

強制冷却による永久炉壁式炉の研究*

(予備実験と水冷式熔鉄炉について)

佐藤良蔵**・田畑農夫**

STUDY ON A PERMANENT WALL TYPE FURNACE WITH COMPULSORY COOLING

Ryozo Sato and Nofu Tabata

Synopsis:

Attempts to find methods of protecting the refractory lining wall were made. The authors studied the formation of a permanent wall at the lining surface with compulsory cooling.

In this paper, the experimental results on erosion of lining bricks were reported. The results indicated that water cooling method would be applied to the elimination of lining erosion. Using this method, the permanent wall would be formed at the lining surface, and it would be neutral during melting operation. The authors tried to carry out the melting test by using the small of cupola in which water cooling method was applied to its melting zone.

The results obtained were summarized as follows;

1. By applying the water cooling method to protection of refractory lining wall, erosion loss was almost entirely eliminated and the quantity of repair materials and labour for maintenance was reduced.
2. Application of water cooling method to the melting zone of the cupola was very effective. It was recognized that it might obtain a permanent refractory layer at the wall surface and retain the constant diameter in the zone.
3. The melting zone unchanged gave a greater uniformity of furnace condition. This implied that prolonged melting could be operated.
4. Control of cooling water was easy and the life of the system would be unlimited.
5. A greater degree of control of slag composition being obtained, it was economically possible to charge steel scrap to a great extent and to produce high grade castings.

I. 緒 言

鉄鋼精錬における耐火物の役割は常に生産価格に結び付けられて取上げられる。特に浸蝕溶損問題は、操業上重要な位置を占め、このため、現在なお各種の方法がそれぞれの立場から研究されている。すなわち、操業法に酸性、塩基性の別があり、これに応じて装入素材、その他に制約を受け、また炉壁の溶解損耗による炉形の変化生成氾濫の不安定など、操業上困難な因子を生じ、製品

にまでその不安定が及ぶ。一方それに対応した修理、維持、使用材料の費用を考えると、相当の経済的負担の加重を認めなければならない。

耐火物の消耗を考察する場合、耐火物自体の使用状態における物理的、化学的性質を始め、熔鉄、熔滓との化学反応、機械的浸蝕、変質あるいは変形等が問題にな

* 昭和 30 年 10 月本会講演大会にて発表

** 秋田大学鉱山学部

る。またかかる耐火物の性質に応じた保護対策を考え、その保持を堅実にさせる方法も考えられる。

報告者は、すでに長期にわたる実験、考察からの裏付けによる強制冷却による耐火壁の永久壁化を試みてきたが、実験室的基礎実験および半工業試験を通じて得た結果からその実用性も確認したので、これを熔銑炉に採用して各種の熔解を行った。その結果、これまでの操業状況の変化、熔解材料に対する制約あるいは操業時間などの問題に解決を得たので、本報告にはその経過を説明することにす。

II. 水冷式熔銑炉の意義

現在一般に使用されている熔銑炉の大半は、蠟石、シャモットなどの酸性耐火物を裏付けしているもので、最近製品の材質の高級化に伴い、熔解条件も高度化し、高度の加炭、脱硫を要求する材料に対してはマグネシヤ、ドロマイトなどの塩基性耐火物を裏付けした塩基性熔銑炉も操作されつつある。しかし、いずれの場合も浸蝕熔損の問題は避け難く、これが原因となつて操作上の困難を惹起し、思わぬ失敗を見る場合が多い。しかも塩基性耐火物や特殊耐火物は価格の点からも、操作上の有利性を補い切れない。また熔解損耗は更に補修材料費のみならず、修理維持に必要な人員、所要時間、炉形の変化に伴う操業の不安定なども伴ってくる。

しかし本炉では、この熔損が極度に防止できるので、耐火材料の消耗量が極めて少なく、かつ長時間操業を続行しても炉形の変化がほとんど認められないため、炉況が安定し、このため操業が合理化され、単純な操作で炉況を維持出来る。特に高温熔解や高級材料使用と云つた高度の要求も充分満される。また熔損を考慮しての使用材料に対する範囲の制約は拡大され、一方熔銑成分の変化も極めて少ない。補修、維持が不必要なので、操業時間の制限は不要で操業連続の採用も可能となる。

