

冷間鍛錬による金属の超表面硬化

(日本鐵鋼協會第五回講演大會講演)

尾 藤 加 勢 士

第1編 密集鋼球衝撃による表面硬化

1. 原理
2. 機械装置
3. 操業法
4. 實施の數例
5. 金屬の硬度検査

6. 低溫焼戻又は磁氣による冷間加工金属の硬度増加

第2編 予の實驗

1. 機械装置
2. 被硬化物と鋼球の落高
3. 各種鋼に対する硬度増加と低溫焼鈍

4. 表面超硬化の實用的價値

- (1) 彈頭の超表面硬化
- (2) 満倅鋼板の表面硬化
- (3) 摩擦試験
- (4) 刃具の硬化

第1編 密集鋼球衝撃による表面硬化

1. 原理 金屬は一般に冷間鍛錬により 1—5 倍の抗力を増加することは從來より知られたる事實なり。

永く使用せられたる鐵道軌條又は車輪外輪の表面硬化せるに着想し或る學者はベンデュラム硬度計を用ひて同様の硬化を得んことを試みたり即ちベンデュラム硬度計により普通の如く第1回の試験をなしたる後振子を右に次に之を左に傾け次て之を戻して垂直の位置を取らしめ然る後其の同一場所の第2回の硬度を測定す、斯の如く逐次此の操作を行なふときは其の硬度は次第に増加し最大の硬度を示めし爾後再び硬度の減少を見る即ち第1圖上部 A 曲線に示めすが如し。

鋼にありては其の焼入せられ又は滲炭法により表面硬化せられたるものと雖之に適當の方法を以て其の表面のみに冷間鍛錬を加ふることを得べし是即ち超表面硬化なる言葉の採用せられし以所にして“Cloudburst”と稱する方法發明の端緒なり。

此の方法は特別に製造せられたる硬き鋼球を一定の速度を以て硬化すべき金屬の表面に衝突せしむるものにして此の鋼球の雰圍氣 “Atmosphere” を作る爲めには 2 つの方法あり、第1は高度を規正し得る高所より鋼球を落下せしむることにして鋼球の連續的循環の爲めにはエレベーター及コンベヤーを以てす、他の方法は羽根 “Vane” を有する迴轉子(速度を加減し得)に緩傾斜面により鋼球を注入し之を上方に反跳せしむるもの之なり。

2. 機械装置 第2圖は英國人 E. G. Herbert 氏の考案による機械装置の一例にして Cloudburst Testing and Work Hardening Machine と稱し英國マンチエスター B. & S. Massey L. to にて發賣す、S は前後左右に移動し得る臺にして硬化せらるべき金屬の位置すべき所とす、P は漏斗にして

鋼球を承け垂直管に導入するものにして其の上下により鋼球の落高を加減し得、Bはバッケットにして落下せる鋼球を收容す、mは目盛にして最大4米あり漏斗の高さ即ち鋼球の落高を定むるものなり。

第2圖に示めせるものは硬度高き中経3mmの特殊の鋼球20,000個を有し人力を以て鋼球を漏斗に裝入するものなれども大型のものはエレベーターを有し100,000個の鋼球を人力によるハンドル又は電動機により連續的に上部漏斗に導き又多數部品に對して連續操業をなさん爲めにはエンドレスコンベヤーを用ひ間断なく部品を硬化室内に導入するものとす。

3. 操業法 加工せらるべき金屬の硬度と鋼球の落下速度とは一定の關係あると同時に附與せらるべき金屬の最大硬度と鋼球の最終速度とも一定の關係あるものなり。然らざれば金屬の表面に凹痕を生ず即ち無制限に鋼球の速度を増加するときは金屬の表面は硬化することなく徒に粗鬆となるものなり。

實施に當り鋼球の落高を決定するには1個の鋼球を以て硬化すべき金屬の表面に落下し逐次其の高さを増加し擴大鏡を以て表面に凹痕を認め得べき高さを以て定むるものとす。

第3圖は炭素鋼の焼入せるものゝ表面硬化を施せるものにして表面の硬度は75.7を示し内部に至るに従ひて次第に硬度を減少する景況を認め得べし。

此の方法により幾何迄硬度を増加し得べきかはペンデュラム試験機を以て定め得べし即ち金屬表面の同一個所を連續して硬度を測定するときは硬度は1回毎に増加し終に最大値を示めし豫後は再び降下す但し實際に於ける硬度增加は測定したるものより約12%を減す第1圖上部のA曲線はペンデュラム試験機による硬度增加同下部のB曲線はクラウドバーストによる硬度增加の景況を示めす。

