

平成24年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「大径丸鋼材の摩擦圧接法によるロール軸接合技術
に関する研究開発」

研究開発成果等報告書

平成25年3月

委託者 経済産業省 九州経済産業局

委託先 公益財団法人 北九州産業学術推進機構

－ 目 次 －

第 1 章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標	1
1-2 研究体制(研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者)	4
1-3 成果概要	9
1-4 当該プロジェクト連絡窓口	10

第 2 章 研究成果

2-1 大径丸鋼材用摩擦圧接装置の開発	11
2-1-1 小径材による摩擦圧接試験	11
2-1-2 摩擦圧接装置の開発・製作	11
2-1-3 外部加熱装置の開発	12
2-2 大径丸鋼材の摩擦圧接条件の研究	12
2-2-1 大径丸鋼材摩擦圧接における摩擦トルクの低減条件の確立及び摩擦熱による急速昇温条件(摩擦工程条件)の確立	12
2-2-2 大径丸鋼材のアプセット工程条件の研究	14
2-2-3 大径丸鋼材の摩擦圧接面の形状の検討	15
2-3 摩擦圧接部の品質評価	16
2-3-1 摩擦圧接部の健全性評価	16
2-3-2 摩擦圧接部の強度特性評価	16
2-3-3 接合部の熱処理試験	16
2-4 ロール軸接合用摩擦圧接装置の開発	16
2-4-1 長尺丸鋼(4m)用の摩擦圧接装置の開発	16
2-5 ロール軸接合制御自動化の開発	17
2-6 ロール軸接合試験	18
2-6-1 ロール実サイズの摩擦圧接試験	18
2-6-1-1 実サイズの圧延ロールを想定した摩擦圧接試験	18
2-6-1-2 実圧延ロール試作及び摩擦圧接部の品質評価	18
2-6-2 ロール軸部の健全性及び強度確認	19
2-7 摩擦圧接で製造した圧延ロールの実機検証テスト	19

第 3 章 研究開発総括

3-1 平成 22～平成 24 年度研究開発成果	21
3-2 研究開発後の課題・事業化展開について	22

第4章 推進委員会及び総合管理

4-1 推進委員会	24
4-2 課題検討会及び摩擦圧接試験立会い	25

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

近年、鉄鋼メーカーでは製品の品質向上や省エネルギーの観点から低温・高圧下で鋼材の圧延を行う傾向が強まっている。このため圧延ロールへの負荷が大きくなり高性能ロールが求められる。連続鋳造(CPC)法で製造されるロールは他製法のロールに比較して性能が優れるが、軸部を溶接するため軸部の強度低下が生じる。本研究では、摩擦圧接法を応用した新技術で軸部を接合することで、ロール軸部の高強度化、製造コストの削減、品質の安定化を目指す。

鋼材(板・棒・線材等)の製造過程で圧延工程があり、複数個の圧延ロールにより粗圧延→中間圧延→仕上げ圧延の順に圧延され目的の形状へ成形されていく。使用中の圧延ロールは、次第に摩耗し形状が変化していき、圧延後の素材形状が変化するため、耐摩耗性のあるロールが求められる。各ロールメーカーは、耐摩耗性に優れ、より安価なロールの開発を行っている。圧延の工程(粗・中間・仕上げ)の違いによって、圧延ロールに要求される特性は異なる。現在、ロール交換頻度の少ない粗圧延には耐肌荒れ性を重視したダクタイルロールが使用されている。一方、製品により近く交換頻度の多い中間と仕上げ圧延には、製品表面疵を防止するため、CPC 法や遠心鋳造法で製造した硬さを重視したハイスロール等が使用されている。

鉄鋼メーカーでは製品の品質向上や省エネルギーの観点から低温・高圧下で鋼材の圧延を行う傾向が強まっている。このため、ロールへの負荷が大きくなり、摩耗等で寿命が短くなる。場合によっては、ロールの折損事故が発生している。このような状況下で、圧延ロールの高性能化(耐摩耗性、高強度化)が緊急の課題となっている。当社のCPC法で製造した特殊ハイスロールは、他製法ロールに比較して高性能(耐摩耗性・耐肌荒れ性・耐き裂性・強度)を有する。近年、粗圧延に特殊ハイスロールが導入され、ダクタイルロールに比較して大幅な高寿命化を達成した。CPC法で製造したロールは、製造コストを削減するため、CPC法で被覆した胴部を多数個取りして、狭開先溶接(Narrow Gap Welding :NGW)法で軸(SCM440材)を接合している。このため、ロールの軸溶接部は、溶接の影響で強度が母材(SCM440)に比較して低い傾向にある。ロールへの圧延反力が大きくなると溶接部において折損事故が発生する可能性がある。そこで、本研究開発では、下記に示す特徴を有する摩擦圧接法をロール軸接合技術に応用することで、圧延ロールの高強度化・高寿命化・低コスト化を達成することを目的とする。

摩擦圧接法の原理

摩擦圧接法の概略図を図1に示す。図は、摩擦圧接過程を示しており、2つの圧接材料の一方を回転させ、接合する面を接触させ摩擦圧力をかけると、両素材の接触面で摩擦により発熱する。摩擦面近傍がさらに高温になると、摩擦圧力と摩擦による振り力によって、摩擦面がバリとして外周方向へ押し出される。これにより、両素材の接合面の酸化物や汚れなどが排出され、清浄面同士が接触することになり、接合に十分な程度に近接する。この過程を所定時間続けてから回転を停止し、圧力を一段と高くしてアプセットする。以上で摩擦圧接が完了する。

摩擦圧接法の特徴

- ① 得られた溶接部は、溶融溶接に比較して微細で緻密な組織となり強度が高い。

- ② 圧接条件を機械的に設定するので、条件さえ確立すれば再現性のある接合が安定的に可能となる。
- ③ エネルギー効率がよく省エネルギーである。
- ④ 溶接材料、シールドガスが不要である。

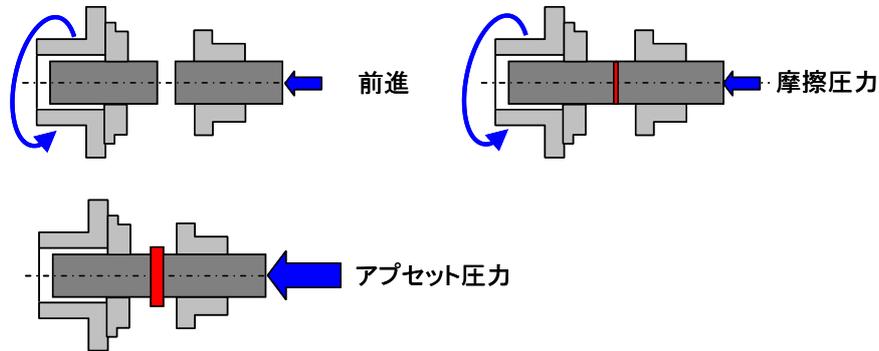


図 1 摩擦圧接法の概略図

摩擦圧接法を応用したロール軸接合技術の開発

本テーマは、ロールの軸部(φ200～φ350mm、クロムモリブデン鋼)の摩擦圧接法による接合技術の開発である。しかし通常の摩擦圧接法では、大規模設備が必要となり国内にそのような摩擦圧接装置が存在しないのが現状である。クロムモリブデン鋼(SCM440)を摩擦圧接するには、一般的な条件としてアプセット圧力が140MPa程度必要で、これをφ350mmのSCM440材のアプセット推力に換算すると13500kN(1375ton)である。そこで本研究では、外部加熱と摩擦加熱を併用する超高速摩擦圧接法という新技術を提案・開発を実施する。図2に超高速摩擦圧接法の概略図を示す。超高速摩擦圧接法とは、予め摩擦圧接面を外部加熱しておき、引き続き摩擦圧接を行なう方法である。この方法の特徴は、低い摩擦圧力で摩擦熱が発生して、低いアプセット圧力で摩擦圧接が可能となる。これにより、摩擦圧接装置の小型化が可能となる。

