

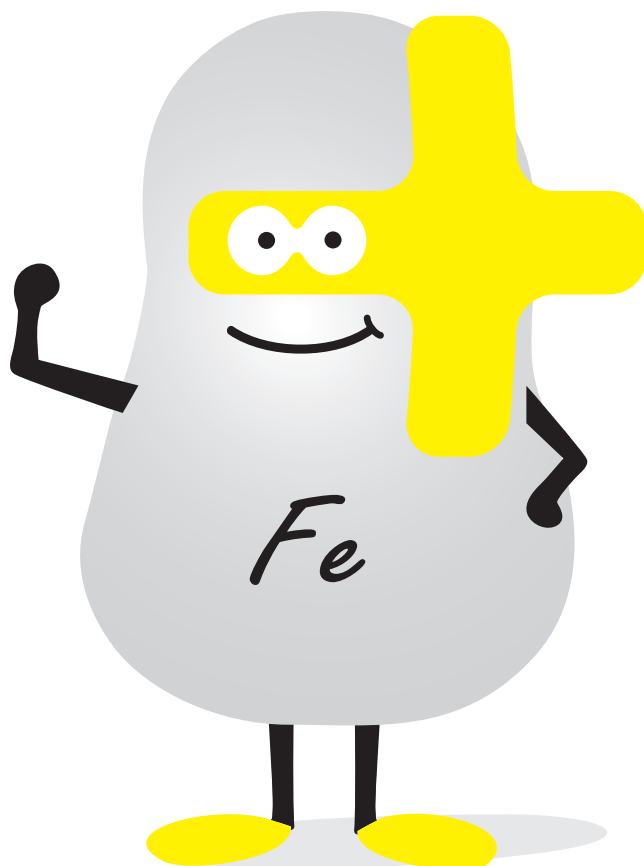
特殊鋼

2018
Vol.67 No.4

7

The Special Steel

特集／表面改質技術とその応用



特殊鋼倶楽部マスコットキャラクター

ゆめ てつ

夢鉄ちゃん

特殊鋼

| 7 | 目次 2018

【編集委員】

委員長	井上幸一郎 (大同特殊鋼)
副委員長	渡辺 豊文 (中川特殊鋼)
委員	杉本 淳 (愛知製鋼)
〃	増田 智一 (神戸製鋼所)
〃	西森 博 (山陽特殊製鋼)
〃	浜田 貴成 (新日鐵住金)
〃	大矢 耕二 (大同特殊鋼)
〃	福田 岳史 (日新製鋼)
〃	正能 久晴 (日本金属)
〃	殿村 剛志 (日本高周波鋼業)
〃	戸塚 覚 (日本冶金工業)
〃	古谷 匡 (日立金属)
〃	福田 方勝 (三菱製鋼)
〃	阿部 泰 (青山特殊鋼)
〃	池田 正秋 (伊藤忠丸紅特殊鋼)
〃	岡崎誠一郎 (UEX)
〃	池田 祐司 (三興鋼材)
〃	金原 茂 (竹内ハガネ商行)
〃	平井 義人 (平井)

【特集／表面改質技術とその応用】

I. 総論

特殊鋼を支える表面改質技術と今後の動向について	関西大学 西本 明生	2
-------------------------	------------	---

II. 主要分野での表面改質の適用例

1. 金型の表面改質		
(1) 冷間金型	山陽特殊製鋼(株) 前田 雅人	6
(2) ダイカスト金型	日立金属(株) 山岡 美樹	9
(3) 温間、熱間鍛造金型	日立金属(株) 笠松 研佑	12
(4) プラスチック金型への表面改質	大同特殊鋼(株) 伊吹 基宏	15
2. 自動車部品の表面改質		
(1) 浸炭焼入れ	アイシン・エイ・ダブリュ(株) 大林 巧治	18
(2) 高周波焼入れ	高周波熱錬(株) 三阪 佳孝 高周波熱錬(株) 川寄 一博	22
(3) PVD	(株)神戸製鋼所 高橋 哲也	26
3. 建設機械における表面改質	コマツ 梅田 孝彰	30

III. 最新の表面改質および周辺技術の進歩

1. 高耐食めっき鋼板	新日鐵住金(株) 白井健太郎	33
2. 電子ビーム加工装置による最新の表面改質事例	(株)ソディック 鹿島 峻	37
3. 表面機能を向上させるレーザピーニング技術	(株)最新レーザ技術研究センター 沓名 宗春	42
4. レーザクラッディング	住友重機械ハイマテックス(株) 石川 毅	47

IV. 会員会社の表面改質技術および周辺技術の紹介

高硬度・高密着コーティング皮膜に適したPVD用ターゲット材 『STAR-TM ^{3®} (スター・ティーエムキューブ)』	大同特殊鋼(株) 勝見 昌高	52
--	----------------	----

金型の耐錆性を向上させる新表面改質技術

..... 日立金属工具鋼(株) 庄司 覚 53

“特集” 編集後記..... 日本高周波鋼業(株) 殿村 剛志 65

●一人一題：「スキーに学ぶ」..... 芝本産業(株) 芝本 政明 1

■業界の動き 54

▲特殊鋼統計資料 57

★倶楽部だより（平成30年4月1日～5月31日）..... 61

☆特殊鋼倶楽部の動き 63

☆一般社団法人特殊鋼倶楽部 会員会社一覧 64

特集／「表面改質技術とその応用」編集小委員会構成メンバー

役 名	氏 名	会 社 名	役 職 名
小委員長	殿村 剛志	日本高周波鋼業(株)	富山製造所 技術部（東京駐在）課長
委 員	西森 博	山陽特殊製鋼(株)	東京支社部長 自動車・産機営業部 自産機CS室長 品質保証部
〃	浜田 貴成	新日鐵住金(株)	棒線事業部 棒線技術部 棒線技術室 室長
〃	大矢 耕二	大同特殊鋼(株)	特殊鋼ソリューションパートナー部 副主席部員
〃	戸塚 覚	日本冶金工業(株)	ソリューション営業部 部長
〃	福田 方勝	三菱製鋼(株)	技術開発センター
〃	金原 茂	(株)竹内ハガネ商行	技術部長
〃	渡辺 豊文	中川特殊鋼(株)	鉄鋼事業部 技術部長
〃	平井 義人	(株) 平 井	取締役 業務部長

「スキーに学ぶ」

芝本産業(株)
代表取締役社長

しばもと まさあき
芝本政明



昨年、当社の創業100周年を機に社長に就任しました、芝本政明です。特殊鋼倶楽部の先輩の皆さま、どうぞ宜しくお願いいたします。当社は大阪発祥の、現在は東京に本社を置く鉄鋼問屋ですが、私は長く北海道の関連会社にいましたので、北ならではの話題をお寄せしたいと思います。

北海道は「でっかいどー」だけでなく手付かずの自然や温泉、そして新鮮な食材に恵まれた日本屈指の一大観光地です。その豊かな大自然に魅せられた私の趣味は、スキー。新雪のパウダースノーを滑り降りる爽快感は格別です。樹氷に覆われた真っ白の白樺や、時には氷点下20度以下になる引き締まった空気の中にたたずむ冬の山々はまことに神秘的で、リフレッシュするには最高のスポーツです。

ただ、滑るだけと思われがちなスポーツですが、その歴史は古く、何と紀元前にまで遡るのだそうです。昔は木で作られていたスキーも時代と共に合板、アルミ、グラスファイバー、そして現在はケブラーなどが組み合わさって出来ております。スキーの素材や装備品の進化に応じて、滑る斜面も整備されたゲレンデだけでなく、深雪、あるいはバックカントリーなどと多様化しています。更にGoProなどのウェアブルカメラやドローンなどを活用すれば、自撮りや新雪に輝く風景を写真に収める楽しみもあります。

以前は速く滑ることだけが楽しみだったのですが、数年前に転倒しケガをしました。大人(?)になった今は安全に配慮しながら、刻々と変る天候、斜面によって異なる雪質、そして装備品など様々な要素を踏まえながら本スポーツを楽しみ、少しでも上手くなろうと毎年努力しております。

特殊鋼ビジネスも同じではないでしょうか。当社では従来、自動車用構造用鋼、金型用工具鋼等の特殊鋼を取り扱わせて頂いておりますが、冬山の斜面のごとく、日々、変化する世の中のニーズに対応出来なければ、仕事を続けることができません。環境問題が深刻化し、テクノロジーも変革を続けているなか、従来のやり方がこれからも続くとは考えられません。乗用車のEV化が進めば、必要部品は変わりますし、建機や農機も排ガス規制が益々厳しくなる中、動力源が化石燃料からそれ以外のエネルギーに変われば、求められる鋼材もその数量も変わってしまいます。そんな中、当社の取り組みとして熱処理炉などの機械ビジネスにもチャレンジしております。現状に甘んじることなくメーカー様や需要家様の声を敏感に察知し、常に求められる商社として努めたいと心しています。これからもご指導ご鞭撻のほど宜しくお願いいたします。



I. 総 論

特殊鋼を支える表面改質技術と 今後の動向について

関 西 大 学 西 本 明 生
化学生命工学部化学・物質工学科 教授

ま え が き

機械類の構成鋼材部品は、材料強度や機能の観点から表面特性が重要となる場合が多い。鋼材の表面処理は、機械的性質の向上を図ることを主な目的として行われ、表面層のみを硬化させることで、内部は強じんのまま保ち、耐摩耗性と高じん性を兼ね備えた特性を満足させることができる。さらに表面硬化処理により表面層に生じる圧縮残留応力によって、耐疲労性を向上させる効果が期待できる。この目的のために、鋼材の表面全体あるいは一部分のみを硬化させる処理法が行われている。本稿では特殊鋼を含む鉄鋼材料の表面硬化処理技術について述べる。

◇ 表面硬化処理技術の分類

最近の表面硬化処理技術の基本的な傾向をいくつかあげる。(1)二次元的処理から三次元的処理になっている。従来の表面硬化処理は、目的の材料を一定の温度中に一定時間装入する、いわゆる温度と時間の因子によるものが多かったが、これに圧力が関与した技術が発達してきた。さらに熱エネルギーに加えて、プラズマなどの電氣的励起エネルギーを応用する技術が急速に発達してきて

いる。(2)固体→液体→気体→電氣的エネルギーの利用。表面層の化学組成を変化させることにより硬化させる技術などにおいて、その賦与剤として固体から液体へ、液体から気体へ、さらに電氣的エネルギーを応用する技術へ移行する傾向が著しい。(3)複合熱処理による特性の向上、(4)システム化、標準化、コンピュータ化IoT化等による品質の管理等も当然のことながら考慮されてきている。

これらの傾向を踏まえながら、最近はいくつかの新しい表面硬化処理技術が開発されているが、これらの各種処理技術を大別すると、(1)表面層の化学組成を変えずにその部分の組織のみを変化させる方法、(2)表面層の化学組成を変化させる方法、(3)表面層の上に種々の皮膜を被覆したり形成させる方法に、分類できる。

◇ 各種表面硬化処理技術の概要

1. ショットピーニング

金属材料は加工硬化により延性は低下するが、強度は向上し疲労限度や耐摩耗性が高められる。ショットピーニング法は小球状のショットまたは破碎粒のグリットを鋼材表面に圧縮空気または遠心力で噴射して打ちつけ、表面を加工硬化させ、かつ圧縮残留応力を生じさせるものである。疲労

強度は表面の粗さにも影響を受けるので、ショットピーニングの度合いには最適条件がある。

2. 浸炭焼入れ

浸炭焼入れ処理は低炭素鋼の表面にCを拡散浸透させ、その後は焼入れして表面を硬化させる方法であり、固体浸炭、ガス浸炭、液体浸炭、真空浸炭およびプラズマ浸炭法がある。

(1) ガス浸炭

天然ガス、 CH_4 、 C_2H_6 、 C_3H_8 の炭化水素系ガスを用いてこれを高温で分解し、さらに中性に近い CO 、 H_2 および N_2 からなるキャリアガスを混入させて浸炭を行う。浸炭性ガスは高温に加熱された鋼に接触すると分解して活性Cを生じ、浸炭作用を発揮する。ガス浸炭は表面C濃度を容易に調節できる特徴をもつ。

(2) 液体浸炭

NaCN 、 KCN あるいは $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$ などのシアン化合物を主成分とし、これに NaCl を混ぜた浸炭剤を鋼製容器に入れて加熱溶融し、この塩浴中に鋼材を浸漬し、シアン化合物の分解で生じた発生期の CO と N によってCとNを同時に浸透させる方法で、正確には浸炭浸窒法といえる。この方法は作業が簡単で、処理温度が低く浸炭時間も短くひずみも少ないが、シアン化合物イオンを含む溶融塩を取り扱うため、使用にあたっては公害対策を充分行なわなければならない。

(3) 真空浸炭

鋼材を炉内に挿入したのち、約1Paに減圧し、約1000℃の高温で加熱後、 C_2H_2 、 CH_4 、 C_2H_4 等の炭化水素ガスを直接導入して浸炭を行う。炉内で分解したCが直接真空加熱中に活性化された表面に接触して浸炭が進行する。真空炉中での高温浸炭であるため浸炭時間が短縮され、清浄な浸炭層を迅速にかつ均一に得られるなどの長所がある。

(4) 浸炭用鋼（肌焼鋼）

浸炭用鋼は心部でじん性を保持するためにC量は0.25%以下の鋼となる。また焼入れ性の観点からMn、Cr、Mo等を、オーステナイト結晶粒の粗大化ならびに過剰浸炭の抑制するためにNiを添加する場合がある。JISでは機械構造用炭素鋼やCr鋼、Cr-Mo鋼、Ni-Cr鋼、Ni-Cr-Mo鋼、Mn鋼、Mn-Cr鋼といった各種機械構造用合金鋼が肌焼鋼として規定されている。SCM材として知られるCr-Mo肌

焼鋼は機械的性質が向上し質量効果も小さいので一般部品に多く用いられる。SNCM材として知られるNi-Cr-Mo鋼は焼入れ性に優れており、大形部品や強力な歯車などに用いられる。

3. 窒化

窒化法は浸炭法と異なり、形成される窒化物による格子ひずみによって表面に圧縮残留応力が生じさせ硬化させる。加熱が低温のため変形がきわめて小さく、耐摩耗性と耐食性に優れる特徴をもっている。

(1) ガス窒化

ガス窒化は炉内を NH_3 雰囲気中に置換した後に500～550℃に加熱し、ガス圧を $8 \times 10^3 \sim 1 \times 10^4 \text{Pa}$ に調節して行う。 NH_3 ガスは高温でNおよびHに分解し、この原子状Nが鋼中のFeあるいはAl、Crなどの添加元素と窒化物をつくり窒化層を形成し、これにより表面層は硬化する。

(2) 軟窒化

軟窒化法はシアン化合物およびアルカリ金属の炭酸塩の溶融塩を用いて、シアン化合物の分解により浸炭と浸窒を行う方法である。一般構造用鋼に施す場合、硬さは500～700HVであることから軟窒化法とよばれ、耐疲労性の向上により自動車部品などにも応用されている。また鋼種にかかわらず表面に白色の $\epsilon\text{-Fe}_{2-3}\text{N}$ 相と $\gamma'\text{-Fe}_4\text{N}$ 相が現われ、耐摩耗性や耐食性を向上させる。塩浴ではなく気体中で行うガス軟窒化法もある。

(3) プラズマ窒化

プラズマ窒化では密閉した容器に処理品を入れてこれを陰極とし、炉壁を陽極として容器内を数100Paの N_2 と H_2 の混合ガス雰囲気として両極間に数100Vの直流電圧を加える。この時、処理品の表面近傍で急激な電圧降下が生じ、 N_2 分子は陰極近傍でイオン化して N^+ や N_2^+ となりこのイオンが陰極空間で高速に加速されて処理品に衝突する。この時、イオンの高い運動エネルギーの大部分が熱エネルギーとなって処理品を加熱し、同時にNが浸透して窒化する。

プラズマ窒化の特徴は、窒化速度が比較的速い、 H^+ による処理品の表面清浄作用がある、 N_2 ガスの分圧、電圧、温度、時間の調整によって窒化層の組織を調整できる、などである。一方、処理品の形状、質量などによっては温度が不均一になるな

どの欠点もあり、このような欠点を解消する方法として最近アクティブスクリーンプラズマ窒化法が開発され、現在精力的に研究が進められている。この方法は炉内に金属製のかご状スクリーンを設置し、これを陰極とすることにより比較的均一な窒化が可能となる¹⁾。

(4) 窒化用鋼

窒化用鋼としての必要条件是、中心部が強じん性を有すると同時に、表面に硬さの高い窒化層を形成できる組成でなければならない。AlとCrを含有する鋼は著しく硬化する。Moは500～530℃で長時間窒化処理する間の焼もどしせい性を防ぐ効果大きい。JISではAl-Cr-Mo鋼SACM645が1鋼種規定されている。

4. 高周波表面焼入れ

高周波電流を鋼材部品の形状に対応した一次コイルに通じると、その中に置かれた鋼材はうず電流によるジュール熱と、ヒステリシス損失による仕事量に相当する熱の発生によって加熱される。このときの電流が高周波数であるほど誘導電流は表皮効果によって鋼材表面に集中して流れる。高周波焼入れはこの原理を応用しており、表面層だけをA1変態点以上の温度に上昇させた後、直ちに急冷して表面層だけを焼入れ硬化させるものである。高周波電流は表面層だけを流れるが、表面温度がキュリー温度以上になると表面層のうず電流量は減少し、ヒステリシス損失による発熱も生じなくなる。つまりこれらのことから表面層が過熱されることはない。高周波焼入れでは、焼入れ性を有する0.4～0.6%Cの構造用炭素鋼または合金鋼を用いる。

5. 気相蒸着法

PVD法およびCVD法は硬質化合物皮膜を鋼材表面に気相蒸着させる方法である。各種蒸着法の種類を表1に示す。

(1) PVD法

PVD法は皮膜の形成過程で原則として化学反応は生じず、電気エネルギーを均質に加えて励起・イオン化させて反応物質を被覆させる。したがって、皮膜が形成される材料側で高温を必要とせず、処理に際して母材の軟化や寸法変化を防ぐことができる。また、蒸着速度の制御も容易である。しかし、PVD法は比較的低圧力下で行われるために、蒸発粒子の平均自由行程が大きく、母材に向かって直進的に進み、処理品の裏側などへのつきまわり性が悪い。そのため処理品を回転させるか複数の蒸発源を設置するなどの工夫が必要となる。

(2) CVD法

CVD法は熱エネルギーを供給しながら熱分解、合成などの化学反応を起こさせ、蒸気圧の低い元素や化合物を生成させて、これを鋼材表面に蒸着析出させる方法である。ガスを用いることでつきまわり性がよく、高温処理のため皮膜と母材との間の拡散層の形成により密着性がよいことが特徴である。しかし、高温処理のため、比較的低融点材料への応用や、変形が問題となる部品、加熱により強度が低下する材料等への応用には注意を要する。表2にいくつかの蒸着皮膜の種類と物理的性質を示す。

6. 溶射

溶射法は、溶射材料を溶融あるいはそれに近い

表 1 各種蒸着法

被覆方法			蒸発源	加熱温度 (℃)
化学的蒸着法 (CVD)	熱分解 還元 化合		金属ハロゲン化合物 金属水素化物 有機金属化合物	450～2000
	プラズマCVD		同上	300～1200
物理的蒸着法 (PVD)	真空蒸着法Ⅰ	単体蒸着 多元蒸着	金属	室温以上
	真空蒸着法Ⅱ	活性化蒸着 イオンプレーティング イオンビーム蒸着 プラズマ重合	金属 合金 金属間化合物	同上
	スパッタリング	単体スパッタリング 多元スパッタリング 合金・化合物スパッタリング	同上	同上

表 2 蒸着皮膜の種類と物理的性質

物理的性質 種類		硬さ (HV)	融点 (℃)	密度 (g/cm ³)	線膨張係数 (10 ⁻⁶ /℃)	適正皮膜厚さ (μm)
炭化物	TiC	3,300～4,000	3160	4.92	7.8	3～8
	Cr-C	1,900～2,200	1780	6.68	10.3	7～12
窒化物	TiN	1,900～2,400	2950	5.43	8.3	5～8
炭窒化物	TiCN	2,600～3,200	3055	5.18	8.1	4～8
酸化物	Al ₂ O ₃	2,200～2,600	2040	3.98	7.7	2～3

状態に加熱し、それを粒子群として高速で基材表面に衝突、溶着させて皮膜を形成する方法である。溶射皮膜の形成に関する因子には、溶射粒子として、材質、粒径、速さ、温度、飛行時間が主としてあげられ、また基材としては材質、温度、表面粗さがあげられ、溶射雰囲気も重要である。

ガスフラーム溶射法は操作が簡単で設備費や運転費も安い。フラームの熱源として約3000℃の酸素アセチレン炎を用いる場合が多く、それ以上の融点の材料には適用できない。

プラズマ溶射法は熱源として陰極と陽極からなるガストーチの間に直流アークを発生させ、後方から送られるArやN₂ガスなどの作動ガスをプラズマ状態に加熱し、これを20000～30000℃の高温高速熱プラズマジェットとし、このジェット中に粉末状の溶射材料を送り込み皮膜を形成させる。

減圧溶射法は、大気中で皮膜中に形成される気孔の低減のために、溶射トーチや基材などを減圧チャンパーの中に収めて行う方法である。減圧雰囲気下ではプラズマジェットの流速が大きく、皮膜中の気孔が減少するとともに溶射材の化学的な変化が少なくなり、基材との密着性も向上する。

7. 肉盛

金属を溶接熱または溶射によって鋼材表面に溶着させ、各種部品に耐摩耗性、耐食性、耐熱性に優れた硬質皮膜層を生成させる方法である。溶着金属は種類が多く、高炭素鋼、高炭素高クロム鋼、マルテンサイト系ステンレス鋼、オーステナイト系ステンレス鋼、高マンガンオーステナイト鋼、高速度鋼、超硬合金、自溶合金等が使用される。

8. 硬質クロムめっき

クロム酸および硫酸を主成分とするめっき浴よ

り電析によりCrを析出させる。800～1,000HVの硬さを有し、また研磨により摩擦係数の低い光沢面を得ることができるため、耐摩耗性被覆として広く用いられている。従来硬質クロムはめっき浴に有害な6価クロムを含むため、近年それに代替する技術が各種提案されてきている。

◇ 表面改質処理技術の動向

PVDやCVD法による表面改質では、セラミックスやダイヤモンドライクカーボン（DLC）といった超硬質皮膜のコーティングにより、耐摩擦、耐酸化、摺動、離型特性など各分野で広く用いられるようになってきている。これはコーティング皮膜と母材との密着性に関する研究が活発に行われ、飛躍的に改善したことによる。代表的な用途としては、切削工具、金型および各種部品などへの機能性および耐久性向上である。現在もこの分野では研究活動が活発である^{2)、3)}。

今後も高機能化を付与する表面改質膜種や膜質の向上を目指す取り組みがなされ、複合化する動きもみられる。例えば残留応力緩和と密着性を目指す複合皮膜である。また多層膜や多元膜の成膜やナノ積層膜など膜の構造もプロセスが複雑化してきている。さらに窒化と気相蒸着といった複合表面改質処理も金型や自動車部品の耐久性向上や高性能化を目的にこれからも発展していく分野と考えられる⁴⁾。

参考文献

- 1) 西本明生：熱処理 53 (2013) 259-264
- 2) 池永勝：精密工学会誌 75 (2009) 838-841
- 3) 土屋能成：Form Tech Review 26 (2016) 10-16
- 4) 西本明生：溶接学会誌 84 (2015) 391-393

Ⅱ．主要分野での表面改質の適用例

1．金型の表面改質

(1) 冷間金型

山陽特殊製鋼(株) 研究・開発センター 前田 雅人
新商品・技術開発室 商品開発2グループ 係長

まえがき

近年、塑性加工技術の進歩によるニアネットシェイプ化や被加工材の高強度化が進み、冷間金型はより過酷な状況で使用されている。その中でも耐摩耗性が求められている金型には、高硬度が得られる冷間工具鋼、マトリクスハイス、ハイス並びに超硬合金が用いられている。しかし、これら金型材料でも対応できないような更なる耐摩耗性が必要な場合は、金型に表面処理を施し、より高硬度の被膜を形成することで耐摩耗性を向上させて使用されている。また耐摩耗性以外にも、耐焼付き性や離型性（低摩擦係数）、耐熱性などの特性を付与する目的のためにも表面処理が施されている。冷間金型に被膜を形成するための表面処理方法は、CVD（Chemical Vapor Deposition、化学蒸着法）、PVD（Physical Vapor Deposition、物理蒸着法）TRD（Thermo Reactive Deposition and Diffusion、熱反応析出拡散法）、PVDとCVDを組み合わせたPCVD、めっき、窒化处理、溶射など^{1)~3)} 多岐にわたるが、昨今の代表的な表面処理方法はCVD、PVD、TRDである。本稿では、この冷間金型に施される代表的な表面処理方法（CVD、PVD、TRD）並びにその表面処理方法で形成される被膜の種類について紹介する。

◇ 表面処理方法について（CVD、PVD、TRD）

CVDは、チャンバー内に原材料を含むガスを流し、加熱された金型上で化学反応を起こさせることで被膜を形成する方法である。表面に原材料が

スが吸着した後に反応して被膜となるため、形状に起因する膜厚のばらつきや被膜不良が少なく、密着性が高い膜が得られる。但し、1000℃程度に加熱しないと反応が起きないため、ハイスなどの鋼製の金型にCVDを行う場合は、焼戻し処理が必要となり、またその結果、金型の寸法変化や変形も起きやすい。

PVDは、チャンバー内で原材料を蒸発させ、金型上にその蒸発した原材料を衝突・堆積させることで被膜を形成する方法である。通常処理温度が500℃以下のため金型の寸法変化や変形が起きにくい。但し、被膜にポーラスなどの欠陥が含まれる場合があり、密着性はCVDと比べると低くなる傾向がある。また金型の凹凸が大きい箇所や内径には原材料を衝突させにくく被膜不良や膜厚のばらつきが生じやすい。

TRDは、主に、V、Nb、Crなどの炭化物形成元素を含む金属や酸化物粉末を添加した熔融塩浴中に金型を浸漬し、金型中の炭素と塩浴中の炭化物形成元素を反応させることで炭化物の被膜を形成する方法である。熔融塩浴中の化学反応による成膜であるため、CVDと同様に被膜不良が少なく、密着性が高い。但し、処理温度が1000℃程度と高く、CVDと同様、鋼製の金型では寸法変化や変形が起きやすい。

◇ 被膜の種類

冷間金型に形成される被膜は、炭化物や窒化物といった硬質物質が主流である⁴⁾。冷間金型に形成される被膜の硬さ、特性比較および色調をまとめた一覧を表1に示す³⁾。

表 1 冷間金型に形成される被膜の硬さ例、特性比較および色調一覧

膜種	TiN	TiCN	TiC	TiAlN	CrN	DLC	TRD-VC
硬さ (HV)	2,000~2,400	3,000~3,500	3,200~3,800	2,300~2,500	2,000~2,200	1,000~7,000	3,200~3,800
耐食性	○	△	△	○	◎	○	◎
耐酸化性	○	△	△	◎	○	△	△
耐摩耗性	○	◎	◎	○	○	○	◎
耐焼付き性	○	○	○	○	◎	◎	◎
色調	金色	紫～灰色	銀白色	紫～黒色	銀白色	灰色～黒色	銀白色

(TiNに比べ、◎：優れる、○：同等、△：劣る)

PVDやCVDで形成される被膜の種類は、代表的なものとしてTiC、TiCN、TiN、TiAlN、CrN、DLC（ダイヤモンドライクカーボン）が挙げられる。これら被膜は、耐摩耗性や耐焼付き性、耐酸化性、離型性、耐食性など、金型の使用環境に合わせて使い分けがされている。

TiNは他の被膜に比べて低硬度ではあるが割れにくい。また特性バランスのとれた被膜であり、汎用の被膜として多くの金型に使用されている。TiCは、高硬度の被膜であり特に耐摩耗性が高く、低摩擦係数であるため、プレス加工などに使われる。TiCNは、基本的にTiCとTiNの中間的な特性を有しているが、TiCN中のCを増やしNを減らせれば硬さが高くなりTiC寄りの特性となる。このようにCとNの配合比によって特性を変化させることが出来るため、用途に合わせて配合が変えられている。TiAlNは、特に耐酸化性が高く、摩擦による発熱が生じやすい金型に使われる。CrNは、特に耐焼付き性や耐食性に優れており、無潤滑環境での加工に用いられる金型などに使用される。また鉄系材料の加工用金型以外でも、銅に焼付きにくいという特徴も有しているため、銅加工用の金型に使用される。

DLCは、主にCで構成され、ダイヤモンド構造とグラファイト構造の両方が不規則に混在するアモルファス構造を有する被膜である^{5)、6)}。ダイヤモンド構造とグラファイト構造の割合や水素含有量の違い、Si、Ni、Cr、Wなどの添加元素の有無により特性が大きく変化する。DLCは、ta-C（テトラヘドラルアモルファスカーボン）、a-C（アモルファスカーボン）、a-C：H（水素化アモルファスカーボン）、ta-C：H（水素化テトラヘドラルアモルファスカーボン）の4種類に区分される。

ta-Cはダイヤモンドの性質に近く、a-Cはグラファイトの性質に近い。更に水素非含有DLC（ta-C、a-C）は高硬度が得られる。またDLCは耐焼付き性に優れており、鉄系だけでなくアルミや錫、亜鉛など非鉄に対しても有効であり、各種材料の加工用金型に使用されつつある。なおPVDおよびCVDで形成される被膜の厚さは、多層化膜であっても通常数 μm 程度である。

一方、TRDで形成される被膜は、主にVC膜であり、炭化物被膜の中でも耐摩耗性や耐焼付き性に優れた被膜である。また密着性の高い厚膜（最大20 μm 程度）が形成されるため摺動に強く、自動車の車体部品の冷間プレス用金型やステンレスの深絞り用金型などで使用されている。

