

論 文

UDC 669.14-413 : 621.771.23 : 620.191.32 : 621.7.022

厚板スケールの剥離性*

福塚 淑郎**・中村 峻之**・佐藤 始夫**

小久保一郎***・石田 隆一****

Study on the Descaling of the Steel Slabs before Hot Rolling

Toshiro FUKUTSUKA, Takayuki NAKAMURA, Moto SATO

Ichiro KOKUBO, and Ryuichi ISHIDA

Synopsis:

The factors affecting on the descaling property of reheated steel slabs have been studied in the plate rolling shop. The frequency of scale defects is closely related to the amount of residual scale on the steel slabs after descaling by the hydraulic scale breaker. It is found in the rolling shop that the amount of the residual scale depends remarkably on the following two factors.

- (1) Degree of overheating in the furnace
- (2) Surface temperature of the scale on slabs immediately before descaling.

On the other hand, it has been pointed out by many workers that the descaling property of Si-killed steels are worse than semi-killed steels. It is well known that fayalite is formed in the scale of Si-killed steel. In this study the effect of surface temperature of scale on the descaling property is mainly examined. It is found experimentally that the existence of fayalite causes the cracks in the scale during cooling.

It could be concluded that the descaling property tends to be bad for the Si-killed steels when the cracks are formed in the scale before descaling.

1. 緒 言

厚板製品の 1 次スケール疵は、スケール疵手入による工程の乱れの原因となり、また、製品歩留りを低下させるなど悪影響が大きいので、その防止対策の確立が是非とも必要である。

通常厚板工場で圧延に先立つ脱スケールには高圧水を噴射するデスケラー (Hydraulic Scale Breaker-HSB) が使用されており、脱スケール時のスケールの剥離性は、スケール性状に著しく影響されると言われている。例えば、浦井ら¹⁾は Si キルド鋼のように Si を含む鋼種では、高温加熱により生成された 1 次スケールと地鉄の界面に fayalite ($2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$) が生成され、fayalite が地鉄中に食い込んで脱スケール時のスケール剥離性を悪くすると考えている。

したがって、このような観点からスケール性状に与える加熱条件 (加熱温度、加熱時間、加熱雰囲気など) や鋼種などの影響を調べた研究が多い^{2)~5)}。また、スケールの剥離性を評価する方法として、加熱炉で生成された 1 次スケールの表面に熱間で衝撃力を与えて剥離したスケール量を測定したり¹⁾³⁾、熱間剥離試験⁴⁾を行つている例が多い。しかしながら、実操業におけるスケールの剥離性との対応は必ずしも明確になつていないといえる。

本研究においては、厚板圧延ラインにおいて HSB による脱スケール後の 1 次スケールの剥離状況 (残存スケール量) と加熱炉操業条件、脱スケール時のスケール表面温度との対応関係を解析し、1 次スケールの剥離性に与える支配要因を明確にするとともに、1 次スケールの剥離機構についての考察を行つた。

* 昭和 53 年 4 月本会講演大会にて発表 昭和 54 年 11 月 22 日受付 (Received Nov. 22, 1979)

** (株)神戸製鋼所浅田研究所 (Asada Research Laboratory, Kobe Steel, Ltd., 53-3 Aza Maruyama Gomo Nada-ku Kobe)

*** (株)神戸製鋼所加古川製鉄所 工博 (Kakogawa Works, Kobe Steel, Ltd.)

**** (株)神戸製鋼所加古川製鉄所 (Kakogawa Works, Kobe Steel, Ltd.)

2. 加熱炉操業条件と残存スケール量との 相関調査

2.1 1次スケール剝離性の評価法

1次スケールの剝離性を定量的に評価するため HSB により脱スケールされたスラブ表面を写真撮影し, Photo. 1 に示すようにスラブ上に残存しているスケールの残存度(残存スケールの面積率およびスケール付着部の写真の濃淡からスケール厚さを推定し両者から目視評価により残存スケール量を評価)を5段階に層別した。ただし, HSB により完全に脱スケールされた場合を残存度1とし, スラブ全面にスケールが残っている場合を残存度5とした。

今回の厚板圧延ラインにおける調査はのべ約 1500 本のスラブを対象にして, A, B, Cの3つのチャンスに分けて行つた。Fig. 1 はチャンスAで行つたスケール残存度に関する調査結果と製品のスケール疵の手入れ状況の関係を示したものである。図から脱スケール後のスラブのスケール残存度が1または2の場合は製品のスケール

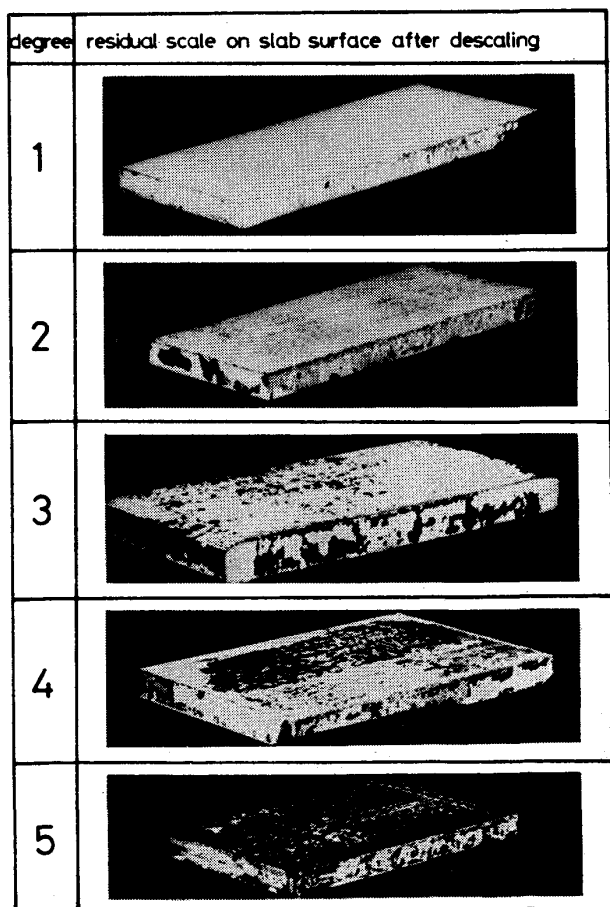


Photo. 1. Typical examples for the degree of residual scale on slab surface after descaling.

