

# オープンアーク溶接法による 連続鋳造ロールの耐摩耗性肉盛溶接

青田 利一

2002年8月

(株) ウェルディングアロイズ・ジャパン

# オープンアーク溶接法による 連続鋳造ロールの耐摩耗性肉盛溶接

青田 利一 Toshiichi Aota

(株)ウェルディングアロイズ・ジャパン

## 1 はじめに

一般に連続鋳造ロールの表面肉盛金属には13Cr-4Ni鋼が使用されているが、粒界腐食および焼戻し抵抗などに問題があり、耐食・耐摩耗性劣化の原因となっている。

本方法は特殊フラックス入りワイヤを使用し、オープンアーク溶接法により肉盛溶接を行い、大気中の適量の窒素を肉盛金属に溶解し、肉盛金属中にCr窒化物を析出させることにより上記問題点を解決している<sup>1) 2)</sup>。本稿においては肉盛溶接法の原理と方法、肉盛金属の諸特性、溶接施工状況、実機試験などについて述べる。

## 2 原理と方法

連続鋳造ロールの表面硬化は、従来サブマージアーク溶接により13Cr-4Ni鋼を肉盛しているが、本方法ではオープンアーク溶接により窒素を含有した低炭素13Cr-4Ni鋼を肉盛する。この肉盛溶接法の原理と方法を以下に述べる。

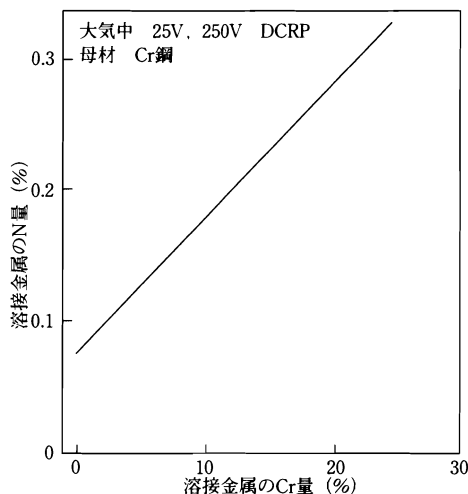


図1 大気中でアーク溶接を行った場合の溶接金属中のCr量とN量

図1<sup>3)</sup>はCr量が相違するFe-Cr (C: 0.0009~0.0014%)の心線を使用し、心線と同一成分の鋼板上に大気中でアーク溶接を行った場合の溶接金属中のCr量とN量の関係を示したものである。Cr量が増大するにしたがってN量が増大し、Cr量が13%ではN量は0.2%となる。しかしN量が0.2%では溶接金属にポロシティが発生し、かつ脆化するために、N量をさらに減少する必要がある。これは特殊フラックス入りワイヤを使用するオープンアーク溶接法を使用することにより可能になる。

特殊フラックス入りワイヤは鋼のチューブとその中に充填されている粉末から構成されている。粉末にはフェロアロイ、窒化物を形成するための窒素化合物、肉盛金属中に侵入する大気中の酸素を除去するための脱酸剤、肉盛金属中に溶解する窒素を調整するための脱窒剤を使用している。これらの各粉末の量および配合比は厳密に調整されている。なおスラグ形成用のCaF<sub>2</sub>、CaCO<sub>3</sub>および金属蒸気発生剤なども使用している。

この特殊フラックス入りワイヤを消耗電極として使用しシールドガスを流さないで大気中の可視アークによるオープンアーク溶接により肉盛溶接を行うが、肉盛金属が大気中の窒素を定量的に溶解するためには溶接条件を正確に制御しなければならない。

## 3 肉盛金属の諸特性

肉盛金属の諸特性を従来のサブマージアーク溶接の肉盛金属の諸特性と比較して以下に述べる。

### 3.1 化学成分

肉盛金属の化学成分を表1 (以下、次ページ) に示した。表より分かるようにC量は0.03~0.04%、N量は0.12~0.13%である。DN-Oは耐摩耗・耐食性向上のためにCo、V、Wが添加されている。

なお表2にロール素材としてCr-Mo鋼 (例えばJIS

表1 肉盛金属化学成分 (%)

肉盛金属	C	N	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Co	V	W
414N-O	0.04	0.12	1.2	0.7	12.5	4.0	0.4	—	—	—
DN-O	0.03	0.13	1.2	0.6	12.8	5.0	0.6	2.0	0.5	0.8

表2 下盛金属およびサブマージアーク溶接肉盛金属化学成分 (%)

