

Arvedi ESP 技術による超薄板高品質熱間圧延コイルの製造

Thinnest High-quality Hot-rolled Coils at Lowest Production Costs
with Arvedi ESP Technology



Andreas Jungbauer*¹

Bernd Linzer*²

Thomas Pfatschbacher*³

Arvedi ESP は、連続鋳造・圧延をエンドレスモード運転で行うことにより、優れた特性の鋼板の製造を最少の生産コストで実現できることを実証した。Acciaieria Arvedi 社が開発し、Primetals Technologies 社が設計、製造及び販売を行っている。Arvedi ESP ラインの構成並びに操業結果について説明する。

1. はじめに

高強度で軽量の自動車用車体や高張力鋼を用いた超薄板構造物などの生産コストを低減したいという業界の要求に応えるため、革新的な生産技術 Arvedi ESP を開発・実用化した。

Arvedi ESP はイタリア北部クレモナの Acciaieria Arvedi 社が長年の操業で成功を収めた後、中国で5ラインを受注したこともあり、今日では業界の高度な鉄鋼品質要求に応え、さらには圧延の可能性を広げる実証された技術として認められている。従来 0.8mm の製品厚みは冷間圧延工程を必要としていたが、この技術により熱間圧延で0.8mm のホットコイルを製造することができるので、冷間圧延工程を省略し、酸洗や亜鉛めっきの処理を施し、冷間圧延代替品として幅広い用途に利用できる。

Arvedi ESP は、Acciaieria Arvedi 社が開発し、Primetals Technologies 社が設計、製造及び販売を行っている。Arvedi ESP ラインの構成並びに操業結果について説明する。

2. プラント全体の構成

Arvedi ESPプラントは、長さ180mと、従来の連鋳工場及び圧延工場よりはるかにコンパクトであるため、土地、土木工事、建物、配管、ケーブル敷設及び据付に必要な投資額は少なくなる(図1)。Arvedi ESPラインで用いる溶鋼は、転炉又は電気炉から供給する。

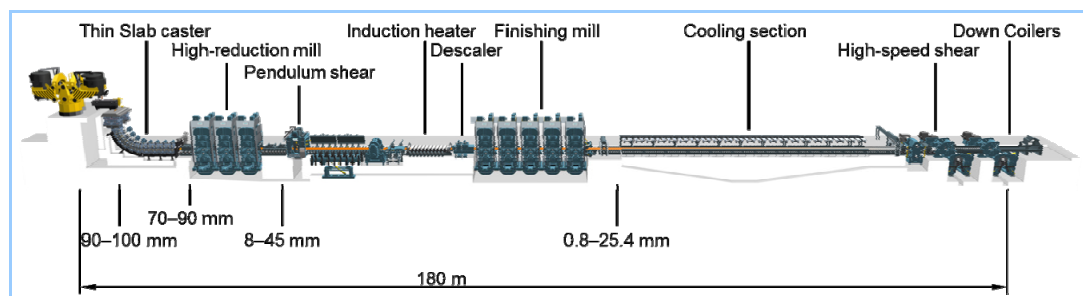


図1 Arvedi ESP 工場のレイアウト及び主要構成装置

*1 General Sales Manager for Endless Strip Production, ESP Sales Department, Primetals Technologies Austria GmbH

*2 Head of ESP Technology, ESP Technology Department, Primetals Technologies Austria GmbH

*3 Head of Technology & Innovation, CE Casting & Rolling Technology, Primetals Technologies Austria GmbH

2.1 連続鋳造機

湾曲型鋳造機は、90mm～110mm の厚さの鋼を鋳造するストレートモールドを備えており、このモールドから出てくる鋳片の曲げ及び曲げ直しを行う。鋳片幅の調整は、DynaWidth 鋳型幅調整技術を使用して、オンラインで行う。この調整技術によって、目標鋳片幅に正確に合わせる事が可能になり、エッジャーの必要もなくなる(図2)。