4. 實施の例 第1表は代表的金屬のCloudburst法による硬度增加を示めすものにして満俺鋼耐錆鋼に於ける硬度增加の著大なるものに注意を要す。

5. 金屬の硬度検査 鋼球霧圏氣中に於ける表面硬化法の應用として更に重要な他の一面向あり即ち鋼球の落高を丁度加工物の表面に疵を生ぜざる程度に定むるときは所望の硬度を有せざるものにありては表面に凹痕を生じ粗鬆となるべし例へば數個の焼入せる鋼部品若くは表面の一部に軟き部分を有する鋼を所定の落高を有する鋼球霧圏中に置くときは前者にありては硬度の規定以下に低きもの後者にありては其の軟き部分を検出することを得べし之をCloudburst Hardenes Testingと稱す、此の方法によれば現在の機械を以て1分間に200,000個の多數の成品の硬度検査をなすことを得、若し機械の能率を増加せば殆ど無限に近き數を検査し得べし即ち一定數の成品をコンベヤーにより逐次鋼球霧圏氣中に送入するときは之より出でたるものは恰も盆中にある櫻桃の腐敗せるを摘出すると同様の操作にて其の不合格品を撰出し得べし。

此の方法の一例として軟鋼の一部を滲炭せざる如く被覆を施して之に滲炭法による表面硬化をなしたるものを鋼球霧圏氣中にて處理せるものは其の表面恰も鏡面の如き光澤を有するも滲炭せられざる

部分即ち軟き部分のみは光澤なく明瞭に之を判別し得ること第4圖寫眞に見るが如し。

第1表 代表的金属の得られたるペンドュラム硬度

作業回数	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
Mild steel	21.2	30.4	30.4	30.7	31.5	30.4	...	...	...	...	...
Manganese steel	21.0	45.5	52.4	54.0	56.2	57.2	44.6	...	...	...	...
Stainless steel A	18.0	38.2	41.9	43.1	44.0	43.8	...	...	...	...	...
Stainless steel B	19.7	41.2	45.4	47.3	48.2	49.8	50.3	51.5	52.3	52.9	49.6
Stainless steel C	27.5	35.6	35.8	36.3	36.5	36.2	...	...	...	...	...
Stainless iron	19.6	32.5	31.6	30.4	...	...	...	...	...	...	...
Hard carbon steel	55.4	69.0	70.7	70.8	71.4	70.0	...	...	...	...	...
Hard-Ni steel	54.5	81.0	85.2	88.7	87.3	...	...	...	...	...	...
Cast iron	30.0	36.4	37.5	38.2	40.6	40.8	40.2	...	...	...	...
Brass	19.4	32.0	32.0	31.8	...	...	...	...	...	...	...
Copper	6.8	17.5	19.8	20.0	21.5	23.5	23.5	23.7	24.4	24.2	...
Aluminium	5.5	9.8	10.1	10.3	10.7	10.6	...	...	...	...	...

備考 線を附せるは最大硬度を示す。

6. 低溫焼戻又は磁氣による冷間加工硬化金属の硬度増加 冷間加工をなせる金属は低溫度 400°C 以下の焼戻又は枯し“ageing”により内部張力の一部を回復して抗張力伸及硬度を増加することは一般に知られたる事實なり。第5圖は耐鑄鋼を電氣爐にて加熱しつゝ加工(ペンドュラム試験法により4回宛作業する)せるときは硬度増加(Work Hardening Capacity) 景況を示めすものにして6個の點即ち P₁ P₂ P₃ の最高 D₁ D₂ D₃ の最低部あり。是等最高及最低部は地金の品質に關するものなるを以て一つの地金を撰定せば其の地金につき焼戻溫度を決定せざるべからず。第6圖はペンドュラム試験機による硬度増加 Cloudburst による硬度増加及前例 P₃ に相當する溫度に於ける焼戻による硬度増加を示めすものなり。

焼戻又は枯し(ageing)による如斯き變化は磁氣的處理にても得らるゝものなり(磁性金属のみ)。

Cloudburst により硬化せる鋼の試片の硬化面を強き磁石に接し小鎌を以て裏面を輕打し次に試片を 90° 宛廻轉し同様に操作すること 50 回次て之を反對方向に廻轉して 50 回同様の操作をなしたるに其の硬度増加恰も P₃ 點にて焼戻せると同等の效果を得られたり。

