U.D.C. 621.313.223-8 : 629.13

真空アーク熔解せる Nimonic 80A の諸性質について

On the Various Properties of Vacuum-Arc-Melted Nimonic 80 A

九重常男* 八島正人* 河合重徳*
Tsuneo Kunou Masato Yashima Shigenori Kawai

内 容 梗 概

消耗電極法により真空アーク熔解した超耐熱合金 Nimonic 80A のマクロ組織，鍛造試験，機械的性質を測定し大気中熔解材との比較を行い，真空アーク熔解が材質の向上に有益なることを確めた。

1. 緒 言

航空機工業そのほか高温において作動される高圧ボイラ，火力発電などの諸工業の急速な発展にともない，金属材料に対する要求はますます過酷となり，従来の大気中熔解材ではその要求を満たすことができなくなりつつある。したがってガス含有量および非金属介在物が少なく強度ならびにじん性の大なる真空熔解材が斯界の注目をあび，これにともない大容量の真空熔解装置が設置されるようになってきた。

現在用いられている真空熔解法は

（1） 高周波誘導熔解法

（2） 消耗電極熔解法

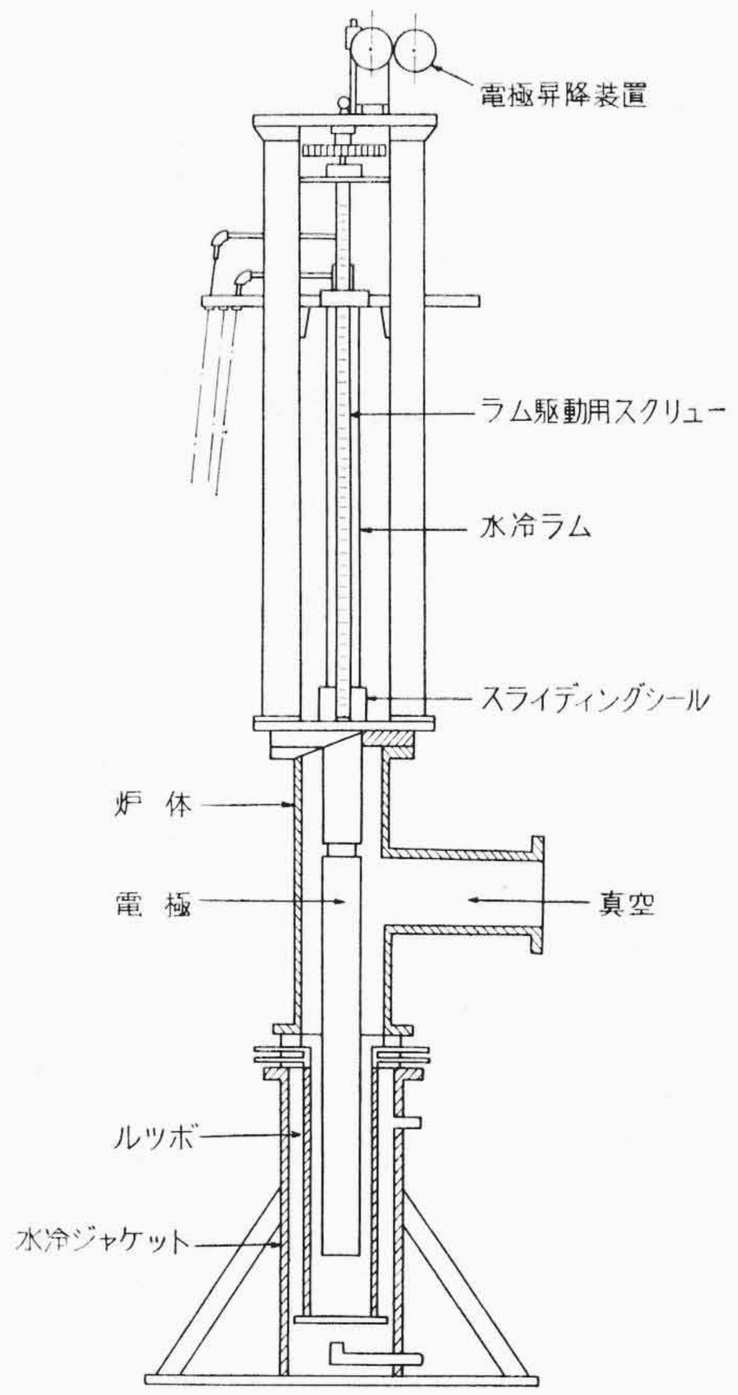
の二つに大別されるが，このほか消耗電極熔解したものをさらに非消耗電極アークにより加熱，精錬を行う方法（Skull Process）や，非消耗電極からの電子線の照射により熔解精錬を行う方法（Electronbombardment Melting）などが新しく考えられている。誘導炉による真空熔解装置は国内でも容量 500 kg の炉が嫁動しており数社が実施ないし計画中で，これにより得られた材料の試験報告[1]~[3]も多く，日立金属工業株式会社安来工場においても数多くの報告[4]がなされている。消耗電極熔解法は従来 Ti, Zr および Mo など反応性に富む金属鋳塊をうるために行われたものであるが，最近特殊鋼の熔解に用いられるようになりその進歩は著しいものがある。アメリカではすでに高周波誘導炉より消耗電極熔解炉のほうが設備容量としてははるかに大きいといわれている。国内では一，二の会社で操業されており，数社が計画中と伝えられている。

