

技術論文

CPC 製スリーブの拡管についての研究

Research on Expanding Method of Sleeve-type Roll Manufactured by CPC Process



技術開発センター
第一開発室
近藤 加寿心
Kazushi Kondou

技術開発センター
第一開発室 リーダー
博士(工学) 園田 晃大
Akio Sonoda

商品技術部 部長
博士(工学) 姜 孝京
Hyo-Gyoung Kang

技術開発センター長
博士(工学) 永吉 英昭
Hideaki Nagayoshi

要旨

当社では CPC 法による熱間圧延鋼板の巻取りロールの製造を行ってきた。さらに、より厳しい環境下で使用されるピンチロール用に高硬度材の開発にも成功した。しかし、上ピンチロールの直径は大きく、現有の CPC 設備の製造範囲を超えているため製造は困難である。そこで、 casting 後のロールに拡管加工する必要がある。そこで、実サイズでの拡管加工試験を実施し、拡管加工前後で材料特性を調査し比較評価を行った。その結果、拡管加工が可能であるとともに、加工による材料特性の劣化がないことが確認された。

Synopsis:

FUJICO has been manufacturing wrapper rolls for hot rolling by the CPC process. We have developed a high-hardness material for pinch roll that is used in more severe conditions than wrapper rolls. However, since the upper pinch roll has a size that cannot be manufactured with our current CPC facilities, it is necessary to expand the roll after casting. We examined the expanding of the roll in actual size and studied the change of material properties before and after expanding. As a result, it was confirmed that the expanding of roll in diameter is possible and there is basically no change in material properties by the expanding.

1. 緒言

当社はこれまで製鉄所における熱間圧延設備に用いられる熱延プロセス用ロールを開発し、製造並びに供給を行ってきた。代表的な巻取り設備の構成図を Fig.1 に示す。その中でも巻取りロールは材質改善により、長寿命化に貢献し製鉄所で広く採用されている^{1), 2)}。

巻取りロールの前方には上・下ピンチロールが設置されており、鋼板を適正な状態で送りこむ役割を果たしている。一般的に、下ピンチロールに比べ上ピンチロールの径が大きく、おおよそ $\phi 930\text{mm}$ 程度である。当社ではすでに報告³⁾した通り熱間圧

延ピンチロール用の高性能材質の開発に成功したが、現有の CPC (Continuous Pouring process for Cladding) 設備で製造可能な直径は $\phi 860\text{mm}$ が限界であるため対応できない。そこで、CPC 法により製造した中空円筒形状のロール (以下スリーブ) を拡大加工 (以下拡管及び拡管加工) することで、大径ロールへの適応が可能と考えた。一方、拡管の際にスリーブを $1000\sim 1100^\circ\text{C}$ まで加熱し、大きな塑性変形を伴うため、拡管後の材質特性の劣化が懸念される。そこで本稿では、巻取りロール用に広く採用されている FKS-KC5 材を外層として CPC スリー

ブを製造し、拡管加工前後での材質特性の変化について調査を行ったので報告する。

2. 小径スリーブ拡管加工

まず小径スリーブ(φ380×L700mm、厚み 25mm)にて事前テストを行った。このスリーブは2層の複合構造となっている。外層は FKS-KC5 材、内層は STKM 材となっており、それぞれの厚みは 12.5mm である。拡管加工は Fig.2 に示す装置 (1500×1500×H7000mm) にて Table 1 に示す加工条件でおこなった。その結果を Fig.3 に示す。

