

# 低 温 度 と 金 屬 材 料

加 藤 正 夫

## 1. は し が き

筆者は自分で表題に關係のある研究を行つたことはない。したがつて本稿はいろいろの人々の行つた研究や實驗の集録であつて、主として低温度における金屬材料の機械的諸性質について述べることにする。

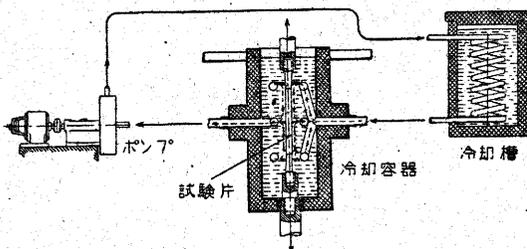
冷凍、冷房、空氣の液化、その他低温を必要とする化學工業等から種々の要求があるにもかかわらず、この方面の詳細な研究は從來比較的少いのである。それは低温度の測定装置を作ることが容易でないからである。今日諸外國においては多くの研究成果が擧げられているようである。わが國においてももつと多くの低温室を増設することが望ましい。

## 2. 測 定 方 法

低温室を作りこの中に試験機を設備して室外から驅動し、光學的測定系によつて測定する。この場合試験機の強度が充分その低温に耐えられるような構成材料が選ばれなければならない。また潤滑油が問題となるが W. D. Boone と H. B. Wishart<sup>(1)</sup> はその實驗で潤滑油を Naphtha でうすめたものを、J. B. Johnson と T. Oberg は<sup>(2)</sup> Kerosen と冷凍機用油を混合して使用している。

低温用潤滑油の問題は低温部分の機械の運轉という點で金屬材料の研究と相俟つて重要なことである。

次に測定すべき試験片とその支持部分だけを冷却する方法がある。F. Bollenrath<sup>(3)</sup> は低温引張り試験に第 1 圖に示すような装置を使用している。冷却劑には石油、ペンタン、メチルアルコールの混合物を使用し、冷却槽内で所要温度に冷却された冷却劑は試験片を冷却する容器内に送られ、上下にある環狀のジェットから噴出して中央部の流出口からポンプに行く。



第 1 圖 冷却装置 (冷却劑は矢印の方向に流れる)

次に衝擊試験のように試験片を試験機に手取り早くセットできて短時間で試験することのできる場合には試験温度迄冷却した試験片を低温槽から取り出して行う方法でもよい。この方法に關して W. Schwinning と F. Fischer<sup>(4)</sup> は所定温度に保つたアルミニウム合金の試験片を低温槽から室温に取り出し 2 秒, 3 秒, 4 秒後の温度變化を測定している (第 1 表) この結果によれば 4 秒後でわずかに 1.6°C しか上昇しないことがわかる。

第 1 表 冷却槽から取り出した後の試験片の温度變化

試験片の冷却温度	20°C 迄の温度差	2 秒後の温度變化	3 秒後の温度變化	4 秒後の温度變化
+ 80°C	-100°C	0.8°C	1.2°C	1.6°C
- 30°	- 50°	0.4°	0.6°	0.8°
+ 70°	+ 50°	0.4°	0.5°	0.7°
+120°	+100°	0.8°	1.1°	1.5°
+170°	+150°	1.1°	1.6°	2.2°

## 3. 金屬の一般的性質

純金屬の結晶構造は一般に面心立方、體心立方、稠密六方の比較的簡単な格子型の何れかに屬する。たとえばニッケル、銅、アルミニウム、銀、金、鉛等は面心立方格子であつて、何れも今日得られる最低の温度に至る迄展延性を失わない。面心立方格子の中でもイリジウムやロジウムのような熔融點の非常に高い金屬だけが低温度でかなり脆くなる。

これ以外の實用金屬は熔融點より相當低い温度になれば必ず脆くなるのである。その理由は面心立方格子は空間格子の格子點を結んで得られる平面、すなわち Bragg の平面が最も多くとり得るのであつて、その中原子密度の大きな面が迂りやすく、いはゆる結晶の迂り面になるからであると説明される。