日立金属工業株式会社安来工場においても消耗電極熔解炉が設置されるが，同炉による熔解の効果を確めておくことは重要な事項である。この目的のため超耐熱合金を Nimonic 80 A 真空アーク熔解して各種の確性試験を行った。

2. 消耗電極真空アーク熔解法

本法は前述のごとく Ti, Zr および Mo などの熔解には以前から用いられていた。鋼に対しては水冷鋳型内で熔融鋼滓下で消耗電極をアーク熔解する方法（Kellog 法）が報告[5]されており，凝固が積層状（Layer by loyer）に進行するので，得られる鋼塊は中心部欠陥，偏析などの少ないすぐれたものであるとされていたが，これを真空中で行うようになったのは1950年以降である。

あらかじめ空気中熔解により所定成分の電極を作製しこれを 10^{-2} ~10^{-3} mm Hg もしくは Ar などの不活性ガスふんい気下で水冷銅鋳型内へ連続的にアーク熔解するもので**第 1 図**にその概念図を示した。この方法によれば誘導炉に比べ大形の鋼塊をうることが容易で，得られた鋼塊は中心部欠陥が少なく，またるつぼ材料による汚染がない。また熔解時非常に高温にさらされるので介在物の熱分解を生じ，介在物の浮上分離が行われる。しかし一方電極材を気中熔解などで作製しなければならぬこと，および精錬時真空度は誘導炉に比べて劣るなどの欠点もある。