III. 基礎実験の概要

裏付け耐火物の損耗原因を概略すると、装入物の落下に対する破砕や磨削といった機械的なものと、耐火物の熔解、あるいは他の物質との化学反応による滓化などがあげられるが、熔銑炉内で浸蝕の最も著しく現われる燃焼帯では滓化現象が一番大きな因子と考えられる。滓化熔損に関しては各種の耐火物に鉍滓を配して多く実験されているが、熔損の機構解明には方法的困難があつて、実用性の点からは簡単にその結果を取上げ得ない。そこでコークス燃焼のデビル型試験炉（内径 130mm：裏付

け厚さ 60mm：高さ 700mm）を用いて耐火物の熔損と耐火煉瓦内の温度分布の変化、炉況などについての測定を行った。

先ず炉壁内の温度分布状態を送風時間に対応させて示すと Fig. 1 のごとき結果を示した。また試料を取出した状態で図示すると Fig. 2 のごとくである。これ等から

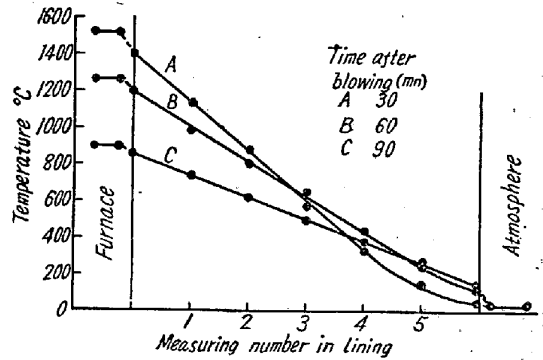


Fig. 1. Distribution of temperature in the lining after blowing.

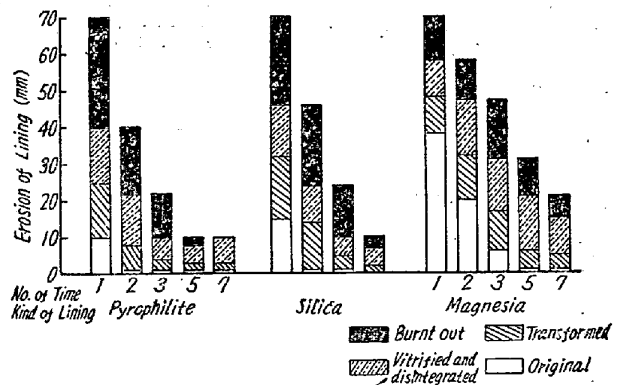


Fig. 2. The schematic diagram of lining erosion.

煉瓦の種別により多少の差はあるが、温度分布の変化から時間の経過に伴つて煉瓦内の温度差が縮小し、煉瓦の温度が上昇して行く。この温度変化を煉瓦の厚さの点から考えると、熱伝導による温度上昇を制約する範囲は極めて僅かである。本例では精々 15mm 内外に過ぎない。すなわち煉瓦層を厚くすることは操業時間が長くなると、温度上昇に対し何の抵抗にもならないことが示される。

また煉瓦の浸蝕状態は浸蝕部、鉍滓化部、変質部が出来、試験条件が同一であれば浸蝕部はシャモットが最大量でマグネシヤが最小量を示している。また滓化部は珪石、シャモットが大きくマグネシヤが小さい。しかし、繰り返し使用時の結果はマグネシヤ、珪石の変化が殆んど同量の浸蝕を示すが、シャモットでは浸蝕量が次第に減少し、滓化部は常に同一の厚さで煉瓦の基質を保護しているのが見られる。

また耐火物の洋化温度は反応成分によつて変化するが極めて高温の条件下ではこれを抑制出来ない。各種耐火物の鉄滓による浸蝕や融点の低下に関する報告から、浸蝕に対し反応温度が割に大きく響き、僅かの温度低下でも浸蝕度が急激に減少し、その理由には生成物の流動性をあげている。また生成層の熱伝導度が反応物質と異なるため、一応多層面壁の伝導機構によることになり、各層間に不均一な境界面が生成されるとその熱伝導係は悪くなる。従つて外部からの外面冷却（これは肉厚の減少によつて空冷の影響を受ける場合にはこの空冷も考慮される）により、温度分布が制御されれば各耐火物に応じた反応面で洋化の進行が抑止され、平衡状態を保持する結果となる。かかる条件下に形成される耐火層を維持する処理を取ればこの層は永久壁化し、以後の操業に対し、不変の耐火層として働いて行くものと思われる。

以上の結果を内径 450mm、高さ 2500mm の熔銑炉を使用して確認試験を行つた。使用煉瓦は蠟石煉瓦を 70mm 厚に張り、燃焼帯部には試験目的に応じて珪石煉瓦、マグネシヤ煉瓦を用いた。試験結果は Fig. 3 に図示する。

