

2010

9

特殊鋼

The Special Steel ————— *Vol.59 No.5*

特集 / 各産業分野での溶接・接合技術の動向



特殊鋼

9

目次

2010

【編集委員】

委員長	並木 邦夫 (大同特殊鋼)
副委員長	久松 定興 (中川特殊鋼)
委員	福井 康二 (愛知製鋼)
〃	小椋 大輔 (神戸製鋼所)
〃	西森 博 (山陽特殊製鋼)
〃	出町 仁 (新日本製鐵)
〃	村井 暢宏 (住友金属小倉)
〃	本田 正寿 (大同特殊鋼)
〃	内藤 靖 (日新製鋼)
〃	大和田哲也 (日本金属)
〃	小野 寛 (日本金属工業)
〃	山崎 浩郎 (日本高周波鋼業)
〃	足達 哲男 (日本冶金工業)
〃	加田 善裕 (日立金属)
〃	岡本 裕 (三菱製鋼)
〃	中村 哲二 (青山特殊鋼)
〃	池田 正秋 (伊藤忠丸紅特殊鋼)
〃	岡崎誠一郎 (UEX)
〃	石黒 賢一 (三興鋼材)
〃	金原 茂 (竹内ハガネ商行)
〃	甘利 圭石 (平井)

【特集／各産業分野での溶接・接合技術の動向】

I. 総論

1. 特殊鋼の溶接・接合技術の最近の動向	住友金属工業(株) 小川 和博	2
2. 特殊鋼の溶接・接合研究の進歩と今後の展望 —溶接割れについて—	広島大学大学院 篠崎 賢二	7

II. 各産業分野の溶接・接合技術および材料の現況

1. 压力容器	(株)日本製鋼所 茅野 林造	11
2. 原子力 (原子炉压力容器)	パプコック日立(株) 河原 渉	15
3. 建築	川田工業(株) 津山 忠久	21
4. 産機・建機	コマツ 天野 昌春	24
5. 電力	(株)東芝 浅井 知 藤田 善宏	27
6. 金型における肉盛補修溶接技術と今後の展開	大同特殊鋼(株) 堀尾 浩次	31
7. レールの溶接	(助)鉄道総合技術研究所 山本 隆一	35
8. 航空エンジンにおける接合技術	(株)IHI 辻 純二	39

III. 最近の溶接・接合関連製品

Ni基合金溶接用フラックス入りワイヤ DW-N625, DW-NC276, DW-N82	(株)神戸製鋼所	43
エレクトロガスアーク溶接を用いた 建築構造用鋼管柱	住友金属工業(株)	44

金属の力。人間の情熱。

Maxis

株式会社マクシスコーポレーション

<http://www.maxis.co.jp>

大同特殊鋼の金型用材料

高靱性マトリックス型ハイス

DRM

ドリームシリーズ

排気処理系部品用溶接ワイヤ “WSRシリーズ”

亜鉛めっき鋼板用溶接ワイヤ “Zシリーズ”

..... 大同特殊鋼(株) 45

“特集” 編集後記 新日本製鐵(株) 出町 仁 46

●一人一題：「マイペンライ」..... 岡谷鋼機(株) 川松 康吉 1

■業界の動き 47

▲特殊鋼統計資料 50

★倶楽部だより (平成 22 年 6 月 21 日～8 月 20 日) 54

☆社団法人特殊鋼倶楽部 会員会社一覧 55

特集／「各産業分野での溶接・接合技術の動向」編集小委員会構成メンバー

役名	氏名	会社名	役職名
小委員長	出町 仁	新日本製鐵(株)	棒線営業部 棒線商品技術グループリーダー
委員	井上 裕滋	〃	鐵鋼研究所 接合研究センター 主幹研究員
〃	小椋 大輔	(株)神戸製鋼所	鉄鋼部門 線材条鋼商品技術部 課長
〃	西森 博	山陽特殊製鋼(株)	軸受営業部 軸受 CS 室長
〃	本田 正寿	大同特殊鋼(株)	特殊鋼事業部 特殊鋼商品開発部 主任部員
〃	山崎 浩郎	日本高周波鋼業(株)	技術部 担当次長
〃	加田 善裕	日立金属(株)	特殊鋼カンパニー 技術部長
〃	甘利 圭右	(株)平井	常務取締役

TAIYO STEEL MATERIALS

大洋商事株式会社

<http://www.taiyoshoji.co.jp>

ISO 14001 認証取得

特殊鋼 鋳造品 鍛造品 加工 組立 電子材料
ITデバイス

本社 東京都中央区新富2丁目15番5号 (RBM築地ビル)
TEL. 03-5566-5500

豊富な実績、ノウハウを生かして“役立つ提案”をします！！

材料、製品設計から各種加工、完品迄対応いたします。

お客様

VE提案

大洋商事株式会社

「マイペンライ」

岡谷鋼機(株) かわ まつ やす よし
代表取締役専務 川 松 康 吉

私は1996年～2006年の10年間東南アジアに位置するタイに駐在し、今でも年に1～2度訪問しているタイに親しみを覚えている一人です。バンコク日本人商工会議所に登録されている日系企業は、1,300社を超えています。現在タイには6万人の日本人が在住しており、世界の中でも住みやすい国の一つといわれています。東京から6時間半くらいで到着するので、喫煙者でも何とか辛抱できる距離かなと思います。シャムと呼ばれていた時代に活躍した山田長政いらい日本人にとって親しみのある国です。第二次世界大戦でも日本とタイは友好関係にありました。日本の大乘仏教とタイの小乗仏教との違いがあるものの同じ仏教徒です。気候的にも過ごしやすく、食べ物も豊富です。生活者や旅行者にとって、物価が安い点も大きな魅力です。ゴルフの後のマッサージは2時間で1,500円ほど。数えだしたらきりがなほどタイの良さが浮かんできます。「微笑みの国」といわれる心穏やかな国民であり、タイの人たちとの交流は心地良さを感じます。この心地よさは何から来るのか。10年間暮らして感じたことは、タイの人々が持つ「マイペンライ」という精神からきているのではないかということです。「マイペンライ」とはタイ語で「あまり細かいことに拘らない」「くよくよしない」という精神です。南国特有の大らかさも含まれているのかもしれませんが。結婚式などで遅れてくる主賓もいます。しかし主催者側は、人にはそれぞれ理由があるものだと「マイペンライ」で済ませてしまいます。1997年7月2日にタイの通貨バーツが切り下げられました。それが発端となり、アジア全体が大不景気となりました。震源地のタイも、約4年間経済低迷に苦しみました。ただその時もくよくよしてもしようがないというマイペンライ精神で、市民生活は熱気と活気と喧騒に溢れていました。2006年から始まった政治的混乱で、今年の5月には市街地で銃撃戦が勃発したことは記憶に新しいところですが、その銃撃戦のさなかですら、銃弾飛び交う超危険区域内でラーメンやご飯やいろいろな屋台をだし商売をしていた多くの市民がいました。軍も警察も止めません。自分たちには自分たちの生活があり、マイペンライという感覚です。タイ国民は折角「マイペンライ」という素晴らしい精神を宿しているわけであり、今回の政治的混乱が早期に解決されることを願っています。いまタイは自動車産業を中心に工業も発展し、国力も豊かになりつつあります。生活水準も教育水準もかなり上がってきました。「微笑み」を忘れず「マイペンライ」の良さを失わずに、先進国家に変身を遂げてくれることを期待してやみません。



I. 総論

1. 特殊鋼の溶接・接合技術の最近の動向

住友金属工業(株) 総合技術研究所 お がわ かず ひろ
小 川 和 博

まえがき

特殊鋼のもつ優れた特性を溶接構造物として最大限に活用するためには、欠陥のない健全な溶接部を得る施工技術、溶接部での所期の性能を確保するための材料技術の二つの視点からの取り組みが重要となる。前者に関してはアーク溶接を中心とした最近の開発動向、後者に関しては溶接性から見た最近の特殊鋼の開発実用化状況につき、それぞれ具体例を含め概説する。

◇ 特殊鋼に用いられる溶接・接合方法の動向

接合技術として幅広く用いられ、特殊鋼においても実用面で溶接・接合技術の根幹をなしているのは、信頼性と経済性のバランスがとれたアーク溶接法であることには従来と変わりはない。ただし、アーク溶接の範疇において近年の溶接現象や溶接機器制御に関する研究開発の成果やそれを実用化するために有効なセンサー、演算装置、制御装置等の周辺技術の発展を活用した新しい技術が実用化されている。

ステンレス鋼に代表される特殊鋼ではCr等の合金元素を多く含むが故に、ミグ・マグ溶接法(MIG [Metal Inert Gas]・MAG [Metal Active Gas]、両者の違いはシールドガス組成)や炭酸ガスアーク溶接法といった高能率なアーク溶接法を適用した際には開先面や下地となっている溶接金属の前層とうまく融合しないことで起こる融合不良

等の溶接欠陥や溶接中に湯玉(溶融した金属)が飛散するスパッタの発生傾向が普通鋼に比べて高くなるといわれている。そのため対象となる構造物によっては低能率を承知の上で溶接欠陥の発生しにくい溶接法(ティグ(TIG [Tungsten Inert Gas])溶接法)を適用するケースが多い。しかし、ミグ・マグ溶接法については最近の研究開発成果を反映して上述した欠点を改良した溶接装置が開発実用化されている。

ミグ・マグ溶接現象の主要な支配要因は、

- a) 電極間のアーク放電の時間特性
- b) 電極を兼ねる溶接ワイヤの溶融離脱特性
- c) アークの影響を受けた溶融池の挙動が挙げられる。

この要因は溶接される材料によっても異なるため特殊鋼に適合した溶接装置の特性やシールドガスの選定が安定した欠陥のない溶接部を得るために重要と言える。詳細は専門的になるため割愛するが、以下に結果の一部を紹介する。

一つには字義通りの高温になった金属を大気から遮断して反応を防止する役割とアークプラズマの周囲に流すことでアーク放電を安定化させる役割を担っているシールドガス組成からのアプローチである。ArにO、CO₂といった活性なガスを添加することで純Arを使用する場合に比べてアークの安定性が増し、溶滴の離脱も容易になることから表1に示すように各国で様々な混合ガスがシールドガスに用いられている¹⁾。2%程度以下

表 1 溶接用シールドガスに用いられている混合ガス種の一覧¹⁾

ガス種	欧州	米国	日本 (アジア)	主な用途	
2種	Ar-He	○	○	○	TIG/MIG
	Ar-H ₂	○	○	○	TIG/Plasma
	Ar-CO ₂	○	○	○	MIG/MAG
	Ar-O ₂	○	○	○	MIG/MAG
	Ar-N ₂	○	○	-	TIG/MIG
3種	Ar-He-CO ₂	○	○	○	MIG/MAG
	Ar-He-N ₂	○	-	-	TIG/MIG
	Ar-He-H ₂	○	-	○	TIG/Plasma
	Ar-CO ₂ -O ₂	○	○	○	MIG/MAG
	Ar-CO ₂ -H ₂	○	○	○	MIG
	Ar-N ₂ -H ₂	○	-	-	TIG/MIG
4種	Ar-He-CO ₂ -O ₂	○	○	○	MIG/MAG
	Ar-He-CO ₂ -H ₂	○	-	-	MIG
	Ar-He-CO ₂ -N ₂	○	-	-	MIG

のOを添加したArを用いる場合をミグ溶接法、それ以上の活性ガスを添加したArを用いる場合をマグ溶接法と区別されることが多い。

もう一つは溶接機器からのアプローチである。近年の電子制御技術の発展にともない経済性と両立するコストでデジタル制御電源を活用した溶接電圧・溶接電流の波形制御が実用可能となっている。デジタル電源ではアーク放電の安定化制御に有用な電圧成分のみを取り出してフィードバック

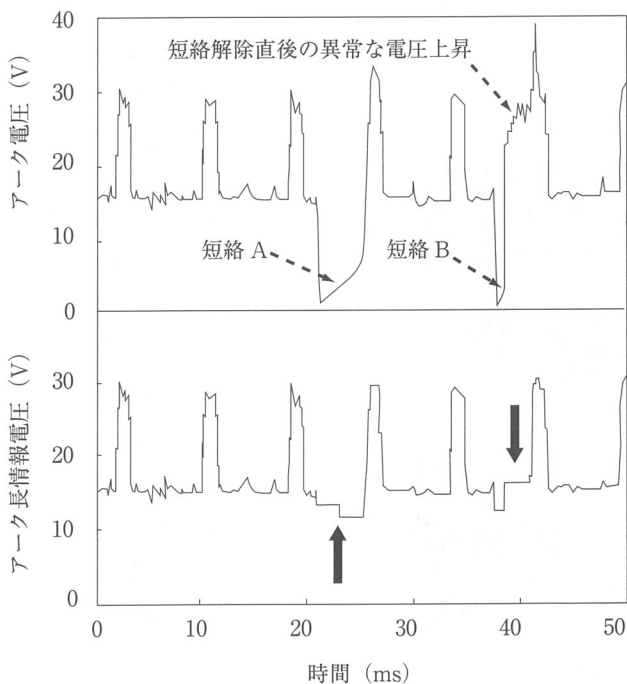


図 1 インテリジェントフィルタによるアーク特性制御に有効な電圧のみの検出の例²⁾

制御できるようになりより安定な溶接が行えるようになってきている。図 1 はその例で全波形から“短絡解除直後の異常な電圧上昇”と記載された成分を除去した波形でアークを制御している²⁾。効果としてはたとえば、従来はシールドガスへの微量酸素の添加が必要とされてきたステンレス鋼のミグ溶接においてもデジタル制御電源を活用することにより冶金的にはより好ましい純Arを用いても図 2 に示

すように、ビード幅が均一にそろった美しい溶接外観が得られており、溶接欠陥防止に有効な結果となっている²⁾。

◇ 溶接性から見た最近の特殊鋼の開発状況

特殊鋼はその性能向上を目的に様々な合金元素を添加することが多いがその結果として溶接割れ感受性が増大することや溶接熱影響により母材部に比べて大きく性能が劣化するといったいわゆる溶接性の劣化を招くことが少なくない。そのため溶接構造を前提とする特殊鋼の開発においては、溶接性確保の視点を織り込むことが重要となる。最近の研究事例については次章に述べられている

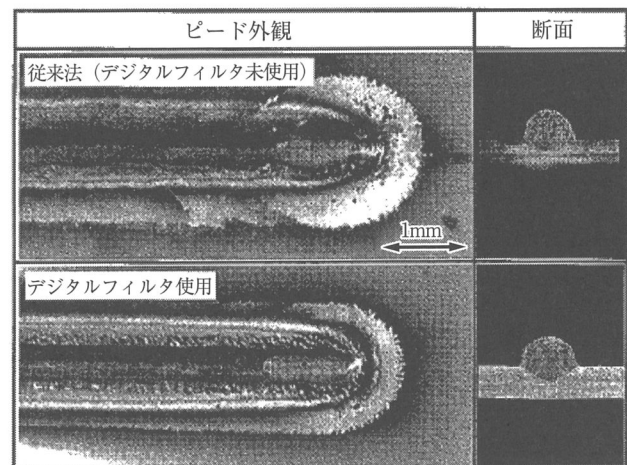


図 2 インテリジェントフィルタ (デジタルフィルタ) を使用したアーク特性制御の効果の例 (この例ではビード幅が均一化)²⁾

ため、本章では既に実用化されている開発鋼での溶接性確保の考え方とその具体事例について紹介する。

1. 耐粒界応力腐食割れ対策鋼347AP

SUS304に代表されるオーステナイト系ステンレス鋼の使用性能面での最大の課題は、溶接熱影響部 (Heat Affected Zone、以下HAZ) での粒界腐食と応力腐食割れ (Stress Corrosion Cracking; 以下SCC) の防止である。HAZでの粒界腐食の根本原因は、**図3**に示すように溶接の際の熱影響により鋼中のCがCrと結合し化合物 (クロム炭化物) が結晶粒界にできることにある。結晶粒界に沿ってできた化合物に消費されてCr濃度が低くなった領域が選択的に腐食されることで粒界腐食となる。

その対策としてCを先にNb、Tiと結合させることでCrとCの結合を防ぐようにした安定化鋼 SUS347、321があり古くから実用されている。しかし、溶接時に1250℃以上に加熱される極狭い領域ではCを捕捉していたNbC、TiCが鋼中で分解し、その上に次の溶接熱影響が重ねられたり高温で使用された際に、極狭い領域のみではあるが粒界にCr炭化物が生成して粒界腐食に対する感受性が高くなってナイフラインアタックと呼ばれる粒界腐食を生ずることがある。

石油精製分野における加熱炉管や配管では、石

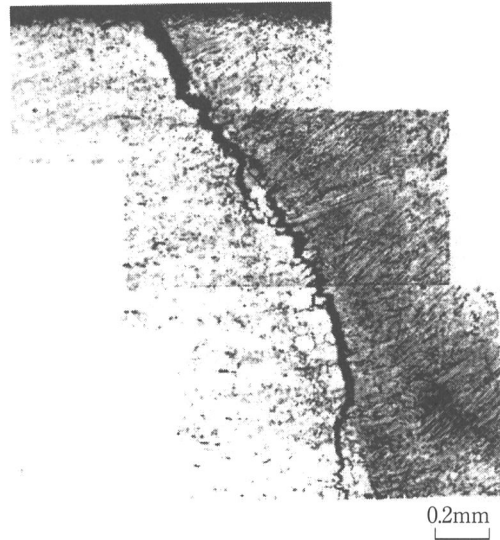


図 4 SUS347鋼に生じたポリチオン酸SCCの例³⁾

油の脱硫過程で生成するポリチオン酸を含む環境において、ナイフラインアタックと同じ機構で粒界腐食感受性をもつ部位に**図4**³⁾に示すような粒界型のSCCが発生することがあり問題となっていた。このような粒界SCCに対する対策鋼として、347AP鋼 (Anti Poly-thionic Acidを意味する商品名) が開発され、実用されている。ポリチオン酸によるSCC対策を必要とする脱硫装置に使用される鋼管では、高温強度 (クリープ強度) も必要とされるため、347AP鋼では低C化して粒界腐食感受性を低減しかつ低C化したことによる強度低下を補うためNを添加して粒内に微細析出物を生じさせることでクリープ強度を確保している。具体的には高温での使用中の粒界Cr炭化物抑制のためCを0.02%以下とし、粒内への微細析出物 (NbCrN) 生成を満たすため0.1%以下の範囲でN添加した鋼となっている³⁾。また、共金系の溶接材料も開発されておりその溶接継手は、**図5**に示すように長時間使用時にも従来の347鋼に比べ優れた耐粒界腐食性 (耐粒界SCC性) を有している³⁾。また溶接継手は優れ

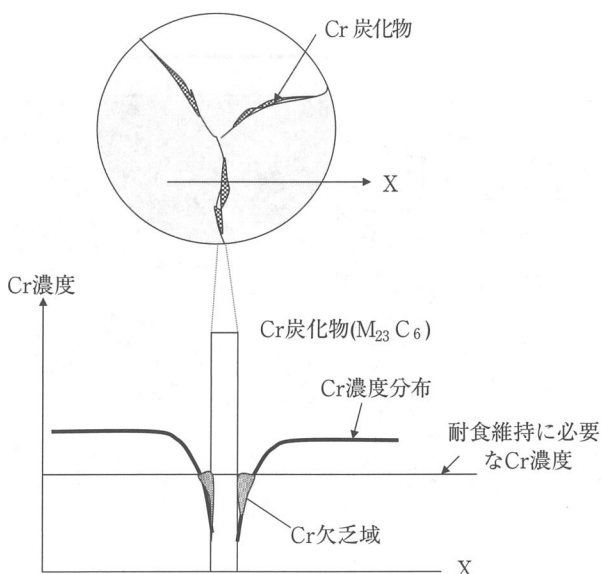
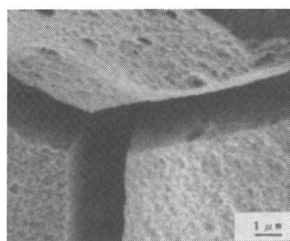
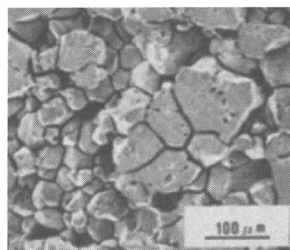


図 3 粒界へのCr炭化物の析出によるCr欠乏域の形成と粒界腐食



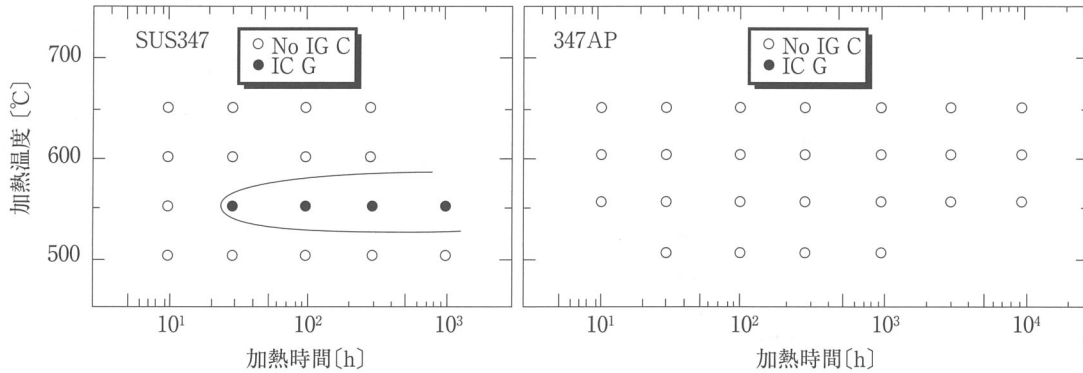


図 5 ポリチオン酸SCC対策鋼 (347AP) 溶接継手の高温時効後の耐粒界腐食性³⁾

たクリープ強度も得られている⁴⁾。

2. スーパー二相ステンレス鋼DP3W

フェライト・オーステナイト系二相ステンレス鋼 (SUS 329系) は、オーステナイト系ステンレス鋼 (SUS 304, 316など) とフェライト系ステンレス鋼 (SUS 430など) の両者の特徴を兼ね備え、弱点を相補完しうる特性を有している。

二相ステンレス鋼の特徴として以下の点が挙げられる。①オーステナイト系に比べ応力腐食割れ (SCC) 抵抗性に優れる、②フェライト系に比べ靱性に優れる、③微細な二相混合組織から成るため高強度を有している、④Cr、Moを多く添加した材料で高い耐孔食性が、オーステナイト系に比べ安価に (Niを低減できるため) 得られる。

1970年代以前の二相ステンレス鋼には溶接性に劣るという欠点があったが種々の改良を経て、現在では上位グレードのスーパー二相ステンレス鋼まで含めた各種の鋼が開発実用化されている。スーパーステンレス鋼では、図6に示すように、Mo、W、Nを多く添加してPREW = Cr + 3.3 (Mo + 0.5W) + 16N (mass%) の値を高めることで、通常のスแตนレス鋼に比べて高い耐孔食性を実現している。

この範疇での比較においては、スーパー二相ステンレス鋼はNiを20%程度必要とするスーパーオーステナイト鋼に比べ、低Ni (約7%) であるため経済性に優れる。また溶接性の点では、耐溶接高温割れ性および溶接金属の耐孔食性の点で、オーステナイト系に比べて優れ、溶接金属、HAZの靱性の点でフェライト系に比べて優れる。

二相ステンレス鋼の溶接金属はフェライト単相で凝固するため、P、S等の有害元素や耐孔食性

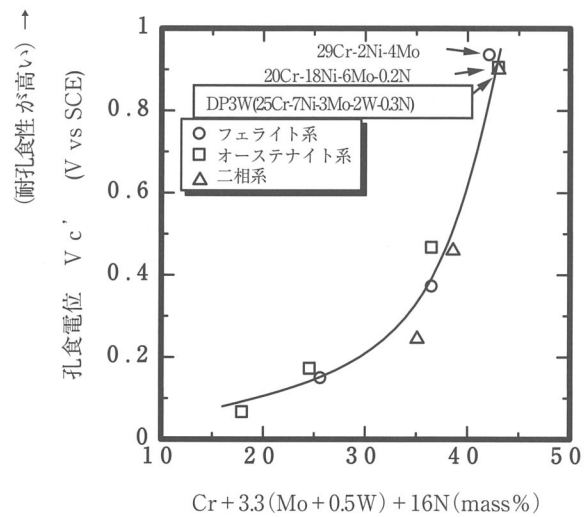


図 6 ステンレス鋼の耐孔食性 (80°C人工海水中) と合金元素量

確保に重要なMoの凝固偏析がオーステナイト系に比べて小さくなるためである。

二相ステンレス鋼では耐孔食性向上に有効なCr、Moの増加は、シグマ相等の脆弱な金属間化合物の生成を、Nの増加は、Cr窒化物の析出を促進しうるため、溶接性、特にHAZでの靱性、耐食性の確保のためには、化学成分の最適化が必要であった。一つの解として、Wを有効に活用することにより、金属間化合物の析出を促進することなく耐孔食性の向上が可能であることが見出され⁵⁾、新しいスーパー二相ステンレス鋼DP3W (25Cr-7Ni-3Mo-2W-0.3N) が開発されている⁶⁾。

図7は熱影響を受けた際の金属間化合物の析出成長挙動を比較した例で、PREW値が同じでもMoを4%とするよりもMoを3%、Wを2%とした方がシグマ相の析出成長が大幅に遅くなることを示している⁷⁾。このことからHAZでのシグマ相析

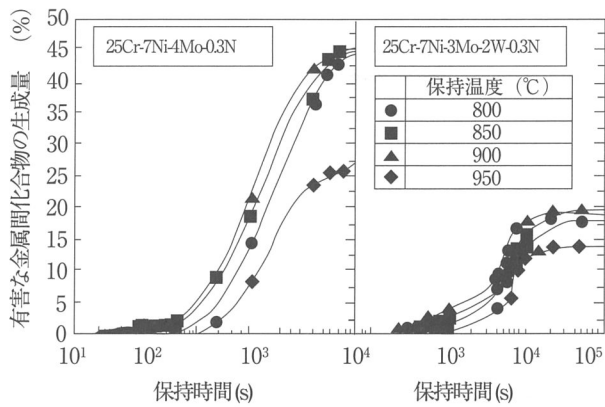


図 7 熱影響によるスーパー二相ステンレス鋼での金属間化合物（シグマ相）の生成の相对比较⁷⁾

出の防止にはW添加鋼が有利と言える。

むすび

本稿が施工時に健全な溶接部を得るための新し

いアーク溶接技術と所期の性能の確保可能な溶接性に優れた特殊鋼の活用に向けていただききっかけとなって、特殊鋼の優れた特性を溶接構造物として最大限に発揮させることに、少しでも貢献できれば幸甚である。

参考文献

- 1) 佐藤豊幸：溶接学会誌76 (2007)、p65
- 2) 上山智之：溶接学会誌76 (2007)、p55
- 3) 工藤赳夫、樽谷芳男、三浦実、榎木義淳他：住友金属、38 (1986)、p190
- 4) K. Ogawa, Y Sawaragi, S. Azuma, Y. Yano and T. Kudo : Proc. Asian Symp. Corrosion and Protection in Oil and Gas Operations, Industries, and Petrochemical Industries, 1994, Osaka, p89
- 5) 小川和博、岡本弘、五十嵐正晃他：溶接学会論文集、14(1996)、p368
- 6) H. Okamoto : Proc. of Stainless Steel 92 (1992)、p360
- 7) 西本和俊、才田一幸：溶接学会全国大会講演概要、71 (2002)、p156



2. 特殊鋼の溶接・接合研究の進歩と今後の展望 — 溶接割れについて —

広島大学大学院 工学研究院 教授 しのざき けんじ
篠崎 賢二

まえがき

特殊鋼は、工具鋼、構造用鋼、特殊用途鋼に分類されており、特に溶接性が重視されるのは、特殊用途鋼の中のステンレス鋼、耐熱鋼などである。これらの溶接においては、溶接割れ、継手の強度および靱性の低下、高温酸化、耐食性劣化、応力腐食割れなど多くの問題が起こる。中でも溶接割れは、疲労破壊、遅れ破壊、クリープ破壊、応力腐食割れなどの起点となり構造物の破壊につながるため重要な問題となる。溶接割れは、溶接中、溶接直後、溶接後熱処理過程などの各過程において発生し、その主たる割れは、それぞれ高温割れ、低温割れ、再熱割れなどと呼ばれている。本稿では、紙数の制限もあり、特に、ステンレス鋼に関する溶接割れの研究例と今後の展望について述べる。なお、溶接割れに関しては数々のレビュー文献^{1), 2)}があり、詳細はこれらを参照していただきたい。

