

© 1989 ISIJ

寄 書

# 高速乱流酸洗液による熱間圧延鋼板の 高速酸洗の可能性

伊藤 雅彦\*・緑川平八郎\*・木村 智明\*<sup>2</sup>  
山口 輝雄\*<sup>2</sup>・菊池 有二\*<sup>2</sup>

## Possibility of High Speed Pickling of Hot Rolled Strip by High Speed Turbulent Flow of Acid Solution

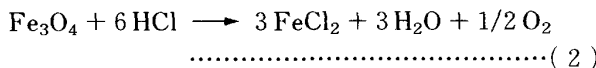
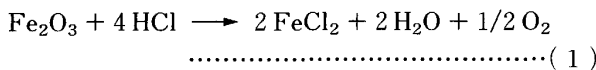
Masahiko ITOH, Heihachirō MIDORIKAWA, Tomoaki KIMURA,  
Teruo YAMAGUCHI and Yūji KIKUCHI

### 1. 緒 言

熱間圧延（以下、熱延と称す）鋼板のデスクーリングは後続の冷間圧延（以下、冷延と称す）時のスケール巻込みによる鋼板表面の損傷防止のために不可欠であり、通常は酸洗処理がおこなわれる。近年、冷延鋼板の生産性向上のためにデスクーリング工程と冷延工程の連続化が図られているが、これには前段のデスクーリング工程の高速化が鍵となる。デスクーリングの高速化の一手段として、最近ではスケールを機械的に破壊し、次いで塩酸溶液に浸漬する方法が用いられている<sup>1)</sup>。このための機械的なスケールブレイキング法が各所で検討<sup>2)</sup>されているが、酸洗自体の改良までには至っていない。そこで本研究では、鋼板と酸洗槽の間隙を狭くし、酸液を乱流状態で高速流動させることにより酸洗速度の向上（酸洗時間短縮）を試みた。

### 2. 高速乱流による高速酸洗の考え方

熱延鋼板の塩酸酸洗において、スケールの溶解反応は次のように表される<sup>3)</sup>。



酸洗速度を上げて酸洗時間を短縮するには、上記の溶解反応を促進すれば良く、塩酸濃度及び温度が寄与することが知られている。しかし、濃度及び温度は装置上あるいはコスト等の実用上の制約から無制限に高くはできない。そこで実用的な範囲で酸洗速度を向上させるには拡散の促進と鋼板温度を酸液温度まで急速に上昇させる必

要がある。すなわち、鋼板表面における物質移動（酸及び反応生成物の拡散）の促進と温度境界層の縮小による熱伝達率の改善である。その手段として鋼板表面で酸液を高速乱流化させて物質移動促進及び鋼板の急速昇温を達成し酸洗時間の短縮を図る。

### 3. 実験方法

#### 3.1 供試材

供試材は板厚 2.5 mm、板幅 310 mm のコイル状の熱延鋼板を用いた。Table 1 にその化学組成を示す。供試材は熱延後 800°C で巻き取ったもので、Fig. 1 に X 線回折結果を示すようにスケールは Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> が主成分であり、その他に Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> も若干混在している。この供試材を直

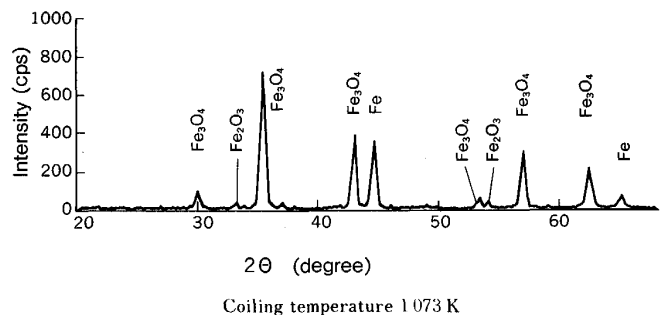


Fig. 1. X-ray diffraction pattern from surface of hot rolled strip.

