

第 73 回 (春季) 講演大会講演論文集(II)*

第 5 会場 (均熱炉・熱間加工・加工)

(130) 均熱条件が鋼塊表面層におよぼす影響について

(加熱条件が鋼塊および鋼片表面層におよぼす影響について—I)

富士製鉄, 広畑製鉄所 島崎 俊治
 " 釜石製鉄所 上滝 洋明
 " 広畑製鉄所 野中 高四郎
 " " 〇井上 尚志

Effect of Heating Conditions of Soaking Pit on the Surface of Ingot

(Effect of heating conditions on the surface of ingot and slab—I)

Toshiharu SHIMAZAKI, Hiroaki KOTAKI
 Takashirō NONAKA and Takashi INOUE

1. 緒言

種々の鋼板表面疵, たとえば冷延材の線状疵, ホットコイルのへゲ疵およびセミキルド鋼スラブのアミ割れなどの原因としてはいろいろ考えられるが, 均熱炉および加熱炉での加熱条件もかなり関与すると思われる。

そこで, 温度, 雰囲気などの調節可能な実験炉を作り, 均熱炉中でのそれらにマッチするような条件にし, 鋼塊表面層をそのまま試料にして, スケールおよびサブ・スケール層の状況を観察したのでここに発表する。

2. 試料

試料は鋼塊より切り出し (30×30×30 mm) その表面層を, そのまま試料の表面層として使った。

Table 1 には試料に使った各鋼種の化学成分を示す。

3. 実験装置および実験方法

実験装置としては, Fig. 1 に示すようなエレマ炉 (170×240×460 mm) に, 別に燃焼室を設けたものを使った。温度は炉の中央試料付近で測定し, 定値制御のコント

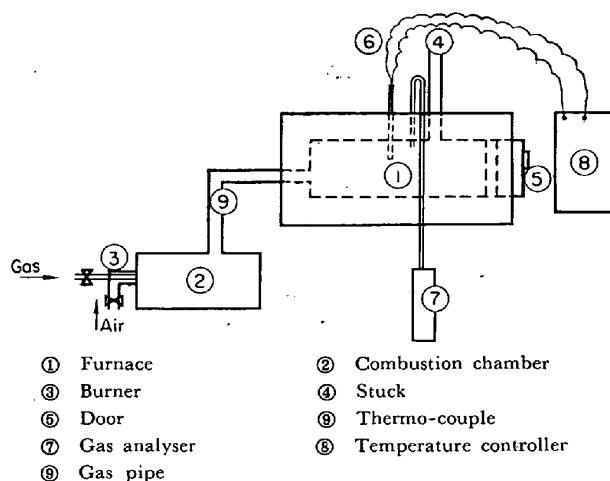


Fig. 1. Experimental apparatus.

ローラーを使用して, 一定に保った。

雰囲気は, 燃焼室で Table 2 に示す精整コークス炉ガスを燃焼し, その空気比を調節して, 燃焼ガスを炉内へ送り込み, それを 15 min~30 min 間隔でオルザット分析装置により, CO₂, O₂, CO を分析し, この O₂ あるいは CO のパーセントを管理限界内におさめるよう手動でガスバルブの開閉を行なった。調節は温度については ±3°C, O₂ あるいは CO パーセントについては ±0.7% を管理限界とした。

試料は, 炉中央付近に, 表面層が上になるようにして, 空炉で炉体を十分均熱した後, 2 コずつ対になるよう装入し (最高 8 コまで), 規定時間到達後, 1 コは表面層を横にして, 上下からプレスし, スケールを剝離せしめ, さらに冷却後, シェンパーにて, サブ・スケール層を削り (0.3 mm), それぞれ分析を行なった。他の 1 コは冷却後, 樹脂にうめ込んで顕微鏡観察を行なった。

Table 1. Chemical compositions of specimens.

		C	Mn	Si	P	S	Cu	Ni	Cr
1	Rimmed steel	0.06	0.36	0.01	0.014	0.016	0.009		
2	Capped steel	0.07	0.28	0.01	0.010	0.018	0.009		
3	Semi-killed steel	0.16	0.78	0.06	0.019	0.022	0.004		
4	Killed steel	0.15	1.28	0.26	0.012	0.006	0.011	0.026	0.031

Table 2. Chemical composition of refined coke oven gas.

