

発達し、進出してきたことであり、Table 3 で見られる様に、特に電気抵抗溶接鋼管の進出は著しいものがある。また継目無鋼管製造設備において、小鋼塊からの製造方法が、次第に姿を消したことで、接合鋼管製造設備において、連続式鍛接鋼管製造設備が稼働するに至った事も、大きな変化の一つと思われる。これら圧延設備の進歩と共に、仕上加工設備においてもまた、加工能率の上

昇、精度の高度化がなされ、特に冷率加工法においては全く一新されてきたといえることができる。

#### 文 献

- 1) 鉄鋼調査時報：昭和 25～29 年
- 2) 鉄鋼生産設備能力調：日本鉄鋼連盟，昭和 28 年度版

## 本邦鉄鋼鍛造技術の進歩

小林 佐三郎\*

### DEVELOPMENT OF STEEL FORGING PROCESS IN JAPAN

Sasaburo Kobayashi

#### Synopsis:

The steel forging industry in Japan, which had suffered a tragic outcome due to downfall of heavy industries after the Great War-I, gradually has been recovering with rehabilitation of industries. Nevertheless, from the perspective of quantity, the 1953 figure still lies at the stage of 38% of the 1940 statistics. In the field of techniques, however, rationalization of the equipment has proceeded and attained to an international level in many points owing to introduction of the heat control, the metallurgical control and the statistical quality control. The present paper described the progress in the modern forging technique with reference to heavy rotorshafts for generators, steam-turbine rotorshafts and others. The heat treatment after forging of these forged products has made so much progress and, by utilization of the S-curves, forgings have been less liable to suffer from occurrence of flakes. Also, the inspection of internal defects in these forged products by use of supersonic waves has been applied in practice, especially to the generator-rotorshafts.

#### I. ま え が き

第二次世界大戦後の我国重工業の立直りは施設の復旧、平時産業への切替え、占領政策による制限、石炭並びに電力事情の逼迫等、諸事象の影響によつて容易ではなかつたが、就中、他産業の需要に応じて消長する鍛鋼業の沈滞の状況は、真に深刻であつた。

戦時中、急速に増強を見た中小企業の所謂鍛工品工業は、需要の激減と市中在庫材の過剰から、生存競争の犠牲となるものが多く、大企業の大型鍛造施設も辛うじて操業を続ける有様であつた。

やがて昭和 25 年頃から、鉄鋼業および造船業の著しい復興に次いで、電源開発に伴う電機業と、化学工業、自動車工業等が伸長するに従い、鍛鋼品の需要も漸増を来し、昭和 28 年度には、約 110,200t を生産しやや好況を呈したが、これとても昭和 15 年度の 33%、終戦時の

61%に過ぎぬ状態であつた。

斯様に戦後の鍛造工業は決して好況とは言えなかつたが、反面技術上、作業上の仕事は多事であつたのであつて、また勘からず進歩もしたのである。即ち民需品への転換、或いは新製品の開拓に際しては、著しく進歩していた外国の水準に到達するために、製造法の研究と品質の改善に努力し、また経済性を確保するために設備の合理化、熱管理、冶金管理、品質管理等を行いつたのである。

以下に、水圧プレスによる大型鋼材の鍛造に関して、これ等の事情を述べようと思う。

#### II. 加 熱 法

鋼材の加熱温度は、加工温度範囲を広くするために、

\* 株式会社日本製鋼所常務取締役工博

Table 1. Production of forgings in Japan. unit: metric ton

Fiscal year	1926	1930	1935	1940	1944	1945	1946	1947
Specification								
Plain steel	24,353 t	26,895	72,030	171,936	188,026	68,013	19,247	22,564
Special steel	—	—	—	124,982	315,445	116,244	7,473	8,353
Total	24,253	26,895	72,030	296,918	503,471	184,257	26,720	30,917

Fiscal year	1948	1949	1950	1951	1942	1953	1954 (the first-half)
Specification							
Plain steel	34,665	48,660	60,330	72,985	61,202	80,255	35,955
Special steel	11,510	13,353	15,990	20,119	25,134	31,974	14,423
Total	46,175	62,013	76,320	93,104	86,336	112,229	50,378

鋼材の劣化、或いは廃却にまでおよぶ過熱または燃焼を生じない限りの最高温度が選ばれる。R.M. Keeney等は、この温度は各種鋼材の固相線下 80°C が適当であるとしている。しかし温度が高過ぎると、燃料の焚焼方式等の実際面から過熱、燃焼の危険が充分ある。鉄鋼協会では、同会編纂の「鋼の熱処理と作業標準」の中で、加熱温度につき論じ、大鋼塊を使用し、比較的仕上代を多く附して、表面の不良部分の除去を多く見込み得るものに対しては、一般に Keeney の最高加熱温度を採用するが、仕上代が僅少なことを要する小物に対しては、各鋼種別に適当な温度を定むべきであるとしてその標準を示している。

鍛造用鋼塊の加熱時間に関しては、戦時中、鋼塊が、熱応力等によつて亀裂破壊を起さぬ安全な限度で、加熱時間を短縮する事を主眼として、加熱時間の標準化が企図された事があつた。筆者等は、その理論的根拠として G. Stanfield の算式を採用し、これに若干の現場的修正を施して標準加熱時間を定めた。

$$\frac{d^2}{169} + \frac{d}{8} + \frac{d^2}{285} = D \text{ (時間)}$$

d: 鋼塊の直径 (吋)

