

# 技 術 論 文

## 形鋼圧延ロールに適用した狭開先軸接合技術（第2報）

Narrow-Gap Shaft Welding Technology for Section Mill Roll Produced by CPC Process (No.2)



技術開発センター係長  
大野 京一郎  
Kyoichiro Ohno

技術開発センター主任  
嵩 純孝  
Sumitaka Take

山陽工場主任  
尾崎 龍宏  
Tatsuhiko Ozaki

### 要 旨

当社が独自で開発したCPCプロセスによるハイス鋼のロールは、クラッド厚を問わずに1層肉盛が可能であるという特長を有し、これまで熱延・冷延帯鋼、棒鋼、線材あるいは平鋼用等の圧延ロールにおいて、非常に良好な耐用実績を収めている。現在これらのロールは、当社における主要な製品のひとつである。しかし、従来これらのロールは、主に複合一体ロールとして製造していたため、長軸を有するものにおいては、1チャージで複数本採りが困難であった。最近CPCプロセスで製作したロールの胴部と軸部の合金鋼に、狭開先を施し接合する“狭開先軸接合技術”を発案し、実用化に成功した。そこで本稿では、実用化に向けて溶接材料の選定から、溶接部位における品質特性の確認、さらに実ロール形状の検証を実施したので、これらの結果を報告する。

### Synopsis:

The CPC (Continuous Pouring process for Cladding) process, which FUJICO developed original, has the advantage that single-layer hardfacing is possible without limit of the cladding thickness. Specially, the high-speed steel composite rolls produced by the CPC process have been showing very excellent track record in the fields of hot and cold strip mill, wire rod, and bar. These rolls are one's of the main products in FUJICO at present.

However, it was difficult to obtain multiple takes per charge of operation in the case of rolls having long shaft because these rolls were manufactured as a mono-block roll. Recently, FUJICO has proposed for “the narrow-gap welding technology to joint steel shafts and core metal of the barrel section produced by the CPC process” and has succeeded in the practical application. In this paper, in order to practical application, we studied on the selection method of welding materials, confirmation of quality characteristics in the shaft welding area and carried out the verifications of the shapes on the practical rolls.

## 1 緒言

形鋼圧延において圧延材の高品質化と省力・省エネルギーを図るため、より過酷な圧延条件に耐え、かつ、長寿命のロール材が求められてきた。近年、多くの研究者らによって開発されたハイス鋼<sup>1)</sup>は、従来使用したダクタイル鋳鉄やアダマイト鋳鉄に比して、耐摩耗性、耐肌荒れ性に優れ、数倍の寿命を有するロール材として、圧延材の品質や生産性の向上に大きく寄与している。

当社では、圧延用ハイスロールの製造は連続注入クラッド（CPC：Continuous Pouring process

for Cladding) 法<sup>2)</sup>を用いている。製法の概要として、芯材は機械構造用炭素鋼や合金鋼を用い、高速度鋼は芯材の外周に客先のカーバー形状に対応すべく、数十mm程度被覆した後、機械的強度を向上させるため熱処理を施し、客先に提供している。これより、CPC法による圧延用ハイスロールは国内外で広く採用され、かつ、非常に良好な耐用を収めており、現在では当社の主要な製品のひとつとなった。

しかし、CPC法によるロールの製造は主に複合一体型であり、長軸仕様を有するロールは、製造1チャージにつき複数本採りが困難であり、客先の要

望に対応すべく、納期短縮および製造コスト削減に大変苦慮していた。

そこで、ロール胴部材の複数本採りを可能にするため、ロール胴部と軸部を分割し、高速回転アーク式自動溶接装置を用いた狭開先溶接法にてロール胴部と軸部とを接合することで、短納期で経済的なロール製造方法の実用化に成功した。

前報<sup>3)</sup>は、狭開先溶接法の概要および溶接部位の特長を主として報告したが、本稿では、実用化に向け、溶接材料の選定や機械的強度試験をより詳細に行った結果を報告する。