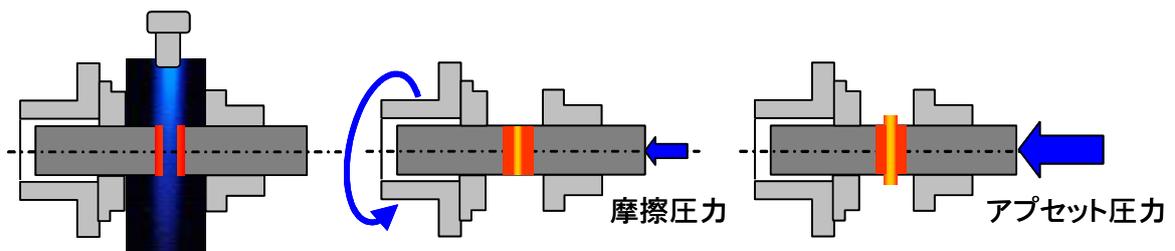


図 2 超高速摩擦圧接法概略図

具体的な目標値

・機械的特性

引張強度 NGW: 600MPa ⇒ 新技術: 700MPa 以上

疲労限 NGW: 200MPa ⇒ 新技術: 300MPa 以上

・製造コスト

胴部と軸部の接合 NGW ⇒ 新技術: 50%削減

・製造技術の確立

短尺大径丸鋼材用摩擦圧接試験装置の開発・製作及び圧接条件の確立

研究目的及び目標値に対しての実施結果

・機械的特性の向上

摩擦圧接部の引張強度及び疲労限は、当初の目標値を十分に達成した結果が得られた。

・製造コストの削減

圧延ロールの軸部を摩擦圧接で接合することで、溶融溶接法と比較して 50%製造コスト削減を達成した。

・製造技術の確立

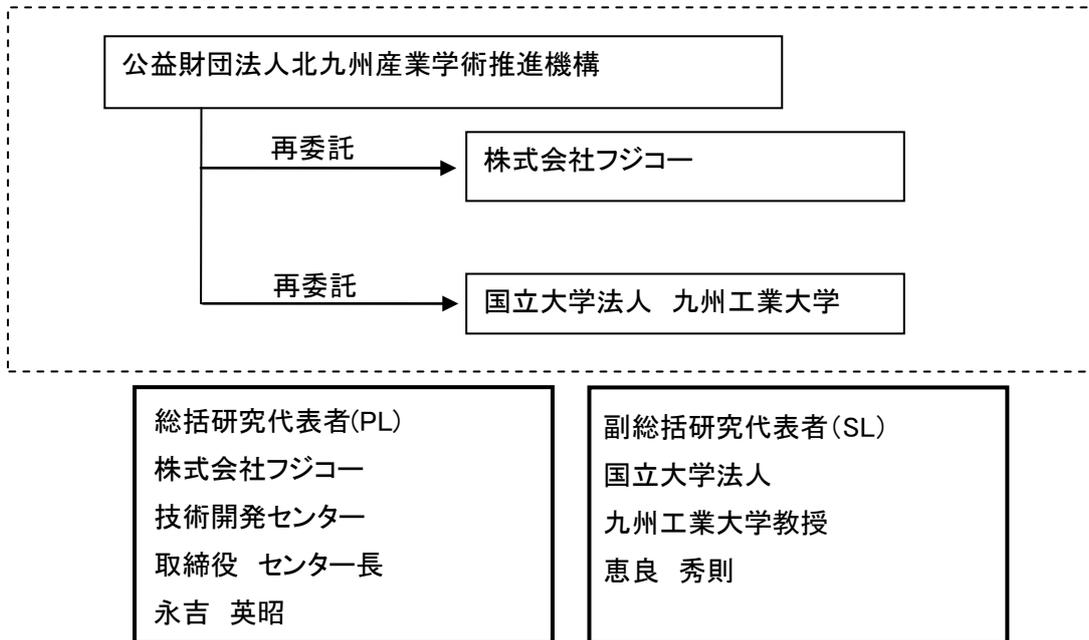
圧延ロール軸部専用摩擦圧接装置を完成し、実圧延ロール軸部の摩擦圧接条件を確立した。

当初の目的及び目標値を十分に達成した成果が得られた。

1-2 研究体制(研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者)

(1) 研究組織及び管理体制

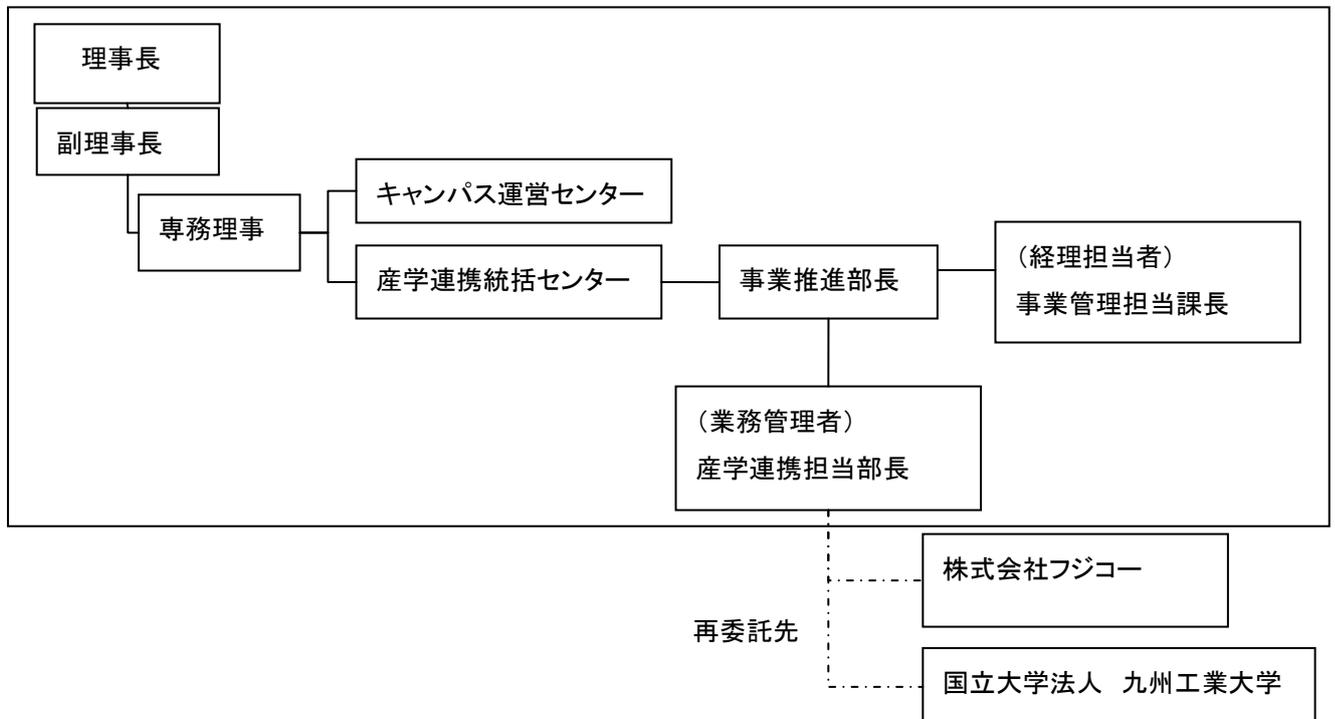
1) 研究組織(全体)