◇ 高温割れ

1. 高温割れの特徴

高温割れは、溶接金属およびHAZで起こり、溶接金属で発生する場合、凝固割れ、HAZまたは多層盛溶接部の再加熱部で発生する場合、液化割れと呼ばれる。延性低下割れも、溶接金属およびHAZまたは多層盛溶接金属の再加熱部で発生する。凝固割れおよび液化割れは、固液共存領域で熱ひずみが負荷され発生するため、割れ発生には、液膜が関与している。一方、延性低下割れには、液膜は関与しない。

2. 高温割れ発生機構

母材および溶接金属では図1に示すように、液相線温度 (T_L) と固相線温度 (T_S) の範囲で一般的に極めて延性が低くなると言われている。また、材料によって、さらに低温度領域で再び延性が低

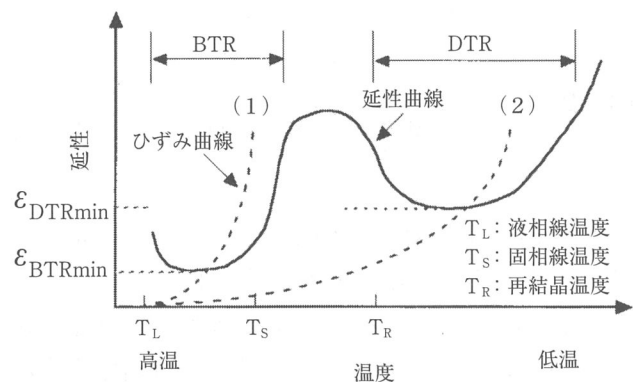


図 1 金属材料の高温延性曲線の模式図

下する温度領域が存在する。前者の温度領域を凝固脆性温度領域 (BTR: Brittleness Temperature Range)、後者を延性低下温度領域 (DTR: Ductility-dip Temperature Range) と呼ぶ。

このような高温延性曲線のもとで凝固および冷却に伴う収縮により曲線 (1) および (2) のような引張ひずみが作用し、これが材料の延性値を越えた場合、高温割れが発生すると考えられている。したがって、材料的因子であるBTR、DTRおよび最低延性値 (ϵ_{min})、力学的因子であるひずみ速度およびひずみ量が各割れ感受性を支配すると考えられる。

3. 高温割れ発生予測の試み

高温割れの発生を予測するには、材料的因子と力学的因子を精度良く求めることができれば原理的には可能である。ここでは、凝固割れ発生予測の試みを紹介する。

図2は、汎用熱力学平衡計算ソフトThermoCalcとデンドライト凝固モデルを用いて、10% ~ 14% Ni-20% Crオーステナイト系ステンレス鋼の凝固過程を計算で推定するとともに、BTRを計算で求めた結果である³⁾。これより、Ni量の変化とともに変化する凝固モードならびにBTRが計算で推定でき、これが実測結果とよく一致することが明らかになっている。このことから、今後、溶

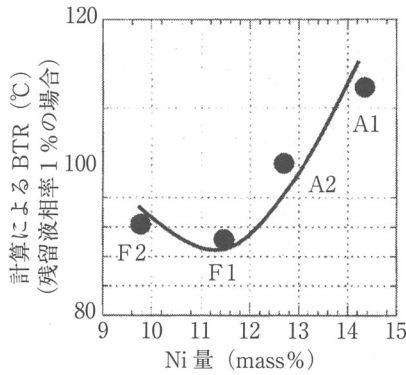


図 2 10%～14% Ni-20% Crオーステナイト系ステンレス鋼溶接金属の計算によるBTRとNi量との関係

接凝固過程を計算で予測し、さらにはBTRを予測できるようになることが期待される。また、従来、溶接凝固のような急速な冷却過程での凝固過程を知るには、液体Sn急冷法による凝固組織の凍結しかなかったが、放射光を利用したその場合X線回折により、凝固中の高温相の変化を直接観察する画期的な手法が開発され、高温における凝固過程をより精度良く解析できるようになった⁴⁾。

一方、BTRの推定は計算により可能になってきたが、最低延性値の推定は未だにできない。そこで、最低延性値を実験的に精度良く求めるため、高速度ビデオカメラを用いて直接観察法による凝固割れ発生限界ひずみを実測し、高温延性曲線を得る方法が提案された⁵⁾。図3は直接観察により計測されたSUS347のレーザ溶接金属部の高温延性曲線と高温材料物性値を実測して種々の負荷におけるひずみ履歴を熱弾塑性解析により計算した

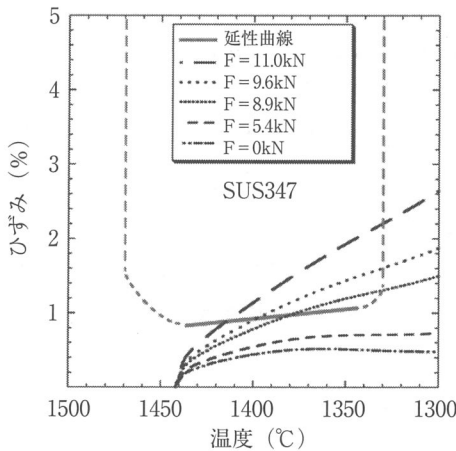


図 3 直接観察により計測されたSUS347のレーザ溶接金属部の高温延性曲線と熱弾塑性解析による種々の負荷でのひずみ履歴の関係から得られる凝固割れ発生予測

結果である。これより、負荷条件 $F=5.4\text{kN}$ では、ひずみ履歴と延性曲線が交叉しないため割れは発生しないが、 $F=8.9\text{kN}$ では割れが発生すると予測できる。これは、実験的にも検討され、予測通りの結果となることが明らかにされている。これにより、今後、実構造物においても凝固割れの発生予測ができる可能性があることが示されている⁶⁾。

◇ 低温割れ

低温割れは溶接を対象とする鋼材で問題となる。低温割れの発生には次の3つの要因が挙げられる。すなわち、①熱影響部の硬化（組織）、②溶接部の拡散性水素が一定量以上存在すること（水素による脆化）、③継手の拘束（応力）である。

ステンレス鋼の中では、マルテンサイト系⁷⁾、フェライト系⁸⁾ステンレス鋼および二相ステンレス鋼⁹⁾で低温割れが発生しやすくオーステナイト系では、問題となっていなかった。ところが、高温、高圧水素を取り扱う石油精製用直接脱硫塔などの化学反応容器の内面に耐食性を確保するために肉盛溶接されたオーステナイト系ステンレス鋼において、圧力容器が高温・高圧水素環境で作業の後シャットダウンした際に、母材と肉盛溶接金属の境界近傍において剥離割れが発生する場合があった¹⁰⁾。

2.25Cr-1Mo鋼にSUS309L带状電極を使用して肉盛溶接した後、 690°C 、30時間の溶接後熱処理を施した肉盛溶接部の母材と溶接金属の境界部遷移層の組織観察例を図4¹¹⁾に示す。これより、母材と肉盛溶接金属とのボンドより、溶接金属側には γ 粗粒が形成され、ボンドとほぼ平行に γ 粗

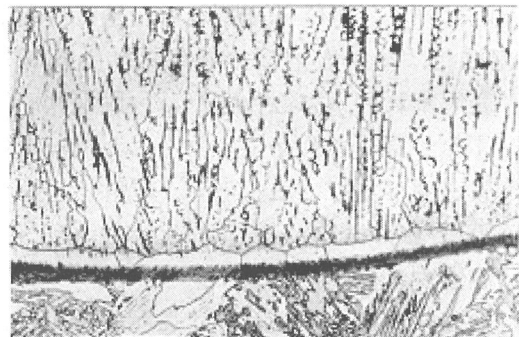


図 4 2.25Cr-1Mo鋼/SUS309L肉盛溶接境界部の遷移層の組織（後熱処理： $690^\circ\text{C} \times 30$ 時間）

粒の粒界が連なって形成されている。さらに、ボンドに沿って帯状に炭化物析出層が形成されている。剥離割れのほとんどは、粗大 γ 粒界に沿って進展している。遷移層の γ 粗粒界には溶接後熱処理によって、M₂₃C₆炭化物の著しい析出が生じている。また、図5に示すように母材と溶接金属との境界部の溶接金属側にはシャットダウン時に水素集積が起こり、暴露する高温・高圧水素の温度、圧力が大きいほど、さらに暴露後の冷却速度が大きいほど水素集積は著しくなり^{11), 12)}、これにともなって剥離割れも顕著になる傾向を示す。さらに、境界層近傍に残留する応力を調査した結果、その界面には垂直方向に137～206MPa程度の残留応力が存在していることが明らかになっている¹³⁾。

以上の研究結果から、オーステナイト系ステンレス鋼肉盛溶接金属の剥離割れ発生の主要因としては、

- ①母材と溶接金属の遷移層における γ 粗粒の存在
- ②上記 γ 粗粒界への炭化物の析出
- ③母材と溶接金属の境界部の溶接金属側での水素の異常集積
- ④母材と溶接金属の境界部に作用する応力の存在

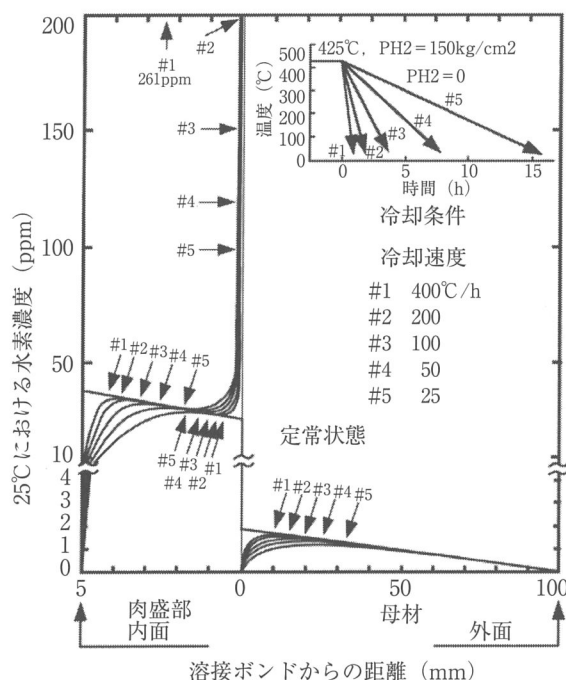


図 5 2.25Cr-1Mo鋼/SUS309L肉盛溶接境界部の水素集積挙動に及ぼす冷却速度の影響

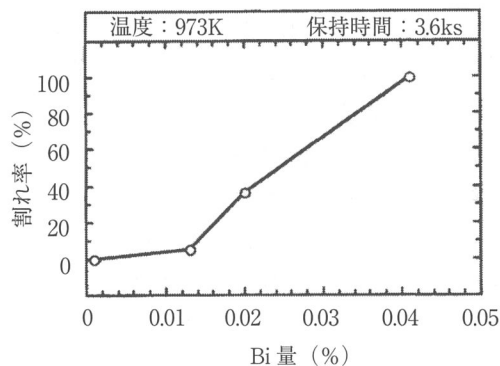


図 6 SUS308フラックス入りワイヤを用いたy型拘束割れ試験片における再熱割れ感受性におよぼすBi添加量の影響

が挙げられ、これらの因子はすべて剥離割れ発生の必要条件となることが確かめられている¹⁴⁾。

◇ 再熱割れ

ステンレス鋼において再熱割れが大きな問題として取り上げられたのは、石油精製装置の溶接にSUS308系フラックス入りワイヤを用いた溶接部において、700℃以上の高温環境で使用された溶接金属において、長時間使用後に割れが発生した事例である。フラックス入りワイヤには作業性とスラグはく離性改善のために、0.02%程度のBiが入っていた。図6はBi量を変量させたSUS308系フラックス入りワイヤを用いてy形拘束割れ試験片を使って再熱割れ感受性を評価した結果である。Biの増加とともに割れ率が増加しており、Biが再熱割れ感受性に影響を及ぼすことがわかる¹⁵⁾。この割れは、Biの粒界偏析による粒界脆化¹⁶⁾、に起因していると考えられている。また、この割れの対策方法として、Biを含有しない(Bi-free)フラックス入りワイヤが開発されており、現在は割れを防止できている。

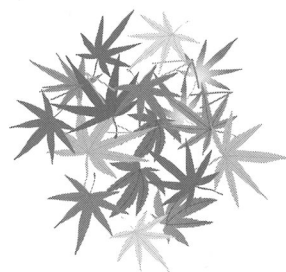
◇ 今後の展望

溶接割れは、古くから溶接における重要な問題として取り上げられ、研究が続けられており、膨大な研究成果が報告されている。溶接割れの発生機構も明らかになってきた。その結果、試験片レベルでは、コンピュータ援用による割れ発生の予測手段も色々提案されている。割れには必ず力学的因子が関与するが、計算に必要な材料定数の精度に問題がある場合が多く、いかに精緻な計算を

行っても、その結果の信頼性に疑問が残る。一方、材料学的因子も同様の事がいえるが、近年、熱力学計算、拡散型変態などの汎用ソフトのデータベースが充実されて提供されるようになり、凝固、固相変態などの諸現象をコンピュータ援用により解析できるようになっている。今後は、これらのコンピュータ援用により、実構造物における溶接割れ発生予測を行えるようになるものと考えられる。

参考文献

- 1) (社)溶接学会 溶接冶金研究委員会編、溶接冶金研究の進歩と今後の展望、溶接学会技術資料No.15 (2007)、110-180
- 2) (社)日本溶接協会CoSW委員会WG-C編、「溶接低温割れの基礎知識」、第15回 溶接構造用鋼材に関する研究発表会「溶接鋼構造物の評価と施工に関する現状・展望」テキスト、平成21年3月13日、東京開催
- 3) 小薄、平田、小川、速度依存性を考慮したオーステナイト系ステンレス鋼溶接凝固過程の数値解析、溶接学会論文集、25-1 (2007)、140-148
- 4) 小薄 孝裕、米村 光治、小川 和博、小溝 裕一、寺崎 秀紀、放射光を利用したオーステナイト系ステンレス鋼溶接凝固過程の解析、溶接学会論文集、25-1 (2007)、215-223
- 5) P. Wen, K. Shinozaki, M. Yamamoto, Y. Senda, T. Tamura, N. Nemoto, In-situ Observation of Solidification Cracking of Laser Dissimilar Welded Joints, 溶接学会論文集, 27-2 (2009), 134s-138s
- 6) P. Wen, K. Shinozaki, M. Yamamoto, T. Tamura, Prediction of solidification cracking by in-situ observation and 3D FEM-analysis, 溶接学会論文集, 27, 2, 2009, 139s-143s
- 7) 安保、溶接技術誌、Cr系ステンレス鋼の溶接性、24-5 (1976)、57-61
- 8) 西尾、稲岡、三浦、大前、405ステンレスクラッド鋼の溶接割れの研究 (第2報) - 拡散性水素量の溶接割れにおよぼす影響 -、溶接学会誌、39-8 (1970)、755-759
- 9) 小川、三浦、二相ステンレス鋼の溶接部の水素割れ、溶接学会論文集、8-4 (1990)、481-487
- 10) J.Watanabe, K.Ohnishi, R.Chiba, K.Naito, H.Okada and A.G.Imgram, Hydrogen-Induced Disbonding of Stainless Weld Overlay Found in Desulfurizing Reactor, ASME Conference on Performance of Pressure Vessels with Clad and Overlay Stainless Steel Linings · Denver Colorad, June 1981.
- 11) 安田、中野、西山、今中、鎌田、化学反応容器ステンレス鋼オーバーレイ部の剥離割れ、溶接学会、第89回溶接冶金研究委員会資料、WM-891-82 (1982).
- 12) 木下、水素の挙動から見た剥離割れ、溶接学会誌、54-6 (1985).
- 13) 内藤、岡田、渡辺、大西、千葉、ステンレス鋼オーバーレイを施した圧力容器の水素脆化に関する研究、圧力技術、18-5 (1980)、271.
- 14) 安田、中野、剥離割れの防止対策—ステンレス鋼肉盛溶接境界部の剥離割れと対策—、溶接学会誌、54-8 (1985)、438.
- 15) 岡崎、西本、森、溶接金属における再熱割れの特徴—ステンレス鋼FCAW溶接金属における再熱割れに関する研究 (第1報)—、溶接学会論文集、18-1 (2000)、59
- 16) 西本、森、岡崎、松永、定速度引張試験による溶接金属の高温延性の評価—ステンレス鋼FCAW溶接金属における再熱割れに関する研究 (第3報)—、溶接学会論文集、18-1 (2000)、78



Ⅱ. 各産業分野の溶接・接合技術 および材料の現況

1. 压力容器

（株）日本製鋼所 室蘭研究所 かやのりん ぞう
塔槽・クラッド製品開発グループ **茅野林造**

まえがき

我々が毎日使用している灯・軽油、ガソリンあるいは石油化学製品は大型輸送船により運ばれてきた原油を分解、精製して製造される。これらの石油精製・石油化学工業は高温・高圧下で水素、あるいは触媒を有効に利用する技術である。そのプラントは蒸留塔、分解・改質を目的とした反応塔（リアクター）、熱交換器など様々な大型かつ大重量の鋼構造物が林立しており、高温用鉄鋼材料の集合体とみなすことが出来る。

図1には世界で最も大型と考えられる単基重量1,500トンの高温用压力容器の概観を示す。このリアクターは重質油の水素化分解・脱硫を目的として運転される代表的な高温用压力容器であり、数十年にわたる長期間連続運転を前提に、400～450℃、15～20MPaの高温・高圧条件に耐える信頼性に優れた設計・製作が求められる。したがって使用材料の高温強度、靱性、耐経年劣化抵抗性など多様な材料特性への配慮が必要である。

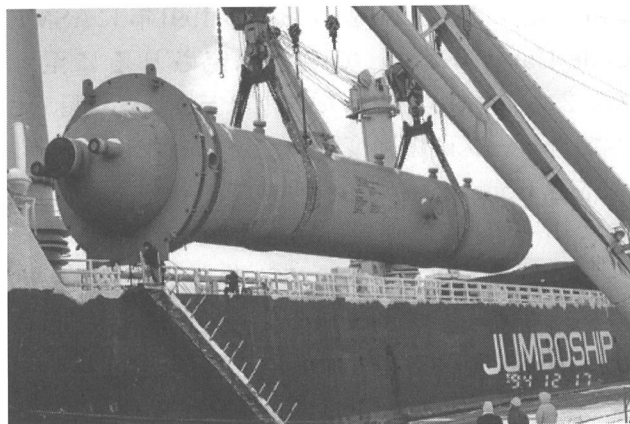


図 1 1,500トン重量を有する高温用压力容器

さらに、容器あるいは配管内の内圧の約80%を水素分圧が占める場合が多く、高温・高圧水素に対する抵抗性も重要な材料特性の一つである。本稿では主に石油精製工業に使用されるリアクターを中心に高温压力容器用鋼の特徴と压力容器の製作技術のうち特に溶接を中心とした項目について取り上げて紹介する。

◇ 使用材料と高温設計

高温压力容器の破壊は火災のみならず爆発などの重大災害に直結する。したがって設計、製作、検査など広範囲の工業技術を集約し、規格化された条件に順じて製作がなされている。このため、使用される鉄鋼材料にも、溶接を含めた製造方法、高温引張、高温クリープ、疲労など高圧機器の信頼性と密接に関連する要因を公的機関が解析し、適切な公的基準が設けられている。

これらの規格・法規としては海外では米国機械学会（ASME）、英国規格（BS）、ドイツ規格（DIN）など、国内では日本工業規格（JIS）、高圧ガス保安法が代表的なものであり、各国毎に独自の基準化がなされている。国内規格はほぼ米国ASME規格に準じて法制度化がなされている。

代表的な高温压力容器用鋼はCr含有量を1～5%まで変量し、Moを合金化させたCr-Mo低合金鋼が主に使用されており、溶接で製作されることが多いために溶接性も考慮した成分設計となっている。これらの規格には化学組成の範囲のみならず、溶解・精錬、熱処理、材料の機械試験方法と強度規格がそれぞれ基準化されており、压力容器の使用者、設計者は容器のサイズ、運転条件に応じて適切な材料を選定することが可能である。

使用材料が決定した後は圧力容器としての信頼性はまず高温長時間運転中の耐圧性にあるため、温度・内圧荷重条件に応じた容器壁厚さなどの耐圧設計がなされる。容器の変形、破壊を防止するために容器壁に作用する応力を各材料が有する耐圧強さより低く設計することが必要であり、長時間運転中に材料が耐え得る許容応力値が各材料毎に基準化されている。現在の国内法規では米国ASME規格に順じ、材料の有する引張強さ、クリープ強さに安全率を乗じ、そのうちの最も小さい値を設計許容応力として採用している。

ASMEの圧力容器設計規格(ASME B&PV Code, Sec.Ⅷ)では、時間とともに変形が進行する(クリープ変形)高温域までの許容応力値が設計温度毎に規定されている。約450℃以上の急激な許容応力値の低下は、クリープ破断強さが許容応力を支配するようになるためである。工業的にはこのような温度域をクリープ支配温度域と称しており、クリープが支配的でない温度域に限定して引張強さに乗じる安全率を1/4から1/3に下げた基準(Div.2)が別に設けられている。

図1に示したような重量1,500トンの大型リアクターはこのDiv.2の設計基準により製作されている。さらに2007年度版のDiv.2においてはDiv.1と同様のクリープ支配温度域での使用も認め、疲労などの詳細な破壊安全性解析を行うことを条件に、引張強さに乗じる安全率がさらに1/2.4に引き下げられ、より容器の軽量化が可能となっている。

◇ 高強度圧力容器用鋼の実用化

重質油分解プロセスにおいては圧力容器材料の高強度化による肉厚、重量の軽減によるプラント建設、輸送コストの削減が望まれていた。また、1980年初期に石油代替エネルギー源として石炭液化プロセスの開発が国内外で開始し、高温・高圧水素化分解条件を必要とした。この温度領域ではこれまでのCr-Mo鋼では前述のクリープ支配温度域となり、設計応力値は急激に低下して容器の肉厚が増大する。このような問題を解決し、大型圧力容器の製作を具体化するために高温引張強度、クリープ破断強度および耐高温水素損傷特性の優れた厚肉Cr-Mo鋼容器材料の開発が進められ

た¹⁾。

特に1980年から5年間の通商産業省(現経済産業省)のニューサンシャイン計画の石炭直接液化法開発プロジェクトにおいて、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)からの委託のもとに大型圧力容器の材料、溶接などの総合的な製造技術の確立が行われた。開発の成果として3Cr-1Mo-1/4V-Ti-Bの合金成分を有する厚肉圧力容器用鋼が開発され、1988年にASME Code Sec.ⅡおよびⅧに認定された。

図2はASME Code Sec.Ⅷ, Div.2における各鋼の設計応力の比較を行ったものである²⁾が、3Cr-1Mo-V鋼は従来の2.25Cr-1Mo鋼に比べてクリープ破断強度が高いため850°F(454℃)における設計応力が約9.2%高く取れるものの、850°F(454℃)までの設計応力しか規定されておらず、これ以上の温度における設計には制約があった。

1980年頃から米国API(American Petroleum Institute)/MPC(Materials Properties Consul)のTask Groupによるスタディが開始され、従来の2.25Cr-1Moの焼戻温度を低下させて強度向上を図ったEnhanced 2.25Cr-1Mo鋼の開発が進み、1995年にASME Code Case 1960として材料・設計規格が認定された。MPCは米国のASTM(米国材料試験協会)、ASME、AISI(米国鉄鋼協会)の代表者で組織された機関であり、種々の材料データの整備と評価を行い、ASTM、ASME規格へのデータベースを提供する役割を担っている。

この材料開発プロジェクトには国内の主要鉄鋼メーカーも参画し、溶接材料も含めた開発材の製作を担当した。また1985年頃からTask Groupにおいて従来の2.25Cr-1Mo鋼にVを添加した2.25Cr-1Mo-V鋼の開発が進められ、1991年にASME Code Case 2098として規格認定されるに至った。2.25Cr-1Mo-V鋼は従来の2.25Cr-1Mo鋼に比べてクリープ破断強度の向上が認められており、ASME Code Case 2098の900°F(482℃)、105hrのクリープ破断強度が規定されるに至った。

その結果を基にした2.25Cr-1Mo-V鋼の設計応力を図2に示しているが、従来の2.25Cr-1Mo鋼に比べて850°F(454℃)の設計応力が12.4%高く設定されており、また設計温度も900°F(482℃)まで規定され、高温引張強度、クリープ強さの向上

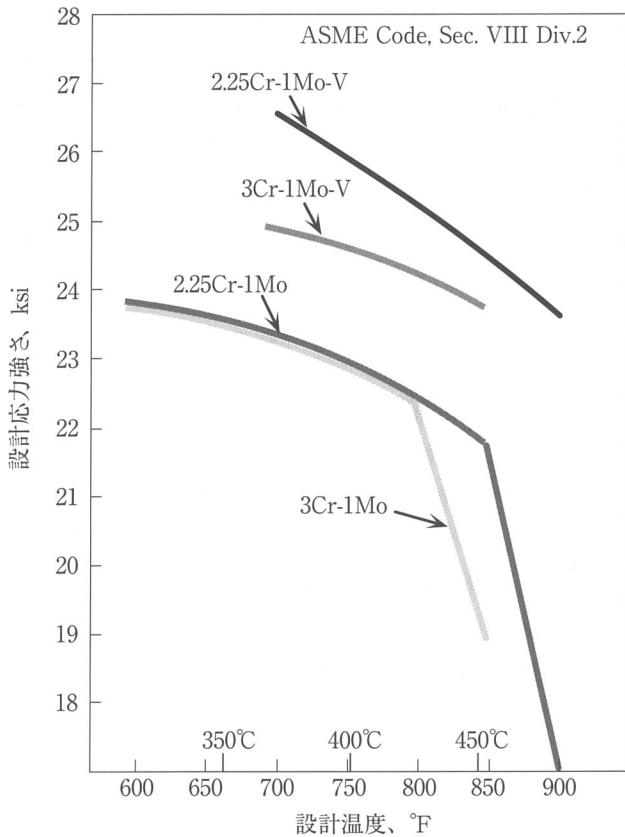


図 2 ASME Code Div.2に規格化された圧力容器用鋼の設計応力強さ

により設計応力強さの格上げが成された。

◇ 製作技術

製油所における圧力容器の保全にあたっては、

非破壊検査が容易で、機器の健全性が正しくモニタリングできる構造設計が重要である。石油精製圧力容器においては図3に示す一体成形ヘッドと鍛造シェルリングを組み合わせた鍛鋼溶接構造を採用することにより^{1) 3)}、溶接継手長さを最小にし、サポートスカートやインターナル取り付け溶接部などの不連続部の局部応力集中を軽減している。

圧力容器の溶接施工にあたっては前述したようにASME Section IXに基づく溶接士資格及び溶接法の認定が行われ、Section VIII, Div.2に従って製造が行われている。溶接施工時の予熱・パス間温度、PWHT温度条件も母材区分ごとに規定されている。最近のVを添加した高強度Cr-Mo鋼圧力容器の溶接施工においては従来の2.25Cr-1Mo鋼と大きく変わることはないが、母材の引張強さが高いために溶接部の硬さが上昇する傾向にあり、焼戻パラメータの十分な検討、再熱割れや低温割れなどを考慮した熱管理が重要となる。最近の圧力容器の溶接施工上の特徴としては以下の点が挙げられる。

- ①胴部溶接継手はサブマージアーク溶接を適用し、狭開先形状で裏はつりが無く、タンデム溶接を採用することにより生産効率向上を図っている(図4)。
- ②Vを添加した高強度Cr-Mo鋼の予熱温度は