肉盛金属	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo
430-O <sup>1)</sup>	0.06	1.25	0.5	18.0	—	—
420-S <sup>2)</sup>	0.19	1.8	0.8	13.0	4.1	0.4

- 1) 炭素鋼およびクロムモリブデン鋼が素材として使用される場合の下盛金属 (オープンアーク溶接)  
 2) サブマージアーク溶接肉盛金属



40 μm

写真2 下盛金属 (430-O) 顕微鏡組織

SCM822など) が使用される場合の下盛金属 (430-O) および従来から使用されているサブマージアーク溶接による肉盛金属 (420-S) の化学成分を示した。

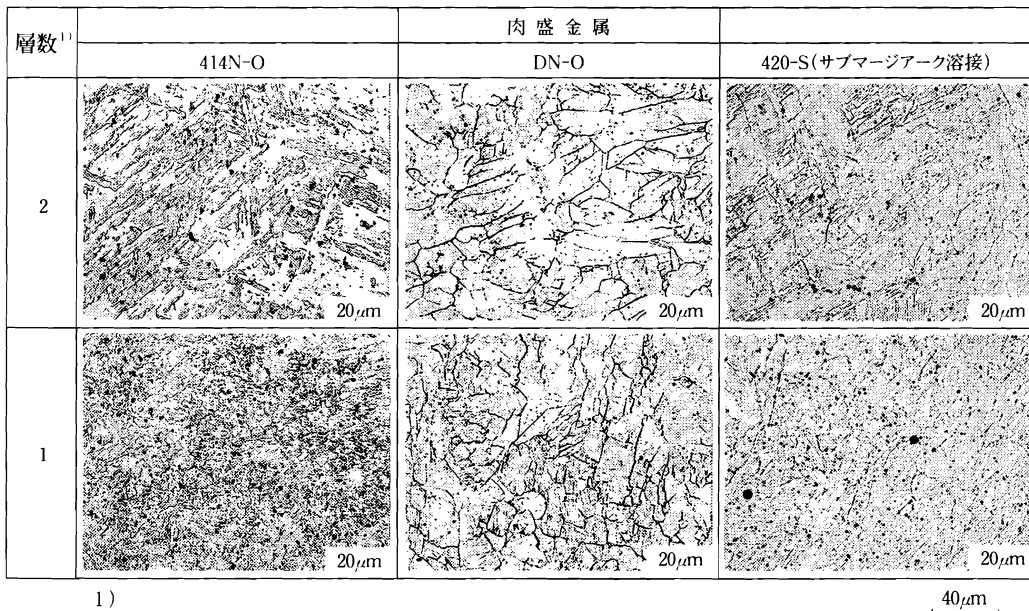
ルテンサイト+フェライト組織が認められた。

### 3.2 顕微鏡組織

肉盛金属の顕微鏡組織を写真1および写真2に示す。414N-O, DN-Oおよび420-Sのマトリックスはいずれもマルテンサイト組織を呈した。また414N-Oについてはマトリックス中に微細なCr窒化物の析出, DN-OについてはCr, Co, V, Wの微細な各窒化物の析出が認められた。420-Sについては2層 (表面層) 溶接により熱影響を受けた1層の結晶粒界に2層よりやや多くのCr炭化物の析出が認められた。なお430-O下盛金属についてはマ

### 3.3 硬さ

肉盛金属の硬さ分布を図2 (次ページ) に示す。各肉盛金属の2層目 (表面層) の硬さの平均値は414N-OはHV424, DN-OはHV453, 420-SはHV441である。また1層目の硬さの平均値は414N-OはHV416, DN-OはHV453, 420-SはHV378である。420-Sの1層目の硬度低下は414N-O, DN-Oに比較して大きい。なお, 430-O下盛金属の硬さの平均値はHV346である。