- 第1項 常温より 550°C までの加熱時間
- 第2項 550°C より 1200°C までの加熱時間
- 第3項 1200°C に保持する時間

鉄鋼協会の特殊鋼標準熱処理研究会では、加熱時間に関する各説を吟味し、本式より導いた時間も標準として信頼しうるものとした。

戦後、鋼材の加熱法に関し特記すべき事柄は、昭和24年来日した米国技師 F. N. Hays 氏等によつて熱管理の重要性が強調され、その指導を受けて操炉法の改善、設備の改良、更新が行われたことである。

昭和24年には、熱経済技術部会が設置され、熱管理誠査団を組織して、各会社の熱管理上の診断と指導を行

う等、全国に亘つて熱経済への関心と活動が高まつたのである。

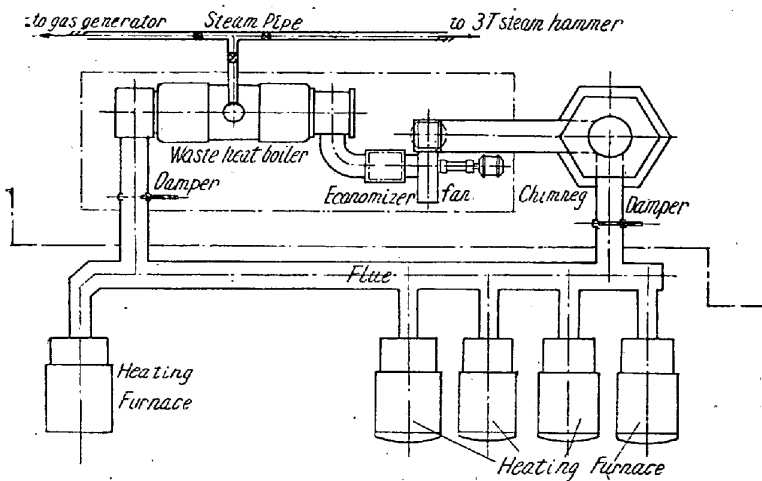
Hays 氏の主張する平炉における push-pull の原則による所謂正圧操炉法は、鍛造用加熱炉にも当然適用される所であつて、例を発生炉ガス焚焼の大型バッチ加熱炉に採れば、自然通風を改めて送風機による強制送風とし、煙道ダンパーの制御を厳にし、炉内雰囲気正圧として外気の侵入を防ぎ、またガスと空気を混合噴出する様に開口を改めて完全燃焼を図る等、燃焼方法の改善が行われた。一方熱効率の向上を図るために、加熱炉の熱損失の検討が行われ、断熱煉瓦を以て炉体の放熱を防ぎ、或いは排ガスを利用して、余熱ボイラーを稼働すること等が行われた。Fig. 1 はこれ等一連の焼管理対策を取入れた加熱設備の一例を示す。

加熱炉の計測器による操業、或いは自動制御は、主として均熱炉、連続加熱炉等において行われているが、大型鍛造用加熱炉についても漸次発達しつつある。Fig. 2 の例では、炉内天井温度、ガスおよび空気蓄熱室温度、煙道温度の計測器と送風圧、炉内圧、排ガス圧の測定器および炉内炭酸ガス率の測定器を備えて、実績の記録から作業標準をたてて操業する。

熱経済と関連し、高炭価の影響から、燃料として重油が石炭に代つて使用されるに至つた事は著しい傾向と言える。また、比較的小物鍛造用加熱炉では、炉体構造および加熱形式の特殊なものとして、回転式加熱炉 (Rotary furnace) が我国にも流布されるに至つたが、熱効率は優秀で、多量生産加熱炉として期待されるものである。

### III. 鍛造用鋼塊

鍛造用鋼塊は、酸性または塩基性の平炉、弧光式電気炉および高周波電気炉製の鋼によつて作られるが、何れも充分に脱酸した優良なものでなければならぬ。重要用途の大型鋼塊は、炉の容量の関係と品質の信頼性の点

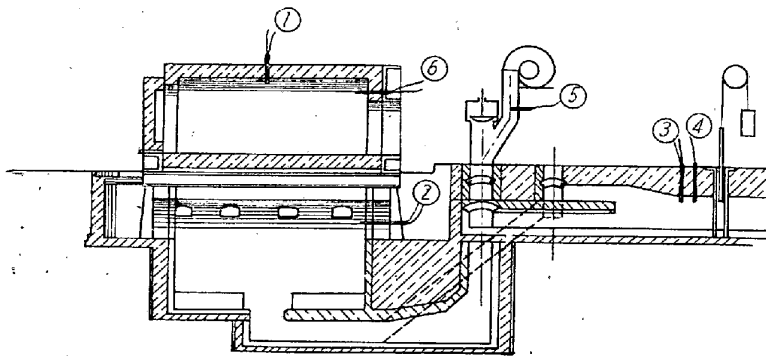


Steam boiler	type	Stationary, horizontal
	capacity	fire-tube
	Max-press.	1.5~2 t/hr
	Waste gas temp.	8.5kg/cm <sup>2</sup>
		inlet 250~300°C
		outlet 180~200°C

Heating furnace:

Composition of waste gas	CO <sub>2</sub> 16.5% O <sub>2</sub> 1%
Thermal efficiency	18.5%

Fig. 1 Layout of heating furnaces and a waste heat boiler.



- 1. Pyrometer for furnace
- 2. Pyrometer for heat chamber
- 3. Pyrometer for flue
- 4. Draftmeter for flue
- 5. Air flowmeter
- 6. CO<sub>2</sub> meter

Fig. 2 Arrangement of measuring instruments for heating furnace.