第 1 図 消耗電極アーク熔解炉概念図

本実験に使用した Nimonic 80 A の熔解は**第 2 図**に示すような真空アーク熔解炉で**第 1 表**にその仕様を示した。

Nimonic 80 A は高周波電気炉で熔製し砂型に鋳込んだ 100 ϕ の電極を真空アーク炉で再熔解したもので鋼塊は約 170 ϕ である。

3. 試 験 結 果

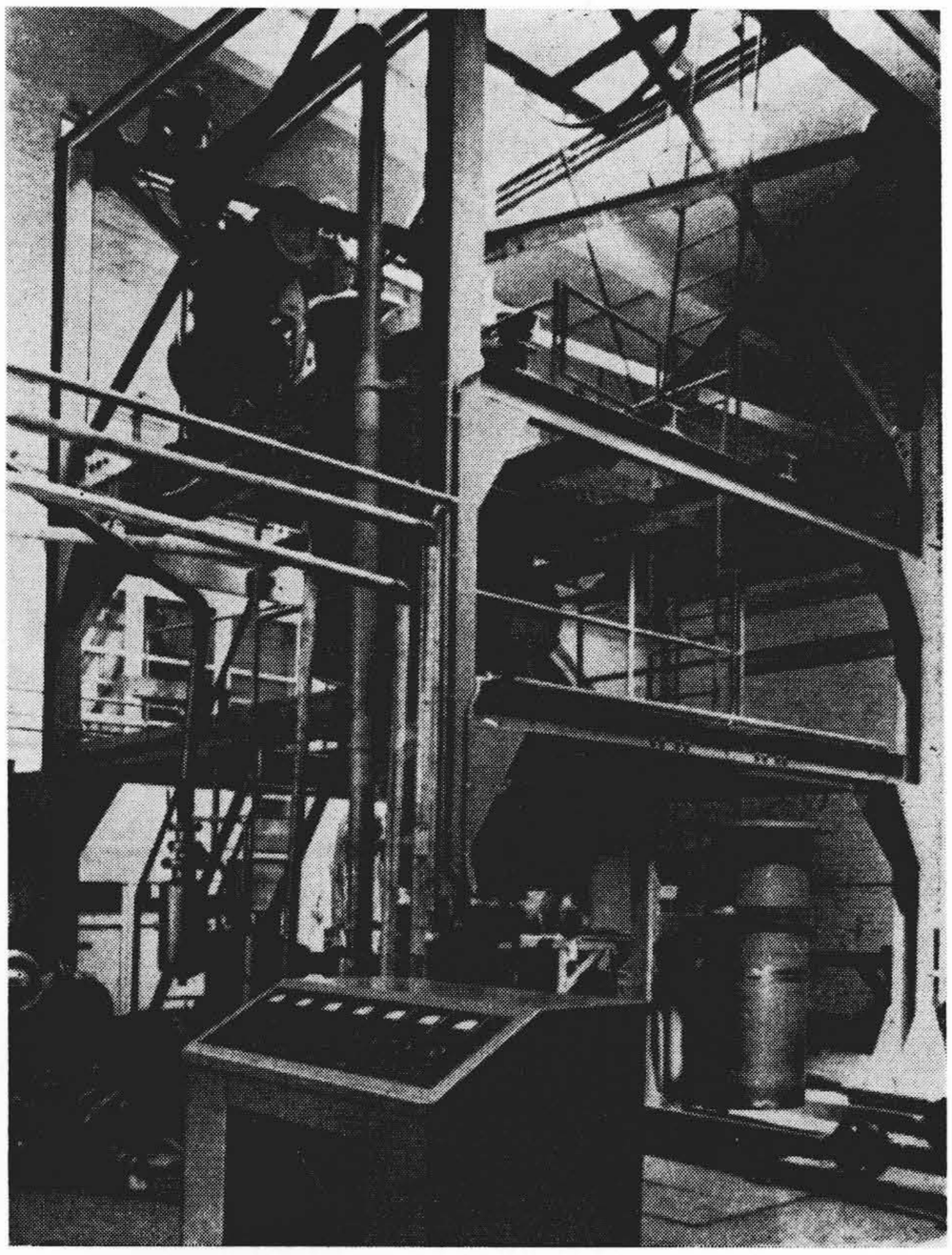
3.1 鋼塊表面状況

鋼塊の表面状況を**第 3 図**に示す。本体前方にあるのは頭部切断片である。肌はかなり悪く筆者の一人が行った消耗電極熔解についての調査結果[6]と類似の状況であり，凝固速度が早かったためと思われる。