40 μm

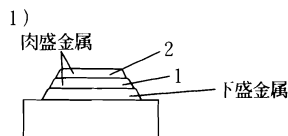


写真1 肉盛金属顕微鏡組織

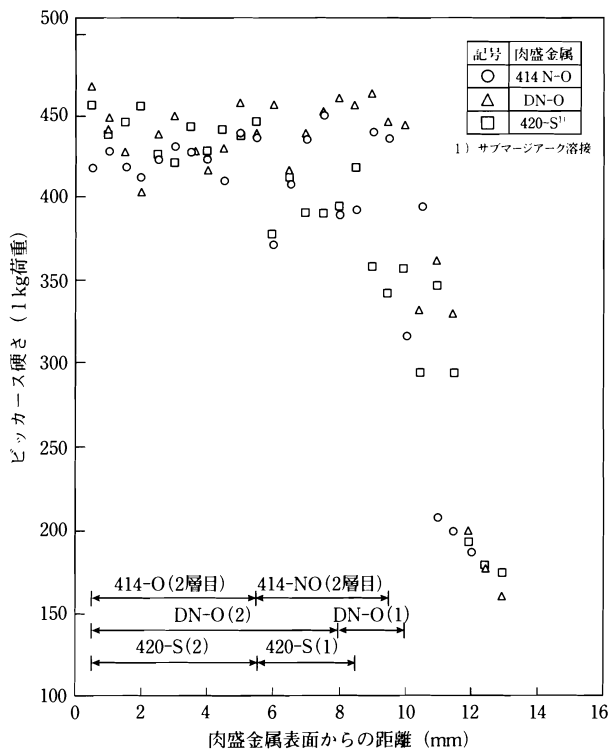


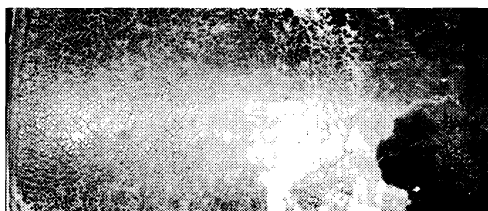
図2 肉盛金属硬さ分布

### 3.4 耐粒界腐食

多層肉盛溶接を行うと下部層が上部層の溶接熱の影響を受ける。サブマージアーク溶接においてはこの多重熱サイクルにより400~900℃に加熱された肉盛金属の範囲は写真1の420-Sの1層肉盛金属に示したようにCr炭化物がマルテンサイトの結晶粒界に析出する。これは結晶粒界近傍においてCr欠乏域を発生させてウエルドディケ



オープンアーク溶接



サブマージアーク溶接

写真3 オープンアーク溶接およびサブマージアーク溶接で施工した連続鋳造ロールの肉盛金属について同一条件で使用後の表面状態

イを起こさせる。腐食環境下においてピットとともに応力腐食割れが発生する。オープンアーク溶接においては肉盛金属が多重熱サイクルを受けても写真1の414N-OおよびDN-Oの1層肉盛金属に示したように微細なCr窒化物がマトリックス中に均一に分散していることと併せてC量が低いためにウエルドディケイは起こらない。

写真3にオープンアーク溶接およびサブマージアーク溶接で行った連続鋳造ロールの肉盛金属について同一条件で使用後の表面状態を示した。サブマージアーク溶接肉盛金属には著しい粒界腐食が認められたが、オープンアーク溶接肉盛金属に認められた腐食は軽微であった。

### 3.5 変態特性

サブマージアーク溶接の肉盛金属のMsは350℃、Mfは300℃である。したがって溶接割れを防止するためには350℃以上の予熱および層間温度を必要とし、溶接作業を困難にする。また高い予熱および層間温度は肉盛金属の冷却速度を遅くし、マルテンサイトとフェライトの混合組織とする。オープンアーク溶接の肉盛金属のMsは195℃(414N-O)および180℃(DN-O)、Mfは110℃(414N-O)および95℃(DN-O)である。溶接割れ防止のための予熱および層間温度は195℃以上(414N-O)および180℃以上(DN-O)で十分であり溶接作業が容易になる。また低い予熱および層間温度は肉盛金属の冷却速度を速くし完全マルテンサイト組織にする。

### 3.6 焼戻し抵抗

図3(次ページ)に414N-O、DN-Oおよび420-Sについて550℃および700℃の間の2次硬化挙動と焼戻し抵抗を示した。550℃においてオープンアーク溶接肉盛金属DN-Oおよび414N-Oには微細な窒化物の析出による2次硬化が認められた。この微細な窒化物は時間の経過にしたがって生ずる粗大化による過時効に抗して高い硬さを維持し、優れた焼戻し抵抗を示した。とくにDN-Oの硬さ低下は小さい。650℃および700℃においても414N-O、DN-Oは420-Sに比較して優れた焼戻し抵抗を示した。

サブマージアーク溶接肉盛金属420-Sについては、時間の経過にしたがって硬さが著しく低下した。これは550~700℃の焼戻しを行うとCr炭化物のマトリックスの結晶粒界に析出しマルテンサイト中のCを除去するが、温度の上昇および時間の経過にしたがってこの傾向が大となるためマルテンサイトのフェライト化が増大し、硬さが低下するためである。

