

特殊鋼

2022 11
Vol.71 No.6
The Special Steel

特集

進化する熱間工具鋼

特殊鋼

11

目次

2022

【編集委員】

委員長	迫間 保弘	(大同特殊鋼)
副委員長	白神 哲夫	(中川特殊鋼)
委員	宇田川 毅志	(愛知製鋼)
〃	吉原 直	(神戸製鋼所)
〃	西森 博	(山陽特殊製鋼)
〃	深瀬美紀子	(大同特殊鋼)
〃	青山 敦司	(日本製鉄)
〃	正能 久晴	(日本金属)
〃	谷井 一也	(日本高周波鋼業)
〃	吉田 統樹	(日本冶金工業)
〃	酒寄 一志	(日立金属)
〃	大石 裕之	(三菱製鋼)
〃	阿部 泰	(青山特殊鋼)
〃	高橋 秀幸	(伊藤忠丸紅特殊鋼)
〃	番場 義信	(UEX)
〃	池田 祐司	(三興鋼材)
〃	関谷 篤	(竹内ハガネ商行)
〃	平井 義人	(平井)

【特集／進化する熱間工具鋼】

I. 総論

「特殊鋼市場と技術動向」

—主として熱間工具鋼の動向について—

…………… 日原技術士事務所 日原 政彦 2

II. 熱間工具鋼の用途別材料

1. 温熱間鍛造…………… 山陽特殊製鋼(株) 難波 剛士 8
2. 熱間押し出し工具…………… 日本高周波鋼業(株) 根岸 茂利 11
3. ダイカスト…………… 日立金属(株) 渋谷 明秀 14
4. ホットスタンプ…………… 大同特殊鋼(株) 増田 哲也 18

III. 熱間工具鋼の周辺技術

1. 工具鋼の切削加工に関する研究動向

…………… 東京電機大学 松村 隆 21
…………… 足利大学 田村 昌一

2. 熱間工具鋼の熱処理…………… (株)カムス 小林 裕宜 25

3. 表面処理…………… 小山鋼材(株) 加田 善裕 29

4. ダイカスト金型の肉盛溶接補修
…………… 大同DMソリューション(株) 堀尾 浩次 32

IV. 会員会社の熱間工具鋼と関連技術

1. 高温強度に優れる新高性能ダイカスト

金型用鋼DAC-X®…………… 日立金属(株) 村崎 拓哉 35

2. 高強度高韌性ハンマー金型用鋼

「QTP®-HARMOTEX®」
…………… 山陽特殊製鋼(株) 難波 剛士 37

3. 日本高周波鋼業(株)の熱間工具鋼と関連技術

…………… 日本高周波鋼業(株) 谷井 一也 39

4. ホットスタンプ評価技術…………… 大同特殊鋼(株) 梅森 直樹 40

V. 工具鋼のブランド対照表

1. 熱間金型用鋼	41
2. 冷間金型用鋼	42
3. プラスチック金型用鋼	43
4. 高速度工具鋼	44

“特集”編集後記	大同特殊鋼(株) 深瀬美紀子	61
----------	----------------	----

●一人一題：「入社時の社宅の思い出」	大洋商事(株) 北代 広明	1
--------------------	---------------	---

■業界のうごき	45
▲特殊鋼統計資料	48
★倶楽部だより (2022年8月1日～9月30日)	52
☆特殊鋼倶楽部の動き	54
◇お知らせ メタルジャパン 東京展に恒例の出展	59
☆一般社団法人特殊鋼倶楽部 会員会社一覧	60

特集／「進化する熱間工具鋼」編集小委員会構成メンバー(2022年5月16日現在)

役名	氏名	会社名	役職名
小委員長	深瀬美紀子	大同特殊鋼(株)	技術開発研究所 企画室 主任部員
委員	吉原 直	(株)神戸製鋼所	鉄鋼アルミ事業部門 線材条鋼ユニット線材条鋼商品技術部グループ長
〃	西森 博	山陽特殊製鋼(株)	東京支社部長 市場開拓・CS
〃	青山 敦司	日本製鉄(株)	棒線事業部 棒線技術部 棒線技術室 室長
〃	谷井 一也	日本高周波鋼業(株)	富山製造所 技術部 開発室 課長
〃	吉田 統樹	日本冶金工業(株)	ソリューション営業部 課長
〃	酒寄 一志	日立金属(株)	金属材料事業本部 技術部長
〃	大石 裕之	三菱製鋼(株)	技術開発センター 製品評価グループ マネージャー
〃	高橋 秀幸	伊藤忠丸紅特殊鋼(株)	特殊鋼本部 前橋支店 支店長
〃	関谷 篤	(株)竹内ハガネ商行	技術部長
〃	白神 哲夫	中川特殊鋼(株)	フェロー

一人一題

「入社時の社宅の思い出」

大洋商事(株) 代表取締役社長 きた だい ひろ あき
北代 広明



特殊鋼倶楽部会員の皆様、初めまして。本年4月に大洋商事株式会社の代表取締役社長に就任しました北代広明と申します。弊社は1947年に創業し今年で75年を迎える特殊鋼専門商社です。どうぞ今後共よろしく願い申し上げます。

まずは新型コロナウイルス感染症によりお亡くなりになられた方々、ロシアのウクライナ進行によりお亡くなりになられた方々にお悔み申し上げます。

さて、今から34年前になります。私の入社当時を振り返りますと、昭和63年に大洋商事に入社し最初の勤務先が大阪支店からのスタートでした。当時はバブル景気が始まる前でIT関連が持て囃され、鉄鋼業界は不況で高炉の停止等が話題となっておりましたが、景気の悪い業界に就職すればいずれ景気も良くなるだろうとの甘い考えもあり、何より商社の営業はスマートでかっこいいとのイメージ（現実とは全く逆でした）が勝手に出来上がっていました。また当時はトレンドードラマが全盛で会社側から社宅はワンルームマンションを確保してくれているとの連絡があったため、田舎から都会に出てきた者としてはドラマのマンション生活を期待し胸を躍らせていました。期待と不安のあいだ社宅に行ってみると場所は当時の大阪支店から電車を乗り継ぎ約一時間の距離にあり、堺市の泉北ニュータウン地区にある単身者雇用促進住宅で男子棟、女子棟が各2棟ある大阪府が運営している古い高層大型宿泊施設で色々な職種の人達が混在しているところでした。初めて部屋の扉を開け驚いたのは部屋の広さでビジネスホテルのシングルルーム程、床はビーターイルの土足、畳一畳が乗った木製ベッド、壁に取り付けられた洗面台と鏡しかない無機質な部屋でベランダもエアコンも無く、洗面台の蛇口を捻ったときに赤茶けた水がでてきたのは衝撃でした。また各階のトイレ、洗濯機2台、コンロ2台、電話も共用で洗濯機の内側には幅5センチ程の黒い汚れが帯状に付着していました。風呂は1階の別棟にあり一度に20人程が入れる共用風呂でしたが、夜8時までで週1日は定休日、敷地内には学食のような食堂もありましたが営業は夜7時までで週1日の定休日に加え、最寄り駅前にはコンビニもなく商店も食堂を含め営業は夜8時までで閉店。夜ごはんは食べて帰れば大きな問題ではありませんでしたが、夏場に風呂に入れられないのはさすがに辛かったです。今では考えられないような環境の中で何とか約2年半を耐え忍びました。私以降はバブル景気のおかげもあり社宅も見直され、当時の駅前も再開発で当時とは全く違う環境になっていると思いますが、今でも鮮明に覚えている入社当時の思い出です。とりとめのない思い出話して恐縮でしたが、これからも大洋商事ともどもご指導ご鞭撻を賜りたく何卒よろしく願い申し上げます。

最後になります。一日も早いコロナ過の終息、世界各地で燦ぶる紛争の解決を心より祈っております。

特集

進化する熱間工具鋼

I. 総論

「特殊鋼市場と技術動向」 —主として熱間工具鋼の動向について—

日原技術士事務所 ひはらまさひこ
(元九州工業大学) 日原政彦

まえがき

各種の特殊鋼や工具鋼は金型用素材として多くの製品製造用「工具」として使用されている。これらの鋼種は寿命の安定化、高機能性および安定な製品製造を可能とするために高品質な材料特性が求められる。

近年では金型素材（工具鋼や特殊鋼）製造においても、各製鋼メーカーでCO₂排出削減の目標達成に向けて化石燃料由来の製鋼方式から再生可能エネルギー利用によるグリーン生産方式への変換が進められている。

また、製鋼工程での溶解、圧延、鍛造や熱処理においてもエネルギー削減方法および鋼材の高品質化・高寿命化やスクラップの再利用など、将来的に資源の有効活用やエネルギー削減を念頭に利用法が各国の製鋼メーカーにより検討されている。

本稿では、今日話題になっている特殊鋼製造における海外メーカーの技術動向について、CO₂排出削減対策やカーボンニュートラル（CN）への対応並びに熱間工具鋼の技術動向などについて、主に海外企業の限られた情報の範囲で紹介する。

◇ 粗鋼（鉄鋼）生産量の動向

鉄鋼材料は日常の社会生活および自動車産業、電子・情報通信機器産業、産業機械や建築産業並

びに再生可能エネルギー変換に伴う構造体や機器部品など、ありとあらゆる産業の基盤材料として重要な役割を果たしている。

世界における粗鋼生産量¹⁾は年間約19億1,200万トン（2021年）が生産・加工され市場に提供されている。2020年と比較しても中国以外は増加傾向を示し、64カ国における2020年の粗鋼生産量は全世界生産量の約98%を占めている（図1参照）。

世界鉄鋼協会（World Steel Association AISBL）の2021年度報告¹⁾によると64カ国の粗鋼生産量を2021年10月（単月）と比較すると1億4,570万トンで前年同月比と比較し10.6%減少しているが、この減少は大きな生産比率（約54%）を占める中国

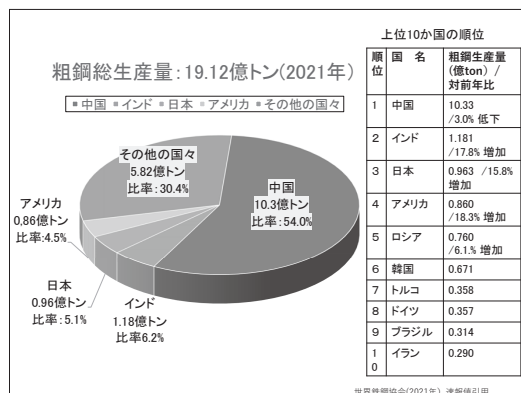


図 1 世界の粗鋼生産量（2021年）

の生産量の低下による影響が大きい。

なお、国別の生産量で比較すると、図1に示すように、中国、インド、日本、アメリカの上位4カ国で世界全体の70%を占めている。

1. 国内の特殊鋼生産動向

図2は日本国内における用途別特殊鋼生産量(2020年1~12月)を示す²⁾。特殊鋼総生産量は664万トンと全生産量に比べ少ないが、特殊鋼の用途には金型(次工用部品に含まれる)、自動車・輸送、航空機・宇宙、電気電子、半導体、医療用、民生用、家電、日用品など多くの産業分野に高品質で機能性の高い素材として供給されている。

また、日本における厚鋼板は船舶、建築構造物、産業機械、石油、天然ガスのパイプライン、風力発電用構造物などインフラ用材料としての需要が高く、粗鋼生産量の約10%に当たる1,000万トン程度が生産されている。

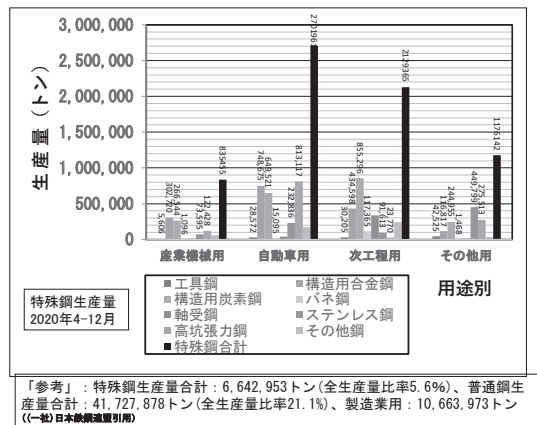


図2 日本の用途別特殊鋼生産量

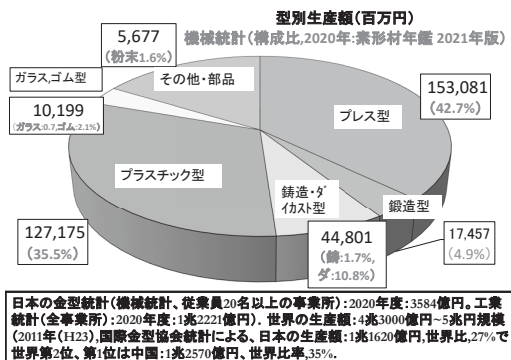


図3 工具鋼(金型)の業種別出荷額

図3は工具鋼(金型)の業種別出荷額と構成比率を示す。出荷額ではプラスチック成形用およびプレス成形用で約90%と他業種に比べ大きな比率を占めている。

しかし、各業種の工具鋼は求められる特性や品質が各々異なり、中でも熱間工具鋼は過酷な操業形態のために高品質で機能性の高い素材特性が要求される。

また、国際金型協会(ISTM)の統計においては日本、ドイツ、アメリカ、韓国および中国が市場規模と競争力から各種の工具鋼(金型)を使用した製品製造に大きく貢献している³⁾。

◇ 製鋼メーカーのCO₂削減への取り組み

経済産業省、資源エネルギー庁(2021年)による将来的な鉄鉄生産量の見通しは2030年から徐々に従来の高炉製鉄方式から水素還元製鉄やCO₂削減を目的とした生産方式に変換する計画を立てている。

鉄鋼産業におけるCO₂排出量は他の産業に比べて多くの割合を占めているのが現状であり、日本の鉄鋼業界ではカーボンニュートラル達成の宣言を受け製造エネルギー施策の見直しが行われている。2021年現在で電源構成の70%以上を占める火力発電の中で、25%は石炭火力発電であるが、今後縮小される傾向にある(図4参照⁴⁾)。

しかし、日本の石炭火力発電設備は高効率で知られており、これらの設備量や構造物材料の高寿命化の開発により、石炭とアンモニアの混焼やアンモニア単一燃焼にすることで、二酸化炭素の排

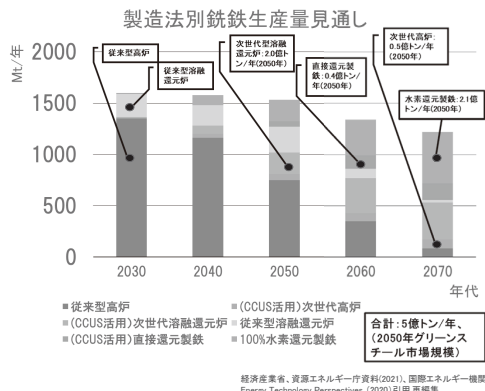


図4 製鋼法別鉄鉄の生産量見通し

出量を大幅に低減することが可能になり、再生可能エネルギーの不安定さをカバーしつつ安定な電源の一つとして火力発電設備の存続を検討している。

世界的には、2021年1月時点で日本を含む124か国と1地域が2050年までのカーボンニュートラルの実現を表明し、2060年までに中国の表明を含めると全世界の約2/3を占める多くの国々がカーボンニュートラル実現への意向を示している。

ヨーロッパ地域の製鋼メーカーにおけるCO₂排出削減に関する取り組みはCFP（Carbon Footprint of Product、製造品のライフサイクル全体の足跡）の考えに基づき、LCA（Life Cycle Assessment）の評価基準により対象製品の製造から廃棄までのトータルサイクルの評価システムの構築を目指している。

このCFPは製造時のCO₂削減対策だけでなく鉄鋼製品（特殊鋼）の製造、供給とその後の廃棄に至る製品のライフサイクル全体の取り組みを考慮したシステムになっている。

ヨーロッパにおける製鋼メーカーのフェスタアルピーニ社（Voestalpine）の生産量はグループ企業を含め年間720万トンが生産され各産業に供給されている⁵⁾。このグループでは環境保護を目的に2030年までに化石燃料の石炭を用いた高炉からグリーン電力で稼働する電気アーク炉への転換を進め、段階的な脱炭素化計画（グリーンスチールの生産）によりグリーンテック鋼（Greentech Steel）の生産を目指している。

この技術によりCO₂排出量は2030年までに約30%削減され、2050年までには鉄鋼生産プロセスを再生可能な「グリーン電力」と「グリーン水素」の技術開発を拡大し、将来的には完全にCO₂ニュートラル製品の生産を目標にしている。しかし、グリーン水素を利用して鉄鋼生産に切り替えるためには、再生可能なエネルギーによる電力が経済的に実現可能な価格になることが大前提になるとしている。

◇ 特殊鋼（工具鋼）のリサイクルへの取り組み

スウェーデンのウッデホルム（Uddeholm）社は2025～26年までに工具鋼製品の環境への影響を検証し、様々な鋼種におけるCFP（特殊鋼におけ

るカーボンフットプリント）達成への対策を進めている⁶⁾。

これらのCFP評価（ISO14040/44、EN15804規格並びにISO50001などを基準）の対象としたプラスチック成形用工具鋼（Stavax ESR材、JIS420J2相当材）は1960年代に開発されたステンレス系特殊鋼（プラスチック成形用鋼）であり、良好な耐食性と研磨性を持ち、ペットボトル、レンズ、各種汎用樹脂製品および医療用プラスチック製品など広い産業領域に使用されている。

同社の製品は使用時の安定性、長期的な金型寿命特性を持ち、通常のカーボンフットプリント型鋼材に比べて多くの利点を持っている。

最終製品に求められる品質要求の達成と製品の長寿命化を保証する製造工程では、電気炉での金属スクラップの製錬、ESR炉（Electro Slag Remelting）での再溶解・製錬、鍛造、圧延、機械加工、熱処理など、各プロセスのエネルギー使用量を削減するための効率的な製造方法の確立に取り組んでいる。

また、ウッデホルム社で取り扱っている12鋼種のリサイクル率は84%～98%であり、市場規模の大きい大半の鋼種は90%以上のリサイクル率を社内における品質管理体制の確立により達成している。

同様にオーストリアのボーラ社（Bohler⁷⁾）でもCO₂削減のために製鋼所で生産される特殊鋼素材は100%リサイクルが可能であり、使用済み鋼材の約80%が再利用され、76%はスクラップ由来の素材から作られている。

◇ 熱間工具鋼の開発動向

工具鋼（金型）は製造される製品群により、熱間系、プレス系、プラスチック系、ガラス・ゴム系および焼結系などに分類されるが、求められる品質や特性は個々に異なるが共に長時間の使用による製品の安定化、金型寿命の向上や生産性の向上に寄与する高品質な素材特性が求められる。

近年の熱間工具鋼は、EV・NEV車やハイブリッド車の普及に伴い、新しい構造部品やモビリティ部品生産に用いられるがパワートレインやトランスミッションといった従来の鋳造部品とは異なる課題が現れてきている。

特に、ダイカスト鋳造品の製造には金型内の冷却システムが非効率で加熱された金型キャビティ面に直接冷却水が塗布されると急冷によりクラックが非常に早く発生し寿命低下の問題が大きい。

ウッデホルム社によると、熱間工具鋼（SKD61ESR開発材、DIEVAR）の素材特性が向上した第2世代の鋼種を開発したと報告している⁶⁾。

この熱間系工具鋼は韌性値が従来材のH13（AISI規格）に比べて25ジュールの値を持ち、第1世代の19ジュール、NADCA A材の13.6ジュールやNADCA B材の10.6ジュールなどに比べ高い品質の素材特性を示している。

ダイカスト金型用工具鋼に発生する破壊形態の比率は、①大割れ（Gross cracking）が4%、②溶損（Erosion）は8%、焼き付き（Soldering）は8%、ヒートチェック（Heat checking）は80%になるとしている。このように操業中での欠陥発

生はヒートチェックを原因とした破壊が高い比率を持っている。なお、大割れを誘発させるクラックの発生は素材の高品質化に伴う韌性の向上により近年は少ない傾向になってきている。

熱間工具鋼における素材特性の中で熱伝導率の向上は表面の放熱性が高まり硬度の低下を防ぎ耐軟化特性（テンパーバック性）を向上させる。また、クラック発生リスクを低下させるには高い延性並びにき裂の進展速度を抑えるために室温や高温域でも良好な韌性が求められる。

図5はH13ESR材とDIEVAR開発材にける熱疲労試験後の硬さの異なる各試験片に認められたクラック長さとの関係を示す。第2世代DIEVAR開発材のクラック長さはH13ESR材に比べて著しい改善が認められている。

図6はH13ESR材とDIEVAR開発材の素材サイズの違いによる衝撃値の比較を示す。

近年では、EV車などの部品製造に鋳造品の一体化など大型の素材が求められる傾向が強くなり、熱間工具鋼においても大型素材の韌性値を向上させて品質安定化を検討している。

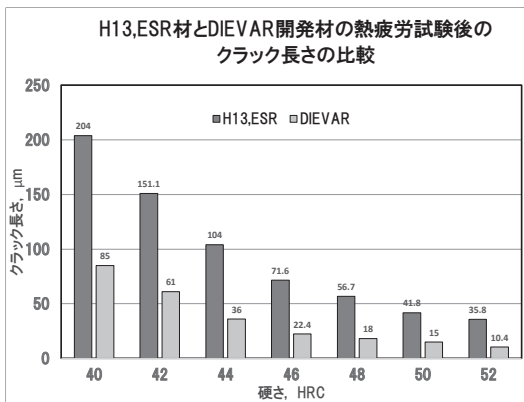


図 5 熱疲労試験後の硬さとクラック長さの関係

◇ 熱間用工具鋼の3D積層技術動向

ウッデホルム社では、金型（熱間工具鋼）の冷却効率の向上のために部品製造に3D積層技術を利用したスプールやウオータージャケットの生産を設計から加工品評価も含めたトータルサポートにより市場に提供している⁶⁾（図7参照）。

3D用素材の特徴は特別なプレミアム粉末により積層後の硬さは50~57HRCが得られ、造形後に硬

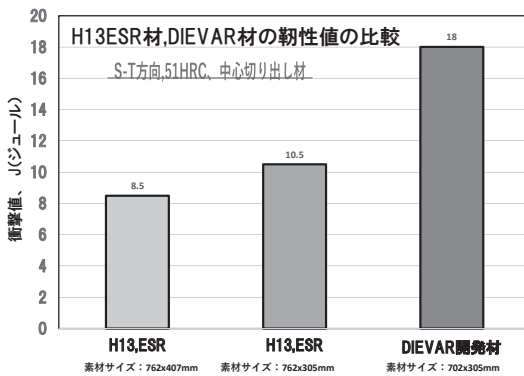


図 6 H13ESR材とDIEVAR材の素材サイズの違いによる衝撃値の比較



図 7 3D積層によるダイカスト鋳造用部品の製造

質皮膜処理を行い提供している。これらのAM部品は当社独自の内部冷却システムが含まれており、サイクルタイム、寿命、メンテナンス作業が大幅に改善できるとしている。

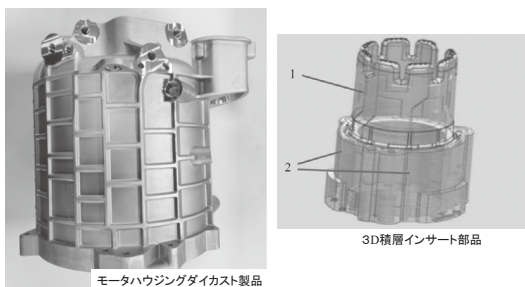
3D積層スプール製品の特長としては、①サイクルタイムの短縮、②寿命の改善、③メンテナンス作業の削減（クリーニング・補修時間の削減）、④安定した高品質な鑄造部品製造が可能になる。

また、3D積層によるウォータージャケット部品はエンジンブロックの鑄造に使用され、交換可能なインサート部品で肉厚は非常に薄く、複雑な形状を持っている。

このウォータージャケット部品の特長としては、①スクラップ率の大幅な削減、②メンテナンス作業（クリーニングの削減）、③安定した金型の操業および高品質な鑄造部品製造、④サイクルタイムの短縮が可能になる。なお、素材の硬さは50～57HRCが得られ安定な熱処理、硬質皮膜処理や仕様に応じた特別設計を適用した冷却回路を持っている。

また、ドイツのTear1企業は3D積層技術により作成したダイカスト用入子部品（水冷孔の作製）の製造事例で有効な部品数の鑄造が可能になり、稼働中の金型の熱分析結果によると鑄造プロセス中の温度差が大幅に減少し、冷却効率の向上により熱応力の均一化が得られヒートチェック発生の改善に有効であることを検証している⁸⁾。

更に、3D積層によりモータハウジングの入れ子部品の鑄造においては品質の安定化や金型の寿命向上が得られたとしている⁹⁾（図8参照）。



電気自動車用のモーターハウジングダイカスト金型の3Dプリントによる金型冷却システム開発事例：

* 積層用合金：マンガン、ニッケル、クロム、モリブデン、タングステンなどを主成分とする高純度、高流動性の合金粉末。加工方法：レーザー溶融堆積法、HIP処理、安定熱処理、機械加工、PVD皮膜処理を実施。

※正来源：産経新聞（朝刊）71巻No3（2022年）https://www.sankei.com/spy/257410m_0100

図 8 EV自動車用モータハウジング入れ子の3D積層部品

◇ ダイカスト産業の新潮流

EV自動車製造企業のテスラ社はダイカストマシン製造企業イドラ社（IDRA）との連携により超大型ダイカストマシン（Giga Press）を開発して、EV自動車用シャーシなどのアルミダイカスト製品を製造している¹⁰⁾。

大型鑄造機による一体成形のメリットは、エネルギー消費の削減、生産時の熱エネルギー削減、CO₂削減効果や持続可能な開発目標の達成にとって有効な装置になるとしている。

この生産方式により得られた改善効果は、従来のアンダーボディーの部品点数に比べて79部品の削減、生産コストの60%削減、製造コストの40%削減およびエネルギーコストの54%削減など大きなメリットが得られている。

現在、超大型ダイカストマシンは6,100トンであるが、近い将来には12,000トンや20,000トン級の鑄造機による車体全体の一体成形生産も計画されている。

なお、6,100トンマシンの概要は、長さ19.5m×高さ5.3m×幅7mサイズ、機械の総重量410トン以上、アルミ合金鑄造合金は開発したAA386合金素材を使用し、1ショットの溶融金属重量は最大104.6kgである。

現在、この大型ダイカストマシンはテスラ社のフリーモント工場（アメリカ）、ベルリン工場（ドイツ）、上海工場（中国、新たに新工場建設予定）に設置され、上海工場ではEV自動車の生産用に年間25～45万部品を製造している。

なお、イドラ社は中国のLK Impress-Plus（LK group（力勁、中国広東省深圳）との技術提携により大型ダイカストマシンの製造も行っている。更に、中国のマシン製造企業においても超大型のダイカストマシンが作られ、中国国内の金型加工・鑄造メーカーにおいてEV・NEV自動車部品や大型の工業製品の製造機として使われ始めている。

この鑄造に使用するダイカスト用工具鋼（SKD61材系）は、非常に大きなサイズの熱間用工具鋼（T690×W1,300×L2,500mmの一体型や分割型）を用いるために、金型の設計、素材の品質安定性および熱処理後の品質維持などについて各種の検討がされている。なお、工具鋼は国内外の金型

メーカーにおいて加工や各種の処理を行い供給する体制が取られている（図9参照）。

一方、ホルクスワーゲン社（Volkswagen AG）は、リアエンドの大部分を4,500トンのダイカストマシンで铸造することに成功し、将来の電気標準プラットフォームSSP（スケーラブルシステムプラットフォーム）の製造にとって非常に革新的な基礎を築いている。

铸造メーカーでは、铸造時間が約2分と短く非常にユニークな手法でEV自動車用リアエンド部品（サイズ 1,600×1,500mm）の製造が可能になっている。この方法により約10Kgの重量削減や従来のボディ生産部品点数に比較して33個の部品が削減できたとしている¹¹⁾（図10参照）。

また、ボルボ社（VOLVO）ではEV自動車の製造にメガキャストダイカスト铸造機による電池ハウジングの製造を行うと表明し、従来の鋼製フ

レームに比べて、部品点数の削減、アルミスクラップの再生利用、エネルギーやCO₂排出削減などのメリットが認められている。この様にEV自動車の製造などには今後、超大型・大型ダイカストマシンの利用拡大が進む状況になってきている。

むすび

鉄鋼産業におけるCO₂削減対策の取り組み、動向および特殊鋼の技術動向について狭い範囲での開発状況や企業動向などについて述べた。

今日、世界の多くの産業界では地球温暖化防止のためのCO₂削減対策が非常に重要な課題であり、企業内での製造工程の見直しや装置からの排出量削減のために種々検討が行われている。