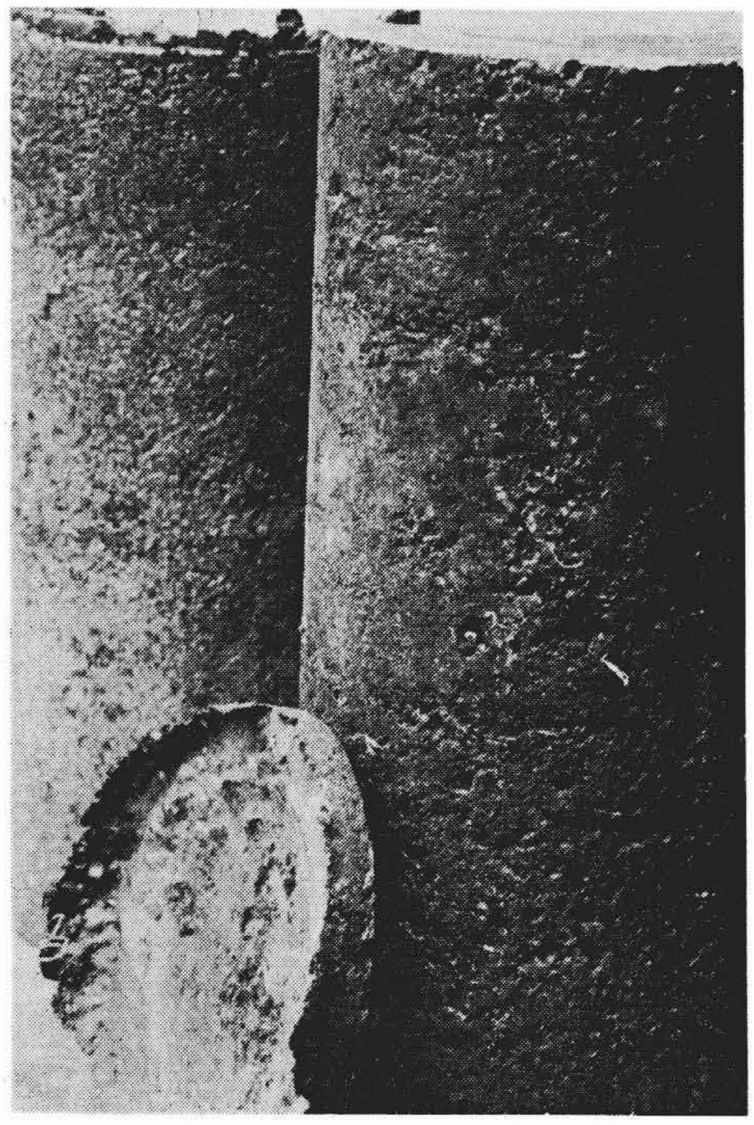
3.2 マ ク ロ 組 織

縦断面のマクロ組織を**第 4 図**に示す。また**第 5 図**に電極材のマクロ組織を示したが，砂型鋳造のため下端部から粗大な柱状晶が発達

日立金属工業株式会社安来工場

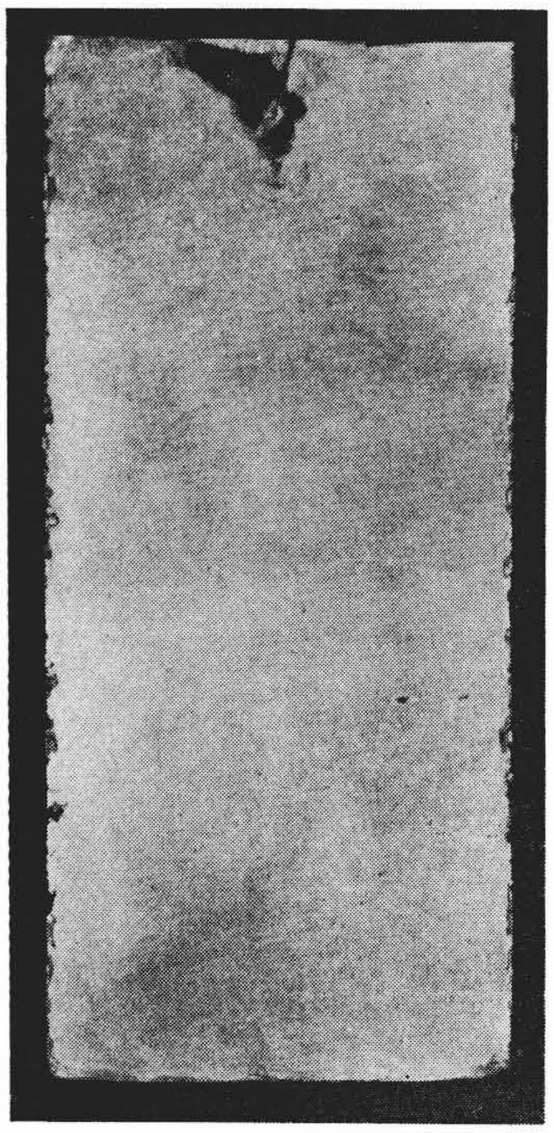


第2図　真空アーク熔解炉

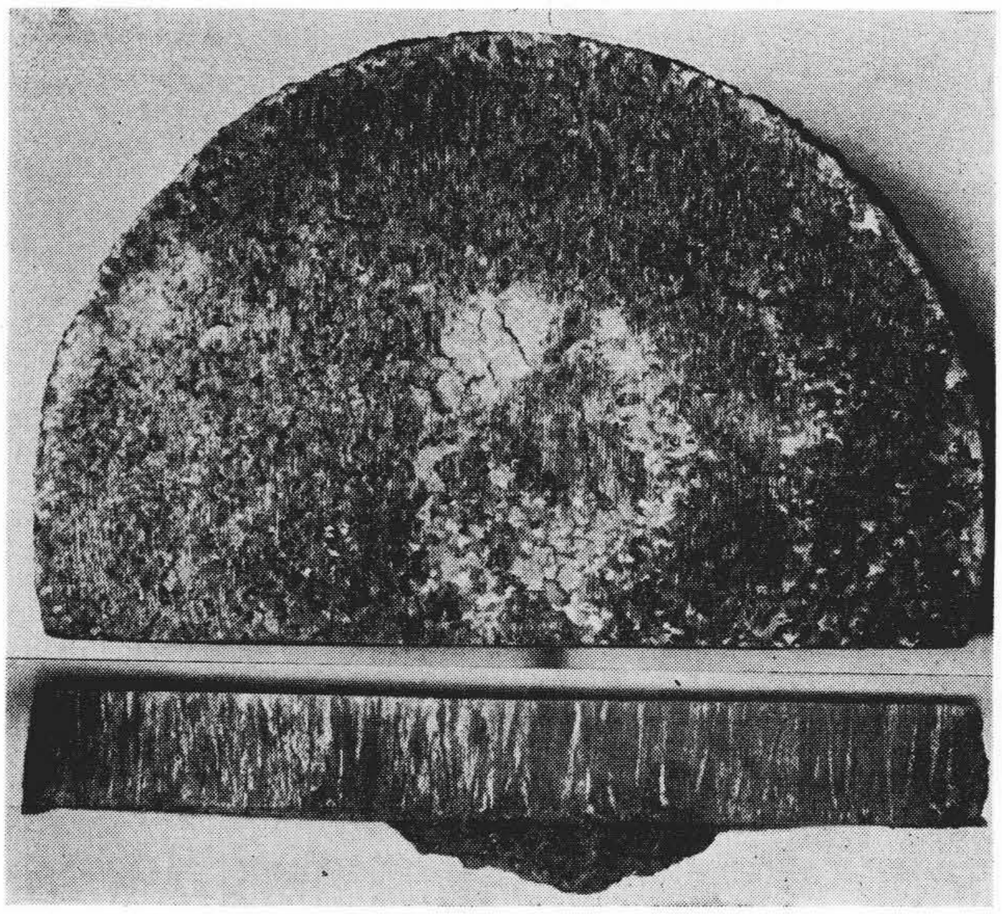


第3図　鋼塊の表面状況

しており，また粒界にはクラックがかなり発生している。これに反し真空アーク熔解した試料は前述のごとく凝固速度が早く，特有の凝固過程をとるため，その組織はかなり微細であり，柱状晶も側面からほぼ直角の方向に成長している。下部1/3付近に認められる空孔は，この部で消弧し表面が一部凝固して再点弧後に熔着しなかったために生じたものと思われる。またこの空孔がほぼ水平に並んでいるのは凝固速度が早いことを示すものである。第2表に素材および製品の化学成分およびガス分析値を示す。素材に比べ製品のSiが高くなっているのは，素材表面に付着していた砂のためと思われる。