から、酸性平炉鋼が賞用されるが、資源の少い我国で、低磷、低硫黄鉄等の制約のない安価な塩基性平炉鋼を用いる研究が戦前から行われてきた。しかし、塩基性平炉鋼は酸性平炉鋼に比して、酸素、水素の含有量多く、鋼塊内部の気泡性地疵が生じ易く、表面疵も多い事は事実であるので、重要品、特殊鋼製品に使用する事は、未だ警戒を要するところである。

鋼塊の表面疵、収縮孔(組織の粗鬆、所謂ザクを含め)偏折、気泡、白点、粒界亀裂、砂疵、非金属介在物等の

欠陥の内、製鋼上、鍛造上の困難なもの尤なるものは収縮孔及び砂疵である。収縮孔は大きな鍛造比を以て強力に鍛錬すれば、鍛着せられるものであるが、屢々改善し得ぬ程に重大な場合がある。

造塊技術の領域に属するが、収縮孔は、直径の大きい(高さとの比 1.5~2.0) 傾斜の強い、厚肉の下方に厚い鋳型を用いて、低い鋳込温度と鋳込速度で鋳込み、押湯保温を行う等により防止するが、この鋳込法は砂疵の防止法と矛盾するので、その兼ね合は造塊上の重点となる。

近時、超音波探傷法、或いはアイソトープによつて、鋼材の内部欠陥の判定が行われる様になつてから、遡つて鋼塊の欠陥の改善に関する研究が盛んになり、健全な鋼塊が得られつつある事は喜ばしいことである。

IV. 鍛造プレス及び附帯設備

鍛造用水圧プレスの数(容量 1000t以上)は、戦時中急激に膨脹して、80数台を数えていたが、戦後激減して、今日稼働しているのは約 30 台に過ぎない。

運轉動力上の型式は、増圧機を有する蒸気水圧式と空気蓄勢機を有する純水圧式のみ(殆んど同数)であつて、構造上、根本的に新規な点は認められない。

各型式の得失は屢々論ぜられる所であるが、戦後は、石炭、電力の事情から、地域的制約を受ける事が多かつた。日本製鋼所では、従来の蒸気水圧式を廃して、純水圧式 2000t プレスを 10000t プレス工場に移設し、長い水圧管を以て連結して後者の空気蓄勢機の全力を利用する事により、作業費の節減を図つて効果を挙げており、更に 1000t プレスも同様移設する予定である。

昭和 28 年、神戸製鋼所では、高砂工場に自由鍛造用 5000t 並びに 2000t プレスと、クランク軸鍛造用 5000t プレスを整備した事は、近來の特記すべき事柄と言える。

附帯設備として、材料操作機械は、専ら鍛造起重機(ターニングギヤを用う)が用いられているが、欧米では遙かに能率的な鍛造用マニプレーターが使用されつつある状況から、我国でも鍛造施設合理化の一環として

その採用が希望され、昭和29年初め、独乙から容量2.5tの鍛造用マニプレーターが輸入された。マニプレーターの利点は材料を堅固に把持し動作が確実迅速で、



Fig. 3. Gas cutting of sink-head of a 25t ingot.

かつ人力を要しない等であり、鍛造作業に専従し得るので生産量は3.5倍にも増大すると言われる。近く国産も可能であるから我国鍛造業の発達に貢献することであろう。

近時、酸素アセチレン瓦斯による余材の切断、試験片の切断、或いは鋼塊および鋼材の疵取りが盛んになり、ガス切断設備が鍛造工場に必要欠くべからざるものとなつた事は特記すべき

事である。Fig. 3は鋼塊の押湯切断作業の状況である。

## V. 鍛造法

鍛造の目的は、鋼塊を所要の形状に成形し粗大な鍛造組織を改善し、材力を向上させるにある事は言うまでもない。

内部組織を改善するには、金敷の巾を大きくし、接触面を広く、押込量を深くして、材料の内部まで変形を与える事である。粘土実験によれば金敷の巾は材料の直径の40%以上、押込量7%以上である事が有効であるといわれる。また材力を向上させる為には、適当な鍛造比を以て鍛造する事を要する。鍛造比と内部組織の変化および材力との関係は、従来多くの研究が行われており結論は略々一致している。即ち材力について言えば、鍛錬が進むと材力は縦、横方向共に向上するが、鍛造比が3より増加すると横方向の伸び、絞り、衝撃値が低下して行く、よつて、例えば発電機回転子軸、クランク軸等横方向の材力を要求するものに対しては適当な鍛造比(2.5~3.0)に止めておく必要がある。

大きな断面積を有する製品には、直径の大きな、一般にサイズの大きな鋼塊を用いる事になるが、鋼塊の大きさが増すと、偏折、不純物、割れ疵、収縮孔等の不健全さを増す不利がある。製品に対しては最も小さい鋼塊を用いて、据込と鍛伸とを組合せた鍛造を行えば、欠陥のない満足な材力を有する鋼材が得られる。しかし、鋼塊の内部の欠陥の或る種のもの(例えば収縮孔)は、据込によつて却つて横方向に拡大され、続く鍛伸によつても

鍛着されない懼れがあるので、鋼塊はこの種の欠陥のない健全なものである事が必要である。鍛伸による方式と据込と鍛伸の組合せによる方式とに対する見解は、国の内外を通じてまちまちであるが、製鋼法、造塊法にも関係する事なので、この選択は製造者の経験に応じて行われるべきものと思う。

扱て、鍛造の加工法を大別すると、実体鍛錬、中空鍛錬、盲目鍛錬、押出、型鍛造となる。実体鍛錬について言えば、炭素鋼は一般に鑄型中で常温まで冷却した鋼塊を、要すればチップング、スカーフィングで予め表面の手入を行つてから、適当に予熱した上、加熱炉で加熱する。大型の炭素鋼、高炭素鋼、特殊鋼は赤熱状態で鑄型から引抜き、その儘加熱炉に装入して加熱する。