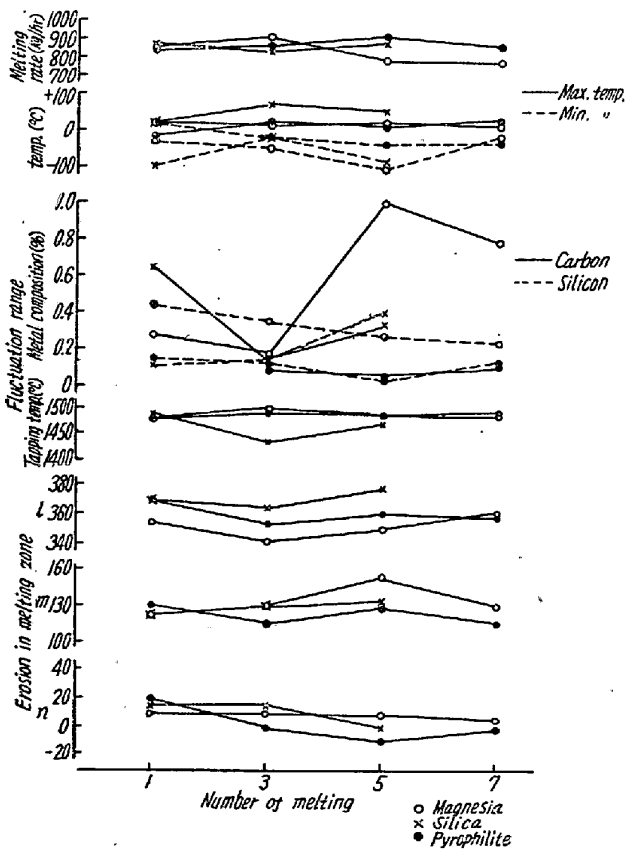


Fig. 3. Working results using various refractory linings.

すなわち、熔解状況は耐火物の影響を認めず殆んど同じであり、僅かにマグネシヤ煉瓦使用時操業の不安定が目立つた。特に熔湯温度の変化が熔銑成分の変動に現われ、加炭、脱硫は目的成分範囲のものも得られたが、変動時のものは加炭不良の結果となつている。一方使用回数に対応させて浸蝕状況を示すと l, m は耐火物からの影響はなく n のみが各耐火物の相異を示している。この結果から浸蝕は始めの数回に著しく起り、それ以後の変化は蠟石煉瓦では洋化の点では殆んど無視し得る程度で炉形すなわち残存耐火壁の厚さおよび変化位置がほとんど一定している。珪石の場合は、変化位置は蠟石の場合と同じであるが、熔損量は前者の 30mm に対し 15mm の約 1/2 位であるが、この率は回数によつても変化せず、永久壁化層の形成が困難で、特に表面割れによる消耗が目立つ。マグネシヤ煉瓦では各回の消耗は珪石に類似し、残存耐火層 15mm 位で永久壁化している。永久壁化後は各耐火物による差は認められない。生成鉄滓はマグネシヤの使用時は FeO% が常に大きく、かつその流動性も低下していた。また熔銑の Si% の変動も大きく熔滓の処理が困難なため湯溜りの状況は割合不安定であつた。

Table 1. Comparison between cupola-meltings with and without repair.

	Time after blowing (mn)	Tapping amount (kg)	Total Amount of iron (kg)	Tapping temperature (°C)	Composition of molten iron (%)		CaO/SiO ₂
					C	Si	
Repair with mortar	30	400		1280	3.4	1.4	0.32
	60	300	700	1330	3.2	1.7	0.40
	90	400	1100	1480	3.2	1.7	0.44
	120	350	1450	1410	3.0	1.2	0.33
	150	500	1950	1460	3.5	1.5	0.38
	180	260	2210	1480	3.4	1.6	0.42
	240	300	2510	1430	3.2	1.4	0.43
Without repair	30	380		1350	3.4	1.4	0.42
	60	520	900	1460	3.2	1.6	0.48
	90	520	1420	1510	3.3	1.7	0.45
	120	500	1920	1490	3.5	1.7	0.47
	150	540	2460	1510	3.4	1.5	0.45
	180	510	2970	1500	3.5	1.6	0.45
	240	530	3500	1490	3.5	1.5	0.47