第4図　真空アーク熔解した Nimonic 80 A の縦断面マクロ組織



第5図　電極素材の断面マクロ組織

第1表　真空アーク熔解炉諸元

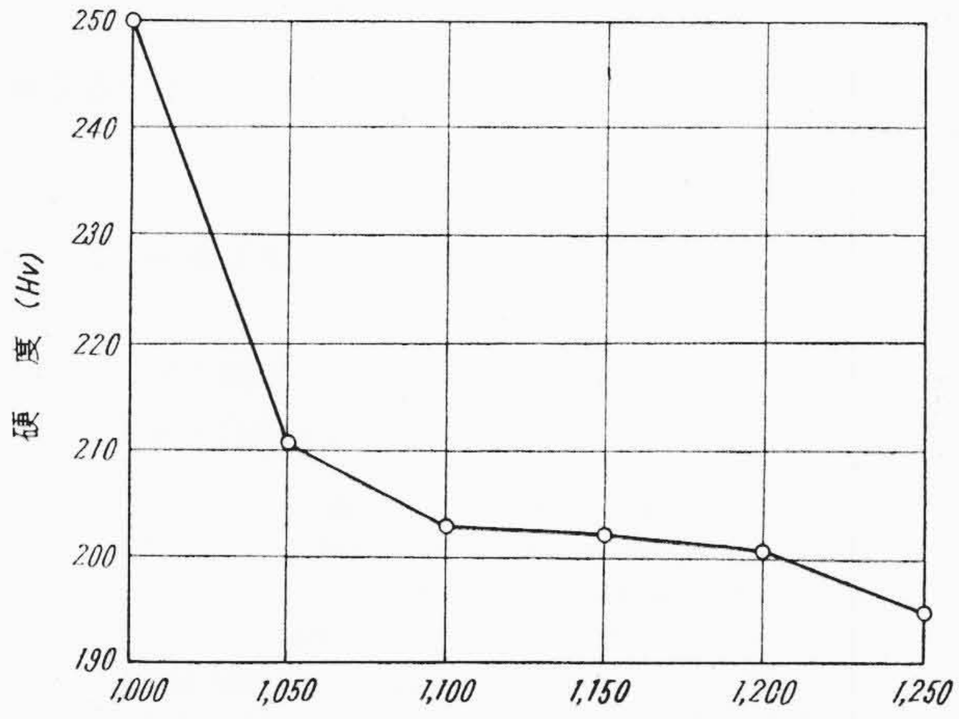
最大鋳型寸法	400mmφ×1,650mm
最大鋼塊重量	1,200 kg
真空ポンプ系	高真空側 VP-R 6,000 メカニカルブースター 排気容量 約6,000m³/hr
	低真空例 VP-R 1,600 メカニカルブースター 排気容量 約1,600m³/hr S 180 回転ポンプ 排気容量 約280 l/min
最大電流値	12,500 Amp
電流調整	Heratron 式自動制御
炉高	約 8.5m
設置面積	4 m×4 m