## 2 狭開先溶接法の技術説明

### 2-1 狭開先溶接法とは

狭開先溶接法はMalinの報告<sup>4)</sup>により、「アーク溶接法を用い、狭くて深い四角い溝の中で、他のビードの上にビードを置くようにして1層あたり一定ビード数にしていることを特長とした品質志向のビード置き方法」というよう定義されている。

日本では、高い作業能率に着目し、主に圧力容器や橋梁、重機械などの厚板溶接が多数採用されている。また、併行して溶接部位の品質面も大きく改善され、装置仕様やシールドガスの投入法の改良により、溶接装置も飛躍的に向上した<sup>5)</sup>。

当社では、数多くの狭開先溶接法の中で、CPC法で被覆したロール胴部の余長を短くでき、かつ、アークセンサを有し作業能率が高い、高速回転アーク式狭開先溶接法<sup>6)</sup>を採用した。

### 2-2 高速回転アーク式狭開先溶接法の原理について

高速回転アーク式狭開先溶接法の原理をFig.1に溶接装置をFig.2に示す。溶接ワイヤは電極ノズルの中心に送給され、通電チップの偏心孔によって偏心される。電極ノズルはベアリングを介して軸受けで支持され、電動モータで同一方向に高速回転される。

従って、ワイヤ先端のアークは、通電チップ孔の偏心量に対応した直径の円周状に単一の熔融池上を回転することになる。アークの高速回転は、アークの物理的効果を周辺に分散させ、ビード形成現象、ワイヤ熔融現象に顕著な効果を与えることが可能となる。

## 3 狭開先溶接部位の評価方法

本稿では、芯材仕様は従来のCPC法と同様にJIS-SCM材を使用し、溶接材料の選定を行った。溶接材料はSCM材の機械的強度を損なわないよう、Table.1に示す数種類の高張力鋼用ソリッドワイヤを使用した。

シールドガスは溶接時に発生するスパッタ量、アークの安定性、開先への過剰な溶け込みおよび形状を考慮して、Ar+20%CO<sub>2</sub>混合ガスを使用した。