図2 特殊形状の浸漬ノズルを備えた漏斗型鋳型

連鋳機は、11 のセグメントを備え、鋳片が凝固するまでの長さは 20m 余りにすぎない。連鋳機の直後に3台の高圧下ミルが設置されて、連鋳時の熱エネルギーを保ったまま粗バー(鋼板)に圧延できる。これにより、大幅なエネルギーコストの削減ができる。さらに、鋳造された直後の鋳片の中心部分は高温で柔らかいため、形状制御をし易くなり、高圧下ミルでのワークロールベンディング操作によって板クラウン及び板ウェッジを良好に制御できる(図3)。



図3 ESP 連鋳機に直接連結された高圧下ミル

2.2 誘導加熱装置

高圧下ミルから出た粗バー(鋼板)は、直ちに、10m 長の誘導加熱装置に入り、15 秒足らずで通過するので、スケールの形成を最小限にできる。そのため、ライン全体としても、必要なデスケラーは、1 台で済み、仕上ミルの直前に設置される。これにより鋼板の温度低下をなくし、TMCP(Thermo Mechanical Control Process)パラメータのより良好な制御を可能にしている(図4)。



図4 誘導加熱装置

2.3 仕上ミル

粗バーは、再加熱及びデスケアーに続き、仕上ミルに入る。このミルは、5台の4-Hi 仕上スタンドからなる。板クラウンなどの形状は高圧下ミルで既に作られているので、最初の2台の仕上スタンドのみに、ボトル形状のロールクラウンを有する SmartCrown ロールを備えれば良い。その後の3台のスタンドは、従来型のロールクラウンを有するワークロールを適用することで、平坦な鋼板を製造できる。圧延中のワークロールの軸方向への移動は、ロール摩耗補償モデルによって制御されて、ワークロール交換周期を最大限に延ばすことができる。さらに、Arvedi ESP プラントは、エンドレスモード運転を採用するので、バッチ運転によくある板先端噛み込みによる衝撃が無く、ワークロールの寿命を大幅に延長させる。典型的生産例として、3000 トンの溶鋼をミルの最終スタンドで、かなりの部分が厚さ 1 mm の全長 170km の鋼板として圧延することができる(図5)。



図5 仕上ミル

2.4 鋼板の冷却及びコイルング

圧延後、鋼板はラミナー冷却が行われ、切断される。高速切断時のストリップの張力は、適切な値に設定される。エンドレスモード運転により製造されるコイルは、最大 32 トンとなる。その鋼板は、その全長にわたって高度に均一の形状特性及び機械特性を有する。鋼板の先後端の切断は、エンドレスモード運転では必要がないため、Arvedi ESP ラインの平均歩留りは、溶鋼からコイル状製品までで 98%を越える。高度なトラッキングモデルを備えた自動制御システムは、生産計画に従って、切断操作をし、コイルを計画通りに仕上げる。これらのプラント技術や自動制御システムは、Arvedi 及び Primetals Technologies の特許権によって保護されている(図6)。



図6 ラミナー冷却, 高速剪断及びダウンコイル

2.5 様々な製品構成

Arvedi ESP プラントで製造できる製品構成は、高強度低合金(HSLA)鋼、二相鋼のみならず、低炭素鋼、極低炭素鋼、中炭素鋼にまで及ぶ。特に、Arvedi のエンドレスモード運転は、定常状態を維持する工程の特性により、鋼板の温度プロファイルの管理に優れ、一般的鍛造圧延よりも格段に高い精度で、先進の鋼材品質の造りこみを達成できる。例えば、HSLA 及びパイプグレー

ドのものを製造するときに、合金元素の成分を削減でき、その結果、大幅な生産コストの削減を達成できる。エンドレスモード運転が鋼板の冶金特性に与える優れた影響は YouTube で視聴可能である(図7)。



