

技術資料

Technical Data

ダイカスト金型用肉盛溶接棒 “DHW”

梅森直樹*¹, 堀尾浩次*¹, 増田哲也*²

“DHW” Welding Rod for Rebuilding of Die Casting Mold

Naoki Umemori, Hirotsugu Horio, and Tetsuya Masuda

Synopsis

18 %Ni maraging steel has been widely used for rebuilding die casting molds as a welding rod. But 18 %Ni maraging steel without post weld heat treatment has lower hardness than mold metal. Therefore even though rebuilding maintenance, heat cracks generate on overlaid metals at an early stage.

Welding rod for rebuilding of die casting mold, “DHW”, has been developed by optimizing the chemical composition based on SKD61. This “DHW” enables delay of heat crack generation without post weld heat treatment and extension of maintenance period. The results obtained are as follows:

- 1) Welding performance of “DHW” is almost as well as that of 18 %Ni maraging steel welding rod.
- 2) Hardness of overlaid metal of “DHW” without post weld heat treatment is almost as well as that of die casting mold and is harder than that of 18 %Ni maraging steel welding rod. Therefore “DHW” has higher heat check resistance than 18 %Ni maraging steel.
- 3) “DHW” has higher heat check resistance than 18 %Ni maraging steel with post weld heat treatment.
- 4) “DHW” is also applicable to nitriding on the surface of the overlaid metal.

1. はじめに

ダイカスト法は、溶解したアルミ合金を金型の隙間に流し込み凝固させて部品を製造する工法であり、自動車のエンジンケースやミッションケースなど、アルミ製品の大量生産に用いられている。

ダイカスト金型は1型あたりの製品生産数があらかじめ計画されており、その計画生産数まで使用することが一般的になっている。しかし、計画生産数まで損傷なしでもつ金型は少なく、製品への転写が嫌われる割れ模様（ヒートチェック）の発生やこのヒートチェックが進展して金型が大きく割れてしまうことが多い。このため

金型は、定期的あるいは突発的に生産を止めて外され、ヒートチェック部位などを除去後に溶接補修、加工され、再組付けを何度も繰り返しながら使用されている。

ダイカスト金型の肉盛溶接補修材料として多く用いられている18 %Ni マルエージング鋼¹⁾は、溶接ままだではダイカスト金型と同等の硬さ（43～48 HRC）が得られない。そのため、補修をする前より少ない生産数でヒートチェックが補修部に再発生する問題がある。溶接後に時効処理を施せば溶接部位の硬さを上げることは可能だが、時効処理を施す日程が取れない場合や金型を外さずに一部分だけ補修し、すぐに casting を再開する場合などには、時効処理を行うことができず、溶接ままだで使用され

2014年4月28日受付

* 1 大同特殊鋼(株)研究開発本部 (Daido Corporate Research & Development Center, Daido Steel Co., Ltd.)

* 2 大同特殊鋼(株)特殊鋼製品本部 (Specialty Steel Business Center, Daido Steel Co., Ltd.)

ることも多いのが現実である。そこで、溶接補修材の成分を JIS SKD61 をベースに調整し、溶接ままの状態ではダイカスト金型とほぼ同等の硬さ 43 ~ 48 HRC が得られることで、18 %Ni マルエージング鋼より、補修部のヒートチェックの発生を抑制し、溶接補修するまでの間隔（溶接補修期間）を長くできる溶接補修材料「DHW」を開発した。また、DHW は 2012 年 10 月に改正された特定化学物質障害予防規則など^{2) 3)} に対応した、コバルトを含まない溶接材料である。

2. DHWの諸特性

2. 1 溶接ままの諸特性

2. 1. 1 溶接時の積層性, 溶滴状態および母材への溶け込み量

溶接を行う母材として JIS SKD61 を用い、母材を焼入れ、焼戻しで調質し、母材をマルテンサイト組織かつ硬さを約 440 HV にした後に肉盛溶接を行った。溶接棒は、本開発材 DHW と、比較材として 18 %Ni マルエージング鋼（弊社 MAS1C）を用いた。以下の章の他特性の調査においても上記と同様に、約 440 HV の硬さに調質した JIS SKD61 の母材に肉盛溶接を行い、溶接棒は DHW と 18 %Ni マルエージング鋼を用いた。

溶接は、ダイカスト金型の補修に多く用いられている TIG 溶接法（Tungsten Inert Gas Arc Welding）⁴⁾ で行った。溶接前には母材に予熱を行わずに、Table 1 に示す条件で肉盛溶接を行った。母材形状は、25 × 30 × 10 mm とした。積層性は、1 層 1 パスと 2 層 5 パスにおける溶接ビードの断面観察および溶着量と余盛高さを評価した。また、溶滴の状態を観察するために、高速度ビデオカメラを用い、溶滴の時間経過を比較した。なお、Fig. 1 の模式図のように撮影を行い、溶滴の状態を分かりやすくするため、溶接棒およびトーチを母材から離れた状態で溶滴の垂れ方を観察した。溶接材の母材への溶け込み量測定は、試験片の半面を面下げした試験片に肉盛溶接を行い、その試験片の縦断面において、EPMA（Electron Probe Micro Analyzer）を用いて元素量分析を行い評価した。

Table 1. Welding condition.

