

研 技 材

1963

科学技術庁

ニ ュ ー ス

NO.12

金属材料技術研究所

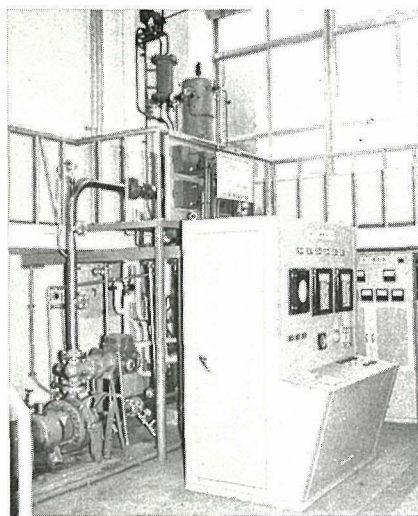
高速流水腐食試験装置

流水の中にある物体あるいは管内を流れる流体に接した管内壁などに圧力の低いところできて液体の飽和蒸気圧以下となると蒸気の発生をみるにいたり、いわゆるキャビテーション現象を起こす。

キャビテーションが発生し、ある程度まで成長すると高周波の振動をとめない、更に進むにしたがって激しい音響を発し、振動も大きくなる。これが消滅する位置では急激な圧力上昇によって物体や流路表面の材料は短時間に著しい侵食をうける。このような苛酷な侵食をうけ易い個所としては水車ランナ、船用プロペラ、ポンプインペラおよび水力発電機器でのドラフトチューブ、ケーシング、ガイドベーンなどがある。キャビテーション試験法としては従来から磁歪法あるいは噴流法などがあるが、それぞれ一長一短があり実際の高速流水環境でのキャビテーションによる侵食との関係が明確でないので本装置では高速の流水を環流させた環境に試験片をさらす方法を取り、この環境での金属材料の腐食挙動を検討するため次のような試験条件がえられるようにした。装置は写真に示す。

流 速	最高50m/sec
圧 力	" 20kg/cm ²
水 質	水道水 温度25°C ± 5
試験片形状	板状：20×184×1mm 5枚
お よ び 個 数	管状：43×内径20mmφ ×外径30mmφ 4個
キャビティ発生部 試 験 片	板状：20×400×4mm 2枚

装置の流水回路は内径 66.3mmφ の AISI 304 ステンレス鋼管を揚程 100m 渦巻ポンプの 吸込、吐出口に環状に接続したループになっており、ループの中間に試験片取付部および環流による水温の上昇を防ぐ冷却管を挿



高速流水腐食試験装置

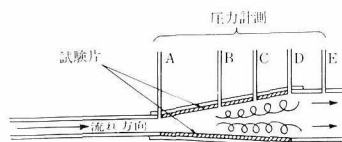


図 1 キャビテーション発生部

入してある。また試験片表面にキャビティを発生させるには図1のように平行な流れから次第に拡大した流れに水を導びくことによって得られる。この部分においた試験片の各部に接する水圧を測定するとキャビティを発生した部分は急激に圧力が減少する。これによってその発生を知ることができる。

現在振動をとまなうジーゼルエンジンの冷却水管のキャビテーションによる侵食の研究を行っている。

耐 熱 合 金 の 進 歩 (3)

1000°C—7 kg/mm² で 50時間耐える Cr 基鍛造合金

純鉄(融点 1536°C)よりも高熔融温度をもつ 60%Cr を含む合金は高融点金属材料中では最も耐酸化性にすぐれているので、1000°C 以上の高温での長時間使用が期待できる。この種の材料として耐熱合金研究室では Cr-Fe-Mo 系合金について熱間加工可能な溶製条件とその化学組成、加工材の高温曲げクリープ特性などを検討してきたが(材技研ニュース1960, No. 11), 現在では種々の合金元素を添加した熱間加工材の高温クリープ・ラプチャー試験や、熱間圧延で得た厚さ 1 mm 程度の薄板材の高温短時間引張試験などにより、高温で強力な Cr 基鍛造合金を開発すべく努力している。

ところで Cr 基合金を大気中で鍛造するには、Cr の窒化による材料の脆化を防止するために鉄製ケース中に封入して行なうシース加工が必要である。しかしダイナパックのような高速加工では加熱をアルゴン雰囲気中で行えばシースしなくてもよい。鍛造は 1300°C の高温でプレス鍛造することが望ましく、エアー・ハンマー鍛造では割れが入る傾向が強い。また前に報告したスエーピング加工法は小型試験片の加工には適するが、大型鋳塊の加工には適さない。