将来的にも鉄鋼産業ではクリーンエネルギー源を用いた製鋼技術の進展が促進され、各工程におけるエネルギー収支の効率化や排出量低減のためのプロセス開発による生産の効率化の推進や環境改善が進むものと考えられる。

更に熱間工具鋼を主に使用しているダイカスト産業界においては、超大型化したダイカストマシンによるEV自動車フレームやアンダーボディの一体成型が提案されエネルギーコスト、部品点数、工程短縮など、各種の削減メリットの大きいことが認められてきている。それに伴い工具鋼の製造も大型化が求められ高品質・高機能化が促進されると同時に機械的・物理的性質および熱伝導性などの特性が向上した素材開発が行われていくものと期待したい。

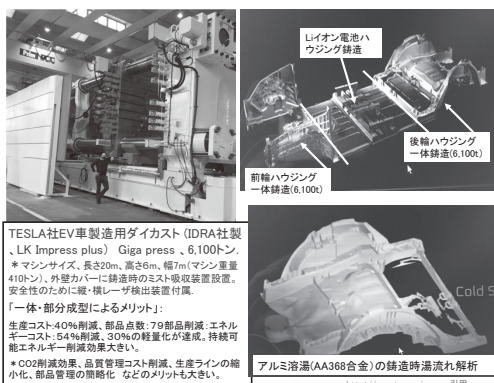


図 9 イドラ社製大型ダイカストマシンとテスラ社製EV車のアンダーボディー铸造品

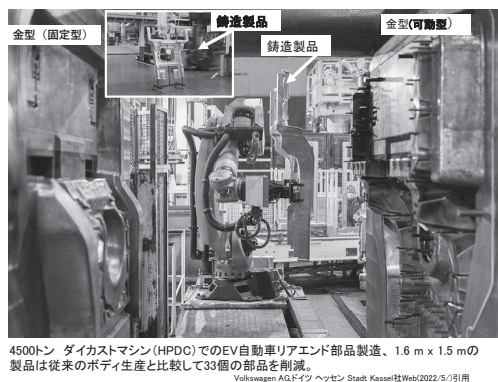


図 10 ホルクスワーゲン社によるリアエンド部品のダイカスト铸造部品

参考文献

- 1) 世界鉄鋼協会（World Steel Association, AISBL）（2021）
- 2) （一社）日本鉄鋼連統計（2022）、および「鉄鋼業の地球温暖化対策への取組」報告書：2月（2021）
- 3) 国際金型協会（ISTMA）：「ISTMA統計ブック」2020年度版
- 4) 資源エネルギー庁報告書：2月（2021）
- 5) <https://www.voestalpine.com>
- 6) <https://www.uddeholm.com>
- 7) <https://www.bohler.com>
- 8) Albert Handtmann Metallgusswerk GmbH & Co. KG、3月（2022）、Web site
- 9) 張正来：匠鑄週刊、Vol. 71、No. 3（2022）
- 10) IDRA GROUP: Assembly of No. 3 Giga Press in Idra, Italia、<http://www.tesmanian.com>
- 11) Volkswagen AG: Tfh Georg Agricola zu Bochum、5月（2022）、Web site

Ⅱ．熱間工具鋼の用途別材料

1．温熱間鍛造

山陽特殊製鋼(株) 研究・開発センター 新商品開発室 商品開発2グループ **難波剛士**

まえがき

図1に熱間型鍛造品の生産量の推移を示す¹⁾。熱間型鍛造品の生産量のうち約80%が自動車用途であり、鍛造品の加工に使用される金型へのニーズは自動車業界の動向の影響を大きく受ける。自動車業界においては、グローバル化する市場の中で国際競争力を保つため、鍛造製品のトータルコスト低減が重要な課題となっており、その主な手法としてチップレス化及び部品の一体化といったニアネットシェイプ成形化が進められている。これにより、チップレス化を目的とした温間鍛造の採用率増加や、部品の一体化を目的とした金型形状の複雑化及び大型化が進み、金型への熱的及び機械的負荷が過酷化している²⁾。このような背景に対し、トータルコストを大きく悪化させる初期故障型損傷である大割れへの対策を不可欠とし、本誌の前報(2004年11月号)にて、ユーザーからの金型用材料へのニーズとして、高靱性でばらつき少なく、表面処理などによる部分強化特性に優れた材料の開発を提案頂いている。

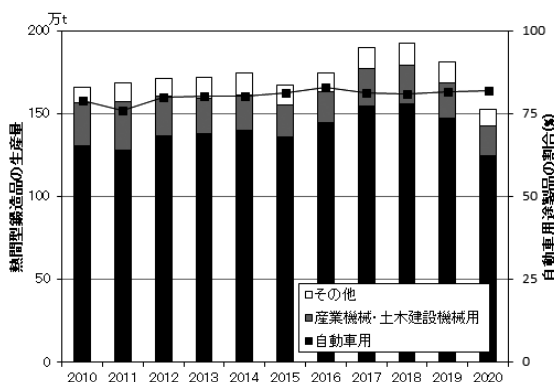


図1 熱間型鍛造品の生産量推移¹⁾

上記のニーズに対し金型寿命向上のアプローチとして、CAEを用いた応力解析による金型設計の最適化³⁾や、鋼種に応じた表面処理の鍛造金型への影響についての調査⁴⁾などが行われているが、本稿では、金型用材料からのアプローチとして、課題解決に向けた、各特殊鋼メーカーの温熱間鍛造用鋼の開発動向について紹介する。

◇ 温熱間鍛造に用いられる工具鋼

図2に代表的な温熱間鍛造用鋼の位置付けと用途を、表1にその化学成分を示す。温熱間鍛造用途において、耐割れ性を重視する際は、低合金化とNi添加により高靱性を有するSKT4が、高温強度及び耐摩耗性を重視する際は、Cr、Mo、Vなどの合金元素の添加により優れた焼入性と高温強度をバランスよく有するSKD61が広く適用される。SKD61でも高温強度や耐摩耗性が不足する場合は、SKD7やマトリックスハイスといった鋼種が適用される。SKD7はSKD61に対しSi、Crを低減し、Moを増量させた、高温強度に優れる鋼種、マトリックスハイスは合金元素の調整により、SKH51といった高速度鋼(ハイス)に見られる粗大な炭化物の晶出を抑え、ハイスの基地組成となるよう

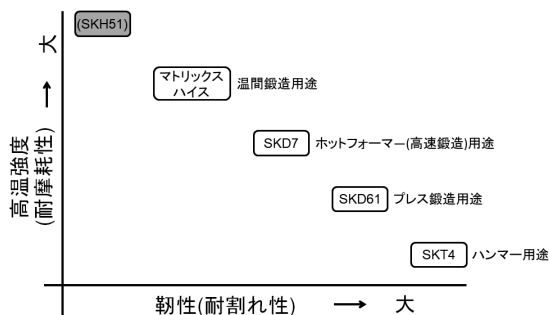


図2 代表的な温熱間鍛造用鋼の位置付け

表 1 代表的な温熱間鍛造用鋼の化学成分

JIS相当	化学成分 (%)							
	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	W	V
SKD61	0.35~0.42	0.80~1.20	0.25~0.50	—	4.80~5.50	1.00~1.50	—	0.80~1.15
SKD7	0.28~0.35	0.10~0.40	0.15~0.45	—	2.70~3.20	2.50~3.00	—	0.40~0.70
SKT4	0.50~0.60	0.10~0.40	0.60~0.90	1.50~1.80	0.80~1.20	0.35~0.55	—	0.05~0.15
マトリックス ハイス	各社開発鋼							
(SKH51)	0.80~0.88	0.45以下	0.40以下	—	3.80~4.50	4.70~5.20	5.90~6.70	1.70~2.10

に成分を調整した鋼種であり、特に高温強度と耐摩耗性に優れている。

前章にも述べたように、ニアネットシェイプ成形に伴う金型の使用環境過酷化により、金型への熱的及び機械的負荷は増大し、金型用材料に対する高温強度及び耐摩耗性への要求が特に高度化してきている。これらの特性の向上は耐割れ性(靱性)の低下を招き、大割れのリスクを増加させるため、両特性のバランスを考慮してJIS規格鋼及び改良鋼から用途に適した鋼種選択が行われる。しかし、材料のみで両特性を高度に兼備することは難しく、材料には耐割れ性を優先し、表面処理により高温強度及び耐摩耗性の付与を行うのが現在の主流となっている⁵⁾。

◇ 温熱間鍛造用鋼の高機能化に向けた開発動向

上述した背景に対し、特殊鋼メーカーでは、製造プロセスにおいて、製鋼工程での不純物濃度低減、非金属介在物及び偏析の抑制、圧鍛方法の改善による靱性の向上、異方性の低減など品質の安定化が図られてきた。これらの改善により、汎用規格材の品質ばらつきは従来よりも大幅に低減しており、金型寿命の安定化に貢献している。より優れた品質が要求される用途においては、大型品でも優れた均質性を得ることができるESR(エレクトロスラグ再溶解法)などの特殊溶解や、均質化処理の適用が進められてきた。

製造プロセスによる品質の改良は、上記のように行われてきたが、これに組み合わせて合金元素の改良による新鋼種開発が行われてきた。以下に、鋼種開発の動向を鍛造用途ごとに紹介する。

1. ハンマー鍛造用途

ハンマー鍛造は、コネクティングロッド(コンロッド)やクランクシャフトなどといった大型品の鍛造に用いられる。金型には大きな衝撃が加わるため、大割れを抑制するための靱性が特に重要視され、SKT4系の鋼種やその改良鋼が適用される。しかし、金型の使用環境過酷化に伴い、従来のSKT4系鋼種の高温強度では不十分となり、金型表面の軟化が進行し、ヒートチェック及び摩耗により短寿命となるケースが増加している。そこで製造プロセスの最適化によって靱性のばらつきを抑えつつ、合金設計と熱処理プロセスの適正化により高温強度を改善することで、摩耗、ヒートチェックを抑える鋼種が開発されている⁶⁾。

2. プレス鍛造用途

プレス鍛造用途では、前述したハンマー鍛造用途に比べ、ワークとの接触時間が長く金型が高温になるため、SKT4よりも優れた高温強度が要求されることに加え、後述する用途よりも金型寸法が大きいこと、高温強度、焼入性及び靱性のバランスに優れたSKD61系の鋼種が適用される。高速度・高精密化に伴い増大する金型への負荷に対応するため、SKD61をベースにSiの低減とMoの増量により靱性と高温強度を向上させた改良鋼の開発が進められてきた⁷⁾。一方、Moの増量によるコスト増加を抑え、Si、Vを低減することでSKD61よりも優れた靱性と高温強度を兼ね備えた鋼種も開発されている⁸⁾。また、鍛造用途には耐摩耗性の付与を狙い、窒化等の表面処理が広く適用されるため、金型用材料には表面処理特性が要求される。このような背景からも、表面処理特性に優れた鋼種も開発されている⁹⁾。

3. ホットフォーマー（高速鍛造）用途

ホットフォーマーは、横型の多段式熱間鍛造機で、インダクションヒーターによる高速加熱と大量の水溶性潤滑剤の使用により60~150個/分などの高速加工が可能となっており、ギアブランクやベアリングレースなどの鍛造に用いられる。高速鍛造では、相対すべり速度が大きいため、金型はワークからの入熱に加えた摩擦発熱により非常に高い温度となり、さらに水冷による激しい熱応力に晒される。金型用材料には金型の温度上昇による表面軟化と熱応力によるヒートチェックの発生を防ぐため、SKD61よりも高温強度に優れるSKD7系の鋼種が使用されるが、SKD7系の鋼種は焼入性に乏しく、金型中心部の靱性が不足することで大割れに至るケースが多い。これに対し、各特殊鋼メーカーより、合金元素の適正化により、焼入性及び靱性を改良した鋼種が開発されている^{10)~12)}。

4. 温間鍛造用途

温間鍛造は、等速ジョイントアウターレースやミッションギヤなどの鍛造に用いられる。温間鍛造では、600℃~900℃と熱間鍛造より低い温度で加工が行われるため、スケールや脱炭層の発生が抑えられることで優れた製品肌が得られることに加え、高い寸法精度が得られることからその用途は拡大している。一方で、熱間鍛造より被加工材の変形抵抗が大きく、金型には高い面圧が加わり、それと同時に、加熱冷却サイクルによる熱応力が発生するため、SKD61やSKD7といった熱間工具鋼では耐圧強度が、ハイスでは靱性が不足していた。そこで、最適な合金設計により、割れの起点となる粗大な一次炭化物を低減させることで、高い高温強度と靱性及び疲労強度を兼ね備えたマトリックスハイスが各特殊鋼メーカーより開発された^{13)~16)}。多くのマトリックスハイスは、さらにESRを適用することで、一次炭化物をより均一微細に分散させた優れた均質性を有する組織となっている。

むすび

本稿では、ニアネットシェイプ成形化に伴う鍛造業界の動向と、特殊鋼メーカーによる温熱間鍛造用鋼の開発動向について鍛造用途ごとに紹介した。今後、さらにニアネットシェイプ成形化が進む中で、金型の使用環境はさらに過酷化し、金型への要求は高度化するものと考えられる。その中で、我が国の国際競争力の優位性を維持するためには、金型用材料からのアプローチのみでの達成は困難であり、適正な熱処理による材料特性の発現、表面処理による高機能性の付与、使用環境に応じた最適な金型設計といった、多方面でのレベルアップを図っていくことが不可欠である。そのため、周辺技術との融合、相乗効果による性能向上も重要な課題であり、多様な角度からの取組みが望まれる。

参考文献

- 1) 経済産業省生産動態統計年報
- 2) 浜崎敬一、三田村一広：特殊鋼、46 (1997) 7、18-22
- 3) 井手洋文、中崎盛彦、鎌田諒大、北城弘樹、瀬川勝敬：山陽特殊製鋼技報、21 (2014) 1、62-67
- 4) 岡島琢磨、伊藤樹一、吉田弘明：電気製鋼、78 (2007) 3、207-214
- 5) 小森誠：電気製鋼、78 (2007) 4、331-340
- 6) 山陽特殊製鋼技報、29 (2022) 1、91-93
- 7) 田部博輔：型技術、19 (2004) 1、100-105
- 8) 森川秀人：電気製鋼、81 (2010) 1、47-52
- 9) 山陽特殊製鋼技報、5 (1998) 1、116-117
- 10) 電気製鋼、60 (1989) 4、392-394
- 11) 横井大門：特殊鋼、53 (2004) 6、40
- 12) 吉田直純、島谷裕司、吉本隆志：NACHI TECHNICAL REPORT、14 (2007) B4、1-6
- 13) 山陽特殊製鋼技報、2 (1995) 1、115-116
- 14) 中濱俊介、松田幸紀、並木邦夫、尾崎公造：電気製鋼、76 (2005) 4、279-286
- 15) 長谷川誠、吉田直純：NACHI TECHNICAL REPORT、28 (2014) B5、1-6
- 16) 福本志保、安藤光浩：型技術者会議2005、型技術者協会、240-241

2. 熱間押し出し工具

日本高周波鋼業(株) ね ぎし しげ とし
商品技術部 開発室 **根 岸 茂 利**

まえがき

熱間押し出し加工は、素材であるピレットをコンテナ内に挿入し、ステムで押出圧力を加えダイスを介して形状を得る加工である。熱間押し出し加工した合金進展材は、複雑な断面形状を比較自由に得ることが可能であり、建築部品や自動車部品、新幹線の車両部品など様々な分野で採用されている。押し出しされる材質はアルミニウム合金や銅合金、昨今では軽量化の観点からマグネシウム合金の押し出し製品も増加してきている。使用温度は材質によって異なるが（アルミニウム合金450～550℃、銅合金750～950℃、マグネシウム合金300～450℃）、直接ピレットと接するダイス等は高温高圧下で押出材と摺動・摩擦されるという過酷な使用条件に曝される。また最近では、最終製品の軽量化や複雑形状等の要望を受け、押し出し型材の高強度化や薄肉化、高精度化が進んでいる。上記を受け、熱間押し出しの工具（コンテナやステム、ダイス等）に掛る負荷も増えてきており、押出条件やダイス形状の最適化、また素材となる熱間ダイス鋼の特性向上が要求されている。

本稿では、熱間押し出し工具（主にダイス）に求められる必要特性や今後の開発動向を紹介する。

◇ 熱間押し出しダイスの必要特性

熱間押し出しダイスで主に使用される鋼材は、SKDやSKT種の熱間工具鋼であり使用環境（温度、負荷応力）によって鋼材が選択される（表1）。ダイス廃却の要因は、摩耗、変形、割れ、欠け等様々あり、それぞれの廃却要因によって鋼材に求められる必要特性（高温強度、韌性、焼入れ性、摩耗特性、被削性、窒化特性）が異なる。

（1）高温強度

熱間押し出しダイスの廃却要因の一つに鋼材の軟化が挙げられる。金型の予熱や加工中の加工発熱によって高温環境下に曝される事や、押し出し

表 1 熱間押し出し工具の適用鋼材

○印は、代表的な鋼材

工具名	押し出し材：Al	押し出し材：Cu
ダイス	○SKD61	○SKD8 SKD62
コンテナ（外筒）	○SKT4 SKD61	○SKD61 SKT4
コンテナ（内筒）	○SKD61 SKD7	○UH660 SKD8
補助工具（バックカー、ダイホルダ等）	○SKD61 SKT4	○SKD61 SKD62

ダイスはベアリング（摺動部で摩耗しやすい箇所）の焼付き防止や摩耗特性向上の為に繰り返し窒化が施される場合が多く、窒化処理時の高温保持によって母材である鋼材が軟化する。鋼材が軟化する事により高温強度が低下し、ダイスがたわみ、押し出し型材の寸法不良が発生し廃却となっている。押し出しダイスは初期硬さ48HRC程度に調質して使用する事が多いが、廃却時のダイス硬さを調査すると、40HRC程度に軟化したダイスも多く見られる。熱間押し出しダイスで主に採用されるSKDやSKT種は、焼入れ焼戻しで析出した2次炭化物（MC炭化物、M₂C炭化物）が高温強度に与える影響が大きく、合金元素の適正化が高温強度向上の重要なポイントとなる。

（2）韌性

押し出しダイスは製造中に高負荷が掛かる為、割れが発生し廃却となる場合がある。割れに対応する鋼材の特性としては韌性が挙げられ、特性評価としてはシャルピー衝撃試験や破壊韌性試験等が採用されることが多い。シャルピー衝撃値が20J/cm²以上では金型の大割れがほとんど生じないとの報告もあり¹⁾、短寿命化を防ぐには、ダイス鋼材の韌性向上が不可欠である。

韌性向上の方法としては、合金元素の適正化（韌性に有害な炭化物等の析出を抑制する等）や組織制御（結晶粒の微細化や偏析の低減、非金属介在物の低減等）などの方法が挙げられる。

(3) 焼入れ性

大型の押し出しダイスでは熱処理時に中心部の冷却速度不足により韌性が低下する場合があります、焼入れ性向上も押し出しダイスの割れ防止の重要な対策である。焼入れ性の向上は、合金元素の影響が大きく化学成分を改良した改良鋼を鋼材メーカーがブランド鋼として販売している。

(4) 摩耗特性

押し出しダイスのたわみ・割れ以外の廃却要因としてベアリング部の摩耗が挙げられる。ベアリング部は押し出型材の形状を決定する箇所であり、軽微の摩耗でも寸法精度に大きく影響を与える。鋼材の摩耗特性は、基本的には硬さが硬い・炭化物の析出量が多いほど良好になる。また、一般的にベアリング部の摩耗特性向上のためにダイスは窒化処理が施されており、窒化条件の改良（化合物層の有無、窒化層の組成改良、窒化深さの変更等）によって対策が取られることが多い。

◇ 熱間押し出し鋼の開発動向

(1) 高強度アルミニウム合金の熱間押し出し製造

昨今、7000系アルミニウムなどの高強度アルミニウムの採用や高精度な寸法精度の要求が高まってきている。高強度アルミニウムの押し出しでは、押し出しが悪くダイスにかかる負荷応力が高くなる為、早期に押し出しダイスの割れやたわみが発生

し廃却となる事が問題となっている。押し出しメーカー各社ではダイス形状の変更や補強ダイスの採用、押し出し条件の最適化などでダイス寿命向上を図っているが、解決には至っていないのが現状である。鋼材での対策として、高温強度が高い鋼材を採用する事で、軟化を防ぎ高温でのたわみにくさを向上する事ができる。JIS規格鋼の熱間工具鋼の高温強度は、SKD61<SKD62<SKD7の順に優れ、SKD7系の採用も候補となるが、韌性や焼入れ性が悪く早期割れなどトラブルが予想される為、熱間押し出しダイスでの採用は難しい。そこで、各鋼材メーカーではSKD7並みの高温強度を有しつつ韌性を改良したSKD7改良鋼を販売しており、高強度アルミニウム合金の押し出し製造に採用されている。SKD7やSKD7改良鋼は、高温強度を高める為にMCやM₂C系の炭化物が焼戻し時に多く析出するよう、Crの合金添加を抑えMoやW、Vの添加量を増加させるような成分設計をしている。一方で、焼入れ性は成分の影響を大きく受けるが、特にCrの添加量を抑えた鋼材は焼入れ性が大幅に悪化してしまう為、大型なダイスになるほど焼入れ時に油冷などの特殊な熱処理が必要となる事もある。本問題に関してもCr - Mo・W・Vの成分設計を最適化することでSKD61並みの焼入れ性を有する鋼種の開発が進んでおり、今後、高強度アルミニウム押し出しダイスの高寿命化への貢献が期待される（図1）。

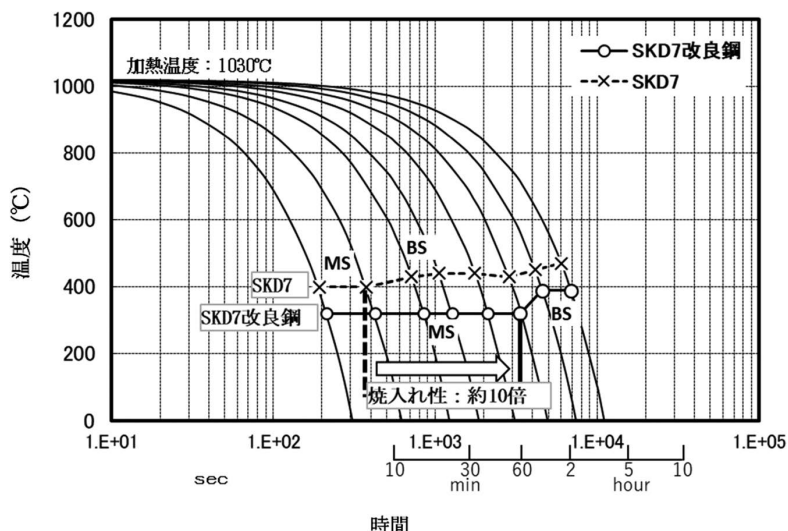


図 1 SKD7とSKD7改良鋼の連続冷却変態曲線

(2) マグネシウム合金の熱間押し出し製造

マグネシウムは、アルミニウムに比べ比重が1/10程度であることからマグネシウム合金部材の車両関連での採用が増加してきている。マグネシウム合金の最大の欠点である燃えやすさは、合金元素を添加した難燃性マグネシウム合金等の開発で対策が進められている。一方、難燃性向上のためのCa等の添加は、押出性を低下させ²⁾、プレス荷重が増加しダイスにかかる負荷が高くなる為、ダイスの早期割れが発生しやすい。また、早期割れ防止のために未窒化で押し出しを実施しているケースもあり、その場合は、早期にベアリング部が摩耗し廃却となっている。

割れ対策として、各鋼材メーカーでSKD61の改良鋼が販売されているが、その多くは添加成分を調整し靱性向上を図っている。一例として、合金元素を適正化し靱性に有害な炭化物等の析出を抑制することで靱性は向上する。しかしながら成分による靱性の改良は、靱性-高温強度のトレードオフの関係により高温強度を劣化させる面もある。そこで鋼材の組織改良によって靱性を高める方法も採用されており、偏析低減の為に高温保持するソーキングの実施や、結晶粒微細化のために鍛錬工程や熱処理工程の適正化等を実施している(図2)。また、表面処理をしない場合の摩耗特性は前述の

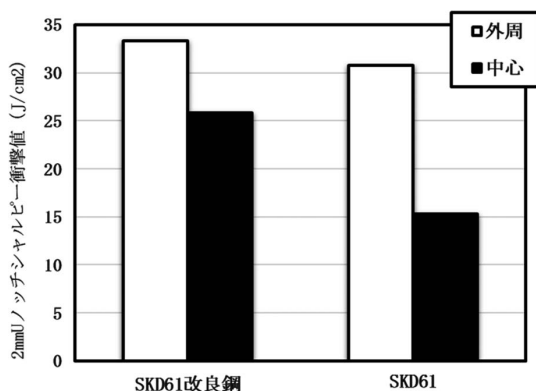


図 2 SKD61とSKD61改良鋼のシャルピー衝撃値

通り、硬さや炭化物量に影響されるため、調質硬さを高くする、又は焼き戻し後の炭化物量の多いSKD62やSKD7改良鋼の採用がダイス寿命の向上に繋がると考える。

(3) 原料コストを抑えた熱間ダイス鋼

昨今の押出ユーザーの要望の一つに原料コストを抑えた廉価な鋼材が挙げられる。背景としては鋼材価格の高騰と、押し出し製品の小ロット品に対応する鋼材の要望がある。鋼材価格の高騰は、昨今の原材料や燃料高騰の影響が大きい。熱間工具鋼は高温での特性を得るためにモリブデンやバナジウム、タングステンといった価格変動しやすい合金を添加しており、原材料価格の高騰は鋼材価格の値上げに直結しやすく、直近数年間で熱間工具鋼では2~3割程度原価が高騰している。また小ロット品に関しては、テスト評価用や少量受注品向けの押し出し回数の少ないダイス向けに性能を落としてコストダウンを図った鋼材の要望が挙げられている。

このような背景の中で原材料価格変動の影響を受けにくく廉価なSKD61改良鋼も鋼材各社で販売されており、昨今の市場動向で注目されている。

むすび

熱間押し出しの分野は、高強度アルミニウムの使用など押出工具にとっては過酷な環境に変化してきている。押出条件やダイス形状等での工夫で対応する場合も多いが、鋼材の特性向上も不可欠である。その反面で、鋼材価格の高騰や、押し出しユーザーでの小ロット品の増加の影響を受け、廉価鋼の要望も多くある。今後の金型材料はユーザーの求める特性を的確に把握し、要求品質を満たしつつ最小限のコストで製造する事がますます重要になってくると考えられる。

参考文献

- 1) 井上幸一郎：塑性と加工vol. 49 (2008) No. 569、P3
- 2) 森久史ら：まてりあ第52巻第10号 (2013)、P484-490

3. ダイカスト

日立金属(株) 金属材料事業本部 しぶ さわ あき ひづ
 特殊鋼統括部 工具鋼部 技術グループ 渋 澤 明 秀

◇ ダイカストとは

ダイカストとは、アルミ、亜鉛、マグネシウム、銅などの溶融合金を鋳造機（ダイカストマシン）に取り付けた精密な金型内に高圧、高速で圧入することにより、高精度で鋳肌の優れた鋳物をハイサイクルで大量に生産する鋳造方法の一種です。他の鋳造方法（砂型鋳造、重力鋳造、低圧鋳造など）に比べて寸法精度が高く、強度も優れ、鋳肌が滑らかで美しく、機械加工を省略できるというメリットがあります。

このダイカスト鋳造の金型に熱間工具鋼が使われています。

また、鋳造機はコールドチャンバーダイカストマシンの使用が一般的で、鋳造品の品質や生産性から減圧や真空装置を付帯して使用されることが多いです。小物や亜鉛合金品はホットチャンバーダイカストマシンが使用されます。その他、強度部品にはスクイズダイカストマシン、厚肉部の鋳

巣対策に部分加圧装置などが使われます。

◇ ダイカストの用途

一般社団法人 日本ダイカスト協会によるダイカスト製品の生産統計¹⁾によるとダイカスト製品の生産量は年間約1,000,000トン、その内の約9割が自動車用でそのほとんどをアルミが占めています。その為、ダイカスト用熱間工具鋼の製造、開発も自動車用アルミダイカスト製品の動向により行われています。

