあり、最終的には“EVシフトも見据えながら”の寄稿お願いへとトーンダウンした経緯である。

ところが入稿の始まった春先になると一転、欧米中においてもBEV販売の減速が伝えられ、HEVを含む全方位戦略を掲げてきたトヨタ自動車どのはじめとした国内勢の戦略性が俄然再評価されている状況なのである。報道姿勢の豹変ぶりもさることながら、脱炭素技術のベンチマークや開発計画などから時系列的に導き出される必然的な帰趨だったのかもしれない。本特集が世に出る頃に

はどのような論調になっているのだろう。

これらの過程で印象的に残ったのが、識者の方々（＝鍛造技術のトップランナー）の泰然自若ぶりである。今にして思えば、鍛造技術を究めることこそが正に全方位戦略の体現なのではないだろうか。

古くは舶来によりもたらされた「鍛造」という技術は、明治以降の近世において急速に進んだ工業化社会において世の中の要請に応じて進化・変化してきた。情報化社会に続く生成AIの時代・脱炭素社会における先端の鍛造技術の「今」を紙面から感じ取っていただけたらだろうか…。

最新のミズノどの鍛造アイアンのコピー「世界がまた、鍛造に恋をする。」…ひと目でミズノどのに執筆をお願いさせていただきたくなった名句でもあるが、鍛造技術に携わるすべての方々にさらに胸を張っていただきたく引用した次第である。

末尾ではあるが、本特集を発刊するにあたってご関係する各位さまには多大なるご協力をいただいた。紙面を借りて厚く御礼を申しあげたい。

〔愛知製鋼(株) 品質保証部 ひらち しんご
お客様品質・技術室 主幹 平地 伸吾〕

【「特殊鋼」 定価・年間購読料改定のお知らせ】

平素は、「特殊鋼」をご愛読いただき、厚く御礼申し上げます。

この度、「特殊鋼」の定価並びに年間購読料につきまして、昨今の原材料価格高騰による印刷製本費、発送に係る物流費などの上昇に伴い、止むを得ず2024年5月号より以下のとおり改定させていただきます。

今後、なお一層内容の精査と充実を図るべく質の向上に努めてまいりますので、何卒ご理解賜りますようお願い申し上げます。

	現 行		改 定
単品定価（1冊） 税込み送料別	1,252円	⇒	1,320円
年間購読料（6冊） 税込み送料共	7,434円	⇒	7,782円

特 集／軸受および軸受用鋼の最新動向

- I. 軸受業界の最近の動向
- II. 最近の軸受の動向
- III. 最近の軸受製造技術
- IV. 軸受用鋼の基礎知識
- V. 流通からみた軸受用鋼
- VI. 最近の軸受用鋼の動向
- VII. 会員メーカーの軸受用鋼

9月号特集予定…ミルシートと技術データに関する解説

特 殊 鋼

第 73 巻 第 3 号
© 2 0 2 4 年 5 月
2024年 4 月 25 日 印 刷
2024年 5 月 1 日 発 行

定 価 1,320円 送 料 200円
1 年 国内7,782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 脇 本 眞 也
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。