	CO ₂	O ₂	C ₂ H ₄	CO	CH ₄	H ₂	N ₂
%	3.0	0.1	4.0	6.5	29.0	54.0	3.4

なお試料を炉に装入後, 測定温度が設定値に達するまでの加熱時間は約 15 min であり, この実験では均熱時間と在炉時間は大体等しいと考えてよい。

* 講演論文原稿受付日: 昭和41年11月15日受付

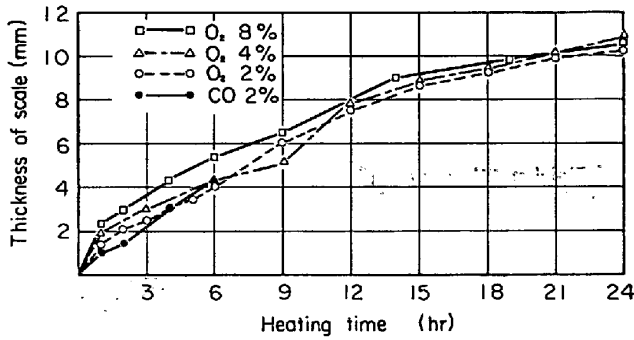


Fig. 2. Effect of atmosphere and heating time on thickness of scale.

4. 実験結果

4.1 スケール厚さと焼減り厚さ

鋼の変化は、温度・雰囲気・試料の化学成分・表面状況、その他の要因で左右され、一定雰囲気では時間の平方根に比例するといわれている²⁾³⁾。

過剰酸素率の異なる雰囲気中で酸化してできたセミキルド鋼のスケールの厚さを Fig. 2 に示す。同一時間で雰囲気との関係を見ると、過剰酸素率が高いほどスケールは厚くなっているが、その差は小さく酸素が2%と8%の場合を比べても厚さの差は1 mm以内である。

在炉時間が長くなつてもこの差は変わらず、かえつて局部的な厚さの差や測定のパラッキのため差は無視しうようになる。

スケールの焼減りを、酸化層単位面積の Fe がすべてその面積のスケール中の Fe になつたことを考えて(1)式によつて計算すると、その雰囲気および時間による変化は Fig. 2 と同じようになり、スケール厚みだけでその焼減り量を推定しうる。Fig. 3 には焼減り厚さとスケール厚さとの比を示し、この値はほぼ 0.35 で一定とみなされる。

$$D = W \cdot Fe / S \cdot P \times 10^{-3} \dots\dots\dots (1)$$

D (mm) = 鋼の焼減り厚さ

W (g) = スケール重量

S (cm²) = スケール表面積

Fe (%) = スケール中の total Fe 分析値

P (g/cm³) = 鋼の密度 (7.8 とした)

さらに均熱温度および鋼種による影響を Fig. 4 に示す。これより温度を 40°C 変動させてもそれによる影響はほぼ 1 mm 程度にとどまり、また鋼種による変化はほとんどないことがわかる。

4.2 スケールの剝離とサブサーフェスの状況

冷却したスケールは、スケールの表面付近と鉄素地近辺の2カ所で剝離するが、熱間では一般に鉄素地付近だけで剝離する。Photo. 1(a)にみられるように表面付近で剝離したものはピュスタイト層の内部であり、冷却途中の収縮時に発生したクラックによるものである。

鉄とスケールの境界、すなわちサブサーフェスでは鉄と酸化層(いわゆるサブスケール)が複雑に入り組んでおり、それは在炉時間が長いほどあるいは雰囲気中の酸素過剰率が高いほどその入り組みは複雑になる。

鉄素地の中に入り組んだ酸化物すなわちサブスケールは FeO, MnO の他 (FeO, MnO) silicate からなる。

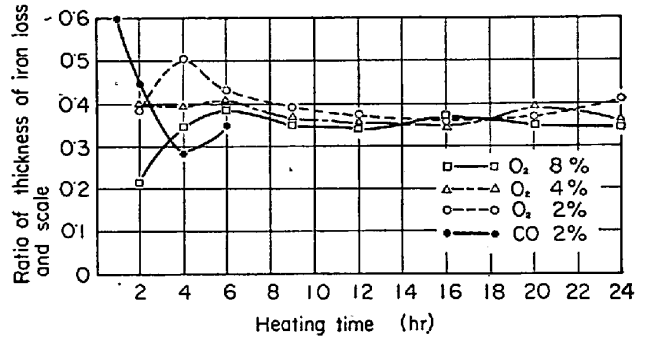


Fig. 3. Ratio of thickness of iron loss and that of scale.