第2表は Cloudburst, Ageing, P₃ 點の焼戻 120° 焼戻及磁氣的處理による硬度變化を示す。

第2表 金属の硬度增加

金属	Brass	Mild steel	Invar	Invar less	Stian- less steel cast steel	5% Ni steel Hardened	Si steel	1.2% C~ steel Hardened	Ubas steel case steel	High speed geon steel pin	Gud-
元硬度	17.70T	17.10T	24.55T	24.55T	31.10T	43.18D	41.94D	41.36D	65.70D	58.56D	49.46D
クラウドバ ースト後											60.00D
											63.00D
4週間エー ディング	....	....	....	....	....	63.16D	68.96D	53.10D	73.98D	....	....
P ₃ 焼戻	31.0T	28.8T	45.3T	....	56.6T	....	....	....	....	....	....
120° 烧戻	....	....	....	....	....	71.40D	....	....	79.38D	61.48D	67.44D
磁氣的處理	....	....	....	45.10T	....	68.56D	....	55.62D	75.40D	....	....
得らるべき最 大硬度(ペンド ュラム)	31.5T	29.1T	48.0T	48.0T	63.4T	72.0D	69.9D	65.6D	81.4D	84.4D	....

備考 T Steel ball による(Brinell No=10T When T is above 28)
D diamond による(Brinell No=13.5D When D is above 22.5)

第2編 予の實驗

1. 機械装置 前編に舉げたる英國製の機械は小型のものにても其の價格約 2,800 圓にして其の眞價の判明せらるゝものとしては直ちに之を採用し能はざるを以て予は第7圖の如き簡単なる裝置を設備せり。①は木製箱にして鋼球の反跳を防ぎ且内部を見得る如く上面及前面を金網を以てす。②は落下せる鋼球の轉出する樋口にして鋼球は③なるバツケトに入る。④は鋼球を承け入るる漏斗にして⑤なるバケツは索⑥によりて上下せられ反轉して内容鋼球を漏斗に入る。漏斗の高さ即ち鋼球の落高は索⑦により加減し⑧なる目盛(最高 4 m)により決定せらる。漏斗の下底にある瓣(網により開閉し得)を開くときは内容鋼球は黃銅製管内を通して箱⑨内に落下す。黃銅管は長さ 400 mm のものを數個接續せるものなり。

硬化せらるべき試片は⑩箱内木製グレート上に位置し鋼球の球軸承用中徑 5 mm のボール 10,000 個を以てすボール中徑の大なると硬度不足なる(ブリネル硬度約 700)とを大なる缺點とす。即ちボールの中徑大なれば金屬表面に生ずる凹痕大にして表面粗鬆となり硬度小なれば硬化能力小にして 700 以上の硬度を有する金屬に對しては殆ど硬度を増加し得ざるが如し。

2. 被硬化物と鋼球の落高 前編に述べたる如く被硬化物の硬度に應じて鋼球の落高を調節せざるべからず即ち硬球の落高は丁度金屬面に目視し又は擴大鏡を以て見得べき凹痕を生ぜざるものたるを必要とす之が爲め軟金屬及硬度異なる種々の鋼を用ひ鋼球の1個を探りて硝子管内各種の高度より研磨せる金屬の表面上に落下し其の落高を決定すること第8圖の如くにして最大硬度を得んが爲めには被硬化物の硬度に應し此の曲線により落高を求むることを得べし。

3. 各種鋼に對する硬度增加と低溫燒鈍 此の實驗に於ては主として低溫燒鈍による硬度增加の關係を研究せるものなるを以て鋼球衝撃の回數稍不足の感あり從つて鋼球衝撃による硬度の增加は左程顯著ならず。