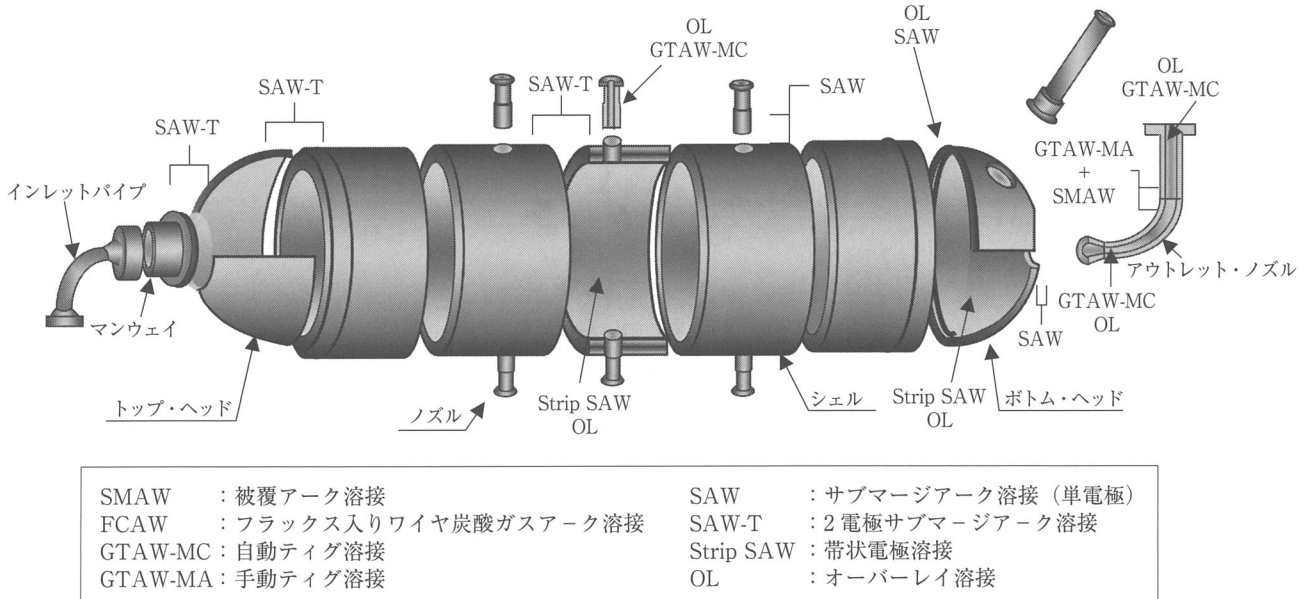


図 3 圧力容器の構造と溶接法の概略

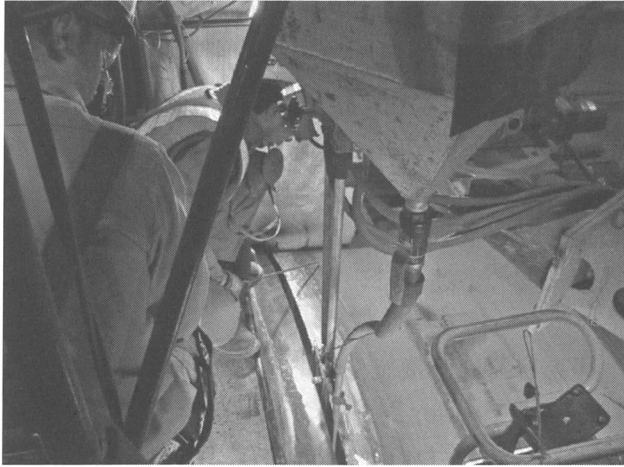


図 4 圧力容器の狭開先サブマージ
アーク溶接の状況

177℃以上と従来のCr-Mo鋼（150℃以上）に比べて高く設定している。

- ③内面ステンレス鋼肉盛溶接においては従来の二層盛りに対して一層盛りの採用により効率化を図っている。またV等を添加した高強度材の採用により、従来材に比べて供用中に吸蔵される水素に起因する肉盛溶接部の剥離抵抗性も向上している。

製造時の溶接部を中心とした非破壊試験には超音波探傷試験、磁粉探傷試験、浸透探傷試験、放射線透過試験が行われ、ASME Section VIII Div.2などの規格において欠陥の判定基準、許容欠陥サイズなども細かく規定されている。また最近では

ASME Code Case2235に準じたTOFD（Time of Flight Diffraction）法に代表される自動超音波探傷技術が適用され、欠陥検出精度の向上とデータベース化が進められている。この手法は、放射線透過試験の代替として適用されており、パルスエコー法によるマニュアル超音波探傷との併用がなされることもある。

むすび

本報では石油精製用圧力容器の設計・製作規格として広く普及しているASME規格を主に取り上げ、最近の材料開発状況と溶接施工に関わるポイントについて紹介した。最近ではVを添加した高強度Cr-Mo鋼が容器用材料として採用されるケースが増えており、規格においても溶接技術の高信頼化を図る動きが見られ、今後の技術改良とともに規格の改訂も進められていくものと思われる。

参考文献

- 1) 田原隆康、石黒徹、伊賀洋志、長谷川龍雄、“石油精製用反応塔の最近の技術動向”、日本製鋼所技報No.51（1995）70
- 2) T. Hasegawa, R. Kayano, H. Iga, T. Ishiguro, “Manufacturing of Heavy Wall Hydrocracking Reactor Made from Advanced Cr-Mo Steel”, IFM2000
- 3) 石黒徹ら、“石油精製圧力容器の設計・材料技術の最近の進歩”、日本製鋼所技報、No.47（1991）82



2. 原子力（原子炉压力容器）

パブコック日立(株) かわはら わたる
呉 事 業 所 河 原 渉

まえがき

エネルギーの安定供給、温室効果ガスの排出量削減の観点から、米国を含め世界各国で原子力発電所の建設計画が進められている。弊社では'60年代の初期から沸騰水型炉（Boiling Water Reactor：BWR）の最重要機器である原子炉压力容器（Reactor Pressure Vessel：RPV）の設計、製作を行っている。その間、多くの溶接技術を開発し実製品に適用した結果、現在では主継手部のほぼ100%を自動化しておりRPVの信頼性を高めることができています。

最近では構造、運用性を改善した改良型炉が開発されており、その中でも改良型沸騰水型炉（Advanced Boiling Water Reactor：ABWR）は我国で初めて商用炉として実用化され運転されている。本稿は弊社で製造しているABWR RPVの最新溶接技術について紹介する¹⁾。

◇ ABWR RPVの概要

ABWR RPV（1350Mwe級）の鳥瞰図を図1に、

主な仕様・構造を図2に示す。上部鏡板を含む全質量は約910トン、高さ約21m、内径約7.1m、胴板板厚約180mmの堅型大型压力容器である。胴体中央部に燃料集合体があり、出力を調整する制御棒が下部から差し込まれる。上部に汽水分離器、蒸気乾燥器があり、ここを通過した蒸気がタービンへ送られる。容器内部の水の循環は下部鏡板外周部に取り付けられている10台の原子炉冷却材再循環ポンプ（Reactor Internal Pump：RIP）で行われる。RIPの外壁をRIPモータケーシングと呼んでおり、回転体であるモータを内蔵することから、その取り付け溶接、機械加工に対しては非常に厳しい製作公差が規定されており慎重に製作に当たっている。

◇ 材料

図2に示すように、RPVの主要部には通常の鋼材に比べ靱性や溶接性を高めるために少量の合金成分を加えた低合金鋼（マンガン-モリブデン-ニッケル鋼）が用いられている。以前は板材を用いたケースもあったが、最近では材料メーカーの技

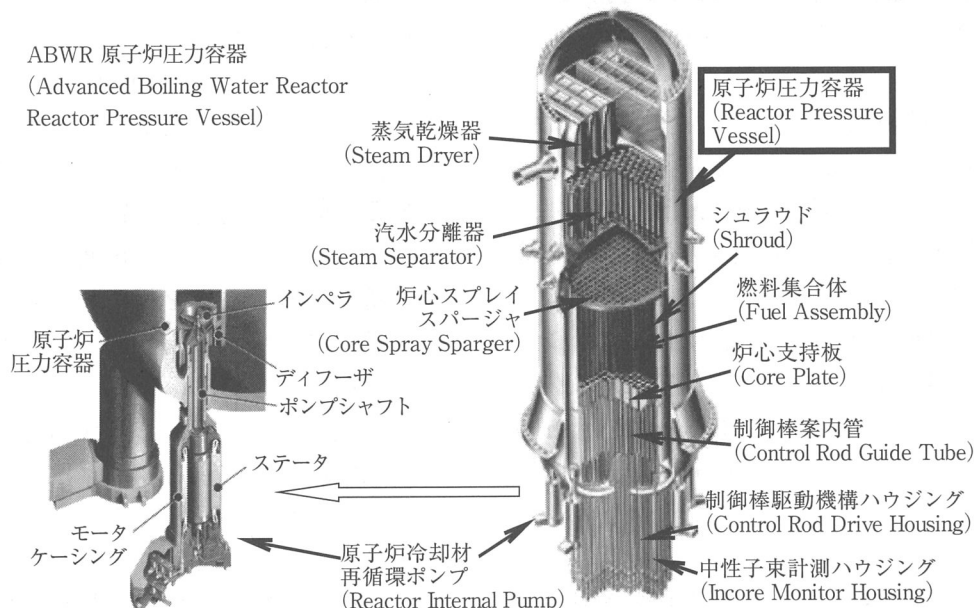


図 1 ABWR RPVの鳥瞰図

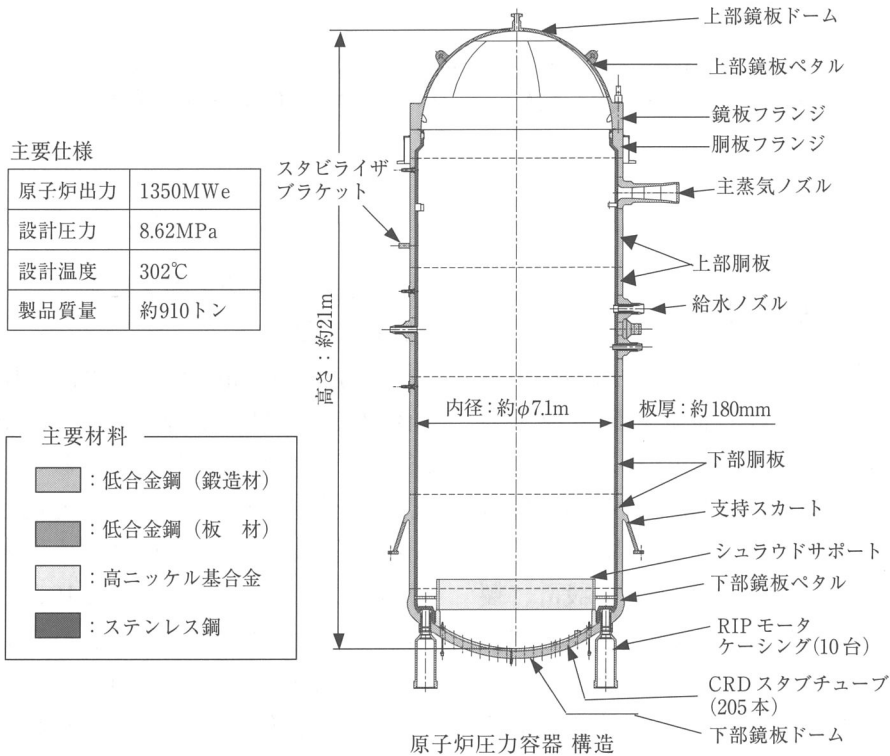


図 2 ABWR RPVの主な仕様・構造

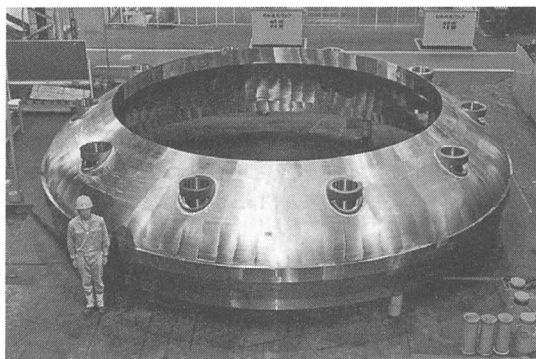


写真 1 下部鏡板ペタルの外観

術開発により下部鏡板や胴板にも大型の一体鍛造材が用いられている。写真1に下部鏡板ペタルの外観写真を示す。この部品は約600トンの鋼塊から一体鍛造法で製造され、機械加工による削り出しにより溶接線の無い一体構造になっている²⁾。

容器内面には腐食を防止する目的でステンレス鋼の肉盛溶接が施されている。下部鏡板内面は制御棒駆動機構ハウジング (Control Rod Drive Housing: CRD ハウジング) を取り付けるためのCRDスタブチューブ及び炉心支持構造物を取り付けるためのシュラウドサポート (いずれも高ニッケル基合金) が配列されており、それらの部品を下部鏡板に取り付けるために、その内面には高

ニッケル基合金の肉盛溶接が施される。

◇ 溶接技術

1. 主継手の溶接

RPVの胴体の板厚は約180mmという極厚である。従って胴板と胴板の溶接、胴板とノズルの溶接は、この板厚を欠陥無く溶接することがポイントである。

一般的には比較的能率の良いサブマージアーク溶接法が採用されているが、弊社では狭開先マグ溶接法を開発し、約30年前からRPVの胴板と胴板の溶接から適用を開始し、現在では胴板とノズルの溶接も含め主継手に全面的に適用している。

図3に弊社で開発した狭開先マグ溶接法の概要を示す。本溶接法は開先角度がほぼ垂直であるため、壁際に融合不良を起こしやすい。この対策として多くの方法が考えられるが、弊社ではワイヤに予め曲げ癖を付け、開先内に送り込むワイヤバンド方式を採用している。狭開先トーチの先端から開先内に送給されるワイヤは周期的にその向きを変え、十分両開先壁を熔融することができる。トーチも小型化しており、板厚に関係なく開先幅は約10mmで溶接が可能である。サブマージアーク溶接法と比較すると下記点が優れている。

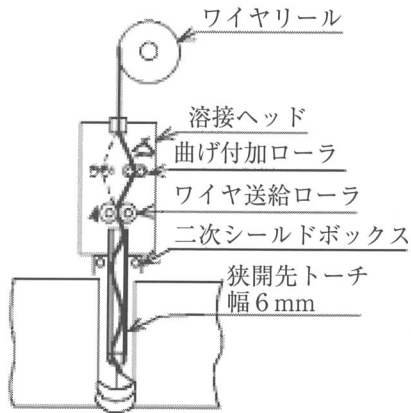


図 3 狭開先マグ溶接法

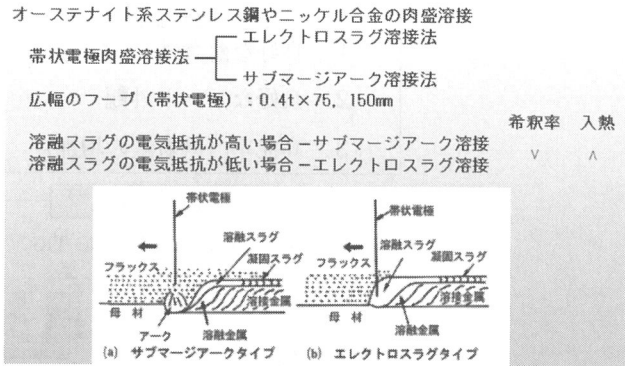


図 4 ESWとSAWの比較

出展：(株)産業技術サービスセンター「接合・溶接技術Q&A 1000」

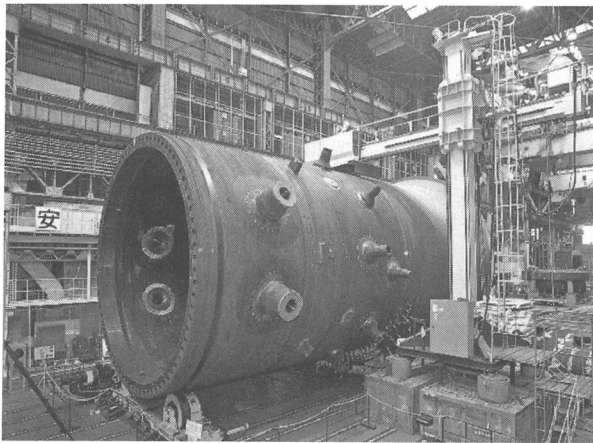


写真 2 狭開先マグ溶接状況

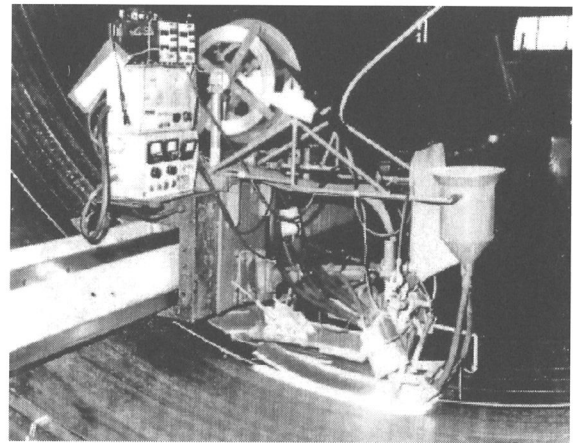


写真 3 ESW適用状況

- (1) 溶接入熱量が低いため溶接部の靱性が優れている。
- (2) 1パス1層の溶接法であり、溶接金属量が少なく溶接変形が小さい。
- (3) シールドガス中での溶接であり、溶接部に残留する水素量が少なく、溶接部に発生する低温割れ感受性が低い。

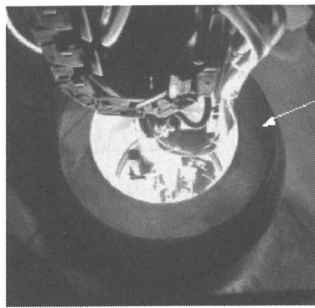
写真2に胴板の周溶接状況を示す。

2. 肉盛溶接

RPV胴板の内面にはステンレス鋼の肉盛溶接、下部鏡板内面には高ニッケル基合金の肉盛溶接が行われる。肉盛溶接では肉盛部の耐食性の観点から母材の希釈を低く抑えることが重要であり、そのためにエレクトロスラグ溶接法 (Electroslag Welding : ESW) やサブマージアーク溶接法 (Submerged Arc Welding : SAW) が適用されている。ESWとSAWの比較を図4に、RPV

胴板内面へのESW適用状況を写真3に示す。ステンレス鋼の肉盛溶接の場合は、溶接部に発生する高温割れを防止するために溶接部に数%のフェライトが生じるよう溶接材料の成分設計を行っている。溶接材料及び溶接電源を含めた溶接装置の開発により電極の広幅化が図られており、現在では150mm幅まで実用化されている。

一方高ニッケル基合金の母材、溶接材料については応力腐食割れのポテンシャルを排除するため、ニオブ (Nb) を少量添加し、肉盛溶接部の炭素の安定化を図った高耐食性ニッケル基合金を採用している。主蒸気ノズル内面等の狭隘部にも、ステンレス鋼、高ニッケル基合金の肉盛溶接を施工する。弊社では高品質ではあるが比較的能率が悪いという欠点があるティグ溶接法を能率面で改善したホットワイヤティグ溶接法 (Hot Wire Switching TIG : HST) を開発し実製品に適用して



RIPノズル及び溶接ヘッド



溶接モニター装置

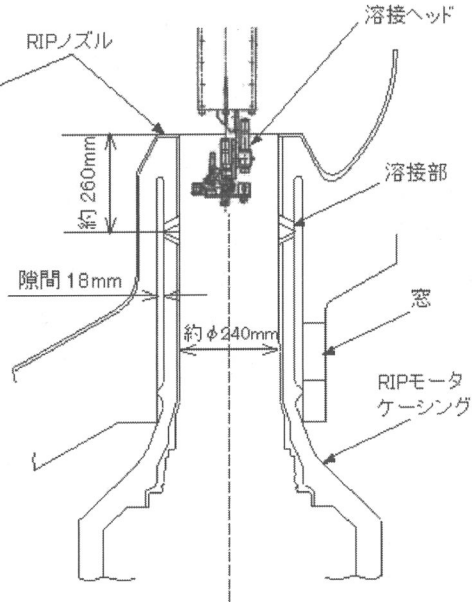


図 6 RIPモーターケーシング自動溶接装置

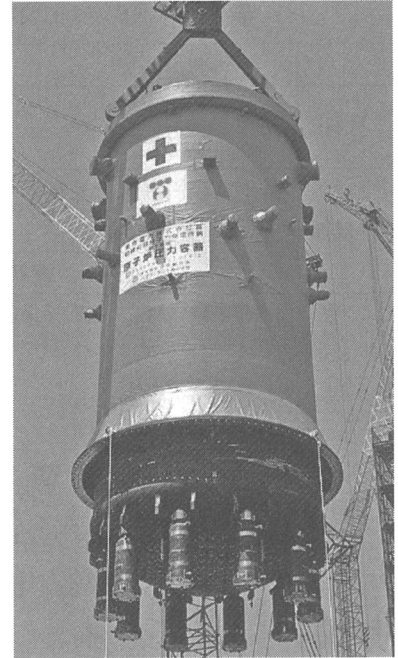


写真 6 RPV現地搬入状況

動溶接装置の概要を写真5に示す⁴⁾。

4. RIPモーターケーシングの自動溶接

下部鏡板の外周部には10台のRIPノズルが配列されており、RIPノズルにRIPモーターケーシングが溶接により取り付けられる構造である。図6に示すようにRIPノズルとRIPモーターケーシングの隙間は、溶接部の非破壊検査を可能とするために18mmが確保されている。RIPモーターケーシングはRIPモータを内蔵することから、モータとの取り付け部には厳しい寸法公差が要求されている。

RIPノズルとRIPモーターケーシングの開先部は低合金鋼の母材部に高ニッケル基合金が肉盛溶接されており、内径約240mmの内面側から高ニッケル基合金の溶材を使用し、遠隔自動溶接装置を用いて横向き姿勢で突合せ溶接する。

溶接部の信頼性を確認するために、非破壊検査が行われるが、非破壊検査装置を挿入する窓が下部鏡板のRIPノズルスカート部に設けられている。溶接位置がRIPノズル頂部から約260mmと深いので、溶接作業中にアークや溶接部の状況を直接確認できないため、小型CCDカメラによるテレビモニタ監視装置を装備した遠隔自動ティグ溶接装置を開発し実製品に適用している。

溶接により裏波が形成されるので溶接部の非破壊検査性を確保するために、溶接後、この裏波を

除去している。RIPノズルスカート部に設けた窓を利用し、18mmの隙間内に裏波仕上げ装置を組み立て、裏波を仕上げている。その後、放射線透過試験 (RT)、液体浸透探傷試験 (PT) 及び目視検査 (VT) を実施し溶接部の健全性を確認している。各検査を実施する場合もスカート部の窓を利用し、18mmの隙間部にテレビカメラ付きの特殊検査装置を挿入し検査している。

更なる溶接作業の効率化を図るために、狭開先溶接装置を開発後、実製品に適用し良好な結果を得ている。

写真6に完成したRPVを大型クローラクレーンを用いて原子炉建屋内に搬入している状況を示す。

◇ 検査

RPVの検査は素材段階及び製作段階に応じ適用規格に基づき実施される。表1に国内向けRPVの主要検査項目を示す。製作の最終段階では最高使用圧力の1.25倍の水圧を加えて強度を確認する耐圧・漏洩検査と、認可を受けた工事計画書の通りに仕上がっていることを確認するための構造検査 (寸法検査、外観検査) が行われる。全ての検査に合格した後に発電所に輸送され据え付けられる。

表 1 RPVの主要検査項目

	部位	検査項目
材料	板材	UT
	鍛造材	UT/MT又はPT
溶接部	長手及び円周突合せ継ぎ手	RT/MT又はPT
	管台溶接部	RT/MT又はPT
	ラグ、ブラケット溶接部	MT又はPT

UT：超音波探傷試験 MT：磁粉探傷試験
 PT：液体浸透探傷試験 RT：放射線透過探傷試験

むすび

RPVは原子力プラントの中で最も重要な機器の一つであり、設計、製造、検査の過程で細心の注意を払い製造している。

本稿で紹介した溶接技術、特に溶接装置の開発においては、溶接ノウハウとの融合が重要なポイントであり、弊社では溶接装置を自前で開発することを基本としている。新技術の適用に当たっては、その信頼性を評価するための確認試験は勿論

のこと、実製品を模擬した試験（モックアップ試験）を行い、総合評価後実製品に適用し、信頼性確保に万全を期している。現在世界各国で原子力発電所の建設計画が進んでいるが、本稿に記載した溶接・接合技術を基盤とした「モノづくり」技術が将来に亘り、世界で重要な地位を占めると予測している。これまでの実績と経験をベースに、更に信頼できる新技術を開発し、信頼性の面で優れたRPVを製造していきたいと考えている。

参考文献

- 1) 河原：溶接・接合技術の適用（圧力容器）－原子炉圧力容器について－溶接学会誌 第79巻（2010）第3号
- 2) 佐藤他：ABWR 原子炉圧力容器用大型鍛鋼品の製造と諸特性 日本製鋼所技法
- 3) W. Kawahara (Babcock-Hitachi K. K.), A. Endo (Hitachi-GE Nuclear Energy, Ltd.) 他：Fabrication of the ABWR RPV (1350Mwe) 6th International Conference of Nuclear Engineering May (1998)
- 4) 明賀他：3次元自動溶接機の開発と原子炉圧力容器への適用 溶接法研究委員会（1995）



3. 建築

川 田 工 業 (株) つ や ま た だ ひ さ
 技術研究所 生産技術研究室 津 山 忠 久

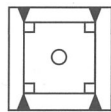
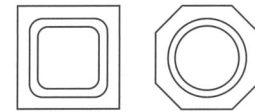
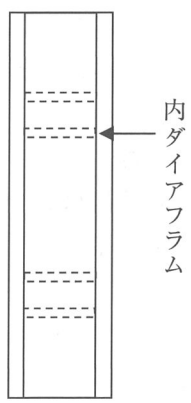
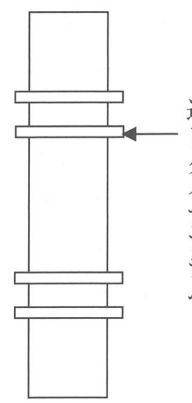
まえがき

1995年に起きた兵庫県南部地震による被害調査から建築鉄骨造の破壊事例として柱・梁端部の溶接接合部が着目され数多くの研究がなされた結果、例えば柱・梁溶接継手に必要な耐力・塑性変形能を得るための破壊靱性値が提示された¹⁾。建築鉄骨の溶接はこの要求性能確保と長年に渡る受注単価低迷・材料費高騰に伴う製作コストの縮減が重要となっており、この両立に向けた新たな施工技術の確立が望まれている。ここでは建築鉄骨で採用されている溶接方法とその課題を述べるとともに、最近取り組みの新技术について紹介する。

◇ 柱の溶接

日本の高層建築物に使用される主な柱の種類・形状を表1に示す。梁が取り付くパネルゾーンにはダイアフラムが配置され、このダイアフラムが内在するものを柱貫通タイプ、柱幹を分断する形

表 1 建築鉄骨柱の主な種類と形状

柱形式	柱貫通タイプ	梁貫通タイプ
断面形状	ビルトボックス柱 	コラム柱、パイプ柱 
柱形状	 内ダイアフラム	 通しダイアフラム

で通しダイアフラムが配置されるものを梁貫通タイプと呼ぶ。柱貫通タイプには鋼板(スキンプレート)を4枚組み合わせせたビルトボックス柱、梁貫通タイプにはコラム柱・パイプ柱が主に採用される。以下にそれぞれの柱形式を製作する上で用いられる溶接方法を示す。

1. ビルトボックス柱

ビルトボックス柱は主として超高層建築物に用いられている。各ファブリーケータ(以下ファブ)にはビルトボックスの省力化・量産化を目的とした専用製造ラインが設けられ、柱コーナー部の角溶接にはサブマージーク溶接(SAW)及びMAG溶接(主にCO₂)、内ダイアフラムにはエレクトロスラグ溶接(ESW)が採用されている。これら溶接法は建築鉄骨の受注単価に見合う工法として特化され、他分野では類のない高能率化が図られており、ビルトボックス柱の製造能力は一般的に5本/日程度とされる。