2) 管理体制

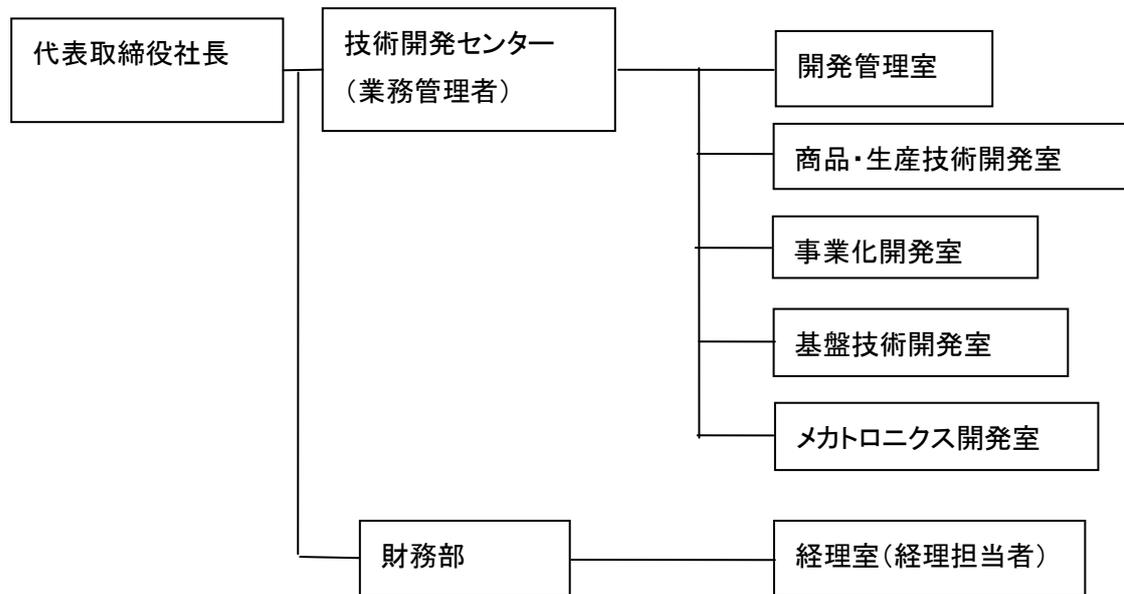
① 事業管理者

〔公益財団法人北九州産業学術推進機構〕

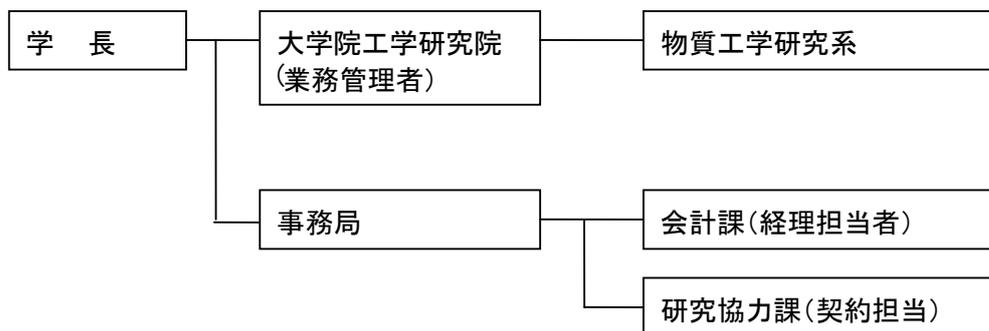


②(再委託先)

株式会社フジコー



国立大学法人 九州工業大学



(2) 管理員及び研究員

【事業管理者】公益財団法人北九州産業学術推進機構

①管理員(プロジェクト管理員)

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
富工 雅人	(公財)北九州産業学術推進機構 産学連携統括センター 産学連携担当部長	⑧

【再委託先】※研究員のみ

株式会社フジコー

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
永吉 英昭	技術開発センター 取締役センター長	⑤、⑥、⑦
木村 健治	技術開発センター 商品・生産技術開発室 主任	⑤、⑥、⑦

国立大学法人 九州工業大学

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
恵良 秀則	大学院工学研究院 物質工学研究系 教授	⑥

戦略的基盤技術高度化支援事業提案書記載の具体的な研究開発において

* 実施内容(番号)

<平成 22 年度及び平成 23 年度実施内容>

- ①大径丸鋼材用摩擦圧接装置の開発
 - ①-1 小径材による摩擦圧接試験
 - ①-2 摩擦圧接装置の開発・製作
 - ①-3 外部加熱装置の開発
 - ①-4 大径丸鋼材の摩擦圧接試験

- ②大径丸鋼材の摩擦圧接条件の研究
 - ②-1 摩擦トルクの低減条件の確立
 - ②-2 摩擦熱による急速昇温条件の確立
 - ②-3 アップセット工程条件の研究
 - ②-4 圧接面の形状の検討

- ③圧接部の品質評価
 - ③-1 接合部の健全性評価
 - ③-2 接合部の静的・動的強度特性の評価
 - ③-3 接合部の熱処理試験

- ④ロール軸接合用摩擦圧接装置の開発
- ④-1 長尺丸鋼(4m)用の摩擦圧接装置の開発

<平成 24 年度実施内容>

- ⑤ ロール軸接合制御自動化の開発 (株フジコー)

- ⑥ ロール軸接合試験 (株フジコー、(国)九州工業大学)
- ⑥-1 ロール実サイズの摩擦圧接試験
- ⑥-1-1 実サイズの圧延ロールを想定した摩擦圧接試験
- ⑥-1-2 実圧延ロール試作及び圧接部の品質評価
- ⑥-2 ロール軸部の健全性及び強度の確認

- ⑦ 摩擦圧接で製造したロールの実機検証テスト (株フジコー)

- ⑧ プロジェクトの管理・運営((公財)北九州産業学術推進機構)

(3) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

(事業管理者)

公益財団法人北九州産業学術推進機構

(経理担当者) 産学連携統括センター 事業推進部 事業管理担当課長 湯村 隆史

(業務管理者) 産学連携統括センター 産学連携担当部長 富工 雅人

(再委託先)

株式会社フジコー

(経理担当者) 財務部 経理室 室長 徳丸 治美

(業務管理者) 技術開発センター 取締役 センター長 永吉 英昭

国立大学法人 九州工業大学

(経理担当者) 会計課 課長補佐 白木 智行

(業務管理者) 大学院工学研究院長 前田 博

(4) 他からの指導・協力者名及び指導・協力事項

推進委員会委員

(外部推進委員)・・・

氏名	所属・役職	備考
背尾 直彦	日東制機株式会社 代表取締役社長	アドバイザー
篠田 剛	光生アルミニウム工業株式会社 新事業本部 技術開発部 部長	アドバイザー
大城 秀政	拓南製鐵株式会社 常務取締役	アドバイザー
廣瀬 政憲	福岡工業技術センター 機械電子研究所 生産技術課 課長	アドバイザー

(内部推進委員)

氏名	所属・役職	備考
永吉 英昭	(株)フジコー 技術開発センター 取締役 センター長	
恵良 秀則	(国)九州工業大学 大学院工学研究院 物質工学研究系 教授	
木村 健治	(株)フジコー 技術開発センター 商品・生産技術開発室 主任	
富工 雅人	(公財)北九州産業学術推進機構 産学連携統括センター 産学連携担当部長	

委:委託費対象研究員

1-3 成果概要

平成 22 年度は、既存設備を使用し小径の SCM440 丸鋼材(φ25mm～φ36mm)について超高速摩擦圧接試験を実施し、超音波探傷試験により健全な摩擦圧接部が得られる摩擦圧接条件を決定した。また、製作した摩擦圧接試験片の機械的性質調査を実施し、通常の溶融溶接法との比較を行いロール軸部の強度として適切か判断した。短尺大径丸鋼材用摩擦圧接試験装置の設計・製作を実施した。

平成 23 年度は、前年度に導入した短尺大径丸鋼材用摩擦圧接試験装置を使用して大径丸鋼材(φ200～350mm)の摩擦圧接試験を実施し、浸透探傷試験と超音波探傷試験により健全な摩擦圧接部が得られる摩擦圧接条件を確立した。また、製作した摩擦圧接試験片の機械的性質調査を実施し、通常の溶融溶接法との比較を行いロール軸部の強度として適切か判断した。大径丸鋼材用の外部加熱装置の設計・製作を実施した。長尺大径丸鋼材用摩擦圧接試験を行うため、摩擦圧接素材長尺化対応設備の設計・製作を実施した。

平成 24 年度は、前年度に導入した「短尺大径丸鋼材摩擦圧接試験装置の改造」に対し、各種摩擦圧接条件の把握による品質管理を行い、圧延ロール軸部の自動摩擦圧接機専用設備を完成させるため各種機器設備の改造・設置を行い、実サイズの圧延ロールを想定した素材で摩擦圧接試験を実施した。前年度の研究成果をもとに摩擦圧接条件を設定し、摩擦圧接部の評価を行った。実サイズの圧延ロールを模した素材の摩擦圧接条件及び品質評価を確認した上で、実圧延ロールの試作を行なった。さらに、実圧延ロールの実機検証テストを行なった。

研究開発で得られた結果についての概略を以下箇条書きに記す。

- (1) φ36mm 丸鋼材を用いて摩擦圧接法の試験を行ない、小径材において適正な摩擦圧接条件を見出した。
- (2) φ200～350mm 短尺大径丸鋼材用摩擦圧接試験装置の設計・製作を完了した。
- (3) φ200～350mm 丸鋼材の圧接面を、小径材による予備試験での最適温度に加熱可能な外部加熱装置の設計・製作を完了した。
- (4) φ200mm 丸鋼材を用いた摩擦圧接試験を行なった。
- (5) φ200～350mm 大径丸鋼材について摩擦圧接時の摩擦トルクが主軸モーター定格トルク以下となる摩擦圧接条件を見出した。
- (6) φ200～350mm 大径丸鋼材の摩擦圧接面の摩擦熱による急速昇温条件を見出した。
- (7) φ200～350mm 大径丸鋼材についてアプセット押付け圧力値及び押付けタイミングを見出した。
- (8) φ200～350mm 大径丸鋼材について最適な摩擦圧接面形状を見出した。
- (9) 摩擦圧接部に対し、超音波探傷検査及び外部切削と浸透探傷検査を行い、欠陥の発生しない摩擦圧接条件を確立した。
- (10) 摩擦圧接部より試験片を切り出し、引張試験及び回転曲げ疲労試験、3 点曲げ試験を行い従来の溶融溶接部との比較評価を実施し、摩擦圧接部の機械的性質は溶融溶接部を上まわることがわかった。
- (11) 摩擦圧接部の強度調整可能な熱処理条件を見出した。
- (12) 短尺大径丸鋼材用摩擦圧接試験装置を長尺丸鋼材用に改造した。

