

# 鉄鋼技術共同研究会製鋼部会鑄型分科会報告書

## 1. 総 説

### 1.1 緒 言

品質優秀な鋼材を能率よく製造するためにはまず良い鋼塊を製造しなければならない。良い鋼塊として具備したい条件は偏析の小さい、表面に欠陥のないことである。したがって製鋼造塊技術と共に鑄型、定盤は重要な使命を負うことになる。鑄型について述べれば設計上の形状、寸法、物理的、機械的、化学的性質に由来する鑄型の割れ、クレージング等の廃却原因対策を講じ、鑄型の寿命延長をはかり、鑄型の原単位向上をはからねばならない。これらの問題に関しては鑄物部会鑄型研究会報告書(昭和29年刊)以後も研究を継続し、かなりの成果を収めている。

鑄型、定盤の設計に当つては、現在各社の使用中や研究の過程にある全種類の鑄型寸法について調査した。一方、海外において使用されている鑄型と比較検討しながら、設計基準に関し討議した。その結果、鋼塊の鋼種別、重量別、型式別、さらに工場設備による制約等の各条件に対して、一つ一つ鑄型各部の形状、寸法の傾向が明らかになった。

また鑄型設計が、造塊の段階において、鋼塊の性状におよぼす影響について調査、研究を進め従来使用していた鑄型に設計変更を行つた結果、鋼塊性状のいちじるしい改善が行われたことが報告されている。さらに鑄型、定盤の形状と寿命並びに原単位との関係を調査し、廃却原因の究明を行つた。扁平度の大きいもの程寿命が短かく、1.85以上のものは殆んど割れによつて廃却になることが判明した。

鑄型原単位の低下は肉厚を減少させても得られる。鑄型、定盤寸法の変動および管理について、調査研究が行われ、鑄型各部の受入公差が規定された。また鑄型使用中における寸法変化についても同様、鑄型使用回数と膨張、収縮量を追及している。

なお鑄型、定盤の材質に関してはキューボラによつて製造する鑄型と定盤について、各工場においては、目標成分を定め、十分なる管理が行われている。成分が寿命におよぼす影響を検討し、使用条件その他の因子が大きく働くため決定的なことはいいがたいが、C3.6~3.9%

Si 1.3~1.8%, Mn0.5~0.8%, P<0.25%, S<0.08%が寿命の面から最も妥当であるという結論を得た。

なお、配合地金の種類、熔解作業、造型および鑄造方案ならびに後処理について詳細な報告がなされた。

鑄型の破面組織と寿命の関係を主としてクレージングによつて廃却されたものについて研究され、また、黒鉛形状が寿命におよぼす影響が大きく、0.25~0.35 mm程度の黒鉛の比較的揃っているものがよいことが報告された。その他寿命を高めるためには一定の硬度範囲に収めなければならないことが判かり、寿命におよぼす熱処理の影響も調査した。

さらに、ダクティル鑄鉄に関しては現在なお試験過程にあるが、中型以下の鑄型では良好な結果を得ている。

鑄型の使用方法に関しては、各工場とも相当巾のある管理規準によつており、また鑄型の廃却基準も、定性的なものが多いが、鑄型の常備本数および使用頻度ならびに鑄込鋼種、上注、下注法などの使用方法の寿命の長短におよぼす影響が大きい。

さらに、鑄型の内面荒れの発生機構とその進行状況を追及した結果、形状の検討、取扱い法および鑄型の品質向上を計ることが必要である。また、鑄型の予熱、組織の密化、特殊元素(Crなど)添加、100%鋼屑配合などの対策が講じられている。

以上述べたように鑄型の破損は、鑄型の形状、材質、鑄造条件、使用条件等の諸条件により左右される。したがつて、鑄型の破損状態を十分観察の上、適当な時期に最も適した補修方法を選択のうえ実施すべきである。

以上昭和28年以降の鑄型、定盤について概観したが、さらに当分科会において第1~8回に亘り、検討されて来た研究内容については各章において詳細に述べる。

### 1.2 鑄型・定盤の生産状況

#### 1.2.1 生産方式

鑄型、定盤は鑄鉄製であつて一般にはキューボラを用いて溶製されている。キューボラは2~20 t/hの溶解能力のもので、なかでも5~10 t/hが多く、この点従来と余り差はみられない。しかし設備の細部については経済的操業と品質向上に沿うよう進歩している。生産方式として溶

