

銅線製作法概要

Outline of Copper wire Manufacturing

會員 申 昌 均

內容概要

電氣에 使用될 銅線의 製造過程과 熔銅作業에 不純物의 除去에 對한 影 響과 排除作業 壓延 伸長作業에 對하여 常法의 由로 必要量을 論述함.

一 熔銅作業

熔銅作業은 銅을 熔解하여 銅中에 包含된 不純物과 氧化물을 排除하여서 Tough rich 銅을 鑄造하여 Wire Bar 를 造作하는 作業이다.

鑄조 容量이 큰것은 機力과 Air lift 로 小容量인것은 ladle 로서 人力으로 鑄조上에 小容量의 鐵風이 갈기도록 鑄조하야 鑄를 鑄封되게 加熔解하면 銅中에 있는 不純物인 輕金屬과 Cu_2O , SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , MnO , 等의 酸化물이 鑄조되어 鑄液表面에 浮遊된다음 前面에서 除去하게 된다. 이作業을 熔銅作業이라 한다.

그러나 熔銅作業에서는 不純物에 酸化가 若干 될뿐임으로 一般 機力 高溫으로 加熱하여 酸化作業을 促進시키기 爲하여 鐵材殘件機로 熔解를 叩打殘件傳播시켜서 熔解를 躍動시키는 方法과 壓縮空氣를 吹入 或은 熔解中에 挿入하여 試料으로서 鑄作하는 方法이 있으나 前者는 後者보다 不便하며 非能率의임으로 現在는 後者를 用하고 있다. 이作業을 酸化作業이라 함.

酸化作業은 處理劑의性質, 熱料, 酸化作業方法等에 따라 時間的 差가 있으나 其作業時間은 二時間 乃至 五時間程度를 要하며 Cu_2O 6% 를 包含된 飽和狀態가 되니 以上 作業을 繼續하여도 Cu_2O 가 鑄液表面에 浮遊하여 銅의 損失을 招來할 뿐이니 試料를 떠내서 鑄定하여 作業을 하여야 한다. 如此히 된것을 Set Copper 或은 Dry Copper 라 稱한다.

上記 Set Copper 는 Cu_2O 가 6% 이하 多量으로 包含된 銅에 Conductivity, Tensile Strength, Elongation, Twisting 等 性能이 低劣됨으로 Cu_2O 을 還元할 必要가 있다. 故로 鑄液中에 生丸空氣를 投入하여 試料을 鑄造, 水壓시키며 大時에 鑄조 Cu_2O , C , Si , Al 등이 鑄液表面에서 Cu_2O 을 還元하여 Cu_2O 가 若干 銅에는 無關하며 Cu_2O 은 減少하여 C 는 還元작용하고 Si 는 CO 보다 앞서 酸化된다. 不純物 殘留는 亦도 減少되게 된다. Cu_2O 가 減少할수록 鑄조의 溫度 亦도 減少된다. CO 에 對한 酸化力은 增加한다. Cu_2O 의 減少된 效果의 原因은 鑄조液에 餘氣으로 浮遊하여 存在하게 된다.

그러나 還元이 過하면 (Overpolling) 導電率은 Max 에 到達할것이다. Casting 時에 Cu_2O 를 減少하여 多孔性이 될은 勿論이거니와 鑄液 溫度 亦도 酸化液에 浮遊되어 平均이 不足못하여 銅의 韌性 (Toughness) 이 없어 脆弱하게 되어 工業上 用途에 不適當하게 된다. 然故로 適當한 鐵風의 Cu_2O 을 殘存 (約 0.5% 内外 即 Set Copper 包含量에 10%) 하게하여 銅의 韌性을 保固하게할 必要가 있다. 萬若 Over Polling 時에는 再次 Set Copper 로하여 Polling 을 造作하여야 할것이다. 故로 Polling 時에는 適當한 時間을 隔하여 試料를 떠내서 切斷破面과 試料表面을 肉感鑄定하여 適當한時에 中止하여야 한다.

Polling 이 完了되면 Tap-hole 에서 抽出시켜 Ladle 을 通하여 銅鑄 Mould 에 Hand Casting 을 하나 大鑄爐는 壓縮空氣나 水壓으로 Mechanical Casting 을 하고 Mould 는 Turn Table 上에 노아 半回轉時에는 Mould 가 Up Set 되어 Ingot 가 水中에 轉落하게 된다.

Casting 時 溫度는 鑄造가 低溫인時에는

Lable 에 通하는 途中에 冷却하여 固着되어 作業不能될 念慮가 생기나 萬若 溫度가 程度以上 高溫이면 Wire Bar 의 結晶粒이 커져 加工作業上 良好치 못한 結果를 招來함으로 化學成分이 同一하여도 Casting 狀態에 依하여 結晶이 다름으로 鑄造時 熔體의 溫度 速度 Mould 의 溫度等에 關係되니 作業上 注意를 要한다.