溶接試験はFig.3に示す、開先深さを120mm、開先形状をH型に機械加工を施したSCM材を準備した。施工は芯材を予熱後、各種溶接材料を溶接し

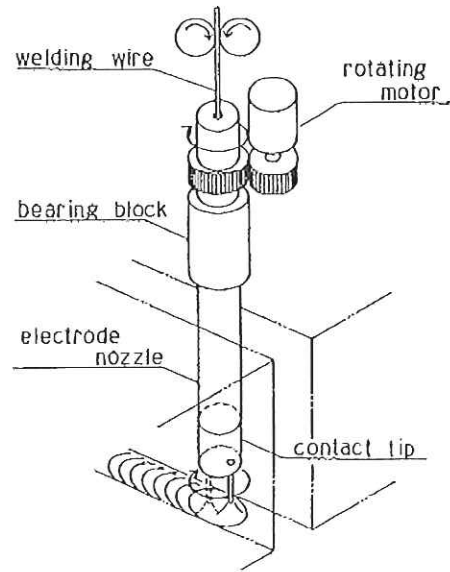


Fig.1 Rotating mechanism <sup>6)</sup>

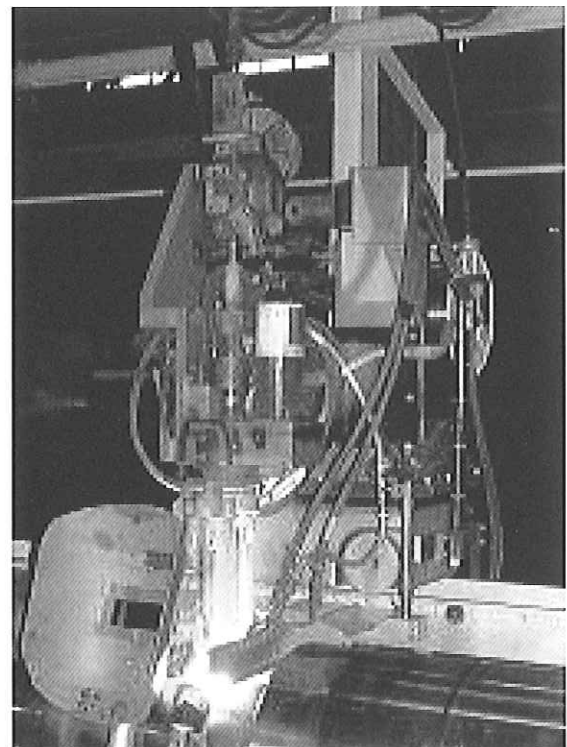


Fig.2 Narrow gap welding equipment with high speed rotating arc

Table.1 Welded materials of high tensile steel

Class N/mm <sup>2</sup> (Kgf/mm <sup>2</sup> )	Chemical compositions (wt%)						Mechanical properties		
	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	P.S. (N/mm <sup>2</sup> )	T.S. (N/mm <sup>2</sup> )	El. (%)
790 (80)	0.08	0.31	1.30	2.60	0.50	0.57	755	870	22
690 (70)	0.07	0.31	1.03	1.84	0.20	0.40	650	720	25
590 (60)	0.06	0.35	1.45	-	-	0.38	580	650	30



た。

溶接方法は開先内に溶接材料を被覆した後、溶接金属表面に付着したスラグや開先に付着したスパッタを各パス毎に除去した。溶接した試験材は超音波探傷検査(UT)にて品質確認を行った後、従来の圧延ロールの製法同様、熱処理を施し、機械的強度測定試験片を作成した。

機械的強度測定はJIS-Z3040 溶接施工法の確認試験方法に準拠し、引張試験と表曲げ試験を行った。引張試験はJIS-Z2201 4号試験片を作成後、50Ton万能引張試験機にて評価した。表曲げ試験はJIS-Z 3122に準拠した試験片を作成後、ローラー曲げ試験法にて評価した。

試験片は品質の健全性が確認するため、Fig.4に示す表層部位、中央部位、開先底部の3箇所から採取した。

なお、比較材は従来の芯材仕様であるSCM材単体と、ハイスロール適用前に使用されていたダクタイル鉄FCD材を適用した。

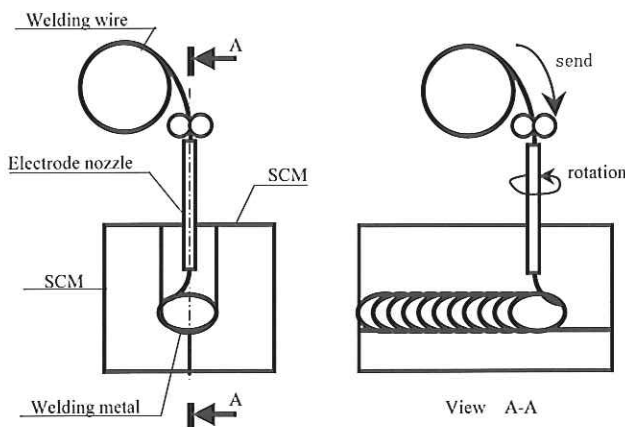


Fig.3 Method of welding test

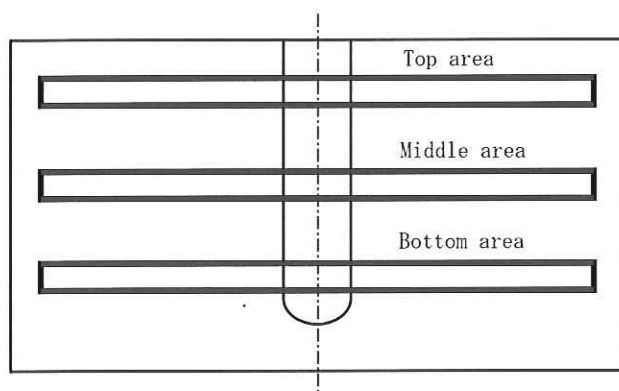


Fig.4 Collection position for test piece

#### 4 溶接部位評価

本稿では、溶接材料を選定した後、溶接部位の品質が従来仕様同等であるかを確認するため、擬似欠陥を作成し、表曲げ試験を行った。

#### 4-1 溶接材料の選定

溶接試験結果をTable.2に示し、溶接試験後の断面マクロ写真一例をFig.5に示す。ここで、超音波探傷試験結果の判定基準は当社の肉盛ロール判定基準である $\phi 0.5$ とし、無欠陥および判定基準以下の検出レベル以下を○、判定基準以上の検出を有したものを×と記した。