(1) 供試材料の化學成分及熱處理法

符 號	C	Si	Mn	Cr	Ni	熱 處 理 法	
						燒 入	燒 戻
SM	0.67	1.2	0.9	~	~	800°C 油	400°C 空中放冷
DSC	0.50	1.85	0.7	0.81	~	850 " "	400 "
NC	砲 身 鋼 (Ni—Cr 鋼)					850 " "	500 油
MAC	マクロン鋼 (日本特殊鋼製)					860 " "	第一次 600 油 第二次 300 空中
DM	0.55	0.22	1.25	0.15	~	800 " "	200 空中
HM	1.08	0.26	1.27	~	~	950 水	
G	銑・身 鋼 (W 鋼)					860 油	600 空中
C ₁	滲 炭 (低炭素鋼)					第一次 1,000 油	
						第二次 760 水	
C ₂	" (マクロン鋼)					第一次 900 水	
						第二次 760 油	
C ₃	" (Ni—Cr 鋼)					第一次 900 水	
						第二次 760 油	
備考	{ C ₁ C ₂ C ₃ .. 加炭剤		{ 木炭粉末 60%		滲炭の深さ { C ₁ 約 1.6 mm 約 1.2% C		
			{ 炭酸バリウム 40%		C ₂ " 2.6 mm " 1.5% C		
	同 加熱溫度及時間 900~950°C 8.5 時間					C ₃ " 2.3 mm " 1.1% C	

(2) 鋼球衝撃及低溫度焼鈍 當所設備の衝撃装置を用ひ前記各種の鋼に應する鋼球の落高を第8圖の曲線によつて見出し各20回及更に20回都合40回の落下衝撃を行ひ100~300°Cにて40分間油中焼鈍を爲す。(同一試料を逐次に增加溫度にて焼鈍)

第3表は焼入焼戻後の原硬度、20回衝撃後の硬度、40回衝撃後の硬度及100~300°C焼鈍後の硬度を示めし第9圖其1乃至其3は之を曲線圖を以て示したるものなり。

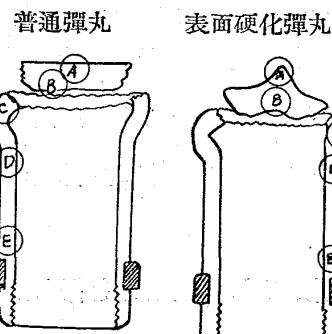
之に據つて見れば一般に硬き金属は冷間鍛錬の影響及焼鈍の效果大なるを知り硬度低きものに於ても常温にてオーステナイト組織をなせる鋼は其の作用頗顯著なり即ちHM高満倅鋼に於ける如し此事は他のオーステナイト鋼(耐錆鋼の或る種“Stebelite”)をロールにより冷間圧延をなし之を低溫度に焼鈍したるに其の影響は高満倅鋼よりも大なりしを以ても推測するに難からず。

第 3 表

種別 處理	MAC	HM	G	NC	SM	DSC	DM	C ₂	C ₃	C ₁
原硬度	260	263	304	308	538	533	588	648	678	742
20回衝撃	256	388	314	320	565	610	624	691	723	790
40回衝撃	236	440	308	303	577	612	637	709	728	800
100°C焼鈍	236	465	309	310	588	617	650	685	731	820
125 "	236	450	315	310	588	612	650	626	709	790
150 "	235	458	320	317	588	624	677	683	709	790
175 "	235	454	320	328	600	636	650	650	664	750
200 "	246	480	334	331	567	618	637	626	637	691
225 "	253	450	334	323	583	624	630	624	650	691
250 "	238	466	343	320	600	624	624	624	636	683
275 "	253	437	328	323	594	606	594	611	577	623
300 "	257	437	334	325	583	624	576	576	619	619

4. 表面超硬化の實用的價値 “Cloudburst” の實際的應用殊に軍用としては防楯鋼板浸徹力大なるべき徹甲彈及磨擦抗力大なるべき機械其の他の部品なるべし。以下二三の實驗を掲ぐるも其の實施の方法(例へば防楯鋼板に適用するには板の厚さと表面硬化層の深さに一定の比例を必要とするが如き)に研究不充分なる點あるを以て其の成果に就て斷定を與ふるを得ざるを遺憾とす。

(1) 彈頭の超表面硬化 小形砲弾の弾頭に落高130cmを以て100回鋼球衝撃(Cloudburst)をなし(表面ショア硬度70なりしもの76となれり)同一防楯鋼板に對し射擊したるに表面硬化弾丸にありては鋼板の彈痕普通弾のものより深く弾丸は兩者共下圖の如く破壊せるも弾頭は後者の扁平となりたるに反し前者は稍其の形狀を存置せり之に據て見るに表面の硬度は浸徹力を増加し得たるも弾丸本體の抗力不充分にして弾丸は壓潰せられしものと認めらる。射擊後に於ける弾丸破壊の狀態及各部の