Item	Spec.
Welding power source	INVERTER ELECON 300P
Shielding gas	Pure Ar, 10 ℓ /min
Welding current	120 A
Welding speed	5 cm/min
Welding length	20 mm
Welding position	Flat position
Distance from tungsten electrode to base material	5 mm
Weaving	None

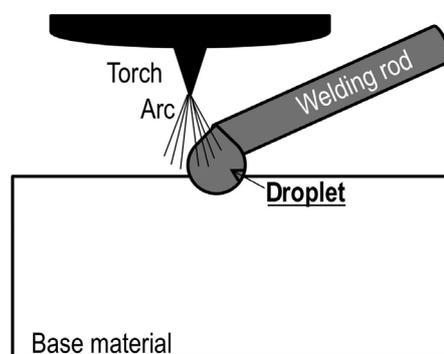


Fig. 1. Procedure of droplet transfer by high-speed video camera.

Fig. 2 に DHW, 18 %Ni マルエージング鋼を積層した時の断面の外観写真を示す。この断面写真より余盛高さを測定した。図中に示している数字は 5 パスを行った順番を表わしている。また、Fig. 3 に溶着量と余盛高さの関係を示す。DHW は 18 %Ni マルエージング鋼と溶着量変化に対して、余盛高さがほぼ同じになる傾向を示しており、DHW が 18 %Ni マルエージング鋼とほぼ同等の積層性を有していることが分かる。

Fig. 4 に高速度ビデオによる溶滴の状態を比較した結果を示す。この図は、溶接棒が溶け始めた時と、時間が経過して溶融部分が大きくなり、溶滴が垂れ下がった時の静止画を載せている。今回行った溶滴の観察方法においては、DHW と 18 %Ni マルエージング鋼とは溶滴の大きさに大差はないと考えられる。これらの結果から DHW は 18 %Ni マルエージング鋼と大差なく肉盛溶

接作業ができると考えられる。ただし、実際の溶接箇所
の形状は様々あり、溶接材の成分が異なるため、溶接姿
勢などの溶接条件が今回行った条件と異なる場合には、
DHW と 18 %Ni マルエージング鋼とで肉盛溶接作業性
に差が生じる可能性はある。

Fig. 5 に EPMA を用いた元素量の測定結果を示す。
溶け込み量は、18 %Ni マルエージング鋼では最大 2 mm
に対し、DHW は最大 4 ~ 6 mm になっており、DHW
は母材に溶け込みやすいことが分かった。

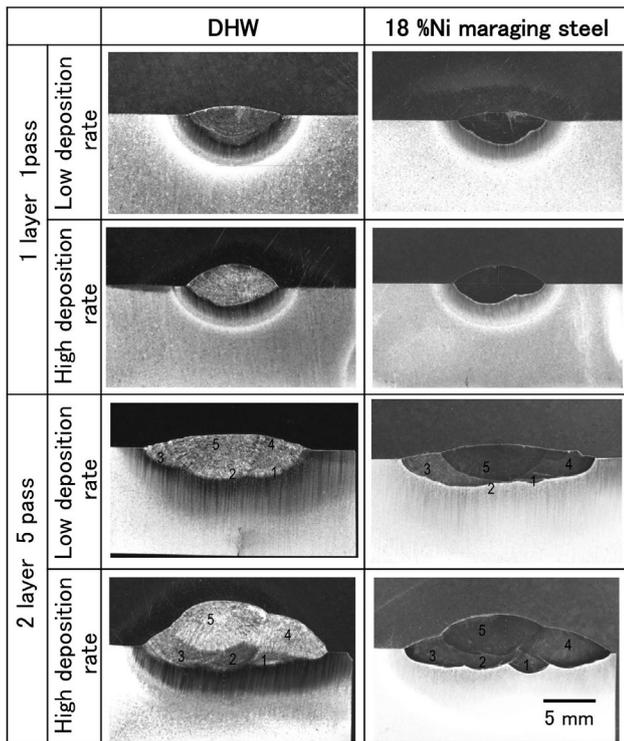


Fig. 2. Cross section of welded beads.

