

鉄粉の直接熱間圧延の試み

Study on Hot Rolling of Iron Powders

原 善 四 郎*・明 智 清 明*

Zenshiro HARA and Kiyooki AKECHI

1. は し が き

金属粉の圧延については、ドイツの Naeser, Zirm が第2次大戦中に RZ 噴霧鉄粉を水平配置のロールによって圧延して薄板とし、焼結して多孔質弾帯を製造したことにはじまる。戦後、高圧水素吹込み湿式製錬法によって得られたニッケル粉や銅粉から薄板を製造することに応用され、一部工業化された。

鉄粉についても、H-iron 法など戦後の新しい直接製鉄法によって鉄粉の大量製造が可能となるに及んで、各国で直接圧延の研究が行なわれている。

アメリカの Republic Steel 社では、400mm 幅薄板の製造試験の計画があり、ソ連では金属粉圧延現象の解析の面で報告が多く、圧延速度の高速化が追求されている。わが国では 1960 年代に、木村らが鉄粉の冷間圧延および冷間圧延材の熱間圧延について研究している。

鉄粉を冷間で直接圧延して得られる薄板は、密度が低く、強度もようやく板の形状を保つという程度にすぎないので、実用の強度をもたせるには、つづいて長時間の焼結をするか、あるいは熱間で圧延するなどの工程が必要になる。また、鉄粉の冷間圧延の場合、厚板を得ようとすると大きな直径のロールが必要となる。さらに、圧延速度が速いと、密度が低下し板に成形できない、などの問題点がある。

粉末冶金での普通の工程は、粉末の圧縮成形、ついで焼結であるが、最近急速に発展しつつある、圧縮成形と焼結を同時に行なわせる熱間プレスあるいは熱間鍛造によって、製品の密度は著しく向上することは周知のとおりである。

本研究においては、粉末圧延においてもロールに高温粉末を供給して、粉末を直接熱間圧延することにより、上述の問題点を解決できないかどうかを検討した。

2. 金属粉の加熱供給

金属粉の直接熱間圧延において問題になることは、金属粉の加熱供給の方式である。圧延の均一性を保つため金属粉を分散状態のまま加熱してロール間隙に到達させねばならない。筆者らは、二、三の加熱方式を試みた結果、結局、下向きのガス燃焼炎中に鉄粉を落下供給して、ガス炎からの放射、高温ガスからの伝熱、によって鉄粉

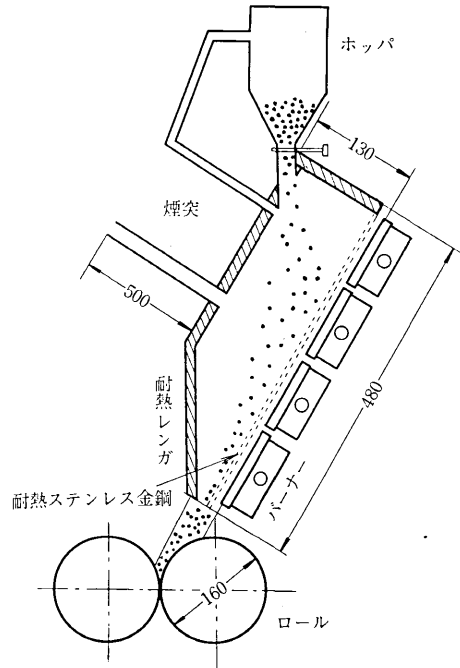


図1 赤外線ヒーター式加熱装置の概略図

を加熱するとともに、燃焼ガスによって鉄粉の酸化を防止しつつ、ロール間隙に供給するという方法を採用した。図1は、赤外線ヒーター式加熱装置の概略図を示しているが、この方式では、高温が得られにくい、加熱面に粉末が粘着しやすい、ステンレス金網加熱面の耐熱性が十分でない、などの点により、鉄粉の加熱方式としては不適当であった。図2は、ガスバーナー式加熱装置と、加熱による鉄粉の到達温度測定の概略を示している。図2の加熱供給方式について、実験を行なった結果、表1のようになった。