弾丸各部硬度表 (ブリネル)

場 所	A	B	C	D	E
普通弾丸	361	341	299	231	236
表面硬化弾丸	532	308	299	275	234

硬度左圖の如し。表面硬化弾の弾頭④部の硬度著しく高きは防楯との擊突及摩擦により發生せる熱によりて金質の變化(顯微鏡によりマールテンサイト組織なるを知る)を生ぜしものにし

て普通弾にありては扁平となりたる爲め熱は廣範圍に發生しエネルギーの大部分變形に消費せらるものと推定し得べし。

(2) 満倅鋼板の表面硬化 鐵兜用地金として満倅鋼板を硬化し鉛弾の射擊により其の耐弾抗力を試験せり。

次表により其の成果を見るに硬度著しく増加せるも脆性を増加したる結果弾丸の擊突により龜裂を生じ却て耐弾抗力を減少せり。表中 A 板に見るが如く硬化作用は裏面に迄も之を及ぼし著しく硬脆となりたる感あるを以て若し表面硬度を或る程度に止め硬化の影響を所望の深さ以上に及ぼさるゝ如くし且つ前述の低溫焼鈍を施せば軟性を恢復し耐弾抗力を増大し得るにあらずや今後の研究に俟つべきものとす。

射擊の成績

符號	始の硬度 B. H.	硬化後の硬度		板厚 mm	射彈活力 k. g. m.		摘要
		表	裏		250	300	
B	218			0.999	不貫	貫通	
C	217	470	—	0.785	貫通	同上	龜裂を生ず
A	235	490	331	0.827	同上	同上	同上
満倅鋼板の化學成分		G 1.08	Si 0.26	Mn 12.53	P 0.015	S 0.04	Ni 0.5

(3) 摩擦試験 試片として耐錆鋼 (C 0.31; Cr 14.46; Si 1.85) を 1,000°C に焼入したるものと以てし對摩擦片としては黃銅の焼鈍したるものと以てせり其の條件次の如し。

試片	中徑 m/m 約	厚さ m/m	處理法	硬度 ブリネル	第1回試験 後の硬度	第2回試験 後の硬度
A 耐錆鋼	48.2	10	燒入 鋼球硬化	288	288	288
B 耐錆鋼	48.2	10	燒入のまゝ	220	225	238
a 黃銅	47.6	10	燒鈍	60	145	153
b 黃銅	47.6	10	燒鈍	62	145	153

以上 AB ab 4 個の試片を A 對 a; B 對 b としてアムステラー摩擦試験機により 2 回の試験を實施せり。第 1 回試験の成績は附圖第 10 圖の如く硬化試片に對する黃銅の減耗は特に著しきも AB 兩試片の減耗は兩者其の差異を認め難く減耗曲線相錯輒せり之れ主として試験機の不完全によるものにして兩試片は對等に相接觸せざる爲試験片の一側に凸部を生じ秤量後の取付位置毎回轉位し或る場合には前回生ぜし凸部相接するに至る等により不規則の減耗を生ずるによるものなり。此の不備を避くる爲第 2 回の試験は同一試片の表面を機械仕上を以て平滑にし連續約 10 時間即ち更に 20 萬回の回轉をなせり其の成績は附圖第 11 圖に示すが如く硬化せるもの及其の對手たる黃銅も却て減耗量の大なるを示せり。

之に依て考ふるに從來摩擦に對しては硬きもの程其の抵抗大なりと斷定せしは誤なきを保し難し即ち硬度大なると同時に分子の凝著力大なるを必要とす。鋼に對する普通の硬度增加法即ち成分の變

化、熱處理又は滲炭法の如き分子の凝集力を害せずして硬度を増加し得べきを以て硬度大なる程摩擦抵抗大なるべきも冷間鍛錬による硬度增加及窒素硬化法の如き同時に著しく脆弱となるものは摩耗却て大なるにあらずやと思はる。其れ摩擦により剝離せられたる微粉は恰も金剛砂を介して相接すると同様なるべく又其の表面は普通の仕上程度にては粗鬆にして鏽と同様の作用を呈し對手の金属は勿論自體も亦鏽目の容易に折損すると等しく摩耗の大なるを推定し得べし。當所窒化法の研究に於て Al 鋼を窒化して行ひたる摩擦試験に於ても只1回の實驗なりしも窒素硬化せしもの却て減耗の大なるを示せり。最も上述の金剛砂的の作用を減ずる爲是等の實驗に於ては試片の面に機械油を滴下し新しき木綿布を以て拭淨するの注意を怠らざりしなり。