解条件の調節によるのみならず、溶銑の各種炉前処理が行なわれるに至り、ダクタイル鑄鉄などの鑄型もかくて製造されるに至つた。

一方特殊な製造方法による鑄型の製造研究も、数量は少なく、試験的なものではあるが試みられ、実用に供せられている。高炉メーカーの行なつた溶銑の直接注入、電弧炉による鑄鉄熔解等があつてキュポラ鑄物と比較されることは興味ある問題を提起している。

要約すると生産方式は一般にキュポラによるが高炉溶銑の直接注入、電弧炉による鑄鉄熔解等も行なわれ、また物理的、機械的特性を与えるために溶解温度調節、装入原料の選択、接種剤の添加等により材質改善がはかられてきた。

### 1.2.2 生産の推移と原単位

戦後、鉄鋼生産は著増してきた。昭和28年以降の鋼塊生産の推移をみると、1.1表に示す通りである。鑄型、

表 1.1 鋼塊、鑄型の生産推移

年次	鋼塊 (t)			鋼材 (t)			鑄型・定盤 (t)			自家生産	
	普通鋼	特殊鋼	計	普通鋼	特殊鋼	計	鑄型	定盤	合計	(t)	(%)
昭和28年	6,902,067	487,354	7,389,421	5,182,064	305,324	5,487,388			127,168	48,787	38.4
〃 29	7,045,135	450,919	7,496,054	5,358,408	293,515	5,651,923	105,155	17,278	122,433	51,345	41.9
〃 30	8,670,424	501,514	9,171,938	6,672,133	318,715	6,990,848	131,027	25,667	156,694	60,356	38.5
〃 31	9,981,448	783,489	10,764,937	7,792,676	495,413	8,288,089	146,340	21,430	167,770	59,725	35.6
〃 32	11,115,357	1,004,166	12,119,523	8,884,672	626,014	9,510,686	173,084	28,165	201,249	70,097	34.8
〃 33	10,916,476	851,947	11,768,423	8,763,773	507,076	9,270,849	139,117	25,474	164,591	66,392	40.3

〔註〕 鑄型生産量は通産省機械統計による。

定盤の需要も増大し、その生産も逐年上昇の一途を続け、28年度の127,000 tから32年度には201,000 tと158%の増加率を示している。鑄型生産量は鋼塊 t 当り14~12kgに相当している。製鉄会社のあるものは自社生産の鑄物銑を用いて、またあるものは製鋼用銑の直接鑄込みによつて鑄型、定盤の自家生産を行ない、消費の一部に充当している。この割合は全生産量のうち35~40%を占めている。鑄型の材質、設計、使用方法、溶接補修などの改善によつて、鑄型の寿命は逐年のびてきており、全国、平炉工場における鑄型定盤の良塊 t 当り消費量は1.2表に示す通り、30年度15.6 kgから33年度においては13.4 kgに低下してきた。平炉鋼は近年の傾向として造船用鋼板、ボイラ用鋼板の如く、溶接性のよい厚物のセミキルド、キルド鋼が伸び、昭和24年の35%から40%位へと逐年増加し、また加うるにストリップ圧延機の増設があり、鋼塊は大型化の傾向にある(鋼塊重量は鑄型の寸法表参照)

これらは鑄型の使用条件に苛酷さを加えることになる

にも拘らず、原単位の向上を示しており、鑄型メーカーと使用者の協力による研究成果によるものであろう。

表 1.2 平炉工場の鑄型定盤消費傾向

年別	項目 良塊 t 数	鑄型定盤	
		消費量 (t)	原単位 (kg)
昭 30	7,770,050	121,247.3	15.6
昭 31	8,960,623	127,442.7	14.2
昭 32	9,894,574	139,381.4	14.1
昭 33	9,171,768	122,832.8	13.4

### 1.3 鑄物部会鑄型研究会の研究活動の概況

鑄物部会鑄型研究会(昭和23年8月~28年12月)は日本鉄鋼協会を主体として、通産省と日本鉄鋼連盟の共催のもとに発足した研究部会の一部門であつて、鑄型製造

者・鑄型使用者および学識経験者で構成され、鑄型設計・材質・使用方法その他について検討した。鑄型研究会は準備会を含めて11回開催され、その間緊急な問題を解決するために専門委員会(昭和25年6月~27年3月~6回開催)を設置した。