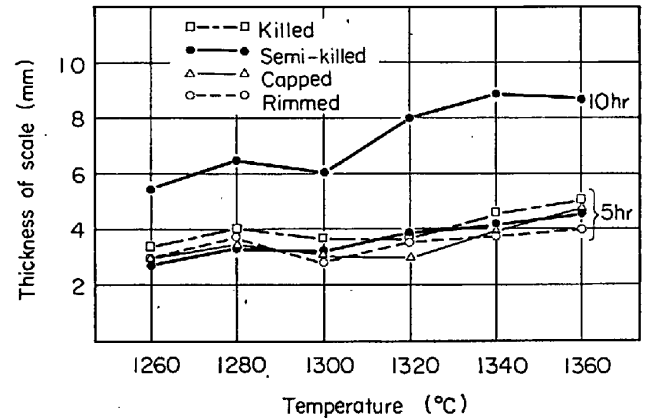


Fig. 4. Effect of temperature on thickness of scale.

また鉄素地中には均熱中に酸化物の粒子ができる。加熱前の写真 (Photo. 1 (b)) と加熱後の写真 (Photo. 1 (c)) とを比較してみればわかるように、これは加熱、酸化している間に生成したものである。

この粒は、在炉時間が 3hr 程度では、直径 0.005 mm 程度でサブサーフェスから 0.3 mm 程度までの深さに分布しているが在炉時間が長くなると、直径は 0.01 mm 以上となり、深さもサブ・サーフェスから 1.5 mm の深さにまでできる。この酸化物は CO が 2% の雰囲気でもできるが、分布の深さは過剰酸素率が低いほど浅くなっている。この酸化物の組成は FeO を主としており、MnO などがわずかに含まれている。高温で長時間酸化した面にはこの酸化物ができるのが特徴である。

4.3 酸化によるスキンホールの露出

既述のごとく、均熱炉での鋼塊表面の焼減り厚さは、在炉時間約 8hr で約 2 mm, 18hr で約 3.5 mm 程度である。現在、セミキルド鋼のスキンホールは表面から 1 mm から 5 mm 付近に存在し⁵⁾、これから考えると、スキンホールの露出は防ぎえない。

鋼塊内部にあつたスキンホールが表面層の酸化によつて露出したり、あるいは露出寸前の状態を Photo. 1 (d) および (e) に示す。Photo. 1 (d) の左端にみられるスキンホールは露出寸前であるが内部は酸化しておらずこのことは一般的にいえる。ごく少ない例であるが、(e) 図に見られるように一見したところ外部に露出していないにもかかわらず内壁が完全に酸化したものもある。これは完全に外部と通じていないのではなく、屈曲