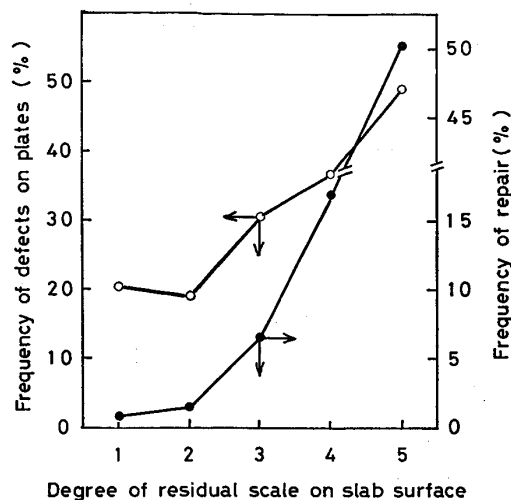


Fig. 1. Relation between the degree of residual scale on slab surface and frequency of defects on plates or frequency of repair.

ル疵手入れはほとんど不要であるが, 残存度が4または5の場合には製品のスケール疵に対する手入れの頻度が非常に増加することがわかる。このように脱スケール後のスラブ表面のスケール残存度はスケール疵の手入れ率と極めてよい相関を持っている。したがって, HSB による脱スケール後のスケール残存度をスケール疵の評価基準として採用してもよいと考えられる。

2.2 スケール性状に影響する熱的要因の設定

スケール性状に影響する熱的要因として下記のような要因を設定した。

(1) 加熱炉別: 1号, 2号, 3号炉の区分 (Fig. 3 参照)

(2) 抽出温度: 熱電対を埋め込んだスラブの加熱炉中での昇温曲線の測定結果とそのときの炉温を用いて, 加熱炉の伝熱特性すなわち炉内総括熱吸収率 ϕ_{CG} を決定し, この値を用いてすべての調査対象スラブの抽出時の表面温度を計算し抽出温度とした。

(3) 過熱度 (Degree of Overheating-DOH): スケールの性状には加熱温度と時間が大きく影響すると考えられるので次式に定義される値を過熱度 (DOH) として用いた。

$$DOH = \int_{t_0}^{t_e} (\theta_s - \theta_0) dt$$

ただし, θ_s : スラブ表面温度

θ_0 : 基準温度

t : 加熱時間

(2), (3)を図示すると Fig. 2 のようになる。

(4) その他の解析に用いた要因

スラブ寸法, 在炉時間, 各帯(予熱帯, 加熱帯, 均熱

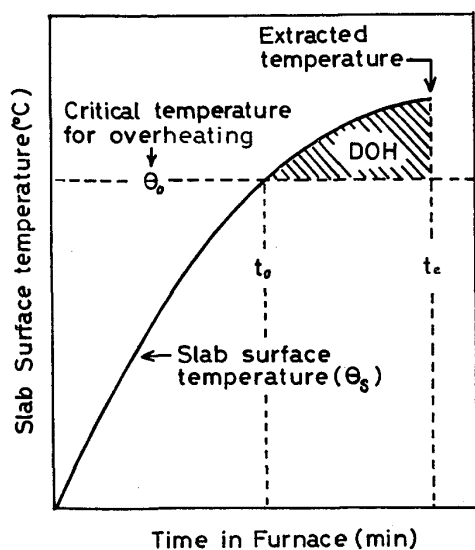


Fig. 2. Schematic diagram on the relation between slab surface temperature, extracted temperature and degree of overheating (DOH).

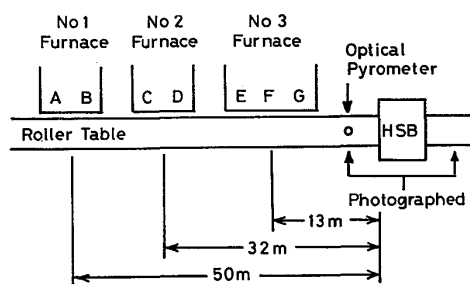


Fig. 3. Layout of hot rolling shop of plates and arrangement of optical pyrometer and camera to take a photograph of slab surface.

帯) 滞留時間, 炉列の区別 (Fig. 3 参照) などを加熱炉の操業要因として解析に使用した。

なお, よく知られているように^{2)~9)}加熱炉で生成されるスケールの性状は加熱炉の雰囲気ガス組成 (空燃比など) に著しく影響されるので本調査期間を通じて, 空燃比設定値をほぼ一定に保ち, 均熱帯の酸素分圧の測定により各炉の状況を監視した (このときの酸素分圧は約 3% で, 燃料はボタンを使用している)。

2.3 調査結果

前記で設定した各種加熱要因の影響を明らかにするために厚板圧延ライン (Fig. 3) において約 1500 本のスラブを対象として HSB による脱スケール後のスラブのスケール残存度を調査しつぎのような結果を得た。

2.3.1 炉別の影響

約 1500 本の調査対象鋼のなかで従来からスケール疵が多いと言われていた Si キルド鋼について, スラブが抽出された炉ごとにスケール残存度とその発生頻度の関

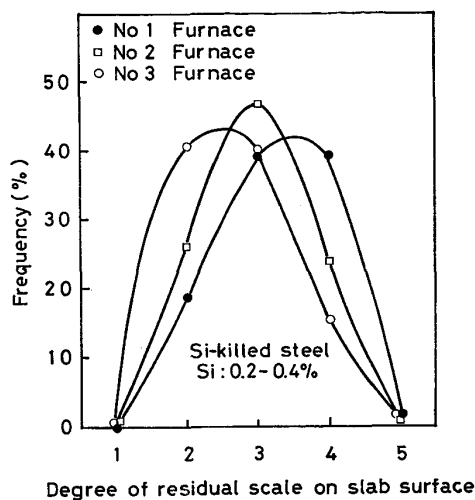


Fig. 4. Frequency distribution curves on the degree of residual scale on slabs extracted from each furnace.