スリーブにき裂や異常変形等は発生せず、外径φ380mm からφ460mm に拡管加工を行う事が出来た。

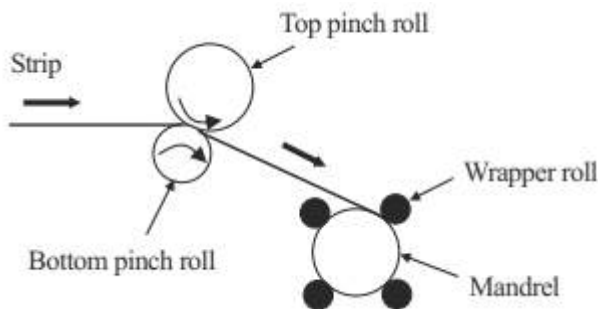


Fig.1 Construction of coiler in hot strip mill



Fig.2 Expander for sleeve with small diameter

Table 1 Expanding test conditions of sleeve

Heating temperature	1000~1100°C
Numbers of expanding	Twice
Rotation angle	22.5°
Drawing pitch of sleeve	20mm



Fig.3 Expanded sleeve with small diameter

3. 拡管加工後の材料特性

3.1 供試材と試験要領

ピンチロールに適用される材質には主に耐摩耗性、耐熱衝撃性、耐腐食性等様々な特性が要求される。これらの特性を拡管加工前後で比較する。

供試材は拡管加工前後のスリーブからそれぞれ 200×150mm を切り出した。

それぞれの試供材について熱処理は 1000°C×4hrs 加熱保持により固溶化処理を行った後強制空冷し、460°C×7hrs 加熱保持し時効硬化処理を行った。熱処理後、所定の試験片寸法に加工して試験を行った。

組織観察は試験材の FKS-KC5 材部分をピクラルにてエッチング、3 次元レーザー顕微鏡により 200 倍の視野で観察し、2 次デンドライトアーム間隔の比較を行った。常温での硬さはマイクロビッカース硬度計により荷重 500gf、負荷時間 5 秒の条件で 10ヶ所測定し、実用的なショア硬度へ変換した。

続いて実機の使用環境に準じた高温酸化特性、熱衝撃性の比較試験を行った。高温酸化特性はまず試験材 (10×10×10mm) の質量を測定する。電気炉で 900°C×24hrs 加熱保持後、強制空冷を行い質量の測定を行うことで酸化増量 (g/m²・hr²) を算出した。熱衝撃特性は試験材 (10×15×10mm) を試験前に浸透探傷試験法 (PT 検査) によりき裂の有無を確認し、600°Cに保持した電気炉に投入し 5 分間保持した後、事前に準備しておいた水槽 (容積: 500ml、水温: 25±2°C) に投入し、再度 PT 検査でき裂の有無を確認することによって行った。

3.2 金属組織

Fig.4 に拡管加工前後の顕微鏡組織写真を示す。拡管前後の組織はいずれも基底は焼き戻しマルテンサイトであり、結晶粒界には M₇C₃ 炭化物が確認され、同様の組織を呈していた。また、いずれも楕円状のデンドライトセルが確認できる。これらの間隔 (2 次デンドライトアーム間隔) を 10ヶ所測定し平均値を出した。その結果、拡管加工前の 2 次デ

ンドライトアーム間隔は 59.2 μm 、拡管加工後は 59.9 μm であった。2 次 dendroライトアーム間隔の比較から拡管前後で組織の大きさの変化は認められなかった。

