

技術資料

Technical Data

肉盛金属の硬さにおよぼす Al 含有量の影響

永井宏和*, 臼田輝貴*, 堀尾浩次*

Influence of Al content on Hardness of Weld Overlay

Hirokazu NAGAI, Teruki USUDA and Hirotsugu HORIO

Synopsis

To create a wear-resistant surface and lengthen mold life by repairing the wear surface, overlay welding is an indispensable technology. Co based alloys (Stellite[®] alloys, etc.) are a general overlaying material. However, it has been pointed out that overlay materials containing Co have an adverse effect on the human body and the environment. Moreover, Inconel 718, etc. are also used as overlay material, though in order to obtain high hardness of weld overlay, it is necessary to conduct long aging treatment. So, it is necessary to develop cladding materials that do not adversely affect the human body or the environment. In this paper, the influence of Al content in weld overlay on hardness was investigated. As a result, adding Al to the SUS310S cladding increased the hardness of the overlay without aging treatment. Moreover, when the Al content in the weld overlay was 5.2 mass%, in the range of 200 to 600° C, it obtained higher hardness than the Stellite alloys.

1. 緒 言

Co 合金 (ステライト[®] 合金) などを使用した表面硬化肉盛溶接は、耐摩耗面の創成や摩耗面の補修などの重要な技術として、金型分野をはじめ Oil & Gas など高温や腐食環境下で使用される部品などに対し幅広く適用されている。またニーズとしてさらなる耐摩耗性、耐腐食性を向上させた肉盛材料の開発が期待されている^{1)~6)}。

ステライト合金は、Co-Cr-W 合金の樹枝状晶と Cr₇C₃ + Co-Cr-W 合金の共晶組織からなっており、高温での硬さ低下が少なく、また、後熱処理後の硬さは変化せず、耐摩耗性も変わらないという特徴も兼ね備えており肉盛溶接材として幅広く使用されている⁷⁾。しかしながら、Co は特定化学物質障害予防規則の対象物質に指定されており、肉盛溶接中に作業者が Co を含有するヒュームなどを吸引すること、また大気中に Co を含有する煙な

どを排出することで人体や環境への悪影響が指摘されている。また、Co についてはバッテリー製造における重要材料であり、自動車の EV 化に伴い材料価格が高騰しており、今後入手が困難になると予想される⁸⁾。

一方、Inconel718 などの析出硬化型合金については時効処理による γ (Ni₃Al) の析出を利用し高硬度を得ており、肉盛金属も同様な析出により硬化させることが可能である。しかしながら、肉盛においては時効処理により母材が強度低下 (高温焼戻しによる強度低下) が発生する可能性がある。また、多くの鋼種で時効処理時間が 16 時間以上と非常に長く、生産性を阻害するなどの問題がある^{9)~11)}。

以上のことより環境面、施工面などを考慮した時効処理などの後熱処理を必要としない高硬度肉盛材の開発が必要である。そこで本研究では、高硬度肉盛材料開発の基礎調査として発電プラント設備などで耐熱材料として

2018年5月8日 受付

* 大同特殊鋼(株)技術開発研究所 (Corporate Research & Development Center, Daido Steel Co., Ltd.)

一般的に使用されている SUS310S を肉盛材のベースとし、オーステナイト系ステンレスに対し金属間化合物による析出強化として一般的に利用される Ti や Al¹²⁾ の内、今回は Al が肉盛硬さ（溶接まま）におよぼす影響を調査した。

2. 実験方法

2. 1 溶接方法

供試材組成を Table 1 に、溶接方法の模式図および肉盛条件を Fig. 1 および Table 2 に示す。Fig. 1 に示すように TIG 溶接法にて SUS304 母材に対し SUS310S 溶接材料の肉盛溶接を実施した。この際、純 Al の溶接材料も同時に溶接部へ送給し、送給量を制御することで肉盛金属中の Al 含有量を制御した。肉盛は 3 層 18 パスで実施した。

Table 1. Chemical composition (mass%).

Material		C	Ni	Cr	Al	Fe
Welding rod	SUS310S	0.04	20	25	-	Bal.
	Pure Al	-	-	-	>99	-
Base plate	SUS304	0.04	8	18	-	Bal

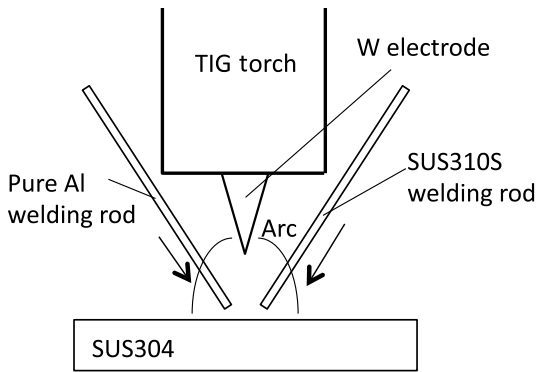


Fig. 1. Schematic diagram of welding setup.