図7 Arvedi ESP エンドレス生産モードの優位性

<https://www.primetals.com/PMF0028>

2.6 表面品質－重要な問題

形状及び冶金特性の均一性は、Arvedi ESP の実証運転開始時から期待通りであった。さらなる品質の焦点は、鋼板の表面品質に向けられた。その答えを出すために、イタリアのクレモナにある Arvedi ESP プラントで製造された鋼材で試験が行われた。自動車用鋼板を生産するためのプロセスで複数のコイルを処理した。即ち、酸洗、タンデム冷間圧延機での圧延、最後に亜鉛メッキラインでの Z100 メッキ処理を施した。板先端部から尾端部まで、板クラウン及び板ウェッジが非常に小さく、寸法が安定していたので、冷間圧延機を微調整することもなく、スムーズに通板できた。平坦度は、冷間圧延機の No.1 スタンド出側で7I-Unit だったものが、No.5 スタンド出側では1I-Unit に仕上げられた。その後、鋼板は、自動表面検査システムによって検査され、優れた表面品質であることが確認された。

試験結果は以下のとおりである。

- ・熱延鋼板形状、非常に良好
- ・厚み公差、非常に良好
- ・幅、非常に良好、軽微な誤差のみ
- ・冷間圧延機での成形性、非常に良好、通板性申し分ない
- ・冷間圧延及び亜鉛めっき後の平坦度、申し分ない
- ・表面欠陥事実上なし

2.7 0.8 mm 熱間圧延コイルの直接使用(酸洗及び亜鉛めっき後)

Arvedi ESP ラインで製造されたコイルは優れた表面品質を有するので、冷間圧延鋼板の代わりとして、薄厚熱間圧延鋼板をそのまま使用することが考えられる。これにより、冷間圧延、焼鈍、スキンパスの工程を省ける分だけ、エネルギーの節約につながる(図8)。



図8 0.8 mm 極薄熱間圧延コイル

ミクロ組織と個々の機械特性のほかに、鋼板を用いた最終的な製品にとって、最も重要な要求項目は、表面品質と粗度に関するものである。Arvedi ESP で製造された熱間圧延材料を新たな用途において使用できることを証明するために、広範にわたる条件下で酸洗試験を行った。顕微鏡写真から、スケールの大部分がマグネタイトで、平均スケール厚さは $9\sim 10\mu\text{m}$ であることが分かった。スケールは、鋼板の幅に沿って均一に分布している。

Arvedi ESP ラインで製造された材料の性質を把握するために、様々な条件で試験を行った。Arvedi ESP ラインで製造された材料の脱スケール性は、良好な結果が得られる酸洗条件下で処理した一般的な鋼材の場合と同等であることを確認した。酸濃度、酸洗の温度並びに酸の消費量においても、他の材料と差は見られなかった(図9)。

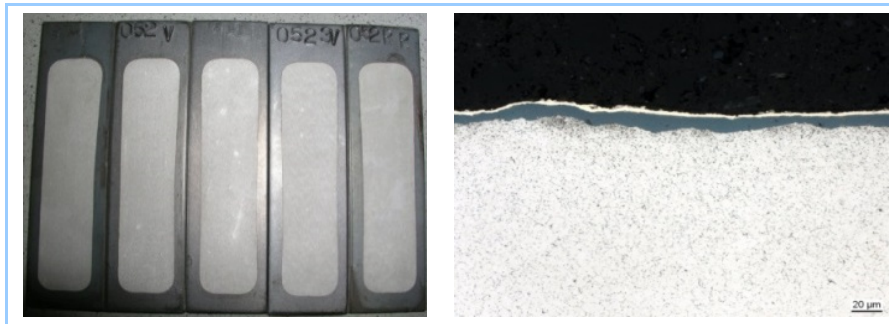


図9 様々なエッチング条件での酸洗試験の試料及び ESP 材料のスケール層の代表的な顕微鏡写真

2.8 PAS 2050ーグリーン認定

エネルギー消費又は温室効果ガス(GHG)排出量の議論になると、本分野の専門家でなければデータの数値を比較することは難しい。このため、英国規格協会(BSI)が発行した規格(PAS) 2050 を熟知した専門家に相談した。(PAS) 2050 は、商品やサービスのライフサイクル(全過程)での温室効果ガス排出量を定量化するための基準である。