##### (1) 790N/mm<sup>2</sup>(80Kgf/mm<sup>2</sup>)級高張力鋼

まず、790N/mm<sup>2</sup>級高張力鋼では、超音波探傷検査では判定基準を満足しており、溶接部位は正常である。引張試験後の試験片をFig.6(a)に示す。結果、機械的強度はSCM材以上であり、破断は継手効率が1以上であるため、母材で生じていた。

しかし、表曲げ試験ではFig.7に示す、溶接金属と芯材との熱影響部で破断した。溶接開始直後の芯材は事前に予熱を行っているが、溶接直後熱による芯材への保温効果も少なく、熱影響部の冷却が早いいため、溶接金属や芯材よりも硬質なマルテンサイトが生成し、容易に破断したものと推察した。

ここで、著者はSCM材と同等の伸びがあれば、熱影響部でも破断しないと推察した。機械的強度の伸びに着目すると、790N/mm<sup>2</sup>級高張力鋼の伸びはSCM材より小さい。よって、熱影響部での伸びが引張試験での伸びより小さいと予測されるため、容易に破断したものの推察できる。

##### (2) 690N/mm<sup>2</sup>(70Kgf/mm<sup>2</sup>)級高張力鋼

次に、690N/mm<sup>2</sup>級高張力鋼では、超音波探傷検査は790N/mm<sup>2</sup>級高張力鋼同様、判定基準を満足しており、溶接部位は正常である。機械的強度はSCM材以上であり、機械的強度もSCM材とほぼ同等であり、伸びも同等であった。破断は継手効率が1以下であるため、Fig.6(b)に示す溶接金属部位で生じた。

表曲げ試験はどの試験片採取位置においても破断は生じていない。これより、最良な溶接材料である。

##### (3) 590N/mm<sup>2</sup>(60Kgf/mm<sup>2</sup>)級高張力鋼

590N/mm<sup>2</sup>級高張力鋼の機械的強度は、SCM材との比較では0.2%耐力と引張強さは共に20%以上減じており、FCD材との比較では0.2%耐力が同等であった。FCD材は過去の操業事例で軸の折損が発生しており、0.2%耐力がFCD材同等である590N/mm<sup>2</sup>級高張力鋼は適用し難い。

更に、表曲げ試験では伸びがSCM材より小さいため、790N/mm<sup>2</sup>級高張力鋼同様、溶接金属と芯材との熱影響部で破断したことより、不採用とした。

結果、690N/mm<sup>2</sup>(70Kgf/mm<sup>2</sup>)級高張力鋼が全ての評価試験でSCM材単体と同等な結果を得たため、溶接材料は690N/mm<sup>2</sup>級高張力鋼を採用した。

Table.2 Results of ultrasonic flow detection and tests for mechanical strengthes

Div.	Class (N/mm <sup>2</sup> )	Ultrasonic flaw detection			Tensile test						Bend test			
		Judge-ments	Position of defects	Kind of defects	P.S. (N/mm <sup>2</sup> )	T.S. (N/mm <sup>2</sup> )	El. (%)	Rd. (%)	Fracture position	Joint efficiency	TP position collected	Judge-ments	Fracture position	Initiation of the fracture
Narrow-gap welding	790	○	—	—	640	810	16	42	Base plate (SCM)	1.03	T	○	—	—
											M	×	HAZ	—
											B	×	HAZ	—
	690	○	—	—	640	716	17	57	Weld metal	0.91	T	○	—	—
											M	○	—	—
											B	○	—	—
	590	×	① Center of weld zone ② Bond between weld metal and base plate (SCM)	Inclusion by slag	450	604	11	42	Weld metal	0.77	T	×	Center of TP	Slag inclusion
											M	○	—	—
											B	×	HAZ	—
Compared materials	SCM	—	—	—	610	785	17	39	—	1.00	T	○	—	—
											M	○	—	—
											B	○	—	—
	FCD	—	—	—	450	505	2	0.25	—	—	T	×	Center of TP	El. Shortage
											M	×	Center of TP	El. Shortage
											B	×	Center of TP	El. Shortage