◇ 被膜およびその他周辺技術の開発動向

被膜の最近の動向としては、前述した代表的な被膜をベースに改良した被膜（TiAlCN、AlCrN、TiSiN、TiBN等）や、各被膜を多層膜化した複合被膜、膜組織を連続的に変化させた傾斜膜、厚膜化したPVD被膜⁷⁾など、被膜特性の複合化や膜の密着性向上等を狙った多種多様な表面処理が各表面処理メーカーで開発されており、高機能化が進んでいる。また軟窒化処理やウェットブラストなどの金型母材の硬化処理を実施した上でPVD処理膜を行って密着性を改善した複合表面処理⁸⁾や、PVDとCVDを組み合わせて低温で密着性の優れた膜を形成させるPCVD処理など、処理方法の開発も行われている⁹⁾。その他、被膜の密着性を上げるため、表面処理前の表面粗さの低減や、金型表面の付着物除去、PVD処理中に生じるドロップレット（数 μm サイズの原料粒子が付着したもの）やピンホールの発生抑制、被膜内部の残留応力の

緩和など、被膜の材質や処理方法の開発だけでなく、成膜前の表面状態の改善も進められている。

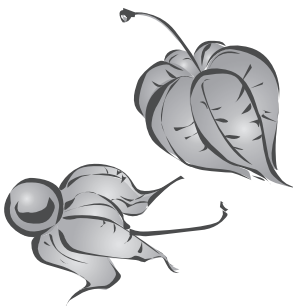
むすび

本稿では、代表的な表面処理方法であるCVD、PVD、TRD、並びにそれら表面処理方法で形成される被膜について概略を紹介した。今後、ネットシェイプ化や被加工材の更なる高強度化が進むと予想される中、被膜に求められる特性が高度化することは必至であるため、現状よりも更に優れた新しい被膜の開発が期待される。また、被膜自体の特性改善以外にも、金型母材や潤滑剤との組み合わせも金型寿命を左右する重要な因子になると考えられ、弊社は特殊鋼メーカーとして、金型母

材側からの視点で被膜を適用した金型の寿命改善に関わっていく所存である。

参考文献

- 1) 藤木栄：表面技術、52 (2001) 8、p. 535
- 2) 金型高品質化のための表面改質、型技術協会 型寿命向上研究委員会編、日刊工業新聞社、東京、(2009)
- 3) 秋元清隆：熱処理、58 (2018) 2、p. 45
- 4) 土屋能成：FORM TECH REVIEW、26 (2016) 1、p. 10
- 5) 大平晃也：NTN TECHNICAL REVIEW、No. 77 (2009)、p. 87
- 6) 森口秀樹、大原久典、辻岡正憲：SEIテクニカルレビュー、No. 188 (2016)、p. 38
- 7) 本多史明、井上謙一：日立金属技報、31 (2015)、p. 40
- 8) 池永勝、鈴木秀人：熱処理、41 (2001) 6、p. 305
- 9) 河田一喜：塑性と加工、45 (2004) 518、p. 153



(2) ダイカスト金型

日立金属(株) 中日本支社 やま おか み き
特 殊 銅 営 業 部 山 岡 美 樹

ま え が き

ダイカストはアルミニウム合金などの熔融金属を金型に高速、高压で射出・充填し優れた寸法精度、铸肌、高い生産性がある铸造方法で自動車関連を中心としてOA機器、家電用品、建築用品などに広く使用されている。ダイカスト金型には加熱冷却の熱ショックや熱疲労によりさまざまな損傷が発生し、ダイカスト製品の寸法精度や外観品質に影響を及ぼす。そこでダイカスト金型に発生する損傷に対応した表面処理、表面改質を紹介する。

◇ ダイカスト金型の損傷形態

ダイカスト金型における損傷原因は主に熱応力・熱疲労に起因するヒートチェック、型割れや金型と熔融金属の反応などによる化学的反応による焼付き、侵食及び機械的作用による変形、折損、へたりなどによるものである。図1に示すダイカスト金型寿命調査ではヒートチェックが70%以上を占め、溶損、型割れ、摩耗、腐食・肌荒れの順となっている¹⁾。これらの損傷に対応した表面改質の適用を紹介する。

◇ ヒートチェック

ダイカスト金型の表面は铸造作業中に熔融金属によって高温になり局部的に膨張しようとするが、金型の表面から内部にかけて温度勾配が発生し、

内部の相対的に温度が低い部分によって拘束されるため圧縮応力が生じ、降伏点を越えると圧縮塑性ひずみが発生する。さらに被加工材が取り除かれると金型の表面は冷却スプレーや離型剤スプレーにより冷却され急激な収縮が起こり引張応力が生じる。作業ごとに金型の表面には加熱、冷却の温度サイクルが繰り返されることにより、熱疲労亀裂（ヒートチェック）が発生する。

ダイカスト金型のヒートチェックに対しては金型材の高温強度、靱性、硬さを考慮した材質の選定や熱処理方法の選定を行う他に、窒化処理を代表とする表面処理が適用されるが、一概に窒化処理といってもその方法、種類、形態はさまざまでありヒートチェックに対して好影響を与える場合のみでなく、悪影響を及ぼす場合がある。図2に窒化形態とヒートチェック特性示す。窒化Aの場合、窒化層が硬く脆いため、窒化なしと比べてヒートチェックの発生本数は減少するがクラックが窒化層内にとどまらず母材にも進展する。一方窒化Bにおいては化合物層がなく、拡散層が浅めで且つ硬さも抑えているため比較的靱性が高く、発生したヒートチェックも窒化層内でとどまり、浅いクラックが多数発生することで応力分散効果によりクラックの進展が抑制され则认为²⁾。図3に窒化処理のタイプ分けを示す。図2のTYPEと対応しており、ヒートチェックに対して有効な窒化処理としてはTYPE Dである³⁾。

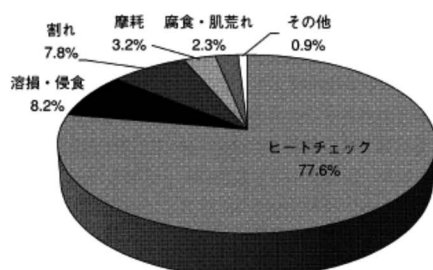
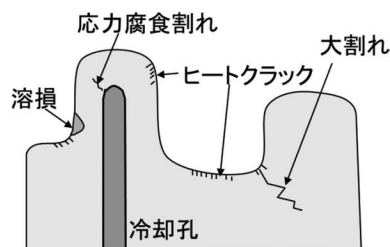


図 1 ダイカスト金型寿命の原因割合



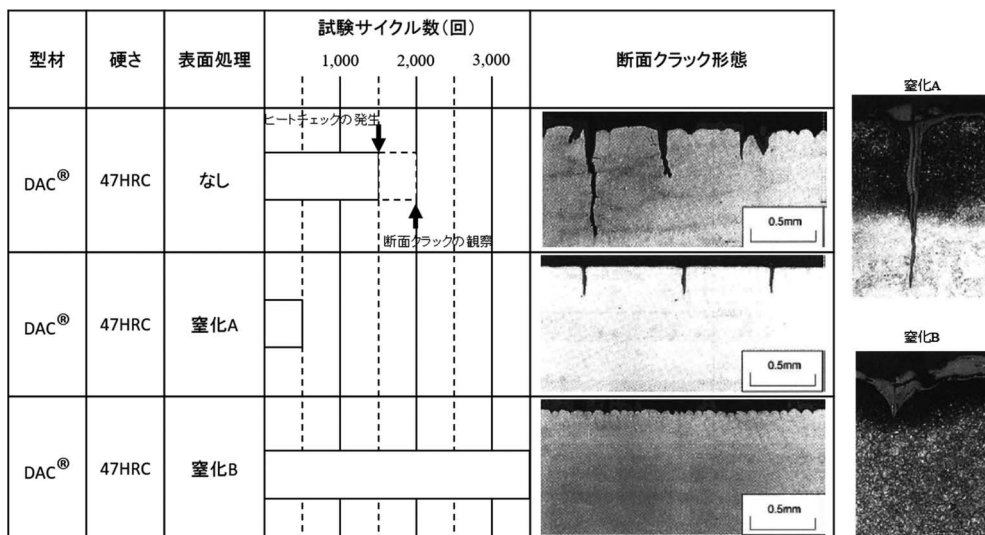


図 2 窒化形態とヒートチェック特性

	TYPE A	TYPE B	TYPE C	TYPE D
形態と窒化深さ (窒化層性状は SKD61に窒化の 場合) Nitriding depth and form (In the case of nitrided SKD61)	ε相(白色層) ε phase (white layer) 0.1mm >1000HV	窒化層内の粒界 Grain boundaries in the nitride layer 0.2mm >1000HV	硫化物、酸化物の層 Sulfide, oxide layer 0.2mm >1000HV	表面化合物層無 No compound layer 0.05~0.1mm 600~800HV
耐ヒートクラック性 Heat crack resistance	B	C	C	A
窒化層の耐剥離性 Flaking resistance of the nitrided layer	B	C	C	A
耐溶損性 Melting Resistance	B	B	A	C
窒化の種類 Type of Nitriding	一般窒化 General nitriding	深め窒化 Deep nitriding	浸硫窒化 Sulfurizing and nitriding	浅め窒化 Shallow nitriding

優A → 良B → 並C
Excellent "A" → Ordinary "C"

図 3 窒化層の性状比較

◇ 焼付き

ダイカスト金型の焼付きは、金型表面や鋳抜きピンなどで溶融金属と反応を伴って化学的に融着し被加工材の離型を妨げたり、金型表面を損なう現象である。場合によっては金型や鋳抜きピンの破損に至ることある。焼付きは初期段階で物理的な付着が発生し、繰り返し使用していく中で付着層中のAl、Siと金型のFeが反応してAl-Si-Feの金属間化合物を生成し焼付きへ発展する¹⁾。

焼付き対策としては金型の冷却の強化、鑄造条件の最適化が有効であるが、その他に表面処理を

適用して、初期段階での物理的な付着を低減させることも重要である。表面処理としては窒化処理と酸化皮膜処理の組合せやPVD、CVD、溶融塩浸漬法(TD処理)などのコーティングが焼付きに対しては有効である。

◇ 溶 損

溶損は溶融金属が高速で金型内に充填される際にランナ、ゲート、キャビティに衝突して機械的浸食(エロージョン)することで金型が損耗したり、部分的に過熱された金型が化学的浸食されることで発生する。機械的浸食は溶融金属の流速の

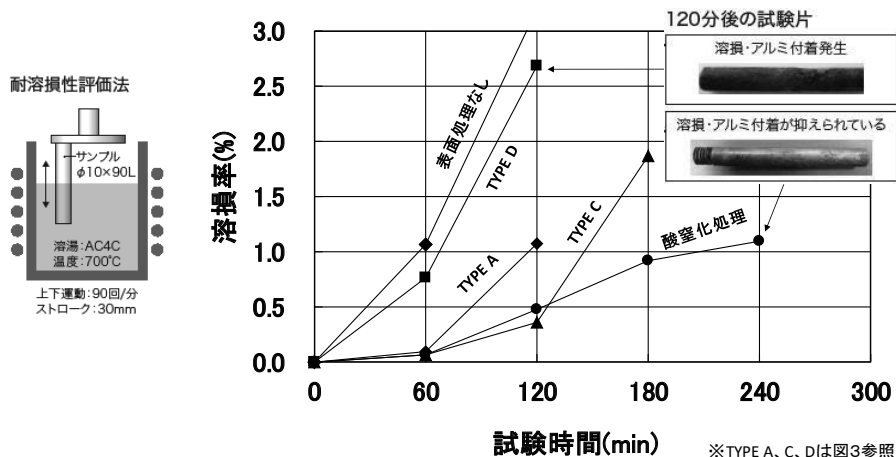


図 4 溶損試験結果

変化が大きいときにはキャビテーション・エロージョンが発生する場合がある。化学的浸食は溶融金属と金型成分の冶金的な表面反応により金型表面が浸食される現象で、温度が高いほど浸食が多くなる。ダイカスト金型においては機械的浸食と化学的浸食が同時に起きていると考えられている¹⁾。

機械的浸食に対してはゲート方案や鑄造条件の最適化で防止することが有効で表面改質による改善は困難であるが、化学的浸食に対しては焼付きと同様に金型の冷却の最適化や表面処理では窒化处理と酸化皮膜処理の組合せやPVD、CVD、溶融塩浸漬法（TD処理）などのコーティングが有効である。一例として図4に窒化处理と酸窒化処理の溶損試験結果の事例を示す⁴⁾。

◇ 水漏れ（冷却孔の応力腐食割れ）

近年、高サイクル成形が進み、外部冷却の最適化や内部冷却の強化がますます見受けられる。内部冷却の強化において金型のキャビティと冷却孔の距離が接近してきており、これに伴って成形中の冷却孔への繰り返し熱応力の影響が大きくなり、腐食環境にある冷却孔からの応力腐食割れに起因する大割れや水漏れトラブルを引き起こすリスクが高まったり、冷却孔部の錆による冷却能力の低下が懸念されるようになった⁴⁾。

水漏れを引き起こす応力腐食割れに対して昨今、色々な取り組みが検討されており、冷却孔を加工する際に加工肌を滑らかに仕上げる切削加工技術

の開発やドリル先端のSR形状化及び錆を抑制させるため冷却水の管理なども見直されている。表面改質の検討、開発もなされており、冷却孔内へショットピーニングを施すことにより表面粗さを平滑化したり残留圧縮応力を付与させたりしてクラックを抑制させる技術や酸化皮膜を形成させて錆の発生を軽減させる処理など応力腐食割れに対して有効な処理も増えつつある。但し、これらの表面改質において冷却孔の径や深さによっては品質的な課題も見受けられる。

むすび

ダイカスト製品はこれまで主に自動車部品を中心に使用されてきたがEV化によりエンジン部品や駆動系部品の減少が懸念される一方、従来プレス成形や鍛造で製造されていた部品もアルミ合金化によりダイカスト業界も参入し、競争が激化すると予想される。ダイカスト製品の高精度化、高サイクル化、金型の大型化などこれまで無かった技術課題へ直面することが予想され、これまで以上に金型における材質選定、熱処理技術と合わせて表面処理、表面改質の多様化は不可欠で発展が求められている。

参考文献

- 1) 西直美：型技術 Vol. 33 No. 6 2018年5月号 P. 18-25
- 2) 長澤政幸、田村庸：日立金属技報 Vol. 12 (1996) P. 55-58
- 3) 日立金属：YSSダイカスト金型用鋼カタログ P. 14
- 4) 村崎拓哉：型技術 Vol. 31 No. 8 2016年7月号 P. 86-87

(3) 温間、熱間鍛造金型

日立金属(株) 特殊鋼カンパニー 技術部 笠松 研 佑

まえがき

温熱間鍛造とは被加工材料を600℃～900℃あるいは1100℃～1250℃まで加熱して鍛造する。製品素材の変形抵抗が小さいため、複雑形状や大型部品、難加工品の成形に向いている。しかし、温熱間鍛造で使われる金型は、繰返し大きな熱的、機械的負荷を受けるため型寿命は短くなる。さらに近年の自動車の燃費向上化にむけた鍛造品の高強度化や軽量化に伴い¹⁾、金型への負荷はますます増加傾向にある。

◇ 温熱間鍛造における損耗形態

温熱間鍛造における金型の損耗形態は、被加工材や金型形状および鍛造条件などにより異なる。図1に温熱間鍛造の損耗形態について示す。温熱間鍛造用の金型の損耗形態は主に、割れ、摩耗、ヒートクラック、エロージョンである。パンチの

先端部や前方押出しの軸絞り部では、加熱された被加工材料との接触時間が長いため、熱影響による金型表面の軟化や摺動による摩耗が主な損傷原因になる。このような軟化を伴う摩耗が、温熱間鍛造用金型の寿命構成の70%を占めると言われている²⁾。図2に金型表層部における損耗の断面形態を模式的に示す。金型表面がA1変態点以上に加熱され、潤滑剤塗布により冷却されることで金型表面に再焼入層が生成され、摩耗と共に酸化減失や表面の剥離などの現象が発生する。ヒートクラックは金型表面が加熱された被加工材料との高面圧摺動による温度上昇と潤滑剤塗布による冷却が繰り返し起こることによる熱疲労が原因である。ヒートクラックを抑制するには、金型材料の初期硬さを上げることで抑制することができる³⁾。しかし、金型材料自体の硬さを上げると、反面靱性が低下するため、割れに対するリスクは上昇する。ヒートクラックは金型表面に発生する損耗形態で

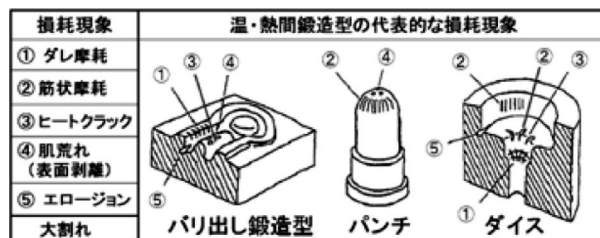


図 1 温熱間鍛造の損耗形態

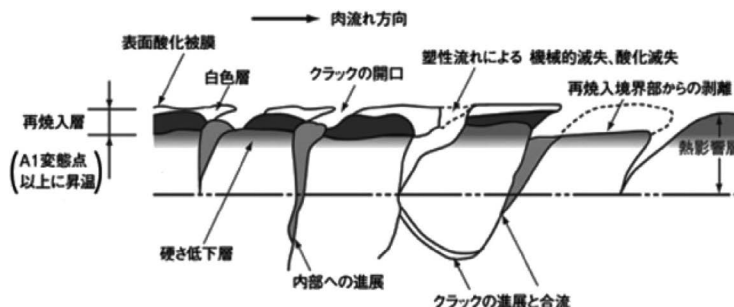


図 2 金型表層部の損耗形態

あるため、金型の表面のみ硬さを上げ、材料自体の靱性を低下させないことが理想である。これを可能にするのが表面処理で、例えば高靱性鋼に表面処理を適用すれば、表面は耐摩耗性や耐ヒートクラック性を有し金型自体は割れにくくなる。温熱間鍛造の表面処理としては窒化が適用されることが多い。その窒化処理方法はガス窒化、イオン窒化、塩浴窒化などが挙げられ、いずれも温熱間鍛造を含む熱間工具鋼の焼戻し温度以下で処理するため、金型材料の硬さの低下や寸法変化の少ない表面処理方法として幅広く適用されている。

◇ 温熱間鍛造の表面処理

図3は窒化処理の種類とその特徴を分類した表である。温熱間鍛造型では耐摩耗性を重視した白色層（窒化化合物層）があるタイプが主に使用されている。このタイプの窒化処理は、白色層自体の硬さが1,000HV以上と高く、窒化拡散層自体も0.1mm以上と深いのが特徴である。また、白色層ではなく、滑り性や潤滑剤の付着性が良好な硫化物層を生成させるタイプCのような窒化処理もある。摺動による摩耗や高温の被加工材の焼付きを防止できる窒化処理方法として選択されることも多い。一方でヒートクラックに対しては、白色層がない窒化処理を使うことが多い。白色層自体の硬さが高いことで靱性が低くなるため、一度発生した微細クラックを起点にクラックが進展しやすい

くなり、金型の割れにつながりやすくなる。ヒートクラック対策の窒化処理は、白色層が無くある程度表面硬さを上げることが出来るタイプDを使うことがある。温熱間鍛造用の金型の表面処理は、窒化処理だけでなくPVDも適用されることがある。PVDも窒化処理と同様、処理温度自体は熱間工具鋼の焼戻し温度以下であるため、金型材料の硬さの低下や寸法変化は少ない。また、コーティング膜自体の硬さは2,000HVを超えるものもあり、下地に窒化処理を加えることで、コーティング膜と金型表面との密着性を向上させることも可能である。しかし、PVDによる膜の付き回り性に関しては、ガスで処理する窒化と比較すると劣ってしまうため、パンチなど複雑形状でない金型に適用されることが多い。

◇ パンチの損耗事例

表面処理の選択は、金型の損耗形態によって異なる。写真1は温熱間鍛造用で使用されたパンチの表面部の損耗事例である。カジリ状の損耗部の断面を観察したところ、ヒートクラックの進展により、クラック同士が連結したことで窒化層の剥離が生じている。この場合、従来の表面処理は白色層を有している窒化処理であるが、靱性が低いためクラックの進展は深くなり、クラック同士連結しやすくなり、窒化層の剥離につながる。対策としては白色層のない薄い窒化処理が推奨される。また、金型材料としてはクラックの進展を抑制す

	TYPE A	TYPE B	TYPE C	TYPE D
形態と窒化深さ (窒化層性状はSKD61 に窒化の場合)	ε相(白色層) ε phase (White layer)	窒化層内の粒界 Grain boundaries in the nitride layer	硫化物、酸化物の層 Sulfide, oxide layer	表面化合物層無 No compound layer
Nitriding depth and form (In the case of nitrided SKD61)				
	0.1mm >1000HV	0.2mm >1000HV	0.2mm >1000HV	0.05~0.1mm 600~800HV
耐ヒートクラック性 Heat crack resistance	2	3	3	1
耐剥離性 Flaking resistance	2	3	3	1
耐摩耗性 Wear resistance	2	2	1	3
耐溶損性 Erosion resistance	2	2	1	3

優1 → 良2 → 並3 Excellent "1" → Ordinary "3"

図 3 窒化処理の種類とその特徴

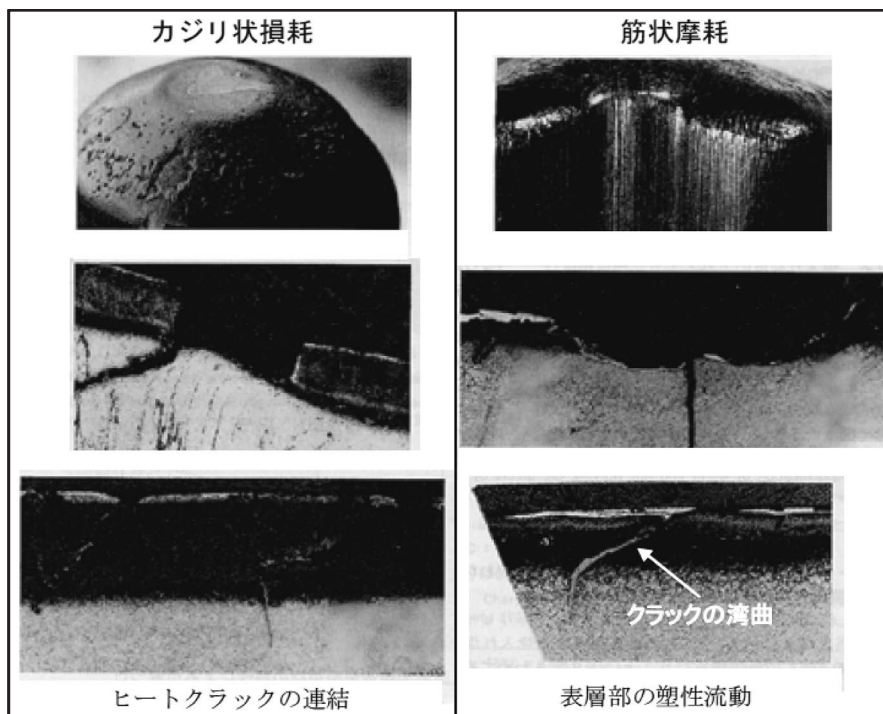


写真 1 温熱間鍛造用パンチの表面部の損耗事例

るため、硬さを下げるか高靱性鋼の適用が推奨される。一方で筋状摩耗部の断面では、表層部のクラックが歪曲しており、熱による軟化と塑性流動を伴いながら窒化層が摩耗していることが伺える。窒化により表面硬度を上げるといった対策が挙げられるが、厚くしすぎると窒化層の剥離などが発生するため、適切な厚さを選択する必要がある。また、金型材料は高温強度に強い材料を適用することが推奨される。

むすび

金型の損耗形態は金型材料や被加工材の種類、

金型の使用条件などによって異なる。表面処理で高寿命化を図るなら、損耗形態に合った処理を選択する必要がある。逆に言えば間違った表面処理を選択してしまうと、返って金型の寿命が短くなることもある。

参考文献

- 1) 日本塑性加工学会 鍛造分科会編：わかりやすい鍛造加工、日刊工業新聞社、2005、165
- 2) 田村庸・井上謙一・長澤政幸：熱処理、45-5 (2005)、295
- 3) 横井直樹・河野正道・井上幸一郎：ダイカスト金型のヒートチェックに及ぼす硬さと合金元素モリブデン、シリコンの影響、電機製鋼、第81巻1号、(2010)

(4) プラスチック金型への表面改質

大同特殊鋼(株) 技術開発研究所 いぶきもとひろ
金型材料技術研究室 室長 伊吹基宏

まえがき

プラスチック金型の表面改質は寿命改善だけでなく、意匠性の向上を目的とした表面改質が多く成されていることが特徴的である。これはプラスチックの歴史が100年程度前に始まったとされ、人類にとって比較的新しい素材であることに起因しており、従来使われていた素材（木材、革など）にとって代わる時にその見た目を従来材に似せることで代替され広まってきた。近年では質感の再現だけではなく、さらに機能を付与するための表面改質が増えている。図1にプラスチック金型の表面改質に求められる特性を示す。身の回りを見回してもプラスチック製品はあらゆる場面で散見され、金型の表面改質も多種多様であるが、代表的と思われるものについて紹介したい。

◇ 意匠性向上のための表面改質

1. シボ

プラスチック以外の材料の質感を表現するための表面改質を総称してシボ加工という。革製品などの皺（しわ）のことをシボと言い、この皺（しわ）をつける工程をシボつけということからきていると言われている。革のしわを金型に再現するシボのことを革シボなどと呼んだりする。木目調やヘアライン、幾何学模様などの種類がある。シボの種類だけでなくシボ加工の方法も様々ではあるが、写真平板法（Photolithography）が代表的

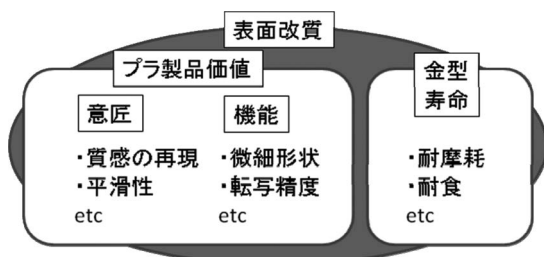


図 1 プラスチック金型の表面改質に必要な特性

な方法と思われる。デジタルカメラが普及して久しいが、光と反応する光硬化性樹脂を利用することから上記の名前がついている。図2に写真平板法の工程を示す。金型の上に光硬化性樹脂（フォトレジスト）、シボの意匠パターンが描かれたシート（マスク）の順で重ね、その上から光を照射する。意匠パターンに対応して光硬化性樹脂が硬化し、硬化しなかった部分は洗浄して除去する。そして金型表面を酸のような腐食性の液で浸食することで、硬化樹脂に守られ腐食しない部分と浸食の進む部分で凹凸を形成する。この凹凸が射出成型などによる成型品の表面に転写されプラスチック製品の肌となる。シボが実施される製品としては車のダッシュボードや手帳の表紙などがイメージされる。腐食性の液によって浸食されるために鋼材を変更した場合にその耐食性の違いや鋼材の偏析によって凹凸の深さが異なり問題となることに注意したい。

2. 鏡面加工

凹凸をつける一方で透明な樹脂製品や楽器の鍵盤のように平滑な面が求められる場合もある。金型の平滑性を追求していくと鏡のように光る面となる。平坦な面は機械研磨により鏡面加工されるが、金型については曲面を有していることが大半なので職人による手磨きで鏡面加工される場合が

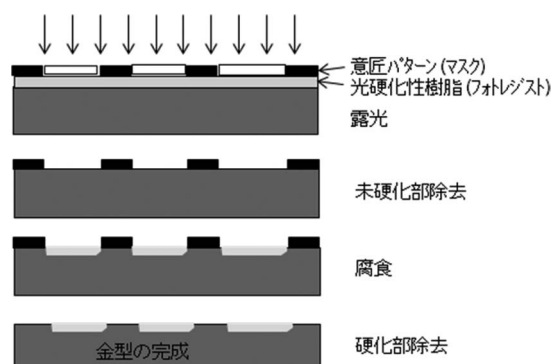


図 2 写真平板法の工程

多い。最初は粒子径の大きな砥粒で研磨し、その傷をより小さい粒子径の砥粒を使って研磨して消していく。#1200→#3000→#5000→#8000といった具合である。「#」の記号と数字は砥粒の粒子サイズに対応し、粒子のサイズを揃えるときのふるいの網目の間隔に由来する。#8000であれば砥粒の粒子径は2~4 μ mとなる。また、鏡面の仕上がりを磨きの最終の砥粒の大きさに対応して#8000などと表記し、8,000番仕上げなどと言うことがある。砥粒はアルミナ（アルミの酸化物）などが使われることもあるが、一般的に仕上げの工程では人工ダイヤモンドの砥粒で磨いていく。

鋼材の硬さが高いほど、研磨時の傷が浅くなるためより仕上がりの良い鏡面を得やすい。一方で炭化物や非金属介在物が研磨砥粒によって掘り起こされピンホールという欠陥になったり¹⁾、偏析に伴う微小な硬さ分布によって凹凸ができ、うねりやオレンジピールと言われる不良を起こす。このため、再溶解により清浄度が高く、均質な鋼材のほうが良い鏡面を得やすい²⁾。

◇ 機能性向上のための表面改質

1. Niめっき

透明樹脂製品の中にはレンズなど光学機器部品として働くものもある。スマートフォンが普及し、カメラを内蔵しているため、必要とされるレンズの数も多い。同様にスマートフォンなどに使用される液晶パネルの液晶自体は発光しないため、バックライトが使われている。バックライトの光を画面方向に向けるために微細パターンが転写された導光板が使用される³⁾。これらの光学機器部品はその役割から要求精度が高い。精度の高い微細加工用の工具にはダイヤモンドバイトが使用される。Fe基の材料は炭素との反応性が強く、ダイヤモンドバイトでの微細加工にはあまり向かないとされている。このため、鋼材の上に厚膜のNiめっきを施し、このNiめっきを切削して形状を形成することがある。結晶粒界の存在は形状精度に悪影響があると言われ、アモルファスながらも形状加工に必要な厚みが要求される。このNiめっきは無電解で実施され、光学用途専用のめっきである。一方で基地となる鋼材には寸法安定性が要求され残留 γ や内部歪は嫌われる。また、めっき層の

剥離時の溶剤に対する耐食性が必要とされる。めっき層が破損した場合にめっきを剥離した後、再めっきと再加工により再び金型を使えるようにするためである。

2. Ni電鍍

電鍍とは電気鑄造技術（Electroforming）のことで広い面積に精度良く形状を形成できる技術である⁴⁾。原理的には電解のNiめっきと同様であり、Niと母型を電極を使用して電解液に浸漬しながら電圧をかけることで母型表面にNiを付ける。