- (13) 手動式のメインクランプ装置とサブクランプ装置を油圧式とし、素材のセット自動化を実施した。摩擦圧接品質確認機能及び摩擦圧接現象記録機能を追設し品質管理を行った。
- (14) 実サイズの圧延ロールを想定した素材の摩擦圧接試験を実施し、摩擦圧接条件を確立した。
引張強度 目標 700MPa 以上 → 実績 700MPa 以上
疲労強度 目標 300MPa 以上 → 実績 300MPa 以上
以上より、目標値を満足する結果が得られた。
- (15) CPC 法で製造したロール胴部に軸材を摩擦圧接して、欠陥の無い健全な接合部を有する実圧延ロール試作品を完成した。
- (16) 実圧延ロール試作品の摩擦圧接部が健全で強度的に問題ないことを確認した。
- (17) 摩擦圧接で軸部を接合した圧延ロール試作品を拓南製鐵株式会社の粗列 2 番スタンドで実機使用テストを実施した。1 回目の使用を終えた圧延ロールの摩擦圧接部の浸透探傷検査及び磁粉探傷検査、超音波探傷検査を行い、摩擦圧接部に亀裂等の発生も無く引続き圧延に使用可能なことを確認した。

1-4 当該プロジェクト連絡窓口

(公財)北九州市産業学術推進機構 産学連携統括センター

産学連携担当部長 富工 雅人

TEL093-695-3006 FAX093-695-3018 E-mail m-tomiku@ksrp.or.jp

第2章 研究成果

2-1 大径丸鋼材用摩擦圧接装置の開発

(①大径丸鋼材用摩擦圧接装置の開発: 提案書サブテーマ番号、以降も同様)

2-1-1 小径材による摩擦圧接試験(①-1 小径材による摩擦圧接試験)

大径丸鋼材(クロムモリブデン鋼・ $\Phi 200 \sim \Phi 350\text{mm}$)の超高速摩擦圧接技術の開発に向けた摩擦圧接条件(予熱温度・摩擦圧力・アップセット圧力・端面形状)確立のため、小径丸鋼材を用いた予備試験を行なった。試験材には、圧延ロール軸部と同じ材質の $\phi 36\text{mm}$ 丸鋼材を用いた。図3に $\Phi 36\text{mm}$ 丸鋼材の摩擦圧接状況写真を示す。摩擦圧接部の健全性の確認は、超音波探傷検査で行った。また、強度確認は、引張試験及び回転曲げ疲労試験、シャルピー衝撃試験を実施し評価した。

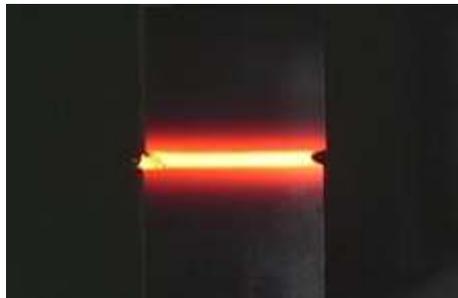


図3 $\Phi 36\text{mm}$ 小径材の摩擦圧接試験外観写真

小径材での摩擦圧接試験の結果を以下に示す。

- ・摩擦圧接時の初期トルク及び摩擦トルクを抑え、主軸モーターの負荷を低減させる外部加熱温度条件を確立した。
- ・摩擦圧接で発生するバリをスムーズに外周へ排出可能な摩擦圧接面の最適形状を確立した。
- ・健全な摩擦圧接部が得られる最低限の摩擦圧力及びアップセット圧力条件を確立した。
- ・上記の健全な摩擦圧接部を用いた強度確認試験の結果、目標値を十分に満足する結果が得られた。

以上の小径材での摩擦圧接試験の結果、従来の摩擦圧接法よりも大幅に低い圧力で接合可能なことが判明した。この新摩擦圧接法によりコンパクトな設備でも大径材を摩擦圧接できる可能性を見出した。

2-1-2 摩擦圧接装置の開発・製作(①-2 摩擦圧接装置の開発・製作、①-4 大径丸鋼材の摩擦圧接試験)

ここでは、 $\phi 200 \sim 350\text{mm}$ の大径丸鋼材専用の摩擦圧接試験装置を設計・製作して機能の確認・評価した結果を示す。図4に短尺大径丸鋼材用摩擦圧接試験装置全体及び主軸チャック側の外観写真を示す。主軸チャック側写真の左側の主軸チャックと右側の固定クランプ装置に丸鋼材をセットして摩擦圧接を行なう。主軸チャックには最大 $\Phi 360\text{mm} \times 500\text{mm}$ 丸鋼材を、固定クランプ装置には最大 $\Phi 600\text{mm} \times 500\text{mm}$ 丸鋼材の取付けが可能となっている。また、固定クランプ装置の後方に摩擦圧力及びアップセット圧力を加えるための油圧シリンダーがある。短尺大径丸鋼材用摩擦圧接試験装置に $\Phi 200\text{mm}$ 丸鋼材を取り付けて試運転を行い、油圧シリンダーの圧力と主軸モーターの回転数が仕様通り機能することを確認した。



図 4 短尺大径丸鋼材用摩擦圧接試験装置外観写真 左:全体 右:主軸チャック側

2-1-3 外部加熱装置の開発(①-3 外部加熱装置の開発)

平成 22 年度の小径丸鋼材(Φ36mm)の摩擦圧接試験結果で得られた成果をもとに摩擦圧接面を加熱可能な外部加熱装置の設計・製作を行った。外部加熱装置は、特殊火口を有する燃焼部と燃焼部を加熱位置に移動・退避する装置で構成している。燃焼部の特殊火口で、大径丸鋼材摩擦圧接面全体を均一に加熱可能となっている。設計・製作した外部加熱装置でΦ350mm 丸鋼材の摩擦圧接面の加熱試験を行ない、十分な性能があることを確認した。

2-2 大径丸鋼材の摩擦圧接条件の研究(②大径丸鋼材の摩擦圧接条件の研究)

平成 22 年度に新規設計・製作した短尺大径丸鋼材用摩擦圧接試験装置を使用して、大径丸鋼材(Φ200～Φ350mm)の摩擦圧接条件(回転数・摩擦圧力・アプセット圧力・端面形状)を確立する。大径丸鋼材の摩擦圧接条件は、平成 22 年度に実施した小径丸鋼材(Φ36mm)の摩擦圧接試験結果を基に設定し、Φ200mm の短尺大径丸鋼材で試験を実施し摩擦圧接条件を確立した後、Φ350mm での摩擦圧接試験を実施した。摩擦圧接面の予備加熱は、前項 2-1-3 で設計・製作した外部加熱装置を使用した。

2-2-1 大径丸鋼材摩擦圧接における摩擦トルクの低減条件の確立及び摩擦熱による急速昇温条件(摩擦工程条件)の確立(②-1 摩擦トルクの低減条件の確立、②-2 摩擦熱による急速昇温条件の確立)

Φ200mm 丸鋼材で摩擦圧接試験を行ない、摩擦トルク低減及び摩擦圧接部の摩擦熱による昇温速度が最も速くなる摩擦工程条件(主軸回転数、摩擦押付け圧力)の研究開発を行った。

まず、摩擦工程時の主軸回転数と摩擦圧接部の昇温速度との関係を調査した。調査方法は、主軸回転数を変化させ摩擦圧接試験を行ない、そのときの摩擦圧接部をサーモグラフィで測定し、各主軸回転数での昇温状態の違いを調査した。摩擦圧接中の同じタイミングの昇温状態を比較した結果を図 5 に示す。図より主軸回転数が高いほうが摩擦熱の発生に優位なことが判明した。また、そのときのΦ200mm 丸鋼材の周速は、小径材(Φ36mm)の摩擦圧接試験で得られた主軸回転数の周速とほぼ同じであった。次に主軸回転数と主軸モーター負荷率の関係を調査した結果を図 6 に示す。主軸回転数が低いと主軸モーター負荷率の上下変動が著しく大きくなることと、主軸回転数が高くなると主軸モーター負荷率が安定し、値が低くなることがわかった。