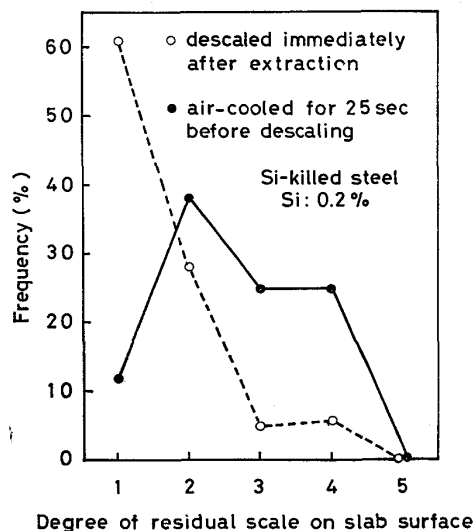


Fig. 5. Frequency distribution curves on the residual scale on Si-killed steel slabs.

係を調べた結果を Fig. 4 に示す。Fig. 4 から明らかなように加熱炉と HSB 間の距離が遠くなるほど (Fig. 3 参照) スケール残存度は大きくなる。すなわち, スラブ抽出後の HSB による脱スケールまでの時間が長くなるほどスケール剝離性が悪くなる傾向があることがわかる。ここで, スケール残存度と炉別の関係は, 各炉の操業条件のわずかな差に起因することも予想されるので厚板圧延ラインの 3 号炉の HSB に最も近い G 列から抽出された Si キルド鋼スラブをローラーテーブル上で約 25 s 間待機 (1 号炉から抽出されたスラブが 3 号炉前を通過するまでの所要時間に相当する時間) させたのち脱スケールを行つたところ, 抽出後直ちに脱スケールを行つたスラブよりスケール残存度が非常に大きくなることが

Table 1. Correlation coefficients between the degree of residual scale on Si-killed steel slabs and heating variables (N=40).

Time in Furnace	Extracted slab temp.	Degree of oveheating	Time in heating zone	Slab Thickness
0.396*	0.398*	0.490**	0.327*	-0.238

* $r (38, 0.05) = 0.308$ ** $r (38, 0.01) = 0.400$

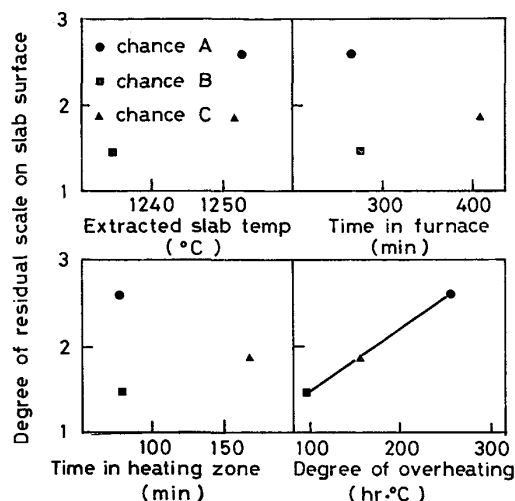


Fig. 6. Relation between the degree of residual scale on slabs and heating variables.

わかつた。この結果を Fig. 5 に示す。これらのことから、スケールの剝離性に対して、加熱炉から抽出されたスラブが脱スケールされるまでの時間の影響が極めて大きいことが明確になった。

2.3.2 過熱度の影響

2.2 において示した過熱度は基準温度 (θ_0) を 1100, 1150 および 1200°C として計算したが、なかでも $\theta_0 = 1100^\circ\text{C}$ としたときの過熱度とスケール残存度との相関係数が最も高かつたので、以後の解析に用いた過熱度の θ_0 は、すべて 1100°C とした。

前述のようにスケールの剝離性には脱スケールまでの時間が大きな影響をおよぼすことが明らかとなつたため、ここでは加熱炉を 3 号炉に限定した。また、鋼種はスケールの剝離性の悪い Si キルド鋼に限定し、スケールの残存度と種々の熱的要因との関係を解析した。

操業条件に大きな変化がなかつたある調査チャンスにおけるスケール残存度と各加熱要因との単相関係数を Table 1 に示す。また、過熱度を意識的に変えるように操業条件を設定した 3 回のチャンスにおいて、調査対象スラブ (Si キルド鋼) について求めた各加熱要因の平均値と、個々のスラブのスケール残存度の平均値との関係を Fig. 6 に示す。

Table 1, Fig. 6 からスケール残存度と抽出温度の相関

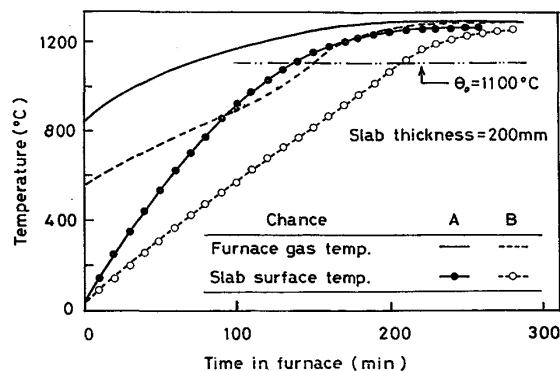


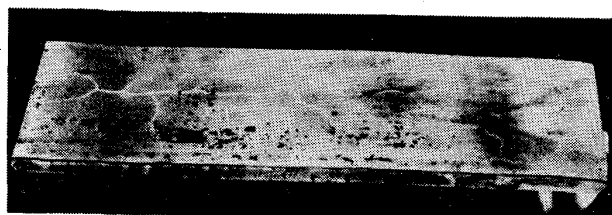
Fig. 7. Effect of heat pattern on the temperature rise pattern of slab surface.

関係が強いことがわかるが、過熱度はさらに強い相関々係を示す。しかも、スケール残存度と過熱度は一義的な関係にあり、過熱度が大きくなるとスケール残存度が大きくなる。Fig. 7 はチャンス A, B における平均炉内温度および平均抽出ピッチを用いて伝熱計算した 200 mm スラブのヒートパターンを示す。チャンス A, B では抽出温度、在炉時間ともほぼ等しいが、チャンス A のスラブは 1100°C 以上での加熱時間が長くなつており、その結果、過熱度も大きい。すなわち、抽出温度、在炉時間などもスケール残存度に影響を与える要因ではあるが、それ以上にスラブを抽出するまでの 1100°C 以上の高温でのヒートパターンが重要であることがわかる。