Table 2. Weld overlay condition.

Current	120 A
Diameter of welding rod	1.2 mm
Feeding speed of SUS310S rod	0.9 m/min
Feeding ratio of welding rod SUS310S: Pure Al	1 : 0 - 0.55
Overlay process	18 pass - 3 layer
Gas flow rate	7 L/min, Argon
Preheating / Postheating	None
Interpass temperature control	None

2. 2 評価方法

肉盛部の健全性を評価するために JIS Z 2343-1 に準拠して浸透探傷試験にて肉盛部の割れの有無を調査した。また肉盛部の特性評価では JIS Z 2244 および JIS Z 2252 に準拠して肉盛部 3 層目を 0.5 mm 削った肉盛表面の常温硬さ試験および高温硬さ試験（温度範囲：～ 800 °C）を実施した。また、肉盛部におよぼす Al の影響を調査するために肉盛部 3 層目を 0.5 mm 削った肉盛表面の蛍光 X 線分析、EPMA 分析および X 線回折試験を実施した。

3. 結果および考察

3. 1 肉盛溶接結果

肉盛溶接外観および JIS Z 2343-1 に準拠して浸透探傷試験を実施した結果および肉盛部の組成分析結果を Fig. 2 および Table 3 に示す。肉盛部の Al 含有量が 5.2 mass% までは割れの無い健全な肉盛部が得られた。しかしながら肉盛部の Al 含有量が 5.2 mass% を超えると割れが発生しており、健全な肉盛部を得るためには Al 含有量は 5.2 mass% 以下にする必要がある。

Sample	Al content in overlay	Appearance	Penetration testing
Sample 1	0 mass%		
Sample 2	2.5 mass%		
Sample 3	5.2 mass%		
Sample 4	8.6 mass%		

20 mm

Fig. 2. Appearance of weld overlay.

Table 3. Chemical composition of weld overlaid metal (representative sample, mass%).

	Si	Mn	Ni	Cr	Al	Fe
Sample 1	0.44	1.62	18.3	24.5	0.005	Bal.
Sample 2	0.43	1.56	17.6	23.8	2.5	Bal.
Sample 3	0.41	1.51	16.7	22.9	5.2	Bal.
Sample 4	0.39	1.45	15.6	21.9	8.6	Bal.

3. 2 常温および高温硬さ測定結果

肉盛金属の常温硬さと Al 含有量の関係を Fig. 3 に示す。肉盛部の Al 含有量の増加に伴い肉盛部の硬度が上昇した。また、Al 含有量が 5.2 mass% で割れの無い健全な肉盛部では肉盛硬さが約 434 HV と SUS310S の肉盛部 (Al 含有量 0.005 mass%) に比べ約 2.7 倍の硬さとなった。

Fig. 4 に高温硬さの測定結果を示す。測定対象として肉盛部割れの発生が無くかつ常温硬さで最も高硬度となった Al 含有量が 5.2 mass% のもの、および比較対象としてステライト合金および SUS310S を肉盛したサンプルの評価を行った。その結果、温度が 200 ~ 600 °C の範囲ではステライト合金より高硬度であることがわかった。温度が 800 °C ではステライト合金より硬さは低下するものの 160 HV と Al 無添加のものに対し約 90 HV 程度上昇した。

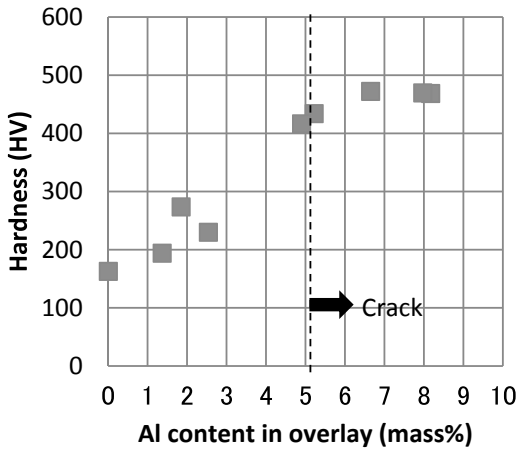


Fig. 3. Effect of Al content on hardness of weld overlay.