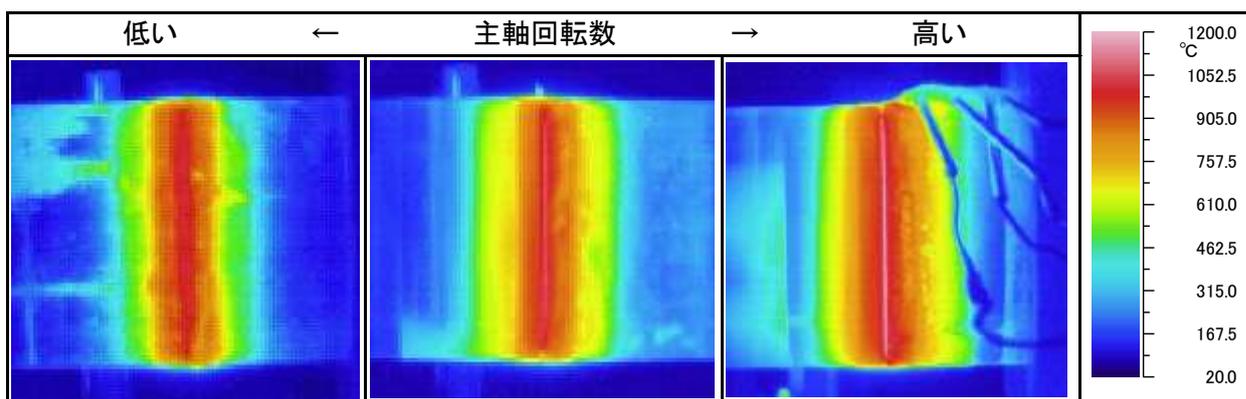


図 5 主軸回転数と昇温状態の比較

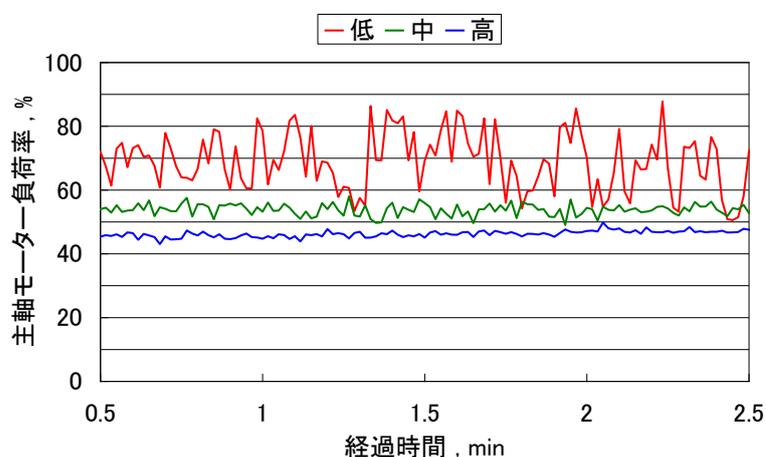


図 6 主軸回転数と主軸モーター負荷率の関係

つぎに摩擦圧接時の摩擦押付け圧力と摩擦圧接部の昇温速度との関係を調査した。調査方法は、摩擦押付け圧力を変化させ摩擦圧接試験を行ない、そのときの摩擦圧接部をサーモグラフィで測定し、各摩擦押付け圧力での昇温状態の違いを調査した。摩擦圧接中の同じタイミングの昇温状態を比較した結果を図 7 に示す。図より摩擦押付け圧力が高いほうが摩擦熱の発生に優位なことが判明した。次に摩擦押付け圧力と主軸モーター負荷率の関係を調査した結果を図 8 に示す。摩擦押付け圧力が低いと主軸モーター負荷率は低い但し上下変動が大きく安定しないことがわかった。一方、摩擦押付け圧力が高いと主軸モーター負荷率は安定するが値が高い。Φ350mm 丸鋼材だと面積も大きく主軸モーター負荷率がさらに高くなるので、摩擦押付け圧力の選定は昇温能力だけでなく主軸モーター負荷率も考慮する必要があることがわかった。

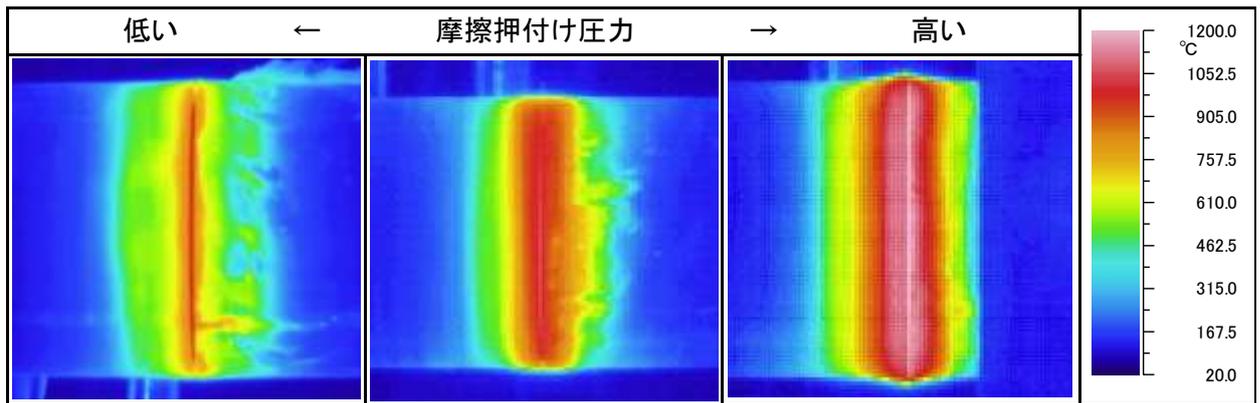


図 7 摩擦押付け圧力と昇温状態の比較

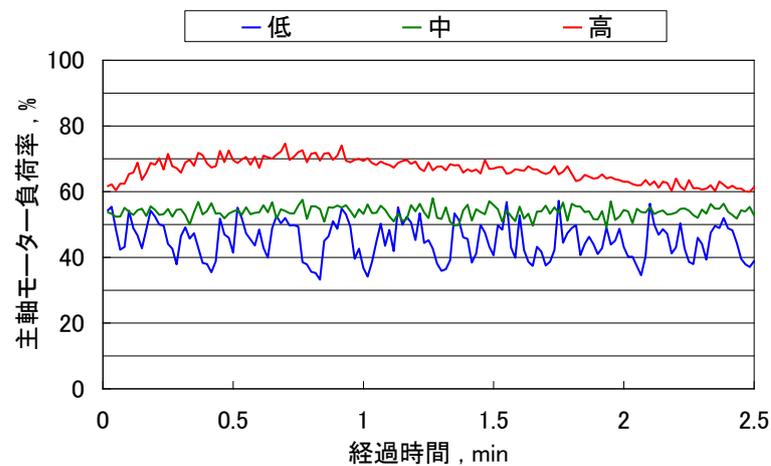


図 8 摩擦押付け圧力と主軸モーター負荷率の関係

以上の結果より、摩擦トルク低減と摩擦熱による急速昇温可能な摩擦工程条件(主軸回転数・摩擦押付け圧力)を確立した。

2-2-2 大径丸鋼材のアプセット工程条件の研究(②-3 アプセット工程条件の研究)

アプセット工程の押付け圧力が摩擦圧接部の品質への影響について調査を実施した。アプセット押付け圧力を変化させ摩擦圧接試験を行い、アプセット押付け圧力と摩擦圧接部の健全性の関係について調査を行った。摩擦圧接部の健全性は超音波探傷検査で内部欠陥の有無を検出して評価した。アプセット押付けシリンダー圧力と欠陥総面積の関係を図 9 に示す。この結果より、欠陥の無い健全な摩擦圧接部を得るための最小アプセット押付け圧力が判明した。

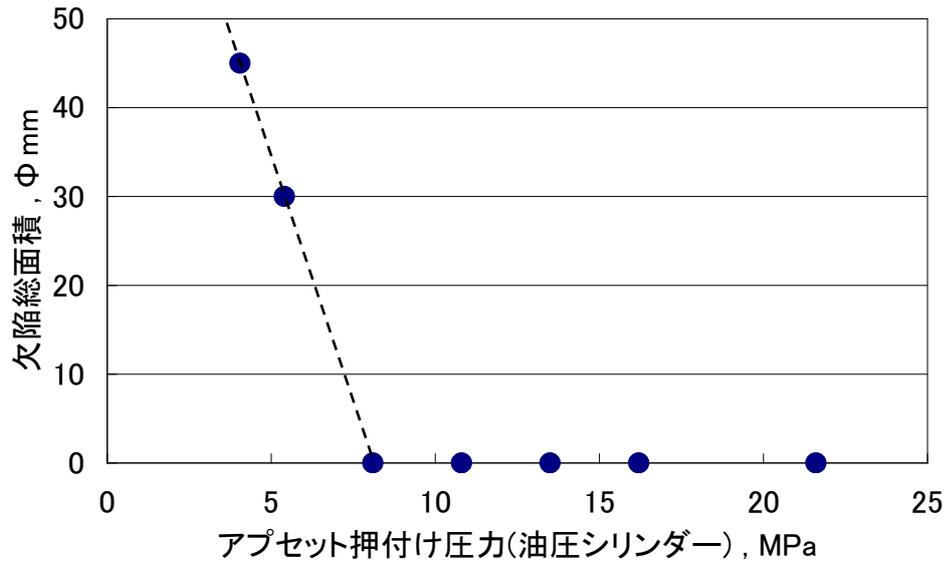


図9 アップセット押付け圧力と欠陥総面積の関係

Φ200mm 丸鋼材での摩擦圧接試験で得られた最適な摩擦圧接条件及び摩擦圧接面形状をもとにΦ350mm 丸鋼材の摩擦圧接試験を実施した。Φ350mm 丸鋼材の摩擦圧接試験の外観写真を図10に示す。Φ350mm 丸鋼材の摩擦圧接でも主軸モーター負荷率が容量オーバーせず、摩擦熱が十分に発生した状態で摩擦圧接試験を完了した。試験後の摩擦圧接部の健全性調査については、次項で報告する。