Table 1. Chemical composition of steel (wt%).

| C    | Si   | Mn   | P     | S     | Fe   |
|------|------|------|-------|-------|------|
| 0.01 | 0.01 | 0.12 | 0.015 | 0.017 | Bal. |

昭和 60 年 10 月 本会講演大会にて発表 平成元年 3 月 27 日 受付 (Received Mar. 27, 1989)

\* (株)日立製作所日立研究所 (Hitachi Research Laboratory, Hitachi, Ltd., 4026 Kuji-cho Hitachi 319-12)

\*2 (株)日立製作所日立工場 (Hitachi Works, Hitachi, Ltd.)

Key words : carbon steel ; hot rolled strip ; acid pickling ; scale ; turbulent flow.

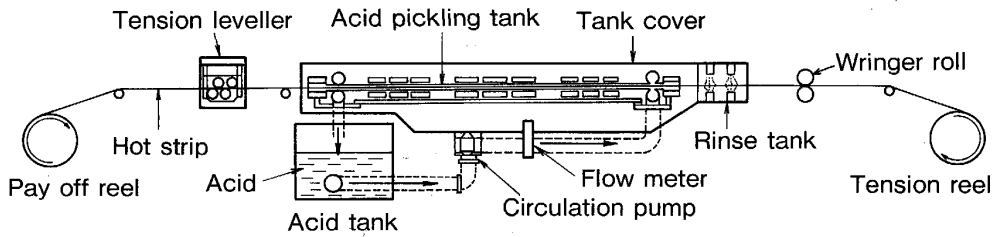


Fig. 2. Experimental apparatus for continuous pickling of hot rolled strip.

径 50 mm のワークロールを 5 本備えたスケールブレイカーを通して板の伸び率が 5% になるように引張り曲げ加工をして前処理 (スケールブレイキング) したものを試験に用いた。

3.2 実験装置

実験装置の概略構成を Fig. 2 に示す。本装置は酸液の流動部と供試材の駆動部から構成されている。酸洗槽は全長 3 000 mm, 供試材と酸洗槽の酸液が流れる間隙は 15 mm であり, 酸液はポンプによって供給され, 酸洗槽と供試材の間隙を乱流状態で循環する構造となっている。本装置は酸洗槽部分で流速 0~6 m/s, 通板速度 0~40 m/s の能力を有する。

3.3 実験方法

あらかじめ, 酸液タンク内で所定濃度の塩酸を実験温度に加熱しておき, 供試材を実験装置にセットし, テンションリールを駆動して酸洗槽内を所定の速度で通板させながらポンプにより塩酸を循環させて酸洗した。その後, 水洗して巻き取った。酸洗の評価は試験後に 30×30 mm の大きさの評価用試験片を切りだしてインヒビターを添加した 5% 塩酸中に浸漬してスケールを全部溶解し, 溶解前後の重量差から残存スケール量を求めた。酸洗率は同じ方法であらかじめ, 試験前のスケール量を求めておき, これと試験後の残存スケール量の比から算出した。鋼板温度の測定は試験材に直径 3 mm, 深さ 0.5 mm の穴をあけて, そこに熱電対の先端をはんだで埋め込んで固定したものを用いた。

4. 実験結果及び考察

4.1 流速の影響

インヒビターとして 1% ヘキサメチレンテトラミンを添加した 70°C の 10% 塩酸水溶液を用い, 酸洗率に及ぼす流速の影響を調べた。その結果を Fig. 3 に示す。供試材の予熱の有無にかかわらず酸液の流速が大きくなるに従って酸洗率が高くなる傾向を示した。スケールを完全に除去するには予熱なし (常温) では流速が 2 m/s, 予熱あり (323 K) の場合は 1.5 m/s である。流速が大きいくほど, また, 供試材温度が高いほど酸洗が促進される。次に 323 K に予熱した供試材を用いてスケールを完全に溶解するのに必要な酸洗時間に及ぼす流速の影響について調べた結果を Fig. 4 に示す。酸液の流動のな

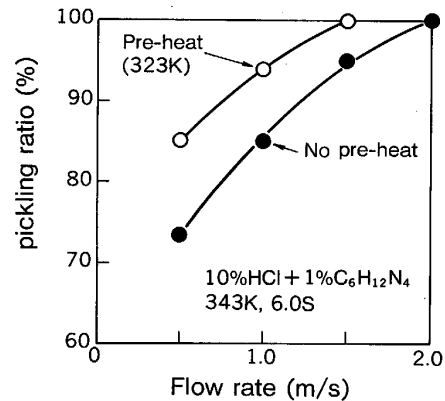


Fig. 3. Effect of flow rate on pickling ratio of hot rolled strip.