次に使用ごとにモルタル補修を行いながら操業する場合と比較すると、Table 1 から補修が結果的に不利なことがわかる。すなわち、初期の鉄滓成分からモルタルの熔損は煉瓦のそれよりも著しく、洋化の増大が鉄滓量および成分に大きく響き、熔湯温度に迄影響を与えている。また経過時間に対し比較的安定状況を示さぬことも示されている。

以上から、基礎実験の結果は熔銑炉の場合にもそのまま適用され、永久壁層の位置も普通熔銑炉の燃焼部に形成するだけで充分なことがわかる。また熔銑炉の永久壁形成に使用する耐火材もこれまでの蠟石で充分であることが示されている。一方強制冷却法として空冷法と水冷法とを取上げ、空冷法は送風の予備加熱をも考慮して行つた。強制冷却による炉況変化は一応操業上重要な問題になることが予想され、上記試験熔銑炉を二重式にして実験した。風箱および水套内の気温、水温の変化を操業時間に応じて図示すれば Fig. 4 のごとくで、炉況は Fig. 5 に示す。空冷法を組み合わせると送風温度が 250

を与えることも予想される。

IV. 水冷熔銑炉とその操業状況

試作水冷熔銑炉は Fig. 6 に示す小型熔銑炉で 100 kg/h を能力として設計したものである。水套は鋼板製で、送水は水道から直接行つた。水套部の構造は送水系統と同様、各々使用状況に応じて決定する。内張りには耐火モルタルを 20mm 位の厚さに張りつけて使用する。また臨界冷却能力の点を考慮して水温—水量の調節を行うが、上例に示したように水量で水温を規定することが出来るので操作が簡単である。

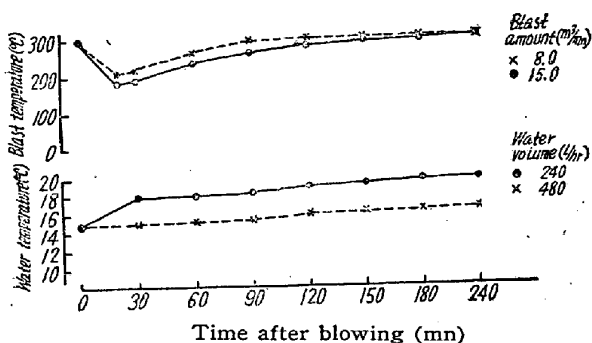


Fig. 4. Temperature rise of blasting air and cooling water after blowing.

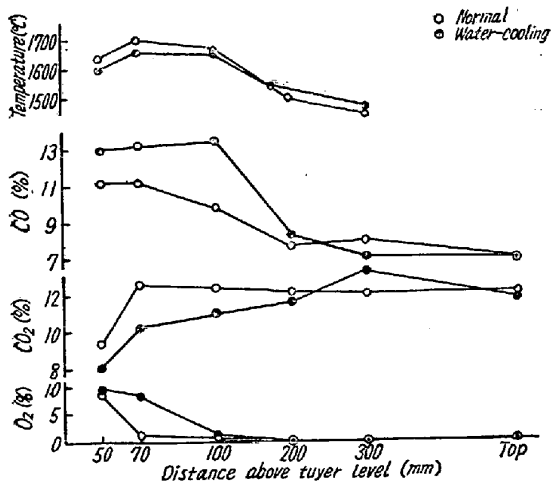


Fig. 5. Influences of water cooling on melting conditions.

°C 以上になるため、むしろ炉況が改善され、コークスの燃焼が加速され、炉温も上昇する。水套部に接する部分に遊離酸素の位置が上つて条件的に一応考慮せねばならないが、その位置が極めて水套面に近いため、極端な小型炉を除けば問題視するには及ばないと考えられる。すなわち、羽口端をより突入れるか、熱風効果を採用すれば炉況の改善をもたらしことが考えられる。またこの結果から直接熔解に必要な熱量および温度は普通の場合より劣ることなく、むしろ燃焼帯の安定が熔解に好結果

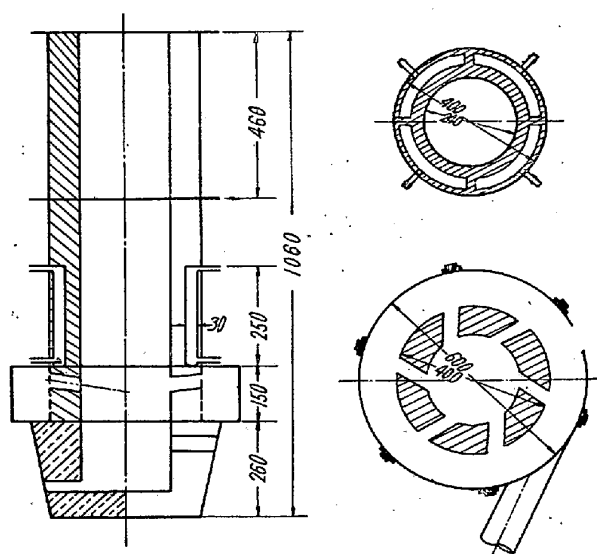


Fig. 6. Profile of the small water cooled cupola.