鑄型研究会および専門委員会の研究成果は

#### 鑄物部会鑄型研究会報告

—鋼塊用鑄型に関する研究—

として昭和29年6月に刊行された。同書は限定出版のため残部がなく今日では入手不能であるが、戦後の一貫した鑄型研究の動向を知る上には欠くことのできないものである。各項目ごとに概要をとりまとめた。

#### 1.3.1 研究の経過

戦後製鋼工場が再開された当初に当事者が直面した問題の一つは初期割れ鑄型の多発であつた。初期割れは溶鋼の鑄込み途中あるいは鑄込終了直後に突然発生するも

のであつて、しばしば溶鋼もれを伴い、使用1回目～数回目の新鑄型に多かつた。当時は鑄物用銑およびコークスの品位が現在では想像もつかぬくらい粗悪であつて、このため鑄型材質が劣化して初期割れを多発したのであるが、まず材質の改善をはかり、また鑄型の設計変更によつて初期割れ発生率を低下した。一方年を追うごとに原材料の品質が向上し、鑄型寿命が上がるにつれて、延命策としての割れおよびクレージングの防止が重要な課題となり、あらゆる面からの研究が行なわれた。しかし延命策としてのクレージングの防止にはなお未解決な点もあり、現在もさかんに研究が続けられている。鑄型材質が安定化すれば鑄型原単位を支配するものは設計および使用方法であり、原単位低下を目的とした設計および使用方法の改善もまた研究され、その成果とともに現在に引継がれている。鋼塊性状改善のための鑄型設計の問題は使用者側として強い関心のもたれることであるが、各工場の実状に即した改善が行なわれた。

一方鑄型研究会として審議に便利なように「鑄型廃却原因の分類」「鑄型履歴表」「鑄型の顕微鏡組織判定法」などを昭和24～25年頃に検討し、それぞれ判定に到つた。これらのものはその後研究を進めて行く上に大いに役立ち、現在もそのまま利用されている。

### 1.3.2 設計に関する研究

初期割れは材質不良のために多発したのであるが、鑄型形状の弱点をねらつて集中しておこり、鑄型の肉厚が薄くなつている部分や、扁平鑄型の短辺部に縦割れを生じた。初期割れ現象は鑄型壁が温度上昇中に各部の温度差によつて大きな熱応力（衝撃的な）をうけて発生することが解明され、この線にそつて設計の変更が行われた。その具体的な方法を列挙すれば次のとおりである。

- (1) 横断面における肉厚の変動を少なくする。
- (2) 内外面の隅角半径(R)を同心円にする。
- (3) 扁平鑄型の短辺部に丸味をつけ、だ(楕)円形に近かずける。
- (4) 扁平鑄型のバンド・袴等を改良する。
- (5) コルゲートをゆるやかにする。

初期割れは鑄型の温度上昇中に発生する特異なものであるが、普通に鑄型に発生する割れは使用による繰返し加熱冷却のさいの熱応力によることが明らかにされた。またクレージングは鑄型の冷却中に内面に発生する引張応力のために微細なクラックが生じて、これが使用によつておしひろげられたものであることが明らかにされた。したがつて鑄型廃却の主体である割れおよびクレージングの発生を防止するためには、まず鑄型各部の

温度差を少なくするような設計が必要となり、この線にそつて鑄型各部の使用中の温度変化を測定した結果が設計に応用された。割れおよびクレージング防止方法のために設計に関しては次の諸点に注意がはらわれた：——

- (1) 鑄型各部が均一な温度分布に近づくような肉厚配分を行なう。
- (2) 熱応力の集中する部分をなくする。
- (3) コルゲートはなるべくゆるやかにする。
- (4) 扁平鑄型の長辺部によくあらわれる横割れは補強バンドの肉厚・形状などで防止して行く。

初期割れ防止のために行なわれた設計変更と寿命延長のためにとられた設計変更とは若干の相違点があるが、これは鑄型材質が安定化したために生じた必然的な所産であつた。鑄型肉厚配分が使用条件を考慮して決定された以外に、さらに積極的に肉厚を総体的に薄くして原単位の低下がはかられた。しかしながらこれとは逆に総体的に肉厚を厚くする研究も行われ原単位の低下を見た。この間の事情は各工場によつて使用条件に不可避免的な相違があることによつて説明された。

鑄型の高さは鑄込鋼種によつて決定されることもあるが、原単位の面から必要最低限に低くすることも有効であり、とくにリムド鋼大型鑄型では鋼質との関連のもとにこの試みが成功した。また鑄型形状と鋼塊性状の関係を調査して、新設計への応用も行なわれた。