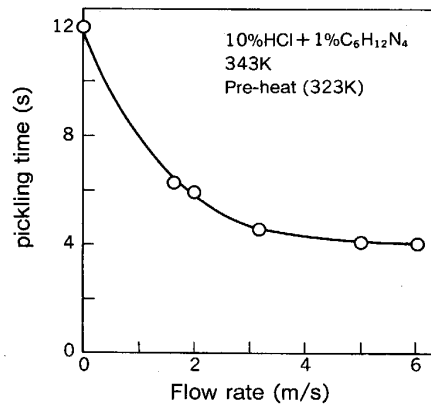


Fig. 4. Effect of flow rate on pickling time of hot rolled strip.

い場合の酸洗時間は 12 s であるのに対し, 流速が大きいくほどその時間が短くなり流速 5 m/s では 4 s と酸洗時間を 1/3 に短縮できる。Fig. 5 に, Fig. 4 の流速 0 m/s の酸洗時間に対する, 流速を与えた場合の酸洗時間の減少の割合 (%) を酸洗時間短縮率として表した結果を示す。酸洗時間短縮率は流速とともに大きくなり, 約 3 m/s 以上でだいたい飽和する傾向を示した。6 m/s 以下の乱流状態を熱延鋼板表面に付与することにより最大 70% 程度の酸洗時間短縮率が得られた。

4.2 温度の影響

Fig. 6 に流速 0 m/s における酸洗時間と酸液温度の関係を示す。333~353 K の温度範囲ではスケールの完全

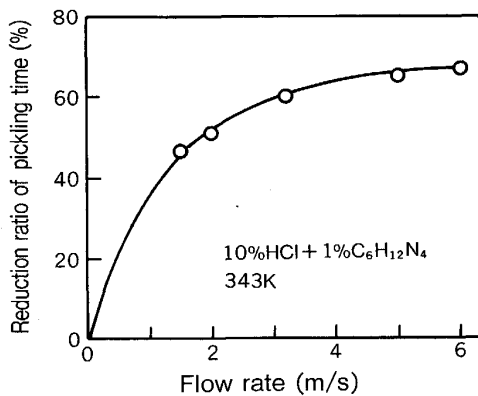


Fig. 5. Effect of flow rate on reduction ratio of pickling time of hot rolled strip.

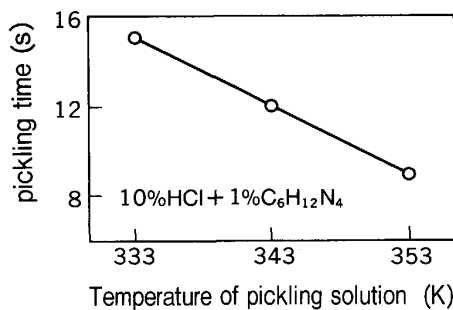


Fig. 6. Effect of temperature on pickling time of hot rolled strip.

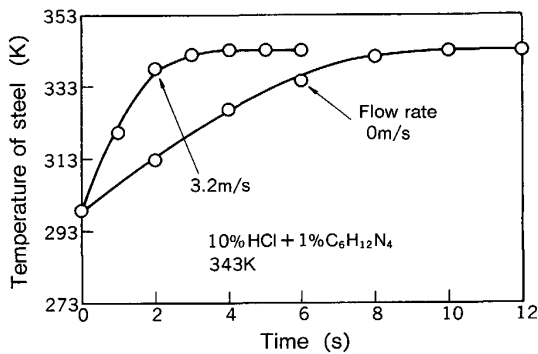


Fig. 7. Relation between dipping time, flow rate and steel temperature.