そこで 60% Cr-Fe-Mo 系合金をプレス鍛造とダイナパック高速加工をして、その鍛造可能な Mo 含量を比較してみると、プレス鍛造では 15% Mo まで、ダイナパックでは 20% Mo まで加工出来る。この種の合金は Mo 含量が増すほど高温強度が増加してゆき、25% Mo を含む合金が高温強度のピークを示すことはすでに知られている。ただしこのように Mo 濃度の高い材料はいずれも鋳造合金であるから、高熔融温度をもつこの種の材料に対しては実験室的には興味があっても実用性は少ない。また Mo 含量が多いと耐酸化性の見地からも好ましくない。そこで鍛造合金として開発するためには Mo を 10~



試験前



1000°C—7kg/mm² 試験後
(伸び105%)

写真 1 0.5% Ti を添加した 60% Cr—10% Mo—30% Fe 鍛造合金のクリープ・ラプチャー試験片

表 3 Cr 基合金の化学組成 (%)

合金系	合金番号	Fe	Mo	Co	Ti	C	N			Cr
							溶解	不溶解	全	
基準合金(10Mo)	No.1	30.10	9.89	—	—	0.024	0.1421	0.0013	0.1434	残
10Mo+0.5Ti	No.2	30.13	10.16	—	0.42	0.026	0.0186	0.0007	0.0193	残
10Mo+5Co	No.11	23.98	10.10	5.44	—	0.078	0.0642	0.0501	0.0543	残
12Mo+5Co	No.14	21.58	11.65	5.36	—	0.058	0.0165	0.0010	0.0175	"
14Mo+5Co	No.17	19.42	13.50	5.37	—	0.022	0.0166	0.0013	0.0179	"
10Mo+10Co	No.12	21.66	9.01	9.66	—	0.106	0.0166	0.0013	0.0179	残
12Mo+10Co	No.15	17.75	11.81	9.69	—	0.022	0.0171	0.0008	0.0179	"
14Mo+10Co	No.18	14.22	14.02	9.91	—	0.023	0.0167	0.0012	0.0179	"
12Mo+5Co+2Ti	No.16	22.63	11.52	5.41	1.59	0.052	0.0047	0.0166	0.0213	残
14Mo+5Co+2Ti	No.19	20.00	13.55	4.53	1.73	0.104	0.0041	0.0153	0.0194	"

加して真空溶製した合金をプレス鍛造して 1000°C—7 kg/mm² のクリープ・ラプチャー試験を行ってみると 1 時間で破断するが、その破断伸びは写真 1 に示す如く 105% という大きな値となる。Ti を添加しない基準合金では同じ試験条件下でラプチャー・ライフ 2 時間、ラプチャー伸び 80% である。このような Ti の少量添加による高温延性の向上は Ti の強力な脱炭、脱窒作用による溶湯の清浄化に原因している。従って Ti 濃度を更に高めれば、その一部は溶湯の清浄化に作用して合金の熱間加工性を向上させ、残りは合金化に働いて高温強度の増加に役立つことが期待される。一方、この種の合金の鉄の一部を Co で置換えると σ 相の析出によって高温曲げクリープ強度が向上することはすでに当研究室で見出している。そこで Fe を 5% Co および 10% Co で置換えて Mo 濃度がラプチャー・ライフと伸びにおよぼす影響を求めると図 5 に示したようにラプチャー・ライフはいずれも 5 時間前後で差なく、14% Mo—10% Co の場合強度の増加に役立つことが期待される。一方、この種の合金の鉄の一部を Co で置換えると σ 相の析出によって高温曲げクリープ強度が向上することはすでに当研究室で見出している。そこで Fe を 5% Co および 10% Co で置換えて Mo 濃度がラプチャー・ライフと伸びにおよぼす影響を求めると図 5 に示したように、Mo 11.5% の合金は 1000°C—7 kg/mm² で 52 時間耐える。ところで耐熱材料の有効強度は使用目的によって異なるが、一般に使用温度で 7 kg/mm² の応力下で 100 時間以上耐えることを必要としている。この観点からすると図 5 中でラプチャー時間の最大の合金は有効強度に達していない。熱間加工が可能で、しかも高温で強力な材料を得るということは、相反した 2 つの性質を組合せたものであるから相当の困難が伴うことは当然である。