プレスで鍛造する要領は、初め鋼塊全体を軽く圧下して表面近くの柱状晶を鍛錬して強靱にし、次に内部迄変形を与える様に強く圧下する。

鍛造温度が低過ぎると、鍛着性は悪くなり塑性は低下して鍛造割れを起す懼れがあるから、高温において鍛造する事は一般に有利である。また鍛錬仕上げ寸法近くで再加熱を行う事は加工歪を残さぬために有効である。鍛造中表面に発生した疵はスカーフィングにより熱間で除去しつつ作業を続ける。

鋼塊の両端部は鍛造中切捨てるが、切捨量は鋼塊の性状に応じて適当に選ぶべきで、一般に頂部側は全重量の25%(内本体5%)底部側は6%(内本体3%)程度である。筆者の経験によれば、Ni-Mo鋼で75t鋼塊の底部側は、砂疵が発生し易いため、本体を約10%切捨てる事とする例がある。

中空鍛錬は、鋼塊或いは荒延べ素材を一旦常温迄冷却した後、機械で両端を切断し中心に穿孔した上加熱して心金により鍛伸、または孔拡げをして成形する。然し現在では鋼塊をその儘加熱し、プレスで両端切断の上据込み、中空パンチで熱間穿孔する事が多い。大型鋼塊、特に特殊鋼を用いる場合は、熱経済と冷却による事故防止の上から有利である。

盲目鍛錬は、鋼塊の中心の粗悪部を取り除くために、冷却した鍛造荒地の中心に機械穿孔し、これを再び加熱して孔を鍛推する方法であつて、鋼中含有ガスの拡散、内部応力の緩和に役立つとされ、砲身材、回転子材の鍛造に利用されたが、現在では製造法が進歩して、本法は全く行われていない。

鍛造に関する基礎的研究は、塑性理論の応用に関するもの(主として圧延、押出、型鍛造)を除いては、戦後に発表されたものは少い。しかし製造者、使用者間の製

造法に関する研究会、懇談会は活発に行われ、製品の個々に関する鍛造法は盛んに研究されている。これに関しては主要品鍛造法の項で触れる事とする。

鍛鋼品に適用される諸規格、仕様の殆んどが、直接、間接に国際的検査協会（例えば船関係）外国技術協会、或いは外国会社の基準に関連している事は、戦後の特色であるが、進歩した海外の技術吸収の時期にあつては己心を得ぬ事であろう。

## VI. 主要製品鍛造法例

### 1. 発電機回転子軸

我国の発電施設は近時著しく拡充されてきたが、発電機の容量は益々増大し、性能は高くなつたので、回転子軸に対する材質的要求も高くなり、その製造法は困難さを増してきた。即ち戦前我国で最大とされた2極3600回転、30000kw級は、今日では66000kw級が標準となり、回転子軸の重量は増して、使用する鋼塊も75t 或いはそれ以上となつた。従つて鋼材の内部欠陥の出現する恐れが多くなる一方、超音波探傷法の採用によつて検査法も厳しくなり、嘗ては、回転子軸の両軸端と胴部両端についてのみ行われた材料試験が、管錐法により胴部数ヶ所、半径方向の肉厚中央部即ち鋼塊の粗悪部に相当する部分から採取した試片について行われる事になつたため、材力の要求は事実上、苛酷となつた。

回転子軸は、中心に穿孔し、胴部に溝を切るから内部欠陥が露出し易く、露出した疵は使用上最も忌避される。鋼塊の性状が健全である事が回転子軸製造上の最重要点である事は前記鋼塊および鍛造法の項で述べた通りである。鋼種は稀に炭素鋼が用いられるが、一般には Mo 或いは V を単味または同時に添加した Ni 鋼、Ni-Cr 鋼、稀に Cr 鋼が用いられる。鋼材の健全性を得る点よりすれば、製造上、Ni 鋼は Ni-Cr 鋼より困難でない経験を筆者等は持っている。鍛造は鋼塊を荒延べした後、一旦軸方向に約 50% に据込み、これを再び軸方向に鍛伸して荒形とし加熱を繰返して胴部並びに両軸を丁寧に成形して仕上げる。

超大型の鋼塊を使用して、頂部側および底部側の粗悪部を切除して、良質部のみを用いて据込みを行わずに鍛造する方法をなす場合があり、特に底部砂疵の回避には有効な方法であるが、超大型による全体の材質劣化を恐れて、一般に据込み、鍛伸の方式が行われる。嘗て行われた盲目鍛錬法は、今日ではその要を認めなくなつた。また極めて大型の回転子は、使用鋼塊が極めて大きくなり製造上困難が多いので、今日でも、胴と軸とを分

離して鍛造しこれを後で結合する。日本製鋼所では、胴部に 160t 軸部に 90t の鋼塊を使用し、組立重量 104t の回転子軸を製造した。

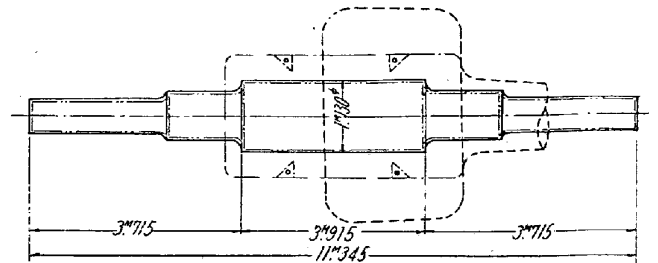


Fig. 4. An example of rotor shaft forging (original ingot 75t)

