

212 小型たたら炉製鉄法による鋼（鉬）の機械的性質

The mechanical property of steel (Kera) in modifiedtatarate steelmaking furnace

○田辺 潤(日本工大)

Jun Tanabe, Nippon Institute of Technology, 4-1 Gakuendai, Miyashiro-cho, Minamisaitama-gun, Saitama, 345-0826

1. 緒言

たたら製鉄は我が国古代から人々の生活の中から生まれ、改良が加わりながら継承されてきた技術である。¹⁾たたら製鉄で作られた鉬(ケラ)は、近代製鉄法で生産される鋼に比べて劣るところか、加工性および鍛接性に優れているといわれている。また、砂鉄 10t と木炭 10t から約 2.5t 程度の鉬および鉄(ズク)を作ることができる。鉬の生成はオーステナイト固溶体と液相の共存領域で起きている²⁾。この製鉄原理は明らかに高炉による現代製鉄法と異なっている。以上のことより、本研究では小型たたら炉法における操業中に製鉄原理に温度の影響が大きいことから、たたら炉内全体の温度を測定し、製鉄作業中における温度とたたら製鉄後にできた鉬の炭素量および硬さについて分析し、鉬の機械的性質の検討を行った。

2. 実験方法

2.1 たたら炉の構造

小型たたら炉は築くために地面を整地し、そこに地面からの湿気を防ぐために鉄板を敷いた。その上に、炉底用の耐火レンガ(240mm x 120mm x 20mm)を 7 段敷き詰めた。さらにその上に、炉壁用の耐火レンガを用いて炉壁を作製した。炉壁は耐火レンガを数段積み上げた。レンガとレンガの接合には、モルタルを水で溶いたものを用いた。この時炉は、上から見て「コ」の字型になるように炉の前面だけを残して設置した。炉の前面は、操業終了時に鉬を取り出しやすいようにスコップを基準として合わせた。炉の組み立ての際、2 段目にはノロ出しの穴を、4・5 段目には送風管を差し込むための隙間を、熱電対はそのときの測定箇所に合わせて隙間を空けた。炉壁用の耐火レンガは 250mm x 100mm x 60mm のものを使用した。炉壁は耐火レンガを 10 段積み上げた。炉壁の耐火レンガは耐熱度が 1700K のマグネシアで熱伝導度の小さい物を使用した。Fig.1 に炉の構造の断面図を示す。

2.1 小型たたら炉による製鉄作業

Fig.1 のように炉を造り、羽口(送風管)、熱電対を設置した。そして、炉の前面を少しずつ積み上げながら、耐火レンガの 1 段目まで粉炭(2.5kg)を投入した。さらに炉の前面を積み上げて、小型炉を完成させた。木炭を投入し、火付けを行い、炉内を乾燥させた。その後、羽口より送風を開始し、炉頂部まで木炭を投入した。送風機は営業用吸い込み型掃除機の空気の出し口を利用し、送風量はスライダックで電圧を調整して制御した。そして煙突を立てて、さらに木炭を煙突の頭頂部まで投入した。煙突は通気性の向上が目的である。木炭をよく燃焼させ、煙突から出る炎が酸化炎から還元炎へ変化したら、温度(電圧)の測定(1 分毎)をレコーダーにより開始し、砂鉄を投入してから木炭を投入した。磁選された砂鉄(ニュージーランド産(T-Fe55.8%, Ti4.60%, Si1.96%, Al1.93%, Mg1.78%,

Ca1.47%, S0.02%) 鉬の生成に影響するため適度にノロを生成するように砂鉄にはケイ砂を 1% 添加した。)と木炭の投入は 10 分毎に行った。10 分というのは砂鉄の還元率を考慮して決定したものである。また、送風量は木炭の燃焼速度で調整し、木炭が 10 分間に約 10cm 降下するようにした。砂鉄の投入量は投入前に決めているが、木炭の投入量は燃焼状態を見て判断しながら適量を投入した。その後、砂鉄の総投入量に達したら投入を止め、同時に木炭投入も止めた。煙突内の木炭が燃焼しながら炉頂部まで降下したら、煙突をはずし、草で蒸した。草はイネ科のものを用いた。イネ科は燃焼しても形を崩さず断熱し酸化を防ぐ役割をしている。さらに、炉頂部よりも木炭が降下したら、炉の前面を 1 段ずつ外していき、ある程度の高さまで降下したら送風を止め、同時に温度測定も停止した。前面のレンガをすべて外し、炉より鉬を取り出し水冷した。