また、ダイカスト製品は自動車用以外にも機械、家電、OA機器、建築部品など、生産重量は比較的少ないですが私達の身近な製品に数多く使われています。

◇ ダイカスト用熱間工具鋼の要求特性と種類、位置付け

ダイカスト用の金型は、表面に高温の溶融金属が繰返し接触、冷却することで、ヒートクラック

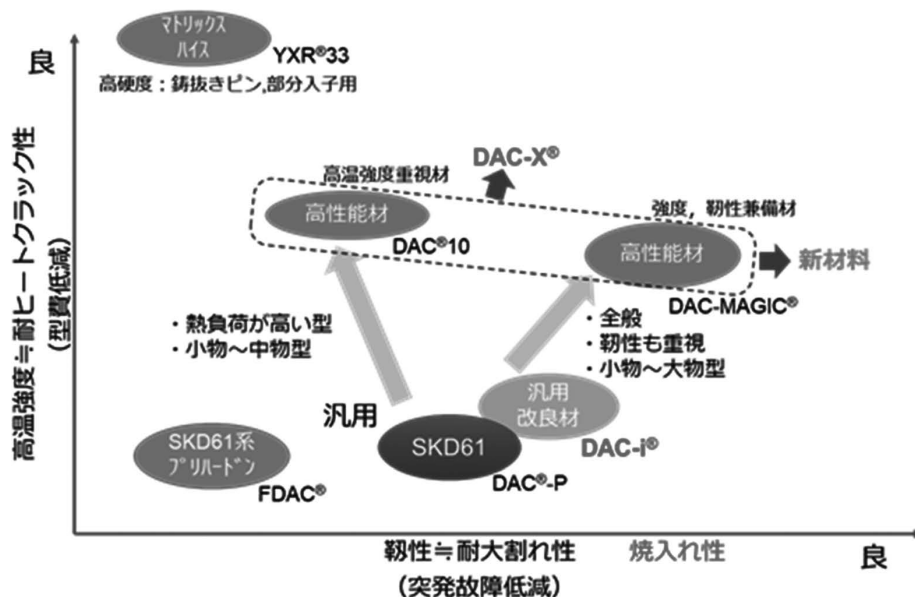


図 1 ダイカスト用熱間工具鋼の種類と位置付け

が発生します。そのヒートクラックを起点とした割れや、溶湯の焼付きや侵食による溶損といった損傷も起こります。ダイカスト用熱間工具鋼は冷間加工用工具鋼などに比べて耐摩耗性はそれほど必要とされず、その代り、金型が高温に晒されるため高温での強度や軟化抵抗、クラックを進展させないための靱性が要求されます。

図1にダイカスト用熱間工具鋼の種類と位置付けを示します。JIS規格のSKD61（汎用材）をベースに、耐ヒートクラック性を向上させた高温強度重視材や耐大割れ性を向上させた靱性重視材などの高性能材（SKD61改良鋼）、試作や小ロット用でプリハードン（熱処理済）材、鋳抜きピンや部分入子でより強度が必要な部位にマトリックスハイス材などを各社でラインナップしています。

◇ 自動車の動向とダイカスト用熱間工具鋼への要求

自動車の動向については各紙、記事で取り上げられているため、ダイカスト用熱間工具鋼に関すると思われるものを記載します。自動車の環境問題対応のため、主に電動化や水素などの新エネルギーエンジンの開発、実用化と軽量化による温暖化排出ガスの削減が進められています。ダイカスト製品で観ると、電動機ではインバーターやコンバーターなどのケース、ハウジング部品、車体、骨格部品ではフレーム、ボディや足回り部品などへの採用が増え、大型化や強度部品などの金型へ対応できるダイカスト用熱間工具鋼が求められてきています。

具体的な製品例として、図2に日本電産 トラクションモータシステム「E-Axle」の構造図²⁾を示します。車両を動かすためのモータとインバーター、減速機が一体となった構造で、その本体やハウジング部品にダイカスト製品が使われています。

図3にTESLA Model Y rear underbody³⁾と製造したIDRA製GigaPressマシン⁴⁾を示します。rear underbodyは約100点もの部品を組み立てて製造していたものを、イタリアIDRA製の6,000tダイカストマシン「GigaPress」で一体鋳造することで、軽量化と製造にあたるロボットや作業者の削減にも繋がっています。

大物ダイカスト製品については、金型の熱処理は海外では15barを超える大型高圧真空炉が導入されていますが、日本で10barを超える高圧炉は高圧ガス保安法の制約から設置が容易ではなく、油冷などで対応しています。また、金型の加工でも海外では入子を一体加工するため大型の加工設備が導入されていますが、日本では入子を分割化して加工精度と合せ技術などで対応されています。

◇ ダイカスト用熱間工具鋼の選定^{5)~7)}

多種多様なダイカスト製品や製造技術に対応し、金型寿命を安定且つ向上させるには、それぞれの要求特性を把握したうえで、最適な金型材料を選定することが重要になります。

以下に図1のダイカスト用熱間工具鋼の種類毎にその特徴を紹介します。

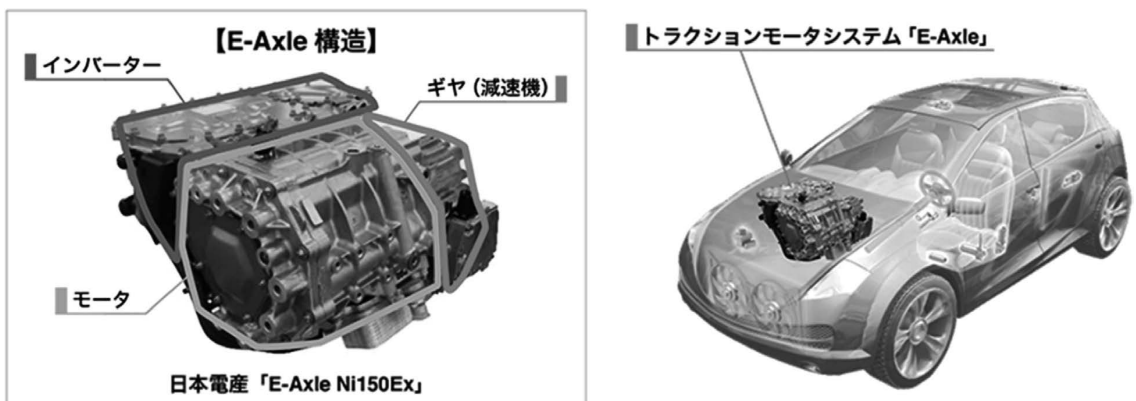


図 2 日本電産 トラクションモータシステム「E-Axle」の構造図

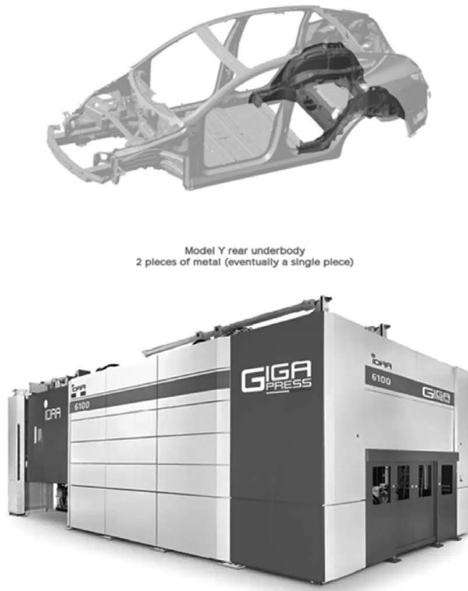


図 3 TESLA Model Y rear underbodyと製造したIDRA製GigaPressマシン

1. 汎用材SKD61

汎用材SKD61は靱性と高温強度のバランスが良く、一般ダイカスト製品に多く使用されています。

DAC[®]-PはSKD61規格内ですが、機械的特性の等方性（アイソトロピー）に取組み、より清浄度を上げることにより靱性を高めています。一般ダイカスト製品での金型寿命の向上に繋がります。

2. 汎用改良材

汎用改良材は汎用材SKD61に対し主に靱性が高い材料で、自動車用の大物ダイカスト製品や硬さUPにより耐ヒートクラック性を高め金型寿命の向上取組みなどに使用されています。

DAC-i[®]は成分改良に加え、組織の緻密化により更に靱性を向上させた新材料で、大気溶解材ながらNADCA_GradeE（H13ESRクラス）に認証されています。

3. 高性能材_高温強度重視

高温強度重視材は複雑形状で高い精度と肌品位を要求されるOA機器部品用などの精密ダイカスト製品や強度部品など溶湯温度の高いダイカスト製品に使用されています。溶湯温度が高くなると金型に作用する熱的負荷が過酷となりヒートクラック（熱疲労）や溶損が進み易くなります。

DAC-X[®]は従来の高温強度重視材DAC[®]10よ

り更に高温強度を高めた新材料で、被切削性や熱伝導率なども優位な材料です。

4. 高性能材_靱性重視

靱性重視材は大割れ対策とヒートクラックの発生も抑えたい大物ダイカスト製品や比較的高硬度で使用してよりヒートクラックの発生を抑えたいダイカスト製品に使用されています。特に大物金型の熱処理では焼入れ時の冷却速度が遅くなるとベイナイト組織となり靱性が低下しますが、冷却速度が遅くても靱性が確保できる焼入れ性の良い靱性重視材が必要となります。但し、靱性重視材は焼入れ性が良い反面、焼入れ時の焼割れリスクが高くなるため、熱処理形状（薄肉、隅R）や面粗さ（ツールマーク）などに注意や修正が必要となります。

DAC-MAGIC[®]は靱性に加え高温強度も高めの強度と靱性の兼備材で、金型に作用する熱応力に耐える強度とコーナー部からのクラックの発生、進展を抑える靱性が必要なスクイズダイカスト製品にも使用されています。また、今後の大物ダイカスト製品の拡大に伴い金型寿命の向上要求も見込まれるため、DAC-MAGIC[®]より更に靱性を高めた新材料の開発も進めています。

5. SKD61系プリハードン材

SKD61系プリハードン材は試作型や小ロット用のダイカスト製品に使用されています。また、製品部以外の金型部品の材料にも使用されています。

FDAC[®]は硬さがHRC40程度で、快削成分を含み加工性が良い材料です。

6. マトリックスハイス材

マトリックスハイス材は鑄抜きピンや部分入子で溶湯の衝突部や凝固収縮による曲げ応力がかかる部位や内冷穴の設置が困難で熱間工具鋼では耐えられない熱的負荷が過酷な部位などに使用されています。

YXR[®]33は高温強度に加えマトリックスハイスの中では韌性が高い材料です。

7. その他、3次元プリンター入子¹⁰⁾

ダイカスト鑄造のハイサイクル化により金型への熱的負荷が高くなり焼付き部位が増加し、鑄造中の金型修正工数が増加します。また、スクイズダイカスト型などは元々の熱的負荷が高く、ヒートクラックが早期に発生し金型寿命が短くなっています。金型の熱的負荷対策としては内部冷却穴の設置が有効ですが、従来の機械加工では裏面や側面からの直線的な加工しかできず、内部冷却性能の向上には限界がありました。最近、熱的負荷の高い部位を部分入子化し、3次元プリンターに

よる金属粉末積層造形にて製作、冷却穴を冷却性能の高い3次元形状で造形し、焼付き対策に繋がっています。

むすび

今回、ダイカスト用熱間工具鋼の種類と用途について簡単ですが記述させて頂きました。材料選定の検討には金型材の必要特性の他に設定寿命も含まれます。寿命向上には窒化などの拡散処理やPVDなどのコーティングとの組み合わせも有効なケースがあります。これらと合わせて総合的な検討により、今後のダイカスト金型作りに少しでも参考となれば幸いです。

参考文献

- 1) 一般社団法人 日本ダイカスト協会 <http://diecasting.or.jp/toukei/index.php>
- 2) 日本電産株式会社 https://www.nidec.com/jp/technology/new_field/e-axle/
- 3) TESLA News <https://lowcarb.style/2021/12/05/tesla-megacast-2/>
<https://lowcarb.style/2021/05/18/modely-megacast/>
- 4) IDRA HP <https://www.idragroup.com/gigapress>
- 5) 金内良夫：特殊鋼 Vol. 71 1号 (2022) P33-36
- 6) 奥野敏夫、田村庸：鉄と鋼 Vol. 79 (1993) No. 9
- 7) 片岡公太：型技術 Vol. 22 第4号 (2007) P37-40
- 8) 日立金属技報 Vol. 35 (2019) P45
- 9) 日立金属技報 Vol. 37 (2021) P69
- 10) 木村有貴、他：豊田自動織機技報 No. 70 (2019) P83-88

4. ホットスタンプ

大同特殊鋼(株) 素形材・工具鋼事業部 企画開発部 工具鋼ソリューション室 **増田哲也**

まえがき

ホットスタンプ工法は、加熱した鋼板をプレス成形し下死点で金型を保持することによって成形品を焼入れし、1.5GPa程度の引張強さを有する超高強度鋼部材を製造する方法である。ブランクを高温炉で900℃程度に加熱してオーステナイトに変態させ、金型で成形と同時に抜熱させることで焼入れを行い、成形品の引張強さを1.5GPa程度にしている¹⁾。高温の鋼板が金型に接触することから、金型材には、熱間ダイス鋼であるJIS SKD61もしくはその改良鋼が用いられることが多い。

本稿では、ホットスタンプ金型用鋼に求められる特性について整理するとともに、近年の開発動向について紹介する。

◇ ホットスタンプ金型用鋼の要求特性

1. 一般的な金型に共通する要求特性

ホットスタンプ工法の課題として生産性の低さがあり²⁾、金型での焼入れの際の鋼板の抜熱を促進させ、下死点保持時間の短縮を図るため、金型の高熱伝導率化が求められる。また、別の課題として、金型摩耗³⁾があり、適用される金型材の最

高硬度で使用されることが多い。

図1に弊社のホットスタンプ金型用鋼の位置づけ図を示す。一般的に、国内および海外でもDHATM1 (SKD61相当) やその改良鋼であるDHA-WORLDやDH31-EXTMが用いられることが多い。しかし、近年では、より高効率な生産ラインの開発や鋼板部材の高機能化に伴い、より高熱伝導率の金型材や耐摩耗性に優れた金型材が適用されるケースが増えてきている。当社では、2019年にDHA-HS1を販売開始した。DHA-HS1は室温での熱伝導率がSKD61の約1.5倍であり、最高硬度は54HRCである。また、新たに熱伝導率はSKD61と同等で、より高硬度が得られる開発鋼も市場評価中である。金型の受ける負荷状況によって、これらの異なる特性の金型材が組み合わせられて使用される場合もある。

2. 型内トリム金型の要求特性

ホットスタンプ部品においては、成形後に不要な部分をレーザーで切り取るレーザーカット加工が一般的である。近年では、生産性向上やレーザーカット設備導入のコスト低減を目的に、国内にて型内トリム製法が開発され、一部の製造ラインで実用化されている。ここで使用される金型材には、SKD61だけでなくSKD11のような60HRC以

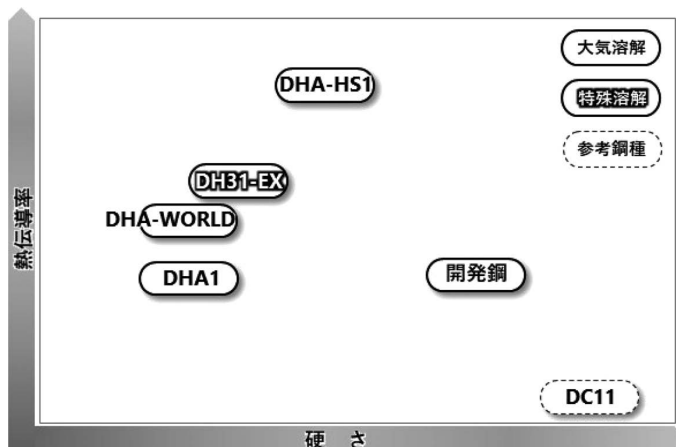


図 1 当社のホットスタンピング金型用鋼の位置付け

上の高硬度金型材も使用されている。

型内トリム製法は、熱間成形直後でかつ製品が金型で焼入れされる前の高温軟化状態にてトリムとピース加工を同時に行う製法である⁴⁾。このため、トリム刃やピースパンチは、成形部と比べて高熱伝導率は必要とされないが、温間での耐摩耗性や耐チップング性が求められる。

チップング発生において、粗大な晶出炭化物を多く含むSKD11はリスクが高いと考える。そのため、粗大な晶出炭化物がほぼ無いマトリックスタイプの鋼種が有効と考える。当社はマトリックス冷間ダイス鋼であるDCMXTMとマトリックスハイスであるDRMTMシリーズをラインアップしている。さらに、前述した開発鋼はマトリックスタイプでかつ58HRCが得られ、DCMXよりも高韌性である。

3. テーラード・テンパリング金型の要求特性

炉加熱によるホットスタンプ成形品において、局部的に強度を低下させて、一枚板の部品内に高強度領域と低強度領域をつくり分ける技術（テーラード・テンパリングやソフトフランジ）がある。この工法では、金型内の部品各部の冷却速度を制御することで高強度、低強度領域をつくり分けている⁵⁾。多くの場合、低強度領域の金型は、約600℃のヒーターで常に加熱・保持されている。その結果、金型は軟化し、摩耗等の損傷が著しくなる傾向があり、その金型材には、優れた軟化抵抗が求められる。

図2に各鋼種の軟化抵抗を示す。図2に示すよ

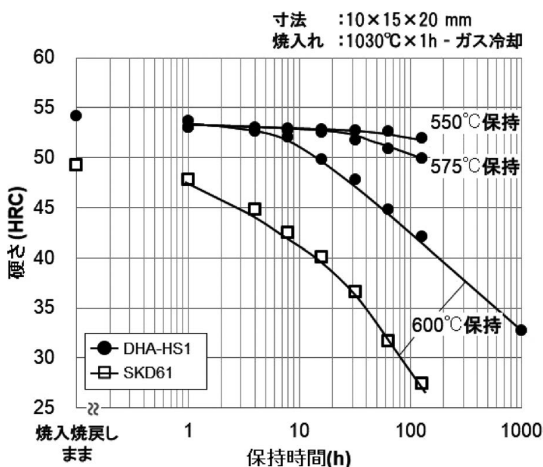


図 2 各鋼種の軟化抵抗

うに、100時間後の硬度の優劣は、初期硬度に依存する。そのため、より高い最高硬度を得られる鋼種の方が長時間保持後も高硬度を維持している。SKD61を600℃で保持する場合、100時間の連続操業で金型硬度は30HRC未満まで軟化してしまう。高熱伝導率材であるDHA-HS1は、SKD61対比、優れた軟化抵抗性を兼ね備えているため、低強度領域用の金型材として有用である。

◇ 金型の要求特性の今後

1. 金型大型化への要求特性

一般的なホットスタンプ金型は、より最適な冷却構造とするために、複数の駒が組合せられた金型である。そして、先述したテーラード・テンパリング金型は、複数部品の一体化を達成する技術のため、金型が大型化する傾向がある。一方で、精度の高い組合せ金型を製造するためには、高い金型製造技術が必要となる。そのため、部品が大型化すると、最適な冷却構造よりも駒削り数を少なくすることが優先される可能性がある。このように金型の各駒が大型化した場合、金型材には優れた焼入れ性が求められると考える。当社のDHA-WORLDとDH31-EXは、SKD61対比、優れた焼入れ性を有する。大型の金型の中心部でも高い韌性を得ることが可能であり、水冷孔からの応力腐食割れを防止することに貢献する。

2. 部品の厚板化への要求特性

自動車の電動化が進むと、キャビン下部のバッテリーを保護するために、キャビン骨格部の剛性を高める必要があると考える。そして、部品の剛性を高めるために、一部の部品が厚板化する可能性がある。厚板化すると、ダイクエンチの抜熱をより高効率化するために、より高熱伝導率な金型が求められると予想される。近年では、3D積層造形技術を用いた局所的な最適冷却構造の研究がされている⁶⁾。当社は、3Dプリンタ用金属粉末DAPTM-AMシリーズとして高熱伝導率のHTCTM45、HTC40（以下、HTC）をラインナップしている。HTCは、SKD61をSLM方式の3Dプリンタの造形に適した組成に調整し、金型造形時に発生する割れリスクを大幅に低減した。また、HTCの熱伝導率はSKD61の1.5倍、3Dプリンタによる金型造形で広く用いられるマルエージング鋼の2倍と高いため、金型温

度の低下によるサイクルタイムの短縮に貢献する⁷⁾。今後、このような3D積層造形技術は、最適冷却構造のつくりこみだけでなく、金型の補修技術への適用が予想される。

◇ 金型評価技術を用いたソリューション提案

金型性能の差異は、金型材料の物性値だけでは実際の金型損傷を評価できず、実操業による評価も実施されているが、同一形状・同一条件の評価を行うには期間がかかってしまう。そこで、当社ではホットスタンプ実機設備を導入し、金型評価技術の開発を行っている。ここでは、実機を用いた評価からわかった金型材への要求特性について紹介する。

ホットスタンプ鋼板には、酸化抑制のためにめっき鋼板が用いられるが、めっき合金層が金型に凝着して体積する課題がある。従来、この課題に対しては、PVDコーティング等の表面処理のみでの対策が図られてきた。当社では、実機を用いた金型評価技術を用いて、めっき凝着に及ぼす金

型温度の影響を調査し、高熱伝導率材であるDHA-HS1を用いた冷却強化がめっき凝着の抑制に有効であることを報告している^{8)、9)}。また、DHA-HS1と特殊PS処理（特殊酸化処理を伴う窒化処理、大同DMソリューション(株)製）を組み合わせることで、めっき凝着を大幅に抑制ができたことを報告している（図3参照）¹⁰⁾。

むすび

本稿では、一般的にホットスタンプ金型用鋼に求められる特性と近年の開発動向について紹介した。今後、カーボンニュートラルや自動車電動化への対応から、ホットスタンプ用金型に求められる特性が、お客様毎、もしくは地域毎に大きく異なる状況になる可能性がある。一方で、各地域の表面処理技術などの周辺技術との相乗効果も重要である。今後、日本材の優位性を高めるためには、日本の優れた解析技術を用いて、よりニーズに適したソリューションが提案されることが望まれる。

参考文献

- 1) 森 謙一郎：プレス技術 第56巻 第9号（2018年8月号）、p. 18-
- 2) 森 謙一郎：ホットスタンピング入門、自動車軽量化に向けた超高強度鋼部材成形法、第1版、日刊工業新聞社（2015年）
- 3) 梅森 直樹：型技術 第34巻 第12号（2019年12月号）、p. 56-
- 4) 渡邊 二郎：プレス技術 第52巻 第8号（2014年8月号）、p. 23-
- 5) 大山 弘義、三阪 佳孝：プレス技術 第56巻 第9号（2018年8月号）、p. 29-
- 6) Gabriel Macêdo, Leonardo Pelcastre and Jens Hardell: Proceeding of CHS²-2022, p. 195-
- 7) 井上 幸一郎：型技術 第37巻 第6号（2022年5月号）、p. 62-
- 8) 梅森 直樹：型技術 第35巻 第7号（2020年7月号）、p. 124-
- 9) Naoki Umemori, Makoto Hobo and Krzysztof Biesiada: Proceeding of CHS²-2022, p. 679-
- 10) 梅森 直樹：講演「超ハイテン成形金型技術」、自動車技術会フォーラム2022（2022年7月14日開催）

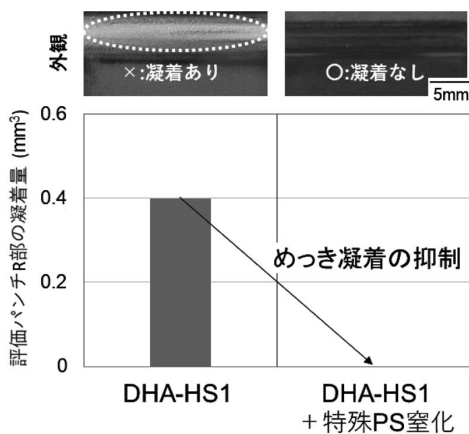


図 3 DHA-HS1 + 特殊PS窒化の実機評価結果

Ⅲ．熱間工具鋼の周辺技術

1．工具鋼の切削加工に関する研究動向

東京電機大学 まつむら たかし
工学部機械工学科 松村 隆

足利大学 たむら しょういち
田村 昌一

まえがき

工具鋼は硬度が高く、また高温でも機械的強度の低下が少ないことから、自動車をはじめ多くの産業において金型等に広く応用されている。一方、この材料はせん断応力が高いため、切れ刃の温度が高くなり摩耗の進行が激しく、工具の寿命が問題となる。近年では工具のコーティング材質の開発および成膜技術の発展も目覚ましく、工具鋼の高効率切削に寄与しているが、未だ、工具摩耗の抑制が大きな課題となっている。

一方、部品や金型の精度と疲労寿命の観点から、仕上げ表層部の加工変質層や残留応力に対する関心が高まっている。最近では、短時間で残留応力を測定できるようになり、航空機だけでなく自動車や金型産業において残留応力の評価とその制御が重要となっている。

以上の背景を踏まえ、工具鋼の切削に関する研究動向と著者らが進めている研究を紹介する。まず、高硬度材料の切削に関する研究を紹介し、その特徴的な切削特性について述べる。次に、熱間工具鋼に関する国内外の論文を取り上げて、研究および技術開発事例を紹介する。最後に、切削シミュレーションを用いた切削特性と残留応力に関する研究事例を紹介する。

◇ 工具鋼の切削に関する研究動向

1. 高硬度材料に対する概要

工具鋼等の高硬度材料の切削に関する研究は、自動車および金型産業のニーズにより古くから関

心が高く、多くの研究者が取り組んできた。文献¹⁾では、高硬度材料^{註1)}の切削に関する研究が体系的に総括されている。まず、切りくず生成については、切削厚さが小さい時には流れ型の切りくずが生成されるものの、ある程度の切削厚さになると鋸歯状の切りくずが生成される。この文献によれば、1964年にはこの現象をcatastrophic shear instabilityとして扱われていたが、1985年にはadiabatic shear理論により鋸歯状切りくず生成をthermo-plastic instabilityとして説明している。また、工具先端の形状が切削抵抗に及ぼす影響に関する研究が紹介されている。高硬度材料においては刃先先端部の形状が切削力に及ぼす影響が大きい。例えば、切れ刃丸みや工具摩耗の進行により先端部では大きな負のすくい角となり、切削抵抗が大きくなって切れ刃の温度が高くなることが示されている。

このような高硬度材料の切削に使用される工具の材料に対する取組みも多い。工具としては、力学的な観点から高硬度と靱性ととも耐衝撃性が要求される。熱的な観点からは、切れ刃先端部の温度を拡散させるために高い熱伝導率が望まれる。耐摩耗性としては材料中の硬粒子に対する耐アブレッシブ性と、熱的に安定な材質が必要となる。高硬度材の切削における工具損傷に関しては、これらの特性に高い性能が求められているが、近年のコーティング技術によって、かなり進歩している。

また、高硬度材料は適用される部品や金型の仕上げ面に対する要求も厳しい。そのため、表層部

注1) 文献1で議論しているのはHardened steelということで、本稿が対象とする工具鋼ではないが、高硬度金属材料の多くの研究動向が体系的にまとめられている。

の加工変質や残留応力に対する議論が多い。表層部の状態は、切れ刃先端部における応力や変形に依存するため、切削条件だけでは制御できない。そのような観点では、切れ刃の摩耗状態によって残留応力が大きく異なることが示されている。

2. 熱間工具鋼の切削に関する研究動向

1990年代になって工作機械技術の進歩とともに高速主軸の開発が進められ、主軸回転数が20,000~40,000rpmのマシニングセンタが増えた。これとともに工具鋼に対する高速切削に対する研究も報告されている。文献²⁾では硬度45~55HRCに熱処理をしたSKD61をPCBNのエンドミルで切削したときの切りくず生成、切削力、切れ刃先端部の損傷と摩耗、仕上げ面粗さ、表層部の組織に対して、熱処理、切削条件、切れ刃先端部の形状が及ぼす影響を議論している。また、SKD61の切削ではCBN含有率90%以上の材質が望ましいこと、この工具での切削では逃げ面摩耗の進行が小さいことが結論づけられている。

切削抵抗に関してはSKD61の直線切削と円弧切削に対して切削抵抗の簡易予測式を導出した報告がある³⁾。この報告では切れ刃先端部に摩耗が生じると大きな負のすくい角となり切削抵抗が変化することも考慮されている。このように工具鋼の切削では、切れ刃先端部の形状の変化が切削特性に及ぼす影響が特に大きい。文献⁴⁾では、冷間工具鋼のSKD11と熱間工具鋼のSKD61の切削特性を比較しているが、SKD11の炭化物の影響により切削時には切れ刃先端部のチッピングが生じ、SKD61より工具寿命が短くなることが示されている。このように工具鋼の切削では切れ刃の先端部の形状をどれだけ維持するかが、切削性能の安定化において重要である。さらに、文献⁴⁾では材料内部の組織に注目しているが、同様な研究としてはSi量が工具摩耗に及ぼす影響を調べた研究もある⁵⁾。Siの量が増えると切削抵抗が若干下がるとともに切削温度が低下し、工具寿命が延びる結果が示されている。また、Siの量と潤滑油の塗布効果を調べた研究では、潤滑油により材料の凝着が減り、工具摩耗が抑制できることが示されている⁶⁾。工具鋼における油剤の効果は、潤滑性だけでなく冷却性にも求められ、SKT4 (55NiCrMoV7) のエンドミル切削において、-210℃の液体窒素や-78.5℃