表1から、鉄粉の到達温度は、鉄粉供給量が少ないほ

表1 加熱条件と鉄粉の到達温度、加熱効率

| 鉄粉供給量 (g/sec) | 1.2 | | | 8.0 | | |
|---------------|--------------|-------|-------|------|------|-------|
| | ガス流量 (l/min) | 11.2 | 16.0 | 20.6 | 11.2 | 16.0 |
| 到達温度 (°C) | 630 | 1,050 | 1,330 | 550 | 850 | 1,100 |
| 加熱効率 (%) | 7 | 10 | 10 | 40 | 50 | 60 |

* 鉄粉：電解鉄粉 (-60~+250 メッシュ)
 ガス：都市ガス
 この粒度範囲では、粒度による差は少ない。

* 東京大学生産技術研究所 第4部

研究速報

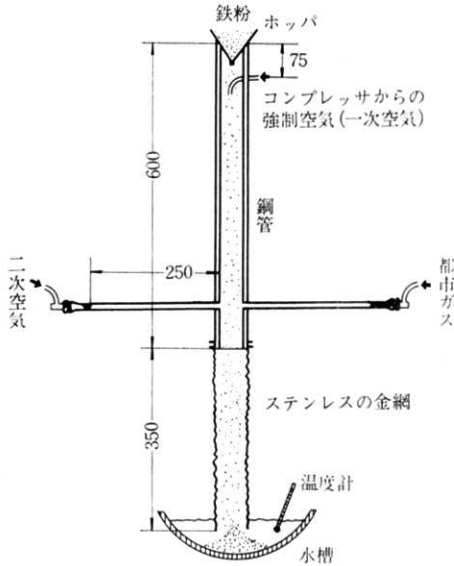


図2 ガスバーナー式加熱装置と鉄粉の到達温度測定の概略図

ど、またガス流量が多いほど高くなり、加熱効率、鉄粉供給量が多いほど、またガス流量が多いほど高くなることからわかる。

3. 鉄粉の直接熱間圧延

鉄粉の加熱供給に一応の見通しを得たので、図3に示したような実験装置によって、直接熱間圧延を試みた。圧延速度、ロール間隙などの圧延条件が、圧延荷重、および製品板の密度、強度、金属組織におよぼす影響を、冷間圧延、熱間圧延の両者で比較した。

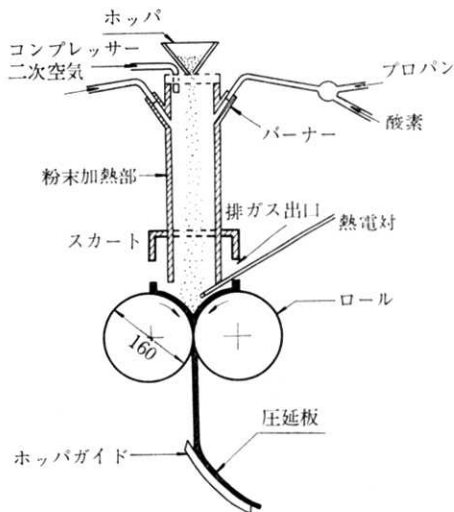


図3 粉末の直接熱間圧延装置の概略図

(i) ロール

粉末圧延機の仕様は次のとおりである。

ロール材質：チルドロール

ロール直径：160 mm

ロール幅：150 mm

圧延速度：0.5~5 m/min, トルク一定, 無段変速

圧延荷重：公称 36 ton

圧延トルク：公称 400 kg-m

(ii) ホッパ

粉末供給量は、供給幅を 30 mm と一定にして、供給厚さを 0.5~2.0 mm と変化させて調節し、単位時間当りの粉末供給量を測定した。本報告では、供給量 6 gr/sec の場合について報告する。

(iii) 加熱部

いろいろな形状の加熱部を試作したが、ガスの混合が容易で、還元雰囲気が高温度が得られるものとしては、図3のような形状のものが適当であった。ガスとしては、プロパンと酸素の混合したものを用いた。