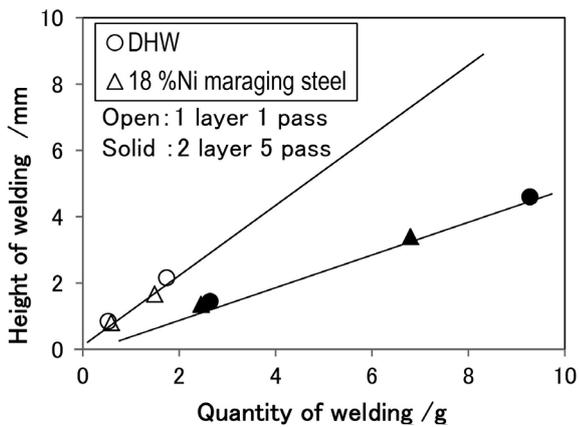


Fig. 3. Relationship of deposition quantity and height of weld reinforcement.

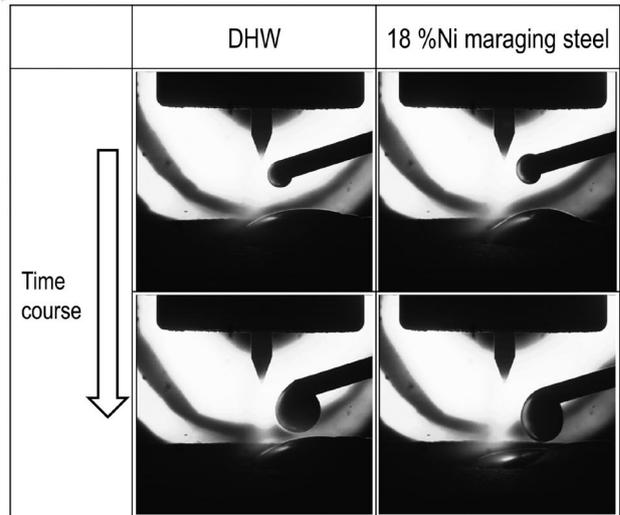


Fig. 4. Evaluation results of droplets by high-speed video.

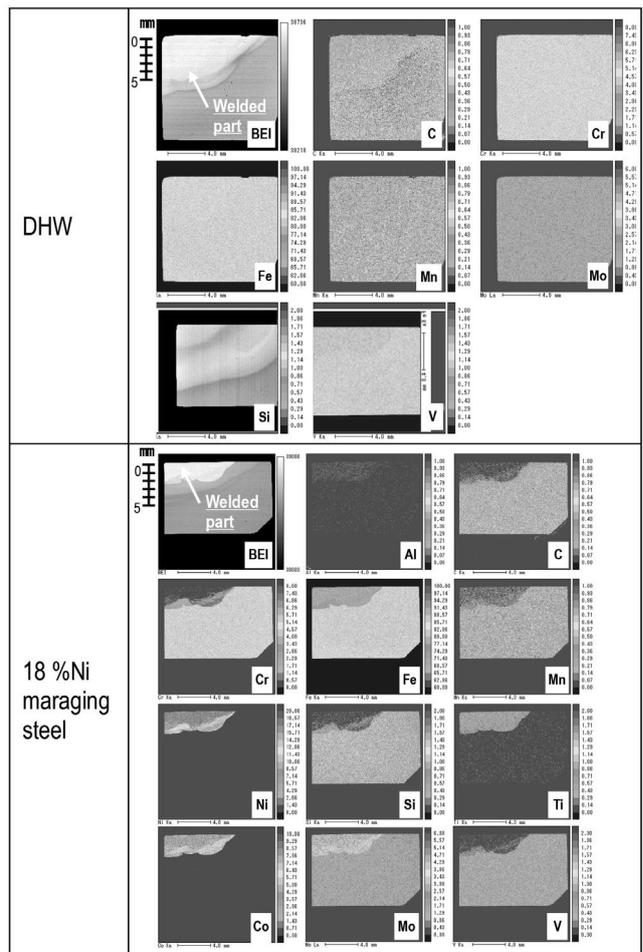


Fig. 5. Evaluation results of penetration by EPMA.

2. 1. 2 融点, 熱伝導率および熱膨張係数

融点および凝固終了温度の測定用の試験片は肉盛金属から採取し, DTA (示差熱分析) を用いて測定した. 熱伝導率および熱膨張係数の測定用の試験片は, 2. 1. 1と同様の方法で肉盛溶接を行い, その肉盛溶接部分から採取した. 熱伝導率はレーザーフラッシュ法を用い, 熱膨張係数はTMA (熱機械分析) を用いて測定した.