DVDは情報面のポリカーボネイト（PC）内側にある微細なディンプルに光を当てて読み取りその信号をもとに再生している。ポリカーボネイト（PC）にこのディンプルを転写成形するための凸部の形成にNi電鍍が使用されている。情報面にはNi電鍍金型を使用し、その他の面は高鏡面に磨かれた鋼材で作られた金型を使用する。形成したいパターンの作成については前述した写真平板法（Photolithography）が利用されている。Ni電鍍金型と鋼材で作られた金型が組みわせて使用されるため、鋼材で作られた金型には精度良く組み上げられることが求められる。

◇ 金型寿命を上げるための表面改質

1. 窒化

窒化とは鋼材に窒素を侵入させることによって鋼材内部で窒化物を形成させ、鋼材の表面近傍の硬さを上昇させる処理である。鋼材への窒素の供給媒体によって塩浴窒化、ガス窒化、イオン窒化などと分類される。窒化による表面近傍の硬さ上昇は繊維強化プラスチックの成形での金型摩耗防止に有効と考えられる。繊維強化プラスチックにおけるガラス繊維や炭素繊維はプラスチックの強度の向上のために添加される。これらの繊維は硬質なため、成形時の樹脂流動によって金型に摩耗を引き起こす⁵⁾。表面の硬さ上昇は摩耗抑制に効果的であり、焼入焼き戻しで芯部まで高い硬さを得るのに対して窒化により表層は硬く、芯部は柔らかくすることで、芯部からの割れで大割れとなる危険性を低減できる。型締めなどの応力に対して十分な芯部硬さを有している場合に有効である。

2. Crめっき

Crは鋼材においても耐食性を向上させる添加元

素であり、金属Crも耐食性に優れる。このため金型表面に純Crのめっき層を形成することで金型の耐食性を向上させることができる。Crめっき層は電解めっきによって形成される。Ni電鍍と同様にCrとめっきしたい金型を電極にして電解液の中で電圧をかけることによって金型表面に金属Crの層を形成する。樹脂の中には成形時に腐食性のガスが発生するものがある⁶⁾。塩化ビニル（PVC）などの塩素系のガスが発生する樹脂成形についてはCrめっきは苦手なものの、ポリアセタール（POM）やポリフェニレンサルファイド（PPS）などカルボン酸や硫酸系のガス発生がある樹脂の成形に有効である。

むすび

プラスチック金型に実施される表面改質につい

て代表的なものを紹介した。紹介した方式が全てではなく、例えばシボではCADでデザインし、レーザーで模様をつけることも実施されている⁷⁾、Niめっきを実施せずに鋼材への直接切削で微細形状を加工するようなこともトライされている⁸⁾。本稿がプラスチック金型を深く理解するためのきっかけとなれば幸いである。

参考文献

- 1) 井ノ口貴之：電気製銅、78（2007）、361
- 2) 関谷篤：ふえらむ、22（2017）、586
- 3) 福井雅彦ら：精密工学会春季大会学術講演会講演論文集、（2004）、685
- 4) 川崎実：表面技術、52（2001）、726
- 5) 鄧慧琳ら：型技術、32（2017）、92
- 6) 黒江龍郎ら：プラスチックエージ、38（1992）、130
- 7) 原雄司：プラスチック、68（2017.5）、9
- 8) 社本英二ら：精密工学会誌、67（2001）、1871



2. 自動車部品の表面改質

(1) 浸炭焼入れ

アイシン・エイ・ダブリュ(株) おお ばやし こう じ
生産技術本部 Executive Advisor 大 林 巧 治

まえがき

自動車は高い動力性能や静粛性、燃費改善、低コスト化を目指し、技術開発が続けられている。近年、100年に一度とも言われる電動化やIOT・自動化など技術革新も取組まれている。自動車に組み込まれる部品は高度化・複雑化しており、品質・コスト・生産性・環境・安全（以下、QCDES）など難課題の同時実現が求められる。浸炭焼入れはそれら課題を解決するための有用なプロセスであり、更なる難課題解決を目指し技術改良、革新が取組まれる。この様子を、ガス浸炭焼入れ、真空浸炭焼入れ技術中心に解説する。

◇ 自動車部品の進化

例えば、自動車のオートマチックトランスミッション（以下、AT）について見てみると、およそ半世紀前2速ATだったものが、現在では10速ATまで進化した。また、更なる環境負荷低減を目指し、例えば、8速ATへ駆動モータを組み込んだ新型ハイブリッドシステムなどが開発される。電動化により機械部品がシンプルになるのでは無く、ますます高度化・複雑化した部品が必要にな

り、高度な熱処理技術（浸炭焼入れなど）や高機能を鋼材が必要となる。

◇ 浸炭焼入れの意味

一般的な浸炭焼入れとは、先ず炭素（含有量）0.2%程度の鋼材に、鍛造や機械加工を施し、所望の形状を得る。続いて浸炭焼入れ炉にてオーステナイト温度へ加熱し、雰囲気中の炭素を鋼材へ侵入させ、被処理部品の表層を炭素0.8%程度（共析点近傍）へ増加させた後、焼入れする熱処理法であり、前工程の機械加工性と熱処理後の高強度を兼ねえる。図1に製造工程イメージを示す。

鋼材はクロムやモリブデン等が添加された合金鋼で、比較的、緩速な焼入れでもマルテンサイト変態が成立するよう材料設計されており、JIS、SAEなどに浸炭用鋼材として標準化されている。焼入れは、歪抑制のため適温に加熱した焼入油が適用されており、熱処理後の仕上げ加工を必要最低限にとどめている。浸炭深さ（硬化層深さ）は浸炭時間、温度、雰囲気CP（炭素濃度）などにより制御され、所望の炭素濃度分布と硬度分布を得る。部品に応じて比較的容易に硬度分布の調整が可能である。

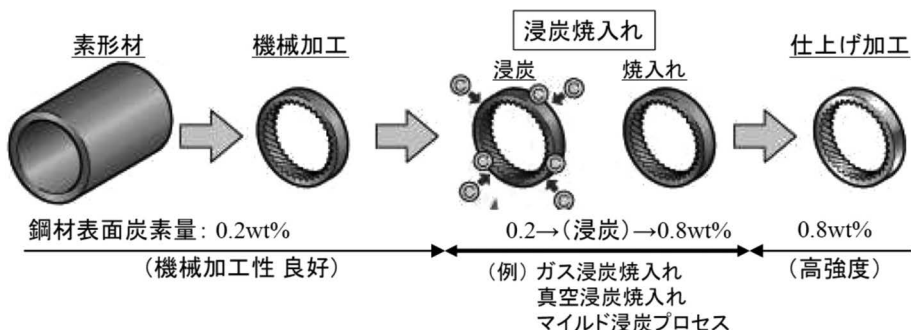


図 1 浸炭焼入れを含んだ部品の製造工程イメージ

多くの焼入れを施し使用される特殊鋼は、あらかじめ炭素0.8%以上を含有しており、所望の形状へ機械加工した後、浸炭処理する必要はなく、加熱－急冷（焼入れ）するだけで部品の強化が可能である。合金を多く添加すればガス焼入れを適用し、比較的低温で熱処理も可能である。では、なぜ浸炭焼入れが存在するのか。それは下記のような理由による。

- ①浸炭処理により表層炭素0.8%、内部炭素0.2%の傾斜炭素材料を形成している。これを焼入れることにより、例えば、表面硬度Hv750、内部硬度Hv350のような硬度傾斜（硬度分布）を配し、耐摩耗性、高疲労強度、靱性、耐焼割れ特性など都合よく絶妙に獲得している（品質）。
- ②浸炭焼入れを前提に設計された浸炭用鋼材は、クロムやモリブデン等を少量添加するのみであり、必要以上に合金を添加する必要はない。鋼材のコストを抑え、油焼入を可能にし、浸炭焼入れ後の強度特性と低温を両立している（品質、コスト）。
- ③炭素0.2%の鋼材は加工性に優れ、冷間鍛造の適用も可能とし、加工コストを抑え、高い加工生産性を成立させる（コスト、生産性）。

このように浸炭焼入れは、適用する鋼材も含めてQCDの課題を、高い次元で簡便に解決しており、量産の自動車部品へ有用なのである。

◇ 浸炭焼入れ技術改良・革新取り組み

浸炭焼入れの操作は、熱処理条件はもちろん、炉、治具、加熱、雰囲気、焼入れ、鋼材など各要素技術が複合し成立している。それら各要素技術を改良することにより、浸炭焼入れのQCDESを改良してきた。図2に浸炭焼入れ技術の改良を自動車用ATの進化と対比して示す。

以下、自動車部品における浸炭焼入れ改良、革新事例の一部を紹介する。

1. 浸炭焼入れ炉の改良

浸炭焼入れ炉は、標準的なバッチ炉に対して、生産性が3～5倍の連続ガス浸炭炉が普及している。連続ガス浸炭炉は加熱、浸炭、拡散、均熱、各ゾーンを分離し、雰囲気制御、温度分布が向上し、品質バラツキ低減と生産性向上が進んでいる。

2. 浸炭雰囲気改良

ガス浸炭雰囲気は、プロパン、ブタンなどに空気を混合し、変成させたRXガスをベースに、所望の炭素濃度になるようプロパンまたはブタンなど

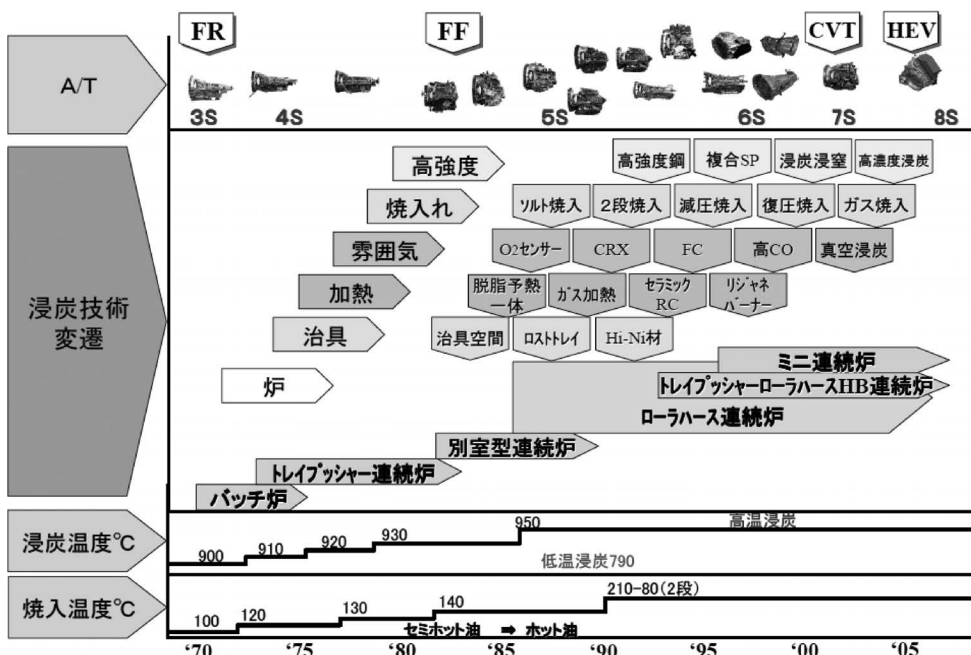


図 2 浸炭焼入れ技術の改良¹⁾

を添加し調整する。炭素濃度は、ガスサンプリングによるCO₂分析の方法から、炉内にO₂センサーを配置しリアルタイムに分析する方法が開発され、比較的レスポンス良く雰囲気制御されるようになった。他方、大量の浸炭ガスは、炉排気バントから燃焼廃棄しており、安全性や環境負荷低減の観点から、真空（減圧）中に、少量のアセチレンなどの炭化水素ガスを導入して浸炭する真空浸炭が開発された。この方法では浸炭中に酸素が介在せず、鋼材の酸化も完全に防止でき、ガス浸炭で生ずるような粒界酸化や浸炭異常層がない。反面歯先などエッジ部に、過剰浸炭によるセメンタイト析出など課題がある。部品への適用は限定的であり注意を要する。

3. 焼入れ技術の改良

浸炭焼入れには、強度（マルテンサイト変態）と精度（低焼入歪とバラツキ）両立のため油による緩速焼入れが適用される。さらなる焼入歪低減のため焼入油温は高温化されたり、鋼材Ms点（マルテンサイト変態スタート温度）近傍で一旦冷却を中断、恒温させる2段焼入れ（マルクエンチ）

が開発されている。さらに焼入歪と環境負荷低減を求め、クリーンなガス焼入れも試みられ限定的な部品へ適用されている。これらの焼入れ方法は、本来マルテンサイト変態の目的からすると逆行している。マルテンサイト変態のためには急速冷却が好ましいし、焼入歪低減のためには緩速冷却が好ましい。これらの矛盾を解決するため研究開発が続いている。

4. 浸炭用鋼材の改良

浸炭焼入れは、長時間高温中（950℃程度）に部品を保持するため、結晶粒の粗大化の恐れがある。そのため浸炭用鋼材には、結晶粒のピン止めとなるAlNやTiN、NbCなどを微細分散させる配慮が必要である。またガス浸炭では、浸炭ガス中の酸素により鋼材に粒界酸化や浸炭異常層を発生させてしまう。これを低減するため酸化しやすい合金元素を低減したり、粒界酸化が進行しても鋼材焼入れ性を高めておき、浸炭異常層の発生を小さくする鋼材設計が有効である。さらなる高強度化を求め、浸炭異常層をほとんど出さない鋼材や、高温軟化抵抗を付与する鋼材など各種高強度鋼が開

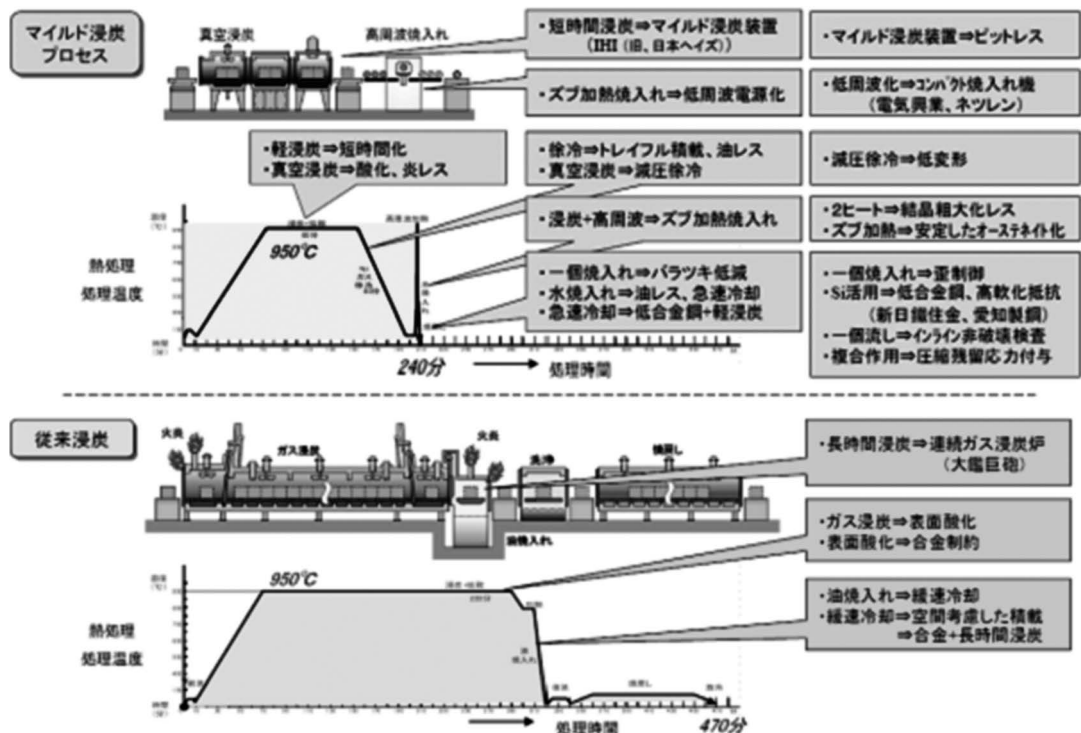


図 3 マイルド浸炭の概要とキー技術⁵⁾

発されている。

真空浸炭では粒界酸化や浸炭異常層の発生がないが、過剰浸炭によるセメンタイト抑制が課題となる。そのため鋼材の合金設計ポイントが大きく変わる。例えば、大同特殊鋼DEG²⁾や新日鐵住金、愛知製鋼MSB20^{3)、4)}は、鋼材中のSiを増量しCrを低減することで、状態図中のセメンタイト生成領域を狭くし、エッジ部など過剰浸炭部でもセメンタイト析出を抑制している。

5. 革新熱処理・マイルド浸炭プロセス

マイルド浸炭プロセス^{6)、7)}とは、小型真空浸炭装置と高周波焼入れ装置からなり、アイシン・エイ・ダブリュ（株）で2006年より量産ライン化している。従来のバスケット積載した複数部品の油焼入れではなく、マイルド浸炭に適用した、部品一個単位で水焼入れする高周波焼入れでは、急速冷却により健全なマルテンサイト変態と低焼入歪、バラツキの両立がしやすい。健全（100%炭素活用）なマルテンサイト変態では、浸炭量を低減しても従来浸炭焼入れと同等以上の硬度を出せる。マイルド浸炭では、被処理部品の表層を炭素0.65%程度（軽浸炭＝マイルド浸炭）ですみ、従来浸炭より大幅に浸炭時間を低減した。この軽浸炭ではセメンタイトの析出も抑制しやすい。真空浸炭と2ヒート再結晶（高周波焼入れ）を擁した

マイルド浸炭では、浸炭異常層も結晶粒粗大化もない。適用鋼材はシンプルで低合金化が可能となる。新日鐵住金、愛知製鋼MSB20のMはマイルド浸炭のMであり、Mo、Crフリーでも高強度を成立させた。従来浸炭焼入れに比較し、処理時間、CO₂、スペースなどが1/2となり、疲労強度130%、設置ラインに炎、油がなくなった。この概要とキー技術を図3に示す。

むすび

ガス浸炭はおよそ40年で大きく改良されてきた。近年、真空浸炭も自動車部品を中心に活用が進んでいる。高度化・複雑化したQCDES難課題の同時実現にはまだまだ多くの技術課題がある。変革が進む自動車を支えるには、材料技術と協調して浸炭技術のさらなる進化が必要である。

参考文献

- 1) 大林、熱処理：vol. 48、3、p. 161 (2008)
- 2) 製品紹介：電気製鋼、79、No. 1、p. 83 (2008)
- 3) 宮西慶、小澤修司、久保田学、伊藤誠司、篠原光範、吉田卓：新日鐵住金技報、No. 406、p. 51 (2016)
- 4) 杉浦孝佳、佐藤裕和、安達裕司：愛知製鋼技報、Vol. 22、p. 19 (2016)
- 5) 大林、熱処理：vol. 54、3、p. 110 (2014)
- 6) 大林巧治：日経Automotive Technology、11、p. 160 (2007)
- 7) 大林巧治、田口圭太：VDI-Berichte、2108. 1、p. 349 (2010)

(2) 高周波焼入れ

高周波熱錬(株) 取締役研究開発本部長 **三 阪 佳 孝**
高周波熱錬(株) 技 監 **川 崎 一 博**

まえがき

高周波熱処理は、1～200kHz程度の高い周波数の電力を使用する誘導加熱（IH: Induction Heating）を用いて鉄鋼材料を焼入れ・焼戻しする熱処理方法で浸炭焼入れ、窒化と同様に代表的な表面硬化法として利用されている¹⁾。その特徴は、クリーンな電気エネルギーを用いることから、燃焼式加熱炉による一般熱処理や浸炭焼入れよりCO₂排出量が少なく、熱エネルギー効率も優れている。さらに、加熱面の特徴である（1）急速短時間加熱、（2）表面加熱、（3）部分加熱を活用した表面硬化や組織微細化による高強度高靱性化は機械部品の小型軽量化に役立ち、“W-Eco[®]（Ecological & Economical）”熱処理として注目されている。

また、高周波熱処理では、一個一個を管理された条件で加熱冷却する「一個流し」処理を行うため、ワーク毎に安定した品質管理が可能で、“定まった”品質・寸法精度が得られやすい。さらに加熱体積が少ないことから“低い（少ない）”変形（高精度）も可能で、これらを合わせて“W-ティ[®]（定・低）変形”熱処理という特徴も有している²⁾。

このように、高周波処理は、環境共生時代に相応しい熱処理で、その特徴、実用・開発事例について紹介する。

◇ 高周波熱処理の特徴と適用部品の事例

高周波焼入れの材質面での特徴は、同じ炭素量でも炉加熱による全体加熱より「高い表面硬さ」、浸炭、窒化に比べて、熱サイクル設定の自由度が大きい「深めで調整可能な硬化層」、表面のみ硬化による「高い圧縮残留応力」、急速短時間オーステナイト化焼入れによる「微細組織」、「少ない脱炭」「ダブルティ（定・低）変形」などが挙げられる。

表面焼入れの適用部品では、自動車では足回り用の駆動軸、ハブ軸受、エンジンカムシャフト、ミッション部品、ステアリング部品など多種多様で弊社では100万個以上／月を高周波焼入れしている。また、高周波焼入れの特徴である移動焼入れを用いることにより大型部品の熱処理も可能で、建設機械では旋回ベアリング部品、産業・工作機械部品では、中・大型圧延ロール、トンネル掘削機用旋回輪、ボールねじ軸、レールなどを高周波焼入れしている。

一方、高周波全体加熱熱処理（焼入れ・焼戻し）製品の場合では、高強度と高靱性・高延性の両立によりPC鋼棒やばね鋼線“ITW”などが製品化されている。ITWは冷間成形コイルばねに加工され、その耐久性向上とへたり（使用中変形）低減によりばね下重量を軽くでき、かつ冷間成形ゆえに自由度が高いコイルばねの設計製作が可能なることからサスペンション機能の多様化、性能の向上にも役立っており、日本に加えて、中国、北米、EUなど世界中で製造されている。

◇ 高周波焼入れの進化

高周波熱処理技術は日々熟成と進化を重ねているが、まだまだ取り組むべき課題があり、熱処理メーカーとしてユーザーニーズに応えられるように開発を進めている。以下に弊社での開発・実用化事例を中心に紹介する。

1. WIQ^{® 3)}

高周波焼入れでは加熱時間が短いため前組織の影響を受けやすく、前組織が調質組織と球状セメント組織とでは、オーステナイト（ γ ）化特性が大きく異なり、急速短時間加熱が特徴の高周波焼入れでは、炭素が分散分布して γ 化しやすい調質組織が好ましい。ところが前加工面から見ると、調質組織は高硬さになるため加工性が悪くなり、

短時間加熱 γ 性と加工性の両立は二律背反的課題となる。

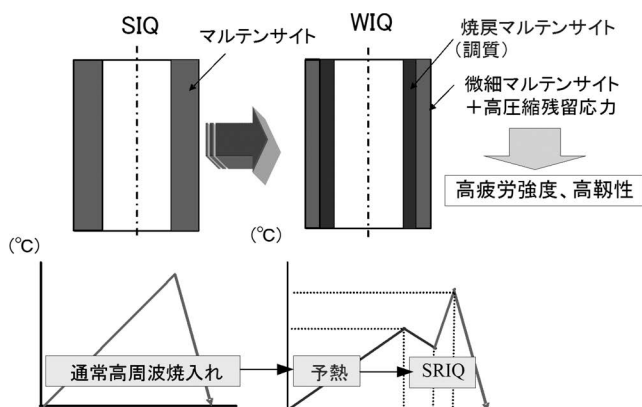
そこで開発したのが2回焼入れにより二重硬化層を創成する“WIQ”である。図1に示すように、単純な2回焼入れではなく、1回目の高周波焼入れ(SIQ)では深めの硬化層をねらい、次に2回目のSRIQ®(Super Rapid Induction Heating & Quenching)前の予熱あるいはSRIQの γ 域までの昇温により焼戻しを行って自前で好ましい前組織である調質組織を生成する。そして2回目のSRIQで急速短時間加熱による均一 γ 化を容易に実現して焼入れし二重硬化層を形成する方法である。WIQ材では、くり返し焼入れ(Grangeの方法)および超急速短時間加熱 γ 化の効果により微細結晶粒が得

られ、かつSIQ時に形成された高硬さ層内にSRIQを重ねることでSRIQ単独より大きな圧縮残留応力が得られる。その結果、図1に示すように、WIQした歯車は浸炭焼入れ材より疲労強度が向上している。

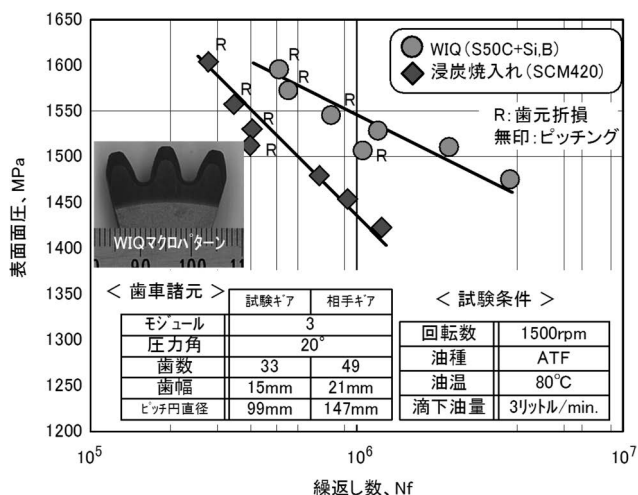
現在、素材→前加工・前熱処理→WIQ→後加工→製品性能を一貫通貫で見渡した工程間コラボレーションを含めて、機械部品の特性の安定向上と高精度化を含む低コスト化を両立できるよう適用拡大を図っている。

2. 高周波焼入れと他の表面改質との複合処理

各種機械部品の近年の小型軽量化へのニーズにおいて、高周波熱処理も含めて単独の熱処理では機能向上に限界が生じつつあることも事実であり、さらなる高機能化・高付加価値付与という観点か



「WIQ」基本概念図



動力循環式歯車疲労試験結果

図 1 「WIQ」の基本概念図と動力循環式歯車疲労試験結果

ら、複合熱処理・表面改質技術の開発と実用化が進んでいる。その事例を紹介する。

PALNIP⁴⁾ 処理は日本パーカライジング(株)の塩浴軟窒化と表面酸化防止処理、および弊社のSRIQを組合せた複合熱処理技術であり、**図2**に硬さ分布を基にした基本概念図および金属組織を示す。その特徴は①最表面部の化合物層が塩浴軟窒化とほぼ同様な状態で残存することにより摩擦係数が低減し、摩耗特性が向上。②SRIQにより深い硬化層が得られ、圧縮残留応力が付与されるため、疲労強度が向上。③硬化層部はFe-C-Nマルテンサイトであるので、温度上昇時に ϵ -Fe₂₋₃Nなどの鉄窒化物が析出することで焼戻軟化が抑制されることで、ピッチング疲労強度が向上。④低温で処理される塩浴軟窒化とSRIQ（超急速短時間加熱焼入れ）で少ない熱処理変形などがある。既に自動車部品の一部に適用されており、さらなる実用化への展開を図っている。

マイルド浸炭⁵⁾ はアイシン・エイ・ダブリュ(株)が開発・実用化した技術で、短時間、省エネルギーかつクリーンな「高周波焼入れ」と「真空浸炭」を組み合わせた2ヒートの複合熱処理である。処理工程は「真空浸炭後ガス冷却」し、この時点では炭素を部品に拡散させ焼入れせずに、「高周波熱処理」によって、焼入れを行う工法である。そ

の特徴は①浸炭工程で焼入れを行わないので、安全性（炎も油なし）に優れている。②連続浸炭炉に比べ設備スペースが40%短縮、処理時間55%低減。③強度が18%向上、変形が40%低減などがあり、自動車のAT部品で実用化されている。

3. 熱処理シミュレーション技術⁶⁾

高周波熱処理シミュレーションは、近年、各種ソフト、ハードの高性能化および実用例の拡大により、大きな進化を続けている。また、**図3**に示すように3次元解析やアニメーション化も進んでいる。温度とマルテンサイト組織だけでなく、変形、残留応力も計算可能で、実部品での特性と整合性をとり、計算条件や物理常数・特性（比透磁率、熱伝導率、各温度域での歪速度依存性を反映した引張り・圧縮強さ）をより正確に与えることによってスパイラルアップの高精度化、実用化を実施している。

弊社ではこの熱処理シミュレーションを加熱コイルの設計はもとより、変形、焼割れ等の解析にも活用しており、より安定したモノ造りに取り組んでいる。

4. 高周波熱処理設備開発^{7)、8)}

設備メーカーとしては、更なる省電力化、省スペース化やメンテナンス性向上等に取り組んでおり、その開発事例を以下に示す。

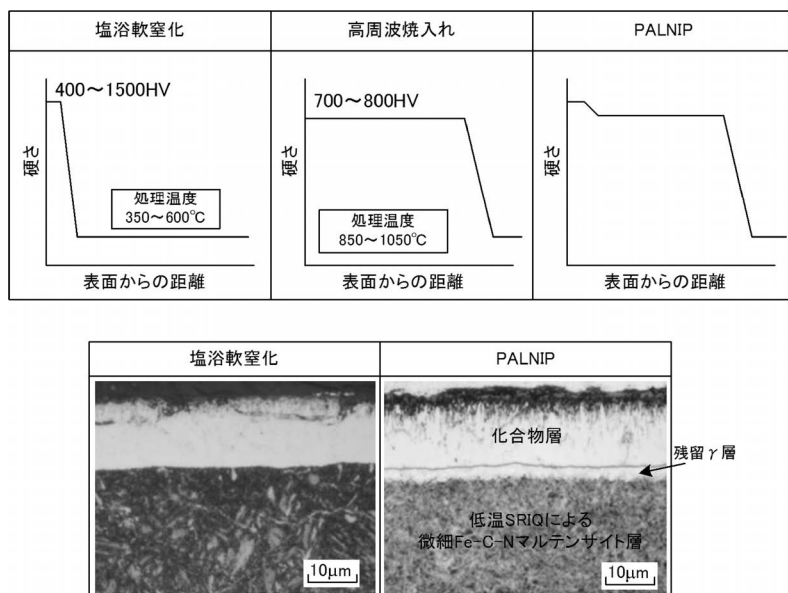


図 2 PALNIP品の硬さ分布模式図と金属組織

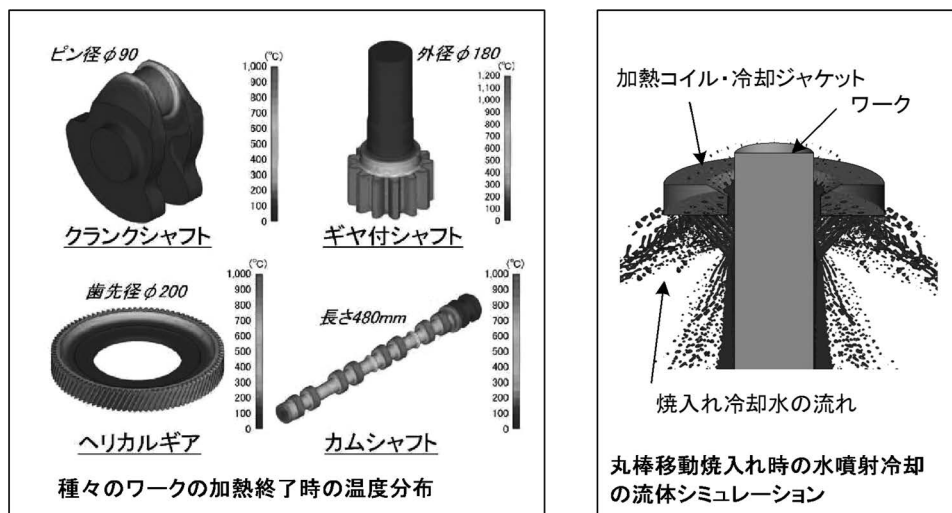


図 3 熱処理シミュレーション事例

弊社では2つの周波数を重ねるOLP[®] (Over LaP) 方式の誘導加熱システムを実用技術に仕上げ、さらに2つの周波数を連続的に繋いで発振させるHSW[®] (Hot SWitching) 方式を開発し、限定された周波数による従来の高周波熱処理設備の制約を取り払い、社内にて受託量産システムとして複数の設備が稼働中である。