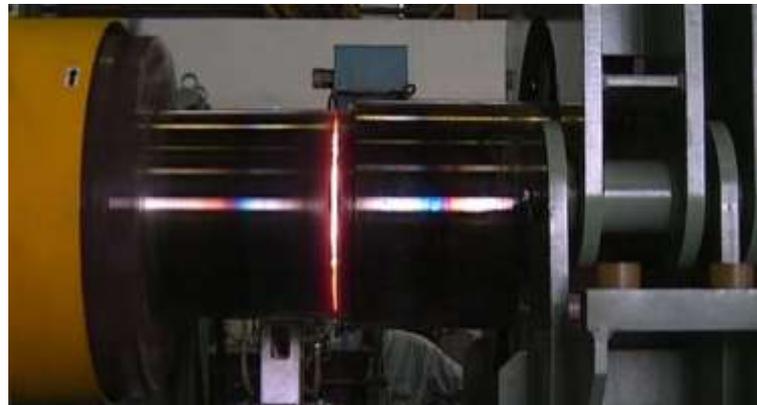


図10 Φ350mm 丸鋼材の摩擦圧接試験

2-2-3 大径丸鋼材の摩擦圧接面の形状の検討(②-4 圧接面の形状の検討)

平成22年度の小径丸鋼材(Φ36mm)の摩擦圧接試験で得られた最適な摩擦圧接面形状をもとに大径丸鋼材(Φ200mm)での最適な形状の検討を行った。図11のようにA及びBの寸法を変化させて摩擦圧接試験を実施した。試験結果、Bの寸法が数mmの狭い間隔でも、欠陥を含んだ幅の狭いバリの排出が可能であることを見出した。

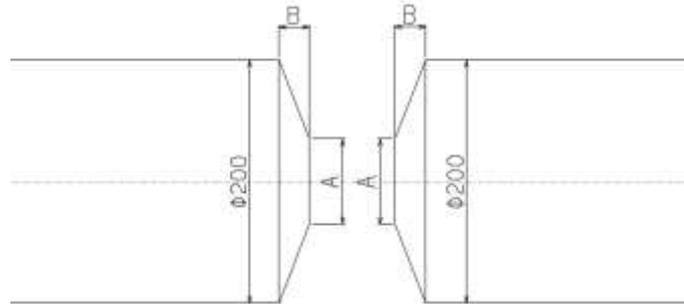


図 11 $\phi 200\text{mm}$ 丸鋼材の最適摩擦圧接形状検討図

2-3 摩擦圧接部の品質評価(③圧接部の品質評価)

2-3-1 摩擦圧接部の健全性評価(③-1 接合部の健全性評価)

前項 2-1 で実施した $\phi 350\text{mm}$ 丸鋼材の摩擦圧接試験の摩擦圧接部の健全性評価を行った。摩擦圧接で発生した外周の凸部を旋盤加工で切削しながら、目視確認と浸透探傷検査で健全に接合された外径サイズを調査した。次に摩擦圧接部の内部の状態を超音波探傷検査で調査した。 $\phi 350\text{mm}$ 丸鋼材の摩擦圧接試験で $\phi 342\text{mm}$ の欠陥の無い健全な接合部が得られたことが判明した。その結果、 $\phi 350\text{mm}$ の健全な接合面を達成するには、 $\phi 358\text{mm}$ の丸鋼材を使用する必要があることがわかった。

2-3-2 摩擦圧接部の強度特性評価(③-2 接合部の静的・動的強度特性の評価)

摩擦圧接試験で得られた健全な摩擦圧接部の熱影響による組織変化を均質化するための熱処理(調質)を行い、強度特性評価を実施した。強度評価は引張試験及び回転曲げ疲労試験で行なった。引張試験及び回転曲げ疲労試験の結果を表1に示す。摩擦圧接部の引張強度及び疲労限度は、目標値を十分に達成した。

表1 強度特性

	引張強度	疲労限度
目標値	700MPa以上	300MPa以上
摩擦圧接部	750MPa	375MPa

2-3-3 接合部の熱処理試験(③-3 接合部の熱処理試験)

摩擦圧接後に均質熱処理をすることで、摩擦圧接部と周囲の熱影響部のマイクロ組織及び硬度を均一に調整して、摩擦圧接部の引張強度及び疲労限度の目標値を達成し、さらに曲げ特性及び衝撃値を溶融溶接と同等レベルにすることが可能となった。

2-4 ロール軸接合用摩擦圧接装置の開発(④ロール軸接合用摩擦圧接装置の開発)

2-4-1 長尺丸鋼(4m)用の摩擦圧接装置の開発(④-1 長尺丸鋼(4m)用の摩擦圧接装置の開発)

平成 22 年度に導入した短尺大径丸鋼材用摩擦圧接試験装置を圧延ロール寸法の素材を取付けて摩擦

圧接試験が可能な仕様へ改造を実施した。改造後は、主軸チャックには最大Φ360mm×1200mm丸鋼材を、固定クランプ装置には最大Φ600mm×4000mm丸鋼材の取付けが可能となった。この改造で国内の鉄鋼メーカーの棒材・線材・形鋼用圧延ロールの8割以上が摩擦圧接対応可能となった。

2-5 ロール軸接合制御自動化の開発(⑤ロール軸接合制御自動化の開発)

ロール軸部摩擦圧接制御及び、摩擦圧接条件記録の自動化技術の開発と、品質管理への適用を実施する。H23 年度に改造製作した長尺丸鋼用の摩擦圧接装置に対し、各種摩擦圧接条件の把握による品質管理を行い圧延ロール軸部の自動摩擦圧接専用設備を完成させるため、各種機器設備を改造・設置した。

作業性及び安全性を考慮し、手動式のメインクランプ装置とサブクランプ装置を新たに油圧式とした。図12と図13に油圧式のクランプ開閉動作とロック開閉動作の写真を示す。摩擦圧接時の押付圧力や主軸回転数などの機械動作状況を確認・監視するため、摩擦圧接品質確認機能を追加した。摩擦圧接条件データ登録・呼出機能、摩擦圧接現象記録用アナログ出力機能を追設して品質管理を行った。



図 12 油圧式メインクランプ開閉



図 13 油圧式メインクランプ及びサブクランプロック開閉

2-6 ロール軸接合試験(⑥ロール軸接合試験)

2-6-1 ロール実サイズの摩擦圧接試験(⑥-1 ロール実サイズの摩擦圧接試験)

2-6-1-1 実サイズの圧延ロールを想定した摩擦圧接試験

(⑥-1-1 実サイズの圧延ロールを想定した摩擦圧接試験)

ここでは、H23 年度に改造製作した「短尺大径丸鋼材摩擦圧接試験装置の改造」と「外部加熱装置」を使用し、前年度得られた大径丸鋼材に関する最良の摩擦圧接条件の基で、図 14 に示す実ロールサイズの摩擦圧接試験を実施した。摩擦圧接部を浸透探傷検査と超音波探傷検査した結果、短軸と長軸ともにφ265mm 範囲において健全な摩擦圧接部が得られ、実ロールサイズの軸部摩擦圧接条件が確立できた。