SAWはワイヤ径φ6.4mmを用いた二電極式セミワンプール溶接法が主流であり、板厚19~60mmを1パス施工(以下ワンラン施工法)で仕上げる非常に高能率な施工工法が広く適用されている。写真1にワン

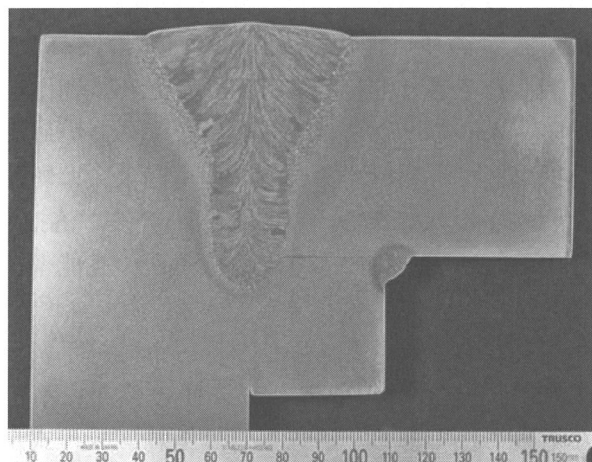
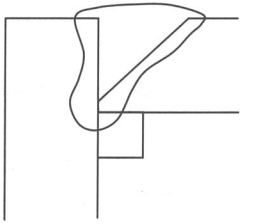
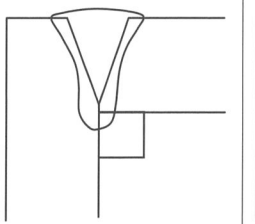
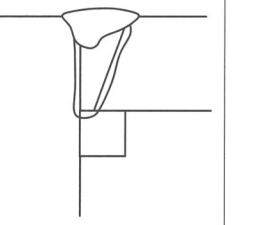


写真1 SAWワンラン施工マクロ試験片(板厚60mm)

表 2 ボックス柱角溶接部開先形状例

板厚	≤32mm	36~60mm	>60mm
開先形状			
施工法	SAW		CO ₂ +SAW

ラン施工時のマクロ試験片、表2に角溶接部の開先形状の例を示す。ワンラン施工法は板厚が大きくなるにつれて入熱量が増加し、例えば板厚60mmでは約500kJ/cmの大入熱溶接となる事から溶接金属のみならず熱影響部の性能確保が重要な課題となる。特に立て板（フランジ）側の融合部～熱影響部の衝撃性能は、シャルピー衝撃試験片のノッチ方向が鋼板規格で保証されないZ方向での評価となる為に性能確保が極めて難しい。SAWワンラン施工法はビルトボックス柱の角溶接に多くの実績があり、この方法を継続していく為にも後に述べる高HAZ靱性鋼等を組み合わせることで安定的に高い性能が得られるよう配慮している。

板厚60mm以上の角溶接施工は一部に三電極式によるワンラン施工が行われる場合もあるが、一般的にはレ型開先を採用し、CO₂ガスシールドアーク溶接法（以下CO₂溶接）による下盛り溶接を行った後にSAWを行う混用施工法を適用するのが一般的である。ただし施工性を確保するために溶接量の多い開先形状を採用しなければならず、また下盛り溶接時には入熱量とパス間温度に制限²⁾が必要となる事から自動化率の高い施工法を採用しても期待するほどの能率向上には繋がらないのが現状である。そこで回転アーク溶接法³⁾を用いた狭開先化により、低入熱かつ高能率な施工を行うファブも存在する。

内ダイアフラムとスキンプレーートの継手に用いられるESWはビルトボックス柱の製作に不可欠な溶接方法である。導入当時は消耗ノズル式が用いられていたが現在は非消耗ノズル式に替わり、ダイアフラムの周4辺をESWで行う4面施工の

適用により作業性・品質・能率が大幅に向上した。ESWは開先断面積（ダイアフラム板厚×ルートギャップ）に応じ入熱量が決定されるが、ダイアフラム板厚60mmでは入熱量1,000kJ/cmに迫る超大入熱施工となり、角溶接と同じく溶接部の性能低下が懸念されている。さらに近年、建築物の大スパン構造に伴うダイアフラムの厚板化や柱の中にコンクリートを充填しスキンプレーートを薄肉化するCFT構造の採用が増えており、例えばスキンプレーート板厚／ダイアフラム板厚が1.0を大幅に下回るような過酷な継手ディテールへの適用が生じるケースがある。この場合、スキンプレーート外面から水冷銅板をあてがう事で過大な蓄熱を避ける等、施工面での配慮が必要となる。

これら各種大入熱施工法の採用に伴う性能確保の為の対策鋼材として高HAZ靱性鋼が開発された。高HAZ靱性鋼は酸化物や硫化物の超微細粒子を用いたピン止め効果によるオーステナイト結晶粒の粗大化防止技術⁴⁾や島状マルテンサイトの低減及び粒内変態による微細ベイナイトの利用⁵⁾等により冷却速度の遅い大入熱施工時においても高靱性が得られやすい鋼板であり、超高層建築物の構造的主要部に採用されている。高HAZ靱性鋼用の専用溶接材料も開発されており、溶接部の性能向上に大きく寄与している。

2. コラム柱・パイプ柱

コラム柱・パイプ柱の溶接はコラム・パイプと通しダイアフラムの十字・T字継手部に対して多関節ロボットを用いたCO₂自動溶接の採用がほとんど全てと言っても過言ではない。2000年以降、多くのファブに導入された溶接ロボットはスラグ自動除去装置等数々の機能により連続無監視運転

が可能となっており非常に高能率である。溶接条件は細径ワイヤを用いる事で入熱量を抑えながら比較的高溶着量が得られる事、パスを分割することでパス間温度管理が容易である事、良好な溶接金属部性能とスラグ剥離性が得られるロボット専用溶接材料の適用等によって高い機械的性能を有した溶接部を容易に得ることが可能である。また継手に対する破壊性状改善を目的にNBFW工法⁶⁾が一般化されているが、この積層法を含むロボットシステムの認証が行われる等、品質安定化・省力化に向けた溶接工法が確立されている。

◇ 新技術

近年、建築向けに取り組まれている新しいCO₂溶接法を紹介する。

・J-STAR Welding⁷⁾

微量のREM (Rare Earth Metal: 希土類元素) をワイヤに添加、極性を従来とは逆の棒マイナスとする事で溶滴の微細スプレー化を可能とする技術
・REGARC⁸⁾

パルス電流波形を用いて規則的なグロービュール移行を実現した技術

いずれも、建築鉄骨に最も用いられている従来のCO₂溶接法に替わる新工法で、高電流域を使用する場合に多量発生するスパッタを溶滴移行のコントロールにより大幅に低減する画期的な技術であり、生産性向上に大きく寄与するものと思われる。

また、ボックス柱に採用する新工法として以下の技術も開発されている。

・角溶接用タンデムエレクトロガスアーク溶接法

ボックス柱の角溶接部にタンデムエレクトロガスアーク溶接法を適用した例^{9)、10)}が報告され、板厚80mmの1パス施工が可能

・ノズル回転法エレクトロスラグ溶接法¹¹⁾

従来のESWに対し十分な溶込みを得つつ入熱量を大きく低減出来る新しい施工法

これら新技術は開発途上のものもあるが、いずれも溶接部の高性能化・性能安定化に寄与する技術として早期に実際のプロジェクトに採用されることが期待されている。

むすび

建築鉄骨柱に用いられている主な溶接法について紹介した。昨今の経済状況に伴う建築鉄骨業界は混沌とした気風のみであるが、景気回復の波に乗って徐々に大型プロジェクトも始動し始めている。能率・品質・コストの両立はいつの時代にも求められており、鉄骨に用いられている溶接接合技術とはそれらを担う最も重要な要素技術と言える。既存の溶接技術の現状や最新の取り組み技術も紹介したが、時代背景と共に最適化を図りながらさらなる発展が期待されている。

参考文献

- 1) 財団法人日本建築センター、(社)日本鉄鋼連盟、鉄骨梁端溶接接合部の脆性的破断防止ガイドライン編集委員会「日本鉄鋼連盟、鉄骨梁端溶接接合部の脆性的破断防止ガイドライン」講演資料、2003年9月
- 2) 日本工業規格、JIS Z 3312解説
- 3) 岩田、村山、小島、JFE技報、No.21、2008.8、p.15-19
- 4) 児島、清瀬、植森、皆川、星野、中島、石田、安井、新日鐵技報、380、2004、p.2-5
- 5) 畑野、岡崎、川野、岡野、まてりあ、第43巻、第3号、2004、p.244-246
- 6) 日本建築センター、冷間成型角形鋼管設計・施工マニュアル(改訂版)、2003、p.133-135
- 7) 片岡、池田、安田、JFE技報、No.16、2007.6、p.50-53
- 8) 山崎、鈴木、松村、溶接技術、2010年5月号、p.80-84
- 9) 津山、溶接技術、2007年9月号、p.107-111
- 10) 小林、白井、駒井技報、vol.27、2008.6、p.19-26
- 11) 藤田、湯田、溶接技術、2010年2月号、p.64-69

4. 産機・建機

コマツ 生産本部 あまのまさ はる
生産技術開発センター 天野昌春

まえがき

建機業界は2008年度上期まで右肩上がりの成長を続け、工場増設や設備投資が盛んに行われた。増産に対応するため生産性向上の技術開発も積極的に進められてきた。リーマン・ショック以降は、在庫台数の圧縮を進めるため設備投資は抑制され大幅減産に転じた。しかし2010年度は新興国での需要急増を受けて、再び増産基調にあり前年度に比べ倍増する勢いである。この様な状況の下、これまで進められてきた生産性向上の取り組みはそのまま生かされ、更なる改善が進められている。

生産拠点は世界中に分散化、グローバル化し、国内よりもむしろ新興国での生産が大幅に増えていることから、使用する材料は現地で調達することがコスト面でも重要となっている。

本稿では建機の最も主要な溶接構造物であるフレームの板金溶接と、それに使われる鋼板、特殊鋼板の使用状況について紹介する。

◇ 溶接・接合技術の動向

建機の溶接では1980年代から積極的にロボット溶接が導入され、自動化率は生産台数の多い中型機種では85～95%、大型機種でも70%以上に達しており、厚板業界では圧倒的に高い。

溶接構造物の生産性をさらに向上させるアプローチとしてロボット溶接の「稼働率向上」と「高速・高能率化」に取り組んでいる。

1. 溶接ロボットの稼働率向上

(1) 稼働率モニター¹⁾

建機構造物の溶接サイクルタイムは通常1時間以上、大型のものは1日にもおよぶことから、途中で停止させないことが生産性向上にとって重要となる。そこで工場内の各ロボットの稼働状況をサンプリングしてウェブにより配信するシステムが導入されている。他工場も含め溶接ロボットの稼働率、溶接時間、停止時間、機種別ピッチタイ

ム、ロボットが停止したエラー内容と発生個所のデータを自動的に収集できる。このデータを解析することにより、稼働率の改善が進められている。

(2) ケーブル内蔵ロボット

図1に示すようにトーチケーブルをアームに内蔵したロボットの導入が進められている。図2に従来機との比較でイメージを示す。ケーブルとワークの干渉に起因するエラー停止を減らすことで稼働率を向上させたり、これまで困難だったワーク内部の溶接も可能となるため自動化率を向上させることができる。

2. 高速・高能率溶接

(1) 多頭溶接ロボットシステム²⁾

溶着速度向上のための手法の一つとして2本の溶接ワイヤで1つの溶融池を形成して溶接を行う

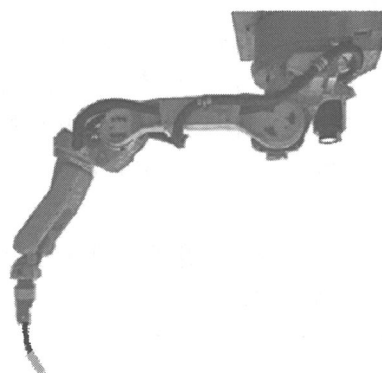


図 1 ケーブル内蔵ロボット

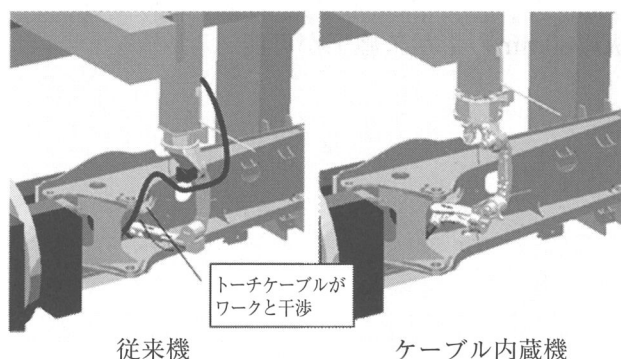


図 2 従来機とケーブル内蔵機の比較

タンデム溶接が8年ほど前から導入されている。建機構造物は長い溶接線ばかりではなく短い溶接線や狭隘部の溶接も多いため溶接の途中でタンデムとシングル切り替えが必要となる。そこでトーチを交換、あるいは一方のトーチがスライドして干渉を避けるシステムが開発されている。

さらに溶接速度を向上させるため、最近では一つのポジショナーに複数台のロボットを配置して同時溶接する多頭システム化が進められている。写真1に多頭システムで溶接している状況を示す。多頭とタンデムを組み合わせ、あるいは各々のロボットの待ち時間解消のため1本の溶接線を2台のロボットが追従して溶接する等の工夫もなされている。

(2) 大電流溶接ロボットシステム³⁾

溶着速度向上のためのもう一つの手法として、ワイヤを溶かす速度そのものを上げる方法がある。細径ワイヤを使って大電流（ワイヤを高速送

給）で溶接すると大幅に溶着速度を上げることができる。例えば、線径φ1.4mmの軟鋼ワイヤを溶接電流500A（従来）と700A（大電流化）で比較すると、溶着速度は約2倍（200→400g/分）となる。近年、溶接電源のデジタル化による出力電流・電圧の安定化とワイヤ送給の高精度・高速化が可能となり、このような溶接が可能になった。

大電流化は溶け込み深さを大きくできるメリットもある。図3は開先加工をしてレ型隅肉溶接していたものに対して、深い溶け込みを利用して開先をなくし同じ喉厚の溶接継手を得た事例である。図4はX開先の溶接でルート残りをガウジングで除去していたものに対して、ルート部を完全に溶かしてガウジングを廃止した事例である。いずれも溶接に付帯する作業を減らすことで生産性向上に寄与している。

◇ 建機に使用される鋼板

(1) 建機の溶接構造物に使用される鋼板

建機の溶接構造物は疲労寿命設計であり、疲労寿命は溶接部の強度が支配的である。したがって、高強度の鋼板を使用しても疲労強度の向上は期待できない。図5に建機の溶接構造物に使用される鋼板の内訳を示すが、このような事情から約90%は一般構造用圧延鋼材SS400が使用されている。

なお、国産鋼板についてはSS400が溶接構造用圧延鋼材SM400Bのスペックを満足している場合が多いため、特に区別なく使用されているのが実情である。

490MPa級、590MPa級の鋼板は高応力となる部材に使用される。さらに強度、硬さの高い鋼板

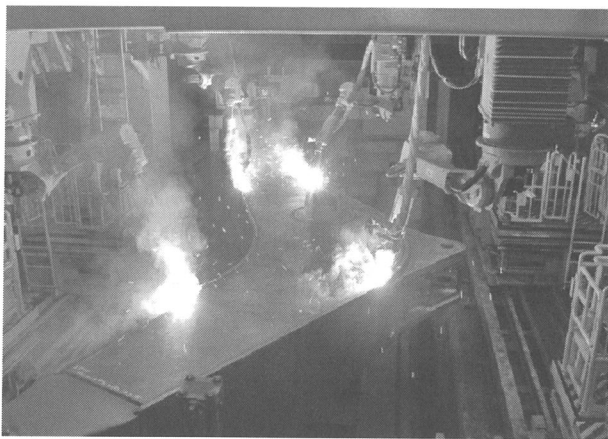


写真1 4頭ロボット溶接の様子

	継手形状	溶け込み
従来	<p>開先加工 喉厚同じ</p>	
大電流		

図3 大電流溶接による開先加工廃止

	施工形状	溶け込み
従来	<p>ガウジング</p>	<p>ルート残り</p>
大電流		

図4 大電流溶接によるガウジング廃止

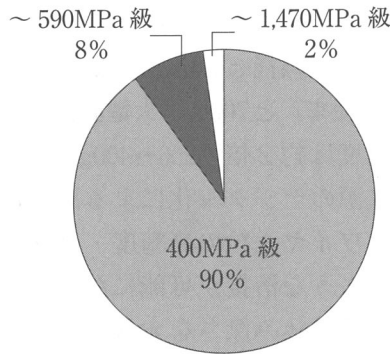


図 5 建機の溶接構造物に使用される鋼板の内訳

は1,470MPa級、ブリネル硬さ500レベルのものまで使用されており、用途は主に耐土砂摩耗用である。読者は特殊鋼に携わっている方々が多いと思うので、これについては後ほど耐摩耗鋼板の項で事例を紹介する。

(2) 外観美麗鋼板

熱間圧延鋼板では不均一な厚みのスケールが圧延時に地鉄に押し込まれて微小な凹凸を形成する。溶接後にショットブラストでスケールを除去するとスケールで隠されていた凹凸が表面に現れ、塗装後に光沢ムラとして見えるため外観上問題となる。そこで、作業機など目に見える部位には凹凸の少ない外観美麗な鋼板が使用されている。

(3) 耐摩耗鋼板

油圧ショベルのバケット、ブルドーザの土工板、ダンプトラックの荷台は直接土砂や岩石と接するため摩耗が激しい。そのため硬度の高い鋼板を溶接して使っている。溶接後に低温割れの発生が問題となることから、以下に示す低温割れ感受性指数CENが小さくなるように成分設計されている。

$$CEN = C + A(C) \{Si/24 + Mn/6 + Cu/15 + Ni/20 + (Cr + Mo + Nb + V)/5 + 5B\} A(C) = 0.75 + 0.25 \tanh \{20(C - 0.12)\}$$

耐摩耗鋼板の具体的な使用例として大型油圧ショベルの12m³バケットを図6に示す。耐摩耗鋼板は摩耗が特に激しい部位にバケット本体を保護する形で溶接貼付される。摩耗の激しさに応じて鋼板のグレードを使い分けている。

(4) 海外鋼板

海外工場で使用される鋼板は、その国および周

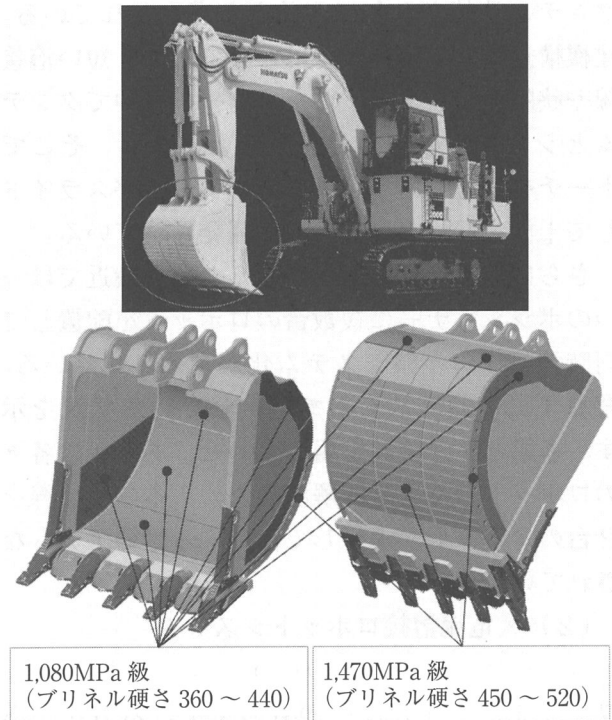


図 6 耐摩耗鋼板の使用事例 (バケット)

辺地域から調達されている。調達にあたっては十分な品質確認を行うが、国内使用実績と同等なものを使用するという考えから、特にアルミキルド鋼であること、PとSは0.035wt%以下であることを要求している。SS400クラスの鋼板は問題なく調達可能であるが、新興国では590MPa級より上のグレードの鋼板や耐摩耗鋼板の調達は難しく、国産材を使用していることが多い。

むすび

紙面の都合上、建機のフレームに関する内容に偏ってしまったが、他の溶接構造物、例えばキャビン、油圧配管や油圧シリンダについても増産に対応するため、同様に「自動化率向上」「稼働率向上」「高速・高能率化」の観点から生産性向上の取り組みが進められている。これらの技術は日本で開発され、海外の工場へも展開されている。

参考文献

- 1) 山中、溶接学会誌、Vol.77 (1)
- 2) 山中ら、コマツ技報、Vol.55、No.162 (2009)、15-22
- 3) 足立ら、溶接学会全国大会講演概要、76

5. 電力

(株)東芝 電力システム社 京 浜 事 業 所 **浅井 知**
(株)東芝 電力システム社 京 浜 事 業 所 **藤田 善宏**

まえがき

近年、発電分野において中核をなす火力発電機器においても、二酸化炭素排出量の削減をすべく、発電の高効率化に向けた取り組みがなされている。例えば、ガスタービンと蒸気タービンを組み合わせたガスタービン入口温度1500℃級のコンバインドサイクル発電プラントが商用化されている。また、通常、石炭焚き火力発電プラントでも、近年、蒸気温度を700℃以上にすることで、大幅な効率向上を可能にする先進超々臨界圧 (A-USC) 発電システムの開発が行われている。一方、環境にやさしい再生可能エネルギーとして地熱発電や太陽熱が注目され、水力発電に対する利用も世界的に見直されつつある。

上記のような大型構造物は、炭素鋼、低合金鋼、高合金鋼、さらには、Co基やNi基といった耐熱

合金など多岐にわたる材料で構成されており、いずれも溶接が必要とされる。特に、火力発電機器は、高温・高圧といった過酷な環境下で使用されるため、溶接部には、高い品質・強度が求められる。溶接技術では、このような要求を満たすべく、難溶接材料や異材溶接に対する技術開発が行われる一方、生産性を考慮した高能率溶接法の開発、製造工数低減や熟練溶接士不足に対応した溶接の自動化に向けた取り組みもなされている。

本稿では、とくに火力発電機器や水力発電機器で適用されている最近の溶接技術に関して紹介する。

◇ 蒸気タービン

1. 機器の構成と使用材料

蒸気タービン機器は、図1に示すように、高中圧・低圧タービンロータ、動静翼、車室(ケーシ

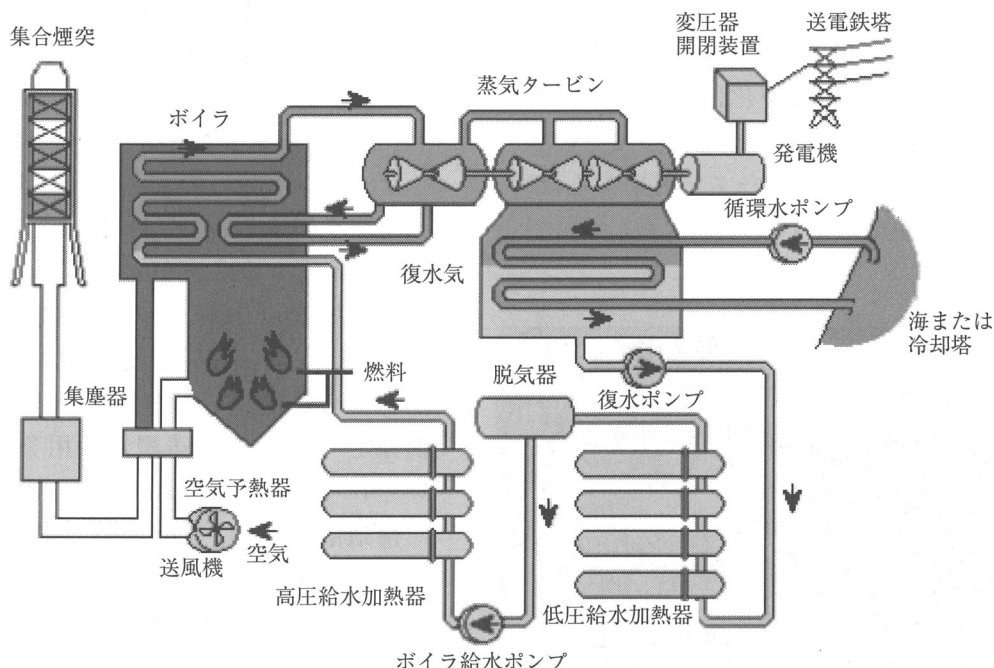


図 1 蒸気タービンの系統図

ング)、蒸気弁の主機と復水器、給水加熱器などの補機と呼ばれる熱交換器やそれらをつなぐ配管にて主に構成される。蒸気タービンの内部は、蒸気状態に応じて、高温・高圧の使用条件から大気圧以下の室温の低圧・低温まで変化する。最近では、主蒸気温度600℃や再熱蒸気温度610℃のプラントが運用されている。

蒸気タービンに使用される主な材料としては、低合金鋼が高圧・中圧ロータ、ケーシング、蒸気弁、締付ボルトに、12% Cr耐熱鋼が高圧・中圧ロータ、動静翼、締付ボルトに、低合金鋼が低圧ロータに適用される。また、熱交換器では、胴部において炭素鋼や低合金鋼、管にはキュプロニッケル、炭素鋼およびステンレス鋼が、復水器ではチタン管が適用される。さらに、これらを連結する配管では、使用温度に応じて様々な材料が適用されるが、高温部では9% Cr鋼が利用される。

2. 蒸気タービン機器の溶接技術

(1) タービンロータの溶接

蒸気タービン用ロータ材料には、一般に、CrMoV鋼や12% Cr鋼が使用される。靱性に優れたCrMoV鋼は、蒸気タービンの低温低圧側に使用され、高温強度に優れた12% Cr鋼は高温高圧側に用いられる。これまで、高温強度が必要となる高中圧一体型蒸気タービンでは、高温強度を有する12% Cr鋼による一体型鍛造ロータが用いられてきたが、近年の蒸気タービンの高温化および大容量化に伴い、より高温強度に優れた改良12% Cr鋼の採用やロータの大型化により、大型鍛造品の製造に長期間を要するようになってきた。

そこで、短納期化の市場ニーズに対応するため、高圧、中圧、低圧部をそれぞれ最も適した材料を

採用し、小型の鍛造品を活用できる溶接構造ロータへの取り組みがなされている。

写真1は、高温部位の中央部に12% Cr鋼を、その両側にCrMoV鋼を配した溶接構造ロータの例を示したもので、全長約7.5mである。ロータの溶接部には、継手の機械的強度の確保と運転中におけるロータの軸曲がりの抑制が求められることから、溶接入熱量と溶着量を極小化し、高品質が得られる狭開先ホットワイヤTIG溶接を適用している。

溶接肉厚は、150mm、開先幅は約10mmである。また、溶接に際しては、溶接低温割れを防止するために、高周波コイルヒータにて溶接部を200～250℃に予熱を実施しており、溶接はロータを回転し、1層1パスにて全層下向き溶接で行われる。溶接中は、溶接オペレータが溶接トーチに取り付けたカメラにより溶融池の監視ならびに溶接条件のモニタリングを実施することで、溶接中の異常管理を行い、溶接欠陥発生防止に努めている。

同様に、次世代の700℃級A-USCロータでは、ロータ素材としてNi基合金が採用されるが、Ni基合金の大型鍛造には技術的な制約があるため、溶接構造が必須である。そこで、A-USCロータでは、Ni基合金と低合金鋼の異材溶接の技術開発が進められている¹⁾。

また、12% Cr鋼鍛造一体型ロータでは、ジャーナル部で焼付きが生じやすいため、低合金鋼によるオーバーレイ溶接が行われる。溶接法としては、サブマージアーク溶接やMAG溶接が適用される。

(2) ケーシングおよび蒸気弁の溶接

ケーシングは、組立・分解およびロータの搬出入を容易にするため、水平二つ割れ構造となっている。高温・高圧蒸気が流入する高圧・中圧ケーシング材は、良好なクリーブ破断強度と熱疲労強度ならびに耐酸化性が要求され、厚肉および複雑形状から铸造にて製作され、CrMo鋼、CrMoV鋼さらには12Cr鋼が使用条件に合わせて用いられている。