しかし 1000°C—7 kg/mm² の応力下で 60% Cr—10~12% Mo—Fe 系合金が、Co の添加でラプチャー時間が約 2 倍増加し、更にこれに Ti を 2% 添加することによって Co を含むものの 10 倍も向上することは、鍛造可能な範囲での Ti 濃度の一層の増加、あるいはその他の第 3 元素の少量添加で、有効強度を越える強力な合金の開発が可能であることを暗示している。

また基準鍛造合金は 800~1000°C で熱間圧延して薄板にすることができる。しかも 10% Mo を含む厚さ約 1 mm のこの薄板は常温および 800°C での短時間引張試験をしてもその引張強さは 40~50 kg/mm² で大差ない特性をもっている。

なお図 5 の結果を得た各種 Cr 基合金の分析結果を一括して 3 表に示す。

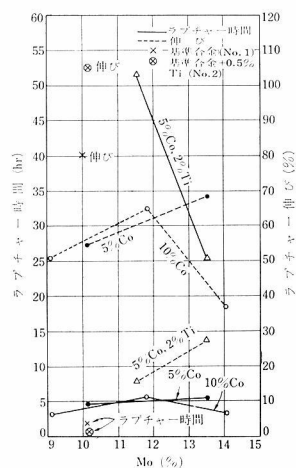


図 5 Cr 基鍛造合金の 1000°C—7 kg/mm² のラプチャー時間と伸びにおよぼす Mo, Co, Ti の影響

噴霧法による銅合金粉末の製造

試作 Liquid atomizer による

噴霧法で粉末を製造する場合に、生成粉末の形状にあたる因子としては、金属溶湯の表面張力、粘性、噴霧媒の冷却効果、その粘性および速度があげられ、これらの因子を適当に制御することによって生成粉末は球状にもなり、または見掛密度の低い不規則形状粉末を得ることができる。

製造冶金研究部粉末冶金研究室では、これまで噴霧媒としてガスを用い、主に溶湯の性質に着目して研究を進めてきたのであるが、見掛密度の低い不規則形状粉末を製造するには、冷却速度を更に大きくすることが必要であり、そこで写真1にみるような Liquid atomizer を試

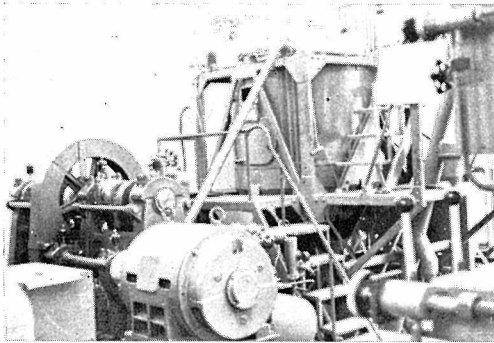


写真1 Liquid atomizer の概要

作した。溶湯を粉化する噴霧媒である液体は、冷却効果が大きく、取扱いが容易で且つ工業的に安価であり、更に粉化後の液体と粉末との分離が簡単にできることが必要で、種々検討を加えた結果、液体として水を選んだ。表1はガス噴霧法(GD)とLiquid atomization(W.D)によって製造した青銅粉末の粒度分布を比較したものであるが、表にみるようにW.Dの方が100メッシュのフルイを通過する粉末の生成量が多くなっている。すなわち、G.Dでは62%であるがW.Dでは93.7%にも達して

表1 噴霧媒による粒度分布の差異(青銅)

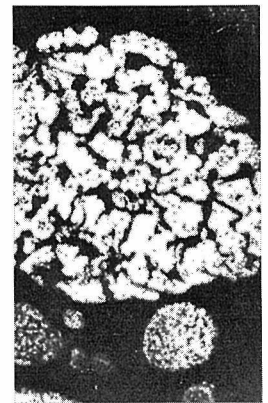
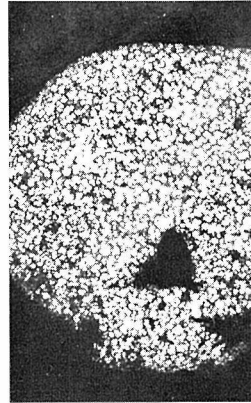
噴霧媒の 圧力 (kg/mm ²)	フルイ分け(%)					100メッシュのフルイを通過した粉末(%)
	100/145	145/200	200/250	250/325	—325	
55(W.D)	22.3	22.1	15.7	19.1	20.8	91.2
60(W.D)	18.6	19.3	15.9	19.5	26.8	93.7
9(G.D)	21.6	21.6	14.5	10.8	31.5	62.1