鍛造後の熱的取扱いは、等温焼鈍と焼入、焼戻の組合せの方式(後記第7項参照)により特に慎重に行われる。冷却後、外周を粗削して調質を行うが、調質において焼入は要求される機械的強度により、材質、形状に応じ油焼入、または焼準が行われる。近時、機械加工、特にスロットの切削の際や、或いは使用中に変形する事のない様に焼準を行う事が多く、また指定される事が多い。

調質後、材料試験を行い、中心孔を穿つて孔内疵具検査をし、機械仕上後、要部の硫黄貼写および外部全面に亘り超音波探傷を施行して発送する。

戦後、海外における此の方面の進歩は著しく、これに刺戟されて良品製造に苦心を重ね、今日では国内で、100,000kw級の回転子軸の製造も左程困難ではなくなつた。これは官民特に電機製造者の激励協力の賜である。

### 2. 蒸気タービン軸車

蒸気タービンも益々出力が大きくなり、且つ高温高圧の蒸気を使用される様になつたので軸車の製造も発電機回転子軸に劣らず難しくなつた。

材質、成分は低圧軸車に対しては炭素鋼、または Mo を添加した特殊鋼が用いられ、高圧軸車に対しては専ら Mo を添加した特殊鋼が用いられる。

軸車には翼車を軸に焼嵌めとするものと一体とする設計のものがある。一体の軸車の鍛造要領は回転子軸の場合と同様に、据込みと鍛伸から成立つが、一般に使用鋼塊に対し製品の直径が大きいため、据込みの量は充分大きく取り巾の広い金敷を用いて、内部深くまで鍛錬効果を及ぼす如くする。軸車の翼部は一般に実体より削り出すが、鋼塊の粗悪部およびゴーストを露出する懼れが多い故、段落の間隔の大きい場合には、この部分を背切り出して成形する。鍛造後焼鈍を施し、粗削の上調質する。焼入は焼準する事が多い。

タービン軸車は前述の通り使用温度が高くなつたので使用中に高温蒸気に曝されても絶対に歪曲しないと言う事を確めるために、材料試験および中心孔検査後の素材に対して、機械加工を終えて最後に、加熱試験が行われる様になつた。

加熱試験では、試験前後の軸車の軸心の振れの差が、0.025 mm 以下である事を以て良とするが、その振れの過大となる一因が鍛造の不手際にあると言われるので鍛造は均等に行う必要がある。Fig. 5 は型入により均等に成形する例を示した。然しながら振れを規定内に納める事は、製造上特異な事情のない限りは比較的容易である事も経験する所である。

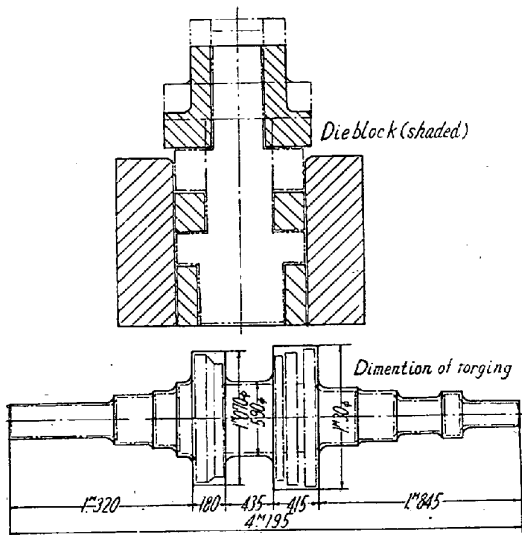


Fig. 5. An example of die-forging of a turbin-rotor.

### 3. 型鋼

型鋼の具備すべき性質としては、高温の使用時における機械的諸性質が良好で、彫刻面の磨耗、変形が少く、且つ彫刻の際の被切削性が良好である事と、更にこれ等の性質が型鋼の内外部において均等であることである。

戦時中、多く使用された所謂代用鋼による型鋼に対する反省と、外国製品の優秀さに刺戟されて、優良国産型鋼の製造法の研究を目的として、昭和 22 年各自動車会社、製鋼所、および研究所を以て組織された型鋼対策委員会が発足し、比較目標に優秀外国製品において、基礎的、実用的研究がなされ外国製品に劣らぬ成績を得るのも間もないと思われる。

型鋼の鋼種としては、Ni-Cr-Mo 鋼を始めとして、Ni-Cr 鋼、Cr-Mo 鋼、Cr-Mn 鋼、Cr-V 鋼が用いられる。Mo を含む鋼種は、含まぬものより各種の性質が良好で、特に Ni-Cr-Mo 鋼が優れている事は既に定評

があり、型鋼対策委員会でもその標準成分を決定している。Cr-Mo 鋼は高価な Ni を含まない代替鋼種として賞用されているが、焼入性の点では含 Ni 鋼に対しやや遜色があるので、この点の改善が研究されつつある。

#### 国産 Cr-Mo-V 鋼

C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	V
0.25/0.55	0.2/0.35	0.5/0.8	—	1.0/1.5	0.35/0.4	0.10
ヘッペンストール社						
0.5/0.6	0.2/0.3	0.65/0.95	0.3	0.25/1.15	0.4/0.5	0.06

鍛造法の要点は、鋼材の組織の方向性を生ぜしめない様に、鋼塊を軸方向に 1/3 に据込み次に横方向に圧下しこれを繰返す。

比較的小型の製品に対しては鋼塊を荒延べした後、各個に切断の上、各面より据込む所謂六面鍛造を行う。組織の均等性を得るためには、鋼塊の偏折が少い事が望ましいので、できる限り単個取りの小型鋼塊を使用する。