Table 2 に融点および凝固終了温度, Fig. 6 に熱伝導率, Fig. 7 に熱膨張係数の測定結果を示す. Fig. 7 の熱膨張係数は室温から各温度での平均熱膨張係数を示している. DHW の熔融温度と凝固終了温度の差が 18 %Ni マルエージング鋼よりも小さいことから, DHW は 18 %Ni マルエージング鋼よりも溶接時の高温割れは発生しにくいと考えられる. また, DHW はダイカスト金型に多く使われている JIS SKD61 と熱伝導率, 熱膨張係数が同等であり, 18 %Ni マルエージング鋼より熱伝導率, 熱膨張係数が高い値になっている.

Table 2. Melting point.

Welding metal	Melting point	End temperature of solidification
DHW	1804 K	1793 K
18 %Ni maraging steel	1730 K	1658 K

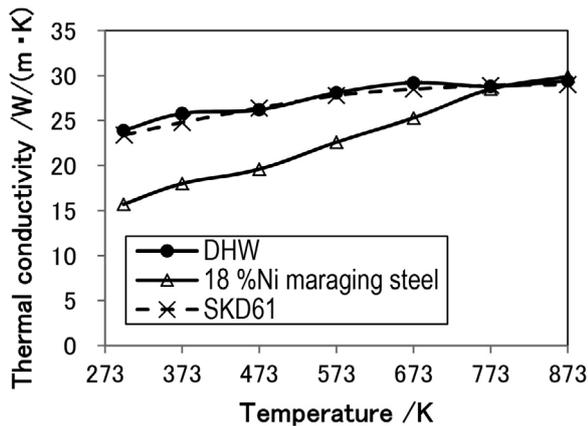


Fig. 6. Thermal conductivity.

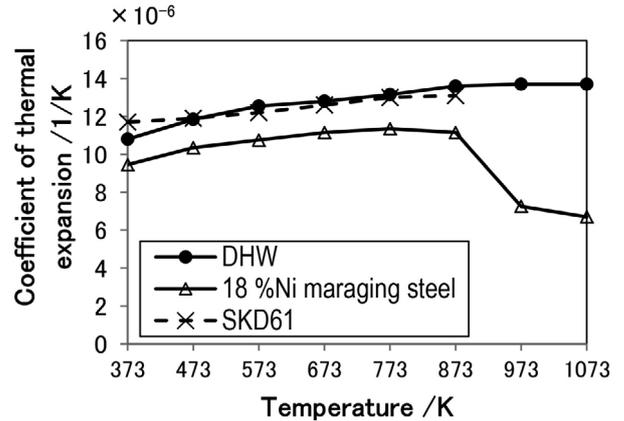


Fig. 7. Average coefficient of thermal expansion at respective temperature from room temperature.

2. 1. 3 耐ヒートチェック性

ダイカスト金型の表面温度は, アルミ合金が触れる際に上昇し, アルミ製品の取り出しと離型剤の噴射中に低下し, この温度の上下が繰り返されることで, 金型表面にヒートチェックと呼ばれる微細な割れが生じ始める⁵⁾. この加熱・冷却サイクルによるヒートチェック発生を模擬した試験を以下の方法で行った.

Fig. 8 に耐ヒートチェック性評価試験の模式図を示す. $\phi 72 \times 50$ mm の試験片の上面を高周波加熱コイルを用いて 7 s で 853 K まで上昇させ, その後に噴射水を用いて 3 s 冷却し, エアブローで 7 s 放冷する. この工程を 1 サイクルとし, 5000 サイクル毎に試験片の表面をカラーチェックし, ヒートチェックの発生状態を相対評価した.

耐ヒートチェック性評価用の試験片は, 試験片の半面を 1 mm 面下げした後に, TIG 溶接で肉盛溶接を行い, 表面研磨により仕上げ加工を行った.