(1) アトマイズ条件：溶湯ノズル 3.0mmφ

溶湯温度 1050°C

(2) W.D : Liquid atomization

(3) G.D : Gas atomization



a : 噴霧媒に水を適用 (Liquid atomization)

b : 噴霧媒にガスを適用 (Gas atomization)

写真2 ケルメット粉末の顕微鏡組織

おり、これは溶湯が噴霧媒によって粉化される際の機構から明らかなことである。というのは溶湯の粉化は主に溶湯流と噴霧媒との粘性による摩擦力によっておこる剪断作用によるものと考えられ、噴霧媒であるガスと水との粘性を比較してみると後者の方が数倍高いからである。また、W.Dで製造した銅系合金粉末の見掛密度と流動度を測定してみると表2のようであり、表中に併記してあるG.Dの結果と比較すると見掛密度は可成低下している。W.Dでは冷却効果が大きいので、表面張力の作用する時間が短くなり、その結果、生成粉末は不規則形状化するものと考えられるが、このことは生成粉末の組織にも認められる。写真2はケルメット粉末の断面の顕微鏡組織であり、G.Dの場合よりも冷却効果が大きいので、結晶は微細化している、この方法によってつくられた銅系合金粉末のラトラ試験(圧粉体の尖端安定性をみる試験)による重量減少率は極めて少なく、抗折力値も高いので粉末冶金用として十分に実用できる。

表2 噴霧法によって製造した銅系合金粉の二、三の性質(200/250)

噴霧媒の種類	成分	見掛密度(g/cm ³)	流動率(sec/50g)
水	90Cu—10Sn	3.48	21.0
	70Cu—30Zn	2.55	21.0
	70Cu—30Pb	3.55	20.0
ガス(N ₂)	90Cu—10Sn	4.68	14.3
	70Cu—30Zn	3.00	23.4
	70Cu—30Pb	5.40	14.5

快削性非金属介在物の挙動について

近年、超強力合金鋼、ステンレス鋼、高合金工具鋼など、その用途に対して極めて高い性能が要求される鋼種が多くなった。然し乍ら、これら合金鋼はそれを機械加工するのに普通の構造用鋼に比べ数倍の切削費がかかるので、被削性が良好でかつ機械的性質、耐食性などが害されない鋼材料を製造することが一つの大きな問題点であると思われる。

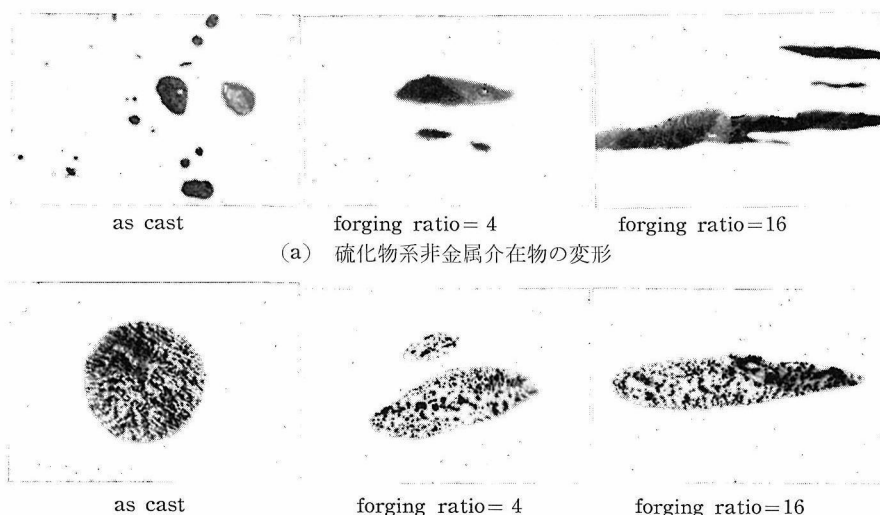
従来から鋼材料の被削性を改善した快削鋼と呼ばれる鋼種がある。そのうちには S、Se、(Te) などの非金属介在物を含有するものと、Pb など鋼中に金属介在物として存在する元素を含むものとに大別される。勿論、これら快削性元素を一種類だけ特に含有させたもの、及び複合的に数種類含有させて機械的性質、耐食性などの物理的、化学的性質をなるべく犠牲にすることなく被削性を向上せしめる場合などが考えられている。更には快削性元素の種類のみならず、被削性に大きな影響を示す介在物の量、組成、形態、分布などについても研究が進められている。