摩擦抵抗に關しては各種の條件即ち對手物との硬度の差異機械仕上の程度及實驗の方法等により異なるべきを以て簡単に論すべきにあらざるも少くも當所に於て實施せる條件にありては窒素硬化鋼及鋼球硬化鋼共に是等の處理を施さざる同一鋼に比し摩耗量の却て大なりしは争ふべからざる事實なり。

(4) 収具の硬化 高速度鋼製収具の刃尖を鋼球により硬化し 600°C 以下にて適度の焼戻をなすときは著しく硬度を増加し切削能力を增大すべきは文献の報するところなり當所に於ても高速度鋼及低満倅鋼(Mn 1~2%)の収具に之を適用して其の切削試験を實施せんとしあるも今尙ほ發表の域に達せざるを遺憾とす。

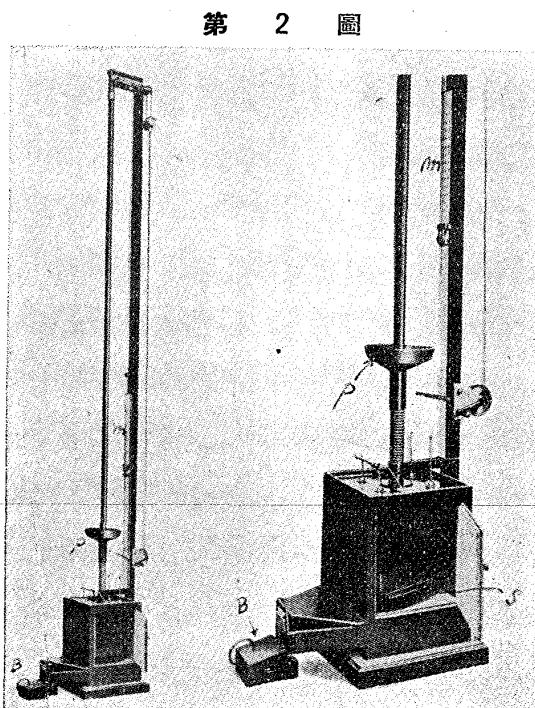
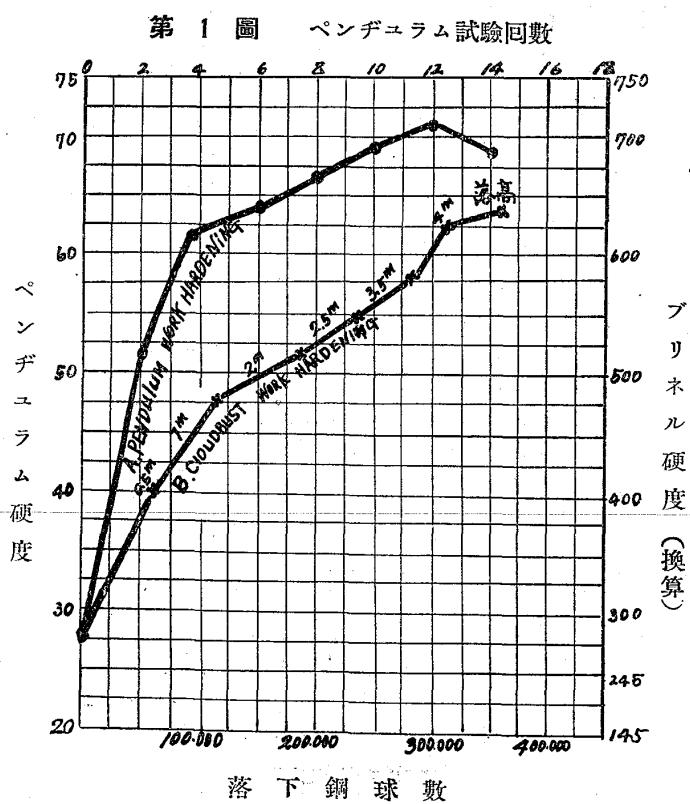
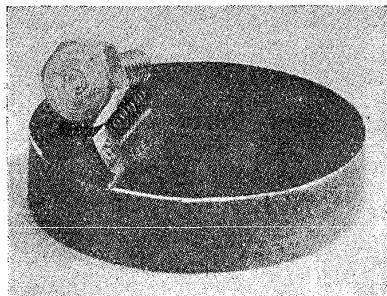


