

当社の熱処理技術の変遷

瀬戸 浩蔵*

1. はじめに

当社の熱処理設備について、創業から今日に至るまでの軌跡を先に概括した¹⁾。続いて、その技術の変遷を記録に残したいと思う。

当社の熱処理技術は、連続熱処理炉の相次ぐ建設とその大型化とともに歩んでおり、その変遷はわが国の連続炉の歴史と言っても過言でない。

昭和8年(1933)の創業当初20数基の多くを数えていたバッチ炉は、昭和30年代に入ってその大半が連続炉に置き代わった。最初の連続炉は昭和34年(1959)に西独から導入した月産能力700トンの連続焼準焼鈍炉である。その後は連続炉の国産化を進め、焼準と焼鈍を分離した専用炉にするとともに次第に大型化して行った。最大の連続炉は昭和46年(1971)に建設した月産能力10,000トン(その後15,000トンに改造)の焼なまし炉である。

軸受鋼を主製品とする当社は、要熱処理量が多く一時期18基もの各種連続炉を保有していた。その後は大容量炉に代替して10基を残すのみとなったが、今もなお業界最大の基数と処理量を誇っている。

この間、例えば軸受鋼の球状化熱処理技術は、バッチ炉での焼ならしと焼なましに80時間近くまで要していたのに対して、昨今の連続炉では10時間余の焼なまし処理だけで良好な組織が得られるまでに進歩した。

2. バッチ炉のころ

最初のバッチ炉が何時頃設置されたかは明らかでない。しかし、昭和8年(1933)に創業した当社は昭和10年には既に軸受鋼の生産を始めており、また、昭和14年に28基の熱処理炉を建設する計画が記録されているので²⁾、創業の早い時期からかなりの数が稼働していたものと思われる。これらバッチ炉も今では特殊熱処理用に2基を残すのみとなった。

2・1 石炭焚きのバッチ炉

当初のバッチ炉は、台車式のマッフル炉であり、石炭を燃料としていた。

バッチ炉では、まず数トンの鋼材をマンボを挟みながら約2mの高さまで台車上に積み上げ滑車を介して起重機で炉に引き入れていた。鋼材の径と長さに応じて熱風が通る隙間の確保と曲りを少なくするのに必要なマンボの配置が大切であり、また長時間の熱処理による台車の歪みのためワイヤーがしばしば断線するなど、バッチ炉作業は困難を極めた。

石炭の投入は、スコップによる手作業であった。炉頂に挿入した数本のアルメル・クロメル線だけを頼りに、ほぼ常温から昇温を始めて作業者の火かげん次第の温度調節であったが、それでも鋼材の温度ばらつきは約20℃の範囲に収まり、一サイクルの熱処理を30時間程で終えたと言う。まさに職人芸であったろう。

石炭を燃料とする時代が永く続いたが、昭和27年頃からようやく重油への切り換えが始まった³⁾。しばらくの間は両方が混在していたが、すべての炉が重油炉に改造を終え温度に連動してバーナーの開度が自動化するようになったのは昭和30年代半ば以降のことである。

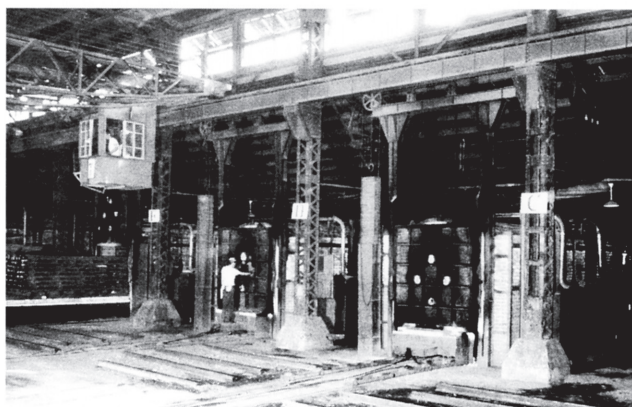


図1 昭和30年頃のバッチ炉

2・2 バッチ炉での熱処理

バッチ炉での焼ならし作業は、台車ごと引き出してきた熱鋼材を起重機で一段づつ地面に敷いたレール上に移し、掻き棒で素早く払けながら扇風機で冷却していた。作業が永びくので冷却の始まる温度が次第に下がり、また地面に近い上一方向からの送風では冷却速度にばらつきが生ずる