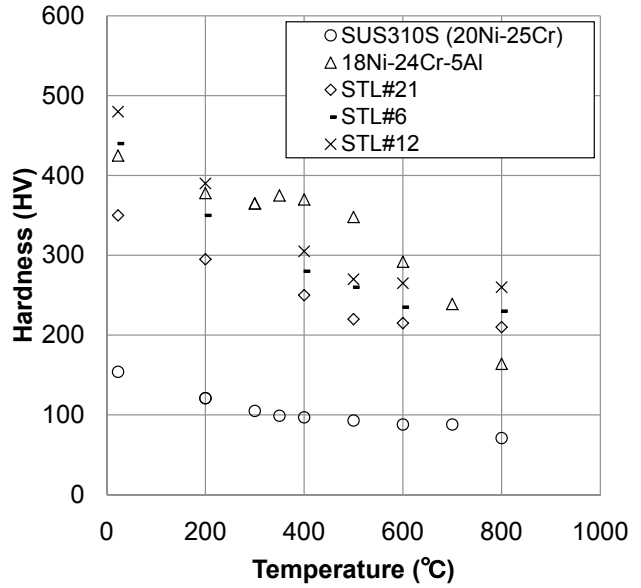


Fig. 4. High temperature hardness of weld overlaid metal.

3. 3 硬さ上昇メカニズム

肉盛部の硬さ上昇の要因を解明するために、肉盛部材に対し EPMA 分析を実施した結果を Fig. 5 に示す。EPMA 結果より溶接ままの肉盛部において Ni-Al の濃化部が確認された。次に肉盛部に対し、X 線回折試験を行い物質の同定を実施した。X 線回折結果を Fig. 6 に、相におよぼす Ni 含有量と Al 含有量の関係を Fig. 7 に示す。Ni 含有量が 12 mass% において、Al 含有量 1 ~ 2 mass% で $\gamma + \alpha$ の 2 相になり、Al 含有量が 6 mass% 以上になると γ が無くなり、NiAl が析出し、 $\alpha + \text{NiAl}$ の 2 相となった。また Ni 含有量が 18 mass% において、Al 含有量が 2.5 mass% では γ 単層であったが、Al 含有量が 5 mass% では $\gamma + \alpha + \text{NiAl}$ の 3 相となり、さらに Al が増加すると $\alpha + \text{NiAl}$ の 2 相になっていた。これらのことより、肉盛部の Al 含有量の増加に伴い肉盛組織中の NiAl が増加し肉盛部の硬度が上昇したと考えられる。また、 $\alpha + \text{NiAl}$ の 2 相は肉盛部に割れが生じており、溶接割れ抑制のためには γ の存在が必要不可欠である。

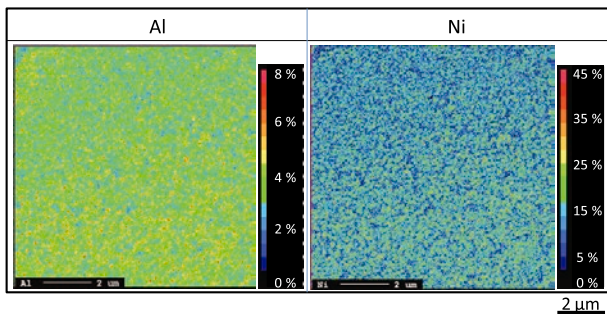


Fig. 5. EPMA analysis of weld overlay (Al: 5.2 mass%).