Fig. 1. Complete Machine

Fig. 2. Bottom portion only
8in. "Cloudburst" Hardness Testing Machine

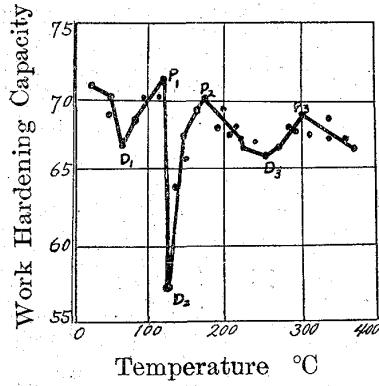
第 4 圖



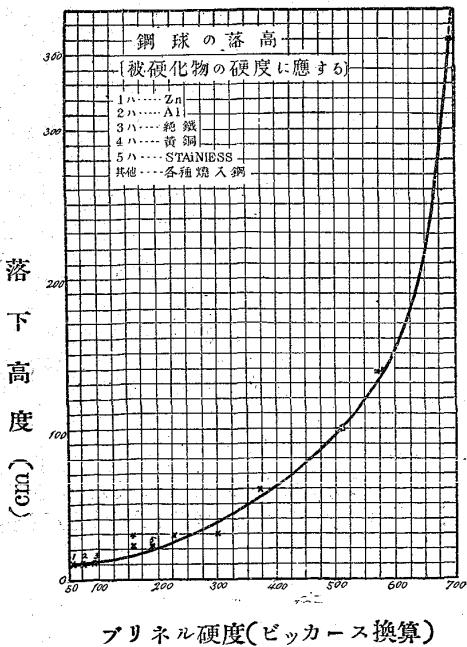
Mild steel case hardened and Superburdened the letter H was left and was Revealed by the Cloudburst Note the Mirror-like surface of the Superburdened case