構造溶接には、TIG溶接、被覆アーク溶接、最近ではMAG溶接などが適用され、低温割れやSR割れに配慮した予熱管理や入熱管理が行なわれている。また、溶接に際しては、溶接継手強度の確保に対して溶接熱影響部の硬化および軟化に配慮

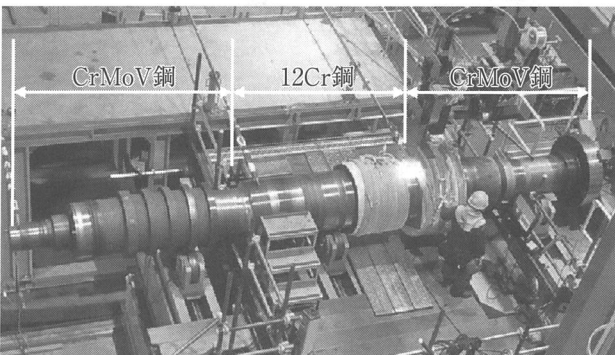


写真1 蒸気タービンロータの異材溶接の一例

した施工条件の管理が行なわれている。同様に、高圧・高温の蒸気にさらされる主蒸気および再熱蒸気弁のケーシングは、高・中圧ケーシング同様、使用温度条件にあわせ、クリープ破断強度に優れたCrMo鋳鋼、CrMoV鋳鋼、9Cr～12Cr鋳鋼、鍛鋼が使用条件に合わせて用いられる。

(3) 熱交換器および配管の溶接

図2に熱交換器の一つである給水加熱器の構造を示す。内部に挿入されている加熱管の両端は管板に拡管のみもしくは拡管およびシール溶接が行われ、リーク防止が図られている。シール溶接は、専用のTIG自動溶接により施工される。一方、給水加熱器の胴体継手部はMAG溶接およびサブマージアーク溶接により施工されており、写真2は、高能率化としてタンデムサブマージアーク溶接の適用を示したものである。また、管板と鏡板との厚板溶接では、溶着金属低減と作業効率化の観点から狭開先溶接が適用されている。

復水器においては、内部に挿入されている冷却管はアルミニウム黄銅管、キュプロニッケル管、

チタン管などが使用されている。冷却管と両端に取付けている管板との固定方法で、アルミニウム黄銅管は拡管のみ、チタン管においては拡管後TIG溶接により端部をシール施工している。また、最近では、スーパーステンレス管の価格低下に伴い、チタン管の代わりに使用されるケースが増えている。

一方、配管は、形状・種類も外径900mmの大径厚肉管から20mmの薄肉小口径配管まで多岐にわたる。材料も炭素鋼、CrMoV鋼、9%Cr鋼など多数使用される。近年は、蒸気温度の向上とともに高Cr鋼の使用が増加しているが、長時間域でのクリープ破断寿命低下が問題となっている。一方、配管の工場溶接では、ワークの回転が可能のため、MAG溶接、TIG溶接およびサブマージアーク溶接など広く自動溶接が活用されるのに対し、現地溶接では固定管となるため全姿勢でのTIG溶接が主体となる。写真3は、狭開先ホットTIG溶接を適用した例を示したもので、開先合わせや予熱などの課題を解決し、高品質で高能率な

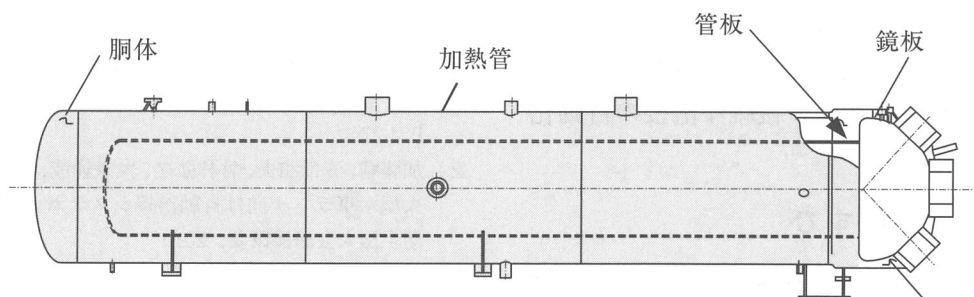


図 2 高圧給水加熱器の構造の一例

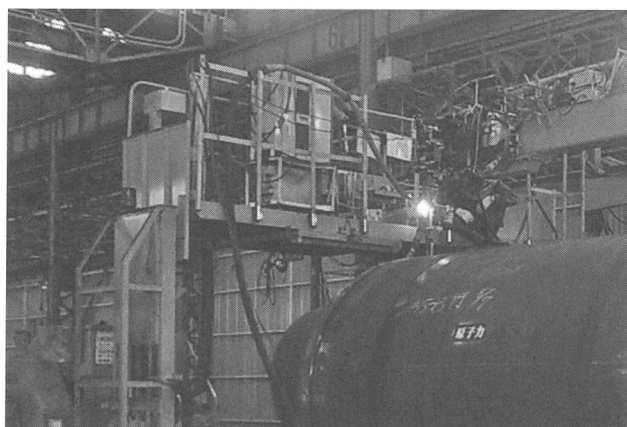


写真 2 タンデムサブマージアーク溶接の適用例

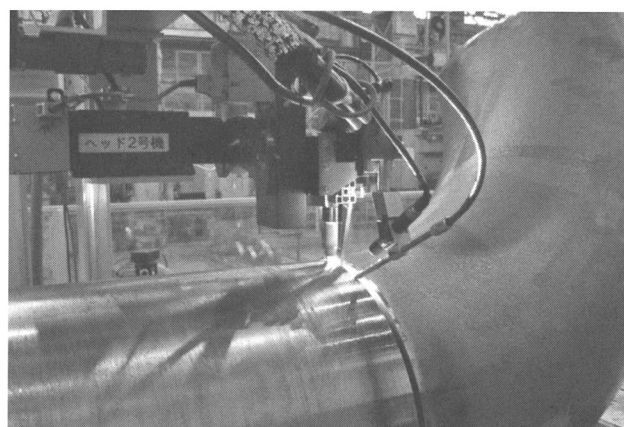


写真 3 配管の狭開先ホットTIG溶接の適用例

溶接を実現している。

◇ 水車ランナ

水力発電機器に用いられる水車ランナは、複数枚の羽根をクラウンとバンドではさみこんだ形状で、羽根間の流路に通水し、ランナを回転させることにより動力を得ている。材質は、現状ほとんどの場合マルテンサイト系ステンレス13Cr-4Ni鋼(SCS6)が採用されている。製造方法としては、従来一体鋳造方式が用いられていたが、現在では信頼性からクラウン・羽根・バンドを溶接にて一体化する溶接構成ランナが主流となっている。また、近年は、大容量化から、径が7m、重量200トンを超える大型ランナが増加している。

溶接法としては、MAG溶接が適用されており、低温割れ防止の観点から予熱が必要となる。溶接材料としては、母材と同じ材質で、全姿勢溶接における溶接作業性ならびに靱性含めた機械的特性に優れたメタル径コワードワイヤを開発し、適用している。近年では、大型化のため現地にて溶接するニーズもあり、写真4に示すようなロボットを用いた自動溶接システムの開発がすすめられている。本自動溶接システムは、オフラインティーチング技術ならびに視覚センサによるセンシング技術を組み合わせ、3次元の複雑な溶接の自動化を可能としている²⁾。

むすび

本稿では、火力および水力発電プラントの代表

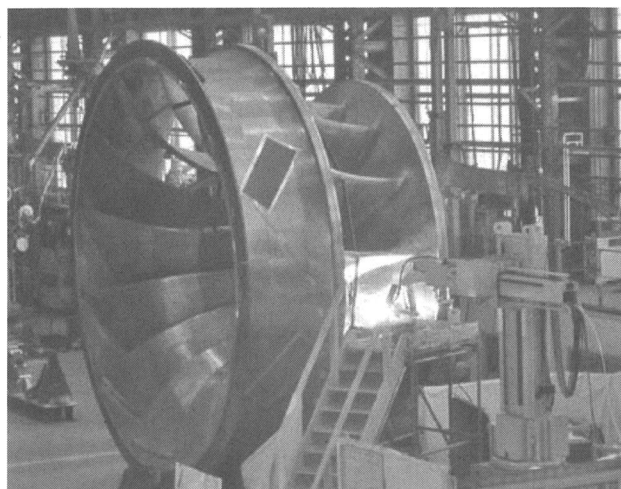


写真4 大型水車ランナへの自動溶接システムの適用例

的機器を対象に、最近の溶接技術の動向について、高能率化、新しい溶接法および自動化の観点から述べた。発電プラントで使用される材料は、非常に幅広く、様々な溶接技術が適用される。今後とも、新材料の開発に伴い、高度な溶接技術が求められることが予想される。

参考文献

- 1) 浅井知、斎藤和宏、村上格：大容量・高温化対応の蒸気タービン溶接構造ロータ、東芝レビュー、Vol.65、No.8 (2010)、P24-27
- 2) 加藤剛、青山和夫、竹林弘之、大嶽達哉、相川徹郎、浅井知：大型水車ランナ向け自動溶接システムの開発、溶接学会秋季全国大会講演概要、2010

6. 金型における肉盛補修溶接技術と今後の展開

大同特殊鋼(株) 研究開発本部 ほり お ひろ つぐ
プロセス技術開発センター 堀 尾 浩 次

まえがき

最近、金型の寿命を延ばすために窒化処理^{1)、2)}、PVD処理^{3)、4)、5)}などの表面処理が盛んに行われている。しかしながら、金型はそれらの技術により損傷しないわけではなく、いずれヒートチェックや摩耗などにより損傷し、使用できなくなる。金型の交換は金型費用の増大および生産停止による生産能率悪化など、製造上大きな負担を強いられる。そこで、金型を延命にするために、金型の肉盛補修溶接が行われる。肉盛補修溶接は使用中に発生する欠陥を補修するだけでなく、トライアルテストにおける度重なる型変更に伴う修正、または、設計および加工ミス of 修正の際にも行われる。

本稿では、現況として、最も多く溶接施工に適用されているTIG (Tungsten Inert Gas) 溶接法を対象とし、ダイカスト用金型およびプラスチック金型の肉盛補修溶接技術について述べる。この技術は、今も昔も変わらない不変的な肉盛補修溶接技術である。加えて、金型溶接技術における今後の展開についても紹介する。

◇ 現況の金型肉盛補修溶接技術

ダイカスト金型、プラスチック金型の肉盛補修溶接において、溶接はもちろんのこと、溶接前の段取り、また、予後熱処理も重要である。基本的な肉盛補修溶接の作業手順を表1に示す。金型の洗浄、整備は重要な作業であり、洗浄を怠り、油脂などが金型の表面に付着していると溶接時にブローホールなどの欠陥を招く。また、金型整備においては、クラックを除去するだけでなく、表面の窒化層(窒化処理部)の除去も必要である。特に金型を解体しない製造ラインにおけるその場肉盛補修溶接においては、短時間の補修が望まれているため、作業が疎かになりがちであるが、良好な溶接を行うために、クラックや窒化層の除去を注意して行わなければならない。

溶接においては、金型の材質、使用環境、肉盛量を考慮し、溶接材料および溶接条件の選定をしなければならない。表2に目安となるTIG手溶接の溶接条件を示す。肉盛量が少ないときには、熱影響を抑制するために溶接電流を低くし、径の細かい溶加棒を使用することが望ましく、一方、肉盛

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	管理ポイント	備考
1	金型解体		
2	金型洗浄	油脂、ゴミ、アルミ類の除去	ブローホールの発生、異物混入の原因となる。
3	金型整備	溶損部、割れ部、窒化層の完全除去	補修金型の性能劣化、ブローホールの発生の原因となる。
4	開先加工	鋭角形状にしない(3R以上)	融合不良の原因となる。
5	予熱	金型材料・溶接材料に応じた熱処理条件	割れ防止
6	溶接		表2の溶接条件を参照
7	検査	外観検査	溶接割れの有無の確認
8	粗加工	重切削、研磨焼けを避ける。	応力発生及び研磨割れ防止
9	後熱	金型材料・溶接材料に応じた熱処理条件	割れ防止、応力除去、硬さ調整
10	精加工	重切削、研磨焼けを避ける。	応力発生及び研磨割れ防止
11	検査	外観検査	溶接割れの有無の確認

表 2 TIG手溶接条件

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 (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

量が多いときには、溶接電流を高くし、溶着量を多くするために、径の太い溶加棒を使用することが望ましい。また、シールドガス流量が過剰であると乱流が発生し、大気の影響によるブローホールが起きやすくなるので、シールドガスの流し過ぎには注意しなければならない。

予後熱処理は、溶接割れおよび溶接歪み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。溶接割れおよび溶接歪みの抑制については、予熱処理および後熱処理が施され、肉盛金属の特性の向上については、後熱処理が施され、予後熱処理は重要な工程となっている。なお、予後熱処理の条件は後で述べる。

1. ダイカスト用金型の肉盛補修溶接技術

ダイカスト金型はJIS G 4404 SKD61が用いられていることが多く、溶接材料として、マルエージング鋼であるMASICまたは共金であるSKD61を使用することが多い。

図1にSKD61金型の溶接後（後熱処理なし）の硬さ分布を示す。MASICの肉盛金属は、硬さが

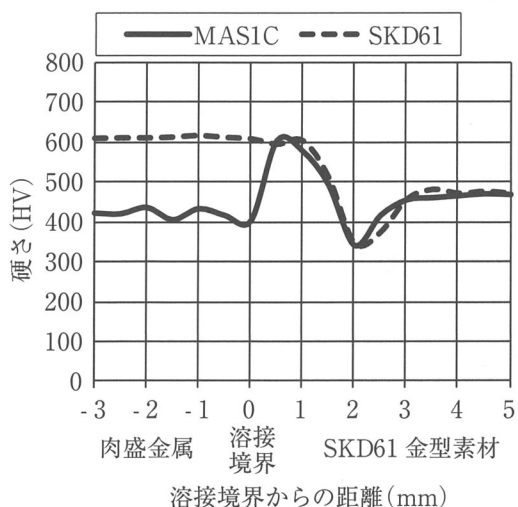


図 1 SKD61金型の肉盛溶接後の硬さ分布（後熱処理なし）

410HV程度であり、SKD61と比較するとかなり低く、硬化による溶接割れ感受性は低いと言える。MASICの肉盛金属の硬さは金型素材の480HVよりも低い、後熱処理（処理温度；約500℃）により、金型素材の硬さとほぼ同等に硬化させることが可能である。ただし、ダイキャスト中に後処理温度の雰囲気となるため、後熱処理を行わない場合もある。

図2⁶⁾にSKD61およびMASICの肉盛金属（後熱処理なし）のヒートチェック試験結果を示す。耐ヒートチェック性においても、MASICの肉盛金属の方がSKD61に比べ、耐ヒートチェック性に優れていることがわかる。溶接割れの感受性が低く、寿命も長いため、MASICが溶接材料として、多く使用されている。

しかしながら、MASICはNiやCoの合金元素を多く含んでいるため、SKD61に比べ、溶接材料が溶融したときの湯流れ性が劣っており、開先形状や溶接姿勢によっては、融合不良が発生しやすくなる。従って、金型形状の制約により、狭開先になる部分や金型解体なしで製造ライン上において、無理な姿勢となる溶接に対しては、SKD61

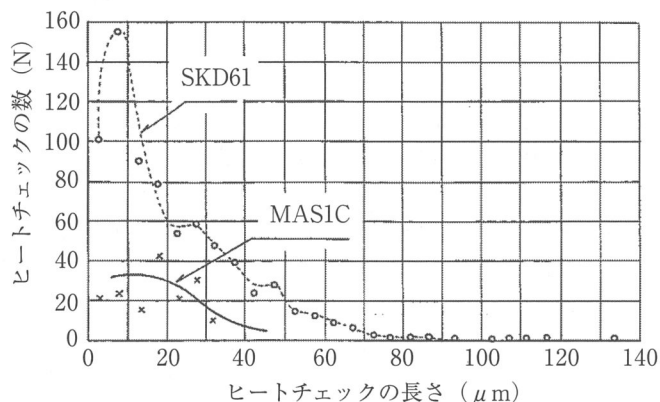


図 2 SKD61及びMASICの肉盛金属のヒートチェック試験結果⁶⁾（後熱処理なし）

が望ましい場合がある。

予熱処理については、溶接割れを防止するために処理温度は高い方が良いが、金型を軟化させないようにする必要性もあり、MAS1Cの溶接材料においては、300～400℃、SKD61の溶接材料においては、400～500℃の処理温度が望ましい。

後熱処理については、溶接による内部応力除去が大きな目的であるため、500～550℃の処理温度が望ましい。

なお、溶接割れが生じにくい小規模の肉盛補修溶接に限り、生産性を考慮し、予熱処理、後熱処理を省略されることがある。

2. プラスチック金型の肉盛補修溶接技術

プラスチック金型は機械構造用鋼JIS G 4051 S55C系、低合金構造用鋼JIS G 4053 SCM445系及びSCM430系、析出硬化鋼3Ni-1Al-1Cu系のプリハードン鋼が多く使われている。各金型に対する推奨溶接材料、推奨予熱処理温度、推奨後熱処理温度及び肉盛金属の硬さ（代表例）を表3に示す。

機械構造用鋼S55C系に対しては、低炭素のSi-Mn系の溶接材料が適しており、予熱処理温度は200～250℃で、後熱処理温度は350～450℃で熱処理を施すことにより、肉盛金属は金型と同等の硬さを得ることができる。

低合金構造用鋼SCM445系、SCM430系に対しては、低炭素の1Cr-0.5Mo系の溶接材料が適しており、予熱処理温度は250～300℃で、後熱処理温度は400～500℃で熱処理を施すことにより、肉盛金属の硬さは金型とほぼ同等の硬さを得ることができる。

析出硬化鋼3Ni-1Al-1Cu系のプリハードン鋼に対しては、金型が析出硬化型の材質であるので共金の溶接材料が適している。また、熱影響部において、析出物が溶接熱により固溶され、組織変化が生じ、歪が大きくなり割れやすくなるため、

予熱処理温度を300～400℃と高めにするのが望ましい。また、後熱処理については、450～500℃で熱処理を施すことが有効である。溶接により固溶化した溶接部は析出硬化し、金型と同等の硬さを得ることができる。

◇ 金型溶接技術における今後の展開

まえがきに記述したが、今後も製造ラインの休止時間を短くさせる高能率の補修溶接が求められると考える。従って、予後熱処理の省略を目的とした溶接歪みを抑制させる入熱を抑えた溶接技術や溶接時間を短くさせる溶着速度が大きい溶接技術が重要なポイントになると考える。以上の2点を踏まえて、金型の溶接に適用可能なTIG溶接、MIG溶接およびレーザー溶接について述べる。なお、レーザー溶接については一部適用が図られている¹⁰⁾。

1. TIG溶接

TIG溶接において、パルスアークを使用すると入熱が抑えられることが知られている。最近のTIG溶接電源⁷⁾はデジタル制御により、安定した高周波のパルス電流を発生させることが可能となっている。高い周波数のパルス電流を使用することにより、ビード幅の狭い溶接部が得られるようになり、熱影響部も少なくすることが可能である。さらに、低い溶接電流でも、アークを維持することができ、より低入熱の溶接が可能である。この溶接電源は、微小なクラックの補修溶接や複雑形状のコーナー部の補修溶接に有効的と考える。

2. MIG (Metal Inert Gas) 溶接

MIG溶接において、デジタル制御のパルス溶接電源により、入熱が抑えられ、また、MIG溶接の弱点であったスパッタの発生が抑制されている。また、低入熱となる低電流において、スパッタの

表 3 プラスチック金型の推奨溶接材料、推奨予後熱処理温度および後熱処理後の肉盛金属硬さ

金型の材質	溶接材料	予熱処理温度	後熱処理温度	金型硬さ (代表例)	後熱処理後の肉盛 金属硬さ(代表例)
S55C系	低炭素Si-Mn系	200～250℃	350～450℃	12 HRC	12 HRC
SCM 445系	低炭素1Cr-0.5Mo系	250～300℃	400～500℃	30 HRC	35 HRC
SCM 430系	低炭素1Cr-0.5Mo系	250～300℃	400～500℃	35 HRC	35 HRC
3Ni-1Al-1Cu系	共金	300～400℃	450～500℃	40 HRC	40 HRC

大半は、溶接ワイヤが母材と短絡し、再アークの際に生じることが分かっている。スパッタを抑制するために、アーク発生時とほぼ同時に溶接電流を急に下げる方法や、ワイヤが母材に短絡したときに、溶接ワイヤを瞬時に後退させ、同時に溶接電流を低くさせるCSC (Controlled Short Circuit)⁸⁾方法やCMT (Cold Metal Transfer)⁹⁾方法が開発されている。MIG溶接法はTIG溶接法よりも、溶着速度が大きいため、短時間の溶接が可能であり、肉盛量が比較的多い場所に適すると考える。

3. レーザ溶接

レーザー溶接においては、ビームスポット径が非常に小さいため、精密金型の複雑形状の溶接補修に最適である。TIG溶接法に比べ、熱影響部が少なく、溶接歪みがわずかである。しかし、溶接ワイヤの線径が大きくなると、ビームスポット径が小さいことにより、欠陥が生じる恐れがある。溶接の健全性を保つためには、ビームスポット径に応じた径の溶接ワイヤが必要である。また、レーザー溶接は溶接ワイヤの他に、粉末を使用する方法¹¹⁾も開発されている。粉末の利点としては、様々な

成分の肉盛が可能となることである。

終わりにあたって、溶接電源はデジタル制御などにより凄まじい勢いで進化している。一方、溶接材料については、その進化に後れをとっている状況である。今後、肉盛金属の特性だけでなく、各種溶接電源にマッチした溶接材料の開発が必要であると思われる。

参考文献

- 1) 平岡泰、井上幸一郎：電気製鋼、81 (2010)、15
- 2) 田村庸、井上謙一、長澤政幸：熱処理、45 (2005)、5、295
- 3) 増田哲也、清水崇行、井上幸一郎：電気製鋼、81 (2010)、5
- 4) 北川俊博、小林善一：電気製鋼、78 (2007)、341
- 5) 川名淳雄：溶接技術、55 (2007)、9、82
- 6) 大同特殊鋼：技術資料No. SD8409a
- 7) The Vacuum Brazing Consultant Group : WELDING AND CUTTING, 8 (2009)、327
- 8) J. Fink : Canadian Welding Association Journal, Summer 2006, 49-52
- 9) K. Himmelbauer: IIW Doc XII-1875-05, 20-27, IIW, 2005
- 10) 澤徹：溶接技術、54 (2006)、3、92。
- 11) A. J. Pinkerton, W. Wang and L. Li : Journal of Engineering Manufacture, 222 (2008)、7、827



7. レールの溶接

財 鉄 道 総 合 技 術 研 究 所 や ま も と り ゅ う い ち
 軌 道 技 術 研 究 部 レール溶接 山 本 隆 一

まえがき

レール継目部を溶接してロングレールにすることで、騒音・振動の低減、軌道保守費の節減、乗り心地の向上などのメリットがある。したがって、日本をはじめとした世界各国においてロングレール化が推進されている。日本ではレール溶接方法として、フラッシュ溶接、ガス圧接、エンクローズアーク溶接、およびテルミット溶接が使用されており、一般に以下の手順でロングレールが作製される。

- ①25mまたは50mの定尺レールをレールセンター（溶接工場）や現場仮設基地で溶接し、200m程度に長尺化する（一次溶接）。
- ②一次溶接した長尺レールを敷設現場の傍に運搬後、さらに溶接して所定の長さにする（二次溶接）。
- ③二次溶接したレールを軌道内に搬入後、その両端を既に敷設されているレールと接合する（三次溶接）。

一次溶接には、生産性が最も高いフラッシュ溶接が、二次溶接には、生産性と使用機器の機動性のバランスに優れたガス圧接が主に適用されている。また、三次溶接では、レールを加圧・圧縮させずに接合できるエンクローズアーク溶接、テルミット溶接が利用される。図1に、JRグループにおける2008年度の各溶接法の適用比率を示す。以下、接合対象であるレール鋼の特性および各レール溶接法の特徴について概説する。

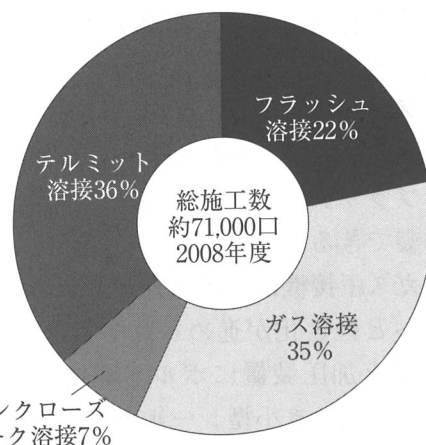


図 1 各レール溶接法の適用比率 (JRグループ)

◇ レール鋼の特性

日本では主にJIS60kgレール（高さ：174mm、断面積：77,500mm²）およびJIS50kgNレール（高さ：153mm、断面積：64,200mm²）が用いられているが、これらは材料面から、普通レール（JIS E 1101）と熱処理レール（JIS E 1120）に大別される。表1に普通レールと日本で適用されている代表的な熱処理レールであるHH340レールの化学成分および機械的特性を示す。レール鋼は、普通レールでも0.7mass%程度の炭素を含有しており、高炭素鋼に属する。

◇ 各レール溶接法の特徴

1. フラッシュ溶接

フラッシュ溶接法は、突合わせ部に大電流を通電することによりフラッシュを強制的に発生させ

表 1 レールの化学成分および機械的特性

	化学組成 (mass%)						機械的特性	
	C	Si	Mn	P	S	Cr	引張強度 (N/mm ²)	伸び (%)
普通レール	0.63 - 0.75	0.15 - 0.30	0.70 - 1.10	0.030 max	0.025 max	-	800 min	10 min
熱処理レール (HH340)	0.72 - 0.82	0.10 - 0.55	0.70 - 1.10	0.030 max	0.020 max	0.20 max	1,080 min	8 min

て部材を加熱し、端面が溶融した時点で強加圧を加えて接合する方法である。本工法は継手の信頼性が高いことおよび生産性が高い（溶接時間：2～3分）ことから、レールセンター内での溶接に適した溶接法である。現在JRグループでは、レールセンター内で実施する溶接のほとんどをフラッシュ溶接法で行っている。写真1に、フラッシュ溶接状況を示す。

2. ガス圧接

ガス圧接法は、レール母材どうしを直接接合するため、フラッシュ溶接法と同様に信頼性の高い継手を作製できる。

レールガス圧接機は、重量約3トンの定置式から可搬式へと軽量化が進められてきた。1986年、レール底部を加圧装置にボルト締結する方式の押抜きせん断機付き小型レールガス圧接機（TGP-HA：本体重量95kg、押抜きせん断機重量65kg）が開発され、溶接施工現場への搬入が人力で行えるようになった。このため、写真2に示すような線路脇でのガス圧接作業（二次溶接）が実施可能となった。

現在のレールガス圧接作業では、圧接開始から終了まで一定の加圧力を保持する加圧方式（定圧法）が採用され、加熱には酸素・アセチレン炎が適用されている。本工法で普通レールを接合する際の工程は以下のとおりである。

- ①レール端面をグラインダ研削し平面にするとともに、錆等の付着物を除去する。
- ②圧接機をレールにセットしレールをクランプ後、レールに軸方向の圧力を付与する。
- ③加熱バーナをセットし、レール突合わせ部を加熱する。レールの圧縮量が24mmに到達した時点で消火し、その後直ちに圧接工程で生じた膨らみを専用の押抜き装置で押し抜く。
- ④矯正機により、接合レールの曲りを熱間で矯正する。
- ⑤接合部の仕上げ作業を行い、冷却後、仕上がり検査を実施する。