のCO₂を加工点に供給した時の切削特性を湿式における切削と比較し、その効果を示している⁷⁾。

工具鋼切削のためのコーティング材質に関する議論も多い。SKD61の切削においてはAlCrN-TiAlNの二層のPVDコーティングは単層のAlTiNよりも良い性能を示すことが報告されている⁸⁾。さらにAlCrN-TiAlNのPVDコーティングに対して、WPC (wide peening cleaning) で表面の機械的および耐凝着特性を向上させ、SKD61の切削における工具寿命が35%改善している⁹⁾。

表面品質に関しては、逃げ面摩耗の変化に対する仕上げ面粗さ、White layer、残留応力について調べた研究もある¹⁰⁾。この文献では、逃げ面摩耗による表層部の残留応力の変化と疲労寿命に及ぼす影響を調べている。

◇ 切削シミュレーションと工具鋼の切削特性

前述のように工具鋼やその他の高硬度材料に対して実験的な研究が数多くなされているが、解析的な切削モデルやシミュレーションに基づいた議論は少ない。ここでは、本特集号の対象から外れるが、冷間金型用工具鋼におけるエンドミル切削に対して、エネルギー解析法¹¹⁾を用いた切削力シミュレーションを示し、これに基づいた切削特性について議論する。

1. エネルギー解析法における切りくず生成モデル

図1はエンドミル切削過程における切りくず生成モデルである。これは切れ刃を微小部分に分割し、三次元の切りくず生成を切削速度 V と切りく

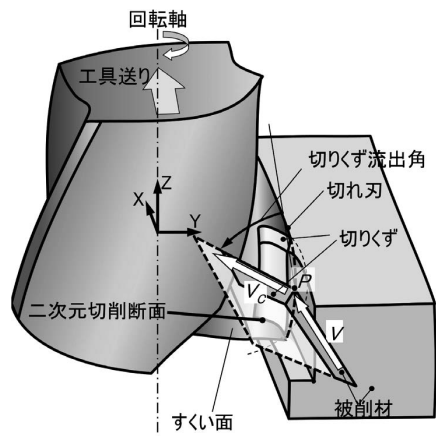


図 1 三次元切りくず生成モデル

ず流出速度 V_c を含む面内での二次元切削モデルの集積として考える。二次元切削モデルはせん断角 ϕ 、せん断面せん断応力 τ_s 、摩擦角 β と切削速度 V 、すくい角 α 、切削厚さ t_1 の関係式で設定する。例えば、後述の切削試験で用いたコーテッド工具で工具鋼及び炭素鋼を切削する場合、次式で与えられる。

工具鋼 (SKD11)

$$\left. \begin{aligned} \phi &= \exp(0.189V + 34380t_1 - 6.781\alpha - 0.429) \\ \tau_s &= \exp(0.046V - 2172t_1 + 0.002\alpha + 21.25) \\ \beta &= \exp(-0.095V - 27280t_1 + 1.795\alpha + 0.1696) \end{aligned} \right\} (1)$$

炭素鋼 (S50C)

$$\left. \begin{aligned} \phi &= \exp(0.254V - 11450t_1 + 0.487\alpha - 3.037) \\ \tau_s &= \exp(-0.001V - 2121t_1 + 0.009\alpha + 20.10) \\ \beta &= \exp(-0.042V - 5414t_1 - 1.357\alpha - 0.266) \end{aligned} \right\} (2)$$

この式では、刃先丸みや摩耗による切れ刃の押込み効果は切削厚さの項の係数により考慮される。このモデルでは、切りくず流出方向を仮定すると、二次元切削モデルにおけるすくい角と切削厚さが得られ、切りくず生成におけるせん断仕事とすくい面の摩擦仕事を計算する。そして、実際の切りくずは、これらの仕事の和である切削エネルギーが最小となる方向に流出するものとして決定する。切りくず流出方向とともに、二次元化断面における切削モデルが決定され、分割した切れ刃に負荷する力から切削力を得る。

2. 切削試験

図2のように切削動力計に板厚10mmの被削材を固定し、直径10mm、ねじれ角30°のAlCrNコーテッド超合金工具の1枚刃スクエアエンドミルを用い、軸方向切込み10mm、半径方向切込み0.1mm、切削速度25m/min、一刃の送り速度0.05mmの切削条件で、ダウンカットで被削材側面を切削した。被削材として、焼入れした硬度54HRCの工具鋼SKD11と、硬度14HRCの炭素鋼S50Cについて試験した。

3. 切削力シミュレーション

図3は切削力のシミュレーションと測定事例であるが、両者がほぼ一致していることから、式(1)、(2)及び解析の妥当性が確認できる。図4は切込み中央部における切削モデルの時間変化で

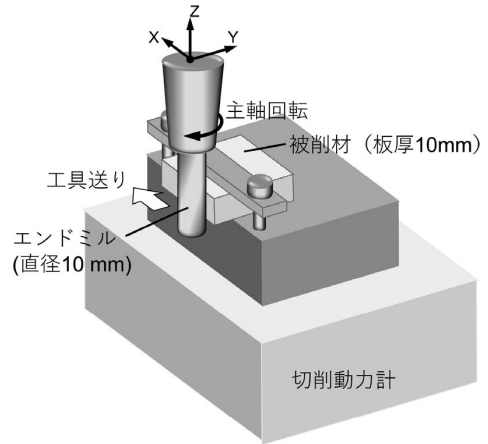
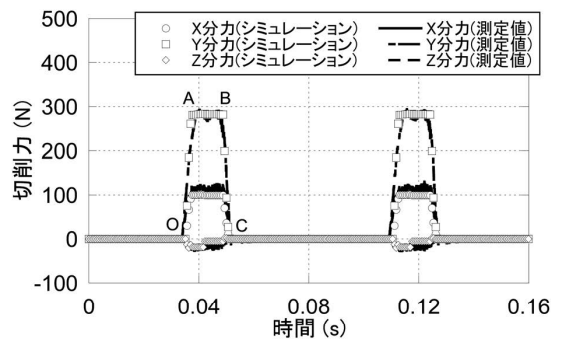
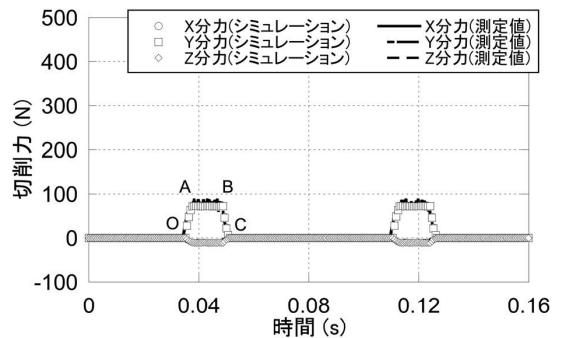


図 2 切削試験



(a) 工具鋼



(b) 炭素鋼

図 3 切削力シミュレーション

ある。工具鋼のせん断応力は炭素鋼のそれに比べて3.3倍程度大きい。また、摩擦角は1.5倍程度大きく切削厚さの減少とともに増加する。切れ刃の押込み効果は式(1)と(2)の二次元切削モデルにおける摩擦角の式における切削厚さの項が関与しているが、切削厚さの小さい仕上げ面の生成過程では、切れ刃の押込み力が大きいことがわかる。一

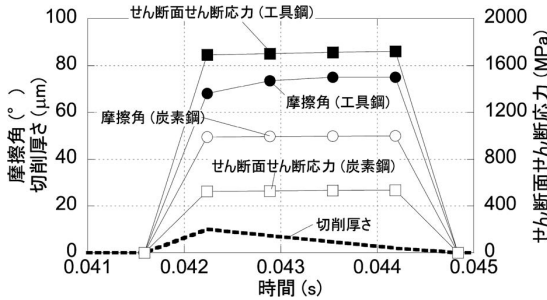


図 4 切れ刃回転中の切削厚さ、せん断応力、摩擦角の変化

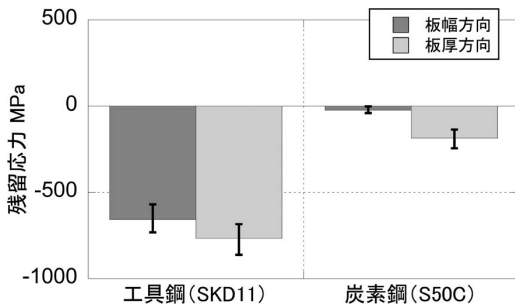


図 5 残留応力

方、炭素鋼の摩擦角はほとんど増加せず、押込力が小さい。

4. 残留応力

図5はX線残留応力測定機によって測定した板幅（工具送り）方向と板厚方向の残留応力である。炭素鋼に比べて工具鋼の切削では、大きな圧縮残留応力となっている。これは前述のように切削厚さが小さくなる仕上げ面生成過程で切れ刃の押し込み効果によって、仕上げ面に対する刃先のパニシング作用が大きくなるからである¹²⁾。

むすび

本稿では、高硬度金属材料と工具鋼に関する切削特性に関する研究について紹介した。構造用炭素鋼と比べて機械的強度の高い工具鋼の切削では、工具寿命と残留応力の制御が高品位かつ高能率化の鍵となる。工具鋼の切削では、特に切れ刃先端部の切削性能に対して十分な配慮が必要であり、コーティングを含めた工具材質と潤滑に対してさらなる開発が望まれる。また、切削状態を把握する一つの方法として、工具鋼のシミュレーションを紹介した。シミュレーションを援用しながら工

具材質や切削条件を検証する方法は、DXの一つの取り組みとして活用できる。ここでは紙面の都合上、数多くの研究の中から幾つかの文献を紹介した。工具鋼に関しては、国内よりも海外の研究論文が多い。読者には、紹介した研究論文で引用されている他の文献にて、さらなる情報を得ることを期待したい。

参考文献

- 1) H. K. Tönshoff, C. Arendt, R. Ben Amor, Cutting of hardened steel, CIRP Annals, 49, 2, 2000, pp. 547-566
- 2) M. A. Elbestawi, L. Chen, C. E. Becze, T. I. El-Wardany, High speed milling of dies and moulds in their hardened state. CIRP Annals, 46, 1, 1997, pp. 57-62
- 3) 垣野義昭、大塚裕俊、中川平三郎、廣垣俊樹、佐々木将志、焼入鋼のエンドミル加工に関する研究（第1報）—切削抵抗の簡易推定式とそれを用いた切削抵抗の一定化制御、精密工学会誌、66巻、5号（2000）pp. 730-734
- 4) 中川平三郎、廣垣俊樹、西村駒次、垣野義昭、喜田義宏、大塚裕俊、金型用焼入れ鋼のエンドミル加工に関する研究—SKD11とSKD61の比較、精密工学会誌、67号、5巻（2001）pp. 834-838
- 5) 藤井利光、松田幸紀、熱間工具鋼の被削性におよぼすSi量の影響、電気製鋼、71巻、2号（2000）pp. 119-129
- 6) 海野 正英、瀬羅 知曉、岡田 康孝、村上 大介、村上 禮三、椿野 晴繁、熱間工具鋼の被削性におよぼすシリコン量と潤滑油塗布の影響、鉄と鋼、89巻、5号（2003）pp. 601-608
- 7) M. Jebaraj, M. P. Kumar, R. Anburaj, Effect of LN2 and CO2 coolants in milling of 55NiCrMoV7 steel, Journal of Manufacturing Processes, 53, 2020, pp. 318-327
- 8) B. D. Beake, L. Ning, C. Gey, S. C. Veldhuis, A. B. Kornberg, A. Weaver, M. Khanna, G. S. Fox-Rabinovich, Wear performance of different PVD coatings during hard wet end milling of H13 tool steel, Surface & Coatings Technology, 279, 2015, pp. 118-125
- 9) S. Chowdhury, B. Bose, A. F. M. Arif, S. C. Veldhuis, Improving coated carbide tool life through wide peening cleaning (WPC) during the wet milling of H13 tool steel, Wear 450-451 (2020) 203259
- 10) W. Li, Y. Guo, C. Guo, Superior surface integrity by sustainable dry hard milling and impact on fatigue, CIRP Annals - Manufacturing Technology, 62, 2013, pp. 567-570
- 11) T. Matsumura, E. Usui, Predictive cutting force model in complex-shaped end milling based on minimum cutting energy, International Journal of Machine Tools and Manufacture, 50, 5, 2010, pp.458-466
- 12) 水谷秀幸、若林三記夫、切削残留応力に及ぼす切れ刃形状の影響（切れ刃すくい角および逃げ面接触幅の影響）、日本機械学会論文集 C 編、72, 715（2006）pp. 247-251

2. 熱間工具鋼の熱処理

(株)カムス 小 林 裕 宣
技 術 室

ま え が き

熱間工具鋼は、熱間鍛造、ダイカスト、熱間押し出しなどの熱間金型の素材として、高温のワークと接触する過酷な環境で使用されており、熱間金型の熱処理（焼入れ・焼戻し）は、金型用途に応じ要求される必要特性を発揮させるための重要な工程となります。また、熱間金型は一般的に冷間プレス金型等に比べ寸法・単重が大きく複雑な形状加工が施されている場合が多いので、割れや変形を回避して熱処理を行うためには、熱処理前の準備・熱処理条件の設定に細心の注意を払う必要があります。

更に近年では、金型の使用分野によっては、高い寸法精度や低ひずみ等、これまで以上に付加価値の高い熱処理が要求されるようになってきています。

弊社は、本社工場（群馬県太田市）、厚木工場（神奈川県厚木市）、瀬戸工場（愛知県瀬戸市）の3拠点でSKD11系冷間金型、SKD61系熱間金型の熱処理受託加工を行っております。

本稿では、熱間金型において重要となる、熱処理割れ・変形を回避し、素材の特性引き出す熱処理を行う上でのポイントを解説します。

◇ 焼入れ前の準備

金型を焼入れする際には、鋼種・金型の要求硬さ・熱処理後の加工代・金型単重及び形状を確認し、熱処理条件の設定や焼入れ炉へ装入する準備を行います。熱処理割れを防止するためには、焼入れ前の準備段階で、割れが生じやすい箇所がないか確認し対処することが最も重要です。

焼入れ処理中に割れが生じやすい典型的な箇所としては、キー溝・切り欠き等のコーナーRが小さい部分、金型肉厚が急激に変動する部分等が挙げられ、金型にこのような箇所がある場合は、焼入れ前に以下に示す処置を施すことが必要です。

(1) コーナーRが小さい部分

キー溝、切り欠き等のコーナーRが小さい場合は、

ユーザーにコーナー部の形状修正をしてもらうことが必要ですが、不可能な場合もあり、コーナー部のRの大きさを予めユーザーと取り決めておくことが割れ防止には有効な対処方法となります。

また、コーナーRの面粗度が粗い場合は、割れの起点と成り得るのでR部の面の状態を確認することも必要です。

(2) 金型肉厚の急変部分

金型肉厚が急に変動する部分は、焼入れ処理中に厚肉－薄肉部分の温度差が大きくなるため、変形や割れ発生の原因となります。

この場合は、肉厚の薄い部分に断熱材や当て物をする等で、処理中の温度差を小さくすることが有効な対策となります。また、穴（ダイカスト金型の水冷穴等）同士が近い場合や穴が金型の端面近くにある場合も薄肉で冷えやすくなるので断熱材で穴を塞ぐことが割れ防止には有効です。

◇ 焼入れ

焼入れは、金型をオーステナイト変態点（SKD61の場合：800～850℃）以上に加熱し、一定時間保持した後にマルテンサイト変態点（SKD61の場合：300～350℃）以下まで急冷することで金型を硬化（強化）することを目的に行います。（変態：温度により鉄原子の配列が変化する現象で、急激な体積変化を伴う。）

焼入れ処理は、加熱・冷却の過程での金型温度変化が大きく、加熱・冷却中に変態点を通過する際の体積変化で応力が発生し、変形や割れが発生する原因となるため、加熱・冷却条件の設定には注意が必要となります。

(1) 加熱条件

熱間金型の焼入れ加熱では、金型の表面－中心の温度差が大きくならないようにオーステナイト変態点を通過させ、製品を焼入れ加熱温度まで昇温させることが変形防止、焼入れ組織の均一化のために重要なポイントとなります。

金型の焼入れにおいては、一般的には600～650℃、800～850℃の予熱温度、1020～1040℃の焼入加熱温度が採用されており、予熱、加熱の保持時間は金型の大きさ（質量）に応じて適切に設定する必要があります。そのためには、図1に示す様に設定した加熱パターンの各段階での実際の物温を測定し、熱処理炉の指示温度に対する金型温度（表面－中心）の差を把握しておく必要があります。また、一般的に焼入れ加熱には、金型中心部の温度が設定温度に到達後30分以上の保持が必要とされており、金型の大きさに応じた適切な焼入れ加熱保持時間の設定が必要です。

(2) 冷却条件

焼入れ冷却では、焼入れ加熱保持後速やかにマ

ルテンサイト変態温度以下に製品温度を下げる必要がありますが、当社では金型の材質と単重に応じて油冷・加圧ガス冷却を使い分けています。

金型が大型化するほど金型中心の冷えが遅くなるので、速く冷却することが必要になります。金型単重が大きく金型内部のマルテンサイト変態点通過が表面に比べ遅れる場合や、金型表面に応力集中を起こす恐れのある個所は、表面がマルテンサイト変態点以下の温度に達した以降も急速冷却を続けると割れが発生する危険性が高くなります。

図2に一般的な焼入れ冷却中の割れ発生メカニズムを示します。

冷却初期は表面が速く冷えて内部との温度差により表面に引張応力が発生しますが、高温で柔ら

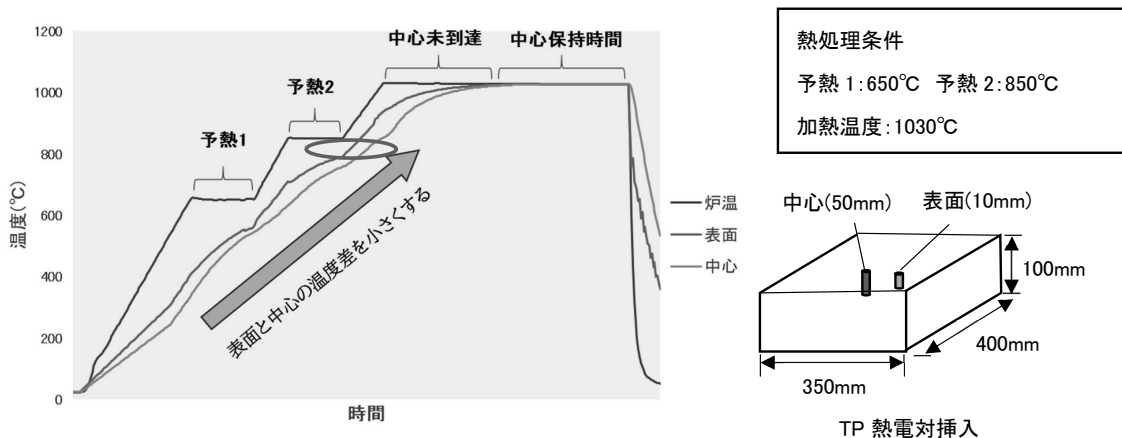


図 1 焼入れ加熱における炉指示温度と実際金型温度の模式図

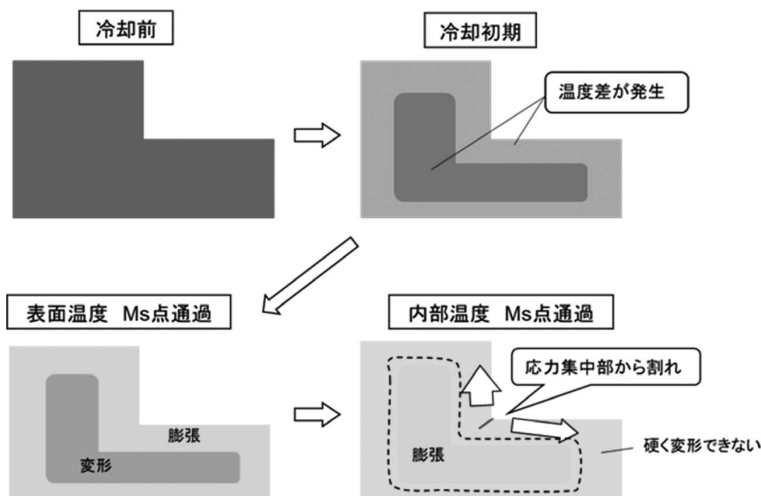


図 2 焼入れ冷却中の冷却割れ発生メカニズムの模式図

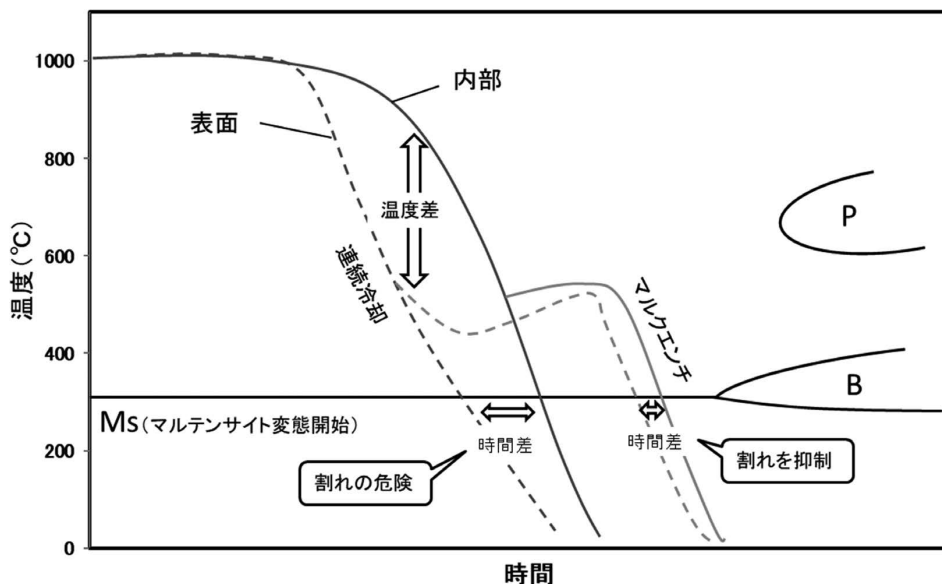


図 3 マルクエンチ処理による金型冷却の模式図

かい組織のため割れには至りません。冷却を続け表面温度がマルテンサイト変態点を通過すると表面部が変態膨張し、一旦表面の引張応力は緩和しますが、更に冷却を続け金型内部がマルテンサイト変態点を通過すると金型内部の変態膨張により金型表面に引張応力が加わり、応力の集中しやすい箇所に割れが発生します。

当社では、上記の冷却割れ発生防止を目的に、単重が大きい金型や割れやすい形状の金型には、マルクエンチ処理を適用しています。マルクエンチ処理はマルテンサイト変態点手前の温度で金型表面と内部の温度差が小さくなるまで保持し、再び急冷することで割れや大きな変形を抑止する冷却方法です。

図3に熱間工具鋼の焼入れ冷却時の経過時間と変態組織の関係を示した模式図に、連続冷却とマルクエンチで冷却した時の金型実体温度の冷却曲線を示します。

◇ 焼戻し

焼戻しは、焼入れた金型をオーステナイト変態点以下の温度に加熱・保持して、焼入時に発生する応力の緩和と、硬さを調整して金型に目的に応じた強度（強さ）と靱性（粘り強さ）を付与する目的で行われます。

焼入れ状態で金型を放置すると、焼入れ時の未変態組織の残留オーステナイトが徐々にマルテンサイト変態し膨張して割れを引き起こす場合があります。焼入れ後は速やかに焼戻を行う必要があります。

一般に熱間工具鋼は540℃～650℃程度で2回以上の焼戻しを行います。1回目の焼戻しでは、残留オーステナイトの分解と、焼入れ変態組織のマルテンサイトを軟化、2回目以降の焼戻しでは、硬さ調整と1回目の焼戻しで残留オーステナイトが分解して生成されたマルテンサイトを軟化させて金型に靱性を付与することが目的となります。

ダイカスト金型など熱処理変形への要求精度が厳しい物は、焼入れの変形で要求精度から外れることがあります。この様な場合、変形を要求精度内に抑える方法として、プレスクエンチやプレステンパーが有効です。

プレスクエンチは、焼入れ冷却過程でマルテンサイト変態前の組織が柔らかい状態で矯正により圧力を加え、そのまま冷却して変形を抑制する方法です。プレステンパーは、金型を矯正しながら焼戻しをする方法で、組織変化の大きい1回目の焼戻しに変形を大きく修正できる効果があります。

プレスクエンチ、プレステンパーでは、金型のサイズに応じた強度の矯正治具の選択、矯正時に

力を加える位置や程度を金型形状に応じて見極めることが矯正結果に大きく影響するので、経験の必要な作業となります。

むすび

本稿では、熱間金型の必要とされる特性を発揮させると同時に、割れ防止策や変形を抑える熱処

理のポイントについて紹介しました。

近年の金型製作において熱処理には、仕上げ加工の時間・コスト削減のため、変寸・変形を極力少なくする熱処理が必要とされる様になっています。

当社はこれからも、独自のノウハウとユーザーニーズに合った品質を得るための熱処理技術開発に勤めて参ります。



3. 表面処理

小山鋼材(株) か だ よし ひろ
技術支援室 **加 田 善 裕**

まえがき

熱間工具の表面は、高温に加熱された金属・溶融金属と接触したり、被加工材との摩擦による発熱があったり、工具表面が高温になりすぎないように離型剤・潤滑剤による冷却がなされたりする。このような環境下、急激な温度変化や発生する応力は、工具表面で最大になる場合が多く、表層部の損傷が拡大して、寿命に至るケースが大半を占める。また、損傷対策としての工具材料の高強度化は、低靱性化を伴うため、大割れリスクが高まる問題がある。この対策として、工具表面のみを高強度化したり、耐摩耗性や耐焼付き性等の特性を付与したりする表面処理が積極的に採用されている。

◇ 熱間工具に使用される表面処理

表1に主要な熱間工具の要求特性と使用表面処理例を示す。熱間工具は多様であり、使用条件・大きさ・金額・形状の複雑さ等が大きく異なり、すべてに対応出来る万能表面処理は存在しない。例えば、PVD等硬質被膜処理は、耐摩耗性・耐溶損性等の大幅改善が期待出来るが、処理費が高いため、大きな金型に適用されることはなく、ピン

等、負荷の激しく小さな工具に限定して使われている。各種表面処理の中で、熱間工具に最も広く適用されているのは、処理費と改善効果のバランスのよい窒化であり、本稿では窒化に焦点を当て解説するが、窒化にも色々な処理があり、対象工具によって使い分けられている。各種窒化方法の詳細は、本誌2022年5月号で解説されているので、本稿では、窒化層の性状を切り口に、用途別選択の考え方を中心に解説したい。

◇ 窒化性状と特性との関係

熱間工具には、ガス軟窒化、塩浴窒化、プラズマ窒化、真空ガス窒化等、色々な窒化法が適用されているが、実際には、表面処理専門メーカーや流通業者の表面処理部門が付けたブランド名で処理される場合がほとんどである。また、同じ窒化法でも、各社で温度・時間・含窒素雰囲気組成等の条件が異なり、窒化性状や性能に差が生じている。

図1に窒化層の組織例を示す。窒化表層には、鉄の窒化物からなる化合物層が存在し、直下の母材に窒素が拡散した拡散層が形成される。窒素は、熱間工具鋼に含まれるCrと微細窒化物を作って析出し、拡散層を硬化する。拡散層は、一般的に腐

表 1 主要熱間工具の要求特性と使用表面処理例

	耐摩耗性	摺動性	耐ヒートクラック性	耐溶損性	耐焼付き性	耐剥離性	使用表面処理例
熱間鍛造型	◎	○	○	-	○	○	窒化、Crめっき [*] 、(PVD)
押出ダイス	◎	-	-	-	○	◎	窒化
ダイカスト型	△	△	◎	○	○	△	窒化、PVD、(PCVD、TRD)
ホットスタンプ型	◎	△	-	-	◎	-	窒化、PVD

凡例：要求特性を重視度順に◎○△で示す。-は対象外。^{*}ハンマー型に適用

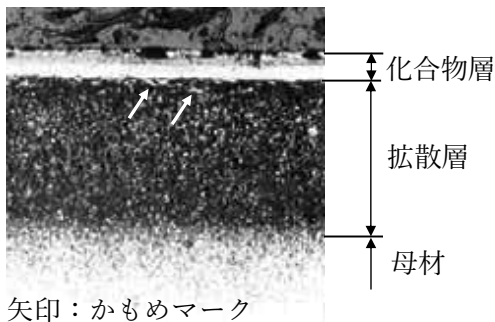
食され易いため、ミクロ組織観察で黒く見える。拡散層内の母材の結晶粒界に、かもめマークと呼ばれる白色の析出物が観察される場合もある。