また反応性の高い Ti および Al は製品ではやや低下する。ガス含有量は真空アーク熔解により約1/2以下に減少する。

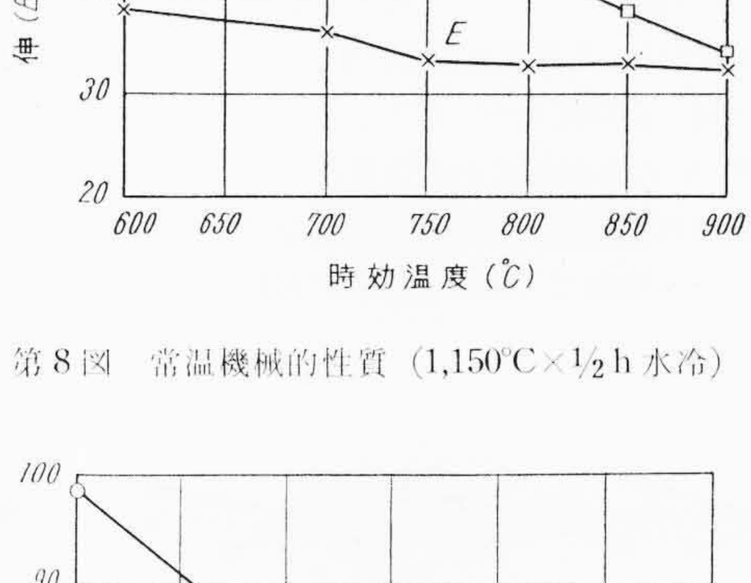
第2表　試料の化学成分およびガス分析値

（抽出温度 1,600℃）

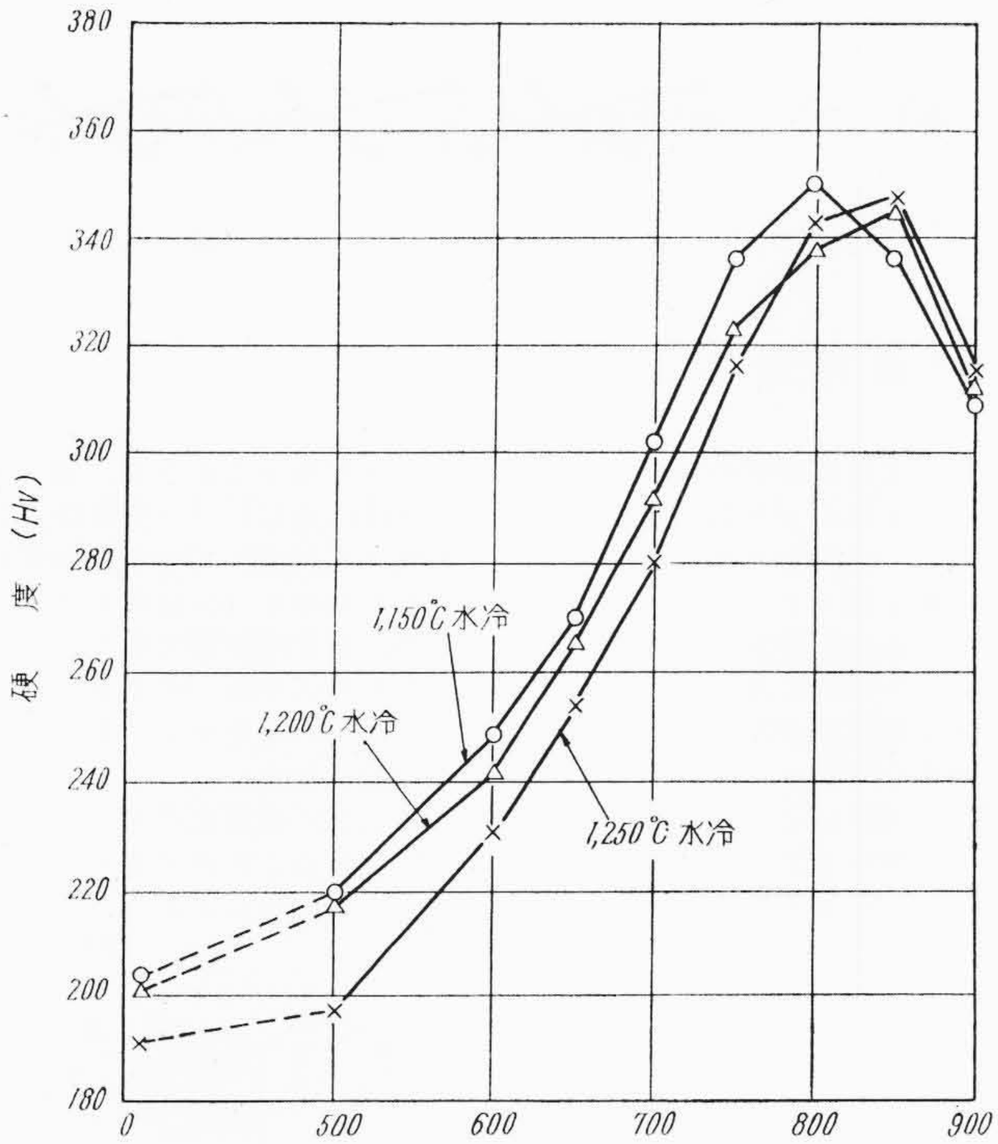
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Ti	Al	Cu	全ガス量 cc/100g	〔H〕%	〔O〕%	〔N〕%
素材	0.04	0.31	0.77	0.003	0.006	72.65	19.30	3.18	1.31	0.02	12.79	0.00039	0.0034	0.0055
製品	0.03	0.44	0.79	0.007	0.004	72.00	18.95	2.20	1.25	0.02	5.07	0.00014	0.0016	0.0027