本工法によるJIS60kg普通レールの接合時間は6～7分であり、レール頭部中心部の温度は約1250℃に達する。

熱処理レールの場合には、クロム等の合金元素が接合を阻害するため、普通レールよりも圧縮量

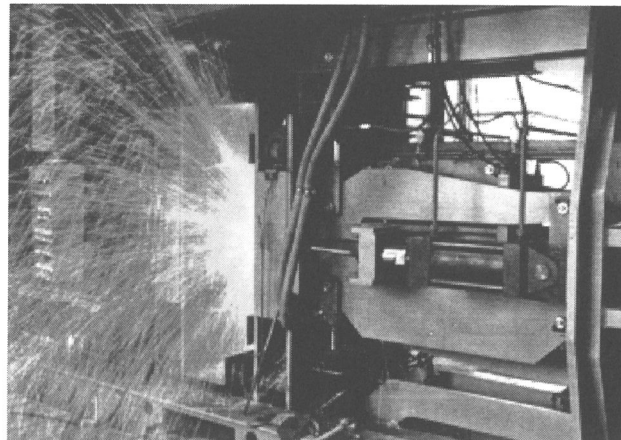


写真1 レールセンター内でのフラッシュ溶接状況

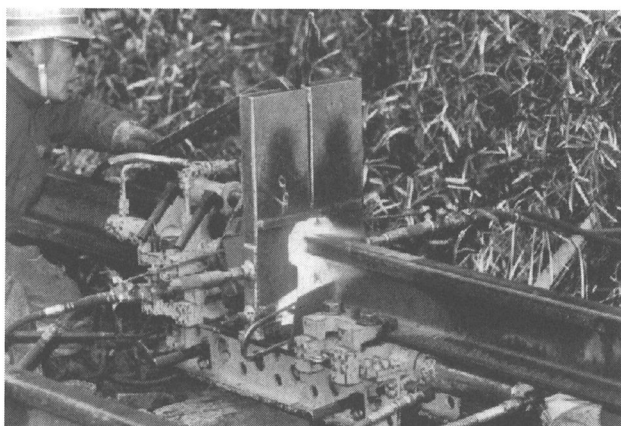


写真2 線路脇でのガス圧接作業

を増大させている。また、熱処理レールのガス圧接部では、レール製造時に強制空冷により高硬化化していたレール頭部の硬度が低下する。よって、列車通過に伴う落ち込みの発生を防止する観点から、圧接終了後に熱処理（再加熱・焼入れ）を施している。

3. エンクローズアーク溶接

本工法は、東海道新幹線建設時に開発された被覆アーク溶接棒による手溶接であり、レール腹部および頭部の溶接時に接合部を銅当金で囲むことからエンクローズアーク溶接法と呼ばれている。フラッシュ溶接法やガス圧接法のように加圧・圧縮する必要がないため、後述するテルミット溶接法と同様にレールを敷設した状態で溶接施工が可能である。図2に普通レールを接合する場合の標準的な積層例を示す。本工法は高度な溶接技量が要求され、接合工程は以下のとおりである。

- ①17mm程度の間隔を設けてレールをセットし、レール底面に銅当金を配置する。

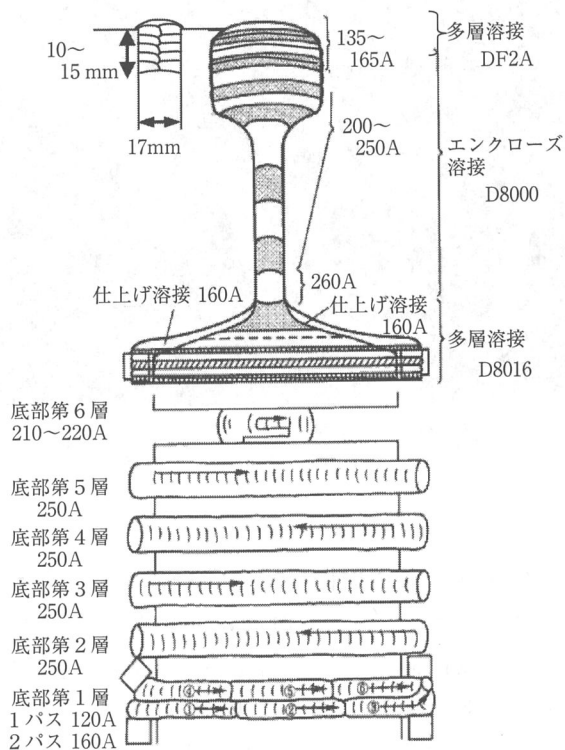


図 2 エンクローズアーク溶接法における積層例 (普通レール)

- ②レール底部の開先両側150mmの範囲を500℃程度に予熱する。
- ③レール底部から溶接を開始する。この過程では、一層毎の溶接で生じたスラグをその都度除去し、次層の溶接を行う被覆アーク溶接法を適用する。
- ④レール底部の多層溶接後、レール底部から頭部のレール形状にほぼ合致した水冷式銅当金で取り囲み、エンクローズアーク溶接を実施する。この過程では、生成するスラグを外側に排除しながら連続的に溶接を行う。
- ⑤頭頂部の約10～15mmを残してエンクローズアーク溶接を中断しスラグ除去を行った後、頭頂部を硬化肉盛棒で多層溶接する。
- ⑥底部上面の仕上げ溶接を行う。
- ⑦接合部の仕上げ作業を行い、冷却後、仕上がりがり検査を実施する。

本工法でJIS60kg普通レールを溶接する場合、溶接時間だけで約60分を要する。近年、φ1.2mmの溶接ワイヤを自動送給する半自動溶接法が実用化されるに至っており、この場合の溶接時間はおよそ30分となる。

4. テルミット溶接

レールのテルミット溶接では、以下に示す酸化鉄のアルミニウム (Al) による還元反応 (テルミット反応) によって得られる溶鋼 (Feが主成分) を接合レール間に設置したモールド (鋳型) に流し込む。



この反応は非常に激しく、溶鋼の温度は2000℃を越える。テルミット溶接は、使用する機器が簡便であり、さらに溶接時間が比較的短いことから、線路閉鎖間合で実施される三次溶接の手段として適している。現在日本では、ドイツのELEKTRO-THERMIT社製のSkV法 (日本ではゴールドサミット溶接と呼ばれている) が主に適用されている。当法の接合工程は以下のとおりである。

- ①レールを切断した後、25mm程度の間隔を設けてレールをセットする。
- ②レールにルツボ (反応容器) および予熱バーナ設置用の治具を取り付ける。
- ③レールにモールドを取り付け、砂詰めを行う。
- ④ルツボをモールド上部に設置した後、ルツボ内へテルミット溶剤を装填する。
- ⑤モールド内に予熱バーナを差し込み、予熱作業を実施する (約2分間)。
- ⑥予熱作業後、モールド上部にプラグを差し込む。その後、ルツボ内のテルミット溶剤に着火することでテルミット反応を開始させ、溶鋼をモールド内へ注入する (図3)。

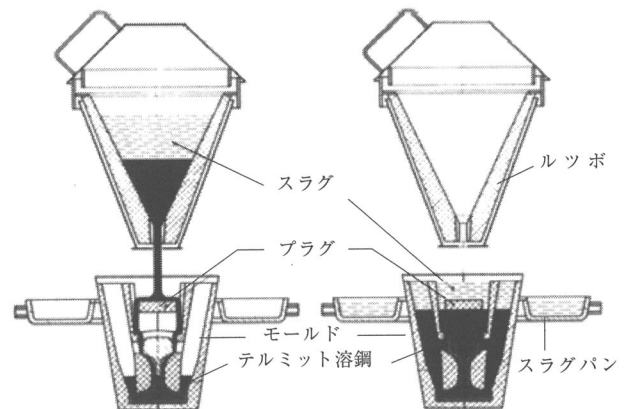


図 3 テルミット溶鋼の注入

⑦溶鋼注入から4分程度静置した後、モールド上部を倒し、レール上方の溶接金属を押抜きせん断機で除去する。

⑧レール頭部の仕上げ作業を行い、溶接部の冷却後、仕上がり検査を実施する。

熱処理レールの施工では、ガス圧接と同様に、レール頭部の硬度分布を改善する目的から、再加熱・焼入れの後熱処理が実施されていた。しかし、現在は、クロム、バナジウム等の合金元素を添加することで溶接ままでも溶接金属の硬さを確保できる溶剤が適用され、後熱処理が不要となっている。

テルミット溶接では、レール表面付近に十分な熱が加わるように、比較的大きい余盛(コブ)を形成させるが、レール腹・底部については余盛をそのまま残した状態で実用に供する。

◇ レール溶接部の仕上がり検査

レール溶接部の損傷は、鉄道の安定輸送に多大な影響を及ぼす。したがって、日本では、レール溶接部の信頼性を確保するため、溶接部全数を対象に仕上がり検査が実施される。なお、適用検査項目は、表2に示すように各溶接部ごとに定められている。

表 2 溶接種別による適用検査項目

溶接種別 検査項目	フラッシュ溶接 ガス圧接	エンクローズアーク 溶接テルミット溶接
外観検査	○	○
浸透探傷検査		○
磁粉探傷検査	○	
超音波探傷検査		○

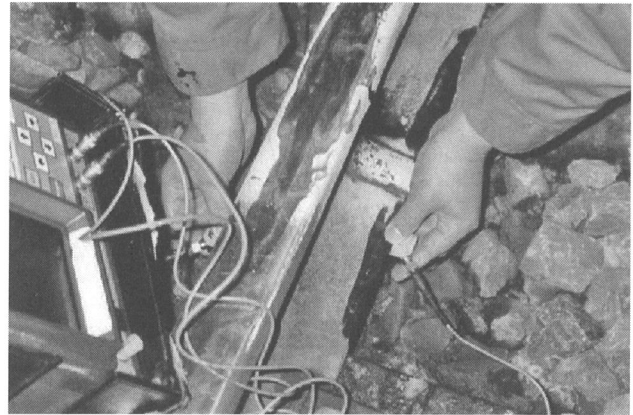


写真 3 二探触子法による超音波探傷検査(テルミット溶接部)

外観検査と浸透探傷検査あるいは磁粉探傷検査の表面検査は、全溶接種別において実施されるが、超音波探傷検査は有害な内部欠陥の発生する可能性のあるエンクローズアーク溶接部およびテルミット溶接部に対して適用されている。超音波探傷検査では、屈折角45°の斜角探触子を一つ使用する一探触子法と二つ使用する二探触子法が用いられる。なお、一探触子法の場合、融合不良のような溶接面に平行な平面欠陥の検出が困難なため、現在ではレール頭部側面および底部側面からの二探触子法(写真3)を重視した検査が実施されている。さらに、二探触子法による欠陥等級分類(エコー高さ)と溶接部の強度特性との関係が明らかになっており¹⁾、これらを基に超音波探傷検査での判定基準が定められている。

参考文献

1) 辰巳他：レール溶融溶接部折損防止のための超音波探傷検査、鉄道総研報告、Vol.9、No.12、pp43-48、1995年12月

8. 航空エンジンにおける接合技術

(株)IHI、航空宇宙事業本部
生産センター生産企画部

つじ
辻

じゅん
純

まえがき

「ジェットエンジン」といわれる航空機用ガスタービンエンジンは、第2次世界大戦後期に実用化された後、航空機の進歩と共に目覚ましい進歩発展を続けて来た結果、現在、航空機用原動機のほとんどを占めている。航空エンジン産業は、高温化、軽量化、高信頼性等の先端技術の集約産業で、その技術波及効果も大きい為、日本の産業高度化に不可欠な産業の一つとして位置付けされる。

世界の航空機旅客輸送量は、2004年時点の過去20年間平均で5.4%の伸びを示して来た。近年の世界同時不況で一時的な減少が見られたものの、徐々に回復の兆候を見せており、また、旅客運賃の低価格化、グローバル化の動きから見て、長期的には年間5%程度の増加基調に戻るものと見られている。

一方、航空エンジンには環境負荷ならびにライフサイクルコストの低減が求められており、軽量化や燃焼温度の高温化、空力性能の向上等が進められて来た。

◇ エンジンの構造と材料

航空エンジンの仕組みは、前面から大量の空気を吸い込み、これを圧縮して燃料と混ぜて燃焼させ、高温・高圧のガスをエンジン後部から噴出することにより、その反力としての推進力を発生させるというものである。図1に、代表的な民間機用航空エンジンの構造と主要構成要素の名称を示す¹⁾。

図2に、航空エンジンの推力重量比と密度と使用材料の構成比率の変遷を示す。軽量材料並びに軽量構造の採用と空力設計技術の向上により、段数の減少が進められてきた結果、密度的にも減少傾向であり、推重比的には8～10の軍用エンジンが実用化されて来た。材料的には初期は耐熱鋼が過半を占めていたが、その大部分がニッケル合金とチタン合金とに置き換えられて、現在はファンおよび低圧圧縮機などの比較的低温部位は、比強度の高いチタン合金やFRPなどが、高圧圧縮機から後ろ側の部分には耐熱性の高い鉄系やニッケル系合金が使用されている。

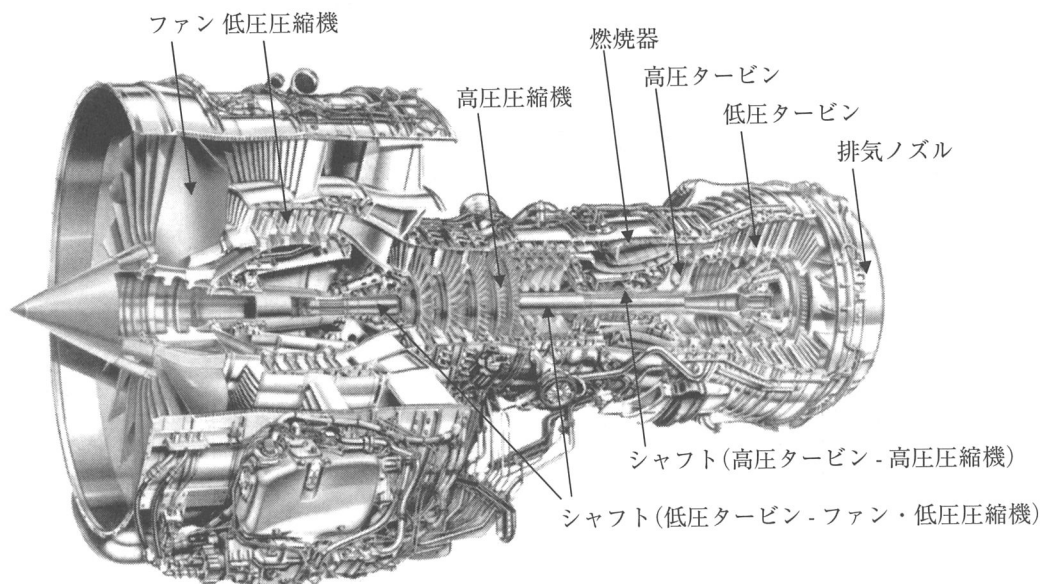


図 1 民間機用航空エンジン構造と主要構成要素 (提供：(財)日本航空機エンジン協会)

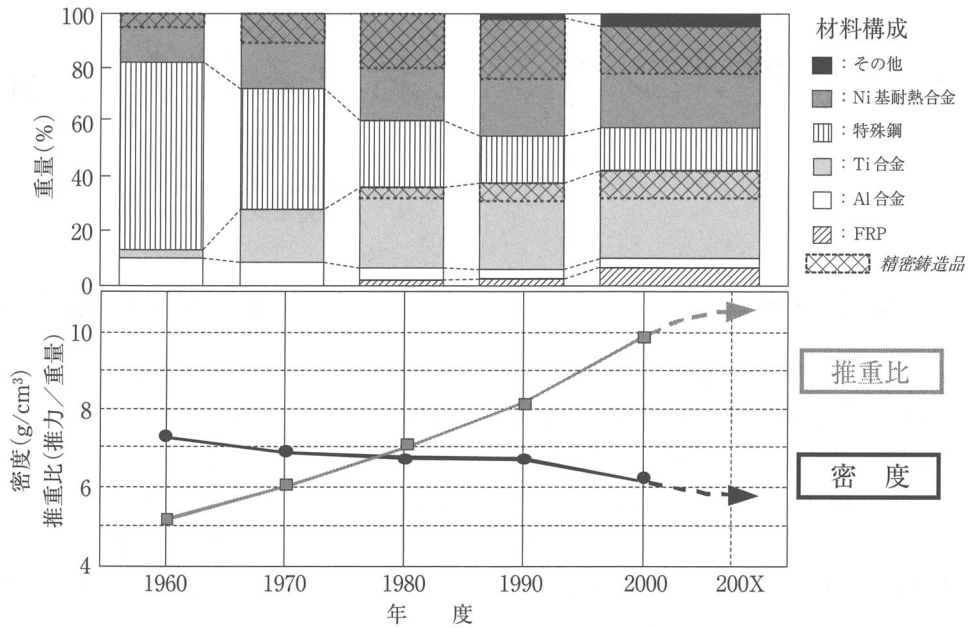


図 2 航空エンジンの推重比、密度と材料構成の変遷

◇ 航空エンジンに適用される
溶接・接合技術

航空エンジンの軽量化、高性能化の要求の基に、溶接構造物には以下の特徴が求められる。

1. 高精度、低歪み
2. 疲労特性における高継手強度と高品質

3. 複雑薄肉構造
 4. 溶融溶接性が悪い (Al+Ti) 含有量の多いニッケル基合金部品の接合
 5. 酸化・窒化しやすいチタン合金部品の接合
- これらの要求に合致するように、エンジン製造では様々な溶接方法が適用されている。航空エンジンに適用される溶接・接合技術を図3に示す。



図 3 航空エンジンに適用される溶接・接合技術

溶融溶接の代表であるアーク溶接の中でも、種々の形状の継手に対して溶け込みの制御が行い易いことや、巻き込みやブローホール等の内部欠陥が出にくいこと並びに設備が低価格である事等から、タングステン・イナートガス溶接（TIG溶接）が最も多く適用されて来た。TIG溶接は、アルミニウム、ステンレス鋼、チタン合金、ニッケル基合金、コバルト合金などの様々な材料の溶接に適用されており、エンジンのファン・フレーム、油圧・空気配管、燃焼器などの組立や、タービン翼の硬化肉盛など多種多様な部品に用いられている。

しかしながら、TIG溶接は突合せ溶接において1パスで貫通溶接できる板厚が2mm程度以下に制約される事や、アーク溶接の特性として溶接変形が比較的大きい事等から、エンジン性能の向上と安定化の要求が進むにつれて、低歪溶接技術の開発、適用が求められている。

厚板部材を低歪でかつ短時間で溶接する方法として、電子ビーム溶接やレーザー溶接が利用されている。電子ビーム溶接は、真空チャンバー中で溶接するため、チャンバーサイズにより溶接部材の大きさが制限されるが、30mmを越える耐熱合金厚板まで酸化や内部欠陥の無い高品質な溶接が可能である。航空エンジンでは、圧縮機のロータースプールやケーシング等の厚板で高品質が要求される部品に適用されている。

一方、レーザー溶接は電子ビーム溶接に近いエネルギー密度が得られる上に、真空チャンバーが必要でない事から部材の大きさに制約を受けない

ため、電子ビーム溶接に代わる低歪溶接方法として適用が広がりつつある。これは、年々レーザー発振器の高出力化が進み、溶け込み能力が深くなっていることもその一因である。図4にファンフレームのレーザー溶接適用例を示す。

抵抗溶接の中でスポット溶接とシーム溶接は、薄板部材の接合に古くから適用されているが、TIG溶接と比べて歪が少ない代わりに、応力集中しやすく疲労特性的には信頼性に欠けることから使用応力の低い継手に適用されてきた。エンジン部品では、アフターバーナーのダクトやフラップ等の静止部品の補強構造に適用されている。また、フラッシュバット溶接は、主に静止部品用のリング素材に適用されている。

摩擦溶接の1種であるイナーシャ溶接は、固相接合のために継手強度が高く、信頼性も高いため、回転体の接合に適用されている。接合後に内外径のバリを除去する必要があるが、電子ビーム溶接と比べて芯ずれが少なく高強度が得られるために、部材の重量軽減効果がある。航空エンジンでは圧縮機のスプールやシャフトに適用されている。また、近年、ディスクと翼を一体化したブリスクリスクという部品を使用するエンジンが増えているが、素材重量の削減や加工時間の短縮を目的として、ディスク部分と翼部分を線形摩擦接合（LFW）にて接合したブリスクリスクが海外で実用化されている（図5）。

固相接合の1種である拡散接合は、母材と同等の強度が得られることから、チタン合金等の部品に適用されている。なお、チタン合金はベータ

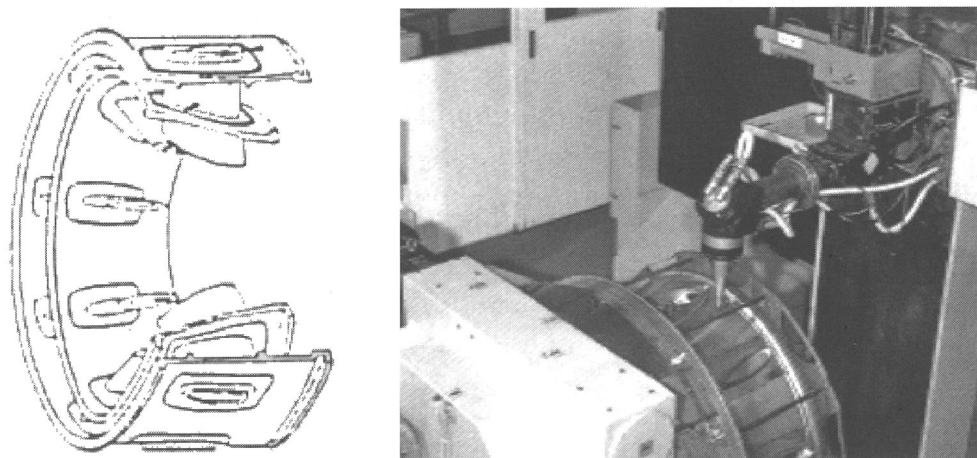


図 4 ファンフレームのレーザー溶接

Linear Friction Welding (LFW)

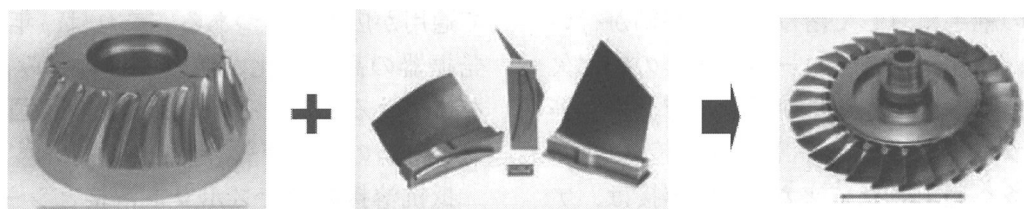


図 5 LFWを用いたブリスクの製造方法²⁾

変態点以下の高温領域で、1000%程度の超塑性を生じて成形性が良くなるため、海外では不活性ガスの圧力を利用して複雑な内部構造を持った中空ファンブレード等の接合・成形同時加工に利用されている。

ろう付けも古くから広く適用されてきた接合方法である。その加熱方法は、アセチレンガストーチ、高周波、炉中など様々であるが、以下の利点を有している。

1. 母材を溶融せずに接合できることから低歪
2. 炉中であれば複雑で多数の継手や部品が一度に接合できる
3. 比較的高強度の重ね継手が得られる

しかし、継手表面の清浄度、ろう付け雰囲気、継手隙間、継手形状設計などに注意しないと欠陥を生じ易い。また、接合する材料や使用環境に応じて、銀ろう、銅ろう、金ろう、ニッケルろう、コバルトろう、チタンろう等から適切なろう材を選定する。

主に複雑形状の薄板組み付け部品の接合に使用され、圧縮機静翼セクター、ハニカムシール、チューブ配管などが代表適用部品である。

航空エンジン部品の接着としては、低温・低圧

部の空気漏出防止のための金属製ケースへのシリコンラバー接着あるいはエポキシ樹脂充填や振動防止用としてファンや圧縮機翼根元部へのシリコンラバー接着あるいは軽量高強度材料として適用拡大しつつあるFRP（繊維強化プラスチック）製静翼の接着組立などがある。

むすび

航空機エンジンの軽量、高出力という特性を最大限に生み出すために、幅広い接合技術が適用されて来た。環境重視の社会の到来に伴い、今まで以上に二酸化炭素の排出量を抑制した新たなエンジンの開発が重要と成ってきているが、鋳物の薄肉化や精密鍛造技術の進歩と競合しながらも、板材の塑性加工技術や低歪接合技術ならびに自動溶接技術の進化を加速して、軽量、高強度部材の製作に挑戦し続けることが重要である。

参考文献

- 1) 青木祥宏：航空エンジンと材料、特殊鋼、55巻、6号
- 2) Rainer Walther：Advanced Engine Technology：Precondition for Economy, Profitability and Environmental Compatibility in Future Civil Air Transportation, Aeronautics Conference, 24. May. 2006

Ⅲ. 最近の溶接・接合関連製品

(株)神戸製鋼所

Ni基合金溶接用

フラックス入りワイヤ

DW-N625, DW-NC276, DW-N82

まえがき

各種化学工業において複雑・多様化する環境下においてステンレス鋼では耐食性が不足することが多く、特に耐酸性、耐孔食性、耐応力腐食割れ性が要求される条件下でNi基耐食合金が広く用いられています。

中でも625系(Ni-22Cr-9Mo-4Nb)、C276系(Ni-15Cr-16Mo-4W-5Fe) および82系(Ni-15.5Cr-8Fe)が汎用的なNi基合金として様々な用途で使用されており、近年ではこれらの溶接材料として能率や作業性に優れたフラックス入りワイヤ(以下FCW)が普及してきています。

◇ 特長と用途

新たに開発したNi基合金溶接用FCWであるDW-N625、DW-NC276およびDW-N82は、2007年新規制定されたアメリカ溶接協会の規格(AWS A5.34)に合致しておりDW-N625とDW-NC276は全姿勢溶接、DW-N82は下向溶接、水平すみ肉溶接専用ワイヤとなっています。FCWの製造サイズは1.2mmφ、シールドガスはAr-20%CO₂の混合ガスを推奨しています。各FCWの溶着金属化学成分と機械性能の一例を表1に示します。

溶接金属は優れた耐食性能に加えて、極低温に

おける靱性や高温における強度も優れていることから、極低温から高温まで幅広く適用されています。一方で、Ni基合金溶接金属の組織は合金成分にかかわらずオーステナイト単層の組織となり、高温割れ感受性(いわゆる凝固割れ)が高い特徴があります。このような点を考慮し、当社製のNi基合金溶接用FCWは、外皮に合金のNi基合金を使用し極力不純物を低減しているため、安定した化学成分と機械性能が得られる事と耐高温割れ性に優れている事が特長となっております。

用途としては、溶接材料と同成分系母材や高耐食スーパーステンレス鋼の継手溶接、クラッド鋼やクラッドパイプの溶接、炭素鋼や低合金鋼上への耐食肉盛溶接等があります。特にFCWを用いる事で、厚板から薄板まで広い電流範囲で溶接が可能となり、自動機と組み合わせた肉盛溶接では大幅な能率向上が期待できます。

Ni基合金溶接用FCWの施工上の注意点としては、基本的にオーステナイト系ステンレスの溶接材料と同様であり、予熱・後熱は特に必要無く、パス間温度は150℃以下を目標に管理する程度です。ただし、高温割れを防止する観点から過剰な高電流、高速度での溶接は避ける必要があります。

また、溶接金属の粘性が高くなじみが悪い傾向がありますので、狭い開先での溶接も注意が必要になります。

むすび

高能率化の観点で、今後Ni基合金FCWの需要は確実に増加すると予想します。材料の特徴をご理解頂き適材適所で使用頂ければ幸甚です。

(株)神戸製鋼所 わたなべ ひろひさ
溶接事業部門技術開発部 渡邊 博久

表 1 Ni基合金FCWの溶着金属性能の一例

	主要な化学成分 (wt%)							機械的性質		
	C	Mn	Ni	Cr	Mo	Fe	Nb	0.2% PS (N/mm ²)	TS (N/mm ²)	El (%)
DW-N625	0.03	0.41	60.8	21.6	9.1	4.1	3.4	475	750	38
DW-NC276	0.02	0.74	57.5	15.5	15.9	6.2	W : 3.6	460	720	48
DW-N82	0.04	3.22	70.2	20.9	-	2.2	2.6	400	660	45