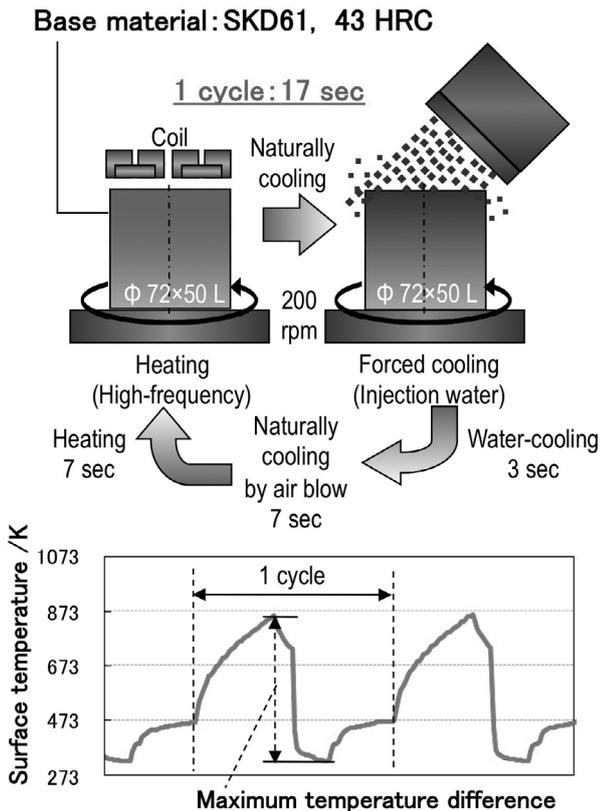


Fig. 8. Procedure of evaluating heat check resistance.

Fig. 9 に DHW, 18 %Ni マルエージング鋼を溶接した試験片の耐ヒートチェック性評価試験後の 5000 サイクル毎の外観写真を示す。試験片の正面に対して、左側半面が肉盛溶接を行った部分で、右側が肉盛溶接を行っていない母材のままの部分である。また、試験片の中心部分の大きなクラックが発生している部分は HAZ 部 (Heat Affected Zone) である。

Fig. 9 より 18 %Ni マルエージング鋼を肉盛溶接した部分の 5000 サイクル時のヒートチェックと、DHW を肉盛溶接した部分の 25000 サイクル時のヒートチェック発生状況がほぼ同程度と判断できる。そのため、本試験条件では、DHW が 18 %Ni マルエージング鋼対比、約 5 倍の耐ヒートチェック性を有していると考えられる。よって、ヒートチェックが原因で肉盛溶接補修を行っている金型の場合、DHW の使用により 18 %Ni マルエージング鋼対比、溶接補修期間を延長できると考えられる。この DHW が 18 %Ni マルエージング鋼よりも高い耐ヒートチェック性を有している要因については、以下の 2. 1. 4 で述べる。

	DHW	18 %Ni maraging steel
5000 cycle		
10000 cycle		
15000 cycle		
20000 cycle		
25000 cycle		

Fig. 9. Evaluation results of heat check resistance as welded.

2. 1. 4 硬さ分布

ピッカース硬さ測定は、微小ピッカース硬さ計を用い、測定荷重 0.98 N で 2. 1. 3 に用いた試験片と同形状の試験片の縦断面にて測定した。

Fig. 10 に DHW や 18 %Ni マルエージング鋼を溶接したままの硬さ分布測定結果を示す。18 %Ni マルエージング鋼は約 350 HV の硬さになっており、母材の約 440 HV の硬さより低くなっているのに対し、DHW は母材の硬さとほぼ同等の約 450 ~ 470 HV の硬さになっていることが分かる。

この DHW の硬さが溶接ままで、ダイカスト金型とほぼ同等の硬さが得られていることや、2. 1. 2 に記載した DHW の熱伝導率が 18 %Ni マルエージング鋼より高いため、同加熱・冷却条件でも熱応力が低くなること^{6) 7) 8)} が DHW の耐ヒートチェック性が優れていることに主に起因していると考えられる。

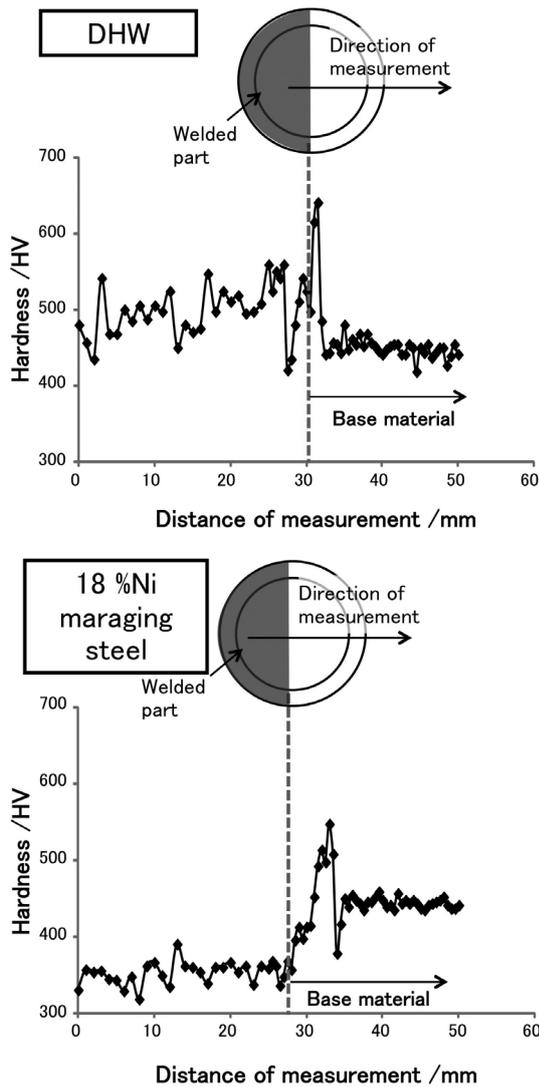


Fig. 10. Evaluation results of hardness distribution as welded.