では合金した場合にはどうなるかという、大抵の金屬は合金元素の量が少いときには固溶體を形成し、合金元素すなわち溶質原子は母格子を形成する溶媒原子の格子點を不規則に置換したものとなる。したがつて格子型はそのままである。ただ原子容が異なるために格子は歪んだ状態となり、迂り抵抗が増し、Vegard の法則が示すように強度はほぼ直線的に増加する。しかし、後で述べ

るように、そのために低温度の展延性が低下することなく、むしろモネルメタル (60% Ni, 40% Cu, 面心立方の均質組織) のように増加しているものが多い。また合金によつてその量は異なるが、合金元素が或る限界量を超えると金属間化合物があらわれるが、これは一般に他の格子型をとり、面心立方の母格子の中に散在した不均質組織となる。この金属間化合物は低温度では脆くなるのであるが、その量が餘り多くなければ、多くのアルミニウム合金にみられるように、合金全體としては脆くならないのである。

次に各種の機械的性質について述べよう。

4. 抗 張 力

一般に結晶構造の如何にかかわらず温度の降下とともに金属または合金の抗張力及び降伏點は増加する。その増加の程度は金属又は合金の種類によりまた同一金属であつても處理の相違によつて異なるのである(第2表)。(5)

第2表 抗 張 力 (kg/mm<sup>2</sup>)

名 稱	Fe	Ni	Ni	Mo	Mo	Cu	Al	Al
純度(%)	C : 0.04 Si : 0.07	Fe : 0.15	Fe : 0.15	99.9	99.9	99.75	99.4	99.4
	Fe : 殘餘	Ni : 殘餘	Ni : 殘餘					
處 理	鍛 鍊	焼 鈍	線 引	焼鈍	線引	線引	鑄造	線引
抗張力 15~25°	36.2	43.6	93.13	44.4	104.1	51.3	5.3	19.0
抗張力 -185°	81.9	60.5	109.0	67.5	149.1	61.1 (-80°)	9.8	21.0 (-60°)

5. 伸 び

面心立方格子の金属及び合金では温度の低下と共に増加するが、他の格子型に属する金属では一般に低下する。第3表(5)中鐵(この例では 0.4%C を含有するからペライトが鐵の母格子中に散在した不均質組織) とモリブデンは體心立方格子であり、-185°C では伸びが0となっている。

6. 硬 度

一般に温度の低下と共に増加する。この傾向は面心立

第3表 伸 び (%)

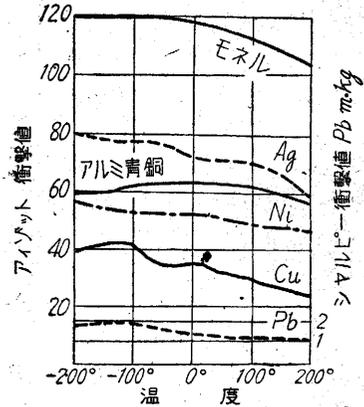
名 稱	Fe	Ni	Ni	Mo	Mo	Cu	Cu	Al	Al
純度(%)	C : 0.04 Si : 0.07	Fe : 0.15	Fe : 0.15	99.9	99.9	99.75	99.75	Si : 0.37 Fe : 0.26	Si : 0.37 Fe : 0.26
	Fe : 殘餘	Ni : 殘餘	Ni : 殘餘					Cu : 0.12 Al : 殘餘	Cu : 0.12 Al : 殘餘
處 理	鍛 鍊	焼 鈍	線 引	焼鈍	線 引	常温壓延	焼 鈍	焼鈍線引	焼 鈍
伸 び 15~25°	25	23.5	1.06	0	4.7	16	58.0	41.5	93%線引 16.0
伸 び -185°	0	22.0	3.12	0	0	19	63.0	47.5	18.0