加熱温度測定は、燃焼ガス温度を熱電対で測定した。

(iv) 鉄粉

使用した鉄粉は、同和 NC 鉄粉（還元粉）であり、その性質を表2に、走査型電子顕微鏡像を写真1に示す。

表2 鉄粉の性質

| 化学成分 | 含有量(%) | 粒度 (mesh) | 分布量(%) |
|------------------|--------|-----------|------------------------|
| Total Fe | 99.03 | +100 | 3.7 |
| M Fe | 97.96 | +150 | 32.8 |
| C | 0.06 | +200 | 23.2 |
| S | 0.01 | +250 | 9.3 |
| Cu | 0.07 | +325 | 12.5 |
| Mn | — | -325 | 17.5 |
| P | — | | |
| SiO ₂ | 0.24 | | |
| | | 見掛密度 | 2.43gr/cm ³ |
| | | 流動度 | 30 sec/50 gr |

(同和鉄粉工業の品質検査表より)

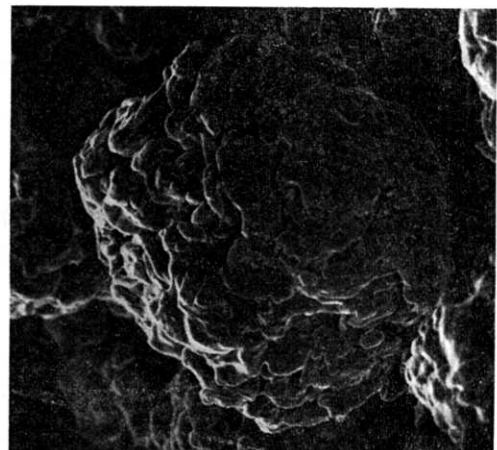


写真1 使用鉄粉（同和 NC 還元鉄粉）の走査型電子顕微鏡による粉末の表面組織（加速電圧：25 K, working distance：10, 傾斜：35°）

写真 1 から、鉄粉は塊状であり、表面はきわめて凹凸に富んでいることがわかる。

(v) 圧延荷重、製品板の密度、強度

圧延荷重は、圧延機ロール軸にかかる荷重を、ロードセルにより取出し、動歪計で測定した。

製品板密度は、試験片ごとに縦、横の長さをノギスで 3 カ所測定し、それらの平均値、およびマイクロメータで測定した板厚の平均値の両者から体積を出し、これらの試験片を精密天秤によって空気中の重量を測定し、重量法 (重量/体積) より算出した。

製品板の強度は、次の方法によって測定した。まず幅 10 mm、長さ 70mm の試片を切りとり、それをスパン距離 50 mm と一定にして両端を固定し、はりの中央に荷重をかけてゆき、破断した時の荷重から、次式によって曲げ強度を求めた。

$$\sigma = 3/4 \cdot Pl/bh^2 = 3.75 \times P/h^2 \quad (\text{gr/mm}^2)$$

σ : 曲げ強度, P : 荷重 (gr), l : スパン距離 (=50 mm), b : 板幅 (=10 mm), h : 板厚 (mm)

4. 実験結果および考察

鉄粉供給量が、6 gr/sec、供給幅 30mm の熱間圧延の場合のロール上方燃焼ガス温度は、850~1,000°Cであった。以下、熱間圧延という場合には、上記の燃焼ガス中を通過した粉末を圧延することをさすものとする。

ロール回転数、ロール間隙と、製品板の密度との関係を、図 4 に、また、板厚との関係を図 5 に示す。密度、板厚のロール回転数、ロール間隙による変化は、冷間、熱間で大差なく、また、ロール回転数が大きいほど、密度、板厚は減少する。

圧延荷重の変化を図 6 に示す。熱間の圧延荷重が冷間の場合の数分の 1 であり、ロール間隙が大きいほど、

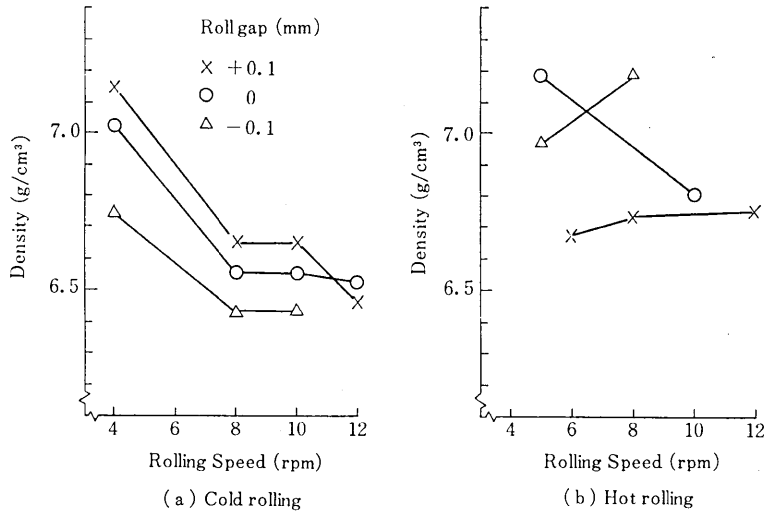


図 4 製品板密度と圧延速度の関係 (4 rpm=2.01 m/min)