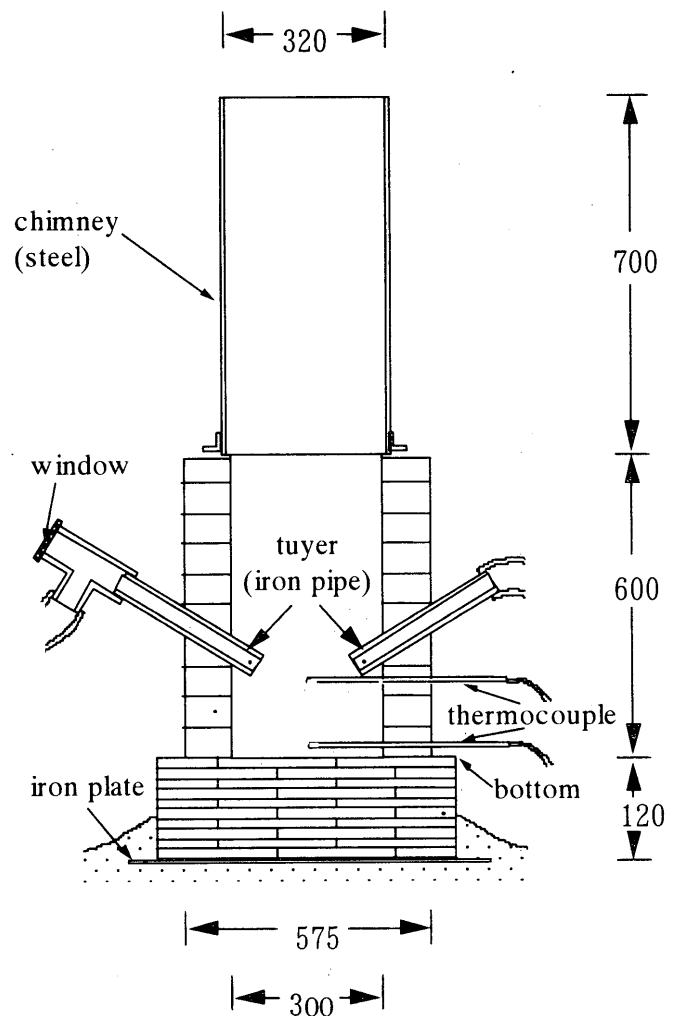


Fig.1 Construction of small Tatarate furnace.

Fig.2 に水冷後の鉬の写真を示す。



Fig.2 Kera after the water-cooling.

2.2. 温度分布

所定の位置について温度の測定を行った。測定点において縦方向は耐火レンガのひとつ分の高さ 60 mm、横方向は 50 または 25mm 間隔について行った。得られた測定温度から温度分布を作成した。また製鉄後得られた鉬を 1mm 程度の試料を作製した。その後走査型電子顕微鏡 (SEM)、エネルギー分散型分光分析 (EDS) および X 線回折分析 (XRD) を行った。

2.3. 鉬の機械的性質

Fig.2 の鉬の塊に付いているノロを取り除き、鉬を各測定部位 (Fig.3) に分け、それぞれの部分を樹脂で固めた。そしてファインカットにより、1~2mm の厚さの板状に切断し、その板の表面をヤスリで研磨し、0.05~0.1g 程度の粒状にし、それを計 2g 以上つくった。その後、EMIA 赤外線燃焼法により、炭素量の分析を行い、鉬の機械的性質の評価をするためにビッカース硬さ試験を行った。

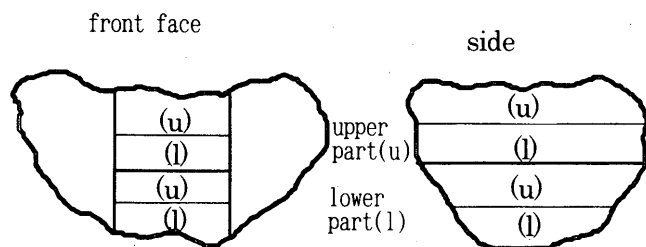


Fig.3 Measurement position of Carbon content and Vickers hardness of the Kera.