化合物層の組成・厚さ、拡散層の硬さ・深さ等、窒化層の性状は、窒化条件と共に、材料の化学成分によっても変化する。熱間工具鋼に含まれる成分では、Crの影響が一番大きく、5Cr系（SKD61等）、4Cr系（SKD8等）、3Cr系（SKD7等）とCr含有量が少ないほど、拡散層の最高硬さは低くなり、窒化が深くなる傾向がある。

化合物層は、硬質なセラミックであり、拡散層より硬く、耐摩耗性を向上する。また、金属と反応し難く耐溶損性・耐焼付き性に優れる特長がある。しかし、脆いため耐ヒートクラック性を劣化させる。拡散層は、硬さが高いほど強度・耐摩耗性が向上するが、韌性は低下する。また、拡散層が深いほど、耐摩耗性は向上するが、深いクラック

クが発生し易くなるので、クラック対策としては浅い方が有利となる。

窒化性状の代表例をタイプA～Dとして示し、各種特性と対応させて図2¹⁾に示す。タイプA・Bは代表的な窒化性状で、一般的な深さと、やや深めの窒化である。Bの方が表面化合物層も厚くなり、かもめマークも増えるので、耐ヒートクラック性・耐剥離性は低下する。A・Bは代表例なので、中間的な性状の窒化も存在する。タイプCは、浸硫窒化で、表層に硫化物・酸化物の層が存在するため、耐摩耗性・耐溶損性がA・Bより改善される。タイプDは、表面に脆い化合物層がなく、硬さも抑えた浅めの窒化で、窒化層の延性が向上しているのので、耐ヒートクラック性・耐剥離性に優れる。また、浅いヒートクラックが多数発生し、深いヒートクラックが発生しにくい長所もある。ただし、耐摩耗性・耐溶損性は劣化する。このように、耐ヒートクラック性・耐剥離性と耐摩耗性・耐溶損性は、相反特性であり、特性差は化合物層・拡散層の性状に起因している。窒化だけで、両方の特性を同時に向上することは出来ないのので、用途によって、窒化を選択することになる。



矢印：かもめマーク

図 1 窒化層の組織例

◇ 用途別窒化処理

熱間鍛造は、1000℃以上等に加熱された被加工材を金型で叩いて、金型形状を転写する加工法で、被加工材が金型表面に高い圧力を掛けながら摺動する。その際、被加工材からの伝熱と共に摩擦発

	タイプA	タイプB	タイプC	タイプD
形態と窒化深さ (窒化層性状はSKD61に窒化の場合)	化合物層 0.1mm >1000HV	化合物層 かもめマーク 0.2mm >1000HV	硫化物、酸化物の層 0.2mm >1000HV	表面化合物層なし 0.05~0.1mm 600~800HV
耐ヒートクラック性	○	△	△	◎
耐剥離性	○	△	△	◎
耐摩耗性	○	○+	◎	△
耐溶損性	○	○+	◎	△
窒化の種類	一般窒化	深め窒化	浸硫窒化	浅め窒化

日立金属カタログの図を元に作成。優:◎→○→△:劣。○+は○より若干優位。

図 2 窒化層の性状と各種特性との関係¹⁾

熱もあり、金型表面温度が高くなって軟化が進行する。そのため、金型の凸コーナー部やフラッシュランド部を中心に摩耗が発生して、補修・廃却につながっていく。凹コーナー部等のクラックが進展して割れに至る場合もある。このような使用環境に対応し、特殊な金型を除いて、タイプA～Cの窒化を適用する。摩耗・クラックが両方問題となる場合にはタイプAが推奨され、クラックは問題とならず摩耗対策重視の場合にはタイプBが推奨される。タイプCは、タイプB以上の耐摩耗性が要求される場合に選択されるが、摺動性も含め、改善効果が大い。タイプDは、表面からの潤滑剤冷却が強く、ヒートクラックが問題となる特殊な金型に適用される場合がある。

ダイカストは、アルミニウムであれば700℃前後の溶融アルミを、組合せた金型間の隙間に流し込み、金型による抜熱で冷却→凝固させる加工法である。鑄造サイクル間に金型に離型剤を噴霧し、型表面を冷却するので、金型表面に昇温・降温サイクルが生じ、ヒートクラックが発生する。ヒートクラックはダイカスト型の損傷の大部分を占め、溶接補修を繰り返した後、廃却に至る。アルミの種類によっては、ゲート（溶融アルミの金型間隙間部への入り口）正面部等の金型表面で、溶融アルミとの合金化等により溶損が発生することもある。

ダイカスト型のヒートクラック対策には、タイプDの窒化が選択される。タイプDは、表面に脆い化合物層がなく、拡散層硬さを適度に抑えているのでクラックが発生し難く、拡散層深さを浅めにしたことで、浅いクラックが多数発生し、応力分散効果でクラックが進展しにくい特長がある²⁾。溶損も問題になる金型にはタイプAが適用される。拡散層が深くなると、ヒートクラックが母材まで進展し易くなるので、ダイカスト型では、タイプBよりタイプAが推奨される。最近では、溶損対策として、窒化の上に酸化被膜を付ける処理も開発されている。ヒートクラック対策が優先される場合にはタイプDに酸化被膜、ヒートクラックと共に溶損対策も重視される金型にはタイプAに酸化被膜を付与する処理が推奨されている。ヒートク

ラックが問題にならず、溶損・焼付き対策が最優先の金型や射出装置部品であるスリーブには、タイプBやタイプCの窒化が使われている。

押出ダイスには、500℃台に加熱されたアルミニウム等が、ベアリング部で連続的に摺動接触していくため、化合物層のある窒化が適用される。補修・再窒化が繰り返されるため、タイプAの窒化が選択されるが、再窒化が繰り返されるとタイプBに変化していき、窒化層剥離が発生して、製品表面に欠陥が発生するようになる。

ホットスタンプは、900℃以上に加熱されたシート材を、水冷された金型に挟んで形状を転写すると同時に焼入する加工法である。シート材にはAlSiコート材、Znコート材やノンコート材等があるが、コート材では加熱により軟化・酸化したコート層の凝着摩耗、ノンコート材では酸化スケールによる摩耗の問題が発生している³⁾。この対策としては、タイプB・Cの窒化が推奨されている。

むすび

代表的熱間工具に対する窒化性状の選択の考え方を中心に説明させて頂いた。各種窒化はブランド名で取引されるが、メーカー推奨処理を単純に選択するのではなく、各ブランドの窒化性状や、どのような考え方で窒化性状が設定されているかを確認して選択すれば、工具寿命向上に必ず寄与すると考える。

なお、本稿では、窒化性状を代表例のタイプA～Dに分け解説したが、窒化に特殊ショットピーニングや放電被覆を組合せた処理も存在する。また、PVD等硬質被膜処理にも多種・多様な表面処理が存在する。これらの処理は、窒化だけでは達成出来ない特性改善が期待出来、興味深い。

読者の皆様が、本稿をきっかけに、表面処理の性状や背景となる考え方に興味を持って頂ければ幸いです。

参考文献

- 1) 日立金属：YSS熱間加工用工具鋼カタログ、p. 10
- 2) 田村庸、井上謙一、長澤政幸：熱処理、Vol. 45、No. 5、p. 295
- 3) 福井茂雄、露木陽：特殊鋼、Vol. 66、No. 3 (2017)、p. 42

4. ダイカスト金型の肉盛溶接補修

大同DMソリューション(株) 生産本部 堀 尾 浩 次
グローバル生産技術部 技術室

まえがき

ダイカスト金型の損傷において、ヒートチェックが最も多い損傷¹⁾である。そこで耐ヒートチェック性が優れる材料開発²⁾など行われてきた。また、更なる寿命向上を目指し、窒化処理³⁾、PVD処理⁴⁾などの表面処理の開発も行われ、殆どの金型で表面処理が適用されている。

しかしながら、寿命が向上するも、何れ損傷に至る。その損傷を復元するために、肉盛補修溶接を行うのが一般的である。金型が廃型になるまでの寿命の約9割は溶接補修で寿命が保たれている。また、肉盛溶接補修は金型の設計変更や加工ミスの修正にも多く適用されている。

本稿ではダイカスト金型のTIG溶接による溶接補修に的を絞って、溶接補修の勘どころについて述べる。また、予後熱処理なしの環境に適し、溶接のままマルエージング鋼の補修材料よりもヒートチェック性が優れる溶接補修肉盛材料「DHW[®]」⁵⁾について紹介し、最後に今後の展望についても述べる。

◇ TIG溶接による肉盛溶接補修の勘どころ

表1に基本的な肉盛補修溶接の作業手順を示す。大規模な損傷時は製造ラインから外し、溶接補修を行うと良い。安定した溶接姿勢が取れ、また、予後熱処理も可能となる。金型洗浄および整備は重要な作業である。洗浄を怠り、アルミが金型に付着しているとそのアルミが溶接補修中、肉盛金属と脆弱な金属間化合物を形成する場合がある。また、金型の整備においてはクラックの除去が不完全であると、そのクラックから溶接中に溶接割れが生じる場合や、また、使用中にそこが起点で早期割れに繋がる場合がある。水冷孔部位の補修では孔の内部を乾燥させる必要がある。内部が濡れていると溶接の熱より水蒸気が発生し、ブローホールの原因になる。

溶接において、ダイカスト金型に対する溶接材料は18%Niマルエージング鋼と母材と同種材であるSKD61があるが、18%Niマルエージング鋼が使用されることが多い。それは18%Niマルエージング鋼の肉盛ままの硬さ約41HRC⁶⁾に対し、SKD61

表 1 金型肉盛補修溶接における基本的な作業手順

No	工程	管理方法	目的
①	金型分解	製造ラインから外す。	溶接姿勢が安定。予後熱処理可能。
②	金型洗浄	汚れ、アルミ類の除去。	外観検査の誤検出防止。肉盛金属の脆弱なAl-Fe合金出現防止。
③	検査	外観検査（浸透探傷試験）。	ヒートチェックなど割れ有無の確認。
④	金型整備	溶損部、割れ部、酸化物、窒化層の除去。水冷孔部位の乾燥。	補修金型の性能劣化、ブローホール、溶接割れの発生の防止。
⑤	開先加工	鋭角形状にしない（3R以上）。開先>60°。	融合不良の防止。
⑥	検査	外観検査（浸透探傷試験）。	クラック完全除去確認。
⑦	予熱処理	金型材料・溶接材料に応じた熱処理条件。	溶接割れ防止。
⑧	溶接	溶接条件（表2）。	適正な溶接条件の目安。
⑨	検査	外観検査（目視検査）。	溶接割れ、アンダーカット、ピットの有無。
⑩	後熱処理	金型材料・溶接材料に応じた熱処理条件。	溶接割れ防止、応力除去、硬さ調整。
⑪	機械加工	重切削、研磨焼けを避ける。	応力発生及び研磨割れ防止。
⑫	検査	外観検査（浸透探傷試験）。	溶接割れ、融合不良、ブローホールの確認。
⑬	金型組立	製造ライン組付け。	生産。

表 2 TIG手溶接条件（一例）

タングステン電極 直径 (mm)	溶加棒直径 (mm)	溶接電流 (A)	シールドガス流量 Ar (L/min)	トーチノズル径 (mm)	タングステン電極 母材間距離 (mm)
1.0	1.0	15~80	4~8	9	1.5~2.0
1.6	1.6	70~150	6~9	9	2.4~3.2
2.4	2.4	150~250	7~10	9~11	3.6~4.8
3.2	3.2	250~400	10~15	9~11	4.8~6.4

では約56HRC⁶⁾と硬く、溶接割れの感受性が高いことが主な理由である。溶接条件は肉盛量、金型の形状などに合わせて選定しなければならない。表2に目安となるTIG溶接条件の一例を示す。肉盛量が少なきときは熱影響の抑制のために溶接電流を低くし、径の細い溶加棒を使用する。一方、肉盛量が多いときは溶着量を増大させるため、溶接電流を高くし、径の太い溶加棒を選択する。また、金型形状において、ピンのような細い部位を補修するときは溶落ちが発生しないように小電流で行う。

予後熱処理は溶接割れおよび溶接歪の抑制並びに肉盛金属の特性の向上を図るために行われる。予熱処理については、18%Niマルエージング鋼の溶接材料では300~400℃⁶⁾、SKD61の溶接材料では、400~500℃⁶⁾の処理温度が好ましい。後熱処理については溶接により発生した内部応力の除去と硬さの調整が大きな目的であるため、500~550℃⁶⁾の処理温度が望ましい。しかしながら、この温度領域において、SKD61は二次硬化が発生することより、再熱割れが発生する恐れがある。後熱処理を施す前に、ビード止端部の形状や切欠きとなる溶接補修部位に対して、切欠きにならないようにTIG溶接で再修正やグラインダーなどで平滑にすることが再熱割れの抑制となる。なお、全てに対して、予後熱処理が必要ではなく、溶接割れが発生しにくい小規模の肉盛溶接補修など、生産性を考慮し、予後熱処理を省略されることがある。

◇ ダイカスト金型補修用TIG溶接材料「DHW[®]」

前章では大定修など製造ラインから金型を取り外した形における溶接補修について述べた。金型を製造ラインから取り外すと取り外す時間、組み付ける時間も要することとなり、長時間に亘り生

産が停止する。小規模の肉盛補修溶接の場合、製造ラインから金型を取り外さないでそのまま補修を行うときが多い。当然、予後熱処理は実施できない環境である。それに対応した溶接補修材料「DHW[®]」を紹介する。

前章で溶接材料として、18%Niマルエージング鋼と母材と同種材であるSKD61を紹介した。18%Niマルエージング鋼溶接材料は肉盛ままで硬さが約41HRCと低いため、耐ヒートチェック性が劣る。一方、SKD61の溶接材料は肉盛ままでは硬化割れが発生する恐れがある。そこで、肉盛のままで43-48HRCになるSKD61相当の溶接材料「DHW[®]」が開発された。

図1に肉盛ままの「DHW[®]」および18%Niマルエージング鋼のヒートチェック試験結果を示す。SKD61母材の上半面に対して、「DHW[®]」および18%Niマルエージング鋼溶接材料を用いて、肉盛溶接を行った。ヒートチェック試験は高周波誘導加熱により上面を580℃で7秒間加熱し、その後、3秒間水冷し、そして、7秒間エアブローを行った。この工程が1サイクルである。5,000サイクルにおいて、「DHW[®]」と18%Niマルエージング鋼を比べると「DHW[®]」の方がヒートチェックの数は少ない。25,000サイクルになるとその差は顕著に現れており、「DHW[®]」の方が耐ヒートチェック性に歴然として優れていることが分かる。「DHW[®]」の硬さが硬いことが耐ヒートチェック性に優れる一つの要因である。また、熱伝導度においても、「DHW[®]」の方が18%Niマルエージング鋼よりも高く、熱が逃げやすい。熱膨張においてはSKD61相当であるので、SKD61母材と同等である。熱伝導度、熱膨張も「DHW[®]」の耐ヒートチェック性が優れる要因である。勿論、溶接後、後熱処理を行うと、引張の残留応力が解放されるので、耐ヒートチェック性は更に良好となる。一つ注意す

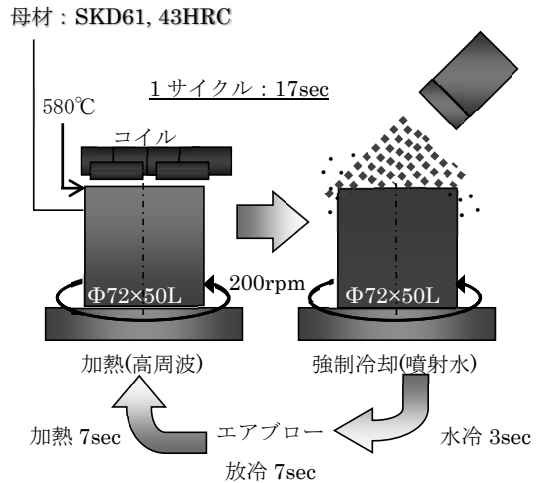
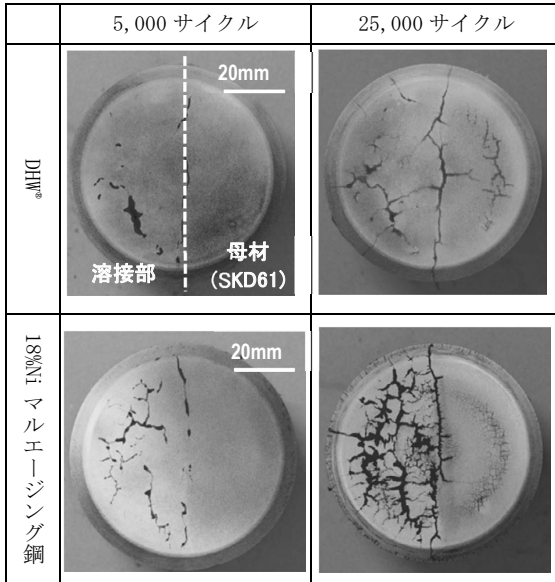


図 1 「DHW[®]」および18%Niマルエージング鋼の肉盛のままのヒートチェック試験結果⁷⁾

べき点を挙げると初層（1層目）の入熱を抑えることである。入熱が高いとSKD61母材の硬くなる成分である炭素が肉盛金属に含有し、必要以上に硬化する恐れがある。

◇ 今後の展望

肉盛溶接補修は溶接技能が必要不可欠である。熟練者からOJT（On-the-Job Training）で溶接技能の伝承がなされてきた。しかしながら、少子高齢化、生産年齢人口の減少が進むにつれ、熟練者から若手への継承が危ぶまれている。そこで、肉盛溶接補修の自動化が望まれている。金属3DプリンターのDED（Directed Energy Deposition）方式は自動補修技術の一つであり、最近、開発が進められている。レーザーを熱源とし、溶接ロボットにレーザーヘッドを把持させ、レーザー照射で溶融した部分に溶加材である粉末が流れて溶かされ、肉盛金属になる仕組みである。工作機械メーカーが出されているDED装置は5軸加工機がベースになっ

ているため、機械加工も付与されており、レーザー肉盛補修後、その場で機械加工ができるようになっている。自動化により深度が深い溶接技能は必要としないが、ロボット操作技術、CAM技術が必要不可欠である。

DEDではダイカストマシーンに組付けたままで損傷した金型を補修することは困難である。従って、定修のような大規模な補修は自動化のDEDで行い、小規模の補修は製造ラインに組付けたまま肉盛補修溶接が可能な従来技術である手動TIG溶接に使分けされると思われる。

参考文献

- 1) 山岡美樹：特殊鋼、67（2018）4、9
- 2) 横井直樹、河野正道、井上幸一郎：電気製鋼、81（2010）、25
- 3) 平岡泰、井上幸一郎：電気製鋼、81（2010）、15
- 4) 増田哲也、清水崇行、井上幸一郎：電気製鋼、81（2010）、5
- 5) 梅森直樹、増田哲也、堀尾浩次：まてりあ、54（2015）、2、72
- 6) 堀尾浩次：特殊鋼、59（2010）9、31
- 7) 梅森直樹、堀尾浩次、増田哲也：電気製鋼、85（2014）、63

IV. 会員会社の熱間工具鋼と関連技術

1. 高温強度に優れた高性能ダイカスト

金型用鋼DAC-X[®]

日立金属(株) 金属材料事業本部 特殊鋼統括部 工具鋼部 技術グループ **村崎拓哉**

まえがき

ダイカスト金型の損傷は、ヒートチェック、大割れ、溶損などが挙げられるが、この中でもヒートチェックは金型の損傷において大部分を占める¹⁾。特に、金型が高温にさらされる環境下では、溶湯の充填と離型時の冷却における温度振幅の拡大や金型表面のヘタリによって、ヒートチェック発生リスクが上昇する²⁾。また、水冷穴などを起点として突発的に発生する大割れの抑制も求められる。

近年、xEV関連部品へのダイカスト適用拡大に伴う溶湯温度の高温化や、ハイサイクル化など、ダイカスト金型の使用環境はさらに過酷になっている。日立金属（以下、当社）ではこのたび、高温強度に優れたダイカスト金型用鋼「DAC-X[®]」を開発した³⁾。この新製品について紹介する。

◇ DAC-X[®]の特徴

工具鋼においては、金型の耐ヒートチェック性に寄与する硬さや高温強度と、耐大割れ性に寄与する韌性は一般に相反の関係にある。このため、鋼の特性からこれらを同時に改善させることは素材メーカーとしての難題であった。当社は、高温強度を引き出す合金設計に鋼種独自の組織制御プロセスを組み合わせることで、高い高温強度と韌性を兼備させた高性能ダイカスト金型用鋼「DAC-X[®]」を開発した。

当社で実施した650℃引張試験において、従来の汎用ダイカスト金型用鋼DAC[®]-P（JIS SKD61相当）は硬さ45HRCでおよそ570MPaであるのに対

し、DAC-X[®]では700MPaを超える強度が得られた。これは他の既存鋼種（DAC-MAGIC[®]：約610MPa、DAC10：約670MPa）と比較しても高い高温強度を有している。また、韌性を示すシャルピー衝撃試験（2Uノッチ）は、焼入冷却速度が半冷20分において、DAC-X[®]は硬さ45HRCで35J/cm²以上が得られ、汎用鋼のDAC[®]-P、高温強度重視鋼であるDAC[®]10（ともに同硬さで約25J/cm²）と比較して高い韌性を示す。従来の高韌性鋼DAC-MAGIC[®]（同45J/cm²）には及ばないものの、DAC-X[®]は高温強度重視鋼でありながら、ダイカスト金型用鋼

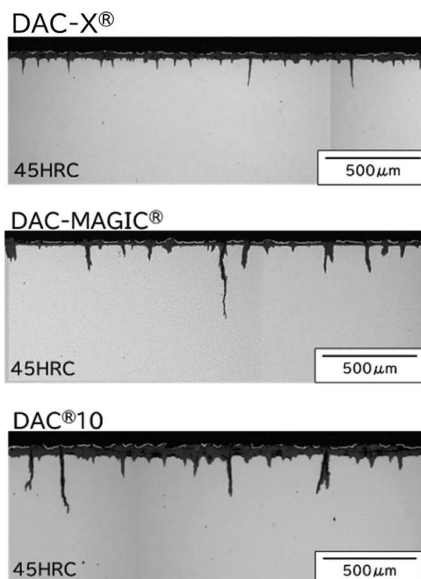


図 1 ヒートチェック試験後の試験片断面観察写真
650℃加熱⇄水冷 3,000サイクル
(焼入温度：1030℃、半冷^{*}：40分)
※半冷：焼入温度から (焼入温度+室温)/2の温度までの冷却に要する時間を分で表す。

として必要十分な靱性を持つ鋼種であると言える。

図1に、試験片を650℃まで加熱後、水冷による急冷を3,000サイクルまで行ったヒートチェック試験後の試験片断面の亀裂進展状況を観察した結果を示す。DAC-X[®]は高靱性鋼であるDAC-MAGIC[®]や、高温強度重視鋼であるDAC[®]10と比較して最大の亀裂深さが半分以下に抑えられている。これはDAC-X[®]の優れた高温強度により初期亀裂の発生を抑制するとともに、従来高温強度重視鋼よりも靱性を改善したことによって、亀裂の進展が抑制された結果であると考えられる。

DAC-X[®]は既に複数のお客様でご使用いただいております。従来使用されていた金型用鋼と比較して、ヒートチェック発生の抑制や、亀裂発生に伴う金型補修回数の低減といったかたちで、金型の寿命改善効果が得られたというお声を頂戴している。

むすび

DAC-X[®]は、高い高温強度を特長に持つ、新しい高性能ダイカスト金型用鋼である。特に熱負荷の高い用途において金型寿命の延伸に効果が期待できる。当社は、DAC-X[®]をはじめとした工具鋼で、金型の長寿命化を通じて資源の有効活用並びに低炭素社会への貢献を目指す。

(記載の特性値および図のデータは当社試験データによる代表的な値であり、製品の品質を保証するものではありません。)

参考文献

- 1) 西直美、鑄造工学 第87巻 (2015) 第7号 483-495
- 2) 日原正彦、電気加工学会誌 Vol. 35 No. 78 (2001) 1-11
- 3) 日立金属技報 Vol. 37 (2021) 69



2. 高強度高靱性ハンマー金型用鋼

「QTP[®]-HARMOTEX[®]」

山陽特殊製鋼(株) 研究・開発センター 新商品開発室 商品開発2グループ **難波剛士**

まえがき

近年、カーボンニュートラルの実現に向けた社会的な環境変化を背景に、自動車の燃費向上を目的とした軽量化に代表されるように、各種構造部品への高強度材の採用が進んでいる。また、歩留まり向上や工期短縮を目的とした部品製造工程の簡素化のためのニアネットシェイプ成形化が進行している。強い衝撃を受けるハンマー金型の汎用鋼であるJIS-SKT4は、熱間工具鋼の中で比較的低合金設計をもってハンマー鍛造用金型に欠かせない高い靱性を有することが特徴である。しかしながら、上述した背景による金型使用環境の急速な過酷化に伴い、高温強度の向上が求められている。当社では、そのニーズに適合した新たな高強度高

靱性ハンマー金型用鋼であるQTP[®]-HARMOTEX[®]を開発した。

◇ 「QTP[®]-HARMOTEX[®]」開発のポイント

QTP[®]-HARMOTEX[®]の開発では、組織予測技術に基づく合金設計と熱処理プロセスの適正化により、析出炭化物の粗大化抑制と転位の回復抑制に効果的な組織設計を見出し、優れた高温強度を獲得した。更に、製造プロセスを最適化し、組織の均質化を図ることで優れた靱性を有するに至った。図1に焼入条件と軟化抵抗性及び靱性の関係を示す。焼入条件については、焼入温度と時間による焼入パラメーターPを用いて整理した。QTP[®]-HARMOTEX[®]は、上記のキーテクノロジーの組み合わせにより優れた高温強度と靱性を兼備した鋼種である。

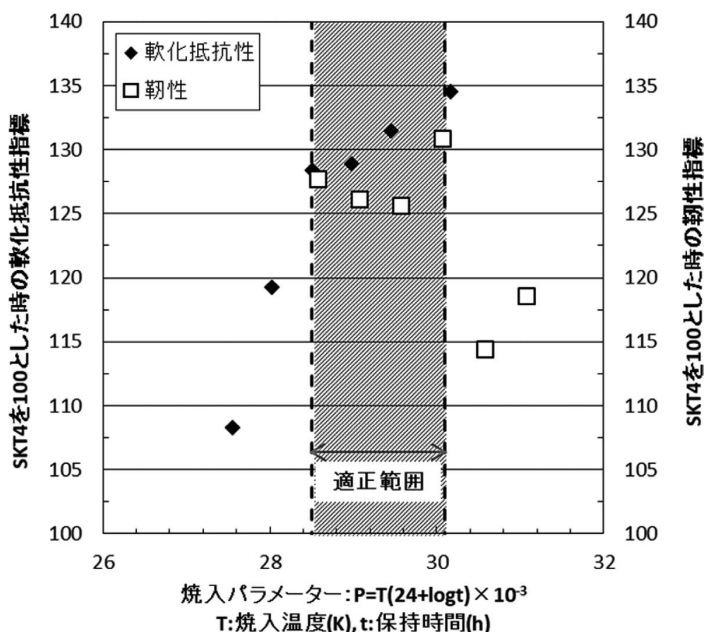


図 1 焼入条件と軟化抵抗性及び靱性の関係

◇ 「QTP[®]-HARMOTEX[®]」の特徴

(1) 軟化抵抗性

軟化抵抗性とは、高温長時間保持後の耐硬度低下を表す特性であり、高温強度の指標に用いられる。QTP[®]-HARMOTEX[®]は、析出炭化物の粗大化抑制と、転位の回復抑制により、従来のSKT4相当鋼を大きく上回る軟化抵抗性を有している。これにより、金型使用中の軟化を遅延させ、摩耗やへたりが抑制され、金型の長寿命化が期待できる。

(2) 靱性

QTP[®]-HARMOTEX[®]は、プロセスの最適化により組織を均質化したことで、SKT4相当鋼よりも優れた靱性を有している。これにより、金型使用時の微小な欠けや大割れが抑制される。

(3) 耐ヒートチェック性

熱間金型では、被加工材からの熱影響による金

型表面の加熱と、離型剤や潤滑剤による冷却により、表層に膨張と収縮に起因する応力が繰り返し生じることでヒートチェックと呼ばれる表面き裂が発生する。QTP[®]-HARMOTEX[®]は、高い軟化抵抗性と優れた靱性を有するため、表面き裂の発生と進展が抑制されることで高い耐ヒートチェック性を発現する。