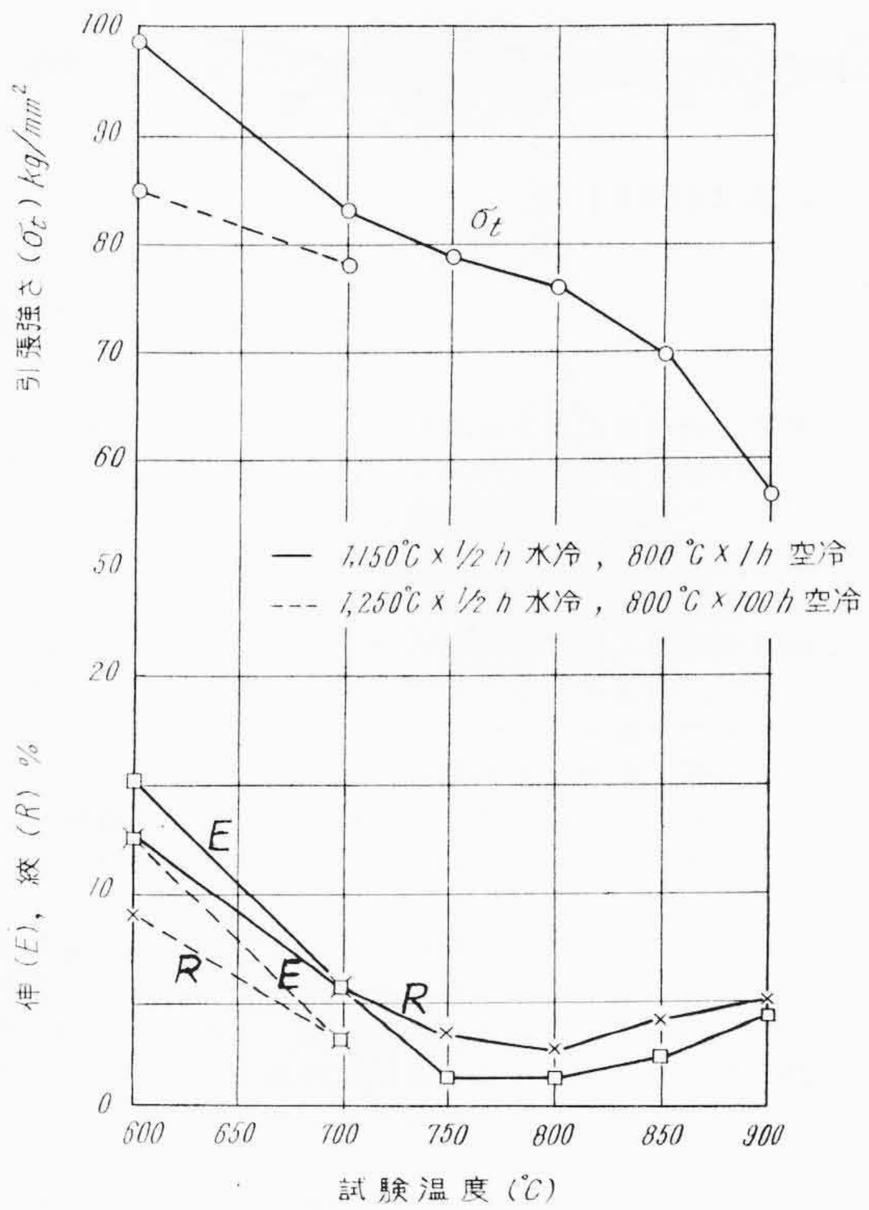
第6図　熔体化処理温度と硬度との関係



第8図　常温機械的性質（1,150℃×½ h 水冷）



第7図　時効温度と硬度との関係



第9図　高温機械的性質

3.3 鍛造試験

縦断した鋼塊を約4時間予熱後，鍛造温度に24時間加熱して鍛造を行った。鍛造にあたっては特に温度および1回の圧下率について留意した。鍛伸は比較的容易に行うことができたが15中試験材までの鍛造歩留りは約60%である。

3.4 熱処理硬度

15mm角に鍛伸した試料を用い熔体化処理硬度および時効硬度を測定した。その結果を**第6図**および**第7図**に示す。時効硬度は時効温度500℃より硬度を増大し 1,150℃溶体化処理の場合は 800℃, 1,200 ℃および1,250 ℃熔体化処理の場合は850 ℃でそれぞれ最高硬度を示す。硬化の原因は Ni と Ti, Al の化合物の析出によるものである。

3.5 機械的性質

平行部 7 mmφの試験片による常温ならびに高温引張試験結果を**第8図**および**第9図**に示す。高温引張試験は後述する熔解法による機械的性質の比較のため 1,250℃熔体化処理の結果を併記した。

3.6 ラプチャー強度

700℃における100時間のラプチャー強度を求めたが1,150℃½ h 水冷 → 800 ℃1 h 空冷の試料は 34.7 kg/mm², 1,250 ℃1 h 水冷 →

第3表　熔解法による高温強度の比較

熔解種類	高温機械的性質※ 600 ℃ σ_t	ε	R	700 ℃ σ_t	ε	R	ラプチャー強度 700 ℃ 100時間
C.A①	98.7	12.2	15.1	82.9	5.4	5.7	34.7
C.A②	84.5	8.9	12.5	78.0	3.2	3.0	33.0
V.M③※※	94.5	11.5	19.0	78.4	5.9	10.2	33.2
A.M④※※	81.5	5.4	8.3	66.5	3.0	5.6	30.9

※ σ_t 引張強さ kg/mm², ε 伸%, R絞%

① 真空アーク熔解：試験前熱処理　1,150℃×½h水冷→800℃×1h空冷

② 真空アーク熔解：試験前熱処理　1,250℃×1h水冷→800℃×100h空冷

③ 高周波真空熔解：試験前熱処理　1,250℃×1h水冷→800℃×100h空冷

④ 大気中熔解：試験前熱処理　1,250℃×1h水冷→800℃×100h空冷

※※

	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Tl	Al
V.M	0.03	0.57	0.41	0.005	0.003	73.8	17.31	2.02	1.12
A.M	0.05	0.59	0.61	0.005	0.004	73.4	17.10	2.11	1.20

800℃ 100h空冷の試料は 33.4 kg/mm² である。

3.7　熔解法による高温強度の比較

大気中熔解，高周波真空に解[4]および真空アーク溶解3種類のNimonic 80 A の高温強度を第3表に示した。同一条件の熱処理の場合は高周波真空熔解試料が強度およびじん性とも最も大きい。ついで真空アーク熔解で，大気中熔解の試料に比べると強度およびじん性ともに大きいが，700 ℃における伸びおよび絞りには大差が認められない。これは真空アーク熔解材の Ti および Al が高いためと考えられる。

4.　結　　言

消耗電極法により真空アーク熔解した Nimonic 80 A の各種試験を行った。その結果を要約するとつぎのとおりになる。

（1）　真空アーク熔解を行うとガス含有量の少ない健全なる鋼塊が得られる。

（2）　鍛造が容易となる。

（3）　高温強度およびじん性が増大し，すぐれた耐熱合金が得られる。

終りに本実験にご懇篤なるご指導を賜った桧垣副工場長，小柴冶金研究所長ならびに橋本技術課長に深じんなる謝意を表する。

参　考　文　献

（1）　上野，中島：　鉄と鋼 **44**, 1104 (1958)
（2）　長谷川：　鉄と鋼 **44**, 1151 (1958)
（3）　H. C. Child :　J. I. S. I. **190**, (Dec. 1958)
（4）　小柴，九重：　日本金属学会誌 **22**, 4号 169 (1958)
（5）　A. I. M. E :　Preprint for the Electric Steel Conference (1948)
（6）　河合，松山：　安来調報第621号 (昭33-1)