鍛造後、球状化焼鈍を施し、彫刻面を切削した上、調質する。焼入は油冷または噴油冷却により充分に行う。

機械仕上後は、鋼塊の軸に直角の面について腐蝕発見検査を行い軸に平行な面について超音波探傷試験を行った上出荷する。

### 4. クランクアーム

大型ディーゼル船用機関のクランクアームは型が大きく特異な形状をなしているので、重量の軽減と欠陥防止の目的で、種々の鍛造法が行われる。戦後、造船計画に基いて、多量の製品が鍛造され、初期には、実体から削出し、或いはピン部を型入して製造されたが、何れもゴースト、砂疵、ザク疵等が露出して廃却になるものが多かつた。各製鋼所では成形法の研究を重ね、現在では、概ねウェブをピン端で折曲げる方法で鍛造している。三菱長崎製鋼所では折曲げの優れた鍛造法を考案した。

### 5. 一体クランク軸

一体小型クランク軸は、従来一般に平板に鍛造した荒地を背切り、この部を喰い下げた上、各ジャーナルを機械加工し、局部加熱して各ジャーナルを捻る方法で造られたが、現在は、工程を簡略するためアームを角度を与えて鍛造する方法が広く行われている。

然し、ピン部は矢張り削り出されるので、材料は不経済で、内部欠陥の露出する懼れがある。

仏国の R.R. 法は、特殊鍛造器具を使用して丸鋼片を圧下しつつ水平方向に据込み、アームおよびピン部を形成する考案である。本法は近く、神戸製鋼所で実施され様としている。

### 6. 回転子エンドリング

エンドリングは高い機械的強度を要求するので、普通 Ni-Cr-Mo 鋼或いは Cr-Mo 鋼を調質して使用するが最近では発電機の性能を高めるために、高 Mn 系、高 Ni-Cr 系の非磁鋼を以て製造される様になつた。これ等鋼種は熱処理によつては十分な材力を得難いので、熱間鍛造後粗削りした上、若干の冷間鍛錬を施して所期の材力を得る方法を取つている。冷間鍛錬後、低温焼鈍した材力の一例を次に示す。

Chemical composition				
C %	Mn %	Cr %	Mo %	Si %
0.5	18.0	5.0	0.5	0.5/0.7
Mechanical properties				
kg / mm <sup>2</sup>		%		
E	R	A	Ce	
85	105	30	50	

### VII. 鍛鋼材の熱的取扱法

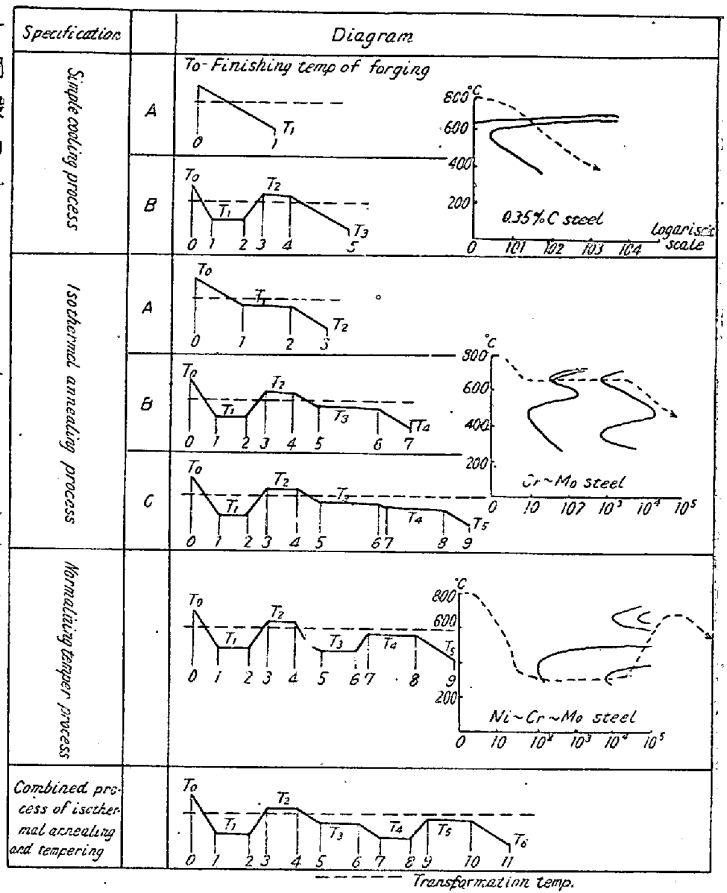
大型鋼材を鍛造後、常温まで冷却する熱的取扱法は最近 10 年間に可成り進歩した。鍛造後の熱処理の目的は冷却によつて生じ易い巨大な残留応力を緩和する事、白点の発生を防止する事および粗雑な結晶組織を調整する事にある。現在一般に行われている熱的取扱法を一括すると Table 2 の如くなる。

単純冷却方式は戦前広く用いられた方法で今日では炭素鋼、或いは低合金鋼のみに利用される。

等温焼鈍方式は等温変態、或いは S 曲線の知識から導かれ最近広く利用されている方式である。表中、B、C について言えば、2—4 で結晶粒調整の後、S 曲線における Ar<sub>1</sub> 変態の速度の速い温度域 (鋼種により異なるが一般に 600°C~700°C) に保持し、急速に変態を完了せしめる。この操作により変態は確実に完了し、軟化が行われ、また水素の拡散、白点の防止、残留応力の軽減に著しい効果が得られる。

焼鈍方式は、等温焼鈍で Ar<sub>1</sub> 変態の速度が著しく遅い鋼種の場合、操作に莫大な時間を要しかつ不確実となり勝ちなので、かかる鋼種に対する操作として最近発達した方式である。即ち Ar<sub>1</sub> の変態によらず、T<sub>3</sub> の Ar' 変態温度域 (250~400°C) に保持し Ar' 変態を行わしめ、次に T<sub>4</sub> の変態点下の温度に保持して、軟化、応力除去、および水素の拡散を図り、等温焼鈍方式によつては困難であつた鋼種を、安全に冷却する事が可能となつた。

Table 2.