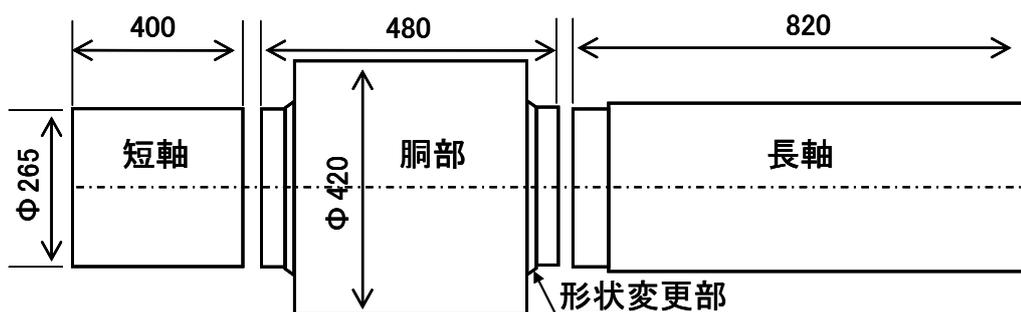


図 14 圧延ロールサイズの摩擦圧接試験形状

2-6-1-2 実圧延ロール試作及び圧接部の品質評価(⑥-1-2 実圧延ロール試作及び圧接部の品質評価)

ここでは、圧延ロール実サイズの摩擦圧接試験で得られた摩擦圧接条件を適用して、CPC 法で製造した圧延ロール胴部に軸部を摩擦圧接して圧延ロール試作品を製造した。また、一連の実圧延ロール製作に対し、実作業時間及び使用エネルギーに関するデータを取り、溶融溶接法とのコスト比較、製造能率比較を実施した。図 15 に示す形状で圧延ロールの軸部を摩擦圧接して、浸透探傷検査と超音波探傷検査で健全さを確認した後、熱処理及び仕上げ加工して圧延ロール試作品を完成させた。また、摩擦圧接法と溶融溶接法でコストと製造能率を比較した結果を表 2 に示す。摩擦圧接法が溶融溶接に比べ、コスト及び製造能率が有利であることが証明された。ここでのコストは、軸部の接合にかかる施工費を比較した。

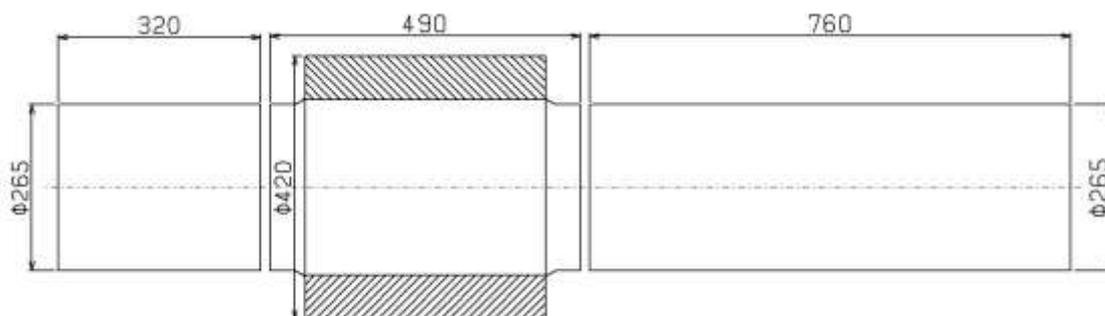


図 15 実圧延ロールの摩擦圧接形状

表 2 摩擦圧接と溶融溶接のコスト比較

	コストダウン (対溶融溶接)	製造能率 (対溶融溶接)
目標値	50%以上	-
摩擦圧接部	49%(ほぼ達成)	4倍

2-6-2 ロール軸部の健全性及び強度確認(⑥-2 ロール軸部の健全性及び強度の確認)

前項の圧延ロール実サイズの摩擦圧接試験及び実圧延ロール試作品の摩擦圧接部を超音波探傷検査及び浸透探傷検査で健全性を確認した。また、摩擦圧接部の強度確認のため、圧延ロール実サイズの摩擦圧接試験片で引張試験及び回転曲げ疲労試験を行ない、引張強度及び疲労限度の目標値を達成していることを確認した。

2-7 摩擦圧接で製造したロールの実機検証テスト(⑦摩擦圧接で製造したロールの実機検証テスト)

摩擦圧接法で軸接合した圧延ロールの試作品を本研究開発のアドバイザーである拓南製鐵株式会社の圧延スタンドにおいて実機圧延試験を実施した。図 16 に示す圧延スタンド概略図の粗圧延 2 番スタンドで試作品の実機試験を行った。粗列スタンドは、高温(1000°C近く)のビレット(135mm×135mm)を圧延するため、圧延ロールの負荷は最も厳しい環境である。

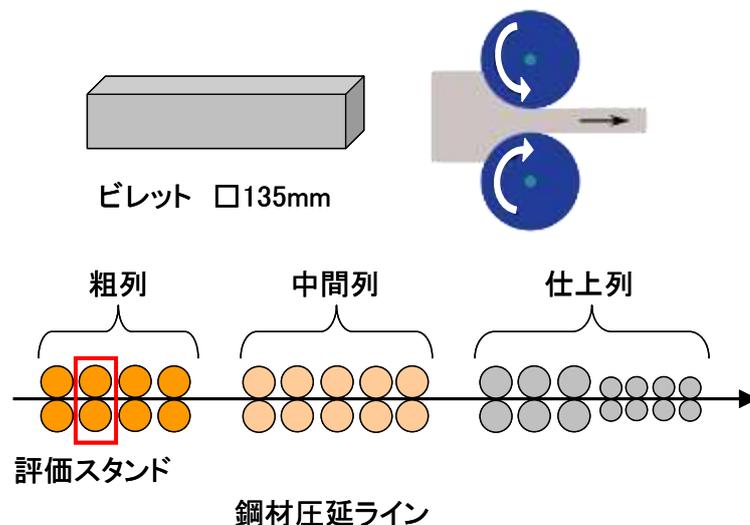


図 16 圧延スタンド概略図

圧延ロールは、圧延中に胴部表層で鋼材との接触で発生した摩耗及び亀裂が徐々に進行する。この摩耗と亀裂がある程度進むと鋼材の圧延状態に影響するため、一定量の鋼材を圧延すると圧延ロールを圧延スタンドから外して胴部表層の摩耗による凹凸や亀裂を切削で取除く必要がある。胴部表層を切削加工した圧延ロールは、再び圧延スタンドで鋼材の圧延に使用する。このサイクルを圧延ロールの寿命(胴部CPC硬化層の厚み)まで数回繰り返す。

初回の使用を終えた圧延ロールの摩擦圧接部の点検・評価を実施した。点検は、超音波探傷検査及び浸透探傷検査、磁粉探傷検査で実施した。表 3 に圧延ロール 2 本(4 軸)の点検結果を整理した。4 軸とも摩

擦圧接部に亀裂の発生等の問題も無く、引き続き圧延に使用可能なことが確認できた。当圧延ロールは、寿命まで継続して点検・評価を実施していき、摩擦圧接で接合した圧延ロールの性能を検証する。

表 3 摩擦圧接ロール実機使用後摩擦圧接部評価

摩擦圧接ロール点検	浸透探傷	磁粉探傷	超音波探傷		判定
			垂直方向	斜角方向	
No.1ロール	短軸	○	○	○	4軸全て亀裂等の発生も無く継続使用可能
	長軸	○	○	○	
No.2ロール	短軸	○	○	○	
	長軸	○	○	○	

第3章 研究開発総括

戦略的基盤技術高度化支援事業提案書記載の具体的な研究内容において

3-1 平成22年度～平成24年度研究開発成果

①大径丸鋼材用摩擦圧接装置の開発

①-1 小径材による摩擦圧接試験

(ϕ 36mm 丸鋼材を用いて摩擦圧接法の試験を行ない、小径材において適正な摩擦圧接条件を見出した。)

①-2 摩擦圧接装置の開発・製作

(ϕ 200～350mm 短尺大径丸鋼材用摩擦圧接試験装置の設計・製作を完了した。)

①-3 外部加熱装置の開発

(ϕ 200～350mm 丸鋼材の圧接面を、小径材による予備試験での最適温度に加熱可能な外部加熱装置の設計・製作を完了した。)

①-4 大径丸鋼材の摩擦圧接試験

(ϕ 200mm 丸鋼材を用いた摩擦圧接試験を行なった。)

②大径丸鋼材の摩擦圧接条件の研究

②-1 摩擦トルクの低減条件の確立

(ϕ 200～350mm 大径丸鋼材について摩擦圧接時の摩擦トルクが主軸モーター定格トルク以下となる摩擦圧接条件を見出した。)

②-2 摩擦熱による急速昇温条件の確立

(ϕ 200～350mm 大径丸鋼材の圧接面の摩擦熱による急速昇温条件を見出した。)

②-3 アップセット工程条件の研究

(ϕ 200～350mm 大径丸鋼材について最適なアップセット圧力値及び押付けタイミングを見出した。)

②-4 圧接面の形状の検討

(ϕ 200～350mm 大径丸鋼材について最適な圧接面形状を見出した。)