むすび

QTP[®]-HARMOTEX[®]は、JIS-SKT4を凌駕する高温強度と靱性を兼備させた鋼種であり、ハンマー金型用鋼として優れた特性を有している。QTP[®]-HARMOTEX[®]を金型として適用することで、摩耗、割れ、ヒートチェックの抑制による長寿命化だけでなく、鍛造部品の品質安定による素材ロス低減や、金型交換頻度の削減によるエネルギーロス低減に大きく貢献することが期待される。



3. 日本高周波鋼業(株)の熱間工具鋼と関連技術

日本高周波鋼業(株) 谷井 一也
商品技術部 開発室 室長

まえがき

熱間工具鋼が使用される熱間鍛造用プレス型やダイカスト用金型、熱間押し出し用金型用素材は従来よりも高機能・高品質で、かつ高い生産性と低コストを両立できるような素材が求められている。更に、金型の使用環境も過酷となってきており、アルミ押し出し業界ではアルミ押し出し材の高強度化（7000系アルミニウム合金）に伴い金型への負荷が増加し、早期割れや金型のたわみによる製品形状不良等の問題が発生している。又、昨今の原料価格高騰等もありより安価な熱間工具鋼のニーズも高まってきている。

こうしたお客様ニーズの中、当社では過酷な使用環境下での使用に対応可能な熱間工具鋼や安価な熱間工具鋼を開発しており、その特徴について紹介する。

◇ 高い軟化抵抗を有する熱間工具鋼KDA1ESDの特徴

熱間工具鋼は高温環境下で使用される為に、使用と共に母材である鋼材が軟化（硬さ低下）する。

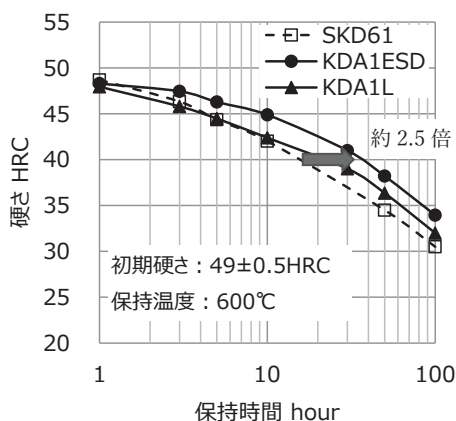


図 1 KDA1ESDとSKD61の軟化抵抗

アルミ押し出しでは鋼材が軟化する事で高温強度が低下してダイスが撓む事で押し出し型材の寸法不良が発生し、金型廃却となるケースがある。従って、高温環境下で使用される熱間工具鋼には高い高温強度や軟化抵抗が要求される。

今回、当社が開発したKDA1ESDは炭化物制御（MCやM₂C系の炭化物）と最適な成分設計（Cr、Mo等）にてSKD61の約2.5倍の高い軟化抵抗を有している（図1）。

又、金型が大型になるほど、金型熱処理時に中心部の冷却速度不足による靱性低下が生ずる場合があり、焼入れ性の向上も必要な特性である。当該鋼種は成分設計の最適化にてSKD61並みの焼入れ性を有している為、大型の金型の熱処理にも適している。

◇ 安価な熱間工具鋼ニーズに対応する鋼種KDA1Lの特徴

熱間工具鋼は高温での特性を得るためにMoやV等を添加している。MoやV等は高価な合金である為、その結果として鋼材価格も変動し易い。このような背景の中、お客様からより安価な熱間工具鋼に対するニーズがあり、当社は合金添加量を抑えてSKD61並の基本特性（高温強度、軟化抵抗、焼入れ性等）を有する安価な熱間工具鋼KDA1Lを開発した。

むすび

当社は昨今の市場状況やお客様ニーズを踏まえて様々な熱間工具鋼の開発を推進している。今後、お客様での開発鋼の評価を進めながら、課題抽出・改善を進めると共に、グループ内の熱処理会社からの熱処理技術の提供などトータルソリューションでお客様の課題解決や社会に貢献していきたい。

4. ホットスタンプ評価技術

大同特殊鋼(株) 技術開発研究所 梅 森 直 樹
金型材料技術研究室

まえがき

ホットスタンプは、近年の自動車の軽量化による燃費向上を目的とした車体骨格部品向けの超高張力鋼板（超ハイテン）の成形に用いられている。超ハイテンの冷間成形ではあらかじめ高強度になっている鋼板を成形するため、成形できる強度や形状に制限がある。一方、ホットスタンプは、鋼板をオーステナイト変態域まで加熱し、金型で成形と同時に抜熱を行うことで高強度の部品を製造する工法であり、冷間成形より高強度かつ複雑形状の部品を製造することが可能である。

ホットスタンプの最大の課題は生産性の低さにある。その要因の一つは、鋼板を上下の金型で挟んで抜熱するため、プレス下死点での冷却保持時間が必要となるためである。その冷却保持時間の短縮には、高熱伝導率材を金型に適用することが有効である。これは、金型の冷却が促進され、鋼板の熱を早く奪えるためである。

本稿では、ホットスタンプにおける金型および成形品の評価用に導入したホットスタンプ実機設備の概要および、高熱伝導率材を金型に適用した場合の冷却保持時間の短縮効果事例について紹介する。

◇ ホットスタンプ評価技術

1. 評価設備の概要

金型を正確に評価するためには、実際のホットスタンプにおける連続成形時の金型の温度推移を再現する必要がある。また、ホットスタンプ鋼板を実際に成形して成形品品質を評価することも重要である。そこで、ホットスタンプ鋼板を連続的に搬送および成形できるように110トンの電動サーボプレス機に加えて、回転式加熱炉と搬送用のロボット2台を備えたホットスタンプ評価設備を導入した。

2. 高熱伝導率材の効果検証事例

効果検証には、Alめっき鋼板22MnB5を用いて、ハット曲げを行い、冷却保持時間を0秒から10秒

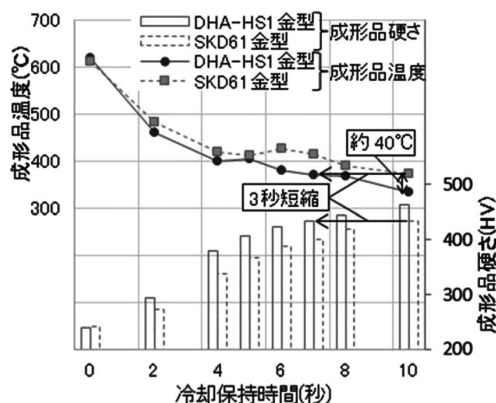


図 1 冷却保持時間と成形品温度、硬さの関係

に変更して、成形品の温度と硬さを評価した。金型はSKD61と高熱伝導率材DHATM-HS1¹⁾を用いて比較した。

図1に冷却保持時間と成形品側面の最高表面温度および硬さの関係を示す。今回の評価条件において、冷却保持時間10秒の場合、SKD61との接触部の成形品温度は約370°Cで、DHA-HS1よりも約40°C高い。これは、DHA-HS1において冷却保持時間7秒と同じ温度である。そのため、DHA-HS1の適用により、冷却保持時間を3秒短縮することができる。また、3秒短縮しても同等の成形品硬さが得られることも確認した。この評価設備の導入によって、課題である生産性に対して、金型への高熱伝導率材適用による冷却保持時間の短縮効果を確認できた。

むすび

ホットスタンプ実機評価技術により、金型温度の再現や成形品品質の評価を行うことができる。今後も生産性向上や金型損傷に及ぼす金型材料や表面処理の影響解明を進め、ホットスタンプ成形技術の発展に貢献していく。

参考文献

1) 梅森直樹：電気製鋼、vol. 91 (2020)、No. 1、pp. 43-47

V. 工具鋼のブランド対照表

1. 熱間金型用鋼

2022年11月 作成

分類	JIS相当	AISI相当	愛知製鋼	山陽特殊製鋼	大同特殊鋼	日本高周波鋼業	日立金属	不二越	三菱製鋼	アッサブジャパン		
										旧ウツデホルム	旧ポーラー	
合金工具鋼	SKD4				DH4	KD4						
	SKD5	H21			DH5	KD5						
	SKD6	H11			DH6	KD6				VIDAR	W300、W400	
	SKD61	H13	SKD61	QD61	DHA DHA1	KDA	DAC			ORVAR-2M	W302	
	SKD61 (改)		AUD61 AUD60A	QDA61 QDN QDX HARMOTEX	DH21 DHA-WORLD DH31-S DH31-EX DHA-FX	KDA1 KDA1L KDA1S KDAMAX	DAC-1 DAC-X DAC3 DAC10 DAC-MAGIC			ORVAR-S DIEVAR FORMVAR	W303、W403	
	SKD61 (快削)				DH2F	KAP90F	FDAC					
	SKD62	H12		QD62	DH62	KDB						
	SKD7	H10			DH72	KDHI					W320	
	SKD7 (改)		AUD72	QDH	DH32 DH71 DH73	KDAIESD	DAC40 YEM-K	DURO-NI				
	SKD8	H19			DH41	KDF						
	SKD8 (改)				DH42	KDF4	MDC-K					
	SKT4	L6	SKT4A	QT41- HARMOTEX	GFA	KTV	DM			ALVAR14	W500	
	SKT4 (改)			QDT	GF78	TD3						
	析出硬化鋼			AUD91 MPH-K	DH76				HD22B			
その他			QF5	DHA-Thermo					BURE			
高速度工具鋼			QHZ	DRM1 DRM2	KMX1	YXR33	DURO-FZ DURO-F1		UNIMAX	W360		
ホットスタンピング 工具鋼				DHA-HS1	KDAHP1	DAC ZHD479			UNIMAX DIEVAR QRO90	W350 W360 K353		

2. 冷間金型用鋼

2022年11月 作成

分類	JIS相当	AISI相当	愛知製鋼	山陽特殊製鋼	大同特殊鋼	日本高周波鋼業	日立金属	不二越	アッサブジャパン		
									旧ウツデホルム	旧ボーラー	
炭素工具鋼	SK105	W1-10		QK3	YK3					K990	
	SKS93		SK301	QK3M	YK30	K3M	YCS3				
	SKS3		SKS3	QKS3	GOA	KS3	SGT			K460	
	SKD1	D3			DC1	KD1	CRD			K100, K107	
	SKD11	D2	SKD11	QC11	DC11	KD11	SLD	CDS11		K105, K110, K137	
	SKD11 (改)					KD11MAX KD11S					
	8% Cr系		AUD15, AUD11	QCM7, QCM8 QCM6+HARMOTEX	DC53	KD21	SLD10	MDS9		K340, K353, K360	
合金工具鋼	マトリックス系 ダイス鋼		SXACE		DCMX	NOGA	SLD-f		CALDIE UNIMAX	W360	
	SKD12	A2			DC12	KD12			RIGOR	K305	
	プリハードン 40HRC				GO40F	KAP65	HPM-MAGIC		IMPAX HH		
	プリハードン 60HRC						SLD-f60				
	火炎焼入鋼		SX105V		GO5	KRCX	HMD5		FERMO		
	低温空冷鋼				GO4	KSM	ACD37				
	耐衝撃鋼				GS5	KTV5	YSM				
	その他						SLD-MAGIC	ICS22		CALMAX, ELMAX VANCRON VANADIS4E, VANADIS8	K390 K490 K890
	SKH51	M2		QH51	MH51	H51	YXM1	SKH9		S600	
	SKH51系							SKH9D			
高速度工具鋼	SKH55系					HM35	YXM4	HM35 HS53M		S705	
	SKH57系					MV10	XVC5	HS93R DURO-SP		S700	
	マトリックス系			QHZ	DRM1 DRM2 DRM3 MH85	KMX1 KMX2 KMX3	YXR3 YXR7 YXR33	DURO-FZ DURO-F1 DURO-F3 DURO-F7, DURO-V2 DURO-V5			
		SKH40		SPM30	DEX40		HAP40	FAX38		VANADIS30	S590
		マトリックス系					HAP5R				
		その他		SPM23 SPM60 SPMR8 SPMV6 SPMX4N	DEX20		HAP10 HAP50 HAP72	FAX31 FAX40 FAX55 FAXG2		VANADIS23 VANADIS60	S290 S390 S690 S790
	ホットスタン ピング用鋼										

3. プラスチック金型用鋼

2022年11月 作成

分類	硬さ (HRC)	JIS相当	AISI相当	愛知製鋼	JFEスチール	山陽特殊製鋼	大同特殊鋼	日本高周波鋼業	日立金属	不二越	アサブジヤパン	
											旧ウツテホルム	旧ボーラー
	13	SC系	1055		JFE-MD1	PC55		KPM1 KPMAX				
	28	SCM系	4140		JFE-MD3 JFE-MD5		PDS3					
プリハードン鋼	33	SCM (改)	P20			PCM30	PX5 PXA30	KPM30	HPM7		M200 M201 M238	618M
		SUS系	S420系				S-STAR D-STAR	GHX	HPM38	PROVA-400 PROVA-450	M303 M310	STAVAX
		SUS系 (快削)					G-STAR		HPM77		M315	RoyAlloy
	35	SUS系	S17400			QSH6	NAK101	U630	PSL		N700	CORRAX
		SCM (改)	P20					JHX	IMPAXHH			
		SUS系								MIRRAX40 STAVAX	M303HH	
		SKD61 (改)	H13				DH2F	KAP90F	FDAC			
	36-40		P21			PCM40S	NAK80	KAP88			M461	
			P21 (快削)			PCM40	NAK55	KAP65	HPM1		M261	
			P21 (耐錆)									
		その他 (耐錆)					NAK86K		CENAG CENA-V			
焼入れ 焼戻し鋼	60	その他						HPM-MAGIC				NIMAX
		SKD11 (改)	D2	AUD11		QCM8 SPMR8 (粉末)	PD613	NOGA	HPM31 ZCD-M		K105 K110 K340	RIGOR SLEPNER CALDIE CALMAX
		SUS系 440C	S44004			QPD5 SPC5 (粉末)	SUS440C	SUS440C	SUS440C	440C PROVA-500 (粉末)	M340、M380 M390、N685 N695	ELMAX Tyrax ESR
時効 処理鋼	52	SUS系 420	S420系				S-STAR D-STAR G-STAR	GHX	HPM38 HPM38S HPM77	PROVA-400 PROVA-450	M310 M333	STAVAX POLMAX MIRRAX
		マルエー ジング鋼					MASIC	KMS	YAG	EXEO-M2I	V720 V721	
	40	その他				QM300 (粉末)						
		非磁性鋼						NMS1	HPM75			

4. 高速工具鋼

2022年11月 作成

分類	JIS相当	AISI相当	山陽特殊製鋼	大同特殊鋼	日本高周波鋼業	日立金属	不二越	アッパブジャパン	
								旧ウツデホルム	旧ボーラー
タングステン系	SKH2	T1			H2	YHX2	SKH2		S200
	SKH3	T4			H3		SKH3		S305
	SKH4	T5			H4		SKH4		
	SKH10	T15			HV5				
モリブデン系	SKH51	M2	QH51	MH51	H51	YXM1	SKH9		S600 S614 S401
	SKH52	M3-1			H52		HM31		
	SKH53	M3-2			HV1		HM4		S607
	SKH54	M4			HV2		HM35		S705
	SKH55	M36			HM36		HM36		
	SKH56	M7			HV10	XVC5	HS93R		S700
	SKH57	M42			HM3		HM7NN		S400
	SKH58				HM42	YXM42	HM42		S500
	SKH59						HS53M, HS97R, HM1, HMT12, HM33, SKH9D, DURO-SP		
		その他			S70	YXM27 YXM60			
マトリックス系	マトリックス系		QHZ	DRM1 DRM2 DRM3 MH85	KMX1 KMX2 KMX3	YXR3 YXR33 YXR7	DURO-FZ DURO-F1 DURO-F3 DURO-F7 DURO-V2 DURO-V5	UNIMAX	W360
	SKH40		SPM30	DEX40		HAP40	FAX38	VANADIS30	S590
	その他		SPM23 SPM60 SPMR8 SPMV6 SPMX4N	DEX20		HAP10 HAP50 HAP72 HAP5R	FAX31 FAX40 FAX55 FAXG2	VANADIS23 VANADIS60	S290 S390 S690 S790
粉末系									

業界のうごき

愛鋼、ステンレス加工高度化 大型物件・施工対応へ

愛鋼は、ステンレス部材加工事業を拡充・高度化する。愛知製鋼と共有する2030年ビジョンのロードマップの1つで、スクラップからステンレス鋼材を製造、供給する愛知製鋼と、ステンレス鋼材を加工、販売し、構造物として溶接、組立、現場施工する愛鋼とで資源循環型一貫プロセスの連結経営を図る。愛鋼はステンレス部材加工事業を、持続可能な社会の実現に資する第3の収益の柱とし、安全、環境、品質にさらに力を入れるとともに流通、部材、部品ビジネスの中核を担うべくスピードアップを目指す。

年内にもステンレス建築構造物の製作工場認定を取得し、24年には建設業の認可を取得する計画。大型物件への対応が可能になるとともに、建設現場での施工にも対応でき、将来的なスクラップダウン後の資源循環が愛知製鋼グループ内で完成。既に関連部署の人員増およびその育成などに着手している。(8月3日)

岡谷鋼機、ローカル5G活用 侵入者検知の実証実施

岡谷鋼機はグループ企業やパートナー企業とともに、ローカル5Gと3D LiDARを活用した侵入者検知、行動検知ソリューションの実証実験を実施した。大容量の上り通信を必要とする3D LiDAR 1台分のデータを遠隔設置した処理サーバにリアルタイムで伝送することに成功。自治体の公共施策や外食・小売りでのイベント企画など幅広い用途で活用を検討する。

3D LiDARセンサは自律走行ロボットや防犯などで重要な目の役割を果たすセンサとして需要が高まっているが、取得データが大容量のため、

処理サーバへの伝送が課題となっていた。大容量の上り通信のトラフィックを必要とするソリューションがローカル5G環境下で利用可能かの検証、現在のローカル5Gの課題の洗い出しや解決策の検討を目的に実証実験を実施。3D LiDARセンサ1台分の3Dデータを処理サーバに伝送することに成功した。(8月25日)

豊田通商、ゆがみ検査技術開発 SiCウエハー品質向上

豊田通商は関西学院大学、山梨技術工房と共同で、パワー半導体材料向けSiC(炭化ケイ素)ウエハー全面の加工ゆがみ検査技術を共同開発した。高速可視化技術でSiCウエハーの高品質化が期待できる。

同技術は、関西学院大学と豊田通商が2017年から共同で進めている高品質SiCウエハーの量産プロセス技術開発の中で得られた。SiCウエハーは硬くて脆い材質のため、加工時に歪み層が生じて不具合になることがあり、品質管理や受入検査の際に必要な高速・高精度な加工ゆがみ検査技術が求められていた。

豊田通商と関西学院大学は山梨技術工房が持つレーザー散乱光応用技術を生かして、SiCウエハーの機械加工由来のゆがみ層を全面可視化し、相対的に比較する技術を開発。高速検査が可能で、量産加工プロセスの品質管理などにも適用でき、同技術を用いたウエハー検査装置の早期製品化を目指す。(9月12日)

名古屋特殊鋼、ラボ拡充・ 金型事業を高度化

名古屋特殊鋼は、金型をはじめ幅広い金属製品の組織などを調査・分析する「メイトクLabo」を開設した。Laboで蓄積したデータを自社金型製造や販売後のアフターフォローにフィードバックすることで事業を高

度化。将来的な自動車の機構変化に伴う商材の精密化などに向けノウハウと技術力を高め事業のモノづくりのブラッシュアップを図り、設備の拡充も検討する。

「メイトクLabo」は2020年4月に本社1号棟内に建設。建屋面積は約100平方メートル。既存の微小硬度計、マイクロスコープなどに加え、初年度に精密切断機、樹脂自動埋込機、研磨機や試材の圧縮・引張強度試験を行う万能試験機などを新設。21年度には元素構成などの成分分析ができるEDS搭載のタングステン走査電子顕微鏡や摩擦摩耗試験機などを導入し、解析力を飛躍的に高めており、多角的なデータ取得のため、レーザー顕微鏡などの新設も検討している。(8月4日)

ハヤカワカンパニーが営業強化 都内にサテライトオフィス開設

ハヤカワカンパニーは11月1日、東京都千代田区に「平河町サテライトオフィス」を開設する。リモートワークなど新型コロナウイルス禍で変わった働き方に対応しながら関東圏の営業強化にもつなげることが主眼。

平河町サテライトオフィスは、従前は東京営業所営業部として利用していた8階建ての自社ビルで、所在地は官庁街に近い好立地。東京営業部が手狭となったことで東京都千代田区大手町、埼玉県さいたま市大宮区に移転した後、活用法などを模索していたところ、コロナ禍でハヤカワグループの働き方が様変わりしたことなどを受け、グループ人材のリモートワークやミーティングスペースとして活用することを決めた。1階エントランス部などを中心に改装、リフレッシュを行う。また、さいたま市の東京営業部ともリンクした営業活動の拡充にもつなげる考え。

(8月29日)

ホンダと阪和興業が提携 阪和、レアメタルを優先的に供給

ホンダと阪和興業は、電動車バッテリー用のレアメタルの安定調達に向けた戦略的パートナーシップを結んだ。ホンダは2040年までに販売する四輪車を全て電動車にする予定で、必要となるニッケル、コバルト、リチウムなどのバッテリー材料を阪和興業から優先的に調達できるようにする。ホンダのバッテリー材料での提携は初めて。

パートナーシップの締結により25年以降、複数年にわたりホンダが阪和興業から優先的に電池材料の供給を受けられるようにする。阪和興業としても、電池材料の資源開発投資やオフテイク（購入）権の拡大を進める上で、安定した販売が見込める。ホンダは調達の多角化と安定化に取り組んでおり、ニッケル、コバルト、リチウム、グラファイトなどの確保も課題だった。これらの資源開発やトレーディングで実績豊富な阪和興業とのパートナーシップ締結を決めた。（9月7日）

愛知製鋼、「GMPS」 西土佐の自動運転実証に提供

愛知製鋼は、JR四国予土線の江川崎駅-道の駅よって西土佐（ともに高知県四万十市）間で行われた自動運転サービス実証実験に、独自の自動運転支援システム「GMPS」（磁気マーカーシステム）を提供した。

西土佐地域自動運転モビリティ実証実験企画会議が主体で実施。片道約900メートルの走行ルートに道路埋設型の磁気マーカーを往復で計約800個設置し、ヤマハ発動機が企画製造販売する、7人乗りの電動モビリティ「グリーンスローモビリティ」（GSM）に磁気センサーモジュールを搭載。GMPSの高い信頼性を実証

するとともに、磁気マーカー設置間隔の拡張によるさらなるコスト低減も併せて検証した。

同地域では、鉄道駅から周辺観光施設への移動手段が限られ、予土線の利用促進につながる観光誘客が大きな課題となっており、解決手段の一つとして小型モビリティによる自動運転サービスが期待されている。

（8月12日）

神戸製鋼、機械系で環境事業拡大 神鋼環境ソリュと一体で注力

神戸製鋼所は機械系事業の収益安定化と成長市場の対応として機械・エンジニアリング事業での環境ビジネスを拡大する。グループの神鋼環境ソリューションで環境メニューを拡充、安定収益とカーボンニュートラルの取り組みを加速させ、収益基盤の強化とCO₂削減や環境負荷低減を具現化。2025年度にはエンジニアリングセグメントの売上高を2,000億円に引き上げ、ROIC10%以上を目指す。神鋼環境ソリュでは水処理、廃棄物処理を核に下水処理と廃棄物処理の混合処理など事業の垣根を超えた展開を伸ばし、30-50年度の連結売上高を2,000億-3,000億円とする。

数年間、単年度で10億-20億円規模の投資を、DX対応を含めて実行。垣根を超えた展開で流動床式ガス化技術を応用した廃プラスチックガス化技術の構築や水素社会の実現に向けた取り組みとして水素発生装置（水電解式）の国内納入台数トップを指向する。（9月9日）

山陽特殊製鋼、TPG認証を取得 風力発電用鋼材などで

山陽特殊製鋼は、国内鉄鋼メーカーで初めて風力発電機の重要部品用鋼材のサプライヤーとしてTPG認証を取得した。風力発電機のベアリングをはじめ重要部品にTPG認証が必要

な場合でも、素材として同社の特殊鋼材料を使用することが可能。高い生産性で特殊鋼を製造できる連続鋳造法に加え、大型ベアリングなどに使用される大径鋼材が製造可能な造塊法についても認証を取得し、双方の工程での認証は世界で初となる。

輸送や発電関連製品製造について鉄鋼製造・熱処理・非破壊試験など認証分野ごとに規定されるTPG要求事項を満たしていることを証明する米国の認証制度。一部の風力発電機メーカーが、サプライヤーへTPG認証取得の義務付けを決定。清浄度の高い特殊鋼を安定的に製造できる信頼性の高い製造技術と品質管理体制について、鉄鋼製造分野のTPG要求事項を満たしていることが認められた。（9月27日）

JFE、CO₂削減設備1兆円 グリーン鋼材、早期に供給へ

JFEスチールは、2030年度までに二酸化炭素（CO₂）排出量を30%以上削減する設備に1兆円規模を投じる方針。倉敷の高炉1基を電炉に転換するほか、還元鉄の海外合弁投資の検討も開始する。CO₂削減効果を片寄せる、マスバランス方式で30年度には最大500万トンが可能なグリーン鋼材の供給は2年程度の時間軸で開始を目指す。一方でグリーン電源など外部環境の整備も必須とし、グリーン鋼材に対する付加価値が見える政策支援など社会全体の取り組みが必要としている。

低炭素プロセスへの転換では仙台製造所で24年に電炉を増強し、西日本製鉄所倉敷地区で27年以降第2高炉を休止、大型電炉に置き換えるなどの投資を進める。研究開発中のフェロコークスを30年ごろに実機化するほか、鉄スクラップ、還元鉄使用増の体制整備など30年度までの投資総額を1兆円規模と試算している。（9月2日）

業界のうごき

大同特など、3次元可視化に成功 微小磁石の振る舞い、世界で初

大同特殊鋼は東北大学、関西学院大学らと、放射光を用いた磁気トモグラフィ（磁気CT）法で、高性能な永久磁石内部の微小磁石の外部磁場に対する振る舞いを3次的に可視化することに世界で初めて成功した。超高性能磁石開発に向けた保磁力メカニズム解明に一步前進し、表面欠陥の影響を受けない真の保磁力メカニズム解明や、次世代の超高性能磁石開発につながる事が期待される。

東北大学と関西学院大学、東北大学国際放射光イノベーション・スマート研究センター、高輝度光科学研究センター、物質・材料研究機構、大同特殊鋼と共同で理化学研究所の大型放射光施設Spring-8で開発された磁気CT法と、大同特殊鋼が開発した最先端のネオジム焼結磁石を試料に用いた。これまで不可能だった表面欠陥の影響を受けない真の保磁力メカニズムの解明、さらなる高性能永久磁石の開発が期待される。（8月24日）

日鉄ステンレス、独自の二相鋼 車両運搬車向けに初採用

日鉄ステンレスの独自の省合金二相ステンレス鋼「SUS821L1（NSSC 2120）」の薄板が、特装車製造を手がける浜名ワークスのキャリアカー（車両運搬車）支柱部分に採用された。キャリアカーで同社製二相ステンレス鋼が採用されたのは初めて。

自動車を複数台運搬するキャリアカーは、昨今の自動車の大型化や電動化、ハイブリッド化の影響で一度に積載できる自動車が減り、輸送効率の悪化が問題となっている。従来、キャリアカーの支柱部分は、普通鋼に塗装を施したものを使用していた。塗装がはがれてさびが生じ、運搬車

自体の外観を損なうほか、積載車にさびを起因とした汚れが付着することがあるため修繕が必要だった。支柱を普通鋼からSUS821L1に切り替えることで、キャリアカーの軽量化と高耐食性によるメンテナンスの軽減を実現。輸送効率の向上とライフサイクルコストの低減に貢献する。（8月24日）

日本製鉄、インドの事業基盤強化 AM/NSインディア、高炉増設

日本製鉄は、欧州鉄鋼大手アルセロール・ミッタルと合弁のインド製鉄会社、AM/NSインディアの製鉄事業基盤の強化施策の実施を決めた。西部ハジラ製鉄所の粗鋼生産能力を2026年前半までに1,500万トンと現行の1.7倍に増強し、インド最大規模の熱延ライン1基を増設。港湾・電力関連設備会社の買収も決定。東部での新製鉄所建設を構想し、拡大するインドの需要を捉える。日本製鉄はタイの電炉2社も今年に買収しており、成長市場で増強投資を進め、グローバル粗鋼1億トン体制を確立する。