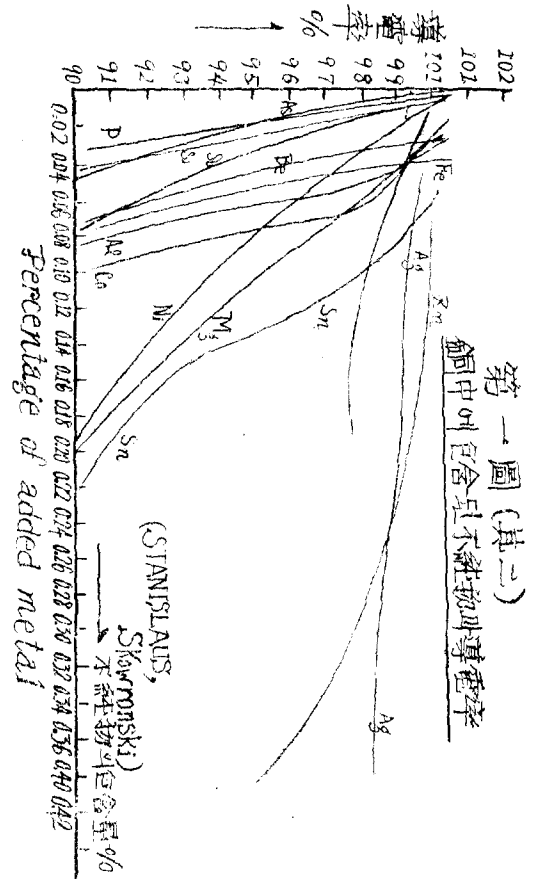
二 不純物의 影響과 排除

工業上 使用하는 銅은 純銅이 아니고 多種의 不純物이 存在하고 있는것은 周知하는바 이나 其中에는 酸素와 같이 必要한것과 오히려 微量일지라도 電氣的으로나 機械的으로나 惡影響을 招來하는것이 大端히 많음으로 排除할 必要가 있다.

銅中에 存在하는 不純物은 大概 O, Pd, Bi, As, Sb, S, Sn, Fe, Ni, Zn, Ag, Se, Te, 等이 그 包含量과 導電率에 對한 影響은 下記 第一圖 其一, 其二와 如함

元素名	Cu	O	S	As	Sb	Ag
%	99.95	0.04	0.003	0.0015	0.02	0.001

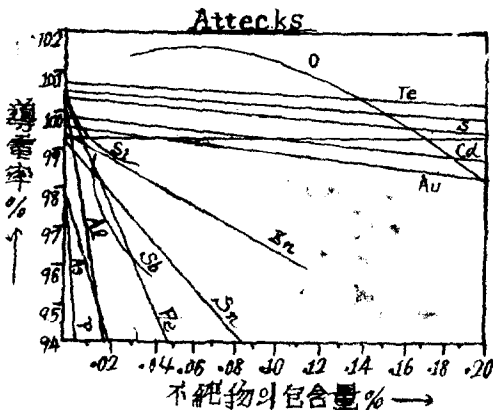
Fe	Bi	Se	Te	Pb	Bi
0.0025	0.0015	Tr	Tr	O	O



第一圖 (其二)
銅中에 包含된 不純物의 導電率

第一圖 (其一)

銅中에 不純物의 包含量과 導電率

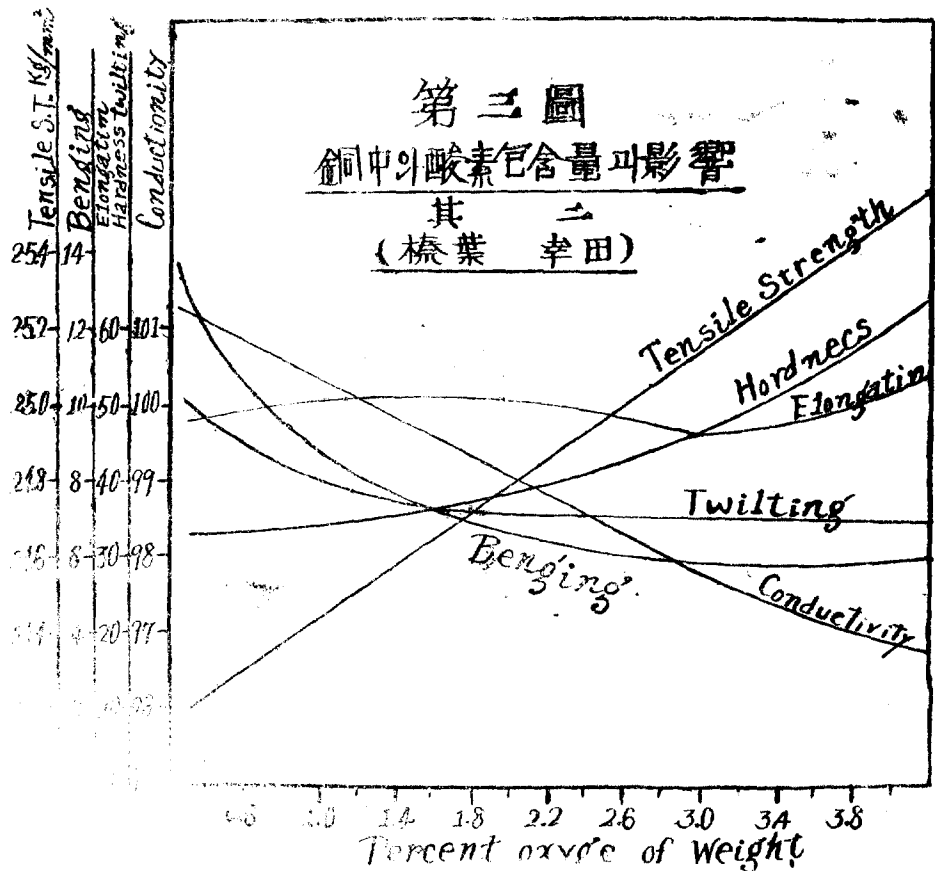