図4に414N-O、DN-Oおよび420-Sについて550℃の焼戻し曲線を示す。414N-OおよびDN-Oについては14

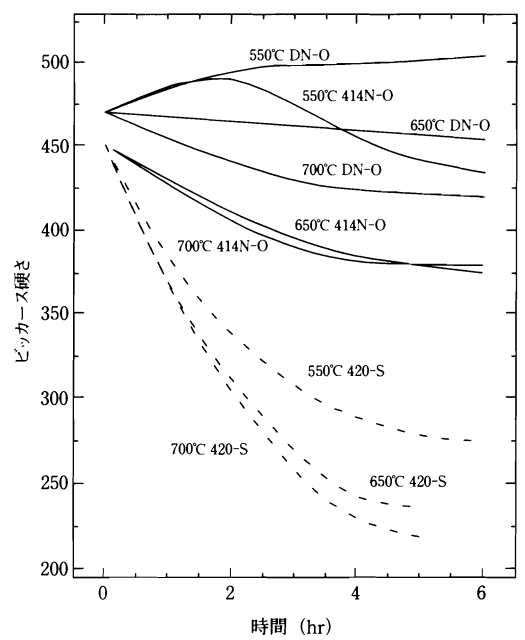


図3 414N-O, DN-Oおよび420-Sについて550°Cおよび700°Cの間の2次硬化挙動と焼戻し抵抗

時間の焼戻しを行っても肉盛金属はHV400以上の硬さを保持した。図4および図3から分かるようにオープンアーク溶接肉盛金属の応力除去焼鈍を行う場合でも保持温度550~600°C, 保持時間4~7hrとすることによりHV400以上の硬さを保持することができる。

### 4 オープンアーク溶接による硬化肉盛溶接施工状況

連続鋳造ロール表面硬化肉盛溶接施工状況を写真4に示す。また使用した溶接装置の特徴を表3に、溶接条件を表4(次ページ)に示す。

溶加材に含有しているフラックスの特性から溶接中に

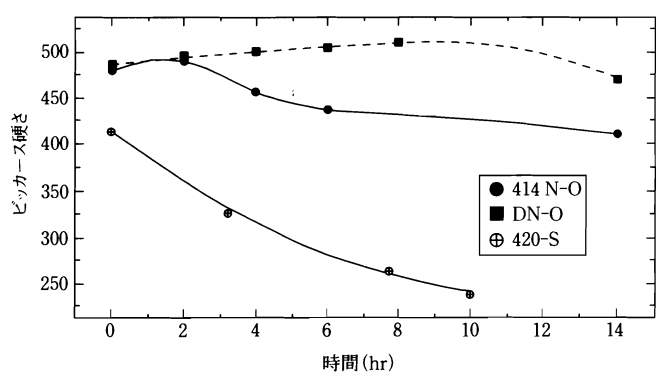
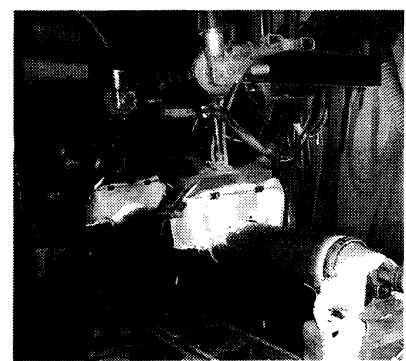


図4 414N-O, DN-Oおよび420-Sについて550°Cにおける焼戻し曲線

ヒュームの発生が著しくなるが、これは図5および写真4に示す局所換気装置を使用し、ヒューム発生源から直接除去している。この装置を使用すると作業現場の発生



(a) 施工状況の全体写真



(b) ヒューム回収用局所排気ボックス

写真4 連続鋳造ロール表面肉盛溶接施工状況

表3 連続鋳造ロール専用オープンアーク自動溶接システムの特徴

構成要素	特徴	備考
溶接電源	定格44V DC, 650Ampまたは1000Amp 使用率100%	
制御装置	直交軸 (X, Y, Z軸) 48V DCモータによる制御 (エンコーダ コントロール) 回転軸 180V DCモータによる制御 (エンコーダ コントロール) ワイヤ送給速度 48V DCモータによる制御 (エンコーダ コントロール) 溶接条件 電流 (ワイヤ送給速度), アーク電圧, 溶接速度 (周速), ワイヤ突出し長さ, 溶接パス数, オシレーション (周波数, 停止時間), ステップオーバーなど	
溶接トーチ	Single wireまたはTwin wire (いずれも水冷)	Max. 18kg/hの溶着速度 (Twin wireの場合)
その他	ヒューム回収系付き ロータリーアース付き	アークシールド兼用