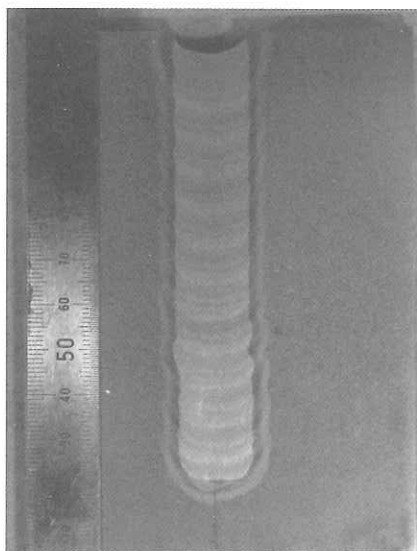
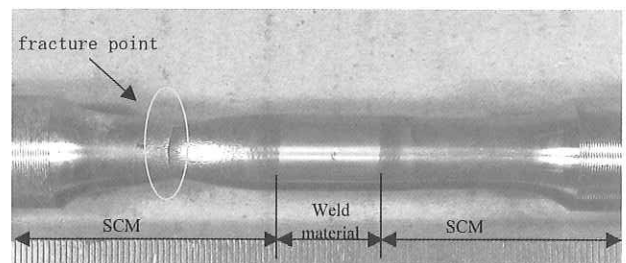
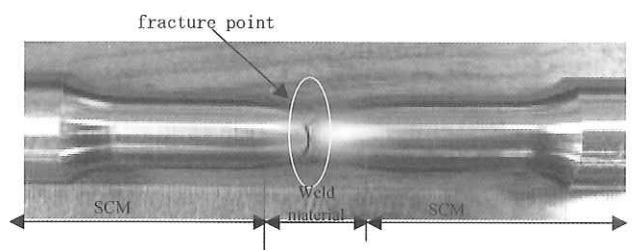


Fig.5 Macrostructure of weld section (690N/mm<sup>2</sup> class high tensile steel)



(a) 790N/mm<sup>2</sup> class



(b) 690N/mm<sup>2</sup> class

Fig.6 Tensile test piece after fracture

#### 4-2 擬似欠陥による溶接部位の品質評価

溶接金属中の欠陥は、施工中各溶接パス毎にスラッグ除去を施しても、Fig.8に示すように微小ながら残存しやすく、この欠陥が応力集中の起点となり破壊を生じやすい。

そこで、溶接部位の健全性を把握すべく、擬似欠陥を溶接金属中央部位もしくは溶接金属と芯材との熱影響部位に作成し、表曲げ試験を行った。なお、この評価試験でも比較材としてSCM材単体を使用、擬似欠陥の大きさは表曲げ試験片の溶接部位断面積から欠陥の面積率で決定した。表曲げ試験の結果をTable.3に示す。