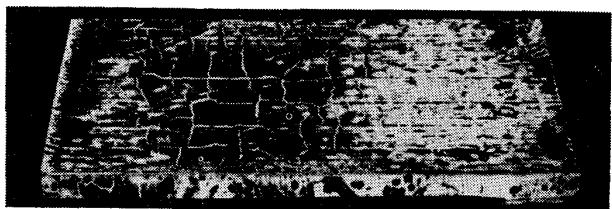
2.3.3 スケール表面温度の影響

スケール表面温度のスケール剝離性に与える影響を調べるため HSB 直前のローラーテーブル上を走行するスラブの表面温度を放射温度計 (LAND 連続光高温計) により測定した。なお、加熱炉から抽出されたスラブ上のスケールには割れが発生し、割れのためスケールが浮き上がった部分は温度が低く、地鉄と密着している部分は明るく見え温度が高い。本実験のスケール表面温度は温度計通過後のスラブ表面を写真撮影し、スケール密着部分で写真で明るく見える部分に対応する最高温度を記録紙より読み取った値である。なお、放射率は $\epsilon = 0.87$ (カップ型温度計と放射温度計による測定値から求めた値) として計算した。

また、Photo. 2 はそれぞれ HSB による脱スケール直前の Si キルド鋼およびセミキルド鋼のスラブ表面状況



Semi killed steel



Si killed steel

Photo. 2. Typical examples of the slab surface before descaling.

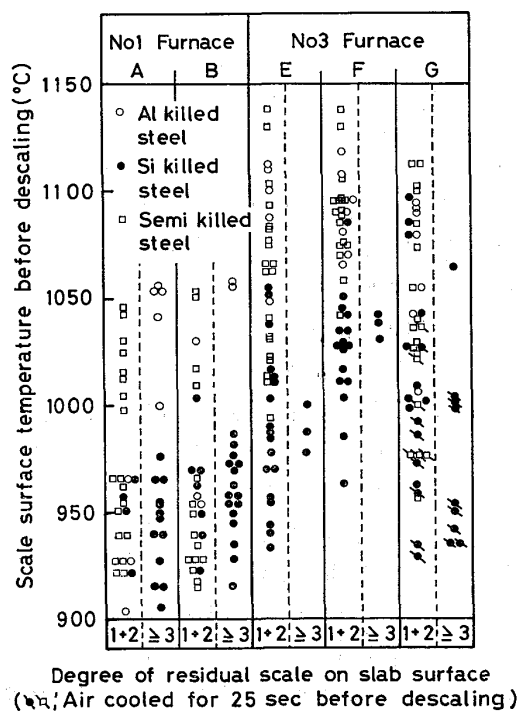


Fig. 8. Relation between the scale surface temperature before descaling and the degree of residual scale on slab surface.

の一例である。写真にみられるように Si キルド鋼の 1 次スケールは空气中放冷により細かく割れる場合が多い。これに対して、セミキルド鋼の 1 次スケールは極めて割れ難く、割れの単位が非常に大きいのが特徴である。Fig. 8 は 1 号炉 A, B 列および 3 号炉 E, F, G 列から抽出されたスラブについてスケール残存度を 1 プラス 2 と 3 以上に分けてスケール表面温度に対してプロットしたものである。Fig. 8 に示すようにスケール表面温

度はかなり大きなばらつきを持っているが、これはスケールの割れが原因しているためである。Fig. 8 より

(1) HSB 通過直前に測定したスケール表面温度は 3 号炉抽出スラブでは最高約 1150°C であり、1 号炉抽出スラブでは最高約 1050°C で、両者で約 100°C の温度差がある。

(2) スケール表面温度は鋼種により異なる。すなわち、セミキルド鋼および Al キルド鋼ではスケール表面温度の高いスラブが多く、Si キルド鋼では低いものが多い。スケールが割れて浮き上がった場合には急速にスケール表面温度は低下すると考えられ、Fig. 8 のスケール表面温度の鋼種による差はスケールの放冷中の割れ感受性を反映した結果であると考えてよいであろう。

(3) 1 号炉抽出スラブでは HSB による脱スケール後のスケール残存度の大きい (3 以上) スラブが多いが、3 号炉抽出スラブではスケール残存度が小さく Fig. 4 の結果とよく一致している。

(4) セミキルド鋼ではスケール表面温度に関係なくスケール残存度は 1 または 2 であり、極めてスケールの剝離しやすい鋼種であることがわかる。これに対して Si キルド鋼は、スケール残存度 3 以上のスラブが多く、スケールの剝離にくい鋼種であると言えることができる。Fig. 8 のデータの中で Si キルド鋼のデータのみを抜き出しスケール表面温度とスケール残存度の関係を Fig. 9 に示した。この図からスケール残存度はスケールの表面温度が高くなるほど小さくなり、スケールの剝離性が改善されることがわかる。

以上の厚板圧延ラインにおける調査結果から Si キルド鋼のようにスケールの剝離性が悪いと言われている鋼種であつても脱スケール時のスケール表面温度が高い場

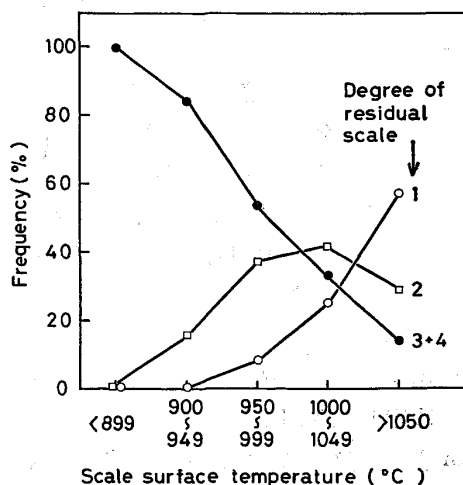


Fig. 9. Relation between the degree of residual scale on slabs of Si-killed steels and the scale surface temperature.