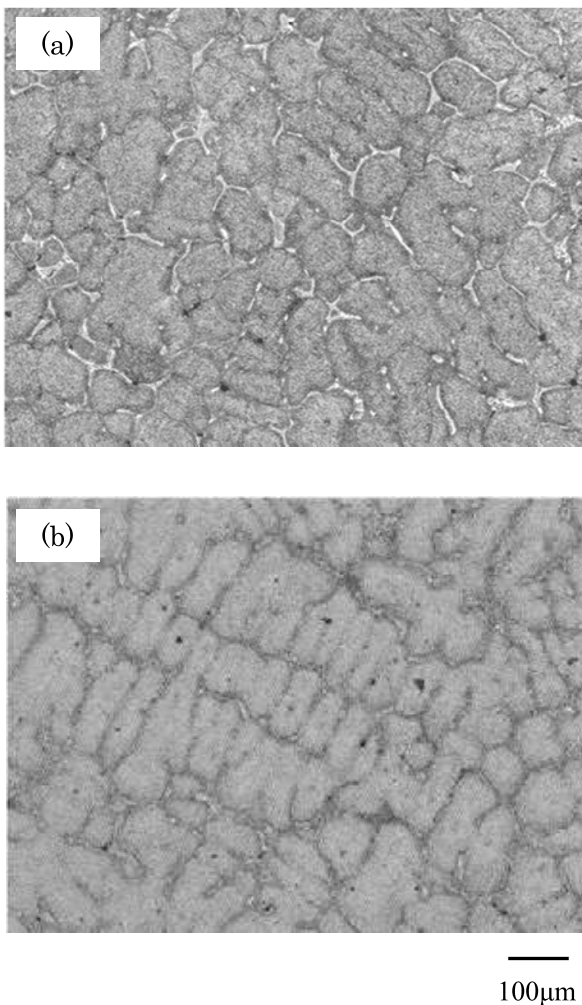


Fig.4 Microstructures of FKS-KC5 sleeve material before and after expanding : (a) before expanding, (b) after expanding

3.3 硬度

Fig.5 に拡管加工前後の FKS-KC5 材の換算ショア硬度を示す。Fig.5 から読み取れるようにどちらも HS70 程度の高い硬度が得られている。これは、FKS-KC5 材が析出硬化型ステンレス鋼であり、固溶化熱処理後に続いて析出硬化処理を行う事により、過飽和に固溶していた析出硬化元素が析出し、高い硬度が得られるためである。また、それぞれの硬度の平均値は拡管加工前で HS69.5、拡管加工後は HS70.0 と変化はほとんど見られなかった。以上の事から硬度についても拡管前後で特性の変化がないと言える。

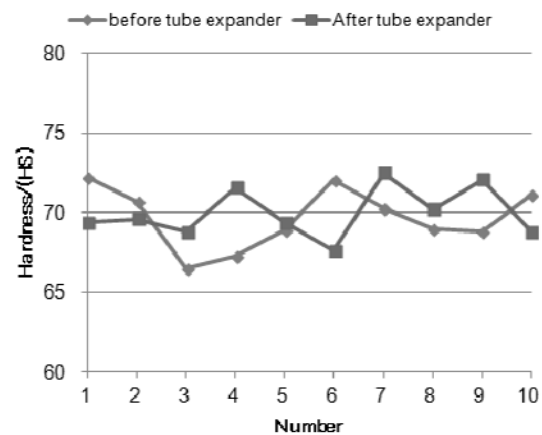


Fig.5 Hardness of sleeve before and after expanding

3.4 高温酸化性特性

一般にピンチロールは 600~900 $^{\circ}\text{C}$ の高温の鋼板と常に接触しているため実際のロール表面は最高 600 $^{\circ}\text{C}$ 程度の高温になると考えられる。そのため、その温度域での性質が重要である。特に高温酸化特性はロール材質の高温での熱間摩耗性、肌荒れ性及び焼付き性と直接的な関係性が深く、鋼板の表面品質にも影響を与える。高温酸化性試験の結果を Table 2 に示す。

酸化スケール増量を計測した結果 (Table 2) から拡管加工前後での差は 0.09 ($\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{hr}^2$) であり拡管の影響はほとんどないと考えられる。

Table 2 Result of high temperature oxidation test of sleeve with FKS-KC5 material

Test pieces	900 $^{\circ}\text{C} \times 24\text{hrs}$
	Weight gain ($\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{hr}^2$)
Before expanding	0.97
After expanding	1.06