### 1.3.3 材質に関する研究

戦後鑄型材質が不良であつたことの主因は優良な鑄物用銑の不足とコークス品位の低下であつた。鑄物用銑のC量が低くかつ低品位コークス（灰分20～30%）を使用してキューボラ溶解を行えば当然のことながら、製品のC量は低くまた出湯温度はいちじるしく低くなり、いしゆく（萎縮）したグラファイトをもつたちみつ（緻密）なパーライト地の組織を呈した。このような材質のものは衝撃的な熱応力に対する抵抗性がないために初期割れが多発した。したがつて炭素当量を上げるためにSi量を2%以上にすることも行なわれたが、依然として低使用回数であつた。初期割れを防止するためにはのびのびとしたグラファイトを有し、フェライトを含んだパーライト地であることが理想とされ、また弾性率の低い、伸びの良い、換言すればレジリエンスの大きな材質が良いとされた。

良質な原料銑鉄を使用して鑄型材質を向上することがさかんに行なわれ、特に国内高炉銑が質量ともに不足勝ちな時期には良質銑の確保に苦心が重ねられた。木炭銑の配合は鑄型材質を向上することが実験室的に証明され、実際に各種の鑄型に配合され、大中型鑄型で効果が

あることが試験された。また国内銑の不良な時期に輸入銑を使用して初期割れを減少した例もあつた。原料事情が安定化するにつれて、再生銑や電気銑の良質なものを配合する試験が行なわれ、これらの銑鉄も良質なものであれば使用に差支えないことが判明した。

初期割れの多発した時期の鑄型の化学成分の特徴はC量が低く、3%前後のものもあつた。その後原料事情の好転とともに鑄型のC量は3.5%以上となり、一応安定した鑄型成績が得られるようになった。この間各種の鑄型について化学成分と寿命との関係が研究されTC=3.7%前後、Si=1.5%前後、Mn=0.6%前後、 $P < 0.3\%$ 、 $S < 0.1\%$ のものが平均して鑄型寿命に良好であることが明らかにされた。

鑄型のグラファイト形状と鑄型寿命を比較した結果、一部のものには相関があり、一部のものには相関がないことが報告された。また鑄型本体につけた「いぼ」状試片の破面の粗密とTCおよびSiとの関係、および破面状態と寿命との関係が報告され、ちみつな均一組織のものにはTC+Siが低い側でえられ、鑄型寿命が最もすぐれていることが確かめられた。

鑄型の焼鈍は初期割れ防止あるいは割れによる鑄型廃却が多い工場では有効であつたが、軟質の鑄型にはかえつて不利な影響があらわれた。

ダクタイル鑄型およびTiO<sub>2</sub>溶滓処理による鑄鉄(共晶黒鉛鑄鉄)型の試作が行なわれ、とくにダクタイル鑄鉄は非常に良好な成績を示し、またダクタイル鑄鉄鑄型は

肉厚を薄くしても成績が低下しなかつた。

#### 1.3.4 使用方法に関する研究

鑄型使用方法に関しては比較的後半にその大半のデータが提出され、鑄型材質の安定化に伴つて、原単位低下の目標が使用方法の改善に向けられたことがうかがえる。使用方法の研究においては個々の鑄型寿命を調査し、要因別に寿命を比較する方法が最も普遍的なものとなされた。

鑄型の予熱に関しては、冷えきつた鑄型を使用しないように50~60°Cに予熱する方法が通常実施されてきた。初期割れ防止に対して、外壁部の温度を高くし、また予熱温度を高くして使用時の温度変化をゆるやかにすれば良いとの意見も提示された。

鑄型の型抜きは早いほど良く、型抜後の冷却は自然通風によつてすみやかに行うことが推奨された。水押造塊法はその率が多いほど鑄型寿命を低下し、また水中に浸漬して冷却した鑄型は自然冷却鑄型の約60%の寿命であつた。自然冷却において冷却台の使用、あるいは替型による鑄型の輪番使用は鑄型寿命に好結果を与えた。

鑄型の使用頻度(サイクル)と寿命との関係は使用頻度のいちじるしく高いものはきわめて成績が不良であつて、大形鑄型では1回/日程度がよく、また扁平中・小形鑄型では1.0~1.5回/日がよいことが報告された。

鑄型の型据え方法として、面と面で接したものを角隅と角隅で接するようにすることにより寿命を延長しえたことが報告された。