合には(加熱炉から抽出後短時間で脱スケールする場合
には)スケールの剥離性が良好となることが明らかとな
った。

従来, Si キルド鋼ではスケールと地鉄の界面に生成し
た fayalite が地鉄に食い込んで, いわゆるくさび止め
の効果を持っているため, スケールの剥離性が悪くなつ
ていっていると言われている。しかしながら, 本実験結果は
fayalite のくさび止め効果がスケールの剥離性を阻害し
ているのではなく, fayalite はくさび止めの効果以外の
影響を与えていることを示唆している。

3. スケールの割れ発生挙動に関する 実験室的検討

厚板圧延ラインにおける操業要因とスケール剥離性
(スケール残存度)についての相関調査を行つた結果, ス
ケール剥離性に対して, 過熱度と脱スケール時のスケ
ール表面温度の影響が極めて大きいことが明らかとなつ
た。

すなわち, スケールの剥離性を考える場合, 高温で生
成されるスケールの性状¹⁰⁾¹¹⁾とスラブを加熱炉から抽出
した後のスケールの経時変化の両面からの検討が必要で
あることを示している。前者についての詳細は後報¹²⁾に
ゆずり, ここでは高温で生成したスケールの空冷中の割
れ発生挙動に着目して実験室的な検討を行つた。

3.1 実験方法

供試材には, 空冷中のスケールの割れが起こりにく

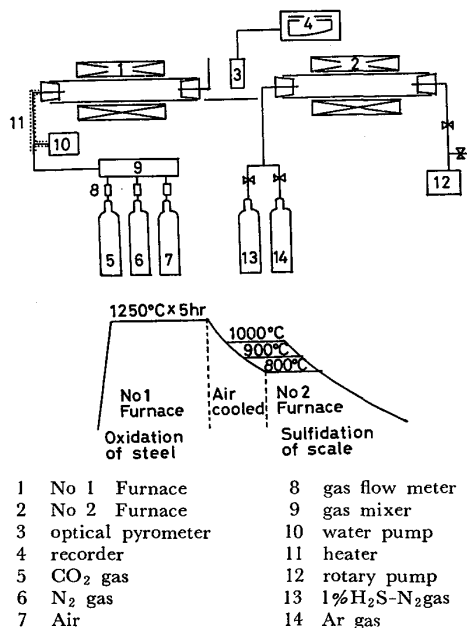


Fig. 10. Schematic diagram of experimental appa-
ratus and procedure to observe the cracks
in the scale on air cooling from high
temperature.

く, スケール剥離性が良好であつたセミキルド鋼とスケ
ールが割れやすく, スケール剥離性が悪かつた Si キル
ド鋼を使用した (Photo. 2 参照)。また, 試料の大きさ
は $30\text{ mm} \times 70\text{ mm} \times 6\text{ mm}$ とした。

Fig. 10 に実験方法および実験装置の概略を示した。
また実験の手順を下記に示す。

(1) $12\%\text{CO}_2\text{-}15\%\text{H}_2\text{O-}5\%\text{O}_2\text{-N}_2$ ガス気流中 (試
料の単位表面当たり 0.93 cc/s/cm^2) で $1250^\circ\text{C} \times 5\text{ h}$ 加
熱 (No. 1 Furnace 中)

(2) 空気中に取り出しスケール表面温度が $1000\sim$
 800°C になるまで放冷する。

(3) $1000\sim 800^\circ\text{C}$ に保持した炉 (No. 2 Furnace)
中に挿入

(4) 真空排気後 $1\%\text{H}_2\text{S-N}_2$ ガスを流し約 10 min
間保持

(5) Ar ガスに置換後室温まで炉冷

炉より取り出した試料の断面での S の分布状態を EPMA
の S 特性 X 線像の観察により調べた (短時間硫化法¹³⁾)。

3.2 実験結果と考察

Photo. 3, Photo. 4 はそれぞれセミキルド鋼を高温酸

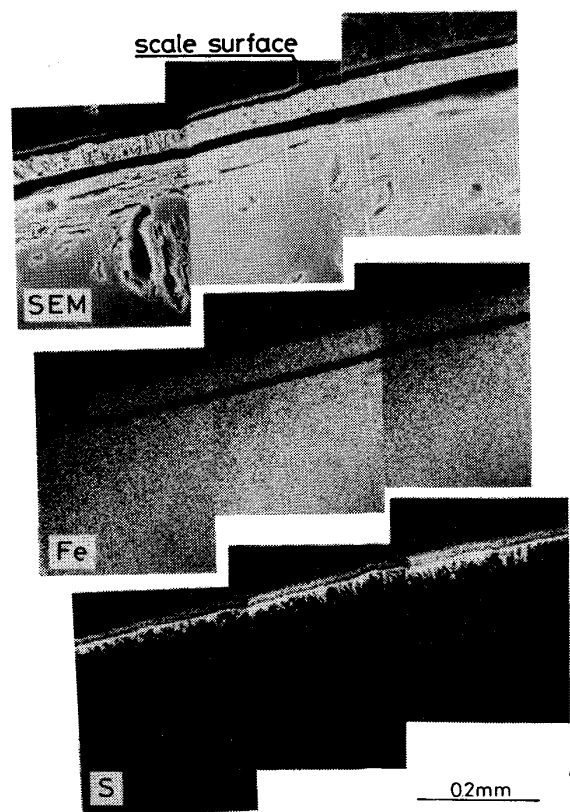
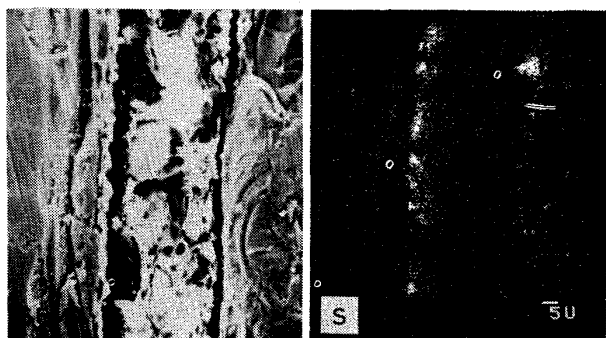
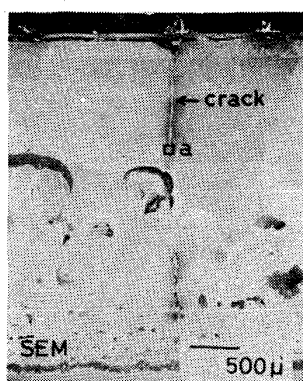


Photo. 3. SEM image of the scale of semi-killed
steel on air cooling from 1250°C (oxi-
dized temperature) to 900°C and the
characteristic X-ray image of Fe and S
of the same specimen.