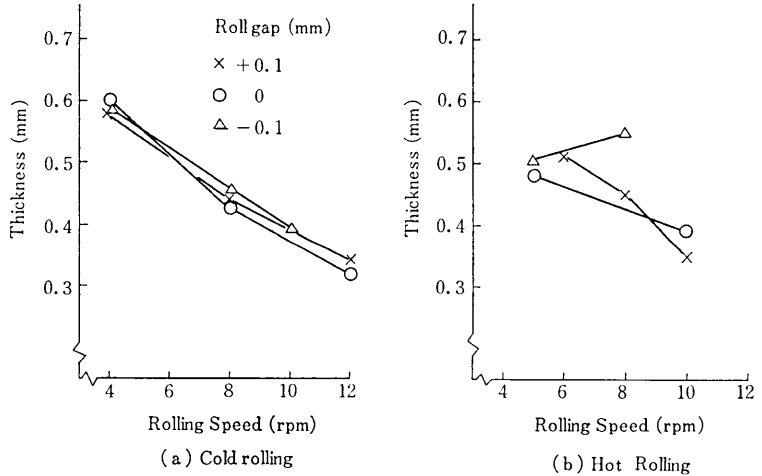


図 5 製品板の板厚と圧延速度の関係

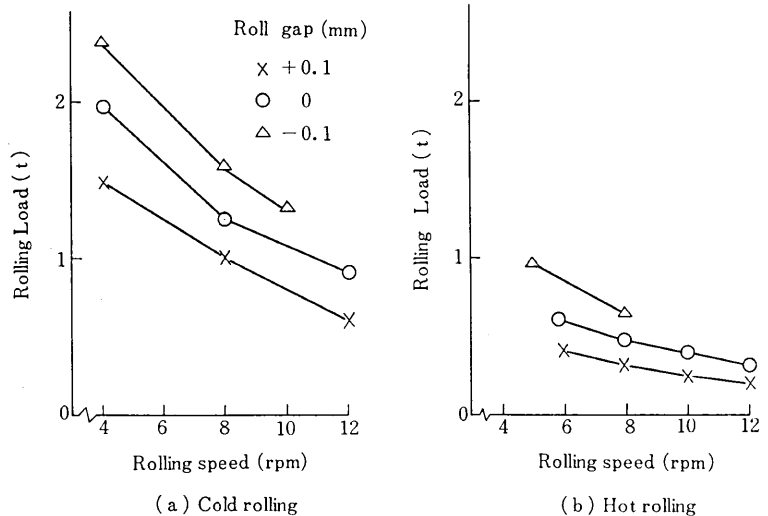


図 6 圧延荷重の圧延条件による変化

研究速報
 また圧延速度が速いほど圧延荷重が減少する。

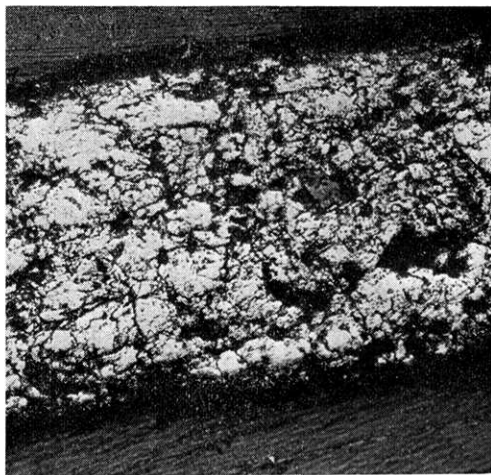
曲げ強さの変化を図7に示す。圧延速度が小さい場合には、熱間と冷間に差があり、熱間圧延板の強度が冷間圧延板よりも高い。熱間圧延板の場合には、圧延速度の増大とともに強度は低下するが、冷間圧延板の方は、圧延速度による変化はみられない。