第 5 圖

Temperature Work Hardening Curve of Stainless Steel

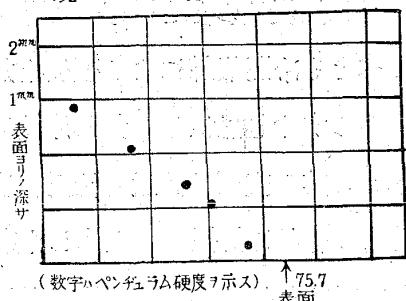


第 8 圖



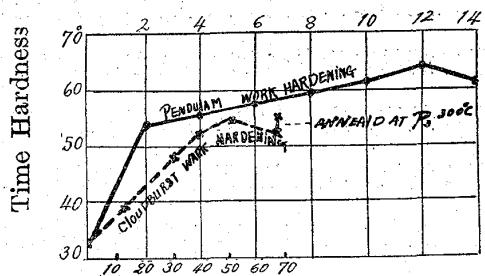
第 3 圖

焼入せる炭素鋼の表面硬化



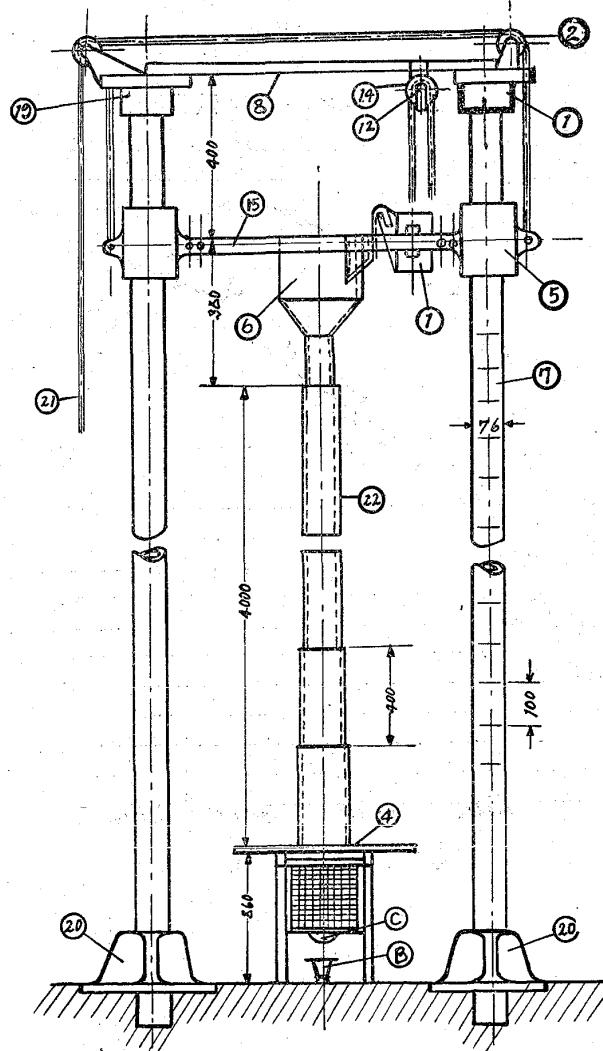
第 6 圖

Stainless Steel Work Hardening by Pendulum and by Cloudburst and Annealed At P₃

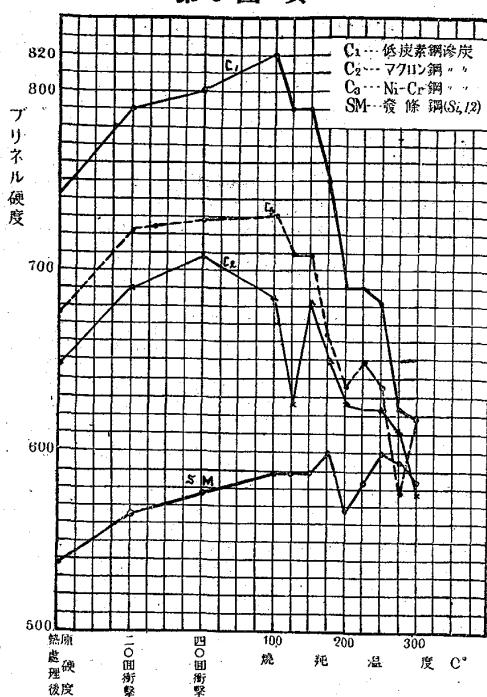


Cloudburst Treatment Mim.

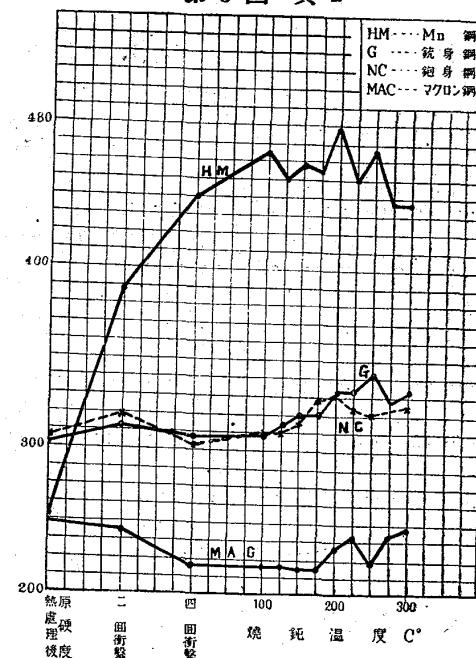
第 7 圖 密集鋼球衝擊裝置



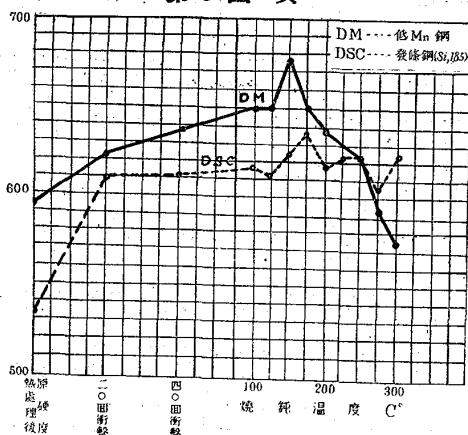
第9圖 其1



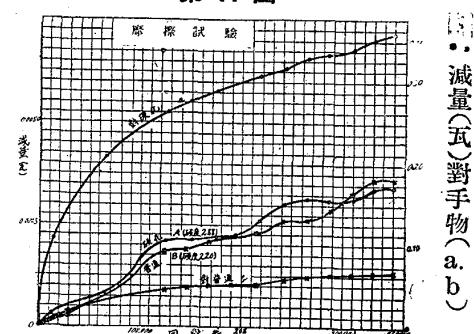
第9圖 其2



第9圖 其3



第11圖



第10圖 摩擦試験