Enlarged SEM image and the characteristic X-ray image of sulfur of area a

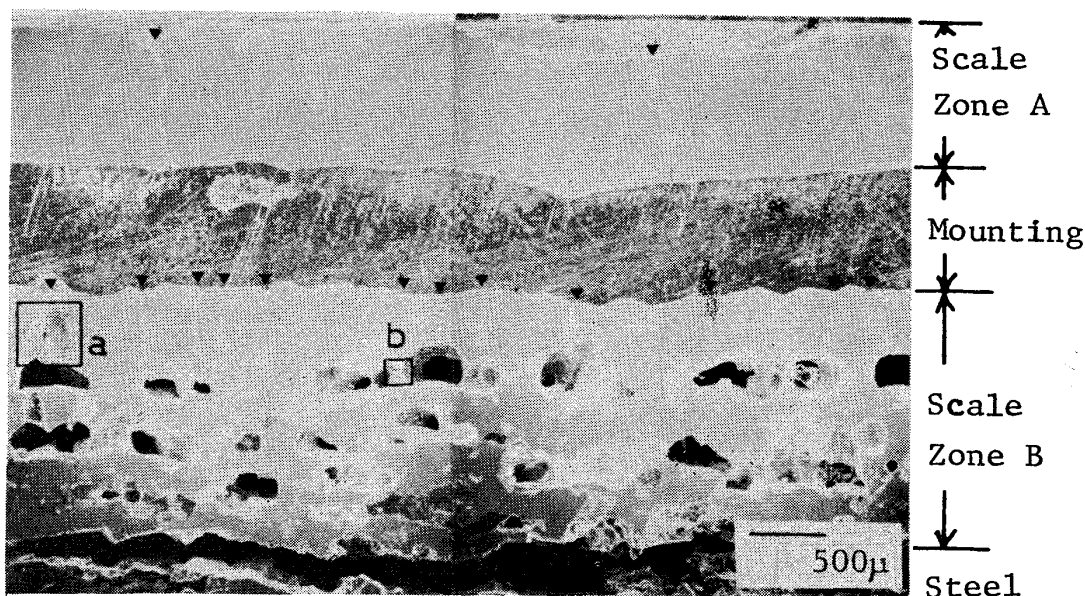
Photo. 4. A crack in the scale of semi-killed steel on air cooling from 1250°C (oxidized temperature) to 800°C.

化後スケール表面温度が 900°C あるいは 800°C になるまで放冷し、それぞれの温度で短時間硫化法で硫化した試料の断面を示す。また、Photo. 5 は Si キルド鋼を高温酸化後 スケール表面温度が 900°C になるまで放冷し、その温度で硫化した試料の断面を示す。

高温酸化で生成した厚いスケールは常温まで冷却するとほとんどの場合スケール内に“割れ”が発生し、どの段階で発生した“割れ”かを確認することは不可能であるが、本実験で行ったように放冷中のある温度で硫化を行えば、それ以前の温度域で発生した“割れ”と硫化後に発生した“割れ”を硫化の有無から区別することができる。

セミキルド鋼を前記の条件で高温酸化後 900°C まで放冷した場合、試料全面にわたって硫化された割れを観察することはできず Photo. 3 に示すように表面層のみが硫化していた。800°C まで放冷した場合には Photo. 4 に示すようにスケール表面から地鉄界面に至る大きな割れが観察される。割れの a 部の S の侵入状況から明らかなように、セミキルド鋼においては、1250°C から大気中で自然放冷した場合 900~800°C の温度範囲で地鉄に至る大きな割れが発生することがわかる。

これに対して Si キルド鋼の場合には、1000°C までの放冷ではスケールには硫化された割れは観察されなかったが、900°C までの放冷により硫化された大きな割れが観察された (Photo. 5)。スケール表面に近い Zone



▼ mark in the photograph indicates a crack

Photo. 5. Cracks in the scale of Si-killed steel on air cooling from 1250°C (oxidized temperature) to 900°C.