次に、これまでの電源は連続加熱を想定し設計・製作されていたが、表面焼入れで使用される場合は、ほとんどが10s以下の短時間断続加熱である。この点に着目し、開発した「短時間加熱定格電源」では、最大50%の小型化を達成し、同時にメンテナンス性の向上にも成功している。

また、次世代電源として「SiC-MOSFET電源」を開発している。現在、高い周波数帯電源ではSi-MOSFET半導体素子を用いたトランジスタインバータ型電源が主流となっているが、新たにスイッチング損失が小さく、高温領域においても優れた電気的特性を持つSiC-MOSFETを適用した。その結果、従来の電源と比較して、大幅な小型化(自社比:容積40%減)、軽量化(同:質量50%減)を達成しており、さらに高効率化による省エネルギーも実現している。

むすび

今後のモノ造り産業のグローバル化の中で熱処理業界が生き残るためには、「世界をリードできる優れた技術力」が必要であり、そのためには、従来の熱処理技術をより熟成し、新たな開発を積極的に進めて行くことが基本である。その中で、課題にチャレンジしながら、高周波熱処理の特徴である“W-Eco”、“W-テイ(定・低)変形”を活かし、適用部品の拡大と進化を図りたい。

参考文献

- 1) 日本熱処理技術協会編：熱処理技術入門、“4.1 高周波熱処理作業／川寄一博執筆”、(1998)、272、大河出版
- 2) 三阪佳孝、川寄一博：工業加熱、Vol. 50、No. 6、p. 19 (2013)
- 3) 三阪佳孝、深沢剣吾、川寄一博：日本熱処理技術協会講演大会講演概要集、Vol. 79th p. 41 (2015)
- 4) 三阪佳孝：平成23年度第5回熱処理技術セミナーテキスト、p. 4-1 (2012)
- 5) 大林功治：熱処理、Vol. 54、No. 3、p. 108 (2017)
- 6) 堀野孝：特殊鋼、Vol. 66、No. 4 (2017)
- 7) 稲葉智一、深沢剣吾、三阪佳孝、川寄一博：熱処理、Vol. 57、No. 3、p. 120 (2017)
- 8) 金井隆彦、小野徹也、生田文昭、三阪佳孝、川寄一博、舟木剛：平成29年度電気学会全国会論文、Vol. 4、p. 29 (2017)

(3) PVD

(株)神戸製鋼所 機械事業部門 たか はし てつ や
産業機械事業部 高機能商品部 技術室 高橋 哲也

まえがき

地球規模での環境負荷の低減と省エネルギー化を実現するために、自動車の低燃費化が果たす役割は大きく、表面改質によるパワートレイン系の摺動部品の更なるフリクションロスの低減と高寿命化へ要求と期待は強い。高硬度と低摩擦係数を有するDLC (Diamond-Like Carbon) やCrN系硬質膜などの薄膜を部品表面に形成させることで、摺動特性が飛躍的に向上することが知られている。工業的に利用可能な成膜手法は数多く存在するが、カソードアーク法やスパッタ法に代表されるPVD法が幅広く適用されている。本稿ではPVD法の原理を説明するとともに、各種PVD法の成膜原理と皮膜特性、またPVD法によるDLC成膜について概説する。

◇ PVD法の原理

PVDはPhysical Vapor Depositionの略称で、物理蒸着法と呼ばれ、いわゆる気相コーティング法の一つである。皮膜となる原材料を気相状態またはプラズマ状態にして被処理材となる基材表面上に数nmから数十 μm の厚さで堆積・固体化させる成膜技術である。成膜に必要な固体材料をターゲット、成膜される被処理材を基材またはワークという。皮膜の主原料が固体という点がPVDの特徴である。真空中でターゲットにエネルギーを投入して材料を気化またはイオン化させて、基材表面に薄膜として堆積させる。エネルギーの投入方法は各種PVD法で様々である。すなわちPVD法では、1) ターゲット材料の気化またはイオン化、2) ターゲット粒子の真空中での輸送、3) 基材表面での堆積 (成膜) の一連のプロセスをとる。ターゲット材料を気化またはイオン化させ、原子レベルの粒子状態まで一旦バラバラにすることで、皮膜を構成する材料を原子・分子状態からボトムアップで再構築させる。これによりナノス

ケールの膜厚制御、膜組織制御、多元素合金皮膜、準安定相、非晶質相の作製などが可能であり、用途に応じて皮膜特性の最適化がなされる。

◇ カソードアーク法

カソードアーク法はターゲット材料の気化・イオン化に真空アーク放電を利用したPVD法であり、陰極アーク法やアークイオンブレーティング法とも呼ばれている。カソードアーク法は他のPVD法に比べて、高い成膜速度が得られ、皮膜の密着性や機械的特性に優れることから、ピストンリング用CrNなど工業的に広く利用されている¹⁾。カソードアーク法の模式図を図1(a)に示す。陰極となるターゲット表面とその近傍に配置された陽極との間に発生させた真空アーク放電は $10^{-14} \sim 10^{-10} \text{m}^2$ の極微小領域に集中する²⁾。この微小領域はアークスポットと呼ばれ、この領域内の電流密度および電力密度はそれぞれ $10^{10} \sim 10^{12} \text{A/m}^2$ 、 $10^{11} \sim 10^{14} \text{W/m}^2$ に達する。この局所的な非常に高いエネルギー投入によって、アークスポット上のターゲット材料は瞬時に蒸発しイオン化する。

アークスポットからはドロップレットと呼ばれる数 μm ～数十 μm の微小溶滴も放出される。これらがプロセス中に膜中に取込まれると皮膜の表面粗度が悪化するため好ましくない。特殊な磁気フィルタを用いることでドロップレットを除去することも可能であるが、成膜速度が低下するなどの課題も多い。一方で、ターゲット表面近傍の磁場を工夫することでアークスポットの挙動を制御し、ドロップレットの発生量自体を低減させることも可能である。

カソードアーク法では真空蒸着やスパッタ法に比べて、ターゲット粒子のイオン化率が30～80%と非常に高いのが特徴である。また、放出されるターゲット粒子が持つエネルギーも20～120eVと比較的高い³⁾。PVD法では入射粒子のエネルギーが膜形成過程に大きく影響を及ぼすことが知られ

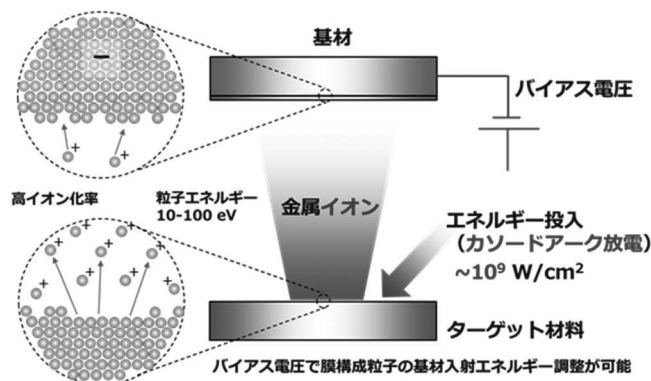
ている⁴⁾。プラズマ成膜法の大きなメリットの一つは、基材に負の電位を印加することで（一般にバイアス電圧と呼ぶ）、入射イオンのエネルギーを容易に制御できる点である。ターゲット粒子の高イオン化率が得られるカソードアーク法では、バイアス電圧によって膜構成イオンのエネルギーを最適化することで、緻密で密着性に優れた皮膜を形成することが可能となる。バイアス電圧はプラズマ成膜において、基材温度やプロセスガス流量などと並んで、皮膜制御のための有効的なパラメータのひとつである。

◇ スパッタ法

スパッタ法はターゲットを陰極として、グロー放電を利用した成膜手法である。スパッタ法の模式図を図1(b)に示す。真空中でArなどの不活性

ガスを導入し、ターゲット表面でグロー放電を発生させる。グロー放電によって発生した正のArイオンはターゲットに印加された負の高電圧によってターゲット表面に向かって加速、衝突し、ターゲット原子を弾き飛ばして気化させる。表面から弾き出されたターゲット粒子は、対向する基材表面上に堆積し皮膜を形成する。ターゲット表面上のプラズマ密度を向上させ安定的な放電を維持する目的で、ターゲット表面でトンネル状の閉磁場を構成するように背面磁石を配置することが一般的である。スパッタ法はカソードアーク法と比較して成膜速度は低いものの、原理的にドロップレットは発生しないので、面粗度の優れた皮膜を作製することができ、またナノスケールでの膜厚制御も比較的容易であることから、DLC皮膜などの自動車摺動部品をはじめ、電子機器や光学機器

(a) カソードアーク法



(b) スパッタ法

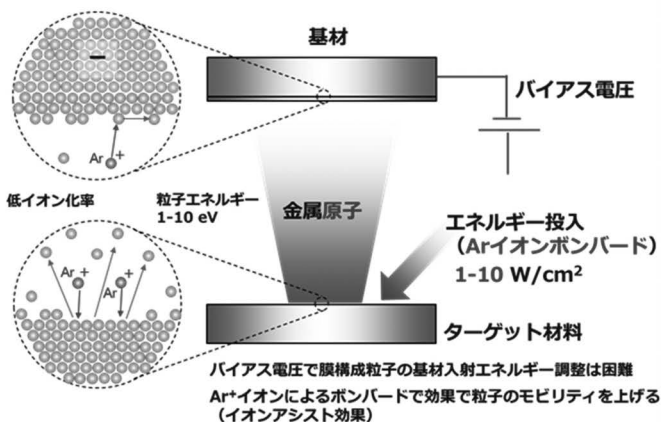


図 1 PVD法の原理 (a) カソードアーク法 (b) スパッタ法

の分野でも広く利用されている。

スパッタ法で放出されるターゲット粒子のイオン化率は数%以下と非常に低く、そのほとんどが中性粒子であることが知られている。また、ターゲット粒子の平均運動エネルギーも数eV程度であり、カソードアーク法で生成されるターゲット粒子のそれより一桁低い。スパッタ法ではターゲット粒子はほぼ中性なので、バイアス電圧でターゲット粒子自体のエネルギーを制御することはできない。そこで効果的なのがArイオンによる照射効果である。磁場構造を工夫して、ターゲット表面上で生成されたArイオンを基材近傍まで誘導して、バイアス電圧によるArイオンの加速・衝突の打ち込み作用により、堆積中の膜構成粒子のエネルギーを間接的に上昇させ、皮膜の膜質制御が図られる。バイアス電圧による照射効果すなわち膜質制御性への影響度は、基材近傍に存在するArイオン量に大きく依存することに注意したい。

◇ 高出力パルススパッタ法

通常のスパッタ法ではターゲット粒子のイオン化率は低く、バイアス電圧の効果はArイオンの照射に限定される。ターゲットに投入するスパッタ電力を増大、プラズマ密度を上昇させることで、イオン化率を向上させることが可能であるが、ターゲットに熱負荷がかかりすぎることから限界がある。このジレンマを解決する手法として開発されたのが高出力パルススパッタ法、HPPMS

(High Power Pulsed Magnetron Sputtering)⁵⁾であり、HiPIMS (High Power Impulse Magnetron Sputtering) とも呼ばれている。この手法では、パルスのに数kW/cm²の大電力を印加することで、ターゲットへの熱負荷を抑制しながら、高いプラズマ密度を達成でき、ターゲット粒子のイオン化率も30~70%になることが報告されている⁶⁾。原理的にはスパッタ法であるので、カソードアーク法のようにドロップレットは発生せず、緻密で優れた機械的性質を有する皮膜を形成することが可能であるが、成膜速度が低く量産規模での生産性に未だ課題が残る⁷⁾。図2に各種PVD法の一般的な放電電圧・電流特性とその特徴をまとめた。

◇ PVD法によるDLC成膜

炭化水素系ガスを分解するCVD法（化学蒸着法）と比較して、PVD法によるDLC成膜の利点は固体炭素材料をターゲットとするため、DLC膜の組成制御性に優れることや、金属ドーパDLCが形成できる点などがあげられる。また、成膜中のプロセスガスとして、炭化水素系ガスを添加することで、水素フリーDLC (ta-C) から水素化アモルファスカーボンまで用途や目的に応じた皮膜を形成できるのも魅力的である⁸⁾。スパッタ法ではバイアス電圧を調整することで、DLC皮膜の硬さを10~30GPaの範囲で精度良く調整することができ、例えば高硬度と低硬度のDLC層をナノスケールで積層させた多層皮膜の形成も可能である。硬度40GPa

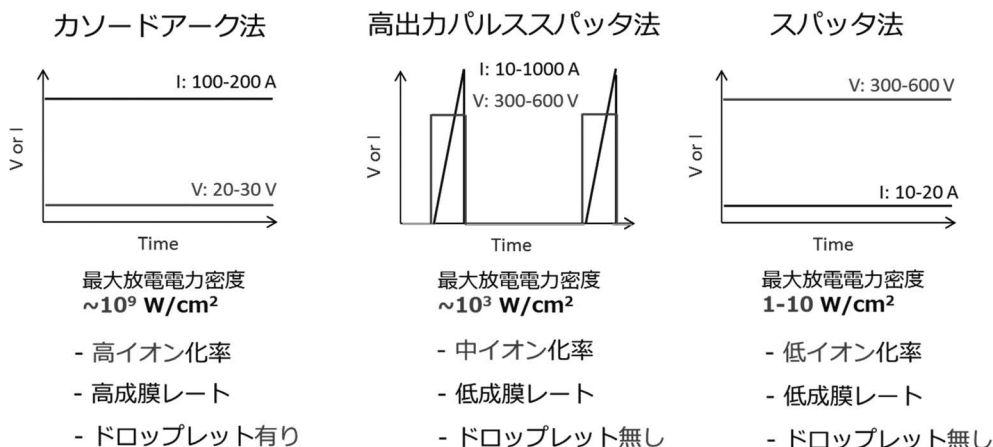


図 2 各種PVD法のプラズマ放電特性と成膜特徴

以上の高硬度の水素フリーDLC (ta-C) は炭素のイオン化率が高いカソードアーク法で成膜できる。水素フリーDLCは自動車部品をはじめ適用分野の拡大が期待されるが、ドロップレット低減による面粗度の向上と高成膜速度で生産性を両立させたカソードアーク法が望まれる。図3には棒状ターゲットとその磁場構造を最適化することで、皮膜の平滑性と生産性の両立を狙ったアーク蒸発源の例を示す。HPPMS法では炭素のイオン化率は従来のスパッタ法より高いものの、カソードアーク法と同等の高硬度DLC膜は得られていない。また成膜レートが遅いことや電源が特殊で高価であることから、量産規模での採用へは課題が残る。一方



図 3 棒状炭素ターゲットを搭載したアーク蒸発源の放電の様子

で、Ar以外のガスを用いてHPPMS成膜することで炭素のイオン化率を高めることが可能との報告もあり⁹⁾、今後の展開に期待したい。

むずび

DLCに限らず、各種PVD法において形成される皮膜特性は、プロセス中に生成される気体やプラズマの状態に大きく作用される。単に装置構成の理解にとどまることなく、生成されるターゲット粒子の特性について理解を深めたいうえで、それぞれ用途に適したPVD手法を選択することが大切である。また、PVD法は単なる成膜手法の域を超えて、新規材料探索や合金設計のための材料合成ツール（コンビナトリアル手法）としても用いられており¹⁰⁾、材料物理、プラズマ工学、装置技術の有機的な融合を基に、PVD技術の今後の更なる発展と展開に期待したい。

参考文献

- 1) 藤井博文：R&D 神戸製鋼技報 Vol. 58 No. 2 (2008) 32
- 2) B. Jüttner: J. Phys. D: Appl. Phys. 34 (2001) R103
- 3) A. Anders and G. Y. Yushkov: J. Appl. Phys. 91 (2002) 4824
- 4) R. J. Messier et al.: J. Vac. Sci. Technol. A2 (1984) 500
- 5) V. Kouznetsov et al.: Surf. Coat. Technol. 122 (1999) 290
- 6) J. Bohlmark et al.: J. Vac. Sci. Technol. A 23 (2005) 18
- 7) S. Hirota et al.: J. Vac. Soc. Jpn. Vol. 60 No. 9 (2017) 362
- 8) 伊藤弘高、山本兼司：熱処理 53巻3号、(2013) 112
- 9) A. Aijaz, K. Sarakinos et. al: Diam. Relat. Mater. 23 (2012) 1
- 10) T. Gebhardt et al: Thin Solid Films 520 (2012) 5491

3. 建設機械における表面改質

コマツ 生産技術開発センター 熱処理表面処理グループ うめ だ たか あき
梅 田 孝 彰

まえがき

コマツでは土木工事で使用される建設機械、鉱山で使用される鉱山機械を製造している。これらの機械にはエンジンやトランスミッション、油圧機器などの複数のコンポーネントが搭載されている。

例えばダンプトラックにはエンジンの回転を伝えるトランスミッションやアクスルが、油圧ショベルにはエンジンの回転を油圧に変換する油圧ポンプが搭載されている。

そしてこれらのコンポーネントには次の特性が求められている。

一つ目は長寿命であること。建設機械・鉱山機械は自動車に比べて過酷な環境で長時間使用されるため、コンポーネント部品の定期的なメンテナンスが不可欠である。メンテナンス費用は燃料費や人件費と同様にTCO（総保有コスト）に分類され、ユーザーの負担となる。特に鉱山機械では機械を購入する際の初期費用よりもTCOが重視され、メンテナンス費用に直結するコンポーネントの長寿命化が重要となっている。

二つ目はコンパクトであること。市場では効率よく作業するため、同じ車格で多くの仕事ができることが重要視される。そのため、ダンプトラックの場合は積載量を確保するために、コンポーネントのコンパクト化が求められる。

このような要求特性を背景に、本稿では建設機械・鉱山機械のコンポーネントのギヤに採用されている表面改質技術を紹介する。

◇ 窒化処理

1. リングギヤ

建設機械・鉱山機械のうち、土砂を押したり運んだりするブルドーザーやダンプトラックにはトランスミッションが搭載されている。その構造にはいくつかの種類があり、大型の機種は遊星方式

を採用している。遊星方式は外歯のサンギヤ、プラネタリーギヤ、内歯のリングギヤで一つの遊星機構を構成し、それを複数列並べることで目的の減速比を得る。このうちリングギヤは薄肉の部品で、ギヤとしての強度と高い寸法精度が要求される。リングギヤの強度を達成するためには浸炭処理、高周波焼入れ処理、窒化処理のいずれかが一般的に採用され、トランスミッションリングギヤには強度と精度のバランスが良いガス窒化処理を採用している。

2. 窒化処理とは

ガス窒化処理は炉内にアンモニアガスを導入し500～580℃に加熱することで鋼に窒素を浸透拡散させる熱処理プロセスである。拡散した窒素は鉄-窒素化合物から成る高硬度な化合物層と窒素が固溶した拡散層を形成する。そのため窒化部品はひずみが小さく優れた疲労強度・摺動特性を示す（図1）。

3. 条件と制御の課題

化合物層中には特性の異なる2種類の化合物が生成する。そのため、製品図面には使用環境に応じた化合物種類が記載されることが多く、それに

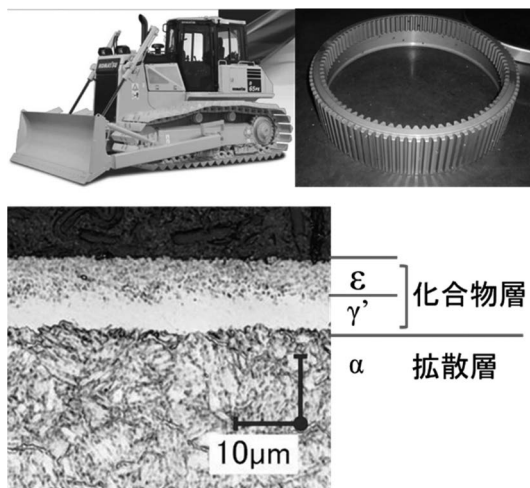


図 1 リングギヤ外観と窒化部品組織

応じて窒化処理条件である温度やガス組成を調整する必要がある。しかしこれまでは、処理条件の決定を経験に頼る部分が多く、加えてガス組成を精度良く測定・制御することが難しかった。そのため、安定した品質を得るために反応に寄与しない余剰ガスを流したり、脆い化合物が生成してしまうことで窒化本来の強度を発揮できないなどの課題があった。

4. 窒化ポテンシャルとLehrer状態図の導入

対策として、まず窒化ポテンシャル（*1）とLehrer状態図を導入した。窒化ポテンシャルとは炉内のガス組成が有する窒化能力を表す指数で、炉内のアンモニアと水素の濃度から導かれる。もう一つのLehrer状態図は横軸に温度、縦軸に窒化ポテンシャルが示された状態図で、目的の化合物を得るために必要な温度と窒化ポテンシャルを読み取ることができる。

次に炉内ガス組成を高精度に測定・制御可能な水素センサを導入した。水素センサは水素と他のガスの熱伝導度の差を利用したセンサで、炉内に直接挿入しガス組成が測定できる。

5. 窒化工程への適用事例

これらの技術をリングギヤのガス窒化工程に導入した。はじめにLehrer状態図から所望の品質を得られる最適なガス組成と温度を導き、水素センサでガス組成を制御した。その結果、これまで流していた余剰ガスを削減することに成功し、1処理当たりのガス使用量を46%削減することができた¹⁾。

6. 今後の取組み

さらに、これらの技術を応用して鋼種に応じて表面に生成する化合物を制御することで疲労強度を向上させる研究を進めている。

将来的にはコンポーネントの長寿命化とコンパクト化に寄与できる技術になると考えている。

◇ ショットピーニングと面粗さの改善

1. ピッチングとは

建設機械・鉱山機械には内歯のリングギヤと同様に外歯のギヤも多く使用されている。一般的に外歯のギヤは歯元曲げ疲労強度とピッチング強度が求められる。

歯元曲げ疲労強度とは、歯元に繰り返し作用す

る曲げ応力に対する強度である。強度が不足すると歯元近傍に亀裂が生じ折損に至る。コマツでは曲げ疲労強度の強化策としてショットピーニングを採用している。ショットピーニングはばねの強化を目的に工業化された技術であり、ギヤの歯元曲げ疲労強度を向上させる技術として定着している。近年は、サイズの異なる鋼球を使用する二段階ピーニング²⁾や投射ノズルの角度制御を導入することで、圧縮応力を付与する深さと部位をコントロールし、さらなる曲げ疲労強度の向上を図っている。

もう一つのピッチング強度とは歯面に生じる剥離損傷に対する強度である。ピッチングの原因は歯面に繰り返し作用する滑りと転がりである。損傷初期は歯面にマイクロピットと呼ばれる微小なピットが発生し、それが拡大することで歯面の剥離に至る。歯面の剥離が生じると振動や騒音が増大し、最終的には正常に動力を伝達できなくなる。一般的にピッチング強度の向上には材料の表面硬度向上や面粗さの改善が有効と考えられている。コマツではこれまでに材料や熱処理を強化することで表面硬度を高めたり、噛み合い時の発熱による軟化を抑制し、ピッチング強度を向上してきた。近年はさらなる強度向上をねらい、面粗さに着目した改善に取り組んでいる。

2. 面粗さを改善する工法

歯面の面粗さを改善する工法には、歯車研削などの固形砥石を用いた工法、ラッピングのようなラップ液を用いた工法、樹脂やセラミックス製メディアを用いた工法がある。これらの工法で得られる面特性にはそれぞれに特徴があり、対象ギヤの前工程、諸元、サイズなどにより使い分ける必要がある。

3. 歯車耐久試験

面粗さ改善の効果を確認するために歯車耐久試験（*2）を実施した。水準は浸炭ギヤにショットピーニングを施した水準、浸炭ギヤにショットピーニングを施した後面粗さを改善した水準の2つとした。面粗さ改善水準は粗さプロファイルの突起成分を選択的に除去しつつ、適度な凹みを残し、ピッチング強度向上をねらった（図2）。その結果、面粗さを改善した水準でピッチング強度が向上することを確認した。

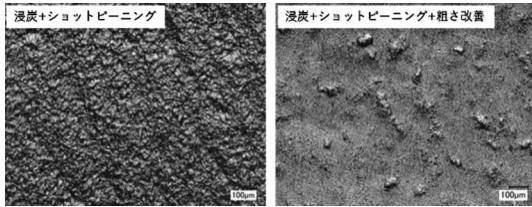


図 2 供試品の表面写真



図 3 ダンプトラックとアクスル外観

4. 大型ダンプトラックへの適用事例

大型ダンプトラック（*3）への適用事例を紹介する（図3）。前述のとおりユーザーからはコンポーネントの長寿命化とコンパクト化が求められている。

大型ダンプトラックのコンポーネントのうちアクスルは最も大きな重量を占める。アクスルとは後輪車軸部分を指し、トランスミッションからの動力をタイヤに伝えるため、複数のギヤで構成されている。内蔵されるギヤは100kgを超えるもの

もあり、そのピッチング強度がアクスル全体の寿命とサイズを律速していた。そこでギヤに面粗さ改善工法を導入し、ピッチング強度を向上することで長寿命化、コンパクト化を図った。その結果アクスル全体で寿命1.3倍、重量18%低減に成功し、市場導入を果たした。

むすび

建設機械・鉱山機械への表面改質の適用例を紹介した。コンポーネントの長寿命化、コンパクト化を達成するためには、従来からの材料や熱処理の改善に加え、表面改質技術を複合することが不可欠となっている。さらなる技術開発を進め顧客ニーズにこたえる製品開発を継続したい。

参考文献

- 1) 梅田孝彰：窒化ポテンシャル制御を適用した窒化処理の生産技術開発、KOMATSU TECHNICAL REPORT、VOL60、NO. 167、2014
- 2) 松村学樹：WHSP技術によるギヤの高強度・コンパクト化、KOMATSU TECHNICAL REPORT、VOL52、NO. 158、2006

*1 窒化ポテンシャル：窒化能力を表す指数。

$$K_N = \frac{P_{NH_3}}{P_{H_2}^2}$$

K_N ：窒化ポテンシャル

P_{NH_3} ：アンモニアの分圧

P_{H_2} ：水素の分圧

*2 歯車耐久試験：大小一對のギヤを一定トルクで噛み合わせることでギヤのピッチング強度を評価する試験。

*3 大型ダンプトラック：鉱山で石炭などの運搬に使用される鉱山機械。代表的な機種ではエンジン排気量50L、定格積載重量142tonになる。

Ⅲ．最新の表面改質および周辺技術の進歩

1．高耐食めっき鋼板

新日鐵住金(株) 薄板事業部 しら い けん たろう
薄板技術部薄板管理室 主幹 白 井 健太郎

まえがき

建材用の薄板製品として表面処理鋼板は従来から広く使用されている。建材製品は錆び易い環境において使用され、耐食性能が非常に重要であるからである。

この分野では、従来から亜鉛をめっき処理した溶融亜鉛めっき鋼板をベースとして、錆びにくい耐食性能を高めるため、亜鉛にアルミニウムを添加した溶融Zn-5%Al合金めっき鋼板、溶融55%Al-Zn合金めっき鋼板が多く使用されてきた。さらに、近年新しい高耐食性めっきとして、マグネシウムを添加した溶融Zn-Al-Mg合金めっき鋼板が開発されている。

新日鐵住金では、耐食性能を向上させるための研究開発を鋭意推進し、付加価値の高い表面処理鋼板を商品化してきた。溶融Zn-Al-Mg合金めっきに更にシリコンを添加した高耐食Zn-Al-Mg-Siめっき鋼板（スーパーダイマ[®]）を開発し15年以上の使用実績を誇る。そのスーパーダイマを中心に紹介するとともに、今後のこのマグネシウム添加技術を生かした技術的展望について述べる。

◇ 総 説

1．表面処理鋼板の種類と発展の歴史（建材薄板用）

錆びを防ぐために、材料の表面に処理を施すのが所謂「めっき」である。一般的には、鋼板に亜鉛をめっきする亜鉛めっきがあり、溶融亜鉛めっき鋼板と称する。

従来のめっきは、亜鉛のみの溶融亜鉛めっきであったが、亜鉛のみではなく亜鉛にアルミニウムを添加し耐食性能を高めた合金めっきが進展してきた歴史がある。Zn-Al二元系においてアルミニウ