写真2に冷間圧延板の光学顕微鏡組織を、写真3に熱間圧延板の組織を示した。両者ともに、圧延荷重が0.8 tである。写真2, 3から、熱間圧延板の方が、中央部の気孔が少ないことがわかる。

写真4, 5に、冷間、熱間圧延板表面のそれぞれの走査型電子顕微鏡像を示した。写真4の冷間圧延板の場合には、写真1にみられる鉄粉表面の凹凸が、ほとんど保存され、粒と粒との間のくぼみも大きく、結合が不十分であることがわかる。それに反して写真5の熱間圧延板は、鉄粉表面の凹凸が塑性変形によってほとんど消失し、表面は滑らかになっている。粒と粒の結合も、冷間圧延板にくらべると良好である。

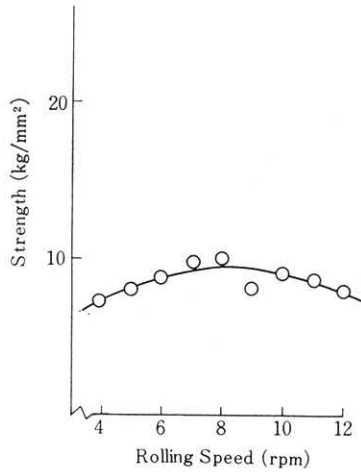
5. おわりに

本研究によって、落下粉末のパーナーによる加熱で鉄粉の熱間圧延が可能であることがわかり、熱間圧延による製品板の強度上昇の効果が認められ、粉末圧延板の表面状況が、熱間と冷間圧延とでは、きわめて異っている

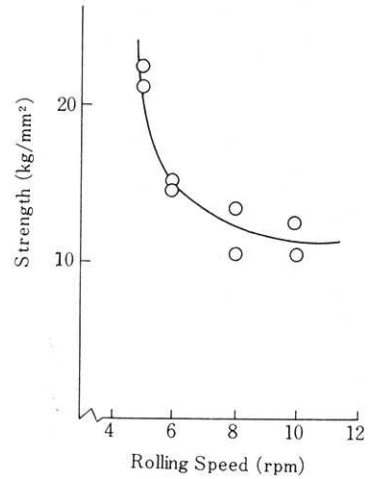


0.1 mm

写真2 冷間圧延板断面の光学顕微鏡組織 (ロール回転数: 12 rpm, 圧延荷重: 0.8 t, 密度: 6.72 g/cm³, 平均板厚: 0.37 mm, 曲げ強さ: 7.8 kg/mm²)

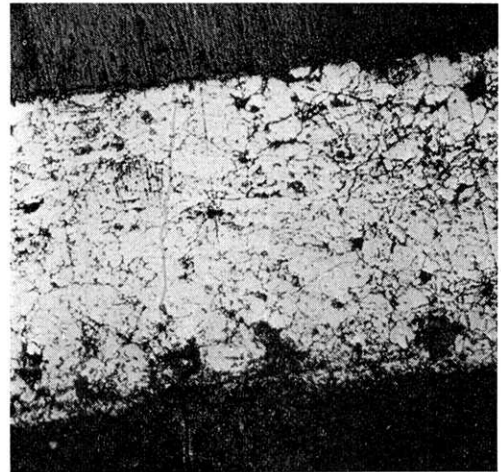


(a) Cold rolling



(b) Hot rolling

図7 曲げ強さと圧延速度の関係



0.1 mm

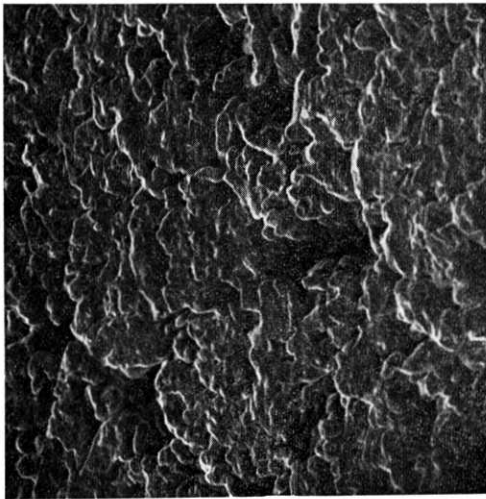
写真3 熱間圧延板断面の光学顕微鏡組織 (ロール回転数: 5 rpm, 圧延荷重: 0.8 t, 密度: 7.09 g/cm³, 平均板厚: 0.48 mm, 曲げ強さ: 21.3 kg/mm²)