等温焼鈍と焼戻の組合せ方式は、等温焼鈍を行つた後、T<sub>4</sub> の温度 (200°C~400°C) に保持してから T<sub>5</sub> の温度で焼戻を行う方式である。

要するに最近の熱的取扱法の特徴は、変態速度の速い温度と、水素拡散速度の最も速い温度 (変態点直下) を巧に利用したところにある。これ等の温度と保持時間は S 曲線より選定し得るが、大型品では、熱伝導、変態熱、著しい偏析等の関係を考慮して安全に定める。熱的操作上最終段階の冷却は、各種の割れ疵発生に影響する最も重要な部分であつて、一般には、炉中または小石、砂、或いは石灰粉等の中で、極めて緩やか (例えば平均速度 5°C/h 以下) に冷却する。

### XIII. 超音波探傷法

超音波探傷法は戦後我国に導入され、急速に流布されるに至つた劃期的品位判定であつて、質量の大きな鋼材の深部の欠陥、および或る種の組織変化を検査し得るので、鋼材の品位の判定は一段と厳しくなつた。従つて鋼材は本質的に健全である事が必要となり、製造法は新たな視野から考えなければならなくなつた。非破壊的に材



料の欠陥が判定できる事は、採否の早期決定が可能となり、後続の製造費を救い、或いは材料の粗悪部を排して健全部を利用して供して、事故を未然に防止する事が出来るのである。事実製鋼所においては、鋼片或いは調質前粗削り素材等に対して探傷を行う事を建前とし、特別の場合には鋼塊に対しても施行して、安全を期する方法が採られている。

しかし、本法によつて検出された欠陥の判定が問題であつて同一品種につき多くの実績と他の破壊試験法との比較等を行う事により初めて可能になるのである。従つて今日では製品については使用者、製造者共に品位判定の資料として取上げるに止まり、これを採否判定の基準または規格としたものは少い。

昭和 26 年超音波探傷検査法判定規準研究会が発足し、鑄鍛鋼製造者と造船所の間で、船舶用機関のクランクアーム、クロスヘッドピン、中間軸、推進軸等の判定基準を検討し暫定基準を決定した。学振製鋼第 19 委員会探傷法協議会の成作した感度標準試料は判定の統一に役立つ。

その他、発電機回転子、鍛造用鋼片、冷間圧延ロール等に対し、或る程度の規格化が、製鋼所と使用者との間に行われている。然しながら、基準は何れも巾広いものであつて、判定に苦しみ場合にはその都度協議して決定する方針である事は、探傷法の性質上、現段階では当然の事と思われる。

Fig. 6 は発電機回転子の探傷判定例を示す。

### IX. 鍛鋼材の欠陥

鍛鋼材の欠陥に関する研究は進んで、欠陥の原因および防止法は漸次明かになりつつあるが、未だ製造上、使用上の問題となる事は多い。

日本鍛鋼会では、鍛鋼品の不良品発生を防止する運動の第一歩として、鍛鋼品の不良原因の呼称の統一と、不良原因の探究を企図し、昭和 29 年“不良原因類別”を制定し、鍛鋼関係者の便に供した。

本項に鍛造上、使用上の問題となる欠陥について簡単に述べる。

気泡： 主として鋼塊の表面近く（一般に表面より 10mm 以内）に生じ、鋼塊頂部側、底部側、および隅角部に深く存在する。黒皮または仕上代の僅少な製品に対しては、鋼塊或いは半作荒地の全表面をスカーフイング等により除去する場合がある。

ゴースト： 甚だしく濃厚なもの、或いは亀裂を伴うものを除いては、一般に欠陥の対象とはならない。問題

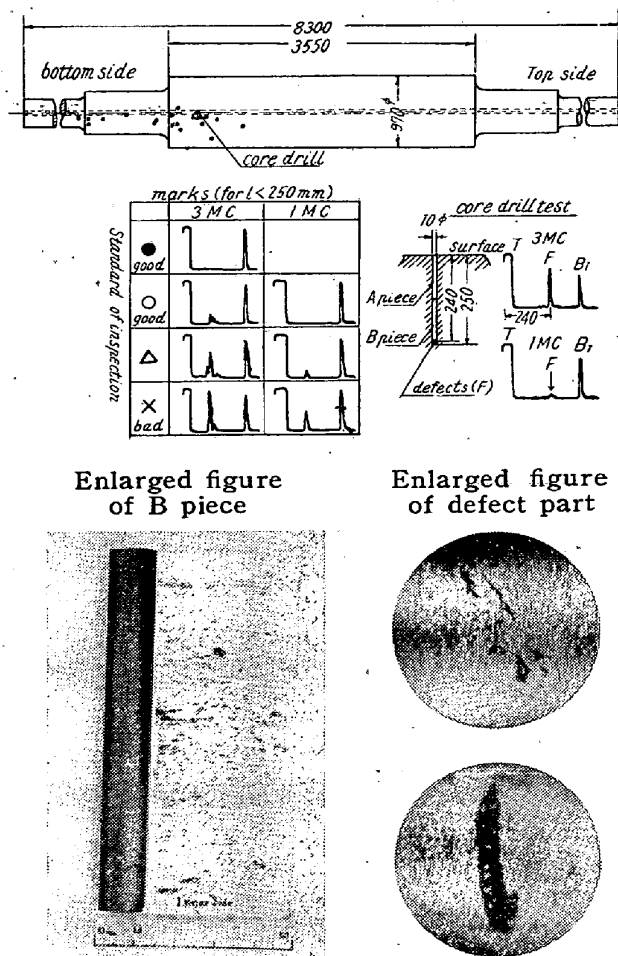


Fig. 6. An example of supersonic inspection of a generator-rotor shaft.