* 山陽特殊製鋼(株)顧問

など、バッチ炉操業の中で最も困難な熱処理であり、また苛酷な熱作業でもあった。

バッチ炉での球状化焼なまし作業は、オーステナイト化温度に昇温して保持を終えた後、一旦石炭の火を落として冷却を待ち、変態温度まで下がると若干の追い焚きをしてから再び火を落として十分な炉冷をしていた。この場合、いたずらに長時間に及ぶのを避けるために最初の冷却では炉に隙間を開け、逆に最後の炉冷では密封するなど様々な工夫を凝らしていたが、温度のばらつきを少なくすると変態の進行を見極めるのが難しく、熱電対と首つ引きの大変な作業であった。

バッチ炉での無酸化熱処理は、「ボックス焼鈍」と呼ぶ方法によっていた。文字通り鋼板製の蓋付きのボックスに木炭粒と少量の石灰粉を鋼材を覆うように入れ、熱電対を挿入してあらゆる隙間をモルタルで詰めてから台車に乗せ焼なましを行う方式である。紡糸機のスピンドル用材など特に脱炭を嫌う軸受鋼径棒鋼に適用していたが、昇温と冷却に長時間を要する上にボックス内の温度調節が難しく時には過剰に復炭したり熱歪みのために気密が漏れて脱炭するなど、均一な組織が得られず品質保証の難しい厄介な熱処理であった。

当時の軸受鋼は、その大半が球状化組織の指定であって焼ならしと焼なまし処理を施していた。手作業と勘だけに頼ったバッチ炉では、前後の準備時間も入れるとその処理は一サイクル実に80時間近くに及んだと言う⁴⁾。それでも炉内の高温域ではパーライトが発生し、低温域ではソルバイトが残留するなど、一バッチの鋼材を均一な組織にするのは至難の技であった。品質規格で重視された圧壊値には顕微鏡組織が最も影響するとされていたので、現場のなかでもバッチ炉工場は当時の花形職場であり腕に覚えのある職人の集団でもあった。

バッチ炉での熱処理は、昭和30年代前半で終わりを告げやがて連続炉の相次ぐ導入によって、当社の熱処理技術は変貌の時を迎える。20数基を数えたバッチ炉であるが今も残る5基は休止の状態にあり、平成4年（1992）に新たに設置した2基の大容量炉（中外炉工業製、積載量24トン）だけが稼働を続けている。

3. 連続熱処理炉

3・1 最初の連続炉（焼準焼鈍炉）

最初の連続炉は昭和34年（1959）独シュミット社から導入した連続焼準焼鈍炉（TA炉・社内呼称、以下同じ）である。新設した2,000トン押出プレスによる軸受鋼管の熱処理を目的に設置した。バッチ炉では積層による鋼管の熱変形が避けられないので連続炉の導入に踏み切ったが、連続して焼ならしと焼なまし処理を行うわが国で初めての本格的な連続熱処理炉であった。

この連続炉は、図3に示した10ゾーンからなるローラーハース型で、炉長約40mの小じんまりとしたものである。この炉では第4ゾーンの焼ならしの冷却帯が最も重要で、炉壁内周に張り巡らしたパイプに冷風を吹き込み間接的に冷却していた。鋼管径にもよるが冷却効果を得るためには一段しか積載できず、月産能力700トンにも満たないものであった。