特　許　の　紹　介

特許第249694号

川島猪三・松原為治

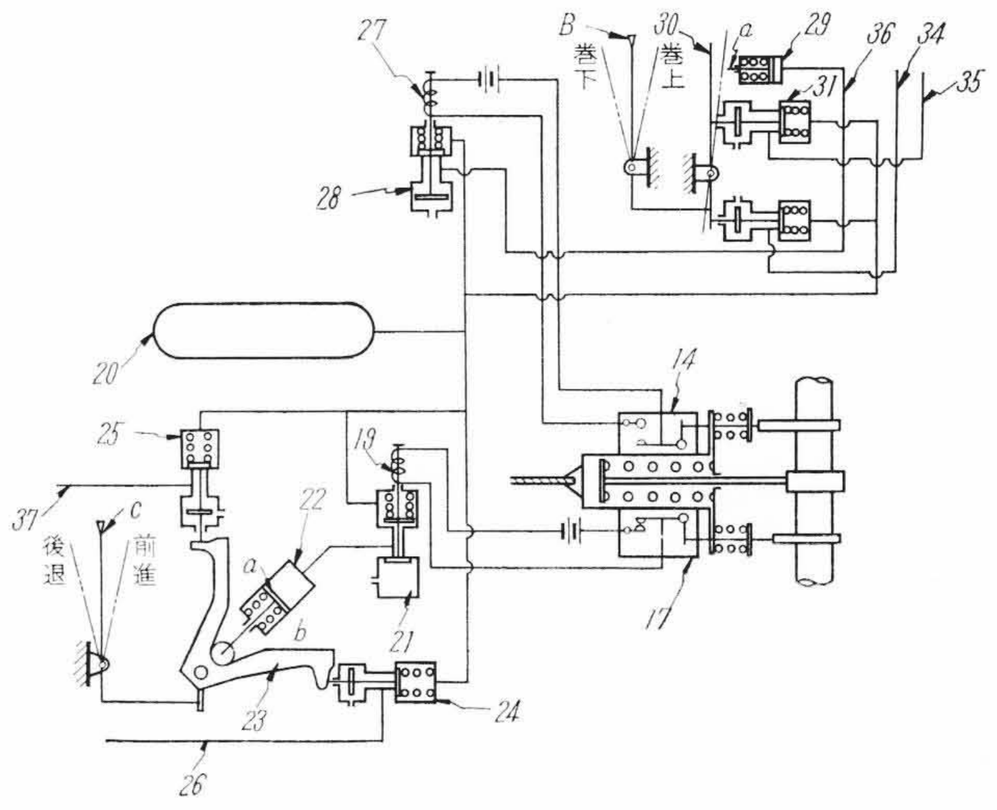
ブームを有するクレーンの過荷重防止装置

この発明は，走行および定位置荷役作業を行う荷役機械において，走行および定位置荷役時における制限荷重をそれぞれ別個に検出するようにした荷重制限機構を介して走行側および巻上側マグネットバルブが作動するようにし，走行荷役時にその制限荷重をこえれば走行クラッチを中立状態にして走行を不能になし，定位置荷役時にその制限荷重をこえれば走行クラッチを中立状態にして走行を不能にした後に，巻上クラッチを中立状態にして巻上を不能にさせるようにしたものである。

走行荷役時の吊上荷重がその制限荷重をこえると，ブームの俯仰角度に応じて制限荷重を検出するようにした荷重制限機構の走行側リミットスイッチ17が直ちに作動する。その作動により走行側マグネット19は働いて弁21を閉鎖させるので，圧気溜20からの圧気は弁21を経て走行レバー用シリンダ22に入り，そのピストンを押圧してベルクランク23を作動させ，このベルクランクに連続する走行レバーCを図示のように中立位置に変位させる。すると，弁24，25は閉鎖し導管26，37を介して走行クラッチに作動する圧気を排出するから，走行クラッチは中立状態になってクレーンの走行を不可能にする。

定位置荷役作業に際しては巻上レバーBを巻上方向に操作し，リンク30を鎖線位置に変位させて弁31を開口させる。そのため圧気溜20から送られる圧気は弁31，導管35を経て巻上クラッチに流入してこれを作動させる。

この定位置荷役の場合に荷重がその制限荷重をこえると，走行側リミットスイッチ17が作動して前記と同様に走行レバーCを中立状態にして走行を不能にした後に，巻上側リミットスイッチ14が作動して巻上側マグネット27を働かせる。そのため弁 28 は開口されるから，圧気溜20からの圧気の一部は弁28，導管36を経て巻上レバー用シリンダ29に流入してそのピストンを左行させる。すると，リンク30は鎖線位置から実線位置に戻り巻上レバーBを中立状態に復帰させる。したがって，荷重の巻上は不可能となる。

この発明によれば上述したように，荷重制限機構を介して走行荷役制限荷重と定位置荷役制限荷重とを区別することができるから，クレーンの安全性および能率化をいっそう高めることができる。

（野村）