3. 結果および考察

炉中心羽口先端の温度は 1600K 前後の温度を示していた。煙突から投入された砂鉄は炉内を降下していく間に半溶融状態になり還元されていき鉬となって成長させていき鉬となって成長をしていく。この半溶融状態になった粒が木炭の上を流れていく間に吸炭を行っていく。また、砂鉄に含まれていた不純物はぬれ性の違いから別れて流れていく。炉底に到達しても再び結合することはない。この測定温度から砂鉄と木炭の投入終了時から温度の安定が見られるこの時間でゆっくりと鉬が成長をしていく。操業途中に数度ノロだしを行った。どの操業でも同じように温度の安定が見られる砂鉄終了 30 分後を反応終了後として前後 5 分間 (11 点) の測定データを用い、その 11 点から移動平均法を用いて温度の平均を求めた。温度分布 (Fig.4) の温度は格子接点が測定点である。ここでは羽口における断面部を左右対称とし、左半分を示した。Fig.3 の測定温度をまとめた結果から、1600K 前後を熱源として温度が広がっている。

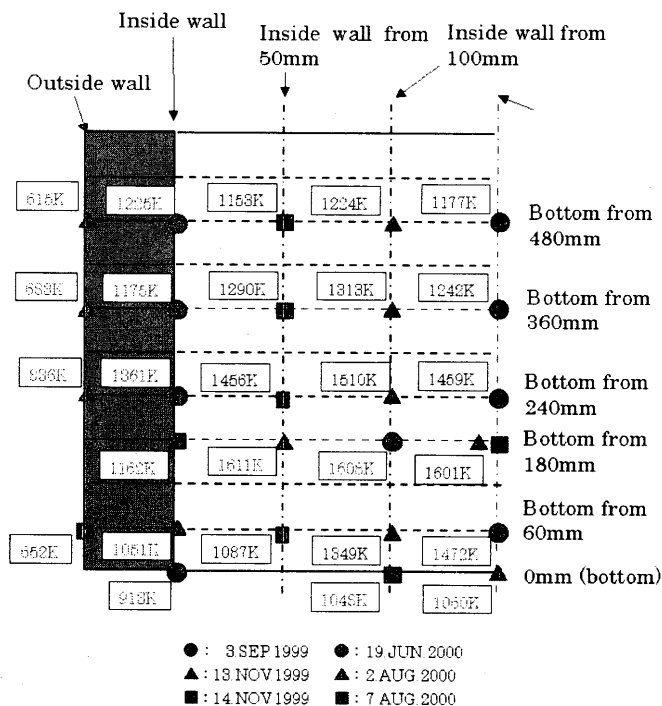


Fig.4 Temperature measurement point in small TATARA furnace of 30±5 minutes after iron sand injection end.

Table 1 に Fig.3 での温度、炭素量およびビッカース硬さを示す。

Table1 Carbon content and Vickers hardness of the Kera

position		Temp. (K)	Carbon content (mass%)	Vickers hardness
upper	(u)	1582	1.21	185
	(l)	1601	1.34	215
lower	(u)	1535	1.92	150
	(l)	1473	2.05	130

Table 1 より、鉬の下下部において温度が低くなっているのは生成される鉬が炉底の蓋の役目をし、温度が上がらなかったと考えられる。また、上部に行くほど炭素量が減少していることから半溶融状態になった粒が木炭の上を流れていく間に吸炭を行っていくことがわかる。得られた鉬の炭素分析において下部のほうでは 2%前後、上部では 1.3%前後であった。ビッカース硬さからも上下に分かれ、上部は SC 材に近い値を示し、鋼であると考えられる。下部では鉄鉄に近い値を示した。

4. 結言

小型たたら炉の温度分布は、1600K 前後を熱源として温度が広がっていた。

鉬は上部に行くほど炭素量が減少し、下部のほうでは 2%前後、上部では 1.3%前後であった。ビッカース硬さからも上下に分かれ、上部は SC 材に近い値を示し、鋼であると考えられる。下部では鉄鉄に近い値を示した。

文献

- 岡田 廣吉：たたらから近代製鉄へ、平凡社、(1990.9.17)、p.73-76
- 俵 国一：古来の砂鉄精錬法、丸善、(1993)