3.5 熱衝撃特性

実際のピンチロール表面には高温の鋼板と接触することによる熱伝導や、通板時の摩擦熱等により大きな熱負荷が掛かる。その後、水冷や空冷による外部からの冷却やロール内部への熱拡散等によりロール表面が急冷される結果、ロール表層部に熱衝撃を受ける環境にある。そのため、本実験では、まず急激な温度変化による熱衝撃特性を把握するため、拡管加工前後の FKS-KC5 材の比較を行った。その結果を Fig.6 に示す。

拡管前後の FKS-KC5 材共に 600 $^{\circ}\text{C}$ での熱衝撃によるき裂は確認されず、優れた熱衝撃特性を示した。

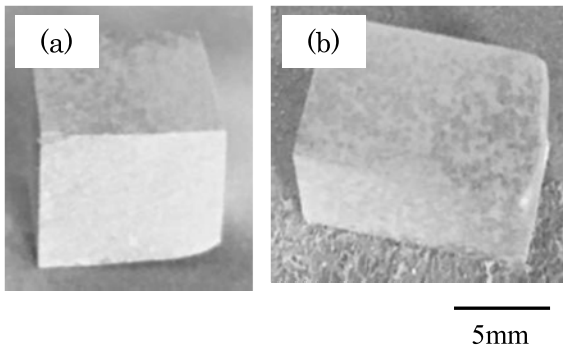


Fig.6 Appearance of thermal shock testing piece : (a) before sleeve expanding, (b) after sleeve expanding

4. 大径スリーブ拡管加工

3節の結果から FKS-KC5 材を 1000℃以上の拡管加工を行った場合でもピンチロールに必要な各種材質特性が劣化していないことが確認された。一般に上ピンチロールの径はφ930mm 付近である。そこで、実ロールサイズでの拡管加工試験を行った。

大径スリーブの拡管を行うために Fig.2 の装置や弊社の摩擦圧接機⁴⁾を参考に大径スリーブ用の拡管加工装置を製作した。その装置を Fig.7 に示す。大径用の装置は作業者の作業性を考慮し、従来の縦型ではなく横型で製作した。

使用したスリーブのサイズはφ800×L1500mm、厚み 100mm である。また、小径スリーブ同様外層は FKS-KC5 材、内層は STKM 材でそれぞれの厚みは 50mm とした。試験は小径スリーブの拡管加工と同様に Table 1 に示す条件で行った。拡管加工の様子と拡管後のスリーブをそれぞれ Fig.8 および Fig.9 に示す。

試験の結果、Fig.9 に示す通りスリーブの端から 100mm 程度が変形し、最大径はφ920mm 程度まで広がった。このように、本プロセスの拡管が可能であることが確認された。一方、スリーブ全長での拡管には課題を残す結果となった。