ムの添加により腐食量が減少する^{1)、2)} ことより、アルミニウムを5%添加した溶融Zn-5%Al合金めっきが開発された。さらにアルミニウム添加量を増加して55%添加した溶融55%Al-Zn合金めっき鋼板のガルバリウム鋼板[®]が開発された。アルミニウム層と亜鉛層が網目状に混じり合った合金層を形成させ、めっき層中にアルミニウムを含む為に亜鉛の不動態皮膜より保護作用の強いZn-Alの複合酸化物皮膜を形成して亜鉛の溶出速度を抑制すること（アルミニウムの不動態皮膜作用）に加え、亜鉛の犠牲防食作用により切断端部などの腐食防止との両立を図った。実際の暴露試験で塩害地域、工業都市地域で溶融亜鉛めっき鋼板の3～6倍の耐食性を示す³⁾。さらに、マグネシウムを加え、より緻密で付着性の高い保護皮膜（不動態皮膜）を形成することで、長期の耐食性能が発揮される新しい高耐食性めっきとして種々の溶融Zn-Al-Mg合金めっき鋼板が開発されている。

新日鐵住金は、2000年に、亜鉛をベースとして約11%のアルミニウム、約3%のマグネシウム、及び微量のシリコンを添加した抜本的な高耐食性新めっきであるスーパーダイマを商品化し製造販売を開始した。以後15年以上の実績を誇り、高評を得て種々の建材製品に使用され、さらに多様化していくものと期待されている。

2．スーパーダイマの特徴

スーパーダイマは従来の亜鉛めっきにアルミニウム、マグネシウム、シリコンを添加し、これら添加元素の複合効果で耐食性を高めたものである。基本的な平面部の耐食性のみならず、切断端面部の耐食性にも優れた特徴を持つ。また、厳しい環境においてその高性能が発揮され、塩害環境、湿潤環境、アルカリ環境等において最適な鋼板である。その基本特性を紹介する。

(1) 平面部の耐食性

めっき成分は水分及び酸素と化学反応を起こし腐食する為腐食生成物が鋼板表面に形成される。通常の亜鉛めっきで形成される亜鉛の腐食生成物は粗雑であるが、スーパーダイマの場合、マグネシウムを含む為その腐食生成物は緻密である。そのため保護皮膜としての機能が発揮され腐食の進行を抑制する効果が高くなり耐食性能が向上する。その効果代は、通常の亜鉛めっきに対して約4倍の高い耐食性能を有する。データ事例を図1に示す。

(2) 切断端面部の耐食性

切断端面部は地鉄が露出しているため初期に赤錆が発生するが、切断端面周辺部のめっき成分が溶け出し、緻密な腐食生成物が時間の経過とともに切断端面部を覆っていく為、スーパーダイマの場合は端面部の腐食の進行を抑える効果が高い。切断端面部の耐食性に関する塩水噴霧試験結果を図2に示す。ガルバリウム鋼板は平面耐食性に優れるものの端面耐食性では劣る結果となっている。

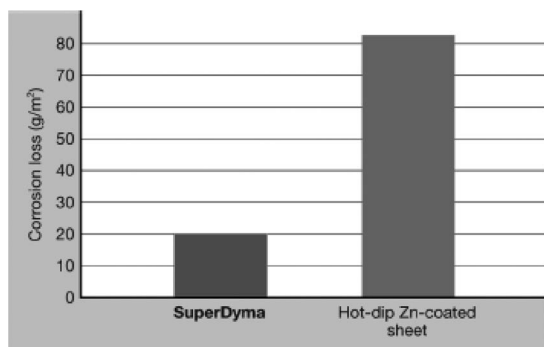


図 1 沖縄での3年屋外暴露後の腐食量

Specimen conditions Thickness: 3.2 mm Surface treatment: No treatment	Salt spray test: 500 hours
Hot-dip Zn-coated sheet Coating mass: 100 g/m²/side	
SuperDyma Coating mass: 90 g/m²/side	
GALVALUME STEEL SHEET (Laboratory trial-made sample) Coating mass: 90 g/m²/side	

図 2 切断端面部の耐食性（塩水噴霧試験）

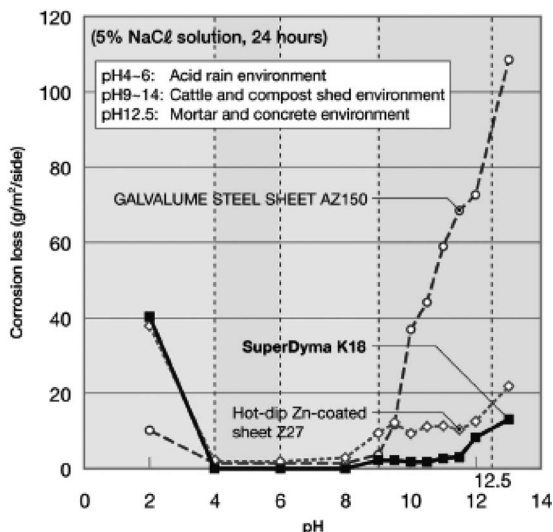


図 3 各種めっき鋼板の酸・アルカリに対する耐食性

(3) アルカリ環境における耐食性

各種めっき鋼板の酸・アルカリに対する耐食性について図3に示す。特に強アルカリ環境下においてガルバリウム鋼板は腐食が進行しやすいが、スーパーダイマは腐食が一番少なく良好な結果が得られている。

(4) 環境対応商品のラインナップ

建材分野においても家電分野と同様に環境対応商品のニーズが近年高まりつつある。前述のように高耐食性を有するスーパーダイマは環境対応面でもめっき処理の上に施す化成処理はクロメートフリー処理を主流とし、エコロジカルかつ環境対応商品としての価値が高い。クロメートフリー処理の性能については従来のクロメート処理よりも優位な性能を有している。

3. スーパーダイマの適用事例

スーパーダイマは種々の薄板製品（建材、家電、自動車、その他）に適用されているが、建材用が主流であり、あらゆる建材用途に広範に適用されてきている。

建材用途は、住宅、建築、土木、道路・鉄道、電力・通信、農業・畜産、その他、非常に多岐にわたるものである。各分野別に、主要な適用事例およびそのメリットを紹介する。

(1) 住宅分野

プレハブ住宅の構造部材（大引、根太、トラス等）は従来から亜鉛めっき鋼板が使用され、中で

も耐食性の良い溶融Zn-5%Al合金めっきが主流であった。しかし、住宅の長寿命化（3世代住宅、100年住宅等）のニーズが高まり、より耐食性の優れる鋼板が要望されるようになった。当時の社会的ニーズに応えるため、従来から研究開発を進め技術的に確立していたスーパーダイマを2000年に商品化し製造販売を開始し、以降、順次5%Al合金めっき代替として市場に安定供給し高評価を得て、現在はスーパーダイマがスタンダード使用される状況に至っている。

建築金物類は通常の溶融亜鉛めっき鋼板やステンレス鋼板等が主として使用されているが、適材適所の考えからスーパーダイマ製の製品も広がっている。

住宅・建屋の屋根壁部材は、板厚が薄く、従来からガルバリウム鋼板及び意匠性が重要であるためその塗装鋼板がスタンダード使用されており豊富な長い実績がある。ガルバリウム鋼板はスーパーダイマ同様の高い平面耐食性を有する為、通常の使用環境においては特に問題なく使用されている。しかし、非常に厳しい環境では腐食が進行し易いことが知られており、耐食性向上ニーズの高まりに伴い、今後、改良が期待されている。

（2）建築・土木分野

倉庫・工場・ビル外壁の下地や補強の胴縁・母屋部材としての軽量形鋼や角パイプに使用されている。従来の通常の溶融亜鉛めっき鋼板からの耐食性改善ニーズや後めっき材からのコストダウンニーズなどからスーパーダイマが選定されている。

軽量天井下地材としての加工部材は通常の溶融亜鉛めっき鋼板が主流である。プール等の環境の厳しいところでは、ステンレスが使用されているケースがあるが、塩素環境で赤錆が発生し易いこともありスーパーダイマが代替使用されている。

その他、ケーブルラック、デッキプレート、ダクト、防音壁、防風柵、建屋外壁、有孔折版、パンチングメタル等の製品・部材に適用され大きく貢献している。

（3）道路・鉄道分野

道路防音壁、トンネル内部材、駅舎部材などで適用事例がある。特に、道路やトンネル内等では腐食環境が厳しい為、従来の後めっき材では耐久性が不足しているとの観点からスーパーダイマが採

用されている。

（4）電力・通信分野

従来から火力発電所の部材や配電盤・通信中継ボックスなどで適用事例があったが、近年は、太陽光発電が活況を呈しており、それに伴う需要が急速に増大している状況である。

（5）農業・畜産・その他分野

高温多湿な農業ハウスなどのフレームは、環境が厳しい為、溶融Zn-5%Al合金めっきが過去主流であったが、代替材料としてスーパーダイマが重宝されている。

畜産関係は、厳しい強アルカリ環境であるため、通常環境では耐食性の高いガルバリウム鋼板は適材となりえず、腐食が進行しやすい状況にある。鶏舎、牛舎、豚舎、堆肥舎などの部材でスーパーダイマが適材と評価され採用されている。

（6）太陽光発電分野

太陽光発電のソーラーパネルを設置するソーラー架台は住宅用と産業用がある。

住宅用については15年以上前からスーパーダイマが採用され現在に至っている。後めっきやアルミニウムの代替として選定されコストダウンに寄与してきた。

産業用については近年いわゆるメガソーラーが相次いで設置されてきた。今までのスーパーダイ



図 4 ソーラーパネル架台の写真

マの実績が評価され、特に塩害環境の厳しい海岸沿いに設置された電力会社の大型設備を初め大規模に導入された。従来の後めっきに対して、耐食性の向上および板厚ダウンによるコストダウンが達成できるメリットは大きく、ソーラー架台の最適な素材として定着した。適用事例の写真を図4に示す。

住宅用および産業用ともに、このメリットは享受され、現在のソーラー発電ブームの浸透広がりの一助となり社会的貢献度は大きく今後拡大が見込まれる。

4. スーパーダイマの新規成長分野への適用拡大

スーパーダイマは前述のように広範囲に使用されているが、加えて、今後新規成長分野への適用拡大が見込まれる。

(1) 農業・畜産関連への拡大

新規成長分野として最近にわかに農業分野が脚光を浴びている。農業・畜産関連の展示会も活況を呈してきており、新規ビジネスとしての注目度も高まってきた。食の安全・安心、安定供給、品質の安定化、商品の差別化などのニーズは高まり農業畜産分野も進化しつつある。

その一つとしてハイテクを導入した植物工場が期待されている。その植物工場の部材についてもスーパーダイマが既に採用されており、今後拡大が見込まれる。

(2) インフラ整備への貢献

最近の動向として景気回復基調やインフラ整備・メンテナンスの社会的要請もあり、建材用途は需要が増加すると推定される。スーパーダイマは耐震補強部材等にも採用されており、東京オリンピック特需等で今後拡大が見込まれる。

5. 改良ガルバリウム鋼板について

主として屋根壁部材に使用されているガルバリウム鋼板は通常の使用環境においては特に問題ないが、非常に厳しい環境（湿潤環境、塩害環境、アルカリ環境、軒下等の雨掛かりしない環境等）では耐食性改善ニーズが高い。このニーズに応えるため、当社グループはマグネシウム添加技術を生かし、55%Alにマグネシウムを添加した改良ガルバリウム鋼板（エスジーエル®）を開発し、日鉄住金鋼板㈱で商品化し今後進展していく潮流となっている。

むすび

建材用の薄板製品は、錆びやすい環境において使用されるため錆びにくい耐食性能が非常に重要であり表面処理鋼板が従来から広く使用されている。当社は耐食性能を向上させるための研究開発を鋭意推進し、2000年にスーパーダイマを商品化した。製造販売後15年以上の実績を誇り、住宅、建築、土木、道路・鉄道、電力・通信、農業・畜産、その他多岐にわたり使用されている。近年は、太陽光発電ソーラー関連への適用が拡大し、更に今後の新規成長分野への適用が期待される。このマグネシウム添加技術の有効性はガルバリウム鋼板の性能を高めることにも成功している。今後も確かな技術を提供し社会に貢献していく所存である。

参考文献

- 1) D. J. Blickwede : 鉄と鋼、66 (1980)、821
- 2) J. B. Horton: Corrosion Control by Coatings, Science Press Princeton、(1979)、63
- 3) 日本鉄鋼連盟：亜鉛めっき鋼板 ご使用の手引き（2014年2月改訂）

2. 電子ビーム加工装置による 最新の表面改質事例

The latest finishing method of metal surface using electron beam machine

(株)ソディック 営業推進部 か しま りょう
鹿 島 岐

まえがき

近年、多くの工業製品において、表面改質技術による表面性状の高機能化が積極的に行われている。当社は、磨き工程の完全機械化のニーズに応えるべく、2003年に電子ビーム加工装置を開発し、仕上げ面質の均一化や作業時間の短縮に貢献してきた。

本稿では、電子ビーム加工装置を用いた樹脂金型・鍛造金型における最新の表面改質事例を紹介する。

◇ 電子ビーム加工装置の構成と特徴

現在、当社は電子ビームPIKA面加工装置EBM「PFシリーズ（PF100S/PF300S）」を販売している。図1に「PF300S」の外観を、表1にPFシリーズの主な仕様を示す。

PFシリーズは、大面積・高エネルギーのパルス状電子ビームを発生させることが最大の特徴であり、これをワーク上面に照射し、表層を溶融、急熱・急冷することにより、面粗さの低減・表面の改質を行う。電子ビーム照射による表面改質の主な効果として、耐腐食性・耐酸化性・撥水性・離型性の向上などがあげられ、形状精度を損なうことなく、均一で滑らかな面に改質できる。ワークテーブルをNC装置で制御し、ワークを移動・固定させながら、上面全体へ均一に電子ビームを照射できる。

PFシリーズは、「EEE（Explosive Electron Emission）」方式の電子銃を搭載することにより瞬時に大きなエネルギーを生み出し、ワークの表面温度を



図 1 電子ビーム PIKA面加工装置EBM「PF300S」外観

表 1 「PFシリーズ」の主な仕様

機種名	PF100S/PF300S
ワークテーブル	NC制御付き（XY軸）
最大ワークサイズ（W×D×H）	100×100×100mm/ 300×300×100mm
ビームエネルギー	10J/cm ²
有効ビーム直径	60mm
機械寸法（W×D×H）	1,040×1,452×1,800mm/ 1,040×1,822×1,800mm

ただちに上昇させることができる。

電子ビーム照射の手順として、最初に、ワークを設置した真空チャンバ内にアルゴンガスを注入

し、真空度を0.05Pa程度に維持する。その後、ソレノイドコイルにパルス電流を流し、チャンバ内の偶存電子を利用しプラズマを発生させる。十分なプラズマができた後、カソードへ高電圧を印加すると爆発的に電子が発生・加速される。このとき、電子は電子銃を取り巻く磁場の中を通過していくが、ローレンツ力によりスパイラル状の軌道となる。そのためワーク到達時には上面だけではなく側面方向から巻き込むように照射され、3次元形状であっても均一に改質される。また、一度の照射で表面改質できる適用高さは15mmが目安となる。一工程で電子ビーム照射が及ばない形状のワークは、上方向からの照射となるようワーク設置の段取り変えを行うことで対応できる。

ワーク上の一部を改質不要とする場合、セロハンテープなどによるマスキング処理を行うことで、簡単に電子ビームの直接的照射を回避することが可能であり、一度の工程で照射ありなしを区別できる。

照射時に得られる電子ビーム直径は約60mmで、ピーク電流は20kAに達し、広範囲を短時間で処理できる。電子粒が金属表面に接触した際に電子線エネルギーの熱変換が行われるが、この現象は除去加工ではなく、ワークの形状精度を損なうには至らない。

電子ビームの照射プログラムは、操作パネルの「PFアシスト機能」から作成可能であり、ワークの材質・サイズを対話形式で選択し、電子ビーム条件や照射パターンを容易に決定できる。

図2は、SKD61表面に電子ビーム照射を行った断面図である。

断面の上面約3 μ mが高濃度のCr溶融層、下面が改質の影響が及んでいないそのままの金属組織となっている。SKD61に含まれるCrが、電子ビーム照射での急熱・急冷効果により組織が微細化され、表面へ析出し、表面改質層を形成している。電子ビーム照射エネルギーの大きさ、または照射回数で表面改質層の厚さが決まるが、通常条件では3～5 μ m程度となる。また、表面改質層は金属材料に含有する成分によって変化し、例えば超硬合金素材では、含有する炭化タングステン粒が微細化し、コバルトが均一に分布した層となる。

当社PFシリーズにおける電子ビーム照射時間



図 2 電子ビームを照射したSKD61表面（断面図）

は、マイクロ秒の領域を使用し、熱伝達を積極的に利用することで、金属表面を瞬時に熔融・蒸散させる。このことから、チタンなどの熱伝導率が低い金属のほうが表面に熱エネルギーが蓄積しやすいため、鏡面化しやすい傾向がある。一方、銅などの熱伝導率の高い金属では、瞬時にエネルギーが拡散してしまい、表面状態の変化が生じにくい。

金型に用いられる材料は、その目的や用途によって様々な添加物が加えられており、特殊な物性を持っているため、通常は最終の使用目的に応じて材料が選定される。しかし、電子ビーム照射の適用を前提として、その優先度を再考し、相性や特性を考慮した材料選定を行うことで、大幅なコスト削減や高付加価値の付与が可能である。

◇ 射出成形向け金型鋼材への適用事例

1. 意匠面形状での表面改質

図3に、ワイヤ放電加工後、電子ビーム照射を行ったSKD11改質鋼の加工サンプルを示す。

電子ビームの照射面は全面が均一に改質され、高品位な面質となっている。面粗さは、電子ビーム照射の前後でRa2.5 μ mからRa0.5 μ mに向上した。なお、電子ビーム照射時間は真空引き時間を含めて合計14分である。

このような3次元形状は、意匠プラスチック金型やフレクタ金型などによく見られるが、手磨き仕上げによる形状の変化が起こりやすく、作業効率・品質が作業者の技能・経験および磨き時間に依存する。電子ビーム加工装置では、対話形式

による最適な照射条件設定とNCによるテーブル移動・固定が主な段取りであり、照射後の形状変化が最小限に抑えられるため、大面積の均一な表面改質が、短時間で誰でも安定して行える。

2. 表面改質金型を用いた射出成形での効果

電子ビーム照射による金型の表面改質では、面粗さ向上や磨き時間短縮のほか、モールドデポジットや金属腐食発生を抑制する効果が得られる。

樹脂金型において、一方は手磨き仕上げを、一方は電子ビーム照射による表面改質を施し、射出

成形を行った。図4上部に、射出成形5万ショット後のそれぞれの表面を示す。

手磨き仕上げ面で、射出成形を数万回と繰り返すと、入れ子の隙間やキャビティの隅にモールドデポジットが堆積し、成形品に対して、ショートショットの発生や形状の転写不良など不具合が発生する。また、PVCなどの樹脂から生じる揮発性・腐食性ガスの影響で金属腐食が起り、金型表面に凹凸が形成されることがある。

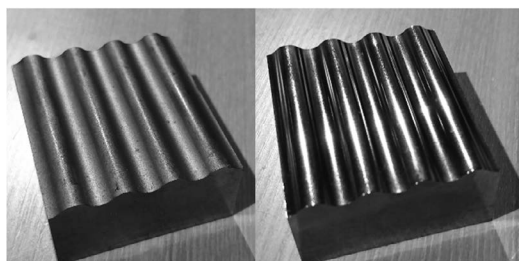
一方、電子ビーム照射面ではモールドデポジットの発生は認められず、良好な面質と離型性を保ち、頻繁な金型のクリーニングも不要であり、メンテナンス性が向上する。

流路内空気を排出するエアイベント部においても(図4下部)、手磨き仕上げ面と比較し電子ビーム照射面では汚れやガス焼けが少なく、改質による高機能化が得られた。

◇ 鍛造向け金型鋼材への適用事例

1. ヒートクラックの伸展抑制効果

金型における硬度向上・型寿命向上の代表的な手法のひとつとして、窒化処理が挙げられる。窒化処理は、鋼材の表面から拡散侵入した窒素が金



サイズ	:40×45×19mm
材質	:SKD11 改質鋼 (NOGA)
写真左	:ワイヤ放電加工面
写真右	:電子ビーム照射面

図 3 意匠面形状での表面改質

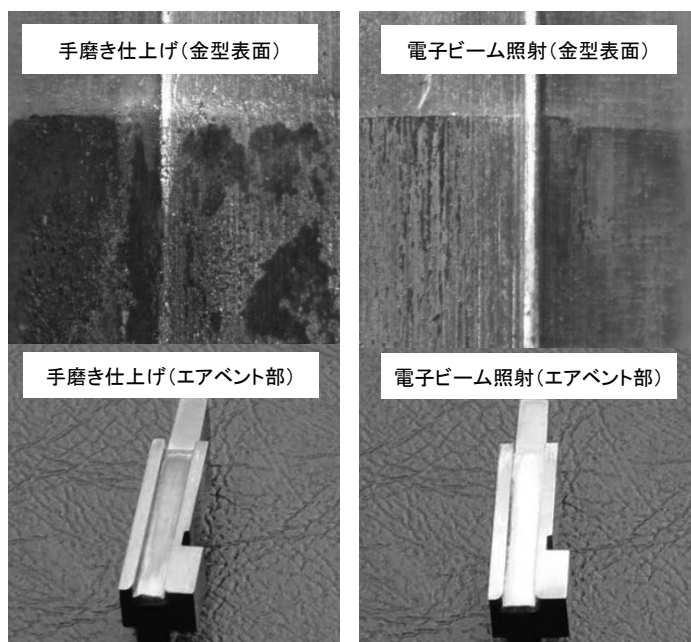


図 4 射出成形5万ショット後の金型表面
(材質:SKD11)

属元素と化合し窒化物層を形成することにより、材料表面の耐摩耗性、耐疲労性、耐腐食性、耐熱性が向上する技術として知られている。また、表面改質技術の中でも処理温度が低く、通常の焼き入れと比較し歪みが少ない。しかし、急激な型温変化を伴う熱間鍛造などにおいては、熱疲労と表面の酸化がヒートクラックを発生・伸展させやすく、冷間鍛造と比べ型寿命が短くなる傾向がある。

一方、電子ビーム照射による表面改質は、ヒートクラックの伸展抑制にも効果を発揮する。

図5は、SKD61における、各種窒化処理、電子ビーム照射、および電子ビーム照射とガス窒化との複合処理を施した場合でのヒートクラックの状況を、それぞれの深さとクラック数でグラフ化したものである。

通常の各種窒化処理では、表面近傍でのクラック数が多く、深い部分でのクラック発生が確認できる。電子ビームおよび複合処理の場合では、表面から10 μ m深さまでに限定され、その数も窒化処理のみとの比較において最大90%減少の劇的な効果が得られた。

これは、電子ビーム照射の改質効果によって組織が微細化し、SKD61中のCrが表層へ析出、耐酸化特性が向上したことにより、ヒートクラックの進行を抑制したと考えられる。電子ビーム照射による表面改質は、型温変化の激しいダイキャスト金型や熱間鍛造金型においても、型寿命向上の効果が期待できる。

2. 極浅浸硫窒化処理との相乗効果による型寿命向上

電子ビーム照射と極浅浸硫窒化処理を併用することにより、さらなる型寿命の向上を実現した事例を紹介する。この事例においては、電子ビーム照射との相乗効果が有効となるよう、ワークに対して厚さ1 μ mの極めて浅い浸硫膜層を形成するとともに、浸硫膜層に隣接して窒素と硫黄の拡散層を形成するように浸硫窒化を行った。以下、この処理を「極浅浸硫窒化処理」と記述する。

図6に、極浅浸硫窒化処理を施した熱間鍛造金型の断面図を示す。

上面では順に、Feの窒化物層、Fe・Crからなる窒化物および硫化物層、窒素の拡散層、と25 μ m程の影響層を形成している。

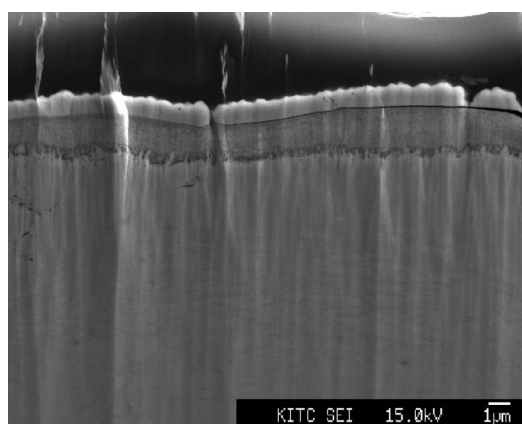


図 6 極浅浸硫窒化処理を施した熱間鍛造金型の断面図

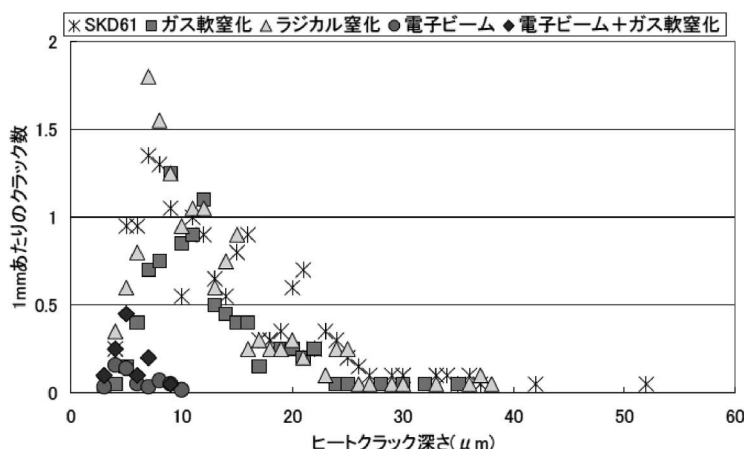


図 5 表面改質とヒートクラックの影響

浸硫窒化処理は、他の窒化処理と同様の耐摩耗性・耐疲労性・耐腐食性向上に加え、浸硫層の形成による潤滑機能を有することが特徴である。

熱間鍛造金型に適用した場合、窒化層に作用する残留応力によりヒートクラックが発生しやすくなる傾向があり、窒化層ごと金型表面から脱落してしまう恐れがある。表面改質層が維持されている間は衝撃に強く、耐久性が向上するが、金型を長時間連続的に使用した場合、ある時点で急速に表層が失われ、金型表面の部分的な剥離や、曲部位・角部位における欠損が発生する。

このような現状を改善するため、前工程として、熱間鍛造金型の表面に電子ビームを照射し、その後極浅浸硫窒化処理を施した。図7にその断面図を示す。

浸硫窒化処理で形成される一般的な窒化層および硫化層が存在せず、窒素と硫黄が均一に分散・

浸透した特殊な状態が形成されている。また、最上層は膜厚1 μ mの極めて薄い浸硫層となっており、均一で円滑な表層を得ることができた。

これらを実際に熱間鍛造金型に用いて型寿命を試験した。一般の窒化処理（ガス軟窒化）と比較し、電子ビーム照射後に極浅浸硫窒化処理を施した金型では、約3.5倍まで型寿命が向上したほか、離型時の「食いつき」減少も確認された。一方、極浅浸硫窒化処理のみの金型は約2.4倍の型寿命向上にとどまり、電子ビーム照射と極浅浸硫窒化処理による相乗効果が十分に発揮された事例である。

むすび

昨今、様々な表面改質技術やコーティング技術が開発され、工業製品の表面機能に対する要求事項はますます高まっている。「PFシリーズ」は当初、「磨き技術」を主な適用対象としてきたが、表面改質技術を組み合わせた相乗効果による金型の品質向上や、金属・非金属材料における金型以外の部品への適用事例が増えてきている。

表面性状の機能化に基づくニーズをいち早く察知し、今後さらに電子ビーム加工装置の適用分野を広げるよう研究・開発を進めていきたい。

参考文献

- 1) 岡田晃. 大面積電子ビーム照射による金型表面の高効率平滑化および表面改質. 天田財団、第7回助成研究成果発表会講演論文集. 2008、p 36-41
- 2) 薩田寿隆、高木眞一、佐野明彦、熊谷正夫、虞戦波. 各種表面処理が熱間金型材の熱疲労特性に及ぼす影響、2006、JD06-8

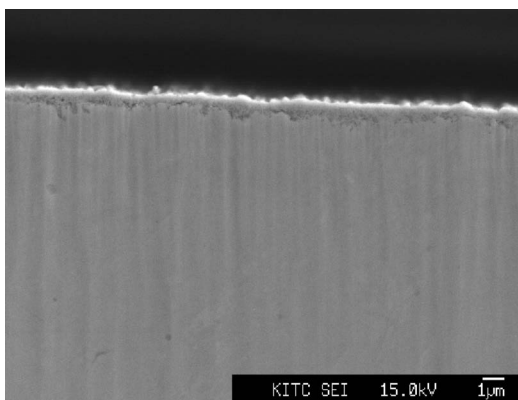


図 7 電子ビーム照射後に極浅浸硫窒化処理を施した熱間鍛造金型の断面図

3. 表面機能を向上させるレーザピーニング技術

(株)最新レーザ技術研究センター 代表取締役 倉名 宗春

まえがき

“Peeningピーニング”という用語は、ショットピーニングとかハンマーピーニングとして古くより使われてきた。例えば、ハンマーピーニングは先の尖ったハンマーで鋳鉄を溶接をする際に、ビード表面をコツコツとたたくことにより、凹凸を表面に作り、表面積を広げ、表面層に圧縮の残留応力を与えることにより、延性のない鋳鉄でも溶接割れなく溶接できるようにする技術である。ショットピーニングは1927年ころから、材料表面の硬化やショット噴射による疲労強度の向上試験、硬球噴射による表面硬化などに広く利用されている。最近では、超音波ピーニング^{1)、2)}やウオータージェットピーニングなども開発され、利用されている。

レーザピーニングの基本原理は1963年に金属に高エネルギーのパルスレーザを照射すると衝撃波の発生および塑性変形が生じることが確認され、表面硬化法として研究された。1970年代初めに米国のBattelle Memorial Labo. (バットェル記念研究所)ではその有効性がさらに研究され、表面硬化のみならず、疲労強度の改善効果なども確認された。1974年には米国で特許が取得された³⁾。1976年に米国バットェル研究所でさらに研究され、疲労強度の改善も報告された^{4)~6)}。1992年頃より米国海軍や空軍のジェット戦闘機のエンジン部品の疲労強度などの改善にこの技術の実用化研究がなされ、1996年ごろより実際に適用されるようになった^{7)、8)}。日本では1995年頃、レーザピーニング技術を原子力発電プラントの応力腐食割れ防止技術として東芝が研究開発に着手し、この技術を1999年に中部電力の浜岡原子力発電所の原子炉シュラウド溶接部の応力腐食割れ防止に適用した^{9)~13)}。2002年から米国のボーイング社は747型旅客機などのジェットエンジン部品の疲労強度や表面改質のためにこの技術をエンジンのオーバーホール時に