方格子の金属では明瞭であるが、鐵では一旦下つてまた上つている(第4表)。(5)

S. J. Rosenberg が各種のアルミニウム合金について -80°C迄測定した結果によれば壓延材では悉く温度の低下とともに硬度が増加しているが、鑄物では減少しているものもある(第5表)。(6)

7. 衝 撃 値

金属材料が脆いか否かの判定基準となるもので、低温度の機械的性質としては最も重要である。面心立方格子に属する金属及びその α 固溶體は全く安全である(第2圖)。僅かではあるが必ず衝撃値が増加している。



第2圖 塑性金属の衝撃値と温度の関係

第4表 ブリネル硬度

名稱	純 度	處 理	15~25°	-20°	-80°	-185°	-253°
Fe	電解(9989)	—	80	77	77	230	232
Cu	99.9	750°焼入	51	52	53	66	130
Ni	C : 0.07 Mn : 0.38 Ni : 残り	鍛 造	127	—	—	208	218
デュラ ルミン	Cu : 4.1 Mg : 0.57 Fe : 0.42 Mn : 0.75 Al : 残り	壓 延	132	—	—	135	199

第 5 表 低温度に於けるアルミニウム合金の硬度

材質	合金名	硬 度				
		+30°	+20°	0°	-40°	-80°
鍛 造 合 金	17SRT(ロックウェル“B”)	73	—	75.5	75	77
	17ST ( “ )	67	—	68	67.5	70.5
	24SRT( “ )	77	—	78.5	79.5	82
	24ST ( “ )	75	—	75	77	77
	25SRT( “ )	68	—	71	72	73
	25ST ( “ )	65	—	67	68	69.5
金	27ST ( “ )	72.5	—	73.5	75	77.5
	3S (ロックウェル“E”)	41	—	45	52	56
金	52S ( “ )	68	—	69.5	71.5	74
	195T 4( “ )	—	82	85	82.5	84.5
鑄 造 合 金	220T 4( “ )	—	87	87.5	86	85
金	355T 4( “ )	—	83	81.5	86.5	89
	356T 4( “ )	—	65	65	69	71

第 6 表 低温度におけるアルミニウム合金の衝撃値

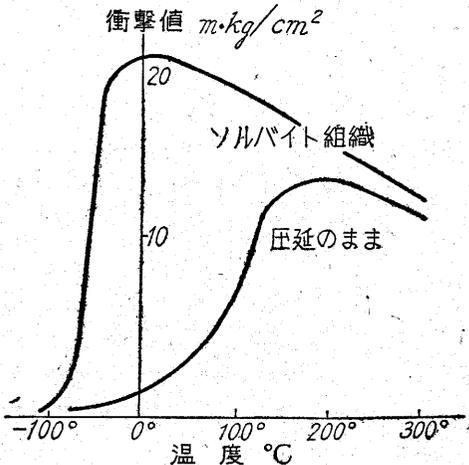
合金名	状 態	シャルピー値 ft-lbs					
		35°	0°	-20°	-40°	-80°	
鍛 造 合 金	3S {	加工縦方向	35.5	34.2	38.8	35.5	35.5
		“ 横方向	32.5	31.3	34.0	33.2	34.8
	17S {	加工縦方向	15.0	15.0	17.5	17.9	18.1
		“ 横方向	8.7	8.6	9.9	9.9	10.0
造	17SRT {	加工縦方向	11.9	11.4	13.2	12.8	13.0
		“ 横方向	7.5	7.6	8.0	8.0	8.3
	24ST {	加工縦方向	11.5	11.5	12.8	12.6	11.5
		“ 横方向	7.4	7.4	7.9	7.6	7.0
合	24SRT {	加工縦方向	8.1	8.3	8.8	9.5	9.0
		“ 横方向	5.0	4.8	5.3	5.3	5.0
	25ST {	加工縦方向	13.1	13.1	15.0	14.8	15.7
		“ 横方向	10.5	10.1	11.1	11.9	11.5
金	25SRT {	加工縦方向	10.2	10.3	11.2	11.5	11.9
		“ 横方向	6.9	7.0	7.5	7.9	8.1
	27ST {	加工縦方向	6.1	6.3	7.5	7.2	7.5
		“ 横方向	4.6	4.7	5.2	5.1	5.2
金	52S {	加工縦方向	57.5	57.0	65.0	62.3	57.3
		“ 横方向	25.0	25.7	27.2	27.3	26.8
鑄 造 合 金	195T 4		3.9	4.1	5.0	4.6	5.0
	220T 4		6.8	5.9	5.9	5.4	2.9
	355T 4		1.5	1.6	1.8	1.7	1.9
	356T 4		1.9	1.9	2.0	2.0	1.9