2. 2 後熱処理後の諸特性

2. 2. 1 焼戻し硬さ

一般的に、溶接時の歪が金型内に残存する状態で使用すると、その溶接歪を起点として割れてしまうことがある。そこで、溶接時の歪を除去する目的で溶接補修後に施す熱処理として後熱処理を行っている。ただし、18%Ni マルエージング鋼の場合、後熱処理による溶接時の歪の除去と、時効熱処理である時効硬化による高硬度化を図っている。18%Ni マルエージング鋼は、時効熱処理により溶接部位が金型母材よりも硬さが高くなることもある。しかし、時効熱処理を行ったにも関わらず、補修部に大

きなクラックが早期に発生し、補修の際の面下げ量（開先量）が増えてしまい、溶接補修にかかる時間が長くなることがある。このような事例も起っているため、後熱処理として、今回は、DHW と 18%Ni マルエージング鋼を溶接した後に同条件の熱処理を施し、評価を行った。

熱処理条件としては、大気雰囲気下で 673 ~ 973 K に加熱して 3.6 ks 保持した後、空冷した。同条件で処理を 2 回繰り返した後、硬さを測定した。

Fig. 11 に焼戻し硬さの測定結果を示す。18%Ni マルエージング鋼は後熱処理により硬さが向上しており、823 K で最大硬さ 491 HV になっており、823 K を越える温度で硬さが低下している。DHW は、溶接ままの硬度に対し、823 K までは後熱処理による硬さの変化はほとんど認められず、823 K で最大硬さ 489 HV であり、873 K を越える温度で硬さが低下している。よって、DHW を溶接した金型の後熱処理としては、873 K 以下であれば、ダイカスト金型と同等の硬さを維持できる。

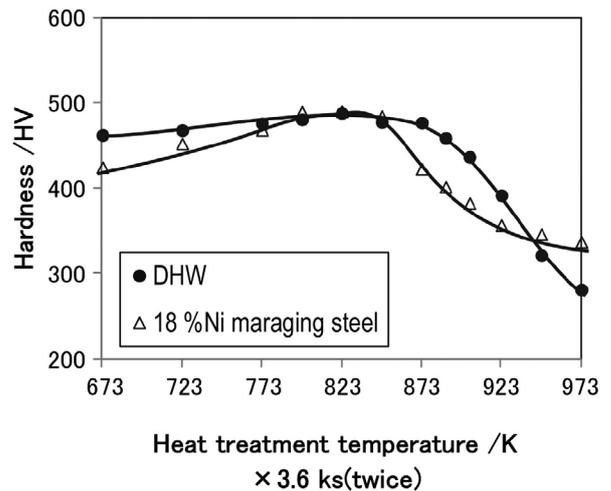


Fig. 11. Evaluation results of softening resistance with post weld heat treatment.

2. 2. 2 耐ヒートチェック性

耐ヒートチェック性評価試験方法としては、2. 1. 3 と同様の方法で行い、後熱処理として溶接後に 773 K で 10.8 ks 保持した試験片を用いて、試験を行った。

Fig. 12 に後熱処理を施した試験片の 5000 サイクル毎の外観写真を示す。Fig. 9 と Fig. 12 を比較して、DHW は後熱処理を施しても耐ヒートチェック性に大きな違いは見られなかった。一方、18%Ni マルエージング鋼は後熱処理を施すことで耐ヒートチェック性が向上し

ているのが分かる。Fig. 12より、18%Ni マルエージング鋼の15000サイクル時や20000サイクル時のヒートチェック発生状況と、DHWの25000サイクル時のヒートチェック発生状況がほぼ同程度と判断した。DHWは18%Ni マルエージング鋼に後熱処理を施した場合でも、より優れた耐ヒートチェック性を有していると考えられる。このDHWが18%Ni マルエージング鋼よりも高い耐ヒートチェック性を有している要因については、以下の2. 2. 3で述べる。