製造冶金研究部加工冶金研究室では鋼中介在物研究の一環としてまづ低炭素鋼中に生成する硫化物の挙動に及ぼす Mo、S、C、各元素の効果を調べ、引続きステンレス鋼、ダイス鋼などの高級鋼の基礎となる高クロム鋼に快削性元素として S 又は Se を添加した場合の Mo の効果、ならびに酸化度、脱酸条件が硫化物、セレンアミドの形態、分布に及ぼす影響、鍛造加工によるこれら非金属介在物の変形度合などを調べ、更にこれら介在物の本質と材質に及ぼす影響について総合的に研究を進めつつある。以下その一端を簡単に紹介する。

低炭素鋼の実験では C : 0.1%、Si : 0.4%、Mn : 0.6%、S : 0.3% のものをベースとし、これに Mo : 0~2%

S : <0.6%、C : <0.4% の各試料を溶製し、これについて検鏡、清浄度測定、X線マイクロアナライザー、電解分離残渣の X線回折を行って硫化物の同定を行った。その結果 FeS を主体とする介在物を析出する条件に対して Mo を加えると硫化物の挙動を変えて、MnS を主体とする介在物に変化する相互作用が認められた。また硫黄量の高い場合 (S : 0.6%) の試料では小鋼塊においても硫化物の浮上傾向が可成り大きいことが観察された。高 C の試料では溶鋼中の S の活量が大きくなり溶解度が減少すること、及び C の増加により δ -Fe 区域も殆どなくなり溶鋼の溶融温度が低下して Mn の拡散がおくれ、且つ凝固時の残液中に S が濃縮されるなどのことにより粒界に FeS が網状に発達しているのが認められた。以上の実験結果から Mn/S の比の決定に際しては C、Mo 含有量を考慮する必要のあること、及び O₂ 含有量が S の存在形態に相当影響することなどが推察される。

一方高クロム鋼 (5~10%Cr、Mo<10%) において快削性非金属介在物の挙動を調査研究した。この場合条件として溶湯の酸化度、脱酸剤の使用を変化させたもの S 系 (4 group)、Se 系 (2 group) を作製した。各 group は Mo 含有量の異なるもの 3 試料より成っている。これらの試料について前実験と同様の試験のほか、鍛造試料の変形度合の測定を行った。その結果鋼塊中の硫化物の分布状態は溶解時の鋼中酸素含有量及び脱酸剤の条件に大きく影響を受け種々の様相を示すこと。及び Mo は分布状態、可塑性には僅かな影響を与えることが認められたが Mo の濃縮は認められない。また Se は S と類似した性質を示し本鋼種では Cr を含んだ MnSe の形成が認められるがこのセレンアミドは硫化物に比較して



(a) 硫化物系非金属介在物の変形
(b) セレンアミド系非金属介在物の変形
写真 1 熱間鍛造した高クロム鋼中の各種介在物の変形 ($\times 3000 \times \frac{1}{5}$)

可塑性が低く熱間加工で糸状に伸びにくいことが観察された。なお写真 1 は高クロム鋼を熱間鍛造した場合の硫化物及びセレンアミドの変形状況を示す 1 例である。以上のほか、高クロム鋼の使用脱酸剤 (Al, Si) の種類と量が硫化物の形態、分布に可成り大きな影響をもっていることが観察された。