高炉2基（各炉内容積4,500立方メートル）と転炉3基、同550万トンの熱延1基などの導入を決め、CDQ（コークス乾式消火設備）など省エネ対策も施す。需要の早期捕捉と高級鋼対応として高炉法を選択。日本製鉄とミッタルが開発中のカーボンニュートラル技術の将来の移転を想定した設備新設・増強計画としている。（9月29日）

日本冶金工業の高機能材NAS254N 設置から20年経過も腐食せず

日本冶金工業は、同社の高機能材「NAS254N（SUS836L）」を採用した食塩製造タンクで、設置から20年が経過しても腐食がなかったことを確認した。

高機能材が採用されているのは、日本食塩製造の食塩製造タンク（食塩スラリータンク）。今回検証した

スラリータンクは2002年に製造されたもので、今年1月に開放検査を実施。タンク内には腐食による損傷がないことが確認された。食塩を製造するプラントは高温の濃厚食塩水にさらされるなど厳しい環境にあるため、汎用ステンレス鋼ではなくチタンや Hastelloy 合金などの高耐食材料を使用していた。

NAS254Nは高い耐食性とコスト低減を両立させたステンレス鋼として、食塩製造プラントの各種機器や配管に採用されている。タンク内の高温の飽和食塩水や析出塩に対して高い耐食性を持ち、タンクの長寿命化やメンテナンスフリー化を実現する。（8月18日）

日立金属、高性能鋳造ロール開発 冷間圧延用、年販10億円目指す

日立金属は鉄鋼冷間圧延用として、高性能な鋳造ロール「CR2」（シーアールツー）を開発し、販売を開始した。冷間圧延工程に求められる高い耐磨耗性や耐事故性を有しており、冷間圧延工程に導入されることで、生産性向上に貢献する。日立金属若松（本社＝北九州市若松区）で製造し、2030年度において年間10億円の販売を目指す。

冷間圧延用としては鍛鋼ロールが使用されている。日立金属は熱間圧延で使用されるロールの研究開発で培ってきたノウハウと、鋳造欠陥の発生を防止する鋳造技術、精度の高い製造技術で、冷間圧延用鋳造ロールの実現に取り組んだ結果、「CR2」の開発に成功。「CR2」は鍛鋼ロールと比べ、耐磨耗性3～5倍、破壊じん性2倍、耐クラック性5倍の性能を実現した。これによって、鋳造ロールとしては新しい分野である冷間圧延のワークロールとしての使用が可能となる。（9月21日）

文責：（株）産業新聞社

特殊鋼統計資料

特殊鋼熱間圧延鋼材の鋼種別生産の推移

鋼種別

(単位：t)

年月	工具鋼	構造用鋼				特殊用途鋼						計	合計
		機械構造用炭素鋼	合金鋼	計		ばね鋼	軸受鋼	ステンレス鋼	快削鋼	高抗張力	その他		
'20 暦年	155,917	3,419,635	2,861,119	6,280,754	294,388	646,096	2,172,096	421,126	4,140,987	388,543	8,063,236	14,499,923	
'21 暦年	221,395	4,709,058	3,726,591	8,435,649	374,891	987,441	2,578,832	580,434	4,875,054	493,548	9,890,200	18,547,244	
'20 年度	161,061	3,578,698	2,956,593	6,535,291	309,316	702,538	2,114,557	428,594	4,153,666	397,469	8,106,140	14,802,492	
'21 年度	227,889	4,669,266	3,691,309	8,360,575	359,466	975,524	2,584,063	571,328	4,747,315	487,191	9,724,887	18,313,351	
'21. 7-9月	53,928	1,214,051	924,956	2,139,007	97,316	245,647	689,982	154,403	1,223,104	128,188	2,538,640	4,731,575	
10-12月	58,973	1,120,248	890,749	2,010,997	83,530	248,845	661,628	139,679	1,160,260	116,749	2,410,691	4,480,661	
'22. 1-3月	58,692	1,133,091	910,122	2,043,213	82,074	220,665	621,363	131,479	1,134,062	122,232	2,311,875	4,413,780	
4-6月	54,666	1,003,201	855,459	1,858,660	78,750	218,728	596,110	118,904	1,134,452	114,063	2,261,007	4,174,333	
'21年 7月	18,960	417,239	325,237	742,476	34,012	76,642	220,538	54,553	422,541	34,939	843,225	1,604,661	
8月	16,959	398,938	295,879	694,817	28,703	81,025	229,439	45,315	417,534	44,886	846,902	1,558,678	
9月	18,009	397,874	303,840	701,714	34,601	87,980	240,005	54,535	383,029	48,363	848,513	1,568,236	
10月	20,208	369,718	308,766	678,484	27,164	87,684	203,862	44,520	402,259	42,705	808,194	1,506,886	
11月	19,551	388,574	298,018	686,592	28,799	85,188	222,985	51,302	390,490	32,633	811,397	1,517,540	
12月	19,214	361,956	283,965	645,921	27,567	75,973	234,781	43,857	367,511	41,411	791,100	1,456,235	
'22年 1月	18,209	378,351	298,237	676,588	25,175	76,825	204,627	40,835	403,226	40,020	790,708	1,485,505	
2月	22,658	362,211	300,079	662,290	28,144	71,123	205,466	42,810	348,389	34,340	730,272	1,415,220	
3月	17,825	392,529	311,806	704,335	28,755	72,717	211,270	47,834	382,447	47,872	790,895	1,513,055	
4月	18,786	339,219	291,299	630,518	27,161	71,108	200,101	40,680	384,959	37,949	761,958	1,411,262	
5月	17,608	333,873	300,345	634,218	24,043	71,240	196,022	41,215	394,593	38,242	765,355	1,417,181	
6月	18,272	330,109	263,815	593,924	27,546	76,380	199,987	37,009	354,900	37,872	733,694	1,345,890	
7月	16,090	320,424	296,553	616,977	25,760	73,427	209,409	40,154	363,507	32,149	744,406	1,377,473	
8月	15,308	329,391	274,061	603,452	22,611	62,534	222,303	36,578	401,647	35,116	780,789	1,399,549	
前月比	95.1	102.8	92.4	97.8	87.8	85.2	106.2	91.1	110.5	109.2	104.9	101.6	
前年同月比	90.3	82.6	92.6	86.9	78.8	77.2	96.9	80.7	96.2	78.2	92.2	89.8	

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
'20 暦年	236,085	4,263,744	846,580	2,974,323	1,048,015	5,137,647	14,506,394
'21 暦年	278,898	6,065,226	856,955	3,846,183	1,081,675	6,422,384	18,551,321
'20 年度	237,286	4,512,899	780,205	3,099,528	935,791	5,241,093	14,806,802
'21 年度	286,265	6,051,725	877,842	3,749,037	1,115,176	6,239,200	18,319,245
'21. 7-9月	66,937	1,556,494	199,286	990,216	280,504	1,639,676	4,733,113
10-12月	79,102	1,493,270	216,800	881,055	299,277	1,512,717	4,482,221
'22. 1-3月	70,771	1,461,908	244,217	897,420	267,034	1,473,559	4,414,909
4-6月	71,956	1,339,400	254,912	814,997	272,696	1,420,368	4,174,329
'21年 7月	26,389	529,891	66,699	332,383	77,079	572,669	1,605,110
8月	14,364	490,628	77,787	324,291	102,620	549,717	1,559,407
9月	26,184	535,975	54,800	333,542	100,805	517,290	1,568,596
10月	27,778	505,105	91,285	281,251	104,337	497,663	1,507,419
11月	29,975	524,016	55,264	291,930	101,076	515,593	1,517,854
12月	21,349	464,149	70,251	307,874	93,864	499,461	1,456,948
'22年 1月	21,233	472,269	85,072	299,898	85,549	521,885	1,485,906
2月	21,597	484,203	87,412	275,110	83,726	463,906	1,415,954
3月	27,941	505,436	71,733	322,412	97,759	487,768	1,513,049
4月	22,479	440,709	93,362	281,028	98,222	475,462	1,411,262
5月	24,502	455,424	84,364	263,527	90,490	498,868	1,417,175
6月	24,975	443,267	77,186	270,442	83,984	446,038	1,345,892
7月	41,729	447,779	92,640	258,723	82,034	454,554	1,377,459
8月	16,861	408,817	98,612	267,493	97,178	510,582	1,399,543
前月比	40.4	91.3	106.4	103.4	118.5	112.3	101.6
前年同月比	117.4	83.3	126.8	82.5	94.7	92.9	89.7

出所：『経済産業省生産動態統計』から作成。

特殊鋼鋼材の鋼種別販売(商社+問屋)の推移 (同業者+消費者向け)

(単位:t)

年月	工具鋼	構造用鋼			特殊用途鋼							計	合計
		機械構造用炭素鋼	構造用合金鋼	計	ばね鋼	軸受鋼	ステンレス鋼	快削鋼	高抗張力鋼	その他			
'20 曆年	209,727	2,198,378	1,185,987	3,384,365	56,123	314,764	1,229,083	109,383	64,711	85,442	1,859,506	5,453,598	
'21 曆年	245,486	2,716,911	1,455,748	4,172,659	49,883	399,243	1,459,480	124,703	61,853	95,991	2,191,153	6,609,298	
'20 年度	211,779	2,240,670	1,213,083	3,453,753	55,083	328,523	1,232,187	108,689	56,572	82,995	1,864,049	5,529,581	
'21 年度	247,110	2,752,134	1,092,322	3,137,987	36,133	300,281	1,125,634	93,152	45,860	73,500	1,674,560	4,996,127	
'21年 12月	19,449	230,330	120,228	350,558	4,147	33,935	134,227	10,219	5,469	7,779	195,776	565,783	
'22年 1月	19,728	221,808	117,764	339,572	3,959	31,322	123,204	10,110	4,267	7,353	180,215	539,515	
2月	20,368	223,047	115,749	338,796	4,037	30,503	126,216	12,385	6,646	7,315	187,102	546,266	
3月	23,434	261,614	133,420	395,034	4,376	34,595	137,544	10,475	6,929	9,011	202,930	621,398	
4月	22,967	223,859	118,078	341,937	4,141	29,596	127,524	9,440	6,542	7,718	184,961	549,865	
5月	17,548	205,591	109,979	315,570	3,411	29,187	118,960	8,488	6,207	6,603	172,856	505,974	
6月	19,943	218,744	121,484	340,228	3,882	31,703	133,659	9,712	7,250	7,177	193,383	553,554	
7月	20,128	231,998	122,059	354,057	4,248	31,614	126,212	9,248	6,547	7,464	185,333	559,518	
8月	18,215	201,777	111,210	312,987	3,185	26,829	101,871	8,189	4,925	7,616	152,615	483,817	
前月比	90.5	87.0	91.1	88.4	75.0	84.9	80.7	88.5	75.2	102.0	82.3	86.5	
前年同月比	100.5	94.7	98.7	96.1	100.5	90.9	85.7	85.6	113.7	93.0	87.9	93.5	

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

特殊鋼熱間圧延鋼材の鋼種別メーカー在庫の推移

(単位:t)

年月	工具鋼	構造用鋼			特殊用途鋼							計	合計
		機械構造用炭素鋼	構造用合金鋼	計	ばね鋼	軸受鋼	ステンレス鋼	快削鋼	高抗張力鋼	その他			
'20 曆年	7,121	227,632	138,579	366,211	23,123	34,242	122,999	27,331	143,334	23,014	374,043	747,375	
'21 曆年	8,055	246,632	158,245	404,877	24,939	38,834	144,605	29,563	168,305	22,668	428,914	841,846	
'20 年度	6,109	225,231	149,743	374,974	25,103	34,654	118,733	24,034	145,894	22,503	370,921	752,004	
'21 年度	7,544	239,228	149,869	389,097	21,922	36,386	140,730	29,025	139,691	23,830	391,584	788,225	
'21年 12月	8,055	246,632	158,245	404,877	24,939	38,834	144,605	29,563	168,305	22,668	428,914	841,846	
'22年 1月	8,678	250,569	158,205	408,774	26,881	41,374	130,361	27,331	170,705	25,513	422,165	839,617	
2月	9,554	250,933	151,757	402,690	26,839	39,934	136,991	30,502	153,702	21,866	409,834	822,078	
3月	7,544	239,228	149,869	389,097	21,922	36,386	140,730	29,025	139,691	23,830	391,584	788,225	
4月	8,012	247,938	157,940	405,878	25,592	34,058	143,141	30,246	158,409	23,196	414,642	828,532	
5月	7,787	238,089	148,881	386,970	21,424	36,986	136,008	29,769	166,985	23,302	414,474	809,231	
6月	9,965	235,519	143,029	378,548	25,580	38,079	135,043	27,688	161,691	20,630	408,711	797,224	
7月	9,211	224,039	138,083	362,122	23,037	38,143	143,161	23,582	155,867	19,530	403,320	774,653	
8月	10,099	233,714	151,418	385,132	23,725	36,519	156,782	27,165	199,220	26,602	470,013	865,244	
前月比	109.6	104.3	109.7	106.4	103.0	95.7	109.5	115.2	127.8	136.2	116.5	111.7	
前年同月比	132.2	92.2	92.1	92.1	92.2	91.1	112.0	91.8	102.9	98.8	103.1	98.2	

出所: 経済産業省『鉄鋼生産内訳月報』から作成。

特殊鋼鋼材の流通在庫の推移 (商社+問屋)

(単位:t)

年月	工具鋼	構造用鋼			特殊用途鋼							計	合計
		機械構造用炭素鋼	構造用合金鋼	計	ばね鋼	軸受鋼	ステンレス鋼	快削鋼	高抗張力鋼	その他			
'20 曆年	65,383	253,328	167,185	420,513	11,503	54,038	203,455	12,278	13,904	6,544	301,722	787,618	
'21 曆年	78,090	352,845	202,875	555,720	11,864	65,865	261,863	14,113	18,074	7,971	379,750	1,013,560	
'20 年度	64,494	277,040	177,841	454,881	11,736	53,793	217,355	14,206	16,535	5,470	319,095	838,470	
'21 年度	77,786	312,576	208,973	521,549	13,253	62,840	253,404	15,438	16,809	10,270	372,014	971,349	
'21年 12月	78,090	352,845	202,875	555,720	11,864	65,865	261,863	14,113	18,074	7,971	379,750	1,013,560	
'22年 1月	76,504	343,019	209,833	552,852	13,060	65,488	265,324	14,664	18,771	8,793	386,100	1,015,456	
2月	76,018	330,301	210,798	541,099	13,031	62,121	254,202	14,989	17,835	9,166	371,344	988,461	
3月	77,786	312,576	208,973	521,549	13,253	62,840	253,404	15,438	16,809	10,270	372,014	971,349	
4月	78,462	289,591	201,973	491,564	12,950	60,493	244,062	15,088	16,402	11,034	360,029	930,055	
5月	81,124	276,043	206,542	482,585	12,991	59,252	246,276	15,808	15,326	11,238	360,891	924,600	
6月	79,817	265,365	202,893	468,258	12,736	57,865	242,550	14,588	15,204	10,985	353,928	902,003	
7月	79,045	247,674	200,718	448,392	12,604	57,098	243,366	12,730	14,304	10,928	351,030	878,467	
8月	80,639	251,111	201,328	452,439	12,412	56,466	247,760	12,021	14,508	10,256	353,423	886,501	
前月比	102.0	101.4	100.3	100.9	98.5	98.9	101.8	94.4	101.4	93.9	100.7	100.9	
前年同月比	116.3	75.1	102.6	85.3	104.4	90.1	102.3	109.3	73.5	146.1	99.7	92.9	

出所: 一般社団法人特殊鋼倶楽部『特殊鋼鋼材需給月報調査』から作成。

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

特殊鋼鋼材の輸出入推移

輸 出

(単位：t)

年 月	工具鋼	構造用鋼			特殊用途鋼					その他の鋼			特殊鋼鋼材合計
		機械構造用炭素鋼	構造用合金鋼	計	ばね鋼	ステンレス鋼	伏削鋼	ピアノ線 材	計	高炭素鋼	合金鋼	計	
'20 暦年	29,024	265,564	383,431	648,995	130,574	777,331	83,044	59,199	1,050,147	3,072	4,101,469	4,104,463	5,832,708
'21 暦年	41,270	437,028	558,747	995,775	198,944	846,790	122,324	73,541	1,241,600	2,866	5,394,930	5,397,827	7,676,441
'20 年度	30,661	286,158	400,957	687,115	139,795	757,155	88,335	64,008	1,049,293	2,961	4,065,480	4,068,440	5,835,508
'21 年度	42,446	428,197	548,765	976,962	197,417	846,850	121,221	64,398	1,229,885	3,006	5,313,266	5,316,272	7,565,565
'21年 11月	3,721	37,313	37,809	75,122	15,320	70,895	8,252	5,641	100,108	316	427,002	427,318	606,269
12月	3,488	33,521	47,089	80,610	14,266	76,112	12,263	3,763	106,404	240	410,537	410,778	601,279
'22年 1月	2,555	31,716	39,486	71,202	12,868	54,740	9,192	3,907	80,707	253	357,922	358,175	512,639
2月	3,613	28,032	43,549	71,581	12,476	72,718	6,634	5,520	97,348	209	361,889	362,099	534,640
3月	3,881	35,609	44,593	80,202	17,194	80,077	11,874	4,427	113,571	311	482,185	482,496	680,150
4月	3,537	29,493	43,825	73,319	14,241	63,212	9,455	5,418	92,326	226	387,026	387,253	556,434
5月	2,663	29,932	36,235	66,167	10,733	67,245	9,011	8,650	95,639	228	504,954	505,181	669,651
6月	4,433	38,104	46,606	84,710	16,297	77,790	10,335	7,368	111,790	475	448,505	448,980	649,913
7月	3,489	32,206	40,279	72,485	14,017	64,387	11,931	3,143	93,479	203	408,382	408,585	578,038
8月	3,385	27,597	33,042	60,639	12,231	59,601	4,918	4,633	81,383	183	380,267	380,450	525,856
前月比	97.0	85.7	82.0	83.7	87.3	92.6	41.2	147.4	87.1	90.0	93.1	93.1	91.0
前年同月比	130.8	75.2	77.3	76.3	78.9	90.9	45.9	58.3	81.6	70.8	78.8	78.8	79.1

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					伏削鋼	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
'20 暦年	4,425	8,681	481	11,582	7,806	182,037	15,644	217,549	226	5,508	378,424	383,929	614,814
'21 暦年	3,425	7,333	282	12,395	11,674	237,726	18,602	280,679	310	7,765	274,257	282,022	573,769
'20 年度	3,570	8,042	435	11,445	8,396	188,470	15,730	224,477	250	6,395	358,609	365,004	601,343
'21 年度	3,909	9,290	270	12,657	12,725	249,314	19,380	294,346	270	7,528	237,040	244,568	552,383
'21年 11月	313	788	16	840	1,283	17,525	1,782	21,446	・	772	16,357	17,130	39,677
12月	438	1,069	17	1,220	1,387	24,700	1,799	29,123	29	235	15,406	15,641	46,300
'22年 1月	413	861	29	1,010	1,553	26,806	1,747	31,145	・	359	13,281	13,639	46,079
2月	235	1,318	14	1,009	919	24,046	1,287	27,275	15	1,096	15,777	16,873	45,717
3月	523	1,341	22	954	690	21,249	1,870	24,786	17	587	18,528	19,115	45,782
4月	278	1,166	16	1,224	1,553	21,529	1,800	26,122	-	276	17,884	18,160	45,726
5月	557	1,023	27	1,126	1,040	22,944	1,608	26,744	19	349	14,659	15,008	43,351
6月	346	1,438	17	913	750	28,947	1,877	32,504	21	1,006	11,867	12,873	47,181
7月	324	2,109	21	1,326	1,293	28,501	1,975	33,115	26	743	13,910	14,653	50,227
p 8月	304	393	8	1,005	729	21,910	1,827	25,479	28	1,043	14,712	15,755	41,959
前月比	93.8	18.6	39.2	75.8	56.4	76.9	92.5	76.9	107.9	140.3	105.8	107.5	83.5
前年同月比	124.0	111.1	31.7	129.1	101.7	121.7	105.9	119.9	151.3	98.0	70.7	72.0	95.9

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			
'20 暦年	8,067,943	1,037,731	3,740,832	259,879	4,598,615	779,300	-	180,833	108,419	8,267	95,570	46,022	9,018
'21 暦年	7,846,958	1,154,054	3,818,910	379,007	4,448,340	765,762	-	222,252	119,477	11,205	102,086	55,176	15,414
'20 年度	7,969,529	1,064,697	3,670,709	275,189	4,656,632	790,406	-	184,423	105,357	8,726	94,870	50,322	9,885
'21 年度	7,545,201	1,130,201	3,684,025	384,446	4,215,826	742,108	-	228,923	122,697	11,671	103,732	49,494	16,675
'21年 11月	756,625	103,409	342,078	32,028	352,455	60,404	-	20,134	11,332	1,195	8,899	4,044	1,454
12月	710,070	101,249	381,925	37,617	336,442	55,806	-	19,619	10,218	1,053	9,178	5,559	1,392
'22年 1月	546,951	80,195	269,439	29,019	329,699	56,794	-	17,963	9,292	909	8,996	2,934	1,429
2月	693,704	104,230	312,462	32,569	354,668	64,347	-	19,486	10,280	796	8,114	3,351	1,390
3月	719,354	107,429	321,457	37,874	512,862	85,473	-	22,508	11,657	962	8,695	7,142	1,663
4月	584,420	95,683	314,263	36,231	299,620	54,987	-	17,076	10,831	866	9,630	3,782	1,550
5月	420,233	56,416	206,566	27,928	261,433	49,341	-	13,800	8,348	711	9,088	4,290	1,533
6月	668,628	102,623	308,462	34,457	327,896	59,575	-	19,999	11,295	1,010	9,170	4,947	1,547
7月	699,708	107,455	356,957	38,341	349,335	60,894	-	19,394	10,660	976	9,660	3,768	1,424
8月	-	-	293,765	32,976	290,042	55,432	-	16,553	8,998	833	9,098	4,928	1,393
前月比	-	-	82.3	86.0	83.0	91.0	-	85.4	84.4	85.3	94.2	130.8	97.8
前年同月比	-	-	116.5	120.4	90.7	99.8	-	109.2	113.9	91.4	107.9	122.0	110.7

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

(注) r: 訂正値

特殊鋼需給統計総括表

2022年8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	15,308	95.1	90.3	74.3		
	鋼材輸入実績	304	93.8	124.1	98.6		
	販売業者	受入計	19,809	102.3	95.9	73.4	
		販売計	18,215	90.5	100.5	69.3	
		うち消費者向	14,941	90.2	100.9	79.0	
		在庫計	80,639	102.0	116.3	136.5	
	鋼材輸出船積実績	3,385	97.0	130.8	71.0		
	生産者工場在庫	10,099	109.6	132.2	121.8		
	総在庫	90,738	102.8	117.9	134.7		
	構造用鋼	熱間圧延鋼材生産	603,452	97.8	86.9	88.2	
販売業者		受入計	317,034	94.9	89.9	48.5	
		販売計	312,987	88.4	96.1	47.9	
		うち消費者向	239,555	86.0	93.0	54.5	
		在庫計	452,439	100.9	85.3	128.6	
鋼材輸出船積実績		60,639	83.7	76.3	73.8		
生産者工場在庫		385,132	106.4	92.1	110.1		
総在庫		837,571	103.3	88.3	119.4		
ばね鋼		熱間圧延鋼材生産	22,611	87.8	78.8	62.9	
		鋼材輸入実績	393	18.6	111.1	96.5	
	販売業者	受入計	2,993	72.7	99.5	14.1	
		販売計	3,185	75.0	100.5	15.2	
		うち消費者向	2,141	74.0	95.3	46.0	
		在庫計	12,412	98.5	104.4	101.7	
	鋼材輸出船積実績	12,231	87.3	78.9	77.8		
	生産者工場在庫	23,725	103.0	92.2	91.9		
	総在庫	36,137	101.4	96.0	95.0		
	ステンレス鋼	熱間圧延鋼材生産	222,303	106.2	96.9	96.8	
鋼材輸入実績		25,479	76.9	119.9	176.1		
販売業者		受入計	106,265	83.7	85.9	42.4	
		販売計	101,871	80.7	85.7	40.5	
		うち消費者向	49,277	80.7	87.7	88.1	
		在庫計	247,760	101.8	102.3	181.3	
鋼材輸出船積実績		59,601	92.6	90.9	68.0		
生産者工場在庫		156,782	109.5	112.0	136.1		
総在庫		404,542	104.7	105.9	160.6		
快削鋼		熱間圧延鋼材生産	36,578	91.1	80.7	71.3	
	販売業者	受入計	7,480	101.2	80.0	52.9	
		販売計	8,189	88.5	85.6	56.9	
		うち消費者向	7,563	87.7	89.2	54.3	
		在庫計	12,021	94.4	109.3	88.8	
	鋼材輸出船積実績	4,918	41.2	45.9	51.4		
	生産者工場在庫	27,165	115.2	91.8	97.9		
	総在庫	39,186	107.9	96.5	94.9		
	高抗張力鋼	熱間圧延鋼材生産	401,647	110.5	96.2	97.3	
		販売業者	受入計	5,129	90.8	110.1	49.9
販売計			4,925	75.2	113.7	48.4	
うち消費者向			4,122	73.4	119.6	61.5	
在庫計			14,508	101.4	73.5	132.3	
生産者工場在庫		199,220	127.8	102.9	105.0		
総在庫		213,728	125.6	100.2	106.5		
その他		熱間圧延鋼材生産	97,650	92.5	77.6	70.6	
		販売業者	受入計	33,141	86.6	77.2	81.8
			販売計	34,445	88.1	91.4	85.0
	うち消費者向		31,441	86.0	90.9	85.6	
	在庫計		66,722	98.1	95.7	125.6	
	生産者工場在庫	63,121	109.4	94.2	91.2		
	総在庫	129,843	103.3	95.0	106.2		
	特殊鋼鋼材合計	熱間圧延鋼材生産合計	1,399,549	101.6	89.8	89.0	
		鋼材輸入実績計	41,959	83.5	95.9	51.6	
		販売業者	受入計	491,851	91.8	88.3	48.3
販売計			483,817	86.5	93.5	47.6	
うち消費者向			349,040	85.2	92.5	60.6	
在庫計			886,501	100.9	92.9	139.1	
鋼材輸出船積実績計		525,856	91.0	79.1	81.8		
生産者工場在庫		865,244	111.7	98.2	110.1		
総在庫		1,751,745	106.0	95.4	123.1		

出所: 鋼材輸入実績及び鋼材輸出船積実績は財務省関税局『貿易統計』、

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

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

倶楽部だより

(2022年8月1日～9月30日)

海外委員会

勉強会（7月29日）

名称：貿易救済措置の制度に係る勉強会
出席者：経済産業省 貿易経済協力局 特殊関
税等調査室、国際経済紛争対策室、
金属課、ステンレス鋼公正貿易連絡
会関係者

方式：オンライン会議

セミナー（9月1日）

名称：令和4年度貿易救済セミナー
講師：経済産業省 特殊関税等調査室
方式：Webセミナー

説明会（9月28日）

演題：不公正貿易報告書等解説
方式：オンライン配信

市場開拓調査委員会

講演会（8月17日）

演題：日本の直面するエネルギー政策の課題
～Clear and Present Danger

講師：日鉄総研(株) 常務取締役
小野 透氏

方式：ハイブリッド講演会（特殊鋼倶楽部
会議室・オンライン配信）

申込者：102名

講演会（9月9日）

演題：BEV時代を見据えた自動車中小部品
製造／加工企業のイノベーション
～ケーススタディから見える取組み
の方向性

講師：(株)現代文化研究所 主任研究員
中野 直哉氏

方式：ハイブリッド講演会（特殊鋼倶楽部
会議室・オンライン配信）

申込者：281名

編集委員会

本委員会（8月22日・Web会議）

- ①委員長交代の報告
- ②2023年1月号特集「未来に貢献する新材料、

新技術（仮題）」の編集方針、内容の確認

- ③一般社団法人日本鉄鋼協会・西山記念技術
講座協賛について

小委員会（9月20日・Web会議）

2023年3月号特集「特殊鋼の技術と用語のや
さしい解説（技術解説編）（仮題）」の編集内
容の検討

人材確保育成委員会

委員会（8月30日・Web会議）

- ①委員交代の報告
- ②2022年度事業計画の概要説明
- ③2022年度ビジネスパーソン研修講座実施の
検討
- ④2022年度特殊鋼教養講座実施の検討
- ⑤2022年度工場見学会実施の検討
- ⑥2022年度業界紹介パンフレット「夢みる鉄」
普及の検討
- ⑦2021年度事業概況の報告

カーボンニュートラルWG

第14回会合（8月25日・Web会議）

第15回会合（9月28日・Web会議）

[大阪支部]