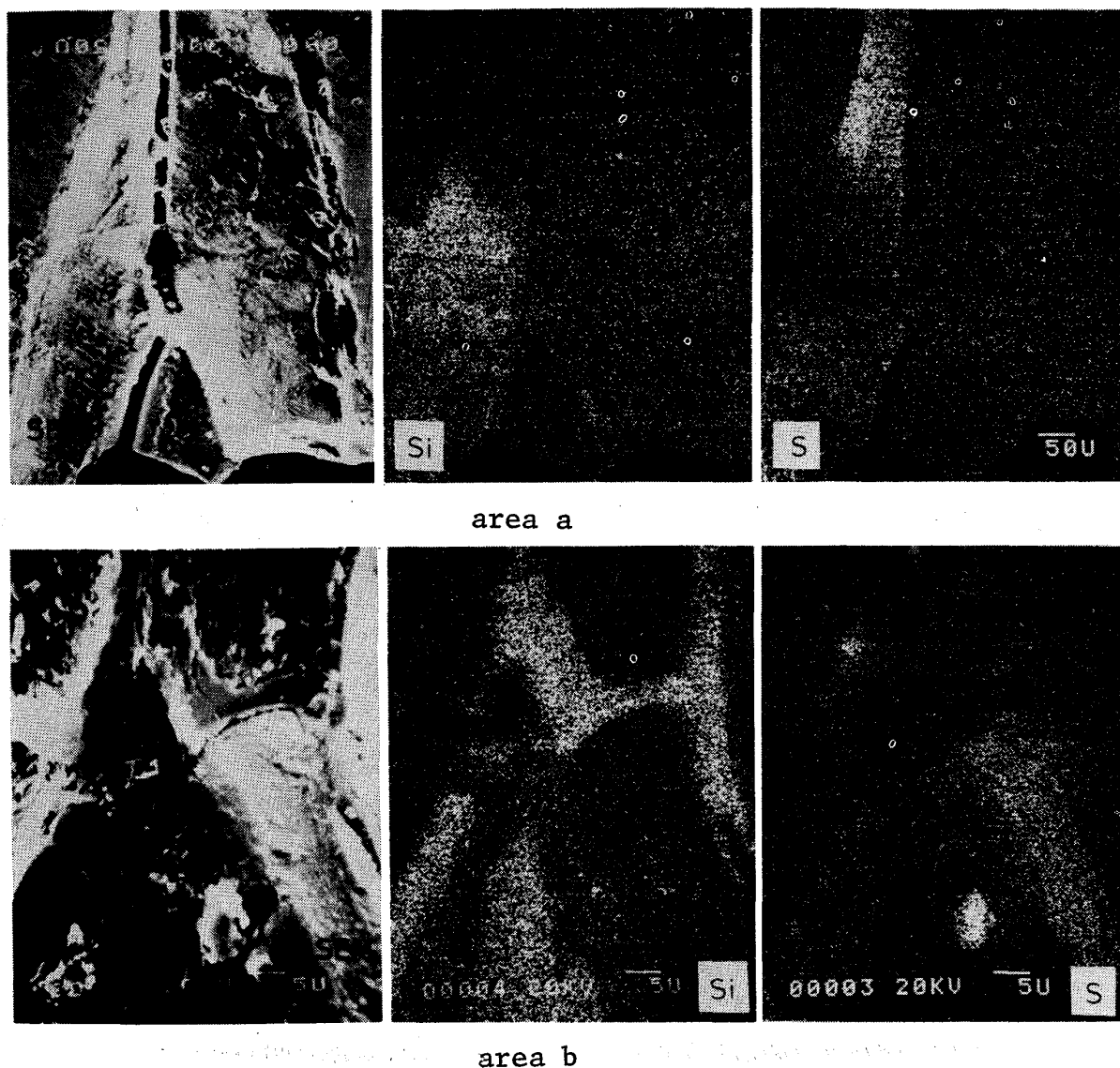


Photo. 6. Enlarged SEM image and the characteristic X-Ray image of S and Si for area a and b of Photo. 5.

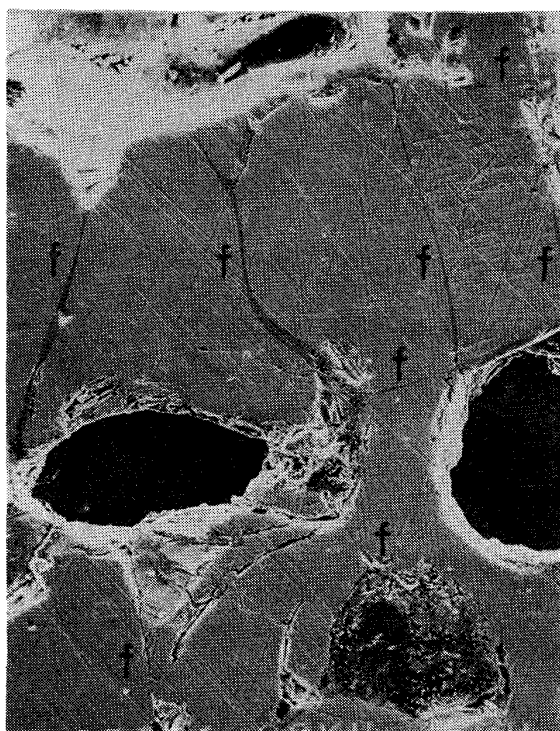
Aと地鉄界面に近い Zone B とでは割れ発生状況が明らかに異なる。すなわち、Zone A においては割れの数が少ないが、Zone B では多数の割れが存在している。しかも、これらの割れは、Photo. 4 に示したような地鉄界面まで連続した割れではなく、断続的で気孔近傍で止まっている場合が多い。

Photo. 6 は Photo. 5 の Zone B における割れ a (area a) と割れ b (area b) の S および Si の特性 X 線像を示した。これらの写真から Zone B の割れは 900 °C までの放冷過程で発生した割れであり割れの部分にはいずれも fayalite が存在していることがわかる。一方、Zone A においては割れ部分および他の部分で fayalite は存在していないことを確認した。これらの観察結果から fayalite の存在が高温でのスケールの割れ

に顕著な影響を与えていることは確かである。

以上の実験結果から、同一条件で高温酸化させたセミキルド鋼と Si キルド鋼では大気放冷中の割れ発生温度および割れの存在状態に差のあることが明らかとなった。

セミキルド鋼と Si キルド鋼のスケール性状の最も大きな相異点は wüstite 中の fayalite の分布状態と量、および、気孔の分布状態と大きさである。すなわち、セミキルド鋼においては少量の fayalite が地鉄界面近傍に局在しており、気孔径は地鉄界面に近づくに従って急速に小さくなっていく (Photo. 4 参照)。一方、Si キルド鋼においては fayalite は Photo. 5 の Zone B の wüstite 粒界のほとんどに存在しており、その一例を Photo. 7 に示す。また、セミキルド鋼のように小さな気



f denotes fayalite

Photo. 7. Example of fayalite networks in the grain boundary of wüstite in the scale of Si-killed steel oxidized at 1250°C.

Table 2. Chemical compositions of steels (wt%).

	C	Mn	Si	P	S	Cu	Al
Semi-killed steel	0.18	0.75	0.04	0.01	0.03	0.02	—
Si-killed steel	0.20	1.38	0.40	0.01	0.01	0.01	0.01

孔は存在せず大きな気孔のみから成立っている。

セミキルド鋼と Si キルド鋼の高温酸化後の放冷中のスケールの割れ発生温度の差はスケール中に存在する fayalite の分布状態の差によつて説明することができる。すなわち、スケール中に fayalite がほとんど存在しないセミキルド鋼ではつぎのように考えられる。放冷に伴つてスケール表面には熱収縮による引張応力が発生し、この応力がスケールの破断応力を越えたとき、表面に発生した割れが地鉄界面に向かつて伝播して Photo. 4 のような連続的な割れとなるのであろう。

Si キルド鋼においても、スケール表面近傍 (Photo. 5, Zone A) の組成はセミキルド鋼のスケール組成と同等であるからこの部分の熱間強度には差がないと考えられる。したがつて、放冷によつて表面に発生した割れが伝播して地鉄界面に向かう大きな割れを形成するのであればセミキルド鋼の場合と同様に 900°C までの放冷では割れは発生しないはずである。

一方、Photo. 5 に示したように、Zone B の上部に

発生している割れの多くは 900°C までの放冷中に発生した割れであることは、Photo. 6 から明らかである。すなわち、fayalite は wüstite-fayalite の共晶温度 (約 1170°C) 以上では溶融しているが、1170°C 以下の温度では凝固する。ところで、1170°C 以上の温度で高温酸化したスケール中の fayalite は、wüstite の結晶粒界を覆つており (Photo. 7)、1170°C 以下の温度では両者の膨張係数の差 (wüstite の膨張係数: $14.57 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, fayalite の膨張係数 $9.95 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ¹⁴⁾ (25~1000°C)) が大きな原因となつて Photo. 5 のように wüstite の結晶粒界の割れが発生するのであろう。