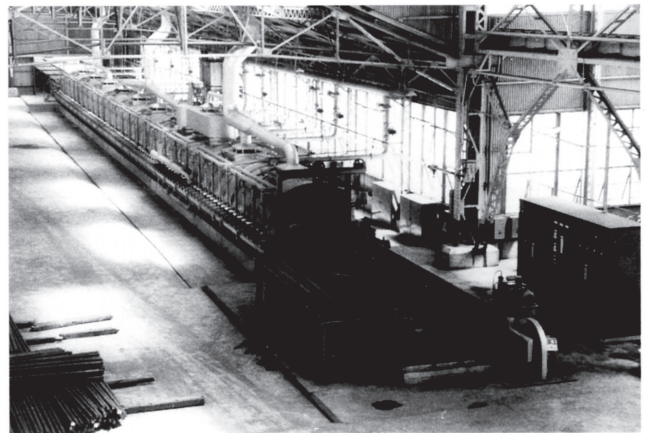


図2 最初の連続焼準焼鈍炉

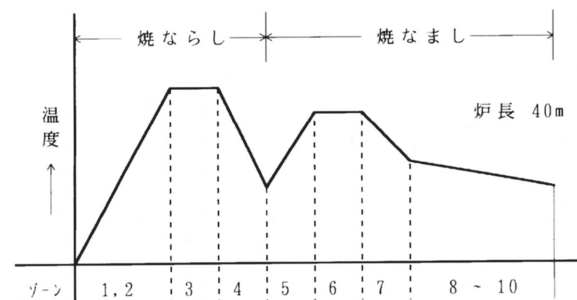


図3 連続焼準焼鈍炉の概念図

導入にあたっては、鋼管がゾーンを通過して行くにつれ長さ方向の温度が局部的に異なることになるので、微妙な固溶・析出と拡散を繰り返す球状化処理が果たして上手くできるのか危惧された。しかし、ゾーンごとの温度設定と積載量ならびにローラー速度についての実験を重ねた結果、バッチ炉では到底望み得ない予想以上に均一微細な組織を得ることができた。軸受鋼の球状化焼なましが最も数多く研究されたのはこの頃であり、当社の熱処理技術の礎ができたのもこの頃である⁵⁾。

バッチ炉ではほぼ三昼夜を要していた軸受鋼の焼ならしと焼なまし処理が、連続炉の稼働によって一挙に20数時間で済むようになった⁶⁾。しかし、主として焼ならしの冷却に律速されて生産性の向上が期待できず、やがて焼ならしと焼なましを分離した専用の連続炉が建設されるようになり次第に大型化して行った。

3・2 連続焼ならし炉と最初の制御圧延

最初の連続焼ならし炉は昭和35年（1960）にバッチ炉工場の東端に設置したN炉である。この炉は被処理鋼材の長さが4.2mの小型炉であり、翌36年には5mが処理可能な月産能力2,100トンに及ぶSN炉を相次いで設置した。いずれも中外炉工業製のウォーキングビーム型である。

二基の炉で、軸受鋼と肌焼鋼の焼ならし処理をしていたが、当時両炉がフル稼働してもなお能力が不足する状態にあった。このため処理時間の短縮と、さらにはその省略がこの頃盛んに研究されている。

まず軸受鋼の鋼管は、冷却床で管内面に送風して冷却を速め網状炭化物の発達を防いだ結果、全サイズ焼ならしを省略することができた。続いて条鋼は、昭和37年（1962）に新設した中・小形連続圧延機（現第一棒線）の冷却床が従前の圧延機に比べて著しく高い冷却効果を示したので、それまで径25mm以上を焼ならし対象にしていたのを径45mm以上に変更することができた。一方、網状炭化物は昇温の途中から固溶・分断することを見出した結果、送り速度を速め保持時間を取らない操業に変更して処理能力の向上を果たした。

次に、肌焼鋼の焼ならしは今日で言う制御圧延によってその一部を省略した。当時の歯車はCr-Mo肌焼鋼から削り出すのが一般的であったが、大型歯車用の比較的炭素量の高い鋼では焼ならしによりベイナイトが発生して被削性を阻害することがあった。高温からの冷却ではある程度避け得ないので、発想を転換して加工温度を下げることを試みてみた。実際には仕上ロール前で待機して温度低下を待ち種々の温度で圧延してみたところ、予期した以上に整粒のフェライト・パーライト組織が得られて焼ならしを一挙に省略することができた。今日では常識となった制御圧延を30数年前に先駆けて実用化したものであり、当時としては画期的な研究成果であった。⊕材と呼んだこの鋼材は、圧延の生産性は阻害するものの焼ならしが省略できた上、自動車メーカーから被削性について高い評価を受け当時の拡販に大いに寄与したものである。