適用するようになった。2007年、著者らは従来のレーザピーニング技術を改良した特殊レーザピーニング技術を開発した^{14)~17)}。さらに、自動車などの摺動部品の摩擦エネルギー損失の改善などにこの技術を応用する方法を検討している。

ここでは、このレーザピーニング技術の基本について述べ、現在、実用化を進めている輸送機器の耐摩耗部品や摺動部品への実用化研究について紹介し、最後に、金型表面の機能を向上させる技術としてどのように注目されるか述べる。

◇ レーザピーニング技術

1. レーザピーニングの機構と特徴

ここで取り上げるレーザピーニングはショット(鋼球、セラミックス粉体、ガラス粉体など)を打ち込む代わりに、図1に示すように、高ピーク出力の超短パルスレーザを約10ns(1億分の1秒:光が3m進む時間)の短時間に、金属などの被加工物表面に照射して、瞬時に発生する超高圧のプラズマ圧により、その表面部を塑性変形させることにより、表面層に圧縮残留応力を導入できる表面処理を行うものである。すなわち、アルミニウム合金の表面のレーザ照射部では図2に示すように照射した瞬間(約15ns後)に、プラズマが発生し、ミクロ的に空気や水のレーザ干渉層により閉じこめられる結果¹⁸⁾、約1~5GPa(1GPaは約1万気圧)の超高圧のプラズマが材料表面にミクロ的に発生し、その衝撃波が材料に伝わり、材料内部に

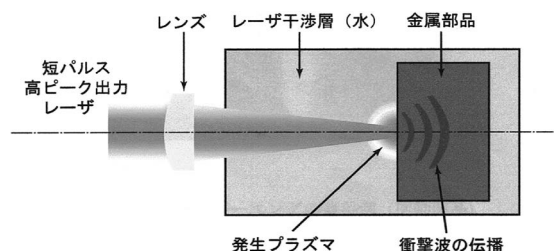


図 1 レーザピーニングの機構

伝播して、図3に示すような微小な（深さが数 μm から数 $10\mu\text{m}$ ）ディンプル（窪み）を形成させることができる⁷⁾。この照射を繰り返すと、金属表面近傍は約 $0.5\text{mm}\sim 1\text{mm}$ の深さまで圧縮の残留応力が分布するようになる。図4に示すように板表面部に圧縮残留応力（青色）が、板内部に引張残留応力（赤色）が生じる。このように表面に圧縮の残留応力が発生すれば、疲労強度の改善や溶接

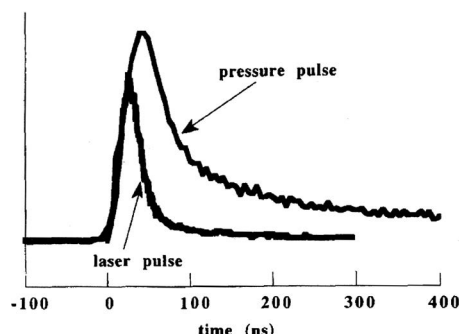


図 2 レーザ照射時間とプラズマ圧力の変化¹⁸⁾

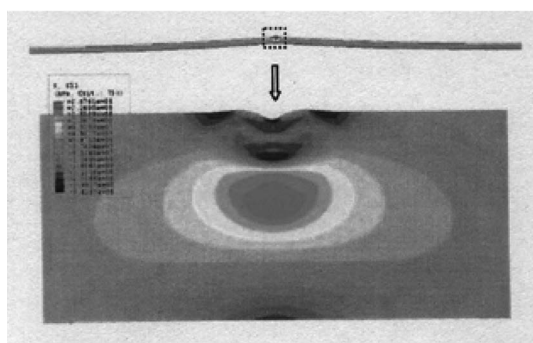


図 3 ピーニングにより表面に生じる窪み⁷⁾

Pressure (GPa)

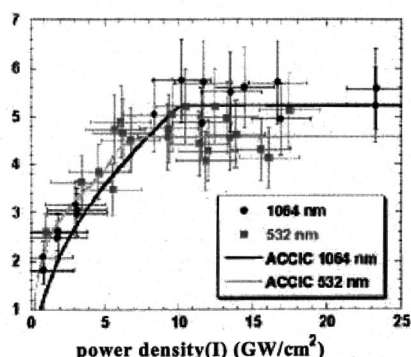


図 4 レーザの出力密度とプラズマ圧力¹⁸⁾

部の応力腐食割れ防止等が可能である¹⁹⁾。

レーザピーニングの基本的な機構は図1に示したように $5\sim 15\text{GW}/\text{cm}^2$ という高ピーク出力密度の短パルス（パルス幅： $5\sim 10\text{ns}$ ）の固体レーザー（波長： $1,064\text{nm}$ 又は 532nm ）を金属表面に照射すると、金属表面は $5,000\text{K}\sim 20,000\text{K}$ に急速に加熱され、金属が加熱・溶融・蒸発・イオン化（プラズマ化）され、超高压（約 5GPa ）のプラズマ圧が瞬時に生じる。このプラズマは放射状に空間に広がろうとする。もし、水のようなレーザ干渉層があると、この層により、プラズマが閉じこめられ、金属表面から内部方向に強い衝撃波が伝わる。この時のプラズマ圧力は図4に示すように照射するレーザの出力密度と関係があり 5GPa 以上にもなる¹⁸⁾。この圧力で金属表面に塑性変形を与える。そして、図5に示すように圧縮の残留応力分布域を部材表面に形成する。この圧縮残留応力により①疲労亀裂の進展を抑制する効果、②応力腐食割れの進展防止する効果、および③表面の強化・硬化の効果などがあり、工業的に利用されている。

このレーザピーニングは他のピーニングに比べて次のような特徴がある。

- ◆圧縮残留応力分布が大きく深い。
- ◆疲労寿命がショットピーニングより非常に長い。
- ◆局所のマイクロピーニングも可能。
- ◆応力腐食割れ防止を容易にできる。
- ◆ピーニング作業の環境がクリーン。
- ◆騒音も少ない。
- ◆小型化、自動化が容易。

2. 摺動性改善のための特殊レーザピーニング

著者と（株）齊藤工業の齊藤清隆は従来のレーザピーニングに変えて、新しく特殊レーザピーニング技術を2005年に考案した^{15)~17)}。従来はレーザ

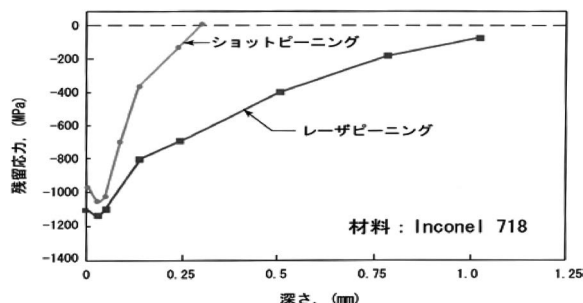


図 5 ピーニング表面部の残留応力分布⁷⁾

ピーニングでは粉体を打ち込むことはできなかったが、この特殊レーザピーニングでは各種の粉体を部材表面に打ち込むことができる。部材表面にメタルシートを設け、その上に水などのレーザ干渉層を準備し、高ピーク出力短パルスレーザにより生じる超高圧プラズマでこのメタルシートを変形させ、図6に示すようななめらかな微小ディンプルを任意の寸法で形成させ、このシートの底部に付着している粉体を部材に打ち込むこともできる。このメタルシートを用いる特殊レーザピーニングは、自動車やオートバイエンジンなどのピストンなどの摺動部品の表面に対して、従来にない表面改質技術を提供するものである。従来法に比べ、摺動部品のモータリング摩擦エネルギーの損失を約15%から20%低減できる新技術である。ディンプルの面積率にも大きく依存しており、ディンプル面積率約20%とした場合、摩擦エネルギーの損失を約15%改善できた結果を図7に示す。

この摺動性や耐摩耗性の向上により、自動車や船舶など内燃機関エンジンの回転効率の向上、燃費効率の向上などが可能となる。よって、環境問

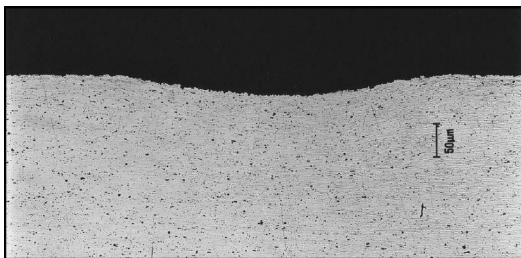


図 6 特殊レーザピーニングにより形成された滑らかなディンプル（約500μm径）

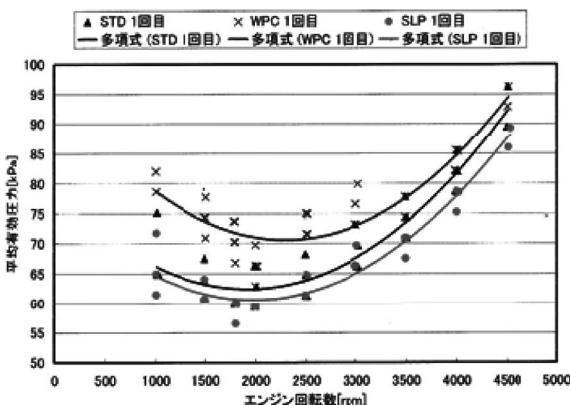


図 7 モータリング装置付き摩擦抵抗評価試験の結果

題にも大きく寄与できる技術でもある。まさに、金型の摺動部に適用すれば、金型の寿命を長くできると思われる。この特殊レーザピーニングの特徴はつぎようである。

- ◆各種粉体（金属、合金、炭化物、酸化物、MoS₂など）を打ち込むことができる。
- ◆各種表面機能の向上が可能。
- ◆処理深さが深い。
- ◆処理面の性能向上が非常によい。
- ◆局部照射もよい。
- ◆作業環境がよい。
- ◆自動化が容易。

3. 金属表面のディンプル作製による摩擦係数の低下

オートバイ用エンジンのピストンスカートに水中で多数のディンプルを作製し、オートバイ用エンジンのピストンスカートに水中で多数のディンプルを作製し、モータリング摩擦エネルギー損失を低減することができることを確認できた。このメカニズムについて検討した。まず、軸受のような摺動部品のトライボロジーを考えた。通常、図8に示すように摩擦係数 (f) と潤滑油粘度 (η)、荷重 (F_N) および速度 (V) との間にStrinbeck曲線が成り立ち、レーザピーニング処理すると、(I)の領域で固体摩擦を改善できることと、ディンプル内に油が入ることにより (II)の領域で摩擦係数を低下させる効果が期待できる¹⁹⁾。これら2つの効果で、レーザピーニングにより金型表面の摩擦係数を低減できると考える。

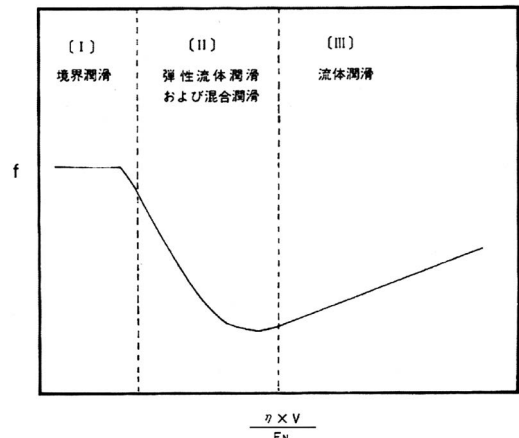


図 8 Strinbeck曲線と潤滑領域¹⁹⁾

4. レーザピーニング処理による残留応力の改善

ピーニングのもう一つの効果は図4に示したように金属表面に約300~500 μm の深さで圧縮の残留応力領域を作り、疲労強度の改善や応力腐食割れの防止をすることができる。ここでは工具鋼の例を示す。

最大パルスエネルギーが650mJのQスイッチYAGレーザ装置から発振される532nm波長の超短パルスレーザを約400 μm 径のビームスポットに集光し、水槽中の金属試験片表面に、パルス幅8ns、20Hzで照射した結果を図9に示す。この時のレーザのピーク出力密度は約15GW/cm²で、重ね率を30で行った。レーザピーニングされた部分は、加工硬化が強く生じており、転位密度が非常に高くなっている。その結果、自動車用ドライブシャフト用工具鋼では、図9に示すように1,270MPaと高い圧縮の残留応力が入った。また、金型の表面機能をレーザピーニング処理で改善した例を図10に示す²⁰⁾。

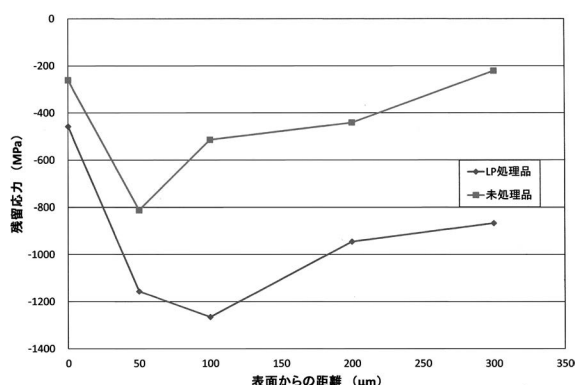


図 9 レーザピーニング処理の残量応力分布の例

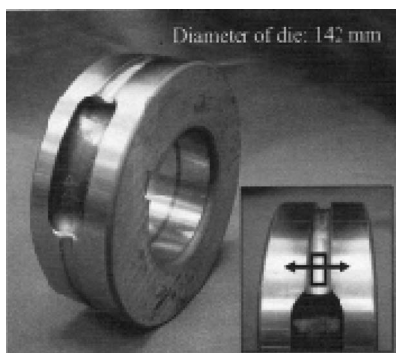


図 10 レーザピーニング処理部された金型²⁰⁾

むすび

以上のように、21世紀になり、急速に発達してきたレーザ加工技術は、溶接、切断、穴あけ等以外にも、レーザピーニングのような各種表面処理、3Dプリンター、マーキング、微細加工など広い分野でますます実用化されている。

謝 辞

本資料は、経済産業省の平成20年度の地域イノベーション創出研究開発事業として推進された結果も含んでいる。共同研究機関は(株)最新レーザ技術研究センター、三重大学工学部鈴木実平研究室、光産業創成大学院大学山中正宣研究室、愛知県産業技術研究所、斎藤工業(株)、石原薬品(株)、ナ・デックス(株)の7団体である。

参考文献

- 1) Y. Kudryavtsev, J. Kleiman et al: IIW Doc. XIII-2010-04, Osaka, July., 2004
- 2) R. M. White, Journal of Apply Physics, 34 (1963), 2123
- 3) P. Malozzi, B. P. Fairand; US Patent 3, 850, 698, 1974
- 4) B. P. Fairand and A. H. Clauer: SPIE Industrial Applications of high Power Laser Tech., 86 (1976), p. 112-118
- 5) A. H. Clauer, B. P. Fairand and B. A. Wilcox: Pulsed Laser Induced Deformation in an Fe-3wt% Si Alloy, Metallurgical Transaction A, 8A, (1977), p. 119-125
- 6) A. H. Clauer, B. P. Fairand: Proc. of Conf. on Applications of Laser in Materials Processings, by AWS, Ohio, US, 1979, 291-315
- 7) L. A. Hackel: Laser peening to reduce Corrosion Cracking and Fatigue Failure in Navy Ships and Systems, proc. of 1st SAIL Conf. Williamsburg, VA June 2003, Paper #sec6-05
- 8) R. D. Tenaglia and D. F. Lafrman; Preventing Fatigue Failures with Laser Peening: Laser Peening keeps aircraft turbine blades in action, AMPTIAC Quarterly, 7-2 (2003), p. 3-7
- 9) 依田、佐野、向井：光ファイバによる20MWレーザーパルスの伝送とその応用レーザー研究、28-5 (2000)、p. 309-313
- 10) 依田、佐野、向井、ほか：レーザーの水中照射による金属材料の残留応力改善メカニズム、日本原子力学会誌、42-6 (2000)、p. 567-573
- 11) 佐藤、小林、佐野、ほか：原子炉炉内構造物の保全技術、東芝レビュー、55-10 (2000)、p. 37-41
- 12) 佐野雄二：レーザピーニング技術の開発と応用、名古屋レーザ・ニュース、20号 (2006)、p. 61-65
- 13) 佐野、牧野、ほか：レーザを使用した原子炉の水中メンテナンス技術、溶接技術、53-5 (2005)、p. 78-82

- 14) 杵名宗春：溶接技術、レーザピーニング処理とその応用、55-8 (2007)、63-69
- 15) 井上裕喜、杵名宗春：特殊レーザピーニング技術の基礎研究、レーザー学会第380回研究会報告、RTM-08-40、2008年10月、p. 13-21
- 16) 特許 第4058448号 (2007年)「レーザピーニング処理方法およびレーザ吸収粉体層シート」
- 17) M. KUTSUNA, H. INOUE, H. MIZUTANI: Development of Indirect Laser Peening Process for forming a micro dimple and making powder deposition on the substrate; Proc. of ICALEO, Oct. 2008, San Diego, paper No. # 1903
- 18) P. Peyre, R. Fabbro et al; Laser shock processing of aluminium alloys. Application to high cycle fatigue behaviour, Materials Science & Engineering, A210 (1996)、p. 102-113
- 19) 広中清一郎：境界潤滑と潤滑剤、ThreeBond Technical News、1974年、7月1日、p. 1-8
- 20) C. A. Lavender, S-T. Hong, M. T. Smith et al; The effect of laser shock peening on the life and failure mode of a cold pilger die, Jour. Of Material Processing Tech., 204 (2008)、p. 486-491



4. レーザクラッディング

住友重機械ハイマテックス(株)
新商品開発部 主任技師

いし かわ
石 川

たけし
穀

ま え が き

レーザークラッディングは、レーザー光を熱源として肉盛溶接により表面改質を行なう手法である。肉盛溶接はアークやプラズマを熱源として従来から広く行われている。その利点としては、①溶接した部分のみ改質するので、別部品を組み立てるより安価である。②改質層の厚みが大きいので、特に摩耗や腐食が激しい部品の寿命が長くなる。③材質によっては摩耗や腐食により減肉した部品に、再度肉盛溶接を行って再生することができる。といったことがあげられる。

近年ではレーザーの高出力化や高機能化により、レーザークラッディングに関する研究開発が活発に行われ、性能や品質が飛躍的に向上して注目を集めるようになった。国内でも大学や公設試のほか企業での導入も増え、従来できなかったことが実現されるようになってきた。本稿では、適用の場が広がっているレーザークラッディングの特長や適用事例をわかりやすく紹介したい。また、高速度工具鋼粉末を肉盛したものは今後、幅の広い応用分野が期待されるので、その特性をいくつか紹介したい。

◇ レーザクラッディングの原理

レーザークラッディングの原理は、図1に示すように、基材にレーザー光を照射すると同時に金属粉末を供給して、溶融凝固させながら移動することで、新しい合金層を形成する技術である。Laser Metal Deposition (LMD) とも称される。もちろん粉末ではなくワイヤ状の金属を供給することもできる。

粉末を使う利点は、①粉末冶金で用いるような特殊な合金で、ワイヤ状に加工することができない材質であっても溶接が可能である。②粉末を混合して任意の化学成分に調合することも容易である。③金属粉末と炭化物などの融点が高い硬質粒

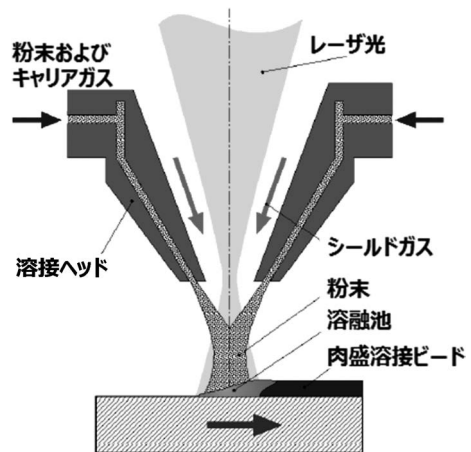


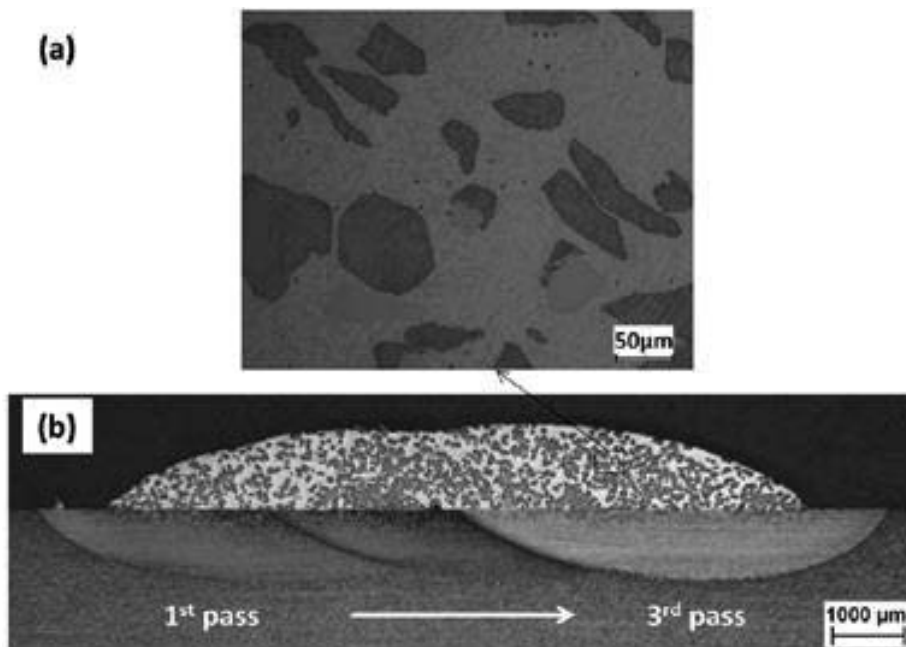
図 1 レーザクラッディングの概念図

子を混合して溶接することもできる。そうすると、金属粉末は溶融するが硬質粒子はほぼ元の姿を留めるので、アスファルト中に小石が散在しているような様相を示し、圧倒的な耐摩耗性が実現される。図2にその一例を示す。白く見えるのは自溶性合金の基地で、その中に黒く見えるのがタングステンカーバイド（超硬）である。

◇ レーザクラッディングの特長

レーザークラッディングには高出力半導体レーザーが多く用いられる。その特長は、高出力かつ高効率にレーザー発振を行うことに加え、集光技術の進歩により高いエネルギー密度で優れたビーム品質が得られるので、安定した肉盛品質が実現できることである¹⁾。

レーザー光のエネルギー密度は高いが、アークやプラズマといったそれ自体が高温の熱源を用いる溶接法とは異なり、基材への入熱量をはるかに小さく抑えることができる。つまりHAZ（heat affected zone）と呼ばれる熱影響部がとて



(a) ミクロ組織 (b) マクロ組織
 自溶性合金の硬さ HV500
 硬質粒子の硬さ HV1,600~2,500

図 2 自溶性合金に硬質粒子を分散した肉盛層断面一例

することによる合金成分の希釈や、熱応力による変形を格段に小さくできる効果がある。

希釈について一例を紹介すると、ステンレス鋼にステライトを肉盛した場合、プラズマを熱源とした溶接では希釈率が20%を超えるが、レーザクラッディングでは3~5%程度であった。これは肉盛層の硬さにも影響し、プラズマではHV370程度のところ、レーザではHV500に到達するといった差が生じる。

熱応力による変形が小さくなる効果としては、従来は溶接後に行っていた歪み取り作業が不要になる。あるいは変形を嫌って十分な余肉が付いた状態で溶接してから仕上げ加工をするといった二度手間を省き、溶接前に仕上げ寸法に加工を済ませることもできる。こういった生産工程の革新は、ものづくり企業にとって競争力に直結するものとなる。

◇ レーザクラッディングの実用例

1. 表面改質

レーザクラッディングのビーム幅は0.4mmから

20mm程度まで実用化されている。ビーム幅が小さいものは小出力で精密な用途に向いており、従来からエンジンバルブの当り面の肉盛や金型の補修などに利用されている。蒸気タービンプレードのエロージョン対策として翼のエッジ部分の耐摩耗性改善や、混練や押出しを行う各種スクリーウのフライト面への適用も始まっている。

ビーム幅が大きいものは大出力で大面積を能率よく施工することができる。トップハットビームと呼ばれる幅方向にエネルギー密度が均等なビームを照射して、そこに粉末を均等に送給するので、高さが一定で幅の広い肉盛層が得られる。主にシャフトやロールなどの耐摩耗性改善に適用される。直近では45mm幅の溶接ヘッドを開発して、直径600mm長さ19mもの長さのhydraulic piston rodに適用した事例も欧州で報告されている²⁾。

さらに最近では内面施工への取組みも本格化しており、適用可能な最小内径が25mmの溶接ヘッドとか、1mを超える長さに対応できるものも開発されている。シリンダーやライナー部品などへの適用が期待されている。

2. 造形

レーザクラッディングで、高さ方向に積層を重ねると任意の形状を造形することもできる。シャフトの外面に造形してスクリューを作るとか、ディスクの外周に多数の翼を造形してブリスクと呼ばれるタービン部品を作るなどの事例がある。ジェットエンジンやガスタービンのブレードのように高価な部品では摩耗や欠損の補修にも用いられている³⁾。

また、Additive Manufacturingの基盤技術として3Dプリンターやハイブリッド複合加工機にも実装されている。ハイブリッド複合加工機とはマシンニングセンターにレーザクラッディング機能を搭載したものである。素材を掴んで粗加工を行ってから、必要な部位にレーザクラッディングを施工して、そのまま最終仕上げまで連続的に行う優れたものである。一昨年あたりから国内の数社が発売を開始していて量産部品への展開が始まっている。

◇ レーザクラッディングによる高速度工具鋼の特性⁴⁾

1. レーザクラッディングの優位性

粉末冶金による高速度工具鋼は、溶製のものに比べて多量の炭化物を均一に微細分散させているため耐摩耗性及び靱性に優れている。しかし熱間静水圧焼結法（HIP法）により炉内で成形するため、適用できる形状や寸法に制約がある。

レーザクラッディングであれば、炉の制約はないので大きな部材の表面にも適用できる。また、ロボットで施工すれば金型やブレードのような複雑形状へも適用が可能である。低合金鋼などの安

価な基材の表面に、局部的かつ精密に高速度工具鋼による硬化層を形成することができるので、コスト的な優位性があると考えられる。

また、多層盛によって厚みが10mmを超える硬化層を形成することも可能なので、使用環境が厳しく摩耗が激しい圧延ロールなど、表面を再研磨しながら使用する工具にも適用することができる。ここでは、レーザクラッディングによる高速度工具鋼粉末の肉盛層の特性について紹介する。

2. レーザクラッディングによる肉盛層の特性

(1) 硬さ

レーザクラッディングで高速度鋼工具鋼粉末（SKH40）を肉盛したままの硬さは、表1に示すようにおよそHV850～HV880であった。520℃から560℃で焼戻しを行うとHV1,000前後に上昇した。ちなみにHIP法で高速度工具鋼粉末を成形したもの（以下HIP材）はHV900程度であった。

(2) 金属組織

走査型電子顕微鏡で、後続パスによる熱影響を受けていない最終肉盛層の断面を観察すると、凝固したままの金属組織を示し、明るく見えるネットワーク模様が観察される。これを電子線マイクロアナライザにより元素分析すると、CおよびW、Cr、V等の炭化物形成元素が同定される。これは溶製高速度工具鋼の凝固組織にも見られる、樹枝状晶間隙に生じた共晶炭化物である。

(3) 曲げ強度（抗折力）

表1に示すように、焼戻しを行うことで曲げ強度は若干上昇するが、HIP材に比べると6割程度である。しかし球状化熱処理および焼入れ焼戻しを適切に行うと、HIP材と同等の曲げ強度を得ら

表 1 レーザクラッディングによる肉盛材の特性一例
高速度工具鋼（SKH40）

	肉盛のまま	焼戻し温度			HIP材	備考
		520℃	560℃	600℃		
硬さ（HV）	1mm	878	1,030	984	854	905（*1）
	2mm	849	1,043	1,026	896	
曲げ強度（MPa）		1,674	1,740	1,990	1,955	3,116 2,890（*2）
摩耗痕の幅（mm）	10N	1.02	0.75	0.95	1.51	0.96（*3）
	40N	1.13	1.18	1.16	1.57	

（*1） 上段は基材表面からの高さが1mm、下段は2mmの位置で測定

（*2） レーザクラッディング肉盛材を焼鈍し後に焼入れ焼戻しした場合

（*3） ブロックオンリング摩耗試験、リング材はSUJ2、HRC59、無潤滑

れることが確認されている。HIP材と同様に球状の炭化物が均一に分散した組織にすることで、曲げ強度が改善されるのだと考えられる。

(4) 耐摩耗性

回転するリングを無潤滑で試験材に押し付けて、試験片表面に生じた摩耗痕の幅により耐摩耗性を評価するブロックオンリング試験を実施した。表1に示すように、肉盛のままではHIP材とほぼ同等であるが、520℃および560℃で焼戻しを行うとHIP材よりも摩耗痕の幅は小さくなった。一般に知られているとおり、より硬い方が耐摩耗性は良いという結果であった。

◇ レーザクラディング装置の例⁵⁾

1. 概要

レーザクラディング装置の機器構成の一例として、図3に弊社が導入したレーザクラディングシステムの概要を紹介する。レーザ光は、レーザ発振器から光ファイバーを経由して、ロボットアーム先端に取り付けられた光学系まで伝送される。光学系でビーム形状を円形や矩形に整えられてから対象物に照射される。金属粉末は、パウダー供給装置から溶接ヘッドまでアルゴンガスによって移送され、レーザ光と同軸で対象物に向かって噴射される。加工システムは、6軸のロボットと2種類のポジショナを備える。大型の