第 6 表は (6) 各種のアルミニウム合金について S. J. Rosenberg が測定した値である。表中鑄造合金 220 の値が低下しているのは、この合金は 10%Mg を含む Al-Mg 二元合金であつて中間相 β が結晶粒間に網状に多量析出していることに基因する。

他の結晶格子をもつ金属はいずれも低温度では衝撃値は 0 に近付くのである。稠密六方格子の亜鉛とマグネシウムは常温でも粘くない金属であるが温度の低下とともに次第に衝撃値を失つていく。同じ稠密六方格子のカド

ミウムは、體心正方格子の錫と共に室温では粘り金属であつて、-50°C 附近迄はさらに衝撃値を増すがこの温度以下になると急激に脆化してしまふ。これを低温脆性 (cold shortness) と稱する。

鐵及び鋼も同様な傾向があり、この低温脆性をあらかず臨界温度が比較的室温に近いところにある。軟鋼(0.05%C) について行つた Körber の研究によれば (第 3 圖)、歴延のままの材料で



第 3 圖 軟鋼の衝撃値

は 170°C で 14kg·m/cm<sup>2</sup> という最大値を示し 30°C で僅かに 0.9 kg·m/cm<sup>2</sup> であるが、これを熱処理してソルバイト組織にすると最大値が 0°C における 21 kg·m/cm<sup>2</sup> となり、低温脆性は -70°C 迄下つてしまふ。

このように化学成分は同一でも組織の變化によつて、低温脆性を示す温度が移動することがわかるであらう。したがつて組織がこれらの中であれば脆性温度が室温に近い方にずれてくる。鋼材を低温度で使用する場合はこの點を充分注意する必要がある。

また亜鉛板も鐵や錫を不純物としてある程度の量を含有するときには著しい低温脆性を示すのである。

第 7 表 3 種類の特種鋼の疲勞限

鋼 種	試 験 温 度	
	室 温	-40°C
3.5% ニッケル鋼	42kg/cm <sup>2</sup>	48kg/mm <sup>2</sup>
クロム-モリブデン鋼	67.5	69.5
18-8 不 銹 鋼	23.5	29.5

8. 疲 勞 強 度

疲労限は一般に温度の低下と共に増加する。H. W. Russell と W.A. Weleker が3種類の特殊鋼について行つた結果を第7表に示しておく。これらの室温と -40°C の S-N 曲線は大體平行する。

次に K. Bungardt (7) がアルミニウム及びマグネシウム合金について繰返し曲げ疲労試験を行つた結果は第8表と第9表に示す通りである。いずれの合金系についても疲労限は温度の低下とともに増加する傾向が明らかである。

9. ヤ ン グ 率

測定方法としては引張り試験片にエックステンソメーターを取り付けて測る方法と、一端を固定した試験片の自由端に強制振動をあたえ、振動数を變化させて共鳴が起るときの振動数から Davis の式により算出する方法がある。一般に室温の数値より幾分増加する傾向にある。