溶解に必要な酸洗時間は液温と直線関係があり、液温が高いほど短時間でスケールが溶解する。Fig. 7 に酸液中の鋼板温度と浸漬時間の関係を示す。流速 0 m/s の場合、鋼板温度は塩酸溶液と同温度の 343 K に達するには浸漬後 10 s かかる。これに対して流速 3.2 m/s では鋼板は 4 s で酸液の温度に達する。Fig. 6 と Fig. 7 から高速乱流による鋼板の急速昇温が酸洗時間短縮に寄与していると考えられる。

#### 4.3 考察

本報で用いた酸洗槽は、鋼板の幅方向の距離が鋼板と

酸洗槽の間隙に比べて十分に長い長方形管路であることから酸液を円管内流体と仮定して熱伝達及び物質移動を考えてみる。直径  $d$  の管内で動粘性係数  $\nu$  の流体が平均流速  $U$  で流れる場合のレイノルズ数  $Re$  は(3)式で表される<sup>4)</sup>。

$$Re = U \cdot d / \nu \quad \dots\dots\dots(3)$$

一般に層流と乱流の境界である遷移  $Re$  は  $2000 < Re < 4000$  と言われており、本実験条件では(3)式より 0.5 m/s 以上の流速では乱流となる。また、定圧比熱  $C_p$ 、粘性係数  $\mu$ 、熱伝導率  $\lambda$  の流体のプラントル数  $Pr$  は(4)式で示される。

$$Pr = C_p \cdot \mu / \lambda \quad \dots\dots\dots(4)$$

管内乱流熱伝達においてヌセルト数  $Nu$  は(5)式で、その時の管内熱伝達率  $h$  は(6)式で示される。

$$Nu = 0.023 Re^{0.8} \cdot Pr^{0.4} \quad \dots\dots\dots(5)$$

$$h = Nu \cdot \lambda / d \quad \dots\dots\dots(6)$$

(3)~(6)式より管内熱伝達率  $h$  は(7)式のようになる。

$$h = 0.023(\lambda/d) \cdot (U \cdot d/\nu)^{0.8} \cdot (C_p \cdot \mu/\lambda)^{0.4} \quad \dots\dots(7)$$

(7)式より熱伝達率は管径  $d$  が小さく流速  $U$  が大きいほど向上する。また、物質伝達率は(7)式の熱伝導率  $\lambda$  を拡散係数  $D$  に置き換えて求めることができ、この場合も管径  $d$  が小さく流速  $U$  が大きいほど向上する。本報では酸液流路を狭隙にし塩酸を高速乱流にしたことで鋼板界面の熱伝達率の向上及び物質移動の促進が行われた結果、短時間で熱延鋼板のスケールを溶解することができたと考えられる。

## 5. 結 言

塩酸溶液中で熱延鋼板のスケールを短時間で溶解させる高速酸洗の可能性について検討した。その結果、鋼板と酸洗槽の間隙(酸液流路)を狭くして塩酸溶液を乱流状態で流動させることにより従来のカタナリー方式に比べて酸洗時間を大幅に短縮できる可能性を得た。鋼板と酸洗槽の間隙を 15 mm とした場合、約 3 m/s 以上の流速で酸洗時間を従来の約 1/3 に短縮することが可能である。これは高速乱流により鋼板/酸液界面での物質移動及び熱伝達が促進されるためと推察した。高速酸洗装置の実用化には、さらに最適流路形状や鋼板支持方法等の検討が必要である。

## 文 献

- 1) 秦 和宣, 山口輝雄, 三井裕光, 菊池有二, 伊藤雅彦: 日立評論, **67** (1985), p. 309
- 2) 伴 誠二, 明渡 博, 伊藤重晴, 佐野豊和: 第34回塑性加工連合講演会予稿集 (1983), p. 269
- 3) 日戸 元, 内藤浩光: 日本金属学会会報, **16** (1977), p. 765
- 4) 伝熱工学資料改訂第3版(日本機械学会編) (1976), p. 28 [日本機械学会]