となる場合でも製品に現われた位置によつて可否は考慮される。ゴーストの現われた材料の採否の一つの基準として亀裂を伴わず、剣バイトによる切削で削り屑の切れない程度を以て良とする事がある。

ザク疵： 鋼塊の中心線に沿うた粗鬆部或いは収縮孔の鍛着されずに残つたものを指す。疵の附近にはガス、不純物が一般に多いので充分鍛造しない限りは、改善は甚だ困難である。疵の特徴として、その先端が丸味をなすので、外力に対し大きな応力の集中は起らず重大な害はなさない様である。

白点： 防止法としては、鍛造においては加熱により水素を拡散し、鍛造後は適切な焼鈍または冷却を行つて水素の鋼外放出と拡散を促し、各種応力の生成を抑制する事が重点として行われる（熱的取扱法の項参照）、今日、白点に悩まされる事は少くなつている。

### X. むすび

以上簡単ながら、我国最近の大型鋼材の鍛造法について



て述べたが、終戦以来、復興に明け暮れた 10 年の今日多くの面で国際水準に達する迄に到つた事は、ともかく進歩したと言える。しかし、率直に言つて、これは、発

達の初期の段階に漸く達したにすぎず、日進月歩の現代工業の要請に対して、優良鋼材供給の任を全うするためには、鍛造界は、更に向上の努力を続けねばならない。

## 本邦鑄鉄、鑄鋼技術の進歩

谷 村 熙\*

### PROGRESS OF IRON AND STEEL CASTING INDUSTRY IN JAPAN

*Hiromu Tanimura, Dr. Eng.*

#### Synopsis:

A review of the iron and steel casting industry, during the past ten years, was described. The progress of the casting industry in this period has much correlation to the research activity in the pre-war and war time, therefore this review covers some details of pre-war progress.

#### I. 第二次世界大戦前後にわたる 日本の鑄造界概況

戦時には鑄物が陸上兵器、艦船、航空機の主要部品に用いられるので、その量産並びに質の向上が要望せられた。これに關係する製造会社も研究に力をそそいだので鑄物は各方面に進歩を見た。鑄物の重要性にかんがみ、既に昭和 11 年 (1930) 頃から日本學術振興会が学界および業界から委員を薦めて第 24 小委員会を組織し鑄物に関する総合研究を推進した。その委員長は石川登喜治博士であつた。

戦時中は鑄鋼が重視されるが、また各種機器に対し鑄鉄、銅合金、軽合金鑄物も重要な役目を担う。殊に航空機用にはアルミニウム、マグネシウム合金鑄物の需要が多く、その研究の促進と共に一般鑄造技術も進歩した。

鑄物の共通問題として鑄型の製作従つて鑄物砂の研究が必要となつてくる。よつて学振第 24 小委員会では鑄物砂に関する専門部会を組織してその試験法の統一をはかつた。また兵器を初め主要な機器について多くの製造会社の試作研究を集め鑄造作業標準を作つた。これは鑄鉄、鑄鋼、銅合金および軽合金の各材質にわたつて作られ鑄造の指針となつた。

可鍛鑄鉄は車輻、運搬機械等に用いられてきていたが、数社のメーカーは別としてとかく信頼性に乏しいとの評があり、これも戦時に役立つ目的で学振の可鍛鑄鉄専門部会で研究が取り上げられた。

次に防弾鋼は従来熱処理した特殊鋼板をリベット或い

は熔接を以て組立てて来たが、リベットが弱点であり、また高張力の特殊鋼の熔接が困難であるところから、特殊鑄鋼による防弾鋼の鑄造並びに熱処理が学振の特別委員会で取りあげられて研究の結果すぐれた鑄物が得られた。

かように鑄物の各方面に関する技術が進んだが戦争末期には資材の欠乏と爆撃による損害のために生産が衰えて終戦を迎えた。

敗戦直後は国家經濟の混乱のため鑄物業界も一時沈滞したが、戦後の混乱がおさまり産業の復興が叫ばれると共に、鑄物の需要も増加した。然し乍ら原料の輸入は殆んど不可能であり、国内にあるスクラップや粗悪な燃料を用いて鑄物を作ることを余儀なくされた。この時代には粗悪な資材による鑄物の困難を克服する方法が研究され、これがその後の鑄物の品質改善にも役立つ。1950 年頃から海外の情報が入り鉄鋼視察団のアメリカ視察を初め鑄物關係技術者の海外渡航もあり、欧米の鑄物の技術を知り得たので急速なる改良進歩が見られる様になつた。以下各種鑄物につき進歩の概略を述べることにする。

#### II. 鑄鉄鑄物

##### (1) 戦時中の鑄鉄鑄物の研究

鑄鉄は兵器や航空機の主要材料では無いから、戦時には目星しい進歩が見られたかつた。ただピストンリン

\* 九州大学教授、工学博士