エレクトロガスアーク溶接を用いた建築構造用鋼管柱

まえがき

近年、建築物の大型化に伴い、コンクリートを充填した鋼管柱の採用が増加しつつあります。一般に、鋼管柱と梁とを繋ぐダイアフラムは、炭酸ガスアーク溶接（以下、CO₂溶接）による多層盛り溶接によって鋼管に接合されます。ところが、従来のCO₂溶接では、溶接能率の向上に限界があるとともに、層間に溶接欠陥が発生する等の問題がありました。そこで、片山ストラテック(株)殿、日鐵住金溶接工業(株)と共同で高能率な1パス溶接が可能なエレクトロガスアーク溶接（以下、エレガス溶接）を適用した新しい円形鋼管柱を開発いたしました。

◇ 高能率溶接施工法の特徴

エレガス溶接とは、溶接部の表面を銅板で水冷しながら1回の立向姿勢溶接で完了する施工法です。溶接時の熱量（入熱）は200キロジュール/cmから400キロジュール/cm程度と比較的大きく、CO₂溶接法の約10倍です。

このエレガス溶接を用いた鋼管柱の高能率溶接施工法（図1参照）を開発し、片山ストラテック(株)殿の商品である「EGコラム」に採用しました。エレガス溶接は、船の外板や原油タンクの側板等の溶接に多く適用されていますが、建築構造物に適用したのは世界で初めてです。本溶接施工法は、社団法人日本溶接協会より平成19年度（第38回）技術賞を受賞しました。

「EGコラム」は、高層建築物などに使用される円形鋼管柱で、梁との接合部を補強するダイアフラムと呼ばれる厚銅板と鋼管柱との溶接部に、エレガス溶接が適用されています。従来のCO₂溶接が幾層も溶接する必要があるのに比べ、エレガス溶接は1回（1パス）の溶接で完了するため、柱1本あたりの製作時間を約40%、製作費用を約10～15%削減し、大幅な高能率化とコストダウン

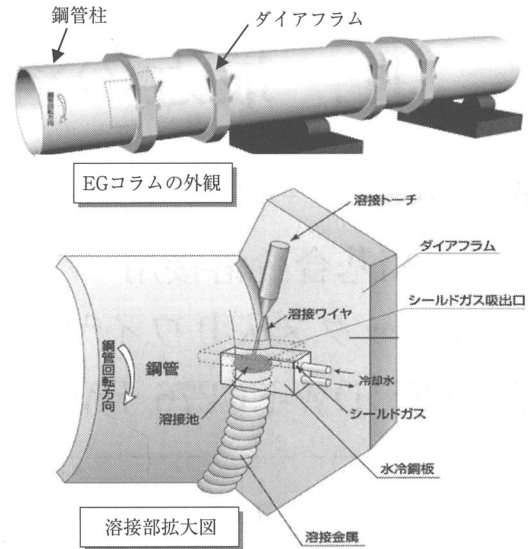


図 1 エレクトロガスアーク溶接法の概要

を実現できました。

◇ 溶接品質の確保

当社が開発した新鋼材「EzWELD鋼」を「EGコラム」に使われる鋼管とダイアフラム部分の厚銅板として提供しています。エレガス溶接は溶接時の入熱が大きいため、従来の材料では金属組織が粗くなりやすく、溶接部の強度・靱性を保つことが困難になります。

「EzWELD鋼」は、建築構造用鋼材として重要な低YR化にも留意しながら、TiN析出物による結晶粒の粗大化抑制効果とともに高度な圧延技術を駆使して金属組織の微細化を実現し、この問題を解決しました。日鐵住金溶接工業が開発した溶接材料「EG-60K」と組み合わせることで、溶接部の強度確保と0℃シャルピー吸収エネルギーが70ジュール以上という高い靱性を実現し、「高能率化」と「溶接品質の確保」の両立が可能となりました。

むすび

「EGコラム」向けの「EzWELD鋼」の販売実績は1万トンを達成し、お客様から高い評価をいただいています。今後の建築物の大型化ニーズに対応すべく製品の適用範囲拡大も実施中であり、製品の魅力を高めながら鉄骨構造の更なる合理化に貢献していきます。

住友金属工業(株) 建設技術部 一戸 康生

大同特殊鋼(株)

排気処理系部品用溶接ワイヤ “WSRシリーズ” 亜鉛めっき鋼板用溶接ワイヤ “Zシリーズ”

◇ 排気処理系部品用溶接ワイヤ “WSRシリーズ”

自動車業界においては、世界的な排ガス規制の強化、燃費向上のための軽量化ニーズが高まり、排気処理系部材には、より耐食性、耐熱性に優れた部材が必要とされている。エンジン排気ポートに直結されるエキゾーストマニホールドは、従来の鋳鉄に代わり、主にフェライト系ステンレス鋼による板金+溶接構造が多く採用されるようになった。さらに触媒コンバータ以降も同様にフェライト系ステンレス鋼のパイプ構造化が進展した。近年は、地球環境保護のため、これらのニーズはさらに高まっており、高温耐食性・強度、熱疲労特性などについて、より高性能な部材が採用されつつある。溶接材料についても、同部材に対応するものが要求されている。

そこで、これら高温強度や耐食性などを確保しつつ、高い溶接作業性が実現可能な溶接ワイヤの検討を行い、排気処理系部品用溶接ワイヤ「WSRシリーズ」を開発した。以下にその特長とライン

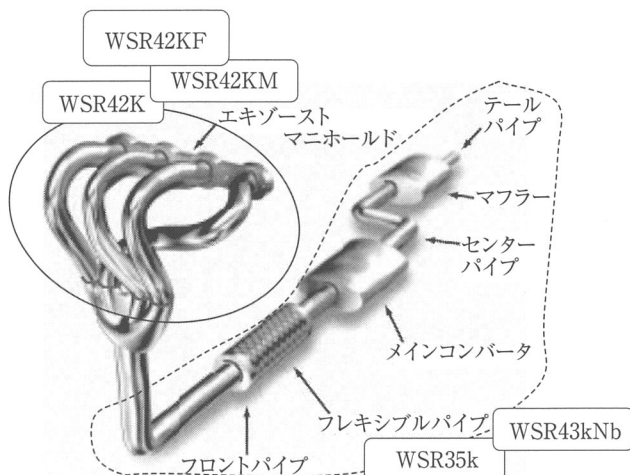


図 1 WSRシリーズラインナップと適用範囲

ナップを紹介する。

WSRシリーズはワイヤ表面に銅めっきを施し、以下のような特長を有している。

(1) 溶接条件範囲が広く、作業性が良好である。
(2) スパッタの発生が少なく、ビードが平滑で美麗である。(3) コンタクトチップの寿命が向上する。

WSRシリーズはWSR42Kをベースとし、高温特性を向上させたWSR42KM、溶接金属の結晶粒微細化を可能にしたWSR42KF、耐食性を向上させたWSR35K、Ar-CO₂系のガスでも耐食性を確保可能なWSR43KNbをラインナップしている。またそれらの適用範囲を図1に示す。

◇ 亜鉛めっき鋼板用溶接ワイヤ “Zシリーズ”

自動車産業においては防錆性の要求の高まりに伴い、防錆性能に優れた亜鉛めっき鋼板の適用が広がっている。また、建築・住宅の分野でも亜鉛めっき鋼板は多く使用されている。しかし、亜鉛めっき鋼板を溶接すると、めっきされている亜鉛の沸点が906℃と低く、溶接のアーク熱で気化してしまう。気化した亜鉛は溶融金属内に浸入し、溶接金属の凝固時に逸出することができなかつたものがピットやブローホールとなってしまふ。また、気化した亜鉛がアークを乱すため、ビード外観が悪く、スパッタも多くなる。これらの問題のため、溶接後の手直しに多くの工数を割いている、というのが現状である。

これらの問題を解決するため、溶融金属の粘性を下げて、溶融金属内に亜鉛蒸気が浸入しても逸出しやすくするようにワイヤ成分を調整し、開発されたのが亜鉛めっき鋼板用溶接ワイヤ「Zシリーズ」で、パルスマグ溶接用に「DD50Z」、CO₂ガス用に「DS1Z」のラインナップがある。

亜鉛めっき鋼板溶接の際は、これら専用の溶接ワイヤを使用するとともに、亜鉛蒸気が溶融金属内に入り込みやすい姿勢(下進溶接など)は避けるようにすることが望ましい。

〔大同特殊鋼(株) ないとう ぶんじ〕
高機能部材事業部 内藤 間治

“特集”編集後記

今回のテーマは、「各産業分野での溶接・接合技術の動向」と題し、約10年振りの特集となりました。皆様のご協力により、溶接技術動向、溶接材料、最近の溶接関連製品など幅広く編集することができました。今回は、総論については企業代表の執筆に加え、研究の立場から大学の先生に解説頂きました。更には、各産業分野での製造プロセスにおける溶接についての現況解説も頂き、実際の現場実態の最新技術を紹介できたのではと思います。

溶接技術は生産加工技術の中心的役割を果たす

技術として、今後もわが国に製造業を支える重要な技術であり続け、益々、環境改善・環境対策を意識した絶え間ない技術開発が活発に行われていくものと考えられます。

最後になりますが、本特集を発刊するにあたり、お忙しい中執筆頂いた皆様、編集に携わって頂きました関係者の皆様に、心からお礼を申し上げます。また、今回の特集号が、少しでも読者皆様のお役に立てば幸いです。

〔新日本製鐵(株) 棒線営業部 出町 仁〕
棒線商品技術グループ

業界のうごき

石原鋼鉄、 工具鋼販売を強化

石原鋼鉄（本社・東京都北区）は、09年度の構造改革によるコスト体質の強化に加えて、主力の工具鋼店売り販売の強化を進めて、11年3月期で3年ぶりの経常黒字化を目指す。

工具鋼需要はピークの07年度比75%程度まで回復するとみて、適正在庫率を維持しながら市場ニーズに応える在庫品ぞろえの充実を図る。09年度売上高は73億3,600万円で08年度比28%減少したが、10年度は前期比25%増の91億4,700万円を見込む。

需要動向は客先によってまだら模様だが、今期は月次黒字でスタートしている。

同社は住友商事-大同特殊鋼系列の大手工具鋼問屋で、冷間工具鋼を中心にプラ型用鋼、熱間工具鋼などを扱う。冷間工具鋼をメインにした品ぞろえは国内最大級で、大同陣営の工具鋼店売りの中核流通として事業展開。住商グループでは他鉄鋼製品部門との連携も積極的に進めている。

（7月2日、鉄鋼新聞）

サハシ特殊鋼、 機械加工分野を強化

サハシ特殊鋼（名古屋市港区）は機械プラント関連で新しく溶接関連設備を拡充、内製化を進めるとともに、タングステンカーバイトを輸入し建機、破碎機の一部パーツを社内で製作するなど機械加工分野の強化を行っており、貿易分野ではベトナム、インドネシアなどにもエリアを拡大。

同社は名古屋地区の有力特殊鋼特約店で、構造用鋼の加工・販売をメインにステンレス鋼や工具鋼なども扱っている。また製缶事業として大型機械プラントの加工、据え付けを行っているほか、中国や韓国企業を対象に鉄鋼製品の輸出入も行って

いる。

こうした中、前営業年度はリーマン・ショックによる機械関連の受注落ち込みで減収と赤字を余儀なくされたが、今営業年度は機械関連では内製化によるコスト削減、生産合理化を進めるとともに貿易部門では中国、韓国以外にも視野を広げ売上高回復を目指す。（7月22日、産業新聞）

住金物産特殊鋼、 品質管理と安全強化

住金物産特殊鋼（本社・大阪市住之江区）は、倉庫の品質管理と安全面を強化している。また最近ユーザーから発行依頼が増えているミルシートの管理を電子化し業務の効率化を図っている。

同社は06年6月に井筒鋼業から営業権の譲渡を受け、住金物産の100%子会社として設立。品質管理では、出荷時の品質管理担当者を置き、再チェックすることで、ユーザーからのクレームがほとんどなくなった。

また昨年9月にはISO9001の認証を取得。「社員の品質に対する認識が変わったことも大きいですが、営業と現場が一体になって1年がかりで認証を取得したので、そこで得た一体感、達成感がモチベーションアップに繋がっている」としている。またミルシートの管理を電子化したシステムを1年ほど前に構築。ユーザーからの発行依頼に迅速でミスのない対応が可能となっている。

（8月5日、鉄鋼新聞）

大和特殊鋼、春日工場 レーザー新設

大和特殊鋼（本社・大阪市西区）は、春日工場にレーザー切断機を1基新設、本格稼働に入った。今年5月に春日から名古屋支店へレーザー切断機を1基移設しており、その代替として新設した。

新設したのは、トルンプ社製のTruLaser5060。出力は7kW。切断可能サイズは、幅が2,100ミリ、長さが6,100ミリ、重量が30トン。従来は長さが4,100ミリまでの対応だったので原板を切断しレーザー切断機で加工していたが、長尺対応が可能となり原板のままレーザー加工ができるため作業効率が向上する。

また、加工ができる厚みも従来の20ミリから30ミリへアップしたが、ユーザーニーズが高く採算性の良い25ミリまでのレーザー加工に活用していく。今井社長は「レーザー切断機の新設で、これまで以上に短納期で切断面がきれいな高品質の加工品を供給できるようになった」としている。

（7月23日、鉄鋼新聞）

ハヤカワカンパニー 東京ロストワックス買収

ハヤカワカンパニーは、7月12付で、ロストワックス製品（精密鋳造品）メーカーの東京ロストワックス工業（本社・新潟県長岡市、社長・本間一夫氏）の全株式を取得してグループ化した。東京ロストワックス工業は今後の事業展開を検討する中、商社機能で幅広い分野に需要家を持つハヤカワカンパニーに経営権を譲渡することで、新しい事業展開を目指すこととなった。

ハヤカワカンパニーは、規格要求の厳しい防衛省の航空機向け精密鋳造品の自社生産を構築すると共に、得意とする航空機、医療機器、一般産業機器向けなどに加えて東京ロストワックス工業が持つ医療機器、環境・エネルギー関連（ガスタービンなど）の技術を生かして受注拡大を図る。

安定した需要先である防衛産業向けの精密鋳造品の拡充を目指した活動をしているところへ今回の経営権譲渡の話が持ち込まれ、決断した。

（8月17日、鉄鋼新聞）

業界のうごき

メタルワン、東南ア拠点強化 鋼材需要増加に対応

メタルワンは、東南アジアの鋼材需要の拡大に対応し、同地域の事業拠点を強化する。溶接鋼管メーカーのインドネシア・スチール・チューブ・ワークス (ISTW) は、二輪・四輪車向けの生産増に向け、新工場を2010年度内に稼働させる。線材2次加工のアイアン・ワイヤ・ワークス・インドネシアも同産業向けに将来的な能力増強を検討。ベトナムでは駐在員事務所の現地法人化を検討しており、加工・販売のネットワークを強くし、成長する需要をとらえる考えだ。

ISWTは丸一鋼管と現地企業との合弁で、ジャカルタとセマランに工場を持ち、09年度に約8万3,000トンを生産した。国内向けが100%で二輪・四輪向けが70%を占める。日系二輪向けで高いシェアを持つ同社は、需要増を受けて新たに切断工場を建設し、溶接ラインの増設も計画している。(7月23日、産業新聞)

リントツ、 半田の老朽設備更新

リントツは、生産設備の老朽化対策と生産合理化を目的に一部加工設備のリプレースを実施する。半田ステンレス加工センターにある2基のドライプラズマ設備を1台にリプレース、8月旧盆明けにも操業を開始する。このほか、レベラー設備のリプレースやキャンパーを導入、さらにステンレス丸棒関係では高速切断機もリプレースする。

同社半田ステンレス加工センターは日本でもトップクラスの加工規模を誇っており、スリッターラインやレベラーライン、プラズマ切断機、レーザ加工機などを構え、月間ベースで1万5,000トン程度の加工を行っている。自動刃組み装置や昨

年には小割スリッターを導入するなど、これまでも設備投資を積極的に進めてきたが、今回は老朽化対策や生産合理化を目的にリプレースを行うもの。7月末から工事に着手し、8月中旬から9月上旬の稼働開始を目指す。(7月29日、産業新聞)

愛知、高性能電子コンパス 商品化

愛知製鋼は、世界的に大ヒットしている携帯電話・スマートフォンをはじめとするIT機器向けに超小型で高性能の電子コンパス「AM1306」を開発したと発表した。

これにより来秋までに岐阜工場(各務原市)の生産水準を現状の10倍となる月間1千万個の体制に引き上げたい考え。

新商品は、大きさが従来品の3分の1、消費電流は同5分の1と極めて小さいながらコンパス(方位磁針)としての精度は同3倍、測定速度は2倍に向上した高性能商品。6月からサンプル出荷を開始し、世界のITハードウェアメーカーから注目を集めている。9月から商業生産を開始する。今後生産するスマートフォンには同コンパスが搭載される見込み。同社では「9月からは月産400万個の生産体制とし、順次生産を拡大する。このため岐阜工場の生産設備を現状の3倍程度に増強することを検討している。」としている。(7月28日、鉄鋼新聞)

神鋼、1万トン鍛造プレス竣工 大形船用向け

神戸製鋼所は、高砂製作所の鑄鍛鋼工場で新1万トン自由鍛造プレスが完成したと発表した。鍛圧室南工場を増築し、新プレス、マニプレータ、加熱炉、熱処理炉、クレーンなど一連の新ラインを構築した。大形長尺品の鍛練に適した世界最高速、高精度の鍛造プレスで、クランク軸

など大形船用製品のほぼ全てを工程完結できる力量とサイズを持つ。高砂の自由鍛造プレスは3基体制になり、4千トンプレスは中小型船用製品の超高速・高精度鍛練に活用し、1万3千トンプレスは大力量が必要な超大形製品鍛練に特化していく。

鑄鍛鋼工場は08年度から総額320億円を投じ設備投資を実施。クランク旋盤など機械加工設備や製鋼～鑄造設備も増強し、低速ディーゼル機関用クランク軸(組立型)で07年度比5割増、中速ディーゼル機関用クランク軸(一体型)で4割増しの供給体制を整えた。(7月27日、鉄鋼新聞)

JFES、高純度Cr系SUS鋼 大形建築向けに拡販

JFEスチールは、ニッケル系(SUS304)代替鋼種の高純度クロム系ステンレス「JFE443CT」について、近くJIS規格を取得するのを機に、国内の公共建築、大型建築向けの拡販に乗り出す。5月に同成分系のSUS443J1がJIS規格化され、443CTも近くJIS化される見込み。

社内で実施した4年間暴露試験では、塩害環境の厳しい沖縄でSUS304を大幅に上回る耐候性を確認。建材だけでなく器物、日用品、産機、電機、自動車材料など幅広い用途に適する特徴を生かして、現行比3割増の月間6千トンを将来目標に据えて販売強化する。

05年8月に商品化し、06年春に本格販売を開始して以来、累計販売量は約12万トン。リーマンショック後は需要低下やニッケル系冷延価格の急落などの影響で大きく落ち込んだが09年夏から回復基調が鮮明になっている。(7月7日、鉄鋼新聞)

住金小倉、新脱リン炉10月稼働 品質ブランド力向上

住友金属小倉は、小倉製鉄所で

業界のうごき

計画通り10月に新脱リン炉を稼働させ、製鋼プロセスの一連の改革を完了する。自動車向け中心に、高級特殊鋼棒鋼の需要が拡大しており、すでに高機能鋼と高純度鋼の製造ラインを分離するなど、生産効率を向上。脱リン炉の導入で脱リンと脱炭を別々の炉で行い、高品質、高効率、低環境負荷を実現し、住友金属小倉のブランド力を高める考えだ。

脱リン炉は10月22日に竣工する予定。上底吹転炉をリンの除去に使い、脱リンと脱炭の2つの反応をそれぞれ最適な条件で精錬することで、リン不純物を8 ppm以下に抑え、精錬時間を短縮し、スラグやCO₂発生を大幅に削減する。

自動車生産の回復を受けて、エンジン部品向けの快削鋼や駆動系部品に使われる合金鋼と軸受鋼の需要が増え、足元の操業は08年度ピーク時の90%強に回復している。

(8月5日、産業新聞)

大同、高性能リング磁石開発 希少金属使用を半減

大同特殊鋼は、子会社で磁石の製造・販売を行うダイドー電子と共同で高磁力と高耐熱性を備えた世界最高性能のネオジム系ラジアル異方性リング磁石を開発し、今秋から出荷を開始すると発表した。

新たな塑性加工法により開発したもので、希少金属であるジスプロシウム(Dy)の使用を約半分(焼結磁石比)で済ませながら最高性能を実現しているのが最大の特徴。今後伸長が見込める自動車向けを中心に産業機械、OA・家電用モータ向けとしても拡販し、2011年度から量産化を目指す。

今回開発したのは、従来品に比べて2割以上の高磁力(43MGOe)を保持できる「ND-43SHR」および同1割以上の高磁力を(39GOe)を保

持できる「ND-39SHR」の2種。ダイドー電子では今期中をめどに中国の大同電工(蘇州)有限公司及び沙井大同電子磁石廠に生産設備を順次導入する。

(7月14日、鉄鋼新聞)

日金工、バースクレーン更新 2千トン級船舶着岸可能に

日本金属工業は、衣浦製造所のバースクレーンを更新したと発表した。これまで主にフェロクロムやフェロニッケルなど原材料の陸揚げに使用していたが、老朽化により安定稼働に支障が生じて、保全負荷が大きくなっていた。輸出向けを中心に製品出荷を陸路から海上輸送にシフトする中で、船積みでの利用も考慮し、取扱い材の単重アップに対応できるように定格荷重を従来の25トンから33トンに拡大した。

日金工衣浦は、08年に海上輸送化によるコスト低減とCO₂排出量削減を図るため、バース改修と周辺の浚渫工事を実施した。バース改修で2千トン級船舶の着岸が可能になり、名古屋港まで陸送していた輸用品の一部を衣浦から船積みできるようになり、輸送費やCO₂発生量の削減が進んだ。

今後は更なる輸送費低減とCO₂排出量削減を図る。(8月23日、鉄鋼新聞)

日立、アモルファス変圧鉄心 リサイクル、量産設備導入

日立金属は廃棄変圧器内のアモルファス鉄心を直接原料としてアモルファス合金を製造するリサイクル技術を開発した。数億円を投じて11年度上期に安来工場内に月間処理能力50トンのパイロットプラントを設置し、アモルファス鉄心のリサイクルに乗り出す。日米でアモルファス変圧器の廃棄が本格化する14年までに、発生量全体を処理可能な大型プラント(月間処理能力数千トン)を安

来工場、関連会社のメトグラス(米国サウスカロライナ州)に導入する計画だ。

同合金を鉄心に使用する変圧器は、無負荷損と呼ばれる電力損失を、方向性電磁鋼板を使用した従来型変圧器の約3分の1に低減できる。変圧器の寿命は使用開始後20~30年程度とされ、日米でアモルファス変圧器の廃棄が今後本格化する見通し。

中国、インド、東南アジアや今後の普及が見込まれる欧州でも将来は廃棄が広がると予想される。

(7月26日、鉄鋼新聞)

三菱、ばね鋼で技術支援 インドネシア電炉と契約

三菱製鋼は、インドネシアの普通鋼電炉メーカーである「ジャティム・タマン・スチール社」とばね平鋼用鋼片に関する技術支援契約を締結すると発表した。

同社はインドネシアのインドスプリング社(ISP)に板ばねの製造を全量委託している(鋼片ベースで月1,500トン~2,000トン)。子会社の室蘭特殊鋼から、ばね鋼の鋼片をインドネシアの単圧メーカー「インドバジャ社」(ISPの子会社)に供給。ISPは、圧延後のばね平鋼を材料に板ばねを製造、三菱製鋼の現地販売会社が日本、東南アジアへ販売している。現地企業に技術支援することで室蘭からの鋼片供給を、現地調達に切り替えることにしており、輸送コスト引き下げによる競争力の強化を図る。

(7月30日、鉄鋼新聞)

おことわり：この欄の記事は、最近月における業界のおよその動向を読者に知らせる目的をもって、本誌編集部において鉄鋼新聞ほか主な業界紙の記事を抜粋して収録したものです。

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	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			
'08 暦年	278,962	5,152,106	4,192,382	9,344,488	509,061	1,047,806	3,209,876	919,300	5,580,765	891,875	12,158,683	21,782,133	
'09 暦年	118,838	2,843,319	2,361,756	5,205,075	290,195	546,103	2,346,002	526,073	3,630,014	607,092	7,945,479	13,269,392	
'08 年度	229,637	4,231,269	3,570,745	7,802,014	409,750	869,298	2,724,499	748,715	4,821,881	780,684	10,354,827	18,386,478	
'09 年度	153,577	3,505,715	2,746,229	6,251,944	356,793	687,413	2,717,181	654,708	4,225,196	678,039	9,319,330	15,724,851	
'09. 7-9月	30,208	820,895	614,653	1,435,548	89,766	160,568	734,385	137,452	945,678	172,190	2,240,039	3,705,795	
10-12月	47,022	1,035,289	805,540	1,840,829	102,727	201,908	753,059	202,624	1,233,237	182,368	2,675,923	4,563,774	
'10. 1-3月	59,085	1,104,834	851,707	1,956,541	105,847	227,555	742,902	205,008	1,328,104	197,508	2,806,924	4,822,550	
4-6月	66,271	1,151,520	903,451	2,054,971	104,548	245,163	802,303	200,723	1,413,920	206,918	2,973,575	5,094,817	
'09年 5月	5,574	185,103	158,761	343,864	21,482	32,025	158,516	36,565	229,310	35,911	513,809	863,247	
6月	6,123	229,443	169,080	398,523	22,075	46,870	188,821	47,331	261,963	46,576	613,636	1,018,282	
7月	9,468	265,639	202,947	468,586	24,923	50,857	232,971	39,713	272,467	54,456	675,387	1,153,441	
8月	10,027	259,688	184,159	443,847	31,585	50,299	250,784	40,430	344,272	60,185	777,555	1,231,429	
9月	10,713	295,568	227,547	523,115	33,258	59,412	250,630	57,309	328,939	57,549	787,097	1,320,925	
10月	15,518	325,289	248,395	573,684	35,911	63,527	267,731	60,263	372,066	57,317	856,815	1,446,017	
11月	16,174	351,324	269,441	620,765	31,688	69,416	231,574	74,411	425,103	61,933	894,125	1,531,064	
12月	15,330	358,676	287,704	646,380	35,128	68,965	253,754	67,950	436,068	63,118	924,983	1,586,693	
'10年 1月	20,147	356,315	281,198	637,513	34,119	71,160	229,579	66,490	434,283	65,018	900,649	1,558,309	
2月	18,679	349,968	266,255	616,223	35,533	73,386	243,236	66,168	389,169	59,553	867,045	1,501,947	
3月	20,259	398,551	304,254	702,805	36,195	83,009	270,087	72,350	504,652	72,937	1,039,230	1,762,294	
4月	21,445	367,904	286,907	654,811	33,836	80,297	265,881	57,593	428,828	70,619	937,054	1,613,310	
5月	21,450	386,567	324,676	711,243	33,398	81,068	258,728	70,828	480,347	59,193	983,562	1,716,255	
6月	23,376	397,049	291,868	688,917	37,314	83,798	277,694	72,302	504,745	77,106	1,052,959	1,765,252	
前 月 比	109.0	102.7	89.9	96.9	111.7	103.4	107.3	102.1	105.1	130.3	107.1	102.9	
前年同月比	381.8	173.0	172.6	172.9	169.0	178.8	147.1	152.8	192.7	165.5	171.6	173.4	

※平成19年1月(2007年1月)の調査区分改正によるステンレス鋼及びその他の計上区分変更に伴い、
以前の値と比較することはできない。 経済産業省調査統計部調べ

形状別

(単位：t)