一方、昭和40年頃からユーザー側でも素形材加工と切削技術の研究開発が盛んになった。軸受鋼は棒鋼と鋼管からリングを削り出していたのから次第に鍛造に代わり、また肌焼鋼も圧延組織のまま切削あるいは冷間鍛造するようになってきた。かくして、焼ならし処理を必要とする鋼材が次第に減少し、今日では連続焼ならし炉はN炉を撤去してSN炉だけが間欠操業しているに過ぎない。

なお、一時期N炉に水槽を置いて焼入炉に転用していたことがあるが、均一な冷却が難しくて永續しなかった。現在は特殊な鋼の熱処理用としてSN炉の方に簡便な水槽を付設している。

3・3 連続焼なまし炉とその進歩

最初の連続焼なまし炉は昭和35年（1960）に設置した2

基の炉（MA、MB炉）である。既に前年に稼働していた連続焼準焼鈍炉（TA炉）の焼準と焼鈍を分離専門化して、前項の焼ならし炉（N炉）に併せて新設の大形圧延工場に焼なまし炉を設置した。

MA、MB炉はいずれもローラーハースタイプで月産能力1,500トンほどの小型炉であるが、TA炉で蓄積した熱処理技術を基礎に中外炉工業(株)と協議を重ねて設計したわが国初の本格的な連続焼なまし炉である。この経験をもとに、それ以降当社は中外炉工業と密接な連携を保ちつつ、順次増設するとともにその大容量化を進め、また熱処理目的によって炉の設計に特徴を加えて行った。

まず、大形圧延工場では昭和35年（1960）に設置したMA、MB炉にTA炉から焼ならしを必要としない鋼材と、バッチ炉から押出用管材の焼なましを移管した。その後は増産に合わせて昭和37年にMC炉を、さらに昭和39年にはMD炉を相次いで増設して一時期計4基の連続焼なまし炉が並ぶ熱処理の主力工場となった。MD炉は管材の軟化だけを目的にしたので、炉幅2.1m炉長63mほどの比較的小型であるが2,200kg/mの積載が可能なローラー強度とスピードを持つ堅固な設計であって、月産能力5,000トンにも及ぶ当時では最も大きい連続炉であった。昭和40年代に入ってMA、MB、MC炉は順次姿を消し、その後冷延鋼管の歪取用に改造されたMD炉のみが月産能力7,000トンの炉として今も稼働を続けている。

中小形圧延工場（現第一棒線）では、昭和37年（1962）中小形圧延機が新設されたのに伴い、翌38年に2基の連続焼なまし炉（SA、SB）を設置している。いずれも月産の能力は2,500トンであるが、MA炉からMC炉に至る経験を基にしてスケールアップした新鋭の中型連続炉であった。棒鋼を大量に処理していたこれらの炉も、昭和50年代後半から60年代に順次大容量の炉に吸収されて姿を消した。

次に、押出鋼管工場では昭和34年（1959）に建設した2,000トンプレスに合わせ最初にTA炉を設置していたが、昭和37年に1,250トンプレスを増設したのに伴って翌38年にTB炉が、少し遅れて昭和43年にTC炉がここに加わった。TB炉は同時期に設置したSA、SB炉と同タイプの月産能力3,000トンの焼なまし炉であり軸受鋼管の球状化を専用とした。TC炉は、当時の引抜（プッシング）鋼管の歪取用に設置した低温焼なまし炉で、炉幅2.45m、炉長16mの簡潔な炉である。その後TA、TB炉は昭和50年代初めに撤去されTC炉も現在地に移設したので、押出工場からすべての炉が姿を消した。TC炉は、月産能力が2,700トンの合金鋼低温焼なまし炉として今も稼働を続けている。

熱延鋼管工場では昭和45年（1970）のアッセルミルの稼働に先立つ昭和44年に2基の焼なまし炉（AA、AB炉）が設置された。11ゾーンで構成され（図4）、炉幅2.45m、炉長64m、積載量1,400kg/m、月産能力2,500トンの炉である。この炉は、昭和34年のTA炉に初まり35年のMA炉からさら