③圧接部の品質評価

③-1 接合部の健全性評価

(摩擦圧接部に対し、超音波探傷検査及び外部切削と浸透探傷検査を行い、欠陥の発生しない摩擦圧接条件を確立した。)

③-2 接合部の静的・動的強度特性の評価

(摩擦圧接部より試験片を切り出し、引張試験及び回転曲げ疲労試験、3点曲げ試験を行い従来の溶融溶接部との比較評価を実施し、摩擦圧接部の機械的性質は溶融溶接部を上まわることがわかった。)

③-3 接合部の熱処理試験

(摩擦圧接部の強度調整可能な熱処理条件を見出した。)

④ロール軸接合用摩擦圧接装置の開発

④-1 長尺丸鋼(4m)用の摩擦圧接装置の開発

(短尺大径丸鋼材用摩擦圧接試験装置を長尺丸鋼材用に改造した。)

⑤ ロール軸接合制御自動化の開発

(手動式のメインクランプ装置とサブクランプ装置を油圧式とし、素材のセット自動化を実施した。
摩擦圧接品質確認機能及び摩擦圧接現象記録機能を追設し品質管理を行った。)

⑥ ロール軸接合試験

⑥-1 ロール実サイズの摩擦圧接試験

⑥-1-1 実サイズの圧延ロールを想定した摩擦圧接試験

(実サイズの圧延ロールを想定した素材の摩擦圧接試験を実施し、摩擦圧接条件を確立した。
引張強度 目標 700MPa 以上 → 実績 700MPa 以上
疲労強度 目標 300MPa 以上 → 実績 300MPa 以上
以上より、目標値を満足する結果が得られた。)

⑥-1-2 実圧延ロール試作及び圧接部の品質評価

(CPC 法で製造したロール胴部に軸材(クロムモリブデン鋼)を摩擦圧接して、欠陥の無い健全な接合部を有する実圧延ロール試作品を完成した。)

⑥-2 ロール軸部の健全性及び強度の確認

(摩擦圧接部の健全及び強度的に問題ないことを確認した。)

⑦ 摩擦圧接で製造したロールの実機検証テスト

(摩擦圧接で軸部を接合した圧延ロール試作品を拓南製鐵株式会社の粗列 2 番スタンドで実機検証テストを実施した。1 回目の使用を終えた圧延ロールの摩擦圧接部の浸透探傷検査及び磁粉探傷検査、超音波探傷検査を行い、摩擦圧接部に亀裂等の発生も無く引続き圧延に使用可能なことを確認した。)

以上のように平成 22 年度及び平成 23 年度、平成 24 年度のサブテーマは、予定通りに研究開発を完了した。

3-2 研究開発後の課題・事業化展開について

① 本事業により開発する技術を用いた製品

	製品等の名称	製品等の概要(用途、特徴等)
(1)	CPC 特殊鋼ロール	本事業によって開発した大径丸鋼材の摩擦圧接技術を用いて軸接合した圧延ロール 用途: 棒線材・形鋼・板用のロール (圧延工場の粗・中間・仕上げスタンド用) 特徴: CPC 法による特殊鋼の厚肉被覆技術 → 耐摩耗性・耐き裂性・耐肌荒れ性 摩擦圧接法による軸接合技術→ 高強度・品質良好
(2)	大径丸鋼材の摩擦圧接技術に係る特許権	本事業によって開発した大径丸鋼材の摩擦圧接技術に係る特許権を取得し、ライセンス付与を行う。

②本事業終了から事業化に至るまでのスケジュール

製品等の名称		CPC 特殊鋼ロール				
開発事業者		(株)フジコー				
スケジュール	事業終了後の経過年数	1年目	2年目	3年目	4年目	5年目
	サンプルの出荷		→			
	サンプルの調査				→	
	追加研究(※1)				→	
	生産体制の準備				→	
	製品等の生産					→
	製品等の販売					→
売上見込	売上高(千円)	0	0	0	0	360,000
	販売数量(単位を記載)	0	0	0	0	300
	売上高の根拠	<p>国内の高炉メーカー及び電炉メーカーの市場調査結果(2009年)を以下に示す。</p> <p>形鋼用ロールの市場は、約 500,000 千円 棒線材用ロールの市場は、約 1,000,000 千円 板用ロールの市場は、約 7,000,000 千円</p> <p>今回の提案した圧延ロールは、棒線材・形鋼用であるため、その市場は、約 1,500,000 千円程度である。</p> <p>本事業で研究開発した摩擦圧接法を応用した軸接合技術とCPC法を用いて製造した特殊ハイスロールは、従来の熔融溶接に比較して高強度化且つ品質向上を達成した。これらの特徴をもつ、本提案の圧延ロールは、川下産業のニーズ(高寿命化・高強度化)を反映でき、今後、国内メーカーへの拡販が可能となる。</p>				

※1追加研究について

圧延ロールの生産体制の準備と同時に摩擦圧接で軸部を接合した圧延ロールを客先へPRするため、摩擦圧接法の接合メカニズムを追加研究で説明する必要がある。また、大径丸鋼材の摩擦圧接法に関する特許戦略(取得)を十分整えて生産に移る必要があるため、2年間延長した。

第4章 推進委員会及び総合管理

本論では、本委託事業で開催した推進委員会及び主な課題検討会の実施状況をまとめる。問題の発生の都度検討会を実施することで、関係者の共通認識を得、課題解決に至った。また、摩擦圧接試験に関係者が立会いすることで、試験の進め方への共通認識を得ることに努めた。

4-1 推進委員会

第一回推進委員会

開催日時：平成24年8月24日(金)PM15:30～17:30

開催場所：株式会社フジコー 技術開発センター 会議室

内容

1. プロジェクトリーダー挨拶 株式会社フジコー
2. 来賓挨拶 九州経済産業局 地域経済部 技術振興課
3. 今年度の研究開発概要報告
 - 1)平成23年度の成果概要と平成24年度研究開発計画及び、成果報告 (株フジコー:木村)
 - 2)摩擦圧接装置、摩擦圧接圧延ロール等現場確認
4. 質疑応答
 - ・質問1
基本的な質問で申し訳ないが、摩擦圧接はどうして接合でき、高強度化が図れるのか？
 - ・回答
1950年代ロシアで確立された技術で、溶かさずに2つの部材を高温・短時間・高圧力とすることで部材間の原子拡散(鉄とアルミで数ミクロン)により接合される。特に高圧力とすることで接触面が汚れていても、空気中で拡散接合が可能となる。また部材に強くねじり変形を与えることで結晶粒が微細化し、高強度化が図れる。
 - ・質問2
これだけ大きいサイズで、時間をかけて摩擦をさせる場合の知見は世の中にはない、接合部のマイクロ組織は細かいか、中心と表層のばらつきはないか？
 - ・回答
通常の圧接材に比べれば大きいのが、均一な組織となっている。
 - ・質問3
疲労試験のN数が少ないが？
 - ・回答
これから実施する。
5. 総括 統括研究代表者
6. 事務連絡 FAIS

4-2 課題検討会及び摩擦圧接試験立会い

No.	日時	内容
1	2012/6/6	第1回圧延ロールサイズ摩擦圧接テスト
2	2012/6/11	第2回圧延ロールサイズ摩擦圧接テスト
3	2012/6/14	第1回及び第2回摩擦圧接テスト結果検討会
4	2012/6/19	摩擦圧接条件検討会
5	2012/7/6	第3回圧延ロールサイズ摩擦圧接テスト
6	2012/7/12	第3回摩擦圧接テスト結果検討会
7	2012/7/19	第4回圧延ロールサイズ摩擦圧接テスト
8	2012/7/24	第5回圧延ロールサイズ摩擦圧接テスト
9	2012/7/30	第4回及び第5回摩擦圧接テスト結果検討会
10	2012/8/1	実圧延ロール摩擦圧接軸継ぎ方案検討会
11	2012/8/8	実圧延ロール1本目短軸側の摩擦圧接テスト
12	2012/8/9	実圧延ロール1本目長軸側の摩擦圧接テスト
13	2012/8/13	実圧延ロール1本目摩擦圧接結果検討会
14	2012/8/16	実圧延ロール2本目短軸側の摩擦圧接テスト
15	2012/8/20	実圧延ロール2本目長軸側の摩擦圧接テスト
16	2012/8/22	実圧延ロール2本目摩擦圧接結果検討会 第1回推進委員会資料打合せ
17	2012/9/24	実圧延ロール2本試作品完成検査立会い
18	2013/1/10	実機検証テスト圧延ロール検査方法検討会
19	2013/2/6	実機検証テスト圧延ロール点検(拓南製鐵株)
20	2013/2/18	本事業成果まとめ打合せ

リサイクル適性 (A)

この印刷物は、印刷用の紙へ
リサイクルできます。