結果、溶接部位は比較材と比して、破断位置、破断荷重共に同等の結果を得ることができ、溶接部位の健全性が従来の芯材と同等であった。

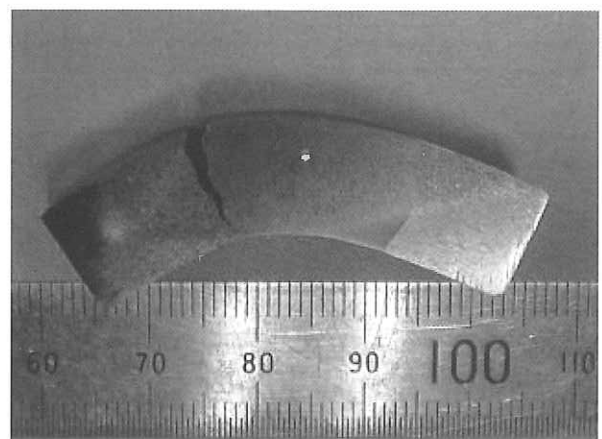


Fig.7 Bend test piece after fracture

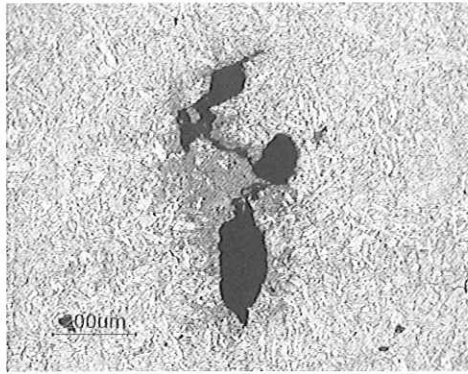


Fig.8 Welding defect

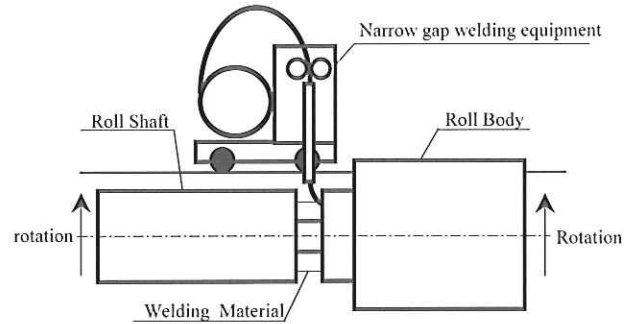
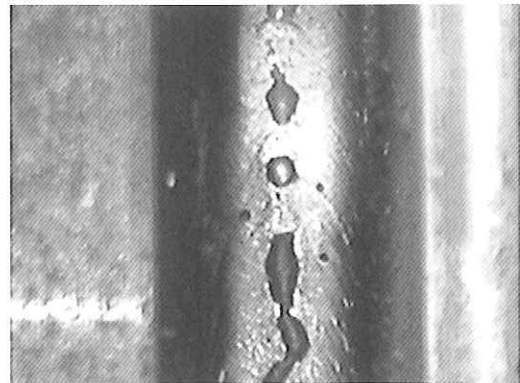