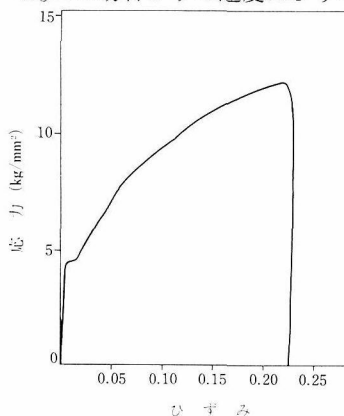
棒の衝突を利用した高速変形実験装置

材料が高速で変形するとき、通常の静的な変形に比べてどのように違った挙動を示すかということに最近非常に関心が持たれてきている。この種の高速変形の実験では、塑性波の伝播、波の反射、振動による応力測定の難しさ、試験片支持の仕方などの問題のために信頼のおける実験結果を得ることがなかなか難しい。電気磁気材料研究部高純度金属研究室では、これらの困難をできるだけ抑えて高速変形下の材料の応力とひずみの時間的な変化を定量的に測定できる実験装置を試作した。これは細長い弾性棒の中の弾性縦波の伝播が理論的に簡単に取扱えることを利用したもので、次のような特徴をもっている。

- 1) 試験片に加える応力波形の制御が容易である。
- 2) 変形時の応力の測定が明確に行なえる。
- 3) 圧縮変形であるので試験片の支持が容易である。
- 4) 大きなひずみ速度が得られる。 $(10^2 \sim 10^4 \text{ sec}^{-1})$

実験装置を図1に示す。左側の発射機は棒を高速で打ち出す作用をする。右側は装置の中心である棒系で、V型の支持台で支えられている。左から直径15mm、長さ50cmの衝撃棒、長さ1mの荷重棒及び支持棒と長さ50cmの投出し棒があり、ダイス鋼(SKD 6)でできていて、弾性限 150 kg/mm^2 以上の強度をもっている。試験片は棒と同じく直径15mmで長さは任意である。これを荷重棒と支持棒の間に置く。発射機で打出された衝撃棒が荷重棒に衝突すると棒内に矩形の弾性応力波が発生し、荷重棒内を右方に伝播して試験片を圧縮変形する。波の一部は反射波として荷重棒中を左方に戻って行き、また試験片を通過した波は透過波として支持棒中を伝播して投出し棒に入り、投出し棒は右方に飛ぶ。荷重時間は衝撃棒の長さ

によって決まり、50cmのとき約 $200 \mu\text{sec}$ である。荷重棒と支持棒に抵抗線ひずみゲージを貼っておけば弾性棒内の応力の時間的な変化をシンクロスコープで記録することができる。99.99% アルミニウムの焼鈍材を変形したときに得られた応力—時間曲線の一例を写真1に示す。これから、入射波、反射波、透過波の時間的な変化を分離解析し、弾性論に基づく計算を行なって試験片の両端の応力と変位を求めることにより、間接的に動的な応力—ひずみ曲線を得ることができる。図2は写真1の結果を解析して得られた応力—ひずみ曲線である。この場合ひずみ速度はひずみとともに変化し、



およそ $1.5 \sim 1.0 \times 10^3 \text{ sec}^{-1}$ であった。このようにして種々のひずみ速度における応力—ひずみ曲線を求めることにより、応力—ひずみ—ひずみ速度の関係を知らることができる。

図2 動的応力—ひずみ曲線
(試料は高純度アルミニウム焼鈍材)

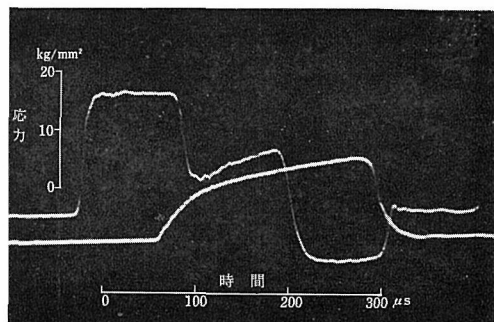


写真1 ひずみゲージの記録
(上は入射波および反射波 下は透過波によるもの)

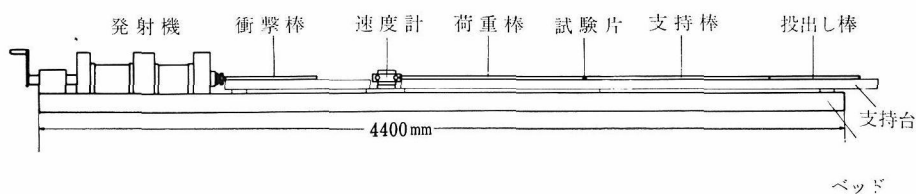


図1 高速変形実験装置

西欧出張雑感

鉄鋼材料研究部長
理 博 河 田 和 美

フィンランドのヘルシンキ市で行はれた1963年の国際溶接会議への出席と西独のマックスプランク金属研究所の訪問を兼ねて約50日の欧州出張を命ぜられ、猶その途中若干の研究所を訪問した。このニュースでは己に溶接会議のことや、方々の研究所のことは度々報告されているので、私なりに印象に残っていることをのべてみよう。