BSI PAS 2050:2011, ISO 14040, 及び ISO 14044 を順守するため、Siemens VAI(現 Primetals Technologies Austria GmbH)と Acciaieria Arvedi 社は、TUV SUD Industrie Service GmbH, PE International AG の両社に、多くの収集データに基づく詳細な文書を提供した。

そして、ライフサイクル分析(LCA)分野において著名な専門企業、ドイツのエヒターディンゲンの PE International AG によって、厳格な審査が行われた。温室効果ガス排出量は、原材料入手から製品出荷までの全ライフサイクルが調査・評価される。そのため、結果は、使用された原材料に関する温室効果ガス排出量も含む、機能単位で定義された製品の温室効果ガス排出量(カーボンフットプリント(PCF))である。基準製品として、厚さ 2mm、幅 1500mm の 1ton の熱間圧延低合金低炭素 S235JR 鋼が選択され、関連する全エネルギー及び消費データは、2011 年に収集された。製造プロセスのエネルギー消費は、合金、板厚及び板幅、最終的な鋼の品質、製造技術(Arvedi ESP が該当する項目)、生産性、再生材料の割合及びその他の多くのパラメータによる。この製品が生産されたときの生産能率は、330 ton/hr で、この数値は、単一の鑄造機としてはかなり高い値であるが、Arvedi ESP としては普通である。

証明及び認定プロセスは、TUV SUD Industrie Service GmbH によって、イタリアのクレモナにある Arvedi Steel の本社で行われた監査をもって完了した。製造プロセス過程において、計算上考慮されるべき損失も計算に含め、さらには、物やエネルギーの流れだけでなく、工程間の連結部分の効率も考慮した。監査のさらなる対象は、測定装置とデータ取得システムのチェックであった。認定書の一部をなす証明書は、Arvedi ESP のエネルギー消費量が基準製品当たり 131.6 kWh であることを示している。認定書そのものは、PCF が正確に計算されていること、及び製品基準当たりの PCF を示している(図 10)。



図 10 Arvedi ESP プロセスのエネルギー消費についての
証明書及び認定書 PAS 2050:2011 (2012)

4. まとめ

Arvedi ESP ラインで製造される鋼板は、既存の市場における広範な種類の製品として販売できる。熱間圧延鋼板の特性は、冷間圧延後の焼きならされた結晶構造のものに匹敵する。その機械特性は、市場のニーズを満足させることができる。絞り成形の Lankford 値のような成形性に関する要求がある場合、冷間圧延を行うことも可能で、その場合は Arvedi ESP ラインによる薄物の熱間圧延コイルを用いることで、冷間圧延操業も容易になる。

Arvedi ESP ラインで製造される製品は、優れた形状品質と表面品質を示すとともに、熱間及び冷間圧延製品により提供される広範な用途に適した材料特性を示すことが確認された。

参考文献

- (1) Jungbauer A., Linzer B., Viehbock A., Thin is beautiful ? ESP to further develop the cold band substitute market (薄いことは美しい—ESP の冷延鋼帯代替品市場のさらなる開発), E, ESTAD 会議 (2015)
- (2) Jungbauer A., Linzer B., Viehbock A., Rizhao Steel counts on Arvedi ESP for High-Quality Hot-Strip Production (Rizhao Steel 社の高品質熱延鋼板製造のための Arvedi ESP への期待), (2014)
- (3) Jungbauer A., Bragin S., Linsbod R., Next Arvedi ESP installations in China? High-quality, ultra-thin strip to enter new market segments (中国における次の Arvedi ESP の導入—高品質極薄鋼板の新しい市場セグメントへの参入)
- (4) Bragin, S.; Watzinger, J.; Linzer, B.; Bianchi, A., Bernhard, C., Influence of thin slab thickness on final strip property in Arvedi ESP plant (Arvedi ESP プラントにおける薄スラブ厚の最終鋼板特性への影響), 欧州連続鋳造会議 (2014)