ワークに対応するためロボットにも走行軸を設けており、これら全部で9軸を協調制御することができるシステムとしている。以下に主要な機器を紹介する。

2. 主要な機器

(1) レーザ発振器

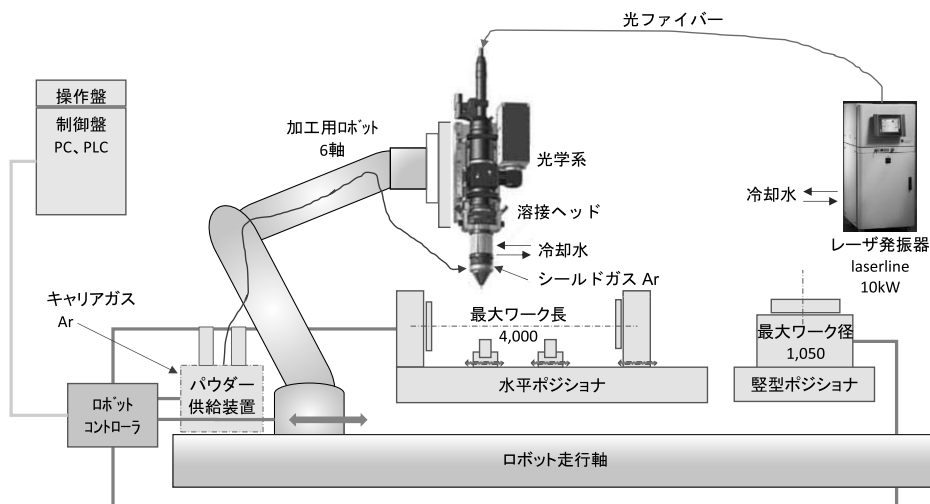
レーザ発振器は、laserline社製の高出力半導体レーザ装置LDF10000-60で、出力は10,000W、発信波長は940-1,060nmの混合波長、ファイバー径は0.6mm、ファイバー長さは20m×2本である。

(2) パウダー供給装置

パウダー供給装置は、GTV社製のPowder Feeder PF2/2MFで、ホッパーを2本持つタイプである。2本あるので、先に述べたように部位により粉末の種類を使い分けることや、層ごとに粉末の混合比を変えることができる。

(3) 溶接ヘッド

溶接ヘッドは、Fraunhofer IWS社製の3タイプを備える。ビーム径が小さいタイプは、ブレードやスクリーなどの複雑な形状に局部的で精密な肉盛溶接を行う場合に適している。ビーム幅が19mmと広いタイプは、シャフトやロールなど大面積を効率的に肉盛溶接する場合に適している。ほかに、複雑形状に対応して溶接ヘッドを90度まで大きく傾けて肉盛溶接することが可能なタイプもある。



設計 住友重機械メカトロニクス

図 3 レーザクラディング装置の一例

(4) ポジショナ

水平ポジショナは、レーザクラッディング用途では国内最大級で全長4mに対応できる。長尺のワークの場合に中間部を支持できるように、ターニングローラも2基備えている。予熱によりワーク寸法が伸びるなど、従動側の端部をローラで支持することが望ましい場合にも対応できる。

むすび

レーザクラッディングは、これまでは小出力での利用が多かったが、今後は大出力を利用して様々な産業分野に活用の方が広がることが期待されている。本稿ではレーザクラッディングの原理や実用例、それから肉盛層の特性や装置の概要を紹介した。読者の理解の一助となり、レーザク

ラッディングへの興味を喚起できたとしたら幸いである。そして新しい用途の発案や従来製法を見直す契機となり、ものづくりの革新につながることを期待したい。

参考文献

- 1) 江嶋亮：高出力半導体レーザを用いたレーザ表面改質加工、溶接技術、2017年11月号
- 2) High-power laser system for super-efficient hydraulic pistons' coating, Fraunhofer IWS Annual Report 2017, P16-17
- 3) 中村強：レーザメタルデポジション法によるクラッディング技術開発、レーザ加工学会誌 Vol. 21、No. 1 (2014)、P14-19
- 4) 薩田寿隆：粉体レーザ肉盛溶接による硬化層、レーザ加工学会誌 Vol. 24、No. 2 (2017)、P85-89
- 5) 石川毅：レーザクラッディングプロセス技術の開発および装置導入、第88回レーザ加工学会講演論文集 (2017.10)、P71-75



IV. 会員会社の表面改質技術および周辺技術の紹介

■ 大同特殊鋼(株)

高硬度・高密着コーティング皮膜 に適したPVD用ターゲット材 『STAR-TM^{3®}(スター・ティーエムキューブ)』

ま え が き

材料表面の耐食性、耐摩耗性、潤滑性向上、あるいは装飾特性向上などの要求に応えるため、CVD（化学的蒸着）法やPVD（物理的蒸着）法など各種の硬質皮膜コーティングが行われ、硬質皮膜は金型・切削工具・自動車・機械部品などの材料表面の機械特性向上の他、最近では家電・情報機器の装飾特性の向上にも幅広く適用されている。

当社は、これらのPVDコーティングに使用されるTi系、TiAl系、Cr系、CrAl系を中心にターゲット材の製造・販売をしており、特に多元系においては高品質・短納期で高い評価を頂いている。

本稿では、当社が長年培ってきたTi合金の製造技術を活用し、Ti系硬質皮膜としては世界最高レベルの硬さと高密着の両立を可能としたTi-Mo合金系ターゲット材「STAR-TM^{3®}」を開発したので、以下に紹介する。

◇ 特 長

本ターゲット材を使用したPVD硬質皮膜では、以下の特長がある。

1. 高硬度

チタン系硬質皮膜で「世界最高水準の硬さ*1 (4500 HV)」を実現

*1 当社調べ

2. 高密着

高硬度でありながら高い密着性が得られるため単層膜で使用可能

（スクラッチ試験臨界荷重と比較した結果、Ti窒化膜に比べて約10%向上）

3. 装飾特性

「綺麗で傷つきにくいコーティング」として装飾用途にも最適であり、成膜条件の調整で色調を広範囲に調整可能

◇ 適用事例

1. 金型への適用事例（成膜、データ提供：東北特殊鋼(株)）

（1）打ち抜きパンチ

打ち抜き用パンチ（SKH51）にSTAR-TM^{3®}を用いた皮膜を約2μm成膜し、SUS304（厚み2mm）を冷間加工した結果、従来のTi炭窒化膜に比べて約2.0倍の寿命が得られた。

（2）プレス金型

プレス金型では、絞り加工用金型（DEX40）にSTAR-TM^{3®}を用いた皮膜を約2μm成膜し、SPCC（厚み0.8mm）を冷間加工した結果、従来のTi炭化膜に比べて約1.8倍の寿命が得られた。

（3）据え込みパンチ

据え込み用パンチ（DEX40相当）にSTAR-TM^{3®}を用いた皮膜を約2μm成膜し、SKD11（厚み40mm）を冷間加工した結果、従来のTiAl窒化膜に比べて約2.9倍の寿命が得られた。

む す び

今後、様々な環境下で使用される硬質皮膜コーティングに対するニーズが高まる中、今回紹介したターゲット材「STAR-TM^{3®}」がお客様の問題解決の手段として満足して頂けるものと期待している。

〔大同特殊鋼(株) 電子部材製品部 かつみ まさたか
薄膜電子部材室 室長 勝見 昌高〕

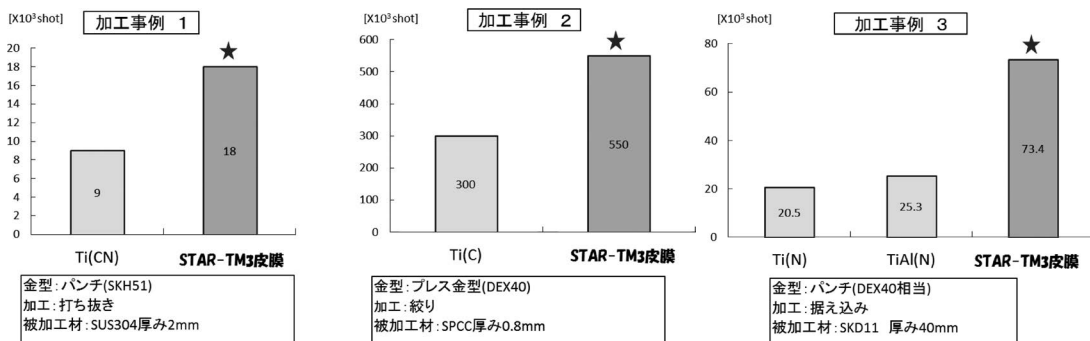


図 1 STAR-TM^{3®} ターゲット材で成膜した皮膜の加工適用事例（冷間鍛造）

金型の耐錆性を向上させる 新表面改質技術

◇ 開発の目的

冷却回路を持つ金型では、冷却穴内部の発錆により冷却効率の低下が問題となる場合があります、またダイカスト型では、成形時の繰返し熱応力と冷却水による腐食の影響から、応力腐食割れに至る場合もある。そのため、最近の対策としては、SUS製ブッシュ挿入する方式や耐錆性の高い被膜を形成させる方式、ショットピーニングにより圧縮応力を付与させる方式などが適用されている。

この度、弊社では、株式会社不二機販殿と共同で、金型表面に特殊金属を拡散させることで、冷却穴の耐錆性を向上させることができる新技術「ST-R処理（特許出願済）」を開発したので紹介する。

◇ 開発の内容

1. 耐錆性の評価

図1に耐錆性の評価結果を示す。試験片はSKD61(45HRC)を用い、無処理及びST-R処理を施したものを工業用水に480時間浸漬し観察した。

無処理品は全面に赤錆が発生しているのに対し、ST-R処理品は480時間経過後も赤錆の発生は確認できなかったことから、ST-R処理は錆対策に有効であることが判る。

母材：SKD61（45HRC）

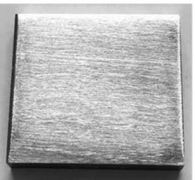
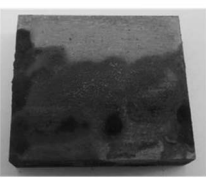
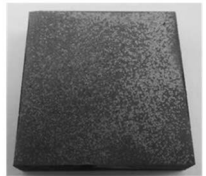
	浸水前	480h浸漬後
無処理		
ST-R処理		

図 1 工業用水への浸漬による錆発錆状況の観察結果

2. 細穴への処理

細穴への処理の評価については、処理された部位の圧縮応力を測定する方法により確認した。

まず、丸棒（SKD61, 45HRC）にガンドリルで穴を開け、縦半分にワイヤーカットし、粘着テープで接合した試験片を作成した。次にノズルで特殊金属メディアを射出した後、粘着テープを剥がして分割し、処理部位の応力を測定して効果を判定した。このような手順を用いた理由は、処理後にワイヤーカットすると応力が解放されてしまい、効果の有無が判定できなくなってしまうためである。

結果、未処理品に対し、ST-R処理品には大きな圧縮応力が掛かっていることから、このような細穴・深穴へも処理できることが判る。現在、ノズルを工夫し、最小φ2.5×200までの穴へ適用が可能である。

誤解を招かぬよう繰返しになるが、ST-R処理は、表面に特殊金属を拡散させることで金型の耐錆性を向上させる方式であり、圧縮応力付与により応力腐食割れを抑制する方式ではない。

◇ 開発の成果

弊社には、ガスの拡散により耐錆性の高い被膜を形成させる処理「EX-G処理」があるが、EX-G処理は冷却穴内部が比較的清浄な状態であることが必須条件である。例えば、焼入れ時に油冷した金型では、冷却穴内部に油カスが残存している可能性があり、そのままEX-G処理を行うと皮膜が剥離してしまう。そのため、焼入鋼にEX-G処理をする場合には窒素ガス冷却による焼入れを推奨している。また、一度使用した金型の場合、冷却穴は少なからず発錆しており、この状態でEX-G処理をすると同じく皮膜が剥離してしまうことから、使用済みの金型に対してはEX-G処理を引き受けることをお断りしている。

一方ST-R処理は、冷却穴の表面を清浄にすることが可能な工法でもあるため、上記のようなEX-G処理を引き受けることができない金型に対して適用することができる。

日立金属工具鋼(株) 技術部 熱処理技術グループ長 庄司 寛

クマガイ特殊鋼、ファイバーレーザ導入 切板の小口・多品種対応強化

クマガイ特殊鋼は数年来の設備増強、更新を完了し、生産体制・社内環境の整備を終えた。最新鋭ファイバーレーザ加工機を3月に導入、稼働を開始して切板製品の小ロット・多品種対応力強化を図ったほか、下工程の能力も高めた。事務所改修、ホームページ刷新など社内環境、販売面の機能強化で基盤整備を進めており、社全体の生産性向上を販売数量増につなげる。

旺盛な小ロット・多品種の製品需要を受け生産性向上が課題だったため、CO₂レーザ切断機をファイバーレーザ加工機に切り替え、対応強化を図る。2月中旬に据え付けを完了した。同社のファイバーレーザ機導入は初めて。

昨秋にはフライス盤およびバリ取り機を増設。下工程の能力増強と特殊鋼加工部門も強化しており、ファイバーレーザの導入により上下両工程の一連の整備が進んだ。(5月9日)

サハシ特殊鋼、プラント事業を強化 設備部品の物流サービス展開

サハシ特殊鋼はプラント事業の機能拡充を図る。これまでの設計、メンテナンスなどの一貫体制に加え、ユーザーの要請が強まる物流サービスを展開する。

プラント事業では設計や施工、据え付け、保全をワンストップで受注できる体制を構築。自動車関連工場の生産設備をはじめ、一般構造物や配管システムなどで納入実績を重ねている。物件ごとに部品を大量に保管する必要があるプラント製品は、需要家の在庫能力が足りず倉庫機能を外注し、ジャストインタイムでの納入を求めるケースが多い。このため、物流だけでなく梱包や仮組みま

でを担った実績を生かし、物流サービスを本格始動する。

15年秋から進める中期経営計画のプロジェクトチームに物流ソリューショングループを新設。ユーザーへの物流機能を含めた提案営業を積極化し、受注拡大を狙う。(4月25日)

大同DMソリューションが中計策定 3次元加工、表面処理を強化

大同DMソリューションは21年3月期を最終年度とする3カ年中期計画をまとめた。国内では金型部材の3次元加工やPVDなどの表面処理を強化する。10カ国に拠点展開する海外ではインドを増強するとともに、中国・米国での新たな拠点開設も検討する。国内外合計の経常利益は18年3月期で受取配当などを除いた実力ベース14億円に対し、最終年度20億円を目指す。

設備投資は国内外合計で56億円を見込む。金型部材加工事業では3次元加工の加工能力を高めるとともに、技術力のある加工業者のM&Aを進めていく。12月には大阪に3Dプリンターも導入する。

表面処理事業では大阪にPVD装置、静岡と相模にガス窒化装置を今夏に導入する。車体のハイテン化で金型の性能向上が求められるなか、大同特殊鋼の素材と自社の表面処理、3次元加工の技術を生かし、ワンストップで高機能な金型を供給できる体制を整える。(5月29日)

大洋商事の海外子会社の売上高 初の100億円超え

大洋商事の海外子会社の17年売上高が114億円と初めて100億円を超えた。18年は130億円を見込む。大洋商事の18年1月期単独売上高との単純合算によるグループ売上高は過去最高の555億円で、今期は580億円を計画する。

大洋商事は近年、海外展開を加速している。04年に加工会社の大洋特殊金属(浙江)、06年に販売会社の大洋商貿(平湖)を設立。08年に韓国に大洋コリアを設立し、タイでも現地法人を立ち上げた。タイでは12年に販売会社のサイアム大洋商事を設立し、タイの商社機能を同社に一本化。14年には大洋商貿の上海拠点も開設した。

その後も16年に大洋特殊金属(浙江)を移転・拡張し、17年に熱間鍛造合弁のタイディ・メタル・タイランドの営業生産を開始し、米国販売会社のタイヨー・アメリカスを設立。米国会社の本格営業は今秋開始の予定だが、既存拠点の事業が着実に拡大している。(5月7日)

テクノタジマが3カ年中期計画 設備増強、技能向上に注力

テクノタジマは、20年度を最終年度とする3カ年中期経営計画を策定した。設備増強による生産性向上を進めつつ、社員の技能向上を促進し、この両輪で体質強化や利益率向上を図る。需要家などとの連携も深める方針で、新規分野開拓、既存ユーザーへの拡販を通じた扱い数量増も目指す。

新中計で旗印とするのは「3T (Top・Try・Together)」。「Top」では厚板溶断、製缶、機械加工などの各セグメントにおける担当者の技術をトップレベルに引き上げるため、勤続年次を超えた技術交流を促す。

「Try」は技術力アップを目的に、資格取得や新設備の導入、同業者の工場訪問など社員の挑戦を会社が支援することにより、各自の能力を高めるのが狙い。

「Together」では、一貫体制の強みを発揮するため工程間の連携を強化するとともに、同業やステークホルダーとの協業を図る。(4月23日)

業界のうごき

日金スチール、前期経常益最高5億円 自動車、精密機器向けが好調

日金スチールの18年3月期単独決算は売上高189億900万円、経常利益5億1,100万円、純利益3億3,000万円で経常利益、純利益はニッケルバブル期の07年度を超えて過去最高だった。売上高経常利益率は2.70%、DEレシオは1.21とともに過去最高。売上高の過去最高は07年度の283億7,000万円だが、当時のステンレス販売単価などを考慮すれば、売上高も内容的には過去最高。

需要面では自動車、精密機器関連が好調で建材関連も堅調。ゲーム機器のシャーシ関連、携帯端末の部品関連などの販売好調も業績を押し上げた。販売数量に占める日本金属の製品の構成比は65%で例年より低下した。日本金属材の販売も伸びたが、他社材の販売がそれ以上に伸びた。

認証取得では、従来は品質ISOを日本金属に準拠して営業部門で取得していたが、新たに単独で全社ベースの品質、環境ISO認証を取得した。

(5月16日)

日鉄住金物産、3年で500億円投資 新中期策定、20年度に経常益440億円

日鉄住金物産は3年間で500億円投資する。新中期経営計画において、事業投資と設備投資では各事業分野においてM&Aを含む戦略投資を積極的に検討・実行する」方針。鉄鋼では「品質安全・設備更新」「海外の拠点对策」「国内の商社・流通再編対応」「半導体・電池・モーターなどのサプライチェーンへ入ること」などをターゲットとする。普通鋼だけでなく特殊鋼やアルミなど非鉄金属、半導体用部品なども含めて幅広く検討する。

鉄鋼事業の取扱数量は18年3月期に単独1,334万トンと前期比42万トン

減少した。連結では1,650万トンだった。新中期では18年度は連結2,000万トン超～2,200万トン、20年度に2,400万トン（うち海外が半分）を目指す。

20年度の全社定量目標は売上高2兆8,000億円、経常利益440億円、純利益260億円。自己資本比率は25～30%、ネットDEレシオは1.0倍程度、ROE10%程度。

(5月11日)

白鷺特殊鋼、関西加工センター本稼働へ 鍛造から機械加工まで一貫体制

白鷺特殊鋼の関連会社で機械加工のハクロマシナリー関西加工センター（兵庫県加西市）が6月1日から本格稼働に入る。同センターは、関連会社でフリー鍛造のハクロフォージング関西事業所の敷地内にあり、鍛造から機械加工までの一貫体制が整う。今後は構造用鋼だけでなく高級鋼も扱い、事業領域を広げていく。

同センターは工場面積が約4,000平方メートルで、5面加工が可能な門型マシニングセンターやCNC大型旋盤を設置。加工能力は門型マシニングセンターが幅3,100ミリ、高さ1,500ミリ、長さ5,800ミリまで対応。CNC大型旋盤は直径1,800ミリ、長さ10メートルまで対応している。

これらの設備により約30トンまでの精密機械加工ができる。切断機は1,300ミリ径と1,000ミリ径まで対応できる帯鋸切断機を各1基ずつ設置。今後1基増設し3基体制にする。クレーンは30トン、20トンをそれぞれ2基ずつ設置している。

(5月28日)

高周波鍛造の新鍛造ラインが稼働 生産性40%向上、生型製品を拡販

日本高周波鋼業グループの高周波鍛造は本社工場で新鍛造ラインを完成し、稼働を開始した。小物製品対象の生型鍛造ラインを老朽更新し、生産性を40%高めた。生産負荷の高い主力の中大物品用ラインから生産

を一部移管し、ライン間の生産負荷バランスを適正化するとともに新規拡販を進める。総投資額は約5億円。

現状はフル稼働でも顧客ニーズに対応し切れない状況で、今回の能力増強により生型製品全体の月間生産量を現行2,500トンから2,800トン（最大3,000トン）に拡大していく。

機械設備能力増強と歩留まり改善を合わせて40%の生産性向上を見込む。4月から試作品鍛造を行い、客先の承認を得たアイテムについて新鍛造ラインでの量産を順次開始する。18年度末までに新旧ラインの生産移行を完了する。小物用ラインによる月産量は現行400トンで、19年に700トンを目指す。

(4月12日)

JFEホールディングスが新中計 設備・事業投資、3年で1兆円

JFEホールディングスは18年度から3カ年の中期経営計画を策定した。財務目標は連結経常利益で2,800億円（年平均、17年度実績は2,163億円）。うち2,200億円を鉄鋼事業（JFEスチール）で確保する。3年間の総投資額（設備・事業）は1兆円規模。国内で9千億円規模、海外で1千億円規模を投資する。

JFEスチールは年間粗鋼生産3,000万トンを安定して生産できる体制を目指す。その上で、ITの積極活用などを通じた生産性向上策に加え、3年間で1,050億円のコスト削減を計画。収益力をさらに高める。

国内設備投資額は8,500億円規模とする。自動車の軽量化ニーズ、社会インフラ更新ニーズの拡大などをにらみ、研究開発投資に3年間で1,100億円（前中計比10%増）を投じる。

海外では中計期間中に複数の海外拠点の稼働を予定する。各プロジェクトの立ち上げに全力を挙げるとともに、収益拡大の取り組みをグループ一体で推進する。

(4月27日)

下村特殊精工、品質管理体制を強化 検査機器、切断機など導入

下村特殊精工は品質管理と研磨工程を強化するため、国内外で設備投資を実施する。国内では引き合いが増えている軸受鋼の品質管理を強化するため、超音波探傷機や面取り機、切断機を新たに導入する。研磨事業では、前期（18年3月期）に研磨（センチレス）機を2基導入したのに続き、今期は倉庫ラック棚からの供給装置を導入して生産効率化を図る。

海外子会社では、中国の下村特殊精工・蘇州（STSS）が自動車関連部品向けにシフトしたことで、業績が大きく好転。自動車関連向け比率が全体の6割程度に拡大し、17年12月期に累損解消も果たした。今期は現地の研磨の需要増に対して研磨機を新たに2基導入する予定だ。1基は新設、もう1基はマレーシアの子会社、オリエンタル・シモムラ・ドロイング（OSD）からオーバーホール後に移設する。（4月16日）

新日鉄住金、日新製鋼を完全子会社化 ステンレス鋼板事業、NSSCに集約

新日鉄住金は18年1月1日付で日新製鋼を完全子会社にするともに、新日鉄住金ステンレス（NSSC）、日新製鋼がそれぞれ手掛けるステンレス鋼板事業を同年4月1日付でNSSCに集約する。新日鉄住金、日新製鋼は4月に社名を日本製鉄（にっぽんせいいてつ）、日鉄日新製鋼に変更する。

新日鉄住金は17年3月に日新製鋼への出資比率を51%に引き上げ、両社間で営業連携や生産体制の見直しなどを進めてきた。連携効果をさらに深化させるには、意思決定のスピードが速まる完全子会社化が不可欠と判断した。統合効果では、昨年3月の子会社化による効果（年200億円）に加えて100億円の上積みを見込む。

統合後のステンレス粗鋼生産規模は年180万トンで世界9位に浮上する。普通鋼事業でも連携強化策をさらに深化させる。生産体制の最適化を引き続き検討するほか、両社のグループ会社の再編・統合を進める。（5月17日）

日本金属・板橋の新熱処理ライン稼働 BA製品の能力増強

日本金属は板橋工場で新しい薄物熱処理ラインを3月末に完成し、4月から稼働を開始した。新ライン建設は自動車用モール材や電池関連などステンレスBA（光輝焼鈍）製品の受注増に対応したもの。BAとTA（テンションアニール＝応力除去、形状矯正などを行う）の兼用ラインだが、当面はTA専用として使う。

既存のBA・TA兼用ライン（2基）で行っている処理のうち、TAを新ラインに移すことによりBAの生産余力をつくり出す。新しい薄物熱処理ラインの稼働に伴い、老朽化しているTA専用ライン2基は休止・撤去する。

新ラインは同社の薄物熱処理技術のノウハウを網羅した高効率ラインで、仕様は板厚0.05～0.50ミリメートル、最大板幅750ミリメートル。処理能力は月180トン。

来週17日に下川康志社長、根本恵央副社長らが出席し新ラインの始動式を行う。（4月10日）

ネツレン、新商品・新規事業の売上比率 19年3月期11%に拡大へ

ネツレン（高周波熱錬）の連結売上高に占める新商品・新規事業の比率は今期（19年3月期）に11%と前期比3ポイント上昇する見通しだ。

一本で普通強度と高強度の2種の強度を合わせ持つ部分高強度鉄筋「ダブルスターク」の採用が高層マンションで拡大。火災や油が不要な革新的な熱処理「マイルド浸炭」の

開発で、自動車の燃費改善と静粛性を背景に市場ニーズが高まるAT（オートマチックトランスミッション）の多段化に対応し、AT用歯車部品が増産にシフトする見込み。DH（直接通電加熱）を用いたホットプレス技術の適用拡大にも取り組んでおり、自動車の軽量化ニーズの実現に向けてDH加熱のソリューションを事業化するほか、IoTとAIによる製造支援システムの販売を検討する。

一連の施策を通じて、今期は連結売上高520億円のうち新商品・新規事業が58億円にのぼる計画を立てている。（5月25日）

日立金属の「GRIT」研究棟が完成 次世代先端材料の開発強化

日立金属は新事業創生を担うコーポレート研究所、「グローバル技術革新センター」（GRIT）の研究棟を埼玉県熊谷市に完成した。電気自動車への期待の高まりやIoTやAIを活用した生産革新の進展など環境が変わる中、材料技術・製品における脅威と機会を視野に入れて中長期研究テーマに注力し、次世代先端材料の開発を強化する。

GRITは各カンパニーの研究開発組織に対する横串機能も持つ。旧生産システム研究所の機能も引き継いでおり、未来志向型のプロセス研究テーマにも取り組む。顧客との協創を促すコラボレーションエリアや3Dプリンターを用いたオープン・ラボを設置するなど、社外との交流の場としても活用し、イノベーション創出を目指す。

磁石部門では磁性材料研究所を山崎（大阪）から移転し同床化した。敷地内に革新的磁石生産ラインを擁する熊谷磁材工場もあり、熊谷は高性能磁石に関する発信基地にもなる。

（4月17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		
'16 暦年	242,925	4,713,936	3,593,009	8,306,945	411,650	939,192	2,784,129	590,795	5,485,686	676,186	10,887,638	19,437,508
'17 暦年	262,744	5,014,549	3,947,953	8,962,502	438,097	1,011,176	2,850,849	629,459	5,562,736	609,458	11,101,775	20,327,021
'16 年度	246,763	4,786,841	3,677,564	8,464,405	424,465	951,774	2,803,875	602,844	5,496,896	657,374	10,937,228	19,648,396
'17 年度	268,659	5,058,907	4,010,098	9,069,005	434,231	1,025,656	2,898,689	637,160	5,672,002	575,660	11,243,398	20,581,062
'17. 4- 6月	65,757	1,260,671	1,002,442	2,263,113	106,454	256,504	681,063	162,754	1,424,419	156,719	2,787,913	5,116,783
7- 9月	61,691	1,248,678	987,307	2,235,985	108,176	260,345	709,255	157,807	1,364,954	145,998	2,746,535	5,044,211
10-12月	70,341	1,263,666	1,004,185	2,267,851	112,789	254,594	742,928	157,477	1,417,277	141,752	2,826,817	5,165,009
'18. 1- 3月	70,870	1,285,892	1,016,164	2,302,056	106,812	254,213	765,443	159,122	1,465,352	131,191	2,882,133	5,255,059
'17年 3月	24,115	434,626	341,489	776,115	40,033	85,814	245,106	53,341	480,674	58,906	963,874	1,764,104
4月	20,766	413,194	320,583	733,777	34,000	82,220	245,262	50,063	505,150	60,497	977,192	1,731,735
5月	21,780	424,232	339,881	764,113	36,829	86,446	227,236	54,178	465,489	48,755	918,933	1,704,826
6月	23,211	423,245	341,978	765,223	35,625	87,838	208,565	58,513	453,780	47,467	891,788	1,680,222
7月	21,697	410,991	331,437	742,428	36,116	83,830	215,600	53,597	469,109	50,197	908,449	1,672,574
8月	19,070	412,465	316,988	729,453	35,234	84,957	246,038	50,577	437,021	48,209	902,036	1,650,559
9月	20,924	425,222	338,882	764,104	36,826	91,558	247,617	53,633	458,824	47,592	936,050	1,721,078
10月	22,974	427,686	343,071	770,757	37,201	86,089	260,625	54,070	465,179	45,738	948,902	1,742,633
11月	23,484	414,568	339,914	754,482	35,577	82,482	230,464	54,755	505,672	45,594	954,544	1,732,510
12月	23,883	421,412	321,200	742,612	40,011	86,023	251,839	48,652	446,426	50,420	923,371	1,689,866
'18年 1月	25,405	416,166	330,912	747,078	32,645	80,134	254,983	48,909	490,017	41,920	948,608	1,721,091
2月	22,269	413,700	329,122	742,822	34,205	84,183	246,564	52,284	466,132	42,438	925,806	1,690,897
3月	23,196	456,026	356,130	812,156	39,962	89,896	263,896	57,929	509,203	46,833	1,007,719	1,843,071
4月	24,591	431,808	346,133	777,941	35,531	85,313	242,146	52,231	470,100	51,271	936,592	1,739,124
前 月 比	106.0	94.7	97.2	95.8	88.9	94.9	91.8	90.2	92.3	109.5	92.9	94.4
前年同月比	118.4	104.5	108.0	106.0	104.5	103.8	98.7	104.3	93.1	84.7	95.8	100.4