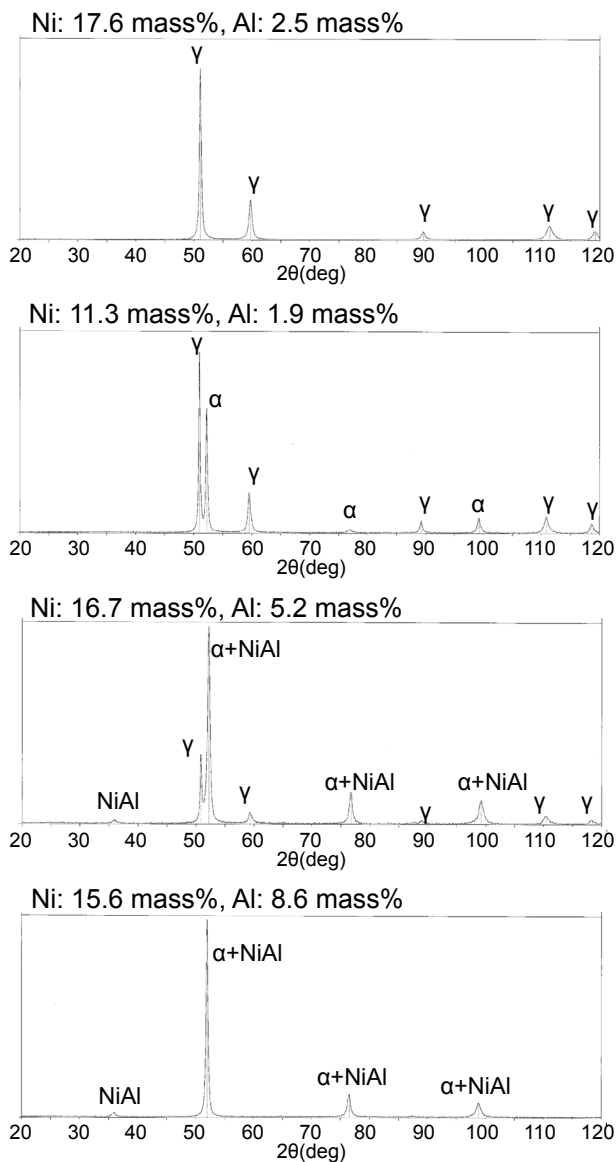


Fig. 6. Results of X-ray diffraction.

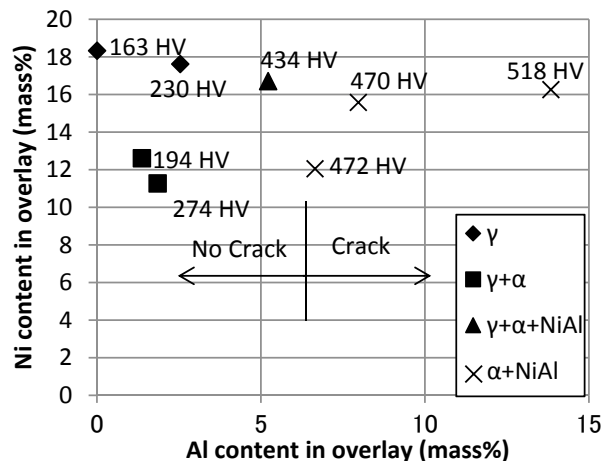


Fig. 7. Chemical composition and phase of weld overlaid metal.

4. 結 言

肉盛材料 SUS310S に対し、Al 含有量を各種変更し、SUS304 に肉盛溶接を実施した結果、下記の結果を得た。

- (1) 肉盛部のAl含有量の増加に伴い、時効処理無し(溶接まま)において肉盛部の硬さが上昇した。
- (2) 肉盛部の健全性に関しては、Al含有量が 5.2 mass% までは肉盛部の割れは観察されなかったが、Al含有量が 5.2 mass% を超えると肉盛表面に割れが発生した。
- (3) 肉盛部に割れが発生しない Al含有量が 5.2 mass% の肉盛部にて高温硬さを調査した結果、200~600 °C の温度域においてステライト合金より高い硬さを示した。また 600 °C を超える温度域ではステライト合金より硬さは劣るものの、800 °C においては SUS310S のみの肉盛部に比べ約 90 HV の硬さ上昇が確認された。
- (4) Al添加による肉盛部の硬さ上昇メカニズムを調査した結果、Al添加に伴い NiAl が析出し、硬さが上昇していることが判明した。
- (5) 肉盛部の割れに関しては α +NiAl の状態のときに発生しており、肉盛部の割れ抑制には γ相が必要不可欠である。

(文 献)

- 1) 中溝利尚, 笠井貴之, 高須一郎: 山陽特殊製鋼技報, 9(2002), 1, 27.
- 2) 館幸生: 山陽特殊製鋼技報, 18(2011), 1, 42.
- 3) 辻井信博: 山陽特殊製鋼技報, 7(2000), 1, 65.
- 4) 藤原美昭: 素形材, 52(2011), 6, 2.
- 5) 秋保良太, 杉本尚哉, 武田紘一, 野口洋介, 三浦得太郎: 日本機械学会論文集, 79(2013), 806, 3979.
- 6) 岩崎英: 金型技術, 29(2014), 3, 57.
- 7) 浅野正敏, 俵田孝明: 溶接学会誌, 21(1952), 2, 35.
- 8) 中長期を見据えた資源・燃料政策の視点について, 経済産業省, 2018, 3.
- 9) 根本実, 田文懐: 日本金属学会会報, 30(1991), 1, 19.
- 10) 尾和智信, 篠田剛: 溶接学会論文集, 22(2004), 4, 494.
- 11) 西本和俊, 禹仁秀: 溶接学会論文集, 20(2002), 3, 386.
- 12) 岡田康孝: 日本金属学会会報, 28(1989), 7, 589.



永井宏和



白田輝貴



堀尾浩次