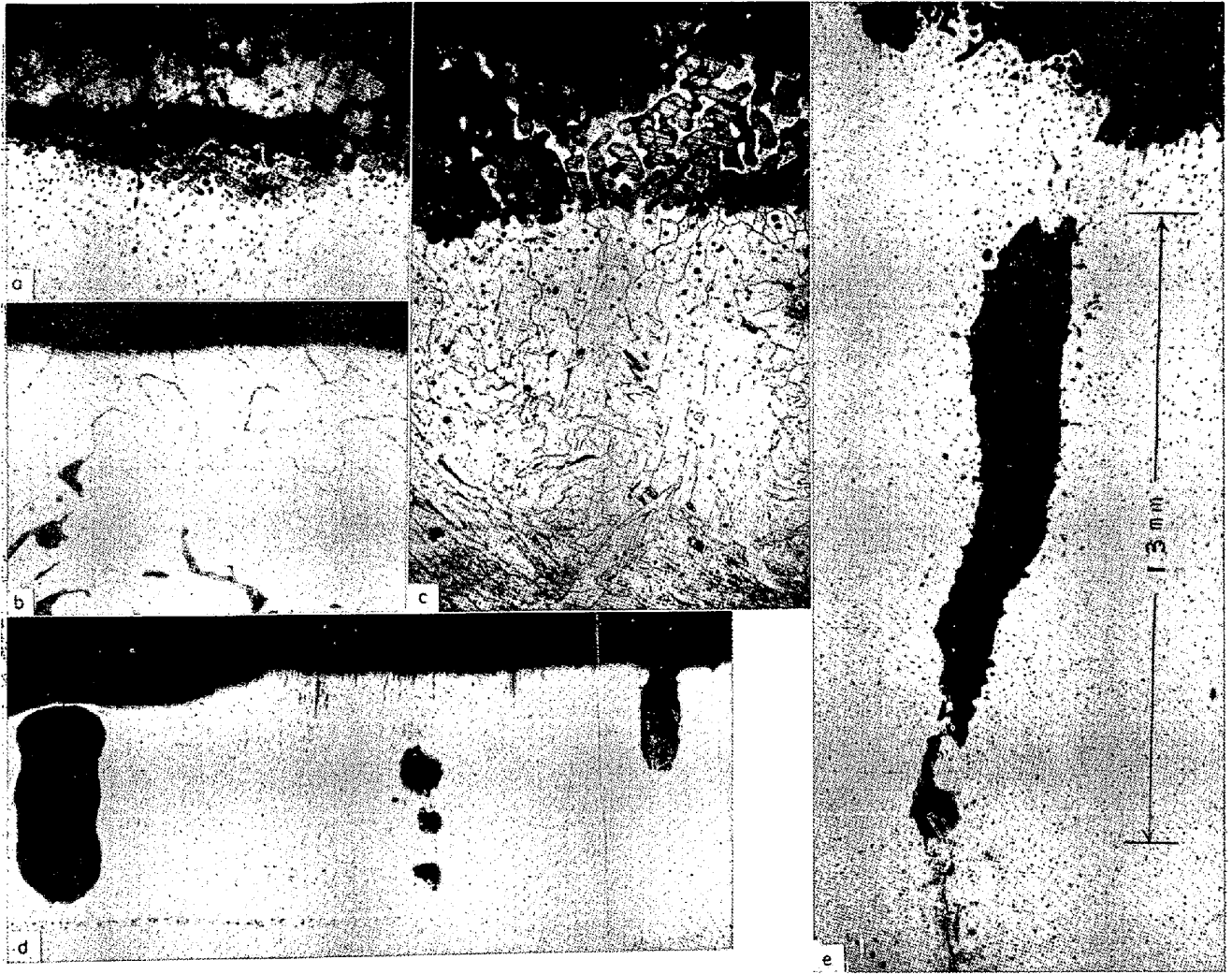
a : Sub-surface, semi-killed steel, heating 6hr $O_2=8\%$ $\times 100$ (1/2)b : Ingot surface before heating, etch nital $\times 400$ (1/2)c : Ingot surface after heating semi-killed steel, heating $O_2=4\%$ 24hr $\times 100$ (1/2) Oxide particles are seen in metald : Skinholes semi-killed steel heating 1hr $\times 20$ (1/2)e : Skinholes, semi-killed steel, heating 8hr $\times 100$ (1/2)

Photo. 1. Various microscopic pictures.

した細い口が外部に開いているのではないと考えられる。露出したスキンホールの内壁は例外なく全面酸化されており、またその付近の鉄素地中には特に酸化粒子が多い。

5. 結 言

実験炉において、均熱条件を模倣し鋼塊表面層を観察した結果を要約すれば次のようになる。

(1) 均熱炉でスケール・オフによる鉄の焼減り厚さへの影響は、雰囲気中の過剰酸素率および均熱温度、鋼種の変化よりも、在炉時間の方が大きい。

(2) 現状の均熱条件での平均焼減り厚さは熱塊で約 2 mm (在炉 8hr)、冷塊で 3.3~4 mm (在炉 18~24hr) である。

(3) スケールの剝離はピュスタイト層の内部で起こる。熱間では、鉄素地近くで、冷間ではそれに加えて表面のマグネタイト層で剝離する。

(4) スケールと鉄素地との境界（いわゆるサブサーフェス）ではサブスケールと地鉄が複雑に入り組んでおり、スケールの剝離後もこのサブスケールは残っている。

この入り組みは在炉時間が長いほど、また雰囲気中の過剰酸素率が高いほど厚くなる。

サブスケールは FeO, MnO の他に (FeO, MnO) Silicate からなる。

(5) 高温で長時間酸化した鋼の表面および割れめの近くの鋼中には、FeO とわずかな MnO からなる酸化粒子が生成する。

文 献

- 1) C. S. SMITH: Min. & Met., 13 (1932), p. 481
- 2) 梶山: 金属材料の加熱と酸化
- 3) RUFO, LCHIEWSKI and HOPKINS: Oxidation Metals
- 4) C. L. HEYETTE and V. E. ELLIOTT: Trans. Met. Soc., Amer. Inst. Min., Met. & Pet. Eng., 176 (1948), p. 201
- 5) 浅野, 大橋: 鉄と鋼, 51 (1965), p. 1871