ことが確認できた。

今後、鉄粉の酸化についての検討や、製品板と集合組織との関係、および、加熱方式の改善などについて研究をつづけたい。(1971年12月9日受理)

参考文献

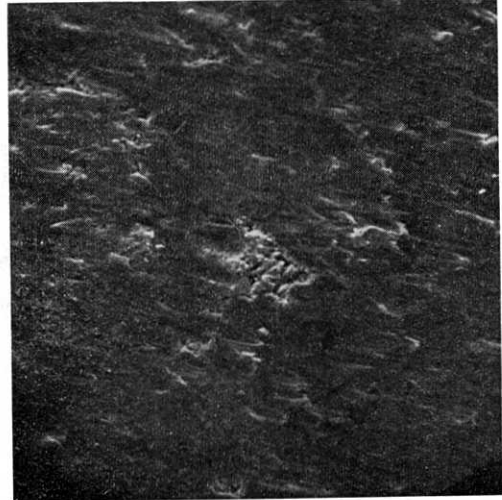
- 1) G. Naeser and F. Zirm: Stahl u. Eisen, 22 (1950), 995
- 2) Canad. Chem. Processing, 46 (1962), [11] 52
- 3) S.R. Cooks: Iron & Steel Engineer, Feb (1962), 72
- 4) G. A. Vinogradov, V. P. Katashinsky: Soviet Powder Met., (1964), No. 1, 81
- 5) 木村, 平林, 徳吉: 日本金属学会誌, 27 (1963), 571, 576, 28 (1964), 156, 162, 粉体および粉末冶金, 10 (1963), 172
- 6) 原, 明智: 日本鉄鋼協会第 82 回講演大会講演概要集, 159



0.1 mm

← 圧延方向

写真4 冷間圧延板表面の走査型電子顕微鏡像 (写真2と同試料, 写真1と同じ撮影条件)



0.1 mm

← 圧延方向

写真5 熱間圧延板表面の走査型電子顕微鏡像 (写真3と同試料, 写真1と同じ撮影条件)

正 誤 表 (2月号)

| ページ | 段 | 行 | 種 別 | 正 | 誤 |
|-----|---|-----|-----|---|--|
| 12 | 右 | 6 | 本 文 | 演算記号ナブラ | 演算記号メブラ |
| 13 | 左 | 下1 | ” | これと同じこと | これと同じこと |
| 14 | ” | ”21 | ” | 見事な直線 | 見事は直線 |
| ” | 右 | | 図 1 | $\pi-C_1/C_2$ 関係 | $\pi-C_1/C_2$ 表表 |
| ” | ” | 16 | 本 文 | $\frac{G}{V} = \frac{m}{V}G = \rho G$ | $\frac{G}{V} = \frac{m}{V}G = \rho G$ (10) |
| 15 | ” | 2 | ” | $\bar{G}_i = \left(\frac{\partial G}{\partial m_i} \right)_{T, p, m_l (l \neq i)}$ | $\bar{G}_i = \left(\frac{\partial G}{\partial m_i} \right)_{T, p, m_l (l \neq i)}$ (19) |
| ” | ” | | 第2表 | 単位量または i 成分の平均起動力 | 単位量または i 成分の平均起動力 |
| ” | ” | | ” | $J = \rho v = u \rho \bar{v} (\rho G)$ | $J = \rho v = u \rho \bar{v} (\rho G)$ (22) |
| ” | ” | | ” | $v_i = u_i \frac{f(\rho_i \bar{G}_i)}{\rho_i}$ | $\frac{v_i = u_i}{f(\rho_i \bar{G}_i)}$ |
| 20 | ” | | 題 名 | ヘキサアザー [1, 1]— | ヘキサアザー [1, 1]— |
| ” | ” | 下16 | 本 文 | ジメチル硫酸塩 | メチオダイド |