に38年のSA炉に至るまでの間に蓄積した熱処理技術をもとに設計した、言わば完成した中型連続炉であり今後も稼働を続けている。

ここまでは、すべての連続炉を熱間加工工場に付設してそれぞれの工場内で熱処理と精整から検査まで終えるよう配置してきたが、増産に対応するとともに合理化をはかるため昭和46年（1971）に初めて熱処理専用の工場を新設した。ここにまずEA炉を、続いて昭和49年にEB炉を設置したが、いずれも図5に示した23ゾーンからなる炉幅3m、炉長134m、積載量2,000kg/m、月産能力10,000トンに及ぶ世界最大の連続焼なまし炉である。例を見ない大容量炉はそれまで培ってきた当社の熱処理技術を集大成したものであり、またそれに応えた中外炉工業の設計技術の成果でもあった。昭和34年以降に延10基を数えた連続焼なまし炉はこれら大容量炉の稼働によって4基に集約された。その後EA、EB炉は予熱帯を追加改造して月産能力15,000トン炉となり今日に至っている。

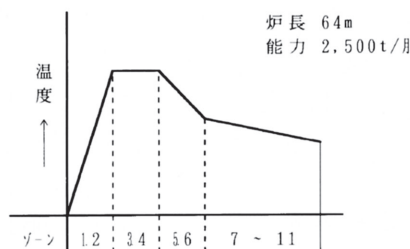


図4 AA, AB炉の概念図

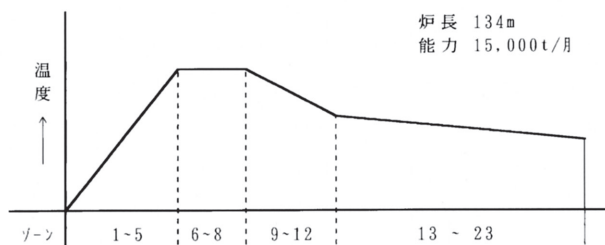


図5 EA, EB炉の概念図

連続焼なまし炉の熱処理技術は、昭和30年代の内に設定温度の研究を終えており、昭和40年代には炉の大容量化に伴う処理時間と積載量に関する技術開発が盛んに行われている。軸受鋼の球状化处理時間に例を取ると、昭和34年のTA炉稼働当初は20数時間を要したのから、まず焼ならしの省略により20時間ほどに、技術開発が進んで30年代後半のMA炉、SA炉などでは20時間を切り、さらに40年代後半にはAA炉あるいは大容量のEA炉などでも10時間余にまで短縮している。処理時間の半減と大容量化による生産性の向上は誠に目覚ましい。

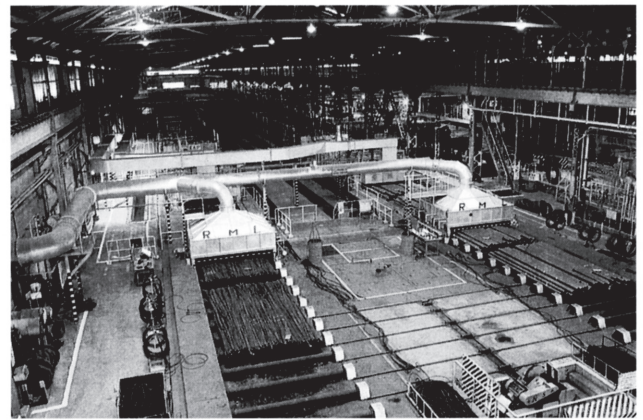


図6 世界最大の連続焼なまし炉 (EA, EB炉)

4. その他の熱処理炉

バッチ炉のボックス焼鈍から始まった無酸化熱処理は、軸受鋼線材の生産開始とともに専用炉の設置へと進んだ。最初の無酸化炉は、昭和39年（1964）に伸線工場に設置したCA炉であるが、その後は熱処理目的に応じて種々のタイプの無酸化炉を設置している。

昭和37年から生産を始めた軸受鋼線材は、当初は中小形圧延工場に既設のSA炉で焼なましを行い、脱炭層除去のため線材ピーリングをしていた。昭和39年合理化を目的に、ピーリングは鋼片で行い線材は無酸化処理に変えることとしてCA炉（中外炉工業製トレップシュー型）を設置したのである。その後は無酸化炉に対する当社の展開は鈍く、昭和61年（1986）ようやく二基目のCC炉（中外炉工業製ローラーハース型）を増設した。いずれの炉もRXガスと窒素を雰囲気とした連続焼なまし炉であるが、CC炉は特に省エネを考慮したコの字型として軟化焼なましもできる多目的炉とした。CA炉は炉長が約20mの小型炉なので、炉長が50mにも及ぶCC炉の稼働に伴い軟化焼なまし専用に移用されて今日に至っている。現在建設中のCE炉は炉長73mの大型炉であるのと、最近の研究成果を反映した今までの炉に無い新しい設計基準としているのでその成果が待たれるところである。