10. む す び

今後益、低温における各種の研究並びにその應用が擴大することは多言を要しない。本特集號にこと寄せてそ

第9表 低温度に於ける輕合金の疲勞強度  
繰返し曲げ (20×10<sup>6</sup>) kg/mm<sup>2</sup>

合金	試験温度	+20°C	-35°C	-65°C
1		16.30	20.25	18.75
2		15.30	15.60	18.00
3		13.50	16.80	18.75
4		17.70	18.10	18.50
5		14.30	13.75	14.60
6		15.00	15.25	15.50
7		7.50	8.20	9.25

の任でないことを顧みずあえて本稿を草した次第である。青山新一博士の著書“低温度における金属の性質”に負うところが多い。誌上で厚く御禮申上げる次第である。

参 考 文 献

- (1) W. D. Boone, H.B. Wishart, Proc. Amer. Soc. Test. Mat., 35, (1935), 147
- (2) J.B. Johnson, T. Oberg, Metals & Alloys, 4, (1933), 25.
- (3) F. Bollenrath, J. Inst. Metals, 48 (1932), 255.
- (4) W. Schwinning, F. Fischer, Z. Metallk., 22 (1930),
- (5) 青山新一, 最新金属学大系, 第8巻
- (6) S.J. Rosenberg, J. Res. Nat. Bur. Stand., 25, (1941), 673.
- (7) K. Bungardt, Z. Metallk., 30 (1938), 235.

第8表 アルミニウム及びマグネシウム合金組成表

合 金	Cu%	Mg%	Fe%	Mn%	Si%	Zn%	Ti%	Al%
1 (Al-Cu-Mg)	4.39	1.08	0.46	1.16	0.63	—	0.01	Rest
2 (Al-Cu-Mg)	3.74	0.91	0.47	0.84	0.42	—	0.01	〃
3 (Al-Mg)	0.03	4.68	0.35	0.26	0.15	—	0.007	〃
4 (Al-Mg)	—	6.57	0.70	0.18	0.11	—	0.007	〃
5 (Al-Mg)	0.04	8.93	0.44	0.28	0.12	—	0.01	〃
6 (Mg-Al)	0.04	Rest	0.04	0.18	0.027	0.97	—	6.86
7 (Mg-Mg)	0.006	〃	—	1.72	0.005	0.032	—	0.022

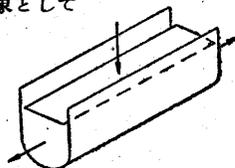
速 報 38

流體抽出の流體力學と  
その應用 (第1報)

宮 津 純

摩擦ポンプおよび齒車ポンプの研究をすすめる目的から、粘性流體の流れを對象として

(1) 矩形板を横断面の一樣な流路におしこむ場合 (第1圖) の、壓力分布および流速分布を定める基本式をもとめ、齒車ポンプについて齒のかみ合いによる流れを論ずる出發點とした。



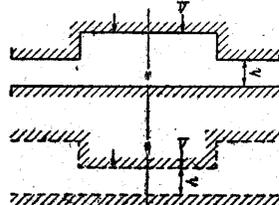
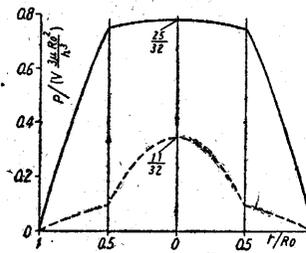
第1圖

(2) 任意の外形をもつ二つの平板または曲板を、平行に、あるいは僅かに傾けておしつける場合 (第2圖) の、壓力分布および流



第2圖

速分布を定める基本式をもとめた。これは軸受内の油の流れを論ずる基本式とわずかに相違している。



第3圖

今後に應用の目的をもつているが、本文では手近かな適用例として、板を平行板におしつけた種々の例について壓力分布を検討した。第3圖はその例で、 $p$  は壓力、 $V$  はおしつける速度、 $\mu$  は粘性係數、 $h$  は板の間隙、 $R_0$  は半径をあらわす。引き離す場合には  $V$  の向きが變り壓力も負となる。

(1950. 6. 10)