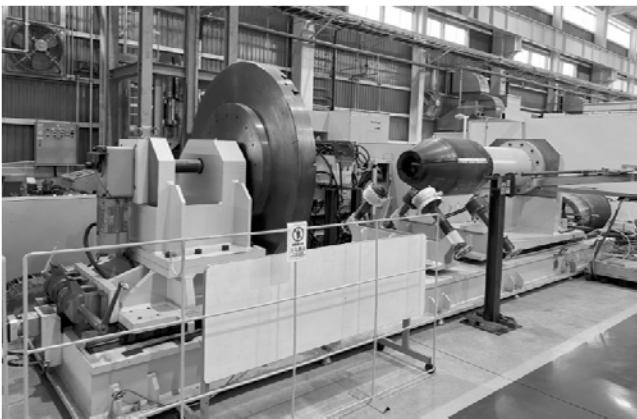


Fig.7 Expander for sleeve with large diameter

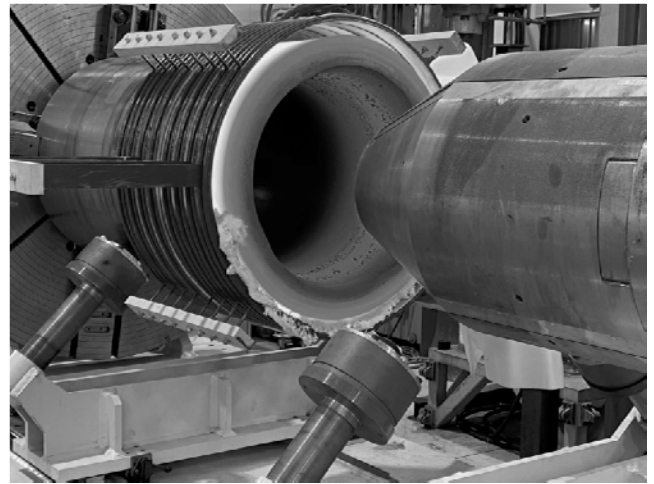


Fig.8 Expansion of large diameter sleeve

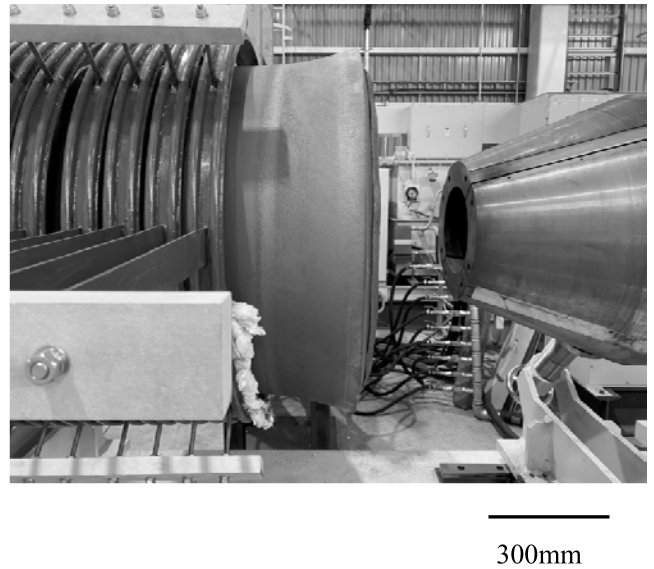


Fig.9 Overview of expanded sleeve with large diameter

5. 結言

これまでに得られた結果を要約すると次の通りである。

- 1) 拡管加工による FKS-KC5 材の材質特性の変化を検証するため、φ380mm の CPC2 層スリーブで拡管加工を行ったところ、φ460mm までき裂なく拡管を行えた。
- 2) 拡管加工前後の組織観察の結果、いずれも基体は焼き戻しマルテンサイトであり、結晶粒界には M_7C_3 炭化物が確認された。また、2 次デンドライトアーム間隔を測定したところ、拡管前後で 0.7μm の違いしかなく、結晶粒の粗大化はなかった。
- 3) 拡管前の平均硬度は HS69.5、拡管後は HS70.0 であったことから拡管の硬度への影響もほとんどなかった。
- 4) 高温酸化試験を行った結果、拡管前後いずれも

高い耐高温酸化性を示した。

- 5) 熱衝撃試験を行った結果、拡管前後いずれも600℃での熱衝撃でき裂は発生せず優れた熱衝撃性を示した。
- 6) 大径スリーブの拡管試験においてもスリーブの端部で拡管され、本プロセスの可能性が確認された。一方、大径スリーブの全長での拡管について、引き続き調査を進める。

参考文献

- 1) 姜孝京、園田晃大、嵩純孝、永吉英昭：
フジコー技報 No.16 (2008) 25
- 2) 園田晃大、花田喜嗣、肖陽、永吉英昭：
フジコー技報 No.22 (2014) 25
- 3) 園田晃大、姜孝京、古田博昭、宮崎裕之、
永吉英昭：フジコー技報 No.24 (2016)24
- 4) 園田晃大、花田喜嗣、牟用煥、姜孝京、
永吉英昭：フジコー技報 No.23 (2015) 25