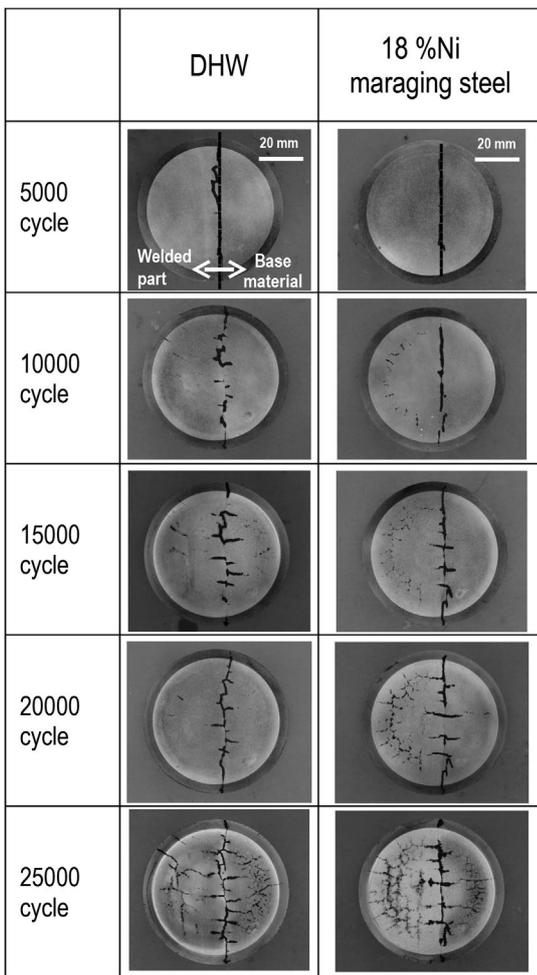


Fig. 12. Evaluation results of heat check resistance with post weld heat treatment (773 K×10.8 ks).

2. 2. 3 硬さ分布

Fig. 13にDHWと18%Ni マルエージング鋼を溶接した後に、後熱処理として773 Kで10.8 ks保持した試験片の硬さ分布測定結果を示す。2. 2. 1で前述した通り、DHWは後熱処理を施しても硬さ分布への影響は小さく、18%Ni マルエージング鋼は後熱処理により硬さが約540 HVと母材より高いことが分かる。この後熱処

理による硬さの変化で、18%Ni マルエージング鋼の耐ヒートチェック性が溶接ままより向上し、後熱処理によって硬さの変化が少ないDHWの耐ヒートチェック性は溶接ままと同等の結果になったと考えられる。しかし、18%Ni マルエージング鋼に後熱処理を施して硬さを高くしたとしても、DHWの耐ヒートチェック性が18%Ni マルエージング鋼より優れていた。このことは、18%Ni マルエージング鋼の熱伝導率が低く、それにもない同加熱・冷却条件でも表面と内部との温度勾配が増加し、発生する熱応力が高くなること^{6) 7)}等がDHWより耐ヒートチェック性が劣る原因と考えられる。これらの結果より、DHWは後熱処理条件の影響を受けにくく、かつ後熱処理の有無によらず18%Ni マルエージング鋼より耐ヒートチェック性に優れた溶接棒であることを示している。

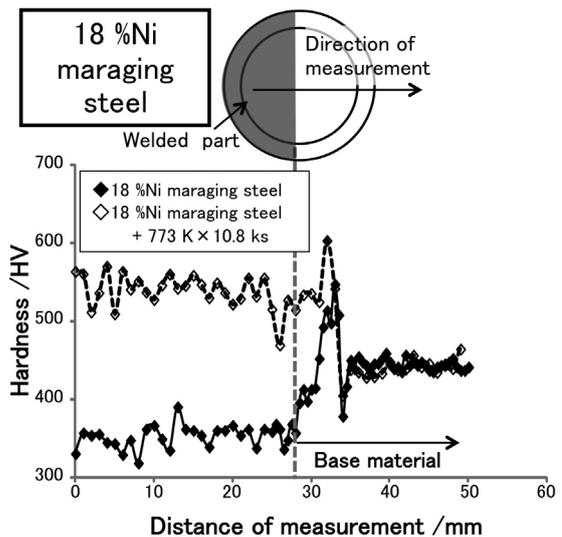
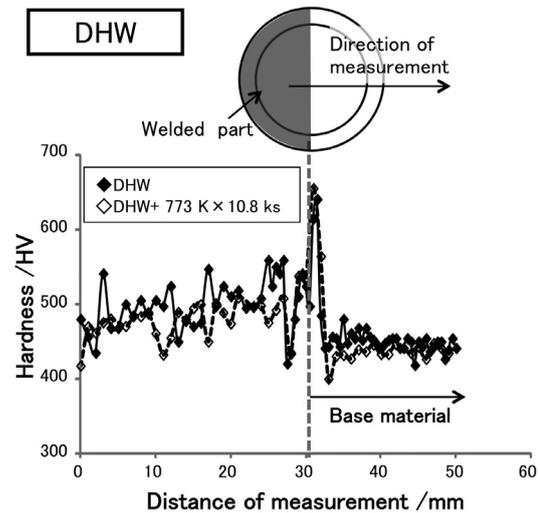


Fig. 13. Evaluation results of hardness distribution with post weld heat treatment (773 K×10.8 ks).