続いて、平成3年（1991）にME炉を大形圧延工場に設置した。精密圧延の普遍化に伴い棒鋼用の無酸化炉を必要としたからである。中外炉工業製のローラーハース型で炉長19mほどの中規模炉であるが、設計に際して多目的活用が可能なことを目指した。

溯って、昭和58年（1983）BA炉を押し出鋼管工場に設置している。電気を熱源とする炉長が4.5mのサンファーン社製マッフル炉である。チタン管などの光輝焼鈍を目的としたが、水素雰囲気のため取扱いが難しく小型炉でもあるので主として研究用に供されて来た。

バッチ炉から始まった鋼塊のソーキング処理は、次第に専用炉を設置するようになった。昭和40年代前半には第三

ソーキング工場まで建設されて計8基の台車式バッチ炉が並んでいたが、連鑄の開始に伴い昭和57年（1982）には鑄片のソーキング処理を行う連続炉の設置に至った。この連続ソーキング炉は、拡散処理を行う炉長34mの均熱炉と圧延温度に保つ炉長8mの調整炉の2基で構成されており、能力110t/hの中外炉工業製ウォーキングハース型である。8基を数えた台車式バッチ炉も、今では昭和44年（1969）に建設した第三工場の3基を残すにすぎず、それも主として軟化焼なまし用に供されている。

溶体化処理炉は、鋼管と条鋼用に昭和39年（1964）に押出鋼管工場に設置した炉長が20mのパレル炉が最初であり、続いて線材用に昭和57年（1982）伸線工場に2基5室からなるバッチ炉（CB炉）を設置した。いずれも中外炉工業製であり、さらに現在CB炉と同種の2基2室からなるCD炉の増設を進めている。

5. あとがき

当社の熱処理技術の変遷を辿ってきたが、熱処理技術の変遷は熱処理炉の変遷でもあった。当社の熱処理炉はその

大半が中外炉工業製であるが、当社が過去に蓄積してきた熱処理技術とその時折のニーズが新しい炉の設計を生み、両社が相携えて今日まで歩んで来た。

今では、熱処理技術のすべてが設定温度と時間ならびに積載量に標準化され、操業もコンピューター化されているので技術の主体は設備の保守点検に移っている。しかし、根幹をなす基本技術を忘れてはならない。

熱処理については記録が乏しく、大半を記憶に頼ったが大筋は記述し得たと思う。参考までに先報で一覧表にした熱処理設備の軌跡を再録して置く⁷⁾。

文 献

- 1) 瀬戸浩蔵：山陽特殊製鋼技報, 3 (1996) ,124.
- 2) 山陽特殊製鋼30年史：(1964) ,66.
- 3) 山陽特殊製鋼30年史：(1964) ,244.
- 4) 山陽特殊製鋼30年史：(1964) ,337.
- 5) 例えば瀬戸浩蔵：山陽特殊製鋼技報, (1996) ,64.
- 6) 山陽特殊製鋼30年史：(1964) ,337.
- 7) 瀬戸浩蔵：山陽特殊製鋼技報, 3 (1996) ,127.

表1 連続熱処理炉の軌跡

年次	19'	95	90	85	80	75	70	65	60	55	50														
	平成・昭和	7	5	3	1	62	60	58	56	54	52	50	48	46	44	42	40	38	36	34	32	30	28	26	
標準・焼鈍炉	TA																								
焼鈍炉	TB																								
"	TC																								
"	MA, MB																								
"	MC																								
"	MD																								
無酸化焼鈍炉	ME																								
焼鈍炉	SA, SB																								
標準炉	SN																								
"	N																								
焼鈍炉	AA, AB																								
"	EA, EB																								
線材焼鈍炉	CA, CC																								
溶体化炉	CB, パレル																								
光輝焼鈍炉	BA																								