熔解状況を示すと Table 2 のごとくであり、また炉内の浸蝕状態は Fig. 7 のごとくである。この浸蝕熔損は予備実験で得られた結果に略々一致し、初回に熔損を認めたのみで、以後はほとんど無視出来る位しか変化がない。また炉況については風量—熔解量の関係が極めて明瞭で、別報で得たコークス量—風量の規定を簡単に採用出来る。これ等は明かに炉形の無変化による熔解操作が順調であることに起因することを裏書きしている。

この結果、水冷熔銑炉は操作上、普通使用されている熔銑炉に比較し、特別困難な処置とてなく、むしろ熔解状況が良好な結果を与えている。水冷法の採用によつてコークス使用量の増加は不必要であつた。

すなわち、これは炉形が変化せぬため、炉内状況は極めて安定し、風量—コークス量の規定によつて定常状態の炉況が維持され、炉の熱効率が最良の状態に近く示され、また生成鉄滓量の減少により、その生成熱およびそ

Table 2. Working data of the small water-cooled cupola.

No. of melting time	Time (mn)	Blast pressure (mm Aq)	Blast amount (m ³ /mn)	Total amount of iron (kg)	Tapping temperature (°C)	Coke ratio (%)	Erosion of lining (mm)		
							l	m	n
1	40	195	5.0	60	1250	15	240	130	20
	80	180	3.8	110	1410	15			
	120	185	5.0	150	1350	15			
	150	190	5.0	170	1400	15			
2	40	150	4.0	40	1250	10	255	135	5
	80	140	2.8	100	1400	10			
	120	140	3.5	160	1440	10			
	150	140	3.5	220	1450	10			
5	40	150	5.0	40	1350	15	250	130	-5
	80	150	5.0	100	1450	15			
	120	150	5.0	170	1490	15			
	150	150	5.0	240	1480	15			
10	40	150	5.0	40	1350	12	260	140	0
	80	100	4.2	90	1450	12			
	120	100	4.8	170	1450	12			
	150	100	4.8	230	1460	12			

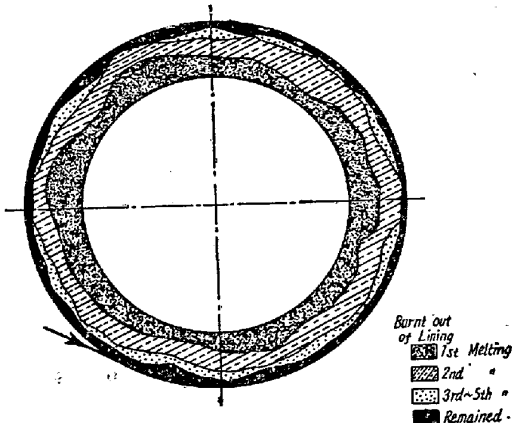


Fig. 7. Progress of burnt lines through the lining of water cooled cupola.

の保有熱量が少なくて済むことが考えられ、これ等の熱量は冷却水の持去る熱量に補助的役割を果すため、コークス比を低く保持して良好な熔解を続けるものと考えられる。熔解速度および平均出湯温度は操業時間の延長に対して、かえって上昇を示している。

従つて、本炉に熱風を採用すれば更に熱効率が上昇すると共に、熱風が熔鉄炉操業に与える有利性が追加されることになる。

また脱滓作業も容易なので熔湯成分も一定し、水量に対する水温の変化は割合少なく調整が容易で、かかる点から連続操業も採用出来、これによつても熱的關係における有利性が示されよう。しかも永久壁の形成は爾後の浸蝕熔損を考慮することが不必要で、ただこの層の維持のみに考慮を払つた処置を誤らぬ限り、作業は順調に進