第1回三団体責任者会議（8月30日）

講演会・賀詞交換会他共催事業の検討

第1回人材確保育成委員会（9月8日）

- ①同委員会取組概要・組織
- ②本年度行事の取組状況及び予定の説明
- ③その他

講演会（9月9日）再掲

演題：BEV時代を見据えた自動車中小部品
製造／加工企業のイノベーション
～ケーススタディから見える取組み
の方向性

講師：(株)現代文化研究所 主任研究員
中野 直哉氏

方式：ハイブリッド講演会（特殊鋼倶楽部
会議室・オンライン配信）

申込者：58名（大阪）

方 式：ハイブリッド講演会（特殊鋼倶楽部
会議室・オンライン配信）

[名古屋支部]

講演会（9月9日）再掲

演 題：BEV時代を見据えた自動車中小部品
製造／加工企業のイノベーション
～ケーススタディから見える取組み
の方向性

講 師：(株)現代文化研究所 主任研究員
中野 直哉 氏

申込者：35名（名古屋）

生産性向上研修（9月15日・三団体共催）

テーマ：DXの推進

講 師：(一社)中部産業連盟 飯田 剛弘 氏

方 式：オンライン参加

受講者：12名（名古屋）



特殊鋼倶楽部の動き

『貿易救済措置の制度に係る勉強会』を開催

ステンレス協会と一般社団法人特殊鋼倶楽部の共同事業であるステンレス鋼公正貿易連絡会（以下、「公正貿易連絡会」）は、経済産業省の関係部局と「貿易救済措置の制度に係る勉強会」（以下、「本勉強会」）を開催しました。

昨年後半以降、我が国のステンレス鋼材の輸入が急増しているなかで、不公正な輸入により我が国ステンレス鋼産業が損害を受けていることが確認された場合には遅滞なく行動に移せるよう、本勉強会を通じて、貿易救済措置申請の要件や手順、更には申請に際して留意すべき事項等、貿易救済措置に係る制度の理解を深めるとともに、足下の我が国におけるステンレス鋼材の入着状況について認識を共有させていただきました。

公正貿易連絡会は、今後とも日本政府のご指導も仰ぎつつ、自由で公正な貿易環境が維持・発展されるように、取組んで参る所存です。

記

勉強会名：貿易救済措置の制度に係る勉強会

日 時：2022年7月29日（金） 13：30～15：30（Web会議方式）

出席者：（経済産業省）貿易経済協力局特殊関税等調査室、国際経済紛争対策室、金属課
（民間側）ステンレス鋼公正貿易連絡会関係者（9社・団体、18名）

内 容：

- （1）各通商措置（AD（アンチダンピング）措置、CVD（補助金相殺関税））の要件及び申請手順、留意すべき事項の確認
 - ①調査対象貨物の定義
 - ②申請要件（生産者資格等）
 - ③ダンピングの事実（構成価格、第三国価格適用等）
 - ④損害の有無（数量、価格、営業利益）
 - ⑤因果関係
 - ⑥CVD申請に関する情報（各国補助金制度）
- （2）直近の輸入ステンレス鋼材の状況説明

以上

問い合わせ先：ステンレス協会（03-3669-5691）、一般社団法人特殊鋼倶楽部（03-3669-2081）

『日本の直面するエネルギー政策の課題～Clear and Present Danger』 講演会の開催

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

日本製鉄グループの調査会社の日鉄総研株式会社殿より講師をお招きして、「日本の直面するエネルギー政策の課題」を題材に、日本が直面する3つの課題と対応策を詳細にわかりやすくご講演いただきました。日本の鉄鋼業が2050年カーボンニュートラルを目指す上で、安価で豊富なカーボンフリー電力の供給は欠かせません。水素還元製鉄も電炉化も、大量の系統電力を必要とします。

本講演では、国内での鉄鋼生産の重要な前提となる電力コスト、安定供給、エネルギー安全保障上の実態並びに課題を客観的、定量的に解説した上で、その課題解決に向けた一つの処方箋を示すなど紹介いただきました。

会員の皆様の今後の対策の検討など、議論のたたき台として参考になりました。

1. 日 時：2022年8月17日（水） 13時00分～15時30分
2. 方 式：ハイブリッド講演会（対面・特殊鋼倶楽部会議室、オンライン配信）
3. 演 題：「日本の直面するエネルギー政策の課題～Clear and Present Danger」
4. 講 師：日鉄総研株式会社 常務取締役 小野 透 氏
5. 申込数：102名

『令和4年度貿易救済セミナー』の開催

経済産業省 特殊関税等調査室殿において、「令和4年度貿易救済セミナー」を開催いたしました。

本セミナーでは、経済産業省殿によるアンチダンピング（AD）措置及び補助金相殺関税（CVD）措置の最近の動向の解説に加え、申請に向けて有用な情報を提供すべく、特殊関税等調査室殿ホームページにて公開している各種モニタリングシステムや、実際にアンチダンピング申請を経験された企業のリアルな経験談のご紹介などを行いました。

「安値輸入品で困っている」あるいは「貿易救済措置の申請を検討している」といった企業にとって、価値のある情報を提供できた場になりました。

1. 日 時：2022年9月1日（木） 14時00分～16時00分
2. 方 式：Webセミナー
3. プログラム：1) 経済産業省からアンチダンピング（AD）措置・補助金相殺関税（CVD）措置の概要説明
2) モニタリングシステムの紹介、使い方
3) AD申請者による経験共有
4) 申請の仕方について

『BEV時代を見据えた自動車中小部品製造／加工企業のイノベーション』 講演会の開催

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

トヨタ自動車グループの調査会社の株式会社現代文化研究所殿より講師をお招きして、「BEV時代を見据えた自動車中小部品製造／加工企業のイノベーション」を題材に、自動車業界が直面する大きな変化を詳細にわかりやすくご講演いただきました。ビジネスモデルとしては、クルマ単体の販売からサービス提供（MaaS）へ、技術面ではCASE（通信／自動化／保有から利用／電動化）の流れ、アーキテクチャーでは擦り合わせからモジュールへと変貌しています。こうした中でも、CASE、その中でもE電動化の流れが、自動車産業の基盤を成す中小部品加工・製造企業にとって大きな影響を及ぼしています。電動化により、納入先企業が内燃機関関連部品に係る発注を減らすことで、部品製造・加工企業の経営基盤が大きな影響を受けるためです。

そこで、自動車産業における部品製造・加工企業にとっては次の10年、20年、あるいは100年を見据えた経営戦略が必要となります。今回は実際の企業取引等を事例に、いま中小の部品製造・加工企業、引いては現状の市場縮小に直面する企業が取るべき戦略等について、考察を行いました。

会員の皆様の今後の対応での検討、方針を立てる上で、議論のたたき台として参考になりました。

1. 日 時：2022年9月9日（金） 13時00分～15時00分
2. 方 式：ハイブリッド講演会（対面・特殊鋼倶楽部会議室、オンライン配信）
3. 演 題：「BEV時代を見据えた自動車中小部品製造／加工企業のイノベーション～ケーススタディから見える取組みの方向性」
4. 講 師：株式会社現代文化研究所 主任研究員 中野 直哉 氏
5. 申込数：281名

『不公正貿易報告書等』説明会の開催

経済産業省殿では、「2022年版不公正貿易報告書」を公表いたしました。

今回、鉄鋼業界4団体共同（一般社団法人日本鉄鋼連盟、線材製品協会、ステンレス協会、一般社団法人特殊鋼倶楽部）において、経済産業省殿より講師をお招きして、「2022年版不公正貿易報告書等」についてご説明いただきました。

1. 日 時：2022年9月28日（水） 14時00分～16時00分
2. 方 式：オンライン配信
3. 演題・講師：
 - ①〔演題〕不公正貿易報告について
〔講師〕通商政策局 国際経済紛争対策室 西村 祥平 調整官
 - ②〔演題〕他国による貿易救済措置への対応について
〔講師〕通商政策局 国際経済紛争対策室 西村 祥平 調整官
 - ③〔演題〕アンチダンピング（AD）措置・補助金相殺関税（CVD）措置
〔講師〕貿易局 特殊関税等調査室 梶原 正太郎 室長補佐
 - ④〔演題〕EPA/FTAの動向について
〔講師〕通商政策局 経済連携課 谷 查恵子 室長補佐
 - ⑤〔演題〕令和4年版通商白書について
〔講師〕通商政策局 企画調査室 山川 彩香 室長補佐

■ お知らせ ■ ■ ■ ■ ■

～メタルジャパン 東京展に恒例の出展～

第9回メタルジャパン（高機能金属展）[東京展]

会期：2022年12月7日(水)～9日(金)

時間：10:00～18:00 9日(金)のみ17:00終了 会場：幕張メッセ

主催：RX Japan 株式会社 協賛：(一社)特殊鋼倶楽部

特殊鋼倶楽部では、技術革新を支える「最先端を行く特殊鋼」として社会へ広く認識されることを目指して、市場開拓調査委員会の事業の一環として、年2回関西と東京で開催される「メタルジャパン（高機能金属展）」に出展し、業界のアピールを行っています。

今回、第9回メタルジャパン（高機能金属展）東京展に連続7回目の出展を果たし、特殊鋼倶楽部ブースにて、特殊鋼商品知識の普及及び啓蒙、特殊鋼倶楽部及び会員会社の紹介、当倶楽部出版物配布、共同出展される会員会社の特色ある製品・技術・サービスを展示します。

また、協賛団体専門セミナーと題し、会員1社にセミナーに登壇いただきます。

万障お繰り合わせの上、ご来場下さい。会場にてお待ちしております。

【特殊鋼倶楽部ブース内会員会社展示】

- ・クマガイ特殊鋼株式会社 殿
 - ・南海モルディ株式会社 殿
- (上記、五十音順)

【特殊鋼倶楽部ブース位置】

小間番号：26-41 (仮)

【協賛団体専門セミナー予定】

日時：2022年12月8日(木) 15時15分～16時00分

場所：幕張メッセ 第9回メタルジャパン会場内、METAL-4

演題：金型用3Dプリンタ粉末の開発動向

講師：大同特殊鋼株式会社 次世代製品開発センター 主席部員 井上幸一郎 氏

一般社団法人特殊鋼倶楽部 会員会社一覽

(社名は50音順)

<p>[会 員 数]</p> <p>(正 会 員)</p> <p>製造業者 25社</p> <p>販売業者 101社</p> <p>合 計 126社</p>	【販売業者会員】		
<p>【製造業者会員】</p> <p>愛 知 製 鋼 (株)</p> <p>秋 山 精 鋼 (株)</p> <p>(株)川口金属加工</p> <p>高 周 波 熱 錬 (株)</p> <p>(株)神 戸 製 鋼 所</p> <p>合 同 製 鐵 (株)</p> <p>山 陽 特 殊 製 鋼 (株)</p> <p>J F E ス チ ー ル (株)</p> <p>J X 金 属 (株)</p> <p>下 村 特 殊 精 工 (株)</p> <p>大 同 特 殊 鋼 (株)</p> <p>高 砂 鐵 工 (株)</p> <p>東 北 特 殊 鋼 (株)</p> <p>日 鉄 ス テ ン レ ス (株)</p> <p>日 本 金 属 (株)</p> <p>日 本 高 周 波 鋼 業 (株)</p> <p>日 本 精 線 (株)</p> <p>日 本 製 鐵 (株)</p> <p>日 本 冶 金 工 業 (株)</p> <p>日 立 金 属 (株)</p> <p>(株)広島メタル&マシナリー</p> <p>(株)不 二 越</p> <p>三 菱 製 鋼 (株)</p> <p>ヤ マ シ ン ス チ ー ル (株)</p> <p>理 研 製 鋼 (株)</p>	<p>愛 鋼 (株)</p> <p>青 山 特 殊 鋼 (株)</p> <p>浅 井 産 業 (株)</p> <p>東 金 属 (株)</p> <p>新 井 ハ ガ ネ (株)</p> <p>粟 井 鋼 商 事 (株)</p> <p>伊 藤 忠 丸 紅 鉄 鋼 (株)</p> <p>伊 藤 忠 丸 紅 特 殊 鋼 (株)</p> <p>(株)ISSリアライズ</p> <p>(株)U E X</p> <p>確 井 鋼 材 (株)</p> <p>ウ メ ト ク (株)</p> <p>扇 鋼 材 (株)</p> <p>岡 谷 鋼 機 (株)</p> <p>カ ネ ヒ ラ 鉄 鋼 (株)</p> <p>兼 松 (株)</p> <p>兼 松 ト レ ー デ ィ ン グ (株)</p> <p>(株)カ ム ス</p> <p>(株)カ ワ イ ス チ ー ル</p> <p>川 本 鋼 材 (株)</p> <p>北 島 鋼 材 (株)</p> <p>ク マ ガ イ 特 殊 鋼 (株)</p> <p>小 山 鋼 材 (株)</p> <p>佐 久 間 特 殊 鋼 (株)</p> <p>櫻 井 鋼 鐵 (株)</p> <p>佐 藤 商 事 (株)</p> <p>サ ハ シ 特 殊 鋼 (株)</p> <p>(株)三 悦</p> <p>三 協 鋼 鐵 (株)</p> <p>三 京 物 産 (株)</p> <p>三 興 鋼 材 (株)</p> <p>三 和 特 殊 鋼 (株)</p> <p>J F E 商 事 (株)</p> <p>芝 本 産 業 (株)</p> <p>清 水 金 属 (株)</p> <p>清 水 鋼 鐵 (株)</p> <p>神 鋼 商 事 (株)</p> <p>住 友 商 事 (株)</p> <p>住 友 商 事 グ ロ ー バ ル メ タ ル ズ (株)</p>	<p>大 同 興 業 (株)</p> <p>大 同 D M ソ リ ュ ー シ ョ ン (株)</p> <p>大 洋 商 事 (株)</p> <p>大 和 特 殊 鋼 (株)</p> <p>(株)竹内ハガネ商行</p> <p>孟 鋼 鉄 (株)</p> <p>辰 巳 屋 興 業 (株)</p> <p>千 曲 鋼 材 (株)</p> <p>(株)テ ク ノ タ ジ マ</p> <p>(株)鐵 鋼 社</p> <p>デ ル タ ス テ ー ル (株)</p> <p>東 京 貿 易 マ テ リ ア ル (株)</p> <p>(株)東 信 鋼 鉄</p> <p>(株)ト ー キ ン</p> <p>特 殊 鋼 機 (株)</p> <p>豊 田 通 商 (株)</p> <p>中 川 特 殊 鋼 (株)</p> <p>中 島 特 殊 鋼 (株)</p> <p>中 野 ハ ガ ネ (株)</p> <p>永 田 鋼 材 (株)</p> <p>名 古 屋 特 殊 鋼 (株)</p> <p>ナ ス 物 産 (株)</p> <p>南 海 モ ル デ ィ (株)</p> <p>日 金 ス チ ー ル (株)</p> <p>日 鉄 物 産 (株)</p> <p>日 鉄 物 産 特 殊 鋼 (株)</p> <p>日 本 金 型 材 (株)</p> <p>ノ ボ ル 鋼 鉄 (株)</p> <p>野 村 鋼 機 (株)</p> <p>白 鷺 特 殊 鋼 (株)</p> <p>橋 本 鋼 (株)</p> <p>(株)長谷川ハガネ店</p> <p>(株)ハヤカワカンパニー</p> <p>林 田 特 殊 鋼 材 (株)</p> <p>阪 神 特 殊 鋼 (株)</p> <p>阪 和 興 業 (株)</p> <p>日 立 金 属 工 具 鋼 (株)</p> <p>(株)日 立 ハ イ テ ク</p> <p>(株)平 井</p>	<p>(株)フ ク オ カ</p> <p>藤 田 商 事 (株)</p> <p>古 池 鋼 業 (株)</p> <p>(株)プ ル ー タ ス</p> <p>平 和 鋼 材 (株)</p> <p>(株)堀 田 ハ ガ ネ</p> <p>(株)マクスコーポレーション</p> <p>松 井 鋼 材 (株)</p> <p>三 沢 興 産 (株)</p> <p>三 井 物 産 (株)</p> <p>三 井 物 産 ス チ ー ル (株)</p> <p>(株)メ タ ル ワ ン</p> <p>(株)メタルワンチューブラー</p> <p>(株)メタルワン特殊鋼</p> <p>森 寅 鋼 業 (株)</p> <p>(株)山 一 ハ ガ ネ</p> <p>山 進 産 業 (株)</p> <p>ヤ マ ト 特 殊 鋼 (株)</p> <p>山 野 鋼 材 (株)</p> <p>陽 鋼 物 産 (株)</p> <p>菱 光 特 殊 鋼 (株)</p> <p>リ ン タ ツ (株)</p> <p>渡 辺 ハ ガ ネ (株)</p>

“特集” 編集後記

今月号は「熱間工具鋼」を特集しました。工具鋼の中でも、熱間工具鋼にフォーカスした特集は2004年11月号まで遡ります。当時の特集では、様々な業種で熱間工具鋼を使用されている方々から、材料や加工技術に対する大きな期待をご執筆頂きました。

それから20年弱。熱間工具鋼の分野は着実に進歩を遂げてきました。

近年の自動車業界では、環境対応による燃費向上のために車体の軽量化ニーズが高まっております。これに伴い、従来よりも大型の部品を高機能・高品質で、かつ高い生産性と低コストを両立できるような金型製品が求められております。また半導体関連などの精密機器や通信部品用の金型では、製品形状の複雑・高微細化に伴い、ミクロンオーダーの精巧性の高い技術や、超硬材料への加工が求められています。これら幅広いニーズに応えるため、工具鋼メーカー各社ではダイカストをはじめとする様々な用途に対応する熱間加工金型用鋼

を開発し、さらなる高特性化のために周辺技術の検討を積み重ねてまいりました。

本特集で取り上げたのはこの20年間に進歩した技術のほんの一部ではありますが、世の中のニーズにお応えしたいという技術者の熱い想いと共に、最新の熱間工具鋼に関する技術の動向を広く皆さまにお伝えできれば幸いです。

また特集の最後には、最新の工具鋼のブランド対照表を添付しました。工具鋼は、各社で開発したブランド鋼を各社のブランド名で表示することが多いので、工具鋼に初めて携わる方が素材を選定する際などに、ぜひご活用いただきたいと思えます。

最後になりましたが、本特集号にご寄稿頂きました執筆者の皆さま、ご協力を頂きました編集委員の皆さま及び事務局各位に、この場を借りて厚く御礼申し上げます。

〔大同特殊鋼(株) 技術開発研究所 企画室 主任部員 深瀬美紀子〕

特 集 / 未来に貢献する新材料、新技術

- I. 自動車
- II. 航空宇宙
- III. 電気・電子
- IV. 産業機械
- V. 建築・プラント・エネルギー・インフラ
- VI. 会員メーカーの新材料、新技術

3月号特集予定…特殊鋼の技術と用語のやさしい解説（技術解説編）

特 殊 鋼

第 71 卷 第 6 号
© 2 0 2 2 年 11 月
2022年10月25日 印刷
2022年11月1日 発行

定 価 1,252円 送 料 200円
1年 国内7,434円（送料共）

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

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

編集発行人 脇 本 眞 也
印刷人 増 田 達 朗
印刷所 レタープレス株式会社

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

「特殊鋼」誌第71巻索引

2022年1～11月

	号・頁
「2022年新年挨拶」……………藤岡 高広	1・1
「特殊鋼倶楽部創立70周年にあたって」…藤岡 高広	7・1
日本鉄鋼連盟、特殊鋼倶楽部、ステンレス協会 3団体会長連名によるコメント……………	9・2

【年頭所感】

「年頭に寄せて」……………藤木 俊光	1・2
「2022年を迎えて」……………大前 浩三	1・4
「年頭所感」……………樋 巳芳	1・5
「年頭所感」……………赤阪 太郎	1・6
「年頭所感」……………木本 和彦	1・7
「年頭所感」……………錦織 正規	1・8
「年頭所感」……………山下 敏明	1・9
「年頭所感」……………園田 裕人	1・10
「年頭のご挨拶」……………谷口 徹	1・11

【需要部門の動向】

産業機械……………片岡 功一	5・1
----------------	-----

【一人一題】

「鉄の気持ちを考えて？」……………迫間 保弘	9・1
「入社時の社宅の思い出」……………北代 広明	11・1

■ 特集記事 ■

☆ 自動車の未来に貢献する特殊鋼

I. 将来車開発の考え方 カーボンニュートラル実現に向け、自動車産業を ベースメーカーとした日本のモノづくり ……………間 政博	1・12
II. 「日産e-power」技術 ……………原田 英人	1・18
……………林 憲司	
……………阿久津忠文	
……………木村 亮介	
III. 自動車の未来に貢献する技術・商品・取組	
1. 「ボディ・骨格」の軽量化技術動向 次世代自動車コンセプト“NSafe®-AutoConcept” の開発……………丹羽 俊之	1・24
2. 「パワートレイン」の軽量化・CO2排出削減技術 動向……………松ヶ迫亮廣	1・29
3. 自動車電動化に伴うアルミダイカスト部品の 変化と金型への要求……………金内 良夫	1・33
4. 電動自動車用磁性材料の技術動向 ……………古澤 大介	1・37
5. 素材開発が切り拓く省資源・小型軽量次世代 電動アクスル……………度會 亜起	1・41
IV. 会員メーカー及び関連会社の材料・技術の紹介 ……………	1・45～1・49
（株）神戸製鋼所、大同特殊鋼株、 日立金属ネオマテリアル	

☆ 非破壊検査技術と特殊鋼

I. 総論 特殊鋼の非破壊検査技術……………山田 裕久	3・1
II. 非破壊検査方法	
1. 磁粉探傷……………齋藤 直樹	3・7
2. 渦電流探傷……………吉川 仁	3・10
3. 浸透探傷……………相澤 栄三	3・14
4. 漏えい（洩）磁束探傷……………吉川 仁	3・17
5. 放射線透過試験……………荒木絵里子	3・20
……………松本 真弥	
……………揚野 東	
6. 超音波探傷……………松井 晃一	3・23
III. 各製品の非破壊検査の現状	
1. 鋼片……………森 大輔	3・26
2. 棒鋼……………鈴木 宣生	3・28
3. 厚板……………飯塚 幸理	3・31
4. 薄板の超音波板波探傷装置の開発事例紹介 ……………鈴木 俊之	3・34
……………山野 正樹	3・38
5. 鋼管……………松井 智政	3・40
6. 線材……………橋本 暢之	3・43
7. ステンレス鋼……………	

☆ 特殊鋼と窒化

I. 概論	
1. 窒化処理技術の位置づけ（現状・進歩・動向） ……………渡邊 陽一	5・5
……………宮本 吾郎	5・10
2. 窒化の基礎……………	
II. 窒化方法	
1. ガス窒化法……………清水 郁	5・14
2. ガス軟窒化法……………清水 克成	5・18
3. プラズマ窒化法（イオン窒化法） ……………大沼 一平	5・22
4. 塩浴軟窒化法……………石塚はる菜	5・26
III. 窒化の適用例	
1. 乗用車部品（クランクシャフト） ……………祐谷 将人	5・29
2. トラック部品（クランクシャフト） ……………山田 明德	5・32
……………政家 弘樹	
……………衛藤 洋仁	
3. 乗用車（歯車）①……………木口 海	5・35
4. 乗用車（歯車）②……………田中 優樹	5・38
5. 建設機械部品の窒化処理による摺動性向上 ……………孟 凡輝	5・42
……………小林 寛和	5・46
6. 金型……………	
……………田中 博子	5・50

☆ DXと鉄鋼業への適用

I. 総論	
1. DXについて……………谷内 愛	7・2
II. デジタルデータ技術	
1. 機械学習のためのデータ収集 ……………高柳 昌芳	7・6
……………渡邊はるな	7・12
2. 人工知能・機械学習……………	
……………福住 光記	7・16
3. IoTシステム……………	

III. デジタルデータ技術の鉄鋼業への活用事例			
1. 冷間圧延機のAI制御技術……高田 敬規	7・20		
2. ディープラーニングによる表面きずの弁別 ……森 大輔	7・26		
3. 製鉄プラントの設備状態監視へのデータ サイエンスの適用……平田 丈英	7・31		
4. 浸炭熱処理後のマイクロ組織画像から炭素濃度を 予測するシステムの開発……谷地 宣紀	7・35		
5. AI技術及び3次元カメラを用いた 残材検知システムの開発……岡田 大樹	7・41		
IV. DXに対する会員メーカーの取り組み ……日立金属㈱	7・46		
☆ 特殊鋼の基礎			
I. まえがき……井上幸一郎	9・3		
II. 化学成分			
1. 工具鋼……屈岡 竜大	9・4		
2. 機械構造用炭素鋼……田中 優樹	9・7		
3. 構造用合金鋼……河合 隆之	9・10		
4. ばね鋼……宮田 将晴	9・13		
5. 軸受鋼……栗田 俊	9・15		
6. ステンレス鋼……東城 雅之	9・17		
7. 耐熱鋼……平田 茂	9・20		
8. 快削鋼……長谷川達也	9・23		
9. ピアノ線材……酒道 武浩	9・27		
10. 高張力鋼……柳田 和寿	9・30		
11. マルエージング鋼……大石 勝彦	9・32		
12. 超合金……大木優太郎	9・34		
13. 電子材料……山本 晋司	9・37		
14. 電磁鋼板……尾田 善彦	9・39		
III. 合金元素 合金元素データシート			
鉄 (Fe)……北川 貴一	9・41		
炭素 (C)、シリコン (Si)、マンガン (Mn) ……河合 隆之	9・41		
リン (P)、硫黄 (S)、クロム (Cr) ……奥本 剛史	9・43		
ニッケル (Ni)、モリブデン (Mo) ……福嶋 利保	9・44		
ニオブ (Nb)……及川 誠	9・45		
バナジウム (V)……宮田 将晴	9・46		
ホウ素 (B)……青山 敦司	9・46		
アルミニウム (Al)、チタン (Ti) ……及川 誠	9・47		
コバルト (Co)、銅 (Cu)……宮田 将晴	9・48		
カルシウム (Ca)、鉛 (Pb)……青山 敦司	9・49		
テルル (Te)、ビスマス (Bi)……清 高暉	9・50		
セレン (Se)……青山 敦司	9・51		
タングステン (W)……福嶋 利保	9・51		
イットリウム (Y)……清 高暉	9・52		
タンタル (Ta)、レニウム (Re)……青山 敦司	9・52		
サマリウム (Sm)……日置 敬子	9・53		
窒素 (N)……北川 貴一	9・54		
酸素 (O)、水素 (H)……青山 敦司	9・54		
II. 熱間工具鋼の用途別材料			
1. 温熱間鍛造……難波 剛士	11・8		
2. 熱間押し出し工具……根岸 茂利	11・11		
3. ダイカスト……渋澤 明秀	11・14		
4. ホットスタンプ……増田 哲也	11・18		
III. 熱間工具鋼の周辺技術			
1. 工具鋼の切削加工に関する研究動向 ……松村 隆	11・21		
……田村 昌一			
2. 熱間工具鋼の熱処理……小林 裕宜	11・25		
3. 表面処理……加田 善裕	11・29		
4. ダイカスト金型の肉盛溶接補修 ……堀尾 浩次	11・32		
IV. 会員会社の熱間工具鋼と関連技術			
1. 高温強度に優れた新高性能ダイカスト 金型用鋼DAC-X [®] ……村崎 拓哉	11・35		
2. 高強度高靱性ハンマー金型用鋼 「QTP [®] -HARMOTEX [®] 」 ……難波 剛士	11・37		
3. 日本高周波鋼業㈱の熱間工具鋼と関連技術 ……谷井 一也	11・39		
4. ホットスタンプ評価技術……梅森 直樹	11・40		
V. 工具鋼のブランド対照表			
1. 熱間金型用鋼……	11・41		
2. 冷間金型用鋼……	11・42		
3. プラスチック金型用鋼……	11・43		
4. 高速度工具鋼……	11・44		
【業界の動き】……	毎号掲載		
【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……	毎号掲載		
▲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)……	毎号掲載		
▲特殊鋼熱間圧延鋼材の鋼種別メーカー在庫の 推移……	毎号掲載		
▲特殊鋼鋼材の流通在庫の推移 (商社+問屋)……	毎号掲載		
▲特殊鋼鋼材の輸出入推移……	毎号掲載		
▲関連産業指標推移……	毎号掲載		
▲特殊鋼需給統計総括表……	毎号掲載		
【倶楽部だより】……	毎号掲載		
【特殊鋼倶楽部の動き】……	毎号掲載		
◇お知らせ			
メタルジャパン 関西展に継続出展……	3・58		
第243・244回西山記念技術講座……	3・59		
第73回白石記念講座……	7・57		
第245・246回西山記念技術講座……	9・68		
メタルジャパン 東京展に恒例の出展……	11・59		
【会員会社一覽】……	毎号掲載		
☆ 進化する熱間工具鋼			
I. 総論			
「特殊鋼市場と技術動向」 —主として熱間工具鋼の動向について— ……日原 政彦	11・2		