2. 3 窒化処理後の硬さ分布

金型の長寿命化の方法の1つとして、金型の表面に窒化処理を施して高硬度化を図ることが近年多くなってきている^{9) 10)}。ただし、窒化処理を行ったとしても、ヒートチェックの発生を完全に防止することはできないため、窒化した金型も補修が実施される。窒化処理を施した金型の場合、ヒートチェック発生部位などを面下げ除去した後に肉盛溶接補修を行い、溶接後に再窒化を行う場合がある。そこで再窒化処理を行うことを想定して、溶接後に窒化を行い、溶接部位における窒化品質を評価した。窒化条件は、大気圧雰囲気下で、783 K に加熱してアンモニアガスを導入し、14.4 ks 保持し、冷却した。

Fig. 14 に DHW を溶接した後に、上記の条件の窒化処理を施した試験片の表層からの硬さ分布測定結果を示す。DHW は 0.02 mm 位置での表層硬さが 1100 HV で、窒化層深さがおよそ 0.1 mm と、母材 SKD61 に窒化処理を施した場合と同等の硬さ分布が得られ、DHW は溶接後に窒化処理の適用が可能と判断した。

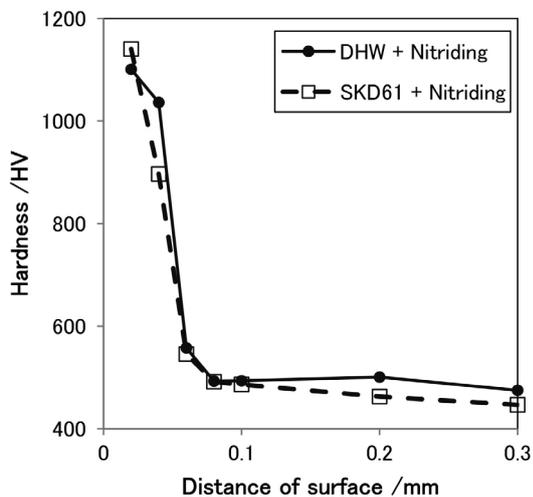


Fig. 14. Evaluation results of hardness distribution after nitriding.

3. まとめ

- (1) DHWの肉盛溶接作業性は、18 %Niマルエージング鋼とほぼ同等と考えられる。
- (2) DHWは、溶接ままの状態ダイカスト金型とほぼ同等の硬さ(43~48 HRC) が得られ、18 %Niマルエージング鋼よりも優れた耐ヒートチェック性を有していることを確認した。
- (3) DHWは、後熱処理を施して硬さを向上させた 18 %Niマルエージング鋼よりも、耐ヒートチェック性が優れていることを確認した。
- (4) DHWは、溶接後に窒化処理の適用も可能であることを確認した。

以上のことより、DHW はダイカスト金型のヒートチェックの発生を従来材より遅らせることができる肉盛溶接補修材料である。この DHW を用いることで、ヒートチェックや型欠け起因の設備停止率の低減など、溶接補修期間の延長に寄与できると考えている。

(文 献)

- 1) 岩崎英: 型技術, 29(2014), 3, 57.
- 2) 厚生労働省・都道府県労働局・労働基準監督署: 特定化学物質障害予防規則, 第二条の二, 第五条, 第七条, 第八条, 第九条, 第十二条の二, 第二十四条, 第二十七条, 第二十八条, 第三十六条, 第三十八条, 第三十九条
- 3) 厚生労働省・都道府県労働局・労働基準監督署: 労働安全衛生法施行令, 第十八条, 第二十二條
- 4) 岡田泰治: 電気製鋼, 55(1984), 68.
- 5) 日原政彦: 電気加工学会誌, 35(2001), 78, 1.
- 6) 横井直樹, 河野正道, 井上幸一郎: 電気製鋼, 81(2010), 25.
- 7) 河野正道, 横井直樹: 日本ダイカスト会議論文集, (2012), 1.
- 8) 森川秀人: 電気製鋼, 81(2010), 47.
- 9) 平岡泰, 井上幸一郎: 電気製鋼, 78(2007), 307.
- 10) 横井直樹, 平岡泰, 井上幸一郎: 電気製鋼, 78(2007), 315.