められるわけになり、この場合の処置は断続的作業の場合に較べるとほとんど問題にするに当らぬ位の簡単なものになる。

一方生成される永久壁層は装入材料の制約を拡大しても差支えを生じないので、熔解法の撰択に自由性が与えられ、鋼屑、銑屑などの多量熔解も可能であり、高級材料熔解を目的とする高温熔解、あるいはシリコン、クロム等の合金添加も歩留りが向上するために採用出来る。また炉壁の中性化は熔解帯で生成される熔滓成分を決定するので鉄滓調整が容易で、湯溜部に反応を限定して成分調整が出来ることも予想出来る。

V. 総 括

耐火物の浸蝕熔損問題に対する一方法として取り上げた強制冷却法による耐火壁の永久化に関する基礎実験を行い、併せて水冷熔鉄炉を試作してその熔解試験を行った結果をまとめると

1. 耐火物の浸蝕熔損対策として強制冷却法を採用すれば、各々の条件に応じた臨界点で永久壁化が行われ、以後の浸蝕は認められない。
2. 永久壁化は反応物質により多少差はあるが、耐火物の性質と温度分布状態で定め得、冷却法はこの温度分布を支配する。
3. 熔鉄炉の燃焼帯に水套を取付け、炉壁を強制冷却すれば、炉壁に永久壁が形成され、以後炉形は変化せずこのため熔解作業が極めて安定する。
4. 炉形が一定であるため、炉況の調整が容易になり

溶解量—コークス量—風量の関係が単純で、熔湯の低下を認めない。

5. 冷却水の管理が簡単で、水量、水温の調整に特別の困難を伴わない。

6. 使用材料の制約範囲が拡大され、材質の調整は湯溜部で行い得るので各種の溶解法が容易に採用出来るこ

とが予想される。

最後に本実験に協力して下さった冶金教室の学生、炉の製作を依頼した井川鉄工所、佐藤製作所及び岩手鑄機工業に対し謝意を表明するとともに、費用の一部に文部省よりの科学研究助成補助金を役立てたことを附記する。

(昭和 30 年 11 月寄稿)

特殊鑄鋼ロールの偏析について (I)*

北 島 哲 男・**吉 田 明**

THE SEGREGATION OF THE SPECIAL CAST STEEL ROLL (I)

Tetsuo Kitashima, Akira Yoshida

Synopsis:

The cast rolls made of special steel containing chromium and molybdenum has been manufactured since the year of 1927 by the Yawata Iron & Steel Works. At present, these products have the life of rolling 70,000 tons in average in contrast with 38,000 tons of the past, and on some occasions 120,000 tons of billets could be passed.

It is widely known that the quality of cast steel is not improved in the course of forging or rolling to the favorable extent of eliminating their coarse structure and internal stress of casting.

But they could be improved by means of such heat treatments as spheroidizing, normalizing and tempering which influenced mainly on the toughness and hardness.

Special cast steel rolls manufactured recently by Yawata Works having the chemical composition of 0.8% C, 1.0% Cr, 0.3% Mo, etc. and Shore hardness number of 40 after such heat treatments as mentioned above, were found to have the longer life in comparison with the others.

However, the chemical composition and hardness were not always regarded as the prime factors having an influence upon the defect of crack.

It was considered therefore this kind of crack was due not only to the methods and techniques of rolling operation but to the segregation of chemical composition at the stage of casting. Accordingly, the authors investigated the segregation of these rolls under various thermal conditions.

As the result, they studied quantitatively each characteristics of segregated elements at the longitudinal and transverse sections of some of rolls cast under different conditions and made clear the solidifying and cooling process by means of chemical analysis, microscopic inspection and mechanical test.

I. 緒 言

八幡製鉄所における Cr-Mo 系特殊鑄鋼ロールは昭和 24 年下期より試作を開始し昭和 25 年上期より本格的に鑄造を開始、当初は期別に 120 t 程度の生産量であった。それが漸次需要の増加に従って生産量の増大を来たし現在では毎期 500 t に及んでいる。またその使用成績においても試作当時は折損等の事故発生ロールを含めて連続鋼片ロールが平均一本当り圧延 t 数 38,000 t 程度

であつた。しかしそれが現在では平均 70,000 t に向上し、中には 120,000 t を超えるものも出るに至つた。

しかしながらこれらの特殊鋼による鑄鋼ロールは周知のごとく鑄造後圧延または鍛造作業によつてその鑄造時の熱的内部歪や粗悪組織を改良することは出来ない。従つて専ら熱処理により、その組織を球状化し更に焼入焼

* 昭和 29 年 10 月本会講演大会にて発表

** 八幡製鉄所工作部