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
'16 暦年	309,707	5,756,252	989,696	4,173,511	2,001,827	6,218,161	19,449,154
'17 暦年	345,018	6,272,447	1,112,835	4,249,655	r 1,716,315	6,648,155	r 20,344,425
'16 年度	313,559	5,917,546	984,067	4,202,470	1,954,496	6,287,894	19,660,032
'17 年度	347,415	6,340,621	1,168,193	4,199,478	1,780,457	6,761,726	20,597,890
'17. 4- 6月	77,687	1,596,581	276,680	1,053,309	r 434,389	1,681,050	r 5,119,696
7- 9月	90,841	1,532,307	301,849	1,069,880	381,691	1,675,956	5,052,524
10-12月	90,625	1,609,879	287,199	1,035,719	489,706	1,655,146	5,168,274
'18. 1- 3月	88,262	1,601,854	302,465	1,040,570	474,671	1,749,574	5,257,396
'17年 3月	19,609	557,400	83,958	384,586	157,121	562,401	1,765,075
4月	22,545	509,877	98,030	347,221	182,910	572,123	1,732,706
5月	24,514	539,243	84,823	360,133	r 123,087	573,997	r 1,705,797
6月	30,628	547,461	93,827	345,955	128,392	534,930	1,681,193
7月	28,042	507,452	104,789	353,466	119,777	560,019	1,673,545
8月	37,454	486,587	101,611	354,234	124,294	547,350	1,651,530
9月	25,345	538,268	95,449	362,180	137,620	568,587	1,727,449
10月	25,413	546,707	103,549	348,344	157,441	562,150	1,743,604
11月	26,488	543,097	92,161	340,262	173,474	557,999	1,733,481
12月	38,724	520,075	91,489	347,113	158,791	534,997	1,691,189
'18年 1月	24,783	503,655	106,730	336,364	161,704	588,826	1,722,062
2月	38,239	522,438	93,448	334,540	148,568	554,635	1,691,868
3月	25,240	575,761	102,287	369,666	164,399	606,113	1,843,466
4月	41,111	525,948	113,196	359,675	154,446	545,719	1,740,095
前 月 比	162.9	91.3	110.7	97.3	93.9	90.0	94.4
前年同月比	182.4	103.2	115.5	103.6	84.4	95.4	100.4

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							合 計
		機械構造用炭素鋼	構 造 用 金 鋼	計	ばね鋼	軸受鋼	ス テ ン ス 鋼	快 削 鋼	高 抗 張 力	そ の 他	計	
'16 暦 年	318,284	3,793,728	4,159,973	7,953,701	249,025	502,736	3,043,035	167,359	100,734	40,543	4,103,432	12,375,417
'17 暦 年	328,624	3,662,276	3,174,867	6,837,143	209,980	558,894	2,401,141	182,809	98,145	56,347	3,507,316	10,673,083
'16 年 度	317,816	3,843,693	4,224,447	8,068,140	255,982	531,825	3,063,505	170,660	95,118	43,717	4,160,807	12,546,763
'17 年 度	328,965	3,482,828	2,582,257	6,065,085	169,371	561,237	2,045,095	180,396	100,874	56,424	3,113,397	9,507,447
'17年 8月	25,461	265,973	153,450	419,423	10,327	43,102	137,728	13,543	7,294	3,626	215,620	660,504
9月	26,498	268,720	165,598	434,318	10,911	45,406	145,671	15,090	7,180	4,426	228,684	689,500
10月	28,979	277,714	170,883	448,597	11,705	47,226	140,848	14,961	8,920	2,897	226,557	704,133
11月	28,398	278,848	168,765	447,613	10,738	47,920	151,762	15,783	8,463	3,158	237,824	713,835
12月	29,260	265,263	160,609	425,872	8,597	45,725	133,012	14,952	9,080	9,077	220,443	675,575
'18年 1月	24,955	267,390	155,052	412,442	7,734	44,319	136,791	13,074	7,047	3,729	212,694	650,091
2月	26,994	267,234	163,721	430,955	10,781	45,594	140,333	14,933	8,668	3,957	224,266	682,215
3月	29,627	297,646	170,368	468,014	9,416	50,557	149,668	15,581	8,188	4,569	237,979	735,620
4月	26,906	286,104	165,514	451,618	9,821	47,220	138,136	14,591	8,954	3,939	222,661	701,185
前 月 比	90.8	96.1	97.2	96.5	104.3	93.4	92.3	93.6	109.4	86.2	93.6	95.3
前年同月比	101.2	84.4	46.1	64.7	37.4	104.7	53.7	95.8	135.3	95.5	62.8	65.0

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) 平成30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							合 計
		機械構造用炭素鋼	構 造 用 金 鋼	計	ばね鋼	軸受鋼	ス テ ン ス 鋼	快 削 鋼	高 抗 張 力	そ の 他	計	
'16 暦 年	6,840	239,158	136,648	375,806	23,596	36,680	122,241	27,149	191,633	26,245	427,544	810,190
'17 暦 年	7,366	231,844	127,052	358,896	33,141	32,395	122,991	26,401	188,923	21,699	425,550	791,812
'16 年 度	7,525	214,217	129,129	343,346	27,751	31,790	109,641	27,312	185,309	31,761	413,564	764,435
'17 年 度	6,776	223,466	121,672	345,138	32,300	31,384	119,951	28,451	175,114	21,424	408,624	760,538
'17年 8月	6,712	239,177	129,707	368,884	29,349	34,877	127,059	31,715	196,721	27,616	447,337	822,933
9月	5,208	236,500	127,532	364,032	31,952	36,045	129,858	30,550	184,771	25,474	438,650	807,890
10月	6,472	251,052	136,053	387,105	34,643	32,781	126,329	29,851	191,332	28,986	443,922	837,499
11月	6,784	236,134	131,208	367,342	31,628	32,570	117,677	30,301	213,023	20,701	445,900	820,026
12月	7,366	231,844	127,052	358,896	33,141	32,395	122,991	26,401	188,923	21,699	425,550	791,812
'18年 1月	8,868	245,602	134,453	380,055	33,832	33,324	132,474	29,620	211,156	23,253	463,659	852,582
2月	7,139	245,057	127,713	372,770	30,674	32,725	130,560	32,094	189,622	24,145	439,820	819,729
3月	6,776	223,466	121,672	345,138	32,300	31,384	119,951	28,451	175,114	21,424	408,624	760,538
4月	7,481	231,844	158,570	390,414	27,674	33,572	132,261	29,696	190,760	24,359	438,322	836,217
前 月 比	110.4	103.7	130.3	113.1	85.7	107.0	110.3	104.4	108.9	113.7	107.3	110.0
前年同月比	100.6	103.5	121.8	110.2	106.3	100.1	118.6	113.5	95.6	65.3	101.0	105.1

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 金 鋼	計	ばね鋼	軸受鋼	ス テ ン ス 鋼	快 削 鋼	高 抗 張 力	そ の 他	計	
'16 暦 年	58,237	187,464	141,858	329,322	14,527	58,916	129,697	11,828	10,737	1,619	227,324	614,883
'17 暦 年	55,932	183,466	146,595	330,061	12,917	53,973	144,088	9,965	10,293	2,213	233,449	619,442
'16 年 度	57,869	190,684	145,813	336,497	20,955	59,768	141,859	11,460	10,537	2,252	246,831	641,197
'17 年 度	65,001	195,049	149,069	344,118	12,899	52,740	161,067	10,837	10,373	2,192	250,108	659,227
'17年 8月	57,262	188,066	147,969	336,035	14,704	59,022	147,117	13,063	10,442	2,012	246,360	639,657
9月	57,986	189,964	148,129	338,093	14,923	57,613	145,212	11,852	10,257	2,111	241,968	638,047
10月	55,392	176,640	138,536	315,176	12,403	54,606	138,789	12,755	10,264	1,805	230,622	601,190
11月	55,049	172,475	139,703	312,178	12,582	53,471	142,015	11,851	9,859	2,086	231,864	599,091
12月	55,932	183,466	146,595	330,061	12,917	53,973	144,088	9,965	10,293	2,213	233,449	619,442
'18年 1月	56,918	180,738	144,204	324,942	8,003	50,290	149,549	9,889	10,137	2,340	230,208	612,068
2月	56,928	177,864	141,600	319,464	12,238	49,473	148,964	9,417	10,135	2,263	232,490	608,882
3月	65,001	195,049	149,069	344,118	12,899	52,740	161,067	10,837	10,373	2,192	250,108	659,227
4月	66,117	195,937	151,534	347,471	12,865	55,010	160,781	9,373	10,848	2,019	250,896	664,484
前 月 比	101.7	100.5	101.7	101.0	99.7	104.3	99.8	86.5	104.6	92.1	100.3	100.8
前年同月比	112.8	105.2	109.2	106.9	60.8	94.0	122.0	90.3	105.6	95.1	107.1	107.5

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) 平成30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	ピアノ 線 材	計	高炭素鋼	その他 合金鋼	計	
'16 暦 年	43,539	412,511	530,319	942,830	182,238	1,015,301	146,993	1,344,532	10,111	6,088,581	6,098,693	8,429,594
'17 暦 年	42,292	453,298	604,953	1,058,252	187,297	991,116	120,960	1,299,372	5,337	5,872,203	5,877,539	8,277,455
'16 年 度	44,566	429,850	558,646	988,496	188,175	1,022,853	137,846	1,348,875	9,298	6,153,697	6,162,994	8,544,931
'17 年 度	42,058	459,167	611,145	1,070,312	187,017	986,796	110,363	1,284,173	5,038	5,734,097	5,739,251	8,135,682
'17年 7月	3,740	42,073	48,296	90,369	14,664	78,513	8,710	101,887	475	480,293	480,768	676,764
8月	3,098	34,285	39,408	73,693	14,841	75,110	10,383	100,334	325	445,584	445,909	623,034
9月	3,284	38,942	54,791	93,733	15,548	77,006	9,533	102,087	234	460,892	461,126	660,230
10月	3,320	39,359	49,058	88,417	16,709	85,142	8,080	109,931	522	434,201	434,723	636,391
11月	3,238	34,163	48,578	82,740	14,735	84,359	6,860	105,953	514	534,479	534,992	726,924
12月	3,427	42,403	56,409	98,812	18,181	90,161	8,187	116,528	533	486,991	487,524	706,291
'18年 1月	2,974	32,313	44,636	76,949	13,978	79,911	6,384	100,274	334	482,357	482,691	662,887
2月	3,631	39,324	49,787	89,110	16,575	75,054	9,264	100,893	360	458,181	458,542	652,176
3月	4,096	45,894	60,333	106,227	17,200	92,492	6,894	116,586	462	482,661	483,123	710,031
4月	4,117	35,893	49,877	85,770	17,248	78,116	6,427	101,790	285	423,255	423,539	615,216
前 月 比	100.5	78.2	82.7	80.7	100.3	84.5	93.2	87.3	61.6	87.7	87.7	86.6
前年同月比	103.2	99.8	97.7	98.6	111.3	93.1	52.5	91.1	54.1	95.5	95.4	95.2

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	
'16 暦 年	3,441	3,369	666	10,616	11,054	172,316	14,549	209,200	70	16,478	857,976	874,454	1,090,534
'17 暦 年	3,597	3,665	779	12,136	12,315	206,740	16,077	248,047	127	10,199	599,044	609,243	864,679
'16 年 度	3,179	3,551	643	11,306	11,294	173,146	14,752	211,141	64	15,748	767,618	783,366	1,001,302
'17 年 度	3,720	3,649	896	11,567	11,437	216,687	16,435	257,022	125	8,434	544,543	552,977	817,491
'17年 7月	289	261	126	908	792	20,849	1,365	24,040	42	339	75,705	76,045	100,677
8月	307	228	19	1,080	807	14,420	1,171	17,497	18	1,109	61,444	62,553	80,603
9月	359	357	43	1,266	1,169	15,436	1,181	19,096	16	215	25,274	25,489	45,317
10月	304	196	79	850	1,242	16,084	1,428	19,683	-	744	37,394	38,138	58,322
11月	338	331	46	1,175	1,261	18,168	1,095	21,745	13	490	36,220	36,710	59,137
12月	182	392	120	847	1,191	14,490	1,419	18,066	9	1,016	26,738	27,754	46,402
'18年 1月	310	288	121	803	757	14,786	1,250	17,716	-	272	26,425	26,696	45,011
2月	254	303	103	953	622	24,261	1,222	27,160	2	695	28,653	29,348	57,066
3月	345	357	59	875	774	17,742	1,548	20,999	8	230	30,088	30,318	52,027
p 4月	274	302	131	828	932	22,867	1,284	26,042	1	97	43,272	43,369	69,987
前 月 比	79.4	84.6	223.0	94.5	120.4	128.9	82.9	124.0	9.0	42.0	143.8	143.0	134.5
前年同月比	84.0	148.6	504.4	84.7	114.8	155.6	79.6	143.7	141.5	12.6	78.5	77.6	93.9

出所：財務省関税局『貿易統計』から作成。

(注) p:速報値

関連産業指標推移

(単位：台)

(単位：億円)

年 月	四輪自動車生産		四輪完成車輸出		新 車 登 録・ 軽自動車販売		建設機械生産		産業車輛生産		機 械 受注額	産業機械 受注額	工作機械 受注額
	うち トラック	うち トラック	うち トラック	うち トラック	うち トラック	うち トラック	ブル ドーザ	パワー ショベル	フォーク リフト	ショベル トラック			
'16 暦 年	9,204,702	1,201,073	4,634,033	383,959	4,970,258	808,302	-	154,214	109,243	10,437	102,600	56,089	12,500
'17 暦 年	9,690,674	1,219,741	4,705,848	368,407	5,234,165	832,195	-	178,930	113,932	11,460	101,431	50,328	16,456
'16 年 度	9,357,382	1,192,689	4,636,390	373,097	5,077,903	818,858	-	159,765	109,887	10,553	102,314	50,944	12,893
'17 年 度	9,683,262	1,224,728	4,786,909	362,966	5,197,109	832,361	-	182,533	116,204	11,544	101,451	49,284	17,803
'17年 7月	818,412	103,946	410,676	32,804	427,547	68,760	-	15,480	9,619	1,124	8,409	3,463	1,337
8月	695,912	89,950	359,536	26,690	355,307	62,707	-	14,709	8,435	1,017	8,679	4,147	1,335
9月	855,277	105,703	423,721	37,014	495,188	76,217	-	14,764	9,946	982	8,201	5,816	1,491
10月	831,078	103,260	411,277	30,469	372,469	60,732	-	15,609	10,561	1,018	8,419	3,001	1,407
11月	847,882	107,673	438,377	33,389	406,860	73,241	-	15,753	10,195	907	8,886	4,500	1,585
12月	797,843	99,899	433,390	29,700	394,253	63,022	-	16,015	9,569	851	8,060	4,383	1,659
'18年 1月	738,501	90,824	334,167	23,923	399,540	59,132	-	14,172	9,063	743	8,723	3,185	1,544
2月	r 857,122	r 106,794	416,546	29,133	r 473,876	70,962	-	14,795	9,641	813	8,910	3,972	1,552
3月	939,120	118,735	441,675	34,435	667,277	102,142	-	17,140	11,070	1,004	8,566	6,639	1,829
4月	-	-	432,137	29,268	366,155	60,094	-	15,483	9,693	736	9,431	3,393	1,631
前 月 比	-	-	97.8	85.0	54.9	58.8	-	90.3	87.6	73.3	110.1	51.1	89.2
前年同月比	-	-	116.2	106.7	103.2	106.7	-	107.9	108.0	83.8	112.8	139.0	122.0

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 1 8 年 4 月 分

鋼種別	項目	月別	実数 (t)	前月比 (%)	前年 同月比(%)	2015年基準 指数(%)
工 具 鋼	熱間圧延鋼材生産		24,591	106.0	118.4	119.3
	鋼材輸入実績		274	79.4	84.0	88.8
	販売業者	受入計	28,022	83.2	102.5	103.8
		販売計	26,906	90.8	101.2	102.4
		うち消費者向	19,556	89.6	102.1	103.4
		在庫計	66,117	101.7	112.8	111.9
	鋼材輸出船積実績		4,117	100.5	103.2	86.4
	生産者工場在庫		7,481	110.4	100.6	90.2
	総在庫		73,598	102.5	111.4	109.3
構 造 用 鋼	熱間圧延鋼材生産		777,941	95.8	106.0	113.7
	鋼材輸入実績		14,883	110.8	52.0	42.9
	販売業者	受入計	454,971	94.2	66.2	69.6
		販売計	451,618	96.5	64.7	69.1
		うち消費者向	328,131	96.5	73.8	74.7
		在庫計	347,471	101.0	106.9	98.7
	鋼材輸出船積実績		85,770	80.7	98.6	104.4
	生産者工場在庫		390,414	113.1	110.2	111.6
	総在庫		737,885	107.1	108.6	105.2
ば ね 鋼	熱間圧延鋼材生産		35,531	88.9	104.5	98.8
	鋼材輸入実績		302	84.6	148.6	74.2
	販売業者	受入計	9,787	97.7	37.0	46.2
		販売計	9,821	104.3	37.4	46.8
		うち消費者向	4,320	107.2	107.7	92.9
		在庫計	12,865	99.7	60.8	105.4
	鋼材輸出船積実績		17,248	100.3	111.3	109.7
	生産者工場在庫		27,674	85.7	106.3	107.2
	総在庫		40,539	89.7	85.9	106.6
ス テ ン レ ス 鋼	熱間圧延鋼材生産		242,146	91.8	98.7	105.4
	鋼材輸入実績		26,042	124.0	143.7	180.0
	販売業者	受入計	137,850	83.9	55.8	55.0
		販売計	138,136	92.3	53.7	55.0
		うち消費者向	62,055	92.2	108.0	111.0
		在庫計	160,781	99.8	122.0	117.6
	鋼材輸出船積実績		78,116	84.5	93.1	89.1
	生産者工場在庫		132,261	110.3	118.6	114.8
	総在庫		293,042	104.3	120.5	116.3
快 削 鋼	熱間圧延鋼材生産		52,231	90.2	104.3	101.8
	販売業者	受入計	13,127	77.5	92.8	92.8
		販売計	14,591	93.6	95.8	101.4
		うち消費者向	14,020	93.1	100.3	100.7
		在庫計	9,373	86.5	90.3	69.2
	生産者工場在庫		29,696	104.4	113.5	107.0
	総在庫		39,069	99.4	106.9	94.6
高 抗 張 力 鋼	熱間圧延鋼材生産		470,100	92.3	93.1	113.9
	販売業者	受入計	9,429	111.9	148.4	91.7
		販売計	8,954	109.4	135.3	88.0
		うち消費者向	6,736	109.9	137.9	100.5
		在庫計	10,848	104.6	105.6	98.9
	生産者工場在庫		190,760	108.9	95.6	100.6
	総在庫		201,608	108.7	96.1	100.5
そ の 他	熱間圧延鋼材生産		136,584	99.9	95.7	98.7
	販売業者	受入計	53,256	92.5	111.3	131.4
		販売計	51,159	92.8	103.9	126.2
		うち消費者向	38,322	92.0	111.6	104.3
		在庫計	57,029	103.8	94.1	107.3
	生産者工場在庫		57,931	109.7	81.8	83.7
	総在庫		114,960	106.7	87.4	94.0
特 殊 鋼 鋼 材 合 計	熱間圧延鋼材生産合計		1,739,124	94.4	100.4	110.6
	鋼材輸入実績計		69,987	134.5	93.9	86.1
	販売業者	受入計	706,442	91.3	66.9	69.4
		販売計	701,185	95.3	65.0	68.9
		うち消費者向	473,140	95.4	81.7	82.1
		在庫計	664,484	100.8	107.5	104.2
	鋼材輸出船積実績計		615,216	86.6	95.2	95.7
	生産者工場在庫		836,217	110.0	105.1	106.4
	総在庫		1,500,701	105.7	106.2	105.4

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) 1. 鋼材輸入実績は速報値を掲載。構造用鋼の鋼材輸入実績とは高炭素鋼の棒鋼及び合金鋼の棒鋼、線材を加算したもの。

2. 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

(平成30年4月1日～5月31日)

総会（5月29日）

- ①平成29年度事業報告書の件
- ②平成29年度決算報告書の件
- ③平成29年度公益目的支出計画実施報告書の件
- ④役員選任の件

理事会

第1回（書面）（5月14日）

- ①平成29年度事業報告について
- ②平成29年度決算について
- ③公益目的支出計画実施報告書について
- ③理事選任について
- ④各種委員会委員長及び委員変更について
- ⑤第37回総会招集について

第2回（5月29日）

副会長選定

運営委員会総務・財務分科会合同委員会（5月11日）

- ①平成29年度事業報告について
- ②平成28年度決算について
- ③公益目的支出計画実施報告書について
- ④役員選任について
- ⑤各種委員会委員長及び委員変更について
- ⑥第37回総会招集について

海外委員会

説明会（日本鉄鋼連盟、ステンレス協会、線材製品協会と共催）（5月29日）

演 題：貿易救済措置への対応

講 師：経済産業省通商政策局通商機構部国際経済紛争対策室室長補佐
西澤 瑞人 氏

演 題：貿易救済措置の活用

講 師：経済産業省貿易経済協力局貿易管理部特殊関税等調査室長
寺西 規子 氏

参加者：28名（特殊鋼倶楽部受付分）

市場開拓調査委員会（5月31日）

- ①平成29年度活動報告
- ②平成30年度活動計画の検討

編集委員会

小委員会（4月24日）

9月号特集「マルチマテリアル」（仮題）の編集内容及び執筆分担の検討

本委員会（5月15日）

- ①9月号特集「マルチマテリアル」（仮題）の編集方針、内容の確認
- ②平成31年1月号以降の特集テーマ選定

人材確保育成委員会

工場見学付新人研修講座

①座学編（4月26日）

参加者：20名

②工場見学会（5月17日）

場 所：愛知製鋼(株)知多工場

参加者：26名

流通委員会

説明会（4月6日）

演 題：「平成30年度第1・四半期の特殊鋼需要見通し」

講 師：経済産業省製造産業局金属課課長補佐
岡田 治 氏

参加者：19名

[大阪支部]

2団体共催説明会（全特協と共催）（4月20日）

演 題：「平成30年度第1・四半期の特殊鋼需要見通し」

講 師：経済産業省製造産業局金属課課長補佐
岡田 治 氏

参加者：51名

運営委員会（5月25日）

- ①平成29年度事業・収支報告
- ②平成30年度事業計画（案）・収支予算（案）・役員人事、他

平成29年度会計監査（5月25日）

[名古屋支部]

運営委員会（4月17日）

- ①平成29年度事業報告（案）・決算報告（案）について
- ②平成30年度事業計画（案）・収支予算（案）について
- ③創立50周年記念事業について
- ④第49回名古屋支部総会について
- ⑤その他報告事項

部会

ステンレス鋼部会（4月12日）

工具鋼部会（4月17日）

構造用鋼部会（4月20日）

二団体共催新入社員研修（4月16日）

- ①大同特殊鋼(株)知多工場見学
- ②講義Ⅰ：特殊鋼の知識
講 師：大同特殊鋼(株) 中村 剛 氏
- ③講義Ⅱ：社会人としての基礎マナー
講 師：キャプラン(株) 時久 麗香 氏
参加者：70名

経営者向けセミナー（5月28日）

テーマ：価格交渉に強くなる会社の作り方
講 師：中小企業診断士 水口 和美 氏
参加者：70名



特殊鋼倶楽部の動き

「夢みる鉄」マスコットキャラクター愛称決定について

1. 経緯

当倶楽部では特殊鋼PR活動の一環として、業界紹介パンフレット「夢みる鉄」を作成しました。このコンテンツに登場するマスコットキャラクターについては、映像コンテンツだけではなく、ぬいぐるみを作成し、会員会社等に配布してまいりました。

愛称があった方が、PRしやすいとのご意見をいただいたため、2月28日より愛称の公募を開始しました。

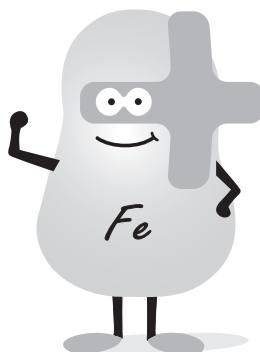
会員企業への案内書発信だけでなく、業界紙での紹介等により、5月1日の締め切りまでに、200件を超える応募がありました。

2. 選考方法

応募いただいた愛称を、当倶楽部人材確保育成委員会の委員にて選考していただき、委員長・事務局にて決定し、5月29日の総会にて発表しました。

3. 愛称

ゆめてつ
「夢鉄ちゃん」



4. 選定理由

- ・応募総数222件の内、「夢鉄（類似の「むてつ」「ゆめてつ」等を含む）」には、最多の10件の応募がありました。さらに「夢鉄」は委員選考でも最多票を獲得しました。
- ・「てっちゃん」は一般応募で、7件（3位）の応募があり、委員選考では「夢鉄」同数の最多票を獲得しました。
- ・以上により、2つを合体させてみてはどうか、また接尾語があるほうが親しみやすいとの委員長意見があり、「夢鉄ちゃん」と決定いたしました。

5. その他

商品（下記）については、6月下旬に発送いたしました。

図書カード5千円分、オリジナルぬいぐるみ、「夢みる鉄」パンフレット・ポスター

以上

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】		【販売業者会員】	
(正 会 員)			
製造業者	26社		
販売業者	103社		
合 計	129社		
【製造業者会員】			
愛 知 製 鋼 (株)		住友商事グローバルメタルズ(株)	日 立 金 属 商 事 (株)
秋 山 精 鋼 (株)		大 同 興 業 (株)	(株)日立ハイテクノロジーズ
(株)川 口 金 属 加 工		大同DMソリューション(株)	(株) 平 井
高 周 波 熱 錬 (株)		大 洋 商 事 (株)	(株) フ ク オ カ
合 同 製 鐵 (株)		大 和 興 業 (株)	藤 田 商 事 (株)
(株)神 戸 製 鋼 所		大 和 特 殊 鋼 (株)	古 池 鋼 業 (株)
山 陽 特 殊 製 鋼 (株)		(株)竹内ハガネ商行	(株) プ ル ー タ ス
J F E ス チ ール (株)		孟 鋼 鉄 (株)	(株) 堀 田 ハ ガ ネ
J X 金 属 (株)		田 島 ス チ ール (株)	(株)マクスコーポレーション
下 村 特 殊 精 工 (株)		辰 巳 屋 興 業 (株)	松 井 鋼 材 (株)
新 日 鐵 住 金 (株)		千 曲 鋼 材 (株)	三 沢 興 産 (株)
新 日 鐵 住 金 ス テ ン レ ス (株)		(株)テ ク ノ タ ジ マ	三 井 物 産 (株)
大 同 特 殊 鋼 (株)		(株) 鐵 鋼 社	三 井 物 産 ス チ ール (株)
高 砂 鐵 工 (株)		デルタステール(株)	(株) メ タ ル ワ ン
東 北 特 殊 鋼 (株)		(株) ト ー キ ン	(株)メタルワンチューブラー
日 新 製 鋼 (株)		東京貿易マテリアル(株)	(株)メタルワン特殊鋼
日 本 金 属 (株)		(株) 東 信 鋼 鉄	森 寅 鋼 業 (株)
日本高周波鋼業(株)		特 殊 鋼 機 (株)	(株) 山 一 ハ ガ ネ
日 本 精 線 (株)		豊 田 通 商 (株)	山 進 産 業 (株)
日本冶金工業(株)		中 川 特 殊 鋼 (株)	ヤ マ ト 特 殊 鋼 (株)
日 立 金 属 (株)		中 野 ハ ガ ネ (株)	山 野 鋼 材 (株)
(株)広島メタル&マシナリー		永 田 鋼 材 (株)	陽 鋼 物 産 (株)
(株) 不 二 越		名 古 屋 特 殊 鋼 (株)	菱 光 特 殊 鋼 (株)
三 菱 製 鋼 (株)		ナ ス 物 産 (株)	リ ン タ ツ (株)
ヤマシンスチール(株)		南 海 鋼 材 (株)	渡 辺 ハ ガ ネ (株)
理 研 製 鋼 (株)		日 金 ス チ ール (株)	
		日 鉄 住 金 物 産 (株)	
		日 鉄 住 金 物 産 特 殊 鋼 西 日 本 (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)	
		日 立 金 属 工 具 鋼 (株)	

“特集” 編集後記

前回の表面改質に関する特集は2007年9月号であり、10年以上の間が開いています。現在では当時に比べて更に製品の高付加価値化が進み、表面改質が必要不可欠になっているものが増えていきます。表面改質技術が大きく進歩している分野もあり、各用途に応じた特性向上が盛んに行われています。

弊社のグループ会社でも9年ほど前に表面処理事業を立上げ、金型へのPVD表面処理を実施するようになりました。特に自動車用骨格部品の強度向上が進んでおり、これを成形する金型用鋼材の特性だけでは満足した金型寿命を得る事ができなく、金型への表面処理が必要不可欠な状況となっています。また、これに伴い金型鋼材も表面処理に適した特性が得られるように特性改善が行われるようになるなど、これまでにない視点での材料研究も実施されました。特殊鋼の材料開発は出し尽くした感もありましたが、今後も、表面改質の進歩にともない特殊鋼も進歩して行くものと考え

られます。

表面改質には耐食性、耐摩耗性、潤滑性向上から、装飾特性向上など多くの目的があります。また、表面改質方法もショット、めっき、蒸着、浸炭、窒化、CVD、PVDなど多用で、様々な分野で適用されています。今回の特集に当たっては、表面改質が適用される分野に片寄りがないように幅広くテーマを取り上げました。執筆先の選定に苦労しましたが、編集委員の皆様のおかげで、何とか出版に漕ぎ着けることができました。

表面改質に対する期待は大きく、今後も大きく進歩していく分野だと思います。読者の皆様の知識向上に繋がり、少しでもこれからの業務にお役に立てば幸いです。

最後に、ご多忙の中本特集号に寄稿頂きました執筆者の皆様、編集委員の皆様および事務局の皆様にこの場を借りて厚く御礼申し上げます。

〔日本高周波鋼業(株) 技術部 殿村 剛志〕

特 集／最近の自動車用材料のトレンドとマルチマテリアル化

- I. 自動車のマルチマテリアル化の開発動向
- II. カーメーカーにおける材料技術の進化
- III. 部品メーカーにおける新素材のチャレンジ
- IV. 素材メーカーの取組み

11月号特集予定…ステンレス鋼及び耐熱鋼

特 殊 鋼

第 67 巻 第 4 号
©2018 年 7 月
平成30年6月25日 印 刷
平成30年7月1日 発 行

定 価 1,230円 送 料 100円
1年 国内7,300円（送料共）

発 行 所
一般社団法人 特 殊 鋼 倶 楽 部
Special Steel Association of Japan

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

編集発行人 小 澤 純 夫
印 刷 人 増 田 達 朗
印 刷 所 レタープレス株式会社

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