年 月	形 鋼	棒 鋼	管 材	線 材	鋼 板	鋼 帯	合 計
'08 暦年	397,569	6,883,261	1,685,010	4,446,064	2,303,024	6,067,205	21,782,133
'09 暦年	178,848	3,448,161	1,077,489	2,916,079	1,475,712	4,173,103	13,269,392
'08 年度	316,004	5,631,520	1,588,152	3,692,415	2,174,173	4,984,214	18,386,478
'09 年度	244,335	4,265,765	1,060,842	3,544,893	1,496,432	5,112,584	15,724,851
'09. 7-9月	52,962	958,467	228,063	870,258	323,113	1,272,932	3,705,795
10-12月	73,962	1,249,527	304,823	1,034,913	408,896	1,491,653	4,563,774
'10. 1-3月	86,799	1,371,375	303,740	1,064,270	473,725	1,522,641	4,822,550
4-6月	106,950	1,486,008	322,070	1,070,493	527,506	1,581,790	5,094,817
'09年 5月	6,917	231,863	72,853	193,131	95,455	263,028	863,247
6月	7,921	291,383	53,722	238,999	74,609	351,648	1,018,282
7月	19,444	313,189	75,792	275,653	89,759	379,604	1,153,441
8月	10,920	276,052	71,410	293,265	121,994	457,788	1,231,429
9月	22,598	369,226	80,861	301,340	111,360	435,540	1,320,925
10月	32,260	391,004	104,804	316,265	117,270	484,414	1,446,017
11月	17,657	426,926	90,220	360,911	126,773	508,577	1,531,064
12月	24,045	431,597	109,799	357,737	164,853	498,662	1,586,693
'10年 1月	23,090	433,952	108,986	344,229	160,009	488,043	1,558,309
2月	22,459	439,181	89,231	341,223	118,886	490,967	1,501,947
3月	41,250	498,242	105,523	378,818	194,830	543,631	1,762,294
4月	36,016	461,956	111,837	338,439	164,851	500,211	1,613,310
5月	33,610	499,882	131,012	356,919	165,945	528,887	1,716,255
6月	37,324	524,170	79,221	375,135	196,710	552,692	1,765,252
前 月 比	111.1	104.9	60.5	105.1	118.5	104.5	102.9
前年同月比	471.2	179.9	147.5	157.0	263.7	157.2	173.4

経済産業省調査統計部調べ

特殊鋼熱間圧延鋼材の鋼種別販売(商社+問屋)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 鋼	計	ばね鋼	軸受鋼	ステンレス鋼	快削鋼	高力抗張鋼	その他			
'08 暦年	301,143	4,784,138	7,539,250	12,323,388	249,969	387,676	1,996,132	255,561	70,477	20,039	2,979,854	15,604,385	
'09 暦年	261,505	2,696,629	4,408,121	7,104,750	176,029	297,915	1,783,755	164,114	30,960	15,502	2,468,275	9,834,530	
'08 年度	267,145	4,194,948	7,311,248	11,506,196	224,166	363,475	1,793,103	216,964	60,324	18,002	2,676,034	14,449,375	
'09 年度	321,270	3,015,334	3,932,857	6,948,191	212,180	330,580	1,871,810	188,055	29,854	25,038	2,657,517	9,926,978	
'09年 10月	29,858	287,484	298,626	586,110	21,609	31,179	157,732	19,242	2,560	1,484	233,806	849,774	
11月	30,178	293,688	352,891	646,579	21,411	32,087	161,129	18,581	2,587	1,245	237,040	913,797	
12月	32,741	294,802	273,768	568,570	23,626	33,262	165,797	16,390	2,830	1,278	243,183	844,494	
'10年 1月	33,186	302,066	355,675	657,741	23,393	29,164	166,126	18,429	2,201	1,533	240,846	931,773	
2月	35,519	275,781	275,829	551,610	19,124	31,692	149,199	17,773	2,815	4,467	225,070	812,199	
3月	35,803	300,746	432,967	733,713	20,822	36,524	155,520	20,178	2,939	6,818	242,801	1,012,317	
4月	35,800	295,382	361,254	656,636	20,391	42,970	171,315	20,033	2,457	10,021	267,187	959,623	
5月	38,049	318,654	379,695	698,349	23,237	40,366	168,422	15,592	4,295	6,328	258,240	994,638	
6月	39,230	391,872	470,624	862,496	24,775	41,317	185,658	18,587	5,236	8,129	283,702	1,185,428	
前月比	103.1	123.0	123.9	123.5	106.6	102.4	110.2	119.2	121.9	128.5	109.9	119.2	
前年同月比	222.9	198.0	179.6	187.5	163.7	163.7	144.7	149.6	223.0	675.7	153.6	179.0	

経済産業省調査統計部調べ

特殊鋼熱間圧延鋼材の鋼種別在庫の推移

メーカー在庫

(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 鋼	計	ばね鋼	軸受鋼	ステンレス鋼	快削鋼	高力抗張鋼	その他			
'08 暦年	8,093	158,724	97,363	256,087	20,118	33,335	117,440	34,460	143,757	35,022	384,132	648,312	
'09 暦年	4,601	153,500	91,618	245,118	25,398	31,876	108,939	32,693	131,497	26,428	356,831	606,550	
'08 年度	6,194	115,083	66,501	181,584	15,277	24,709	97,968	25,398	112,391	26,736	302,479	490,257	
'09 年度	4,885	150,279	87,694	237,973	24,585	31,484	114,320	30,093	130,480	23,679	354,641	597,499	
'09年 10月	5,170	125,382	73,989	199,371	26,109	27,154	115,302	28,032	118,895	31,935	347,427	551,968	
11月	4,204	145,974	85,194	231,168	21,800	32,092	96,428	35,428	130,477	28,046	344,271	579,643	
12月	4,601	153,500	91,618	245,118	25,398	31,876	108,939	32,693	131,497	26,428	356,831	606,550	
'10年 1月	6,095	157,404	89,406	246,810	26,102	32,982	95,749	35,998	140,631	33,016	364,478	617,383	
2月	5,504	166,647	93,583	260,230	26,446	33,873	110,024	32,952	158,537	29,624	391,456	657,190	
3月	4,885	150,279	87,694	237,973	24,585	31,484	114,320	30,093	130,480	23,679	354,641	597,499	
4月	6,247	171,504	91,147	262,651	24,314	35,545	113,597	28,184	138,821	36,677	377,138	646,036	
5月	7,011	172,319	98,959	271,278	23,335	32,273	113,956	29,808	137,076	21,569	358,017	636,306	
6月	5,979	156,736	98,096	254,832	21,998	29,704	111,038	30,670	154,613	32,456	380,479	641,290	
前月比	85.3	91.0	99.1	93.9	94.3	92.0	97.4	102.9	112.8	150.5	106.3	100.8	
前年同月比	123.9	123.0	151.2	132.5	137.7	130.4	109.8	94.9	139.5	142.6	124.4	127.5	

経済産業省調査統計部調べ

流通在庫

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 鋼	計	ばね鋼	軸受鋼	ステンレス鋼	快削鋼	高力抗張鋼	その他			
'08 暦年	56,844	205,637	128,710	334,347	14,722	35,480	156,850	24,409	9,735	3,107	244,303	635,494	
'09 暦年	46,236	159,628	123,412	283,040	13,221	47,639	128,676	22,719	6,619	2,075	220,949	550,225	
'08 年度	54,951	214,370	128,586	342,956	13,027	39,411	149,570	23,308	10,923	3,054	239,293	637,200	
'09 年度	37,814	181,341	117,345	298,686	14,797	50,383	128,100	19,782	6,074	1,762	220,898	557,398	
'09年 10月	48,450	168,289	118,602	286,891	12,916	50,015	125,217	22,197	7,152	2,123	219,620	554,961	
11月	46,645	158,911	119,888	278,799	12,827	47,946	126,018	22,041	6,812	1,998	217,642	543,086	
12月	46,236	159,628	123,412	283,040	13,221	47,639	128,676	22,719	6,619	2,075	220,949	550,225	
'10年 1月	45,539	170,407	119,554	289,961	13,447	44,265	132,101	24,150	6,383	1,830	222,176	557,676	
2月	44,586	166,621	117,819	284,440	12,967	47,438	129,422	20,040	6,219	1,734	217,820	546,846	
3月	37,814	181,341	117,345	298,686	14,797	50,383	128,100	19,782	6,074	1,762	220,898	557,398	
4月	45,493	170,696	123,487	294,183	13,051	48,640	131,159	19,742	5,901	1,813	220,306	559,982	
5月	49,962	197,401	130,219	327,620	17,683	52,187	134,207	20,787	5,655	1,709	232,228	609,810	
6月	52,683	198,385	130,345	328,730	18,296	50,430	134,344	19,046	5,983	1,606	229,705	611,118	
前月比	105.4	100.5	100.1	100.3	103.5	96.6	100.1	91.6	105.8	94.0	98.9	100.2	
前年同月比	91.4	101.9	98.0	100.3	143.9	99.5	101.4	79.4	64.2	55.6	99.0	99.0	

※平成19年1月(2007年1月)の調査区分改正によるステンレス鋼及びその他の計上区分変更に伴い、以前の値と比較することはできない。

経済産業省調査統計部調べ

特殊鋼熱間圧延鋼材の輸出入推移

輸出

(単位：t)

年 月	工具鋼	構造用鋼			特殊用途鋼				その他の鋼			特殊鋼鋼材合計
		機械構造用炭素鋼	構造用合金鋼	計	ばね鋼	ステンレス鋼	ピアノ線材	計	高炭素鋼	その他合金鋼	計	
'08 暦年	32,843	379,948	390,630	770,578	165,106	1,343,517	151,537	1,660,160	15,521	3,429,596	3,445,117	5,908,698
'09 暦年	13,363	275,179	267,637	542,816	102,049	1,048,255	111,808	1,262,112	11,528	2,994,593	3,006,121	4,824,411
'08 年度	28,901	304,491	342,106	646,597	139,784	1,171,599	121,168	1,432,550	15,941	3,138,723	3,154,664	5,262,713
'09 年度	15,360	370,560	330,811	701,371	128,094	1,137,044	137,736	1,402,874	11,838	3,591,192	3,603,030	5,722,634
'09年 10月	1,359	37,417	28,575	65,992	12,409	107,139	5,544	125,092	842	304,938	305,780	498,223
11月	1,210	28,354	30,483	58,837	12,083	95,494	12,147	119,724	620	312,989	313,609	493,380
12月	1,449	46,747	44,573	91,320	16,642	100,502	20,700	137,844	1,226	395,587	396,813	627,425
'10年 1月	1,476	30,808	38,348	69,156	11,364	85,645	15,451	112,461	1,041	369,377	370,418	553,511
2月	1,944	43,348	34,109	77,457	14,758	89,586	16,180	120,524	1,083	375,318	376,402	576,327
3月	2,350	55,941	43,604	99,546	17,110	102,280	13,876	133,266	1,295	455,535	456,830	691,992
4月	2,359	42,144	49,301	91,445	15,902	108,187	18,547	142,636	1,485	387,684	389,169	625,610
5月	2,094	49,625	41,409	91,034	14,340	120,324	12,024	146,687	1,159	419,810	420,970	660,785
6月	2,401	48,233	43,837	92,070	16,051	118,976	11,633	146,660	1,612	491,471	493,083	734,214
前月比	114.6	97.2	105.9	101.1	111.9	98.9	96.7	100.0	139.0	117.1	117.1	111.1
前年同月比	346.2	304.0	252.1	276.9	211.6	136.8	181.3	145.3	150.9	186.6	186.4	183.8

財務省通関統計

輸入

年 月	工具鋼	ばね鋼	ステンレス鋼					計	快削鋼	その他の鋼			合計
			形鋼	棒鋼	線材	鋼板類	鋼管			高炭素鋼	合金鋼	計	
'08 暦年	4,473	1,090	257	6,633	10,173	112,107	6,170	135,341	10	7,874	55,741	63,614	204,527
'09 暦年	2,723	735	476	8,883	8,920	98,080	5,442	121,801	5	8,438	47,544	55,982	181,246
'08 年度	4,085	997	337	6,429	10,403	104,680	6,463	128,312	12	6,784	61,678	68,462	201,869
'09 年度	2,614	730	599	9,553	9,211	108,609	5,784	133,755	4	8,814	47,973	56,787	193,890
'09年 10月	171	60	15	620	1,057	12,156	417	14,264	2	247	3,825	4,072	18,570
11月	283	105	34	978	584	9,148	427	11,171	-	5,070	2,880	7,949	19,508
12月	257	74	60	597	881	8,235	536	10,308	-	743	1,986	2,730	13,368
'10年 1月	305	63	68	813	1,118	10,653	778	13,430	-	207	5,882	6,090	19,887
2月	142	72	142	507	722	8,082	486	9,939	1	117	2,683	2,799	12,952
3月	246	64	62	753	601	10,876	587	12,878	-	807	8,416	9,223	22,411
4月	471	117	84	854	1,299	10,600	566	13,402	1	236	8,481	8,717	22,708
5月	278	79	48	766	677	10,221	573	12,285	-	209	8,094	8,303	20,945
6月	385	62	121	1,079	768	14,990	612	17,569	-	1,160	20,558	21,718	39,734
前月比	138.6	78.9	255.5	140.8	113.4	146.7	106.7	143.0	-	555.1	254.0	261.6	189.7
前年同月比	118.5	144.1	507.7	104.6	115.1	217.0	138.0	193.6	-	829.0	1,024.4	1,011.7	342.9

財務省通関統計

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		建設機械生産		産業車輦生産		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		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			
'08 暦年	11,575,644	1,508,399	6,727,091	658,218	5,082,235	839,259	9,249	149,228	174,025	17,501	116,022	65,866	13,011
'09 暦年	r7,934,057	r985,101	3,616,168	315,507	4,609,256	672,943	2,135	44,395	71,554	6,843	84,762	41,508	4,118
'08 年度	r10,005,637	1,329,877	5,602,813	557,515	4,700,779	776,925	7,300	115,902	145,424	14,381	106,168	56,201	9,690
'09 年度	r8,864,908	r1,062,598	4,086,631	354,985	4,880,264	692,034	2,183	53,520	77,916	7,454	84,337	46,010	5,471
'09年 10月	r820,861	97,697	376,281	34,597	396,047	55,610	206	4,858	6,917	950	6,982	3,060	469
11月	r859,622	98,646	394,628	33,884	436,534	66,928	220	4,909	6,952	874	6,463	3,032	474
12月	r788,015	r93,201	400,827	36,311	372,609	50,328	176	5,422	6,623	701	7,460	3,371	602
'10年 1月	r753,734	89,722	340,421	31,205	366,668	45,956	230	5,457	6,539	672	7,230	4,792	551
2月	r841,769	100,014	381,407	35,885	458,224	61,120	279	6,370	7,855	683	6,955	3,157	648
3月	r945,220	110,768	422,802	39,572	674,493	91,462	267	7,849	9,501	718	7,329	7,974	758
4月	r731,729	94,884	391,540	34,284	352,465	53,249	289	6,985	7,773	662	7,619	2,758	808
5月	708,453	92,040	340,721	31,146	356,147	54,778	297	6,347	7,829	565	6,929	2,054	806
6月	861,045	111,151	445,387	41,676	448,831	70,746	457	8,840	9,530	764	7,040	3,890	837
前月比	121.5	120.8	130.7	133.8	126.0	129.2	153.9	139.3	121.7	135.2	101.6	189.4	103.9
前年同月比	125.9	139.9	138.7	181.7	117.4	114.0	343.6	301.7	163.7	140.7	97.8	103.2	239.5

出所：日本自動車工業会、経済産業省、総務省、産業機械工業会、工作機械工業会

特殊鋼流通統計総括表

2010年 6月分

鋼種別	月別 項目	実数 (t)	前月比 (%)	前年同 月比(%)	1995年基準 指数(%)	1987~2010年随時				
						年月	ピーク時	年月	ボトム時	
工 具 鋼	生産高	23,376	109.0	381.8	105.2	91.3	29,286	09.4	5,565	
	輸出船積実績	2,401	114.6	346.2	67.0	87.3	10,368	09.6	693	
	販売業者	受入高計	41,951	98.7	184.6	203.9	10.4	43,479	09.2	10,035
		販売高計	39,230	103.1	222.9	192.5	10.6	39,230	09.2	13,875
		消費者向	22,315	107.2	228.4	237.7	10.6	22,315	09.2	6,438
		在庫高計	52,683	105.4	91.4	146.2	09.6	57,658	87.10	31,813
生産者工場在庫高	5,979	85.3	123.9	53.3	91.10	17,876	09.12	4,601		
総在庫高	58,662	103.0	93.9	124.1	08.12	64,937	88.1	41,105		
構 造 用 鋼	生産高	688,917	96.9	172.9	126.9	08.10	827,404	09.2	269,906	
	輸出船積実績	92,070	101.1	276.9	543.9	10.6	92,070	92.1	10,222	
	販売業者	受入高計	863,606	118.0	189.2	261.4	08.10	1,157,330	98.8	257,445
		販売高計	862,496	123.5	187.5	263.0	08.10	1,134,981	99.8	253,971
		消費者向	441,450	102.5	165.1	206.6	08.10	670,656	98.8	166,732
		在庫高計	328,730	100.3	100.3	136.8	09.2	346,348	87.10	169,822
生産者工場在庫高	254,832	93.9	132.5	85.1	97.11	320,394	09.4	176,539		
総在庫高	583,562	97.4	112.2	108.1	08.12	590,665	87.12	427,189		
ば ね 鋼	生産高	37,314	111.7	169.0	87.7	89.3	60,673	09.2	10,159	
	輸出船積実績	16,051	111.9	211.6	126.8	06.5	27,829	09.4	3,629	
	販売業者	受入高計	25,388	91.1	172.6	170.1	08.4	26,487	09.4	6,202
		販売高計	24,775	106.6	163.7	166.3	08.4	25,355	09.4	6,339
		消費者向	8,096	113.9	204.7	65.2	90.10	23,876	09.4	2,550
		在庫高計	18,296	103.5	143.9	575.7	10.6	18,296	03.9	1,534
生産者工場在庫高	21,998	94.3	137.7	68.5	95.12	41,374	09.4	15,541		
総在庫高	40,294	98.2	140.5	114.1	96.3	45,219	02.9	23,836		
ス テ ン レ ス 鋼	生産高	277,694	107.3	147.1	102.8	07.3	330,543	09.2	116,542	
	輸出船積実績	118,976	98.9	136.8	117.0	05.3	152,476	90.1	27,286	
	販売業者	受入高計	185,795	108.4	148.5	123.7	06.5	587,740	09.2	88,978
		販売高計	185,658	110.2	144.7	124.3	06.5	587,941	09.2	88,740
		消費者向	65,352	111.3	141.0	114.7	06.1	292,191	87.1	34,263
		在庫高計	134,344	100.1	101.4	121.5	01.10	169,096	87.3	51,419
生産者工場在庫高	111,038	97.4	109.8	75.4	02.4	188,988	09.6	94,564		
総在庫高	245,382	98.9	105.0	95.2	01.10	352,013	88.4	191,203		
快 削 鋼	生産高	72,302	102.1	152.8	81.6	88.3	116,819	09.2	22,054	
	販売業者	受入高計	16,846	101.3	112.2	100.1	06.9	25,874	04.9	7,949
		販売高計	18,587	119.2	149.6	112.3	08.4	26,351	09.2	10,358
		消費者向	17,597	115.7	143.8	123.7	08.4	23,235	04.9	9,649
		在庫高計	19,046	91.6	79.4	83.2	07.8	27,861	87.1	9,364
	生産者工場在庫高	30,670	102.9	94.9	136.4	87.1	43,166	01.12	17,975	
総在庫高	49,716	98.3	88.3	109.6	06.5	69,020	02.3	31,448		
高 抗 張 力 鋼	生産高	504,745	105.1	192.7	215.5	07.3	513,596	87.2	151,890	
	販売業者	受入高計	5,564	137.4	345.4	44.9	90.2	18,841	09.8	1,572
		販売高計	5,236	121.9	223.0	42.4	90.10	18,863	09.8	2,035
		消費者向	3,305	115.8	166.6	61.4	90.10	9,573	09.8	1,711
		在庫高計	5,983	105.8	64.2	45.2	99.12	20,289	02.12	5,895
	生産者工場在庫高	154,613	112.8	139.5	92.3	87.6	204,893	99.11	99,475	
総在庫高	160,596	112.5	133.7	88.8	01.5	217,711	06.3	110,555		
そ の 他	生産高	160,904	114.7	172.2	68.7	-	-	-	-	
	販売業者	受入高計	47,586	94.9	183.1	384.2	-	-	-	-
		販売高計	49,446	105.9	187.0	400.5	-	-	-	-
		消費者向	31,803	100.8	136.4	590.8	-	-	-	-
		在庫高計	52,036	96.5	97.1	392.7	-	-	-	-
	生産者工場在庫高	62,160	115.4	136.5	37.1	-	-	-	-	
総在庫高	114,196	106.0	115.2	63.2	-	-	-	-		
特 殊 鋼 材 合 計	熱延鋼材生産高合計	1,765,252	102.9	173.4	131.0	07.3	1,942,468	09.2	697,318	
	鋼材輸出船積実績計	734,214	111.1	183.8	218.8	10.6	734,214	87.1	153,788	
	販売業者	受入高計	1,186,736	113.6	179.3	207.2	06.5	1,516,366	87.1	435,213
		販売高計	1,185,428	119.2	179.0	208.4	08.6	1,512,463	87.5	442,211
		消費者向	589,918	104.1	161.6	175.2	08.6	926,258	98.8	267,392
		在庫高計	611,118	100.2	99.0	138.2	09.2	647,470	87.10	290,674
生産者工場在庫高	641,290	100.8	127.5	84.1	98.1	839,861	97.3	425,932		
総在庫高	1,252,408	100.5	111.8	104.0	01.5	1,355,516	97.1	873,633		

出所:経済産業省 大臣官房調査統計部

- 注 1. 総在庫高とは販売業者在庫高に生産者工場在庫高を加算したもの。生産者工場在庫高は熱延鋼材のみで、冷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。
 2. 1987~2010年のピーク時とボトム時とは、最近の景気循環期間中の景気変動の大ききの指標を示す。
 3. 「その他」のピーク時、ボトム時は掲載せず
 4. 平成19年1月(2007年1月)の調査区分改正によるステンレス鋼及びその他の計上区分変更に伴い、以前の値と比較することはできない。

倶楽部だより

(平成22年6月21日～8月20日)

市場開拓調査委員会

- ・第1回調査WG (7月26日)
「中国・インドの自動車部品及び建設機械部品の現地調達動向」(仮題)の調査内容の検討
- ・説明会 (7月2日)
「わが社の誇れるONLY ONE、NO.1製品」
講師：各メーカー担当者
参加者：140名

流通委員会

- ・工具鋼分科会 (8月4日)
- ・説明会 (6月29日)
「平成22年度第2・四半期の特殊鋼需要見通し」
講師：経済産業省製造産業局鉄鋼課課長 補佐 桑原靖雄氏
参加者：40名

編集委員会

- ・小委員会 (7月21日)
11月号特集「金型材料」(仮題)の編集内容の検討
- ・本委員会 (7月27日)

11月号特集「金型材料」(仮題)の編集方針、内容の確認

【大阪支部】

委員会

- ・運営委員会 (7月16日)
- 説明会 (7月9日)
「クリーンエネルギー車の動向」調査報告書の解説
講師：神鋼リサーチ(株) 産業技術情報センター 主任研究員 小川 徹氏
参加者：69名

【名古屋支部】

部会

- ・構造用鋼部会 (7月16日)
- ・ステンレス鋼部会 (7月23日)
- ・工具鋼部会 (7月28日)
- 説明会 (7月5日)
「クリーンエネルギー車の動向」調査報告書の解説
講師：神鋼リサーチ(株) 産業技術情報センター 主任研究員 小川 徹氏
参加者：80名

社団法人特殊鋼倶楽部 会員会社一覧

(社名は50音順)

<p>[会 員 数]</p> <p>(正 会 員)</p> <p>製造業者 28社</p> <p>販売業者 110社</p> <p>合 計 138社</p> <p>(賛 助 会 員) 0社</p>	【販売業者会員】		
<p>【製造業者会員】</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>吾 妻 金 属 (株)</p> <p>新 井 ハ ガ ネ (株)</p> <p>栗 井 鋼 商 事 (株)</p> <p>石 原 鋼 鉄 (株)</p> <p>伊 藤 忠 丸 紅 鉄 鋼 (株)</p> <p>伊 藤 忠 丸 紅 特 殊 鋼 (株)</p> <p>井 上 特 殊 鋼 (株)</p> <p>植 田 興 業 (株)</p> <p>(株) U E X</p> <p>碓 井 鋼 材 (株)</p> <p>ウ メ ト ク (株)</p> <p>扇 鋼 材 (株)</p> <p>岡 谷 鋼 機 (株)</p> <p>カ ネ ヒ ラ 鉄 鋼 (株)</p> <p>兼 松 (株)</p> <p>兼 松 ト レ ー デ ィ ン グ (株)</p> <p>(株) カ ム ス</p> <p>(株) カ ワ イ ス チ ー ル</p> <p>川 本 鋼 材 (株)</p> <p>北 島 鋼 材 (株)</p> <p>ク マ ガ イ 特 殊 鋼 (株)</p> <p>ケ ー ・ ア ン ド ・ アイ 特 殊 管 販 売 (株)</p> <p>小 山 鋼 材 (株)</p> <p>佐 久 間 特 殊 鋼 (株)</p> <p>櫻 井 鋼 鉄 (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 鉄 (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 鉄 (株)</p> <p>神 鋼 商 事 (株)</p> <p>住 金 物 産 (株)</p> <p>住 金 物 産 特 殊 鋼 (株)</p> <p>住 商 特 殊 鋼 (株)</p> <p>住 友 商 事 (株)</p> <p>大 同 興 業 (株)</p> <p>大 同 マ テ ッ ク ス (株)</p> <p>大 洋 商 事 (株)</p> <p>大 和 興 業 (株)</p> <p>大 和 特 殊 鋼 (株)</p> <p>(株) 竹 内 ハ ガ ネ 商 行</p> <p>孟 鋼 鉄 (株)</p> <p>田 島 ス チ ー ル (株)</p> <p>辰 巳 屋 興 業 (株)</p> <p>中 部 ス テ ン レ ス (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 ィ ー ル (株)</p> <p>東 京 貿 易 金 属 (株)</p> <p>(株) 東 信 鋼 鉄</p> <p>特 殊 鋼 機 (株)</p> <p>豊 田 通 商 (株)</p> <p>中 川 特 殊 鋼 (株)</p> <p>中 野 ハ ガ ネ (株)</p> <p>永 田 鋼 材 (株)</p> <p>名 古 屋 特 殊 鋼 (株)</p> <p>ナ ス 物 産 (株)</p> <p>南 海 鋼 材 (株)</p> <p>日 輪 鋼 業 (株)</p> <p>日 金 ス チ ー ル (株)</p> <p>日 鐵 商 事 (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 ア ド メ ッ ト (株)</p> <p>日 立 金 属 工 具 鋼 (株)</p> <p>(株) 日 立 ハ イ テ ク ノ ロ ジ ー ス</p> <p>(株) 平 井</p> <p>(株) 福 岡 ハ ガ ネ 商 店</p> <p>藤 田 商 事 (株)</p> <p>古 池 鋼 業 (株)</p> <p>(株) プ ル ー タ ス</p> <p>(株) 堀 田 ハ ガ ネ</p> <p>(株) マ ク シ 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>三 菱 商 事 ユ ニ メ タ ル ズ (株)</p> <p>宮 田 ス テ ン レ ス (株)</p> <p>(株) メ タ ル ワ ン</p> <p>(株) メ タ ル ワ ン チ ュ ー プ 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 / グローバル化に対応する プラスチック金型用鋼

- I. はじめに
- II. プラスチック金型を取り巻く動向
- III. プラスチック金型関連の新技术
- IV. 金型材料の動向
- V. 会員メーカーのプラスチック関連製品・技術
- VI. 工具鋼のブランド対照表

1月号特集予定…特殊鋼の歴史を振り返る

特 殊 鋼

第 59 卷 第 5 号
© 2 0 1 0 年 9 月
平成22年8月25日 印 刷
平成22年9月1日 発 行

定 価 1,200円 送 料 100円
1年 国内7,200円 (送料共)
外国7,860円 (“ 、船便)

発 行 所
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>
振替口座 00110-1-22086

編集発行人 秋 山 芳 夫
印刷人 猪 俣 公 雄
印刷所 日本印刷株式会社

本誌に掲載されたすべての内容は、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。