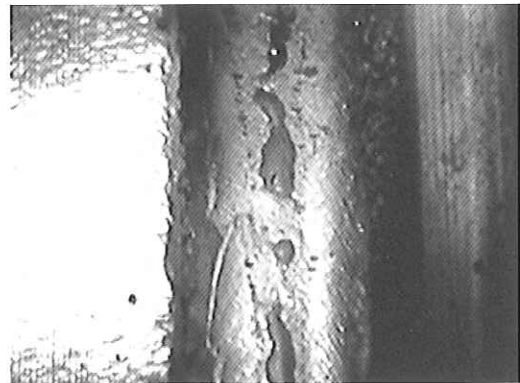
Fig.9 Outline of roll test

Table.3 Results of bend test for T.P. with pseudo-defect

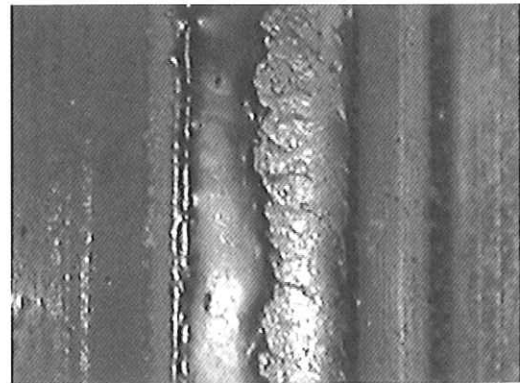
Div.	Position of pseudo-defect	Outside dia. of pseudo-defect (Φ)	Area ratio of pseudo-defect (%)	Judgment results	Initiation of fracture (P. D. : Pseudo-Defect)	Fracture load (kN)
Narrow-gap welding	Center of weld metals	1.4	1	○	—	61.2
		3.2	5	×	P. D.	35.3
		4.5	10	×	P. D.	25.3
		6.4	20	×	P. D.	18.4
	Bond between weld	1.4	1	○	—	61.4
		3.2	5	×	P. D.	38.7
		4.5	10	×	P. D.	27.7
		6.4	20	×	P. D.	20.9
Compared materials (SCM)	Corresponding position to center of weld metal	1.4	1	○	—	60.8
		3.2	5	×	P. D.	34.5
		4.5	10	×	P. D.	27.6
		6.4	20	×	P. D.	18.2
	Corresponding position to Bond	1.4	1	○	—	59.7
		3.2	5	×	P. D.	38.8
		4.5	10	×	P. D.	32.0
		6.4	20	×	P. D.	21.3



(a) 10 layer



(b) 20 layer



(c) 30 layer

Fig.10 Appearance of weld material

### 5 実ロール形状での検証試験

上記結果より、Fig.9に示す実ロール形状で狭開先溶接を検証した。ここで、検証試験で溶接施工中にスラグ除去を連続的にできるように新たに治具を考案した。また、一定速度で溶接するため、ロール回転装置をインバータで一周毎に回転数が制御できるよう、装置仕様を見直した。

施工途中の溶接ビード外観をFig.10に示す。本来、スラグは溶接ビード表面全体に付着していたが、考案した治具の効果でスラグは大きく除去され、溶接ビードの清浄化が可能になった。

溶接後、超音波探傷検査をした結果、社内判定基準を満足した。これより、狭開先軸接合技術が確立され、実用化された。

## 6 結言

本稿では形鋼圧延ロールに適用した狭開先軸接合技術として、ロール胴部と軸部に狭開先加工を施し、開先内を多層肉盛することで、CPC法によって被覆したロール胴部の多数本採りを検討した。

溶接評価試験結果を要約すると、以下のとおりである。

- (1) 溶接材料の機械的強度を測定した結果、 $690\text{N/mm}^2$ ( $70\text{Kgf/mm}^2$ )級高張力鋼が従来のSCM材単体と同等な結果を得たため、形鋼圧延ロールでの狭開先溶接の溶接材料は $690\text{N/mm}^2$ 級高張力鋼が最良である。
- (2) 擬似欠陥を作成した溶接部位の機械的強度は、従来のSCM材単体と破断位置、破断荷重ともに同等な結果を得た。よって、溶接部位は従来のSCM材と同等の品質を得た。
- (3) 連続的に溶接ビード表面に発生したスラグを除去可能な治具を設置し、実ロール形状で溶接を施した。超音波探傷検査をした結果、社内判定基準を満足する結果を得た。

現在、特許審査中である本接合技術は多くの形鋼

圧延ロールに適用されており、使用用途が拡大している。今後は、他設備で使用されているロールで適用可能か検討していく。

## 参考文献

- 1) 例えば、橋本光生：圧延ロール用多合金系白鉄における炭化物の解析，フジコー技報No13(2005),p25-p34
- 2) 例えば、尾崎健一：CPC法による大型形鋼圧延ロール，フジコー技報No11(2003),p56
- 3) 大野京一郎ほか：形鋼圧延ロールに適用した狭開先軸接合技術，フジコー技報No10(2002),p48-54
- 4) V.Malin：Monograph on Narrow-Gap Welding Technology,WRC Bulletin 323(1987)
- 5) 堀勝義，羽田光明：狭開先アーク溶接，溶接学会誌 第68巻(1999)第3号,p41-p59
- 6) 杉谷祐司：高速回転アーク自動溶接技術，金属Vol.65(1995)No.10,p879
- 7) 溶接学会編：溶接・接合技術概論，産報出版(2000)，p109