表4 適性溶接条件

ワイヤサイズ (mm)	溶接電流 (Amp)	アーク電圧 (V)	溶接速度 (mm/min)	オシレーション
2.4	300~500	23~27	150~170	幅：30mm 速度：2000~2500mm/min 停止時間：0.25~0.5sec (ビード重なり側)

- 注：1) ワイヤサイズとしては1.6、2.0および2.4mmがあるが、作業性、生産能率の観点で2.4mmが適正である  
 2) 極性はワイヤプラス (DCEP) とする  
 3) ワイヤの突出し長さは30mmとする  
 4) 予熱温度  
 ロール径が200mm以下の場合には予熱無し  
 ロール径が200mmを越える場合には150℃以上とするが、出来るだけ低くする。  
 5) 層間温度は300℃以下とする

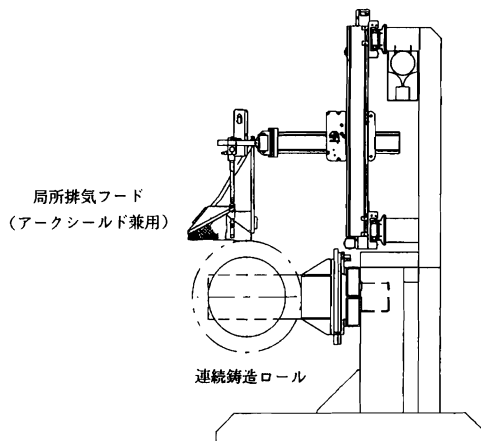


図5 ヒューム除去のための局所換気装置

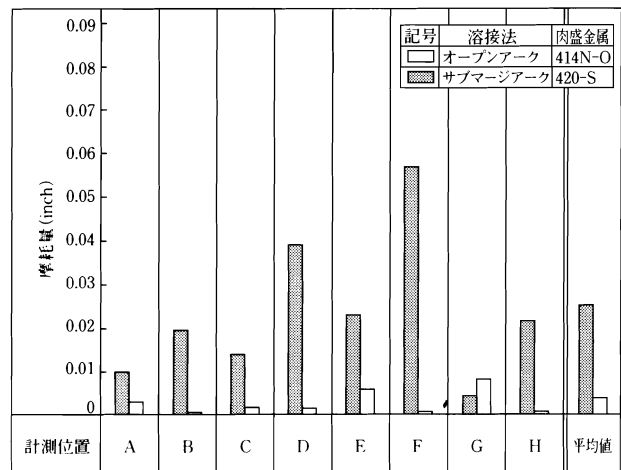
粉塵量およびCr量はサブマージアーク溶接の場合より少なくなり、安全衛生上なら問題は無い<sup>4)</sup>。

## 5 肉盛金属の実機試験

図6に連続鋳造ロール表面肉盛金属の実機試験における摩耗量を示した。オープンアーク溶接による肉盛金属はサブマージアーク溶接に比較して6倍以上の耐摩耗性を示した。なおサブマージアーク溶接による肉盛金属には深い割れが発生し腐食も著しかったが、オープンアーク溶接による肉盛金属においては割れおよび腐食が発生してもいずれも軽微であった。

## 6 おわりに

溶接機器および溶接材料を改良したオープンアーク溶接法による硬化肉盛溶接は、現在連続鋳造ロールの硬化



摩耗量=(使用前のロール径)-(使用後のロール径)

図6 連続鋳造ロール表面肉盛金属の実機試験における摩耗量

肉盛に広く使用され優れた実績を得ている。

さらに著しい摩耗をとまなう各種堅型ミル、各種破砕機などにもその特徴を生かして適用し用途を拡大している。本方法が多くの製品について時代が求める優れた再生技術になることを期待している。

### 参考文献

- 1) Dr. Jan J. K. Stekly and Dr. Serdar Atamert, "Surface Deterioration of Steel Mill Rolls:an Overview and Some Solutions", presented at 2nd Annual Rolling Meeting, 29-30 April 1997
- 2) Serdar Atamert and Jan J. K. Stekly, "Roll Life Beyond 2000", presented at the Rolls 2000 Conferense, March 1996
- 3) 小林、桑名、菊池：溶接学会誌、40 (1971)、41-50
- 4) J.J.K. Stekly and M.F. Vinton, "Analysis of Welder Exposure in Sub-Arc and Open Arc to Dust and Fumes During the Welding of Martensitic High Chrome Wires", Internal Document of Welding Alloys Ltd.