Si キルド鋼のスケールにおいては、fayalite に覆われた wüstite の粒界の割れが、スケール表面の割れに先行し、この割れがスケール表面に向かつて伝播する可能性が推定される。すなわち、セミキルド鋼と Si キルド鋼とでは放冷時の割れ発生の開始場所が異なるため割れ発生温度が異なるものと考えられる。

4. スケール剥離性についての考察

厚板圧延ラインにおける調査結果および実験室におけるスケールの割れ発生挙動の解析結果から HSB によるスケールの剥離過程はつぎのように考えられる。

HSB による脱スケール後のスケールの残存度はスケール性状 (過熱度)、スケールの表面温度 (加熱炉から抽出後脱スケールまでの時間) に依存し、鋼種によつて加熱炉から抽出後のスケールの割れ発生状況が異なることは前述のとおりである。また、実験室的には、スケール性状 (気孔性、fayalite の存在) の差により高温酸化後の空冷中の割れ発生温度および割れの発生および伝播の仕方が異なることが明らかとなつた。

HSB による脱スケールにおいて、Si の低いセミキルド鋼ではスケール表面温度に関係なくスケールの剥離性が良好である。一方、Si が高く高温酸化時に wüstite 粒界に fayalite を生成するような Si キルド鋼ではスケール剥離性に対するスケール表面温度の影響がかなり大きい。この原因は、脱スケール時のスケール性状の差に起因するものと考えられる。

すなわち、セミキルド鋼においては wüstite 粒界には fayalite がほとんど観察されず気孔性も小さいため、実験室での放冷実験の結果から明らかなように放冷中に発生した割れは地鉄界面まで連続的に伝播する。これに対し、wüstite 粒界が fayalite で覆われた Si キルド鋼では放冷中に発生した多数の割れは連続的に地鉄界面まで達しているのではなく、大部分はスケール内部の気孔周辺部で止まっている。

このように性状の異なるスケールに高圧水を噴射したとき、セミキルド鋼のようにスケールの割れが少ないスラブでは、急冷によりスケール内部には大きな熱応力が発生し、このとき発生する衝撃的な応力のため割れは地鉄界面まで達し、地鉄との収縮量の差のためスケールは界面から剝離するのであろう。これに対し、Si キルド鋼のように放冷により多くの割れが発生した場合には、割れによる熱応力の解放が起こる。このため、高圧水で急冷されてもスケール内部に発生する熱応力はセミキルド鋼の場合ほど大きくはなく、すでに発生している割れに沿ってスケールが吹き飛ばされ地鉄側に多くのスケールを残すものと考えられる。

一方、このように、剝離性の悪いスケールを持った Si キルド鋼であつても加熱炉から抽出後短時間のスケール表面温度の高い状態では、前述のごとくスケール内部の割れは少ない。このような状態のスケールを高圧水により急冷すると、セミキルド鋼の場合と同様に衝撃的な熱応力のためにスケール表面に発生した割れは地鉄界面に向かって進行し、地鉄界面からスケールを剝離すると思われる。

HSB による脱スケールの過程は上述の熱的衝撃力の効果が大いことは確かであるが石田¹⁵⁾らの報告にも見られるように高圧水によるスケールの剝離効果も大きい。

よく知られているように HSB による脱スケールの過程は機械的なスケールの剝離効果と急激に発生する熱応力によるスケールの破壊効果の結果¹⁶⁾起こると言われている。本実験の結果から、どちらの効果が大きいかを推定することはできないが、機械的衝撃力によるスケールの剝離効果として、①熱的衝撃力で破壊されたスケールの吹き飛ばし効果と②地鉄側に残された porous なスケールを衝撃力で破壊し吹き飛ばす効果を持つていると考えるのが妥当であろう。

5. 結 言

厚板圧延ラインにおける延べ約 1500 本のスラブの脱スケール後のスケール残存度と操業要因の相関の解析お

よび実験室におけるスケールの高温での割れ発生挙動の解析から、厚板スケールの剝離性についてつぎのような結論が得られた。

- (1) HSB による脱スケールに際し、加熱炉内でのスラブの過熱度および脱スケール直前でのスケール表面温度がスケール剝離性に大きな影響を与える。
- (2) スケール剝離性に与えるスケール表面温度の影響は Si キルド鋼などで顕著に認められその温度が高いほどスケール剝離性はよくなる。
- (3) スケール表面温度の影響は、高温酸化後の放冷中のスケールの割れ発生状態および割れの伝播挙動の差として解釈することができる。

文 献

- 1) 浦井正章, 三木賢二: 鉄と鋼, 60(1974), S 670
- 2) 大竹 正, 青木宏一, 藤島敏行: 日本金属学会誌, 24(1960), p. 92
- 3) A. K. GHOSH and R. ROLLS: Iron Steel, (1969), June, p. 151
- 4) C. W. TUCK and J. BARLOW: Iron Steel, (1972), Feb, p. 31
- 5) I. SVEDUNG and N. G. VANNERBERG: Corros. Sci., 14 (1974), p. 391
- 6) K. SACKS and C. W. TUCK: Werkstoffe Korrosion, 21 (1970), p. 945
- 7) C. W. TUCK: Corros. Sci., 5(1965), p. 631
- 8) 木下凱雄, 小熊 進: 鉄と鋼, 63(1977), S 354
- 9) 木下凱雄, 小熊 進: 鉄と鋼, 63(1977), S 355
- 10) 中村峻之, 佐藤始夫, 福塚淑郎: 鉄と鋼, 65 (1979), S 298
- 11) 佐藤始夫, 中村峻之, 福塚淑郎: 鉄と鋼, 65 (1979), S 299
- 12) 福塚淑郎, 中村峻之, 佐藤始夫: 鉄と鋼, 投稿予定
- 13) 金材技研ニュース, (1976) 6, p. 2
- 14) P. T. B. SHAFFER: Plenum Press Handbooks of High Temperature Materials No. 1, Materials Index, (1964), [Plenum Press, New York]
- 15) 石田隆一, 宮田 進, 熊野征晴, 小久保一郎, 福塚淑郎, 中村峻之, 佐藤始夫: 鉄と鋼, 64 (1978), S 284
- 16) T. SHEPPARD and W. M. STEEN: JISI, 208 (1970), p. 797