英国の BISRA とフランスの IRSID は鉄鋼研究では世界の最高水準のものとされている。両方の研究所で高炉内の反応の状態に関係のある研究をしていた。BISRA では高炉を輪切りにした状態のものを考え、その上部と下部の圧力、温度等を順々に与えていって反応をしらべるという微分的な方法をとっていた。これに反して IRSID では一本の管を高炉と考え、その外側の加熱炉を次第に動かし、上方からガスを流し、これによって一部分づつを高炉に対応する条件にして研究を行っていた。同じ目的の研究であるが夫々独自の着想で研究を進めていた。

BISRA の連続鋳造や重油酸素バーナーによるスクラップ溶解の研究は古くから知られていたが、最近連続製鋼の研究を始めていた。高い所から溶銑を流し、途中酸素で吹くというやり方でまだほんの第一歩ともいふべきところであるが、長期の研究としてこういうことを取り上げた勇氣は見上げたものと思われた。一方 IRSID の純酸素上吹転炉の研究は最近いよいよ調子を上げ、転炉のそばには測定器をいっぱいおいてやっていた。60名程度の製鋼関係の全員がこぞって一つの炉に取り組んでいた。

加工の研究分野では BISRA ではオートメーションの技術を取り入れプレス鍛造の全工程を自動制御する機械を作り上げていた。BISRA にはプラント工学研究部とか物理部の中に自動制御の研究室があって、これらが共同して研究をすすめているものが目についた。日本の鉄

鋼関係の技術導入中には設備関係のものが多く、プラント工学の研究の話はあまり聞かない。境界領域の研究はむづかしいと考えさせられた。IRSID の加工の研究は基礎研究の部門で行われていて高温における振りの研究で、これによって材料の加工性をしらべていたが、基礎的研究であるにせよそのデータは直接に実際の作業にむずびついている極めて有効な研究と思われた。

BISRA にしろ IRSID にしろ、やっている研究は新しい着想に基づく研究が非常に多い様に思われた。新しいアイディアから出発した研究は成功の率は必ずしも高くはない、かなりの危険性を伴ふと考えねばならない。しかしながら研究者にとってはスリルの要素やギャンブル的の要素も伴って研究の面白さを充分味わうことができる。

西欧の研究所をみていると極めて少数のすぐれた指導者によって研究が進められているという傾向を強く感じた。これは保守的傾向であり、又弊害も伴う。しかし近代科学の創始者としての西欧の誇りと伝統、一方米ソに負けまいとする気持が新しい時代のエリートをかりたてているのであろう。指導者自からも新しいアイデアを生み、又若い研究者のアイディアもすぐれたものは直ちに取り上げられるのであろう。

外国の科学を吸収するという日本の戦前の模倣主義から戦後はアメリカのデモクラシーの波におしまわれた。そして科学技術の研究の分野でも研究の組織と管理が強く叫ばれた。しかしアメリカの科学技術を大きく推進しているものは彼等の最も誇りとするバイオニアスピリットではあるまいか。これはスピリットであって紙には書いてない。研究は人間の頭脳がするもので、又人間の意慾がこれをおしすすめるものである。組織や管理は勿論大切である、しかし同時にそのすぐれた頭脳を活用し、その研究意慾を振いおこす方法はないものであろうか。

こんな話を友人に話したら、外国を見て来たら、えらく国粹主義になったねと笑われた。帰朝談をきくと、国際的の視野を広めた話と国粹的な気持ちを深めた話と二た通りある様である。何れにせよ広く世界をみることによって何物かを身につけることはよいことであろう。

☆ ☆ ☆

(通巻第60号)

編集兼発行人 吉 村 浩
印刷 奥村印刷株式会社
東京都千代田区西神田1の10

発行所

科学技術庁 金属材料技術研究所

東京都目黒区中目黒2丁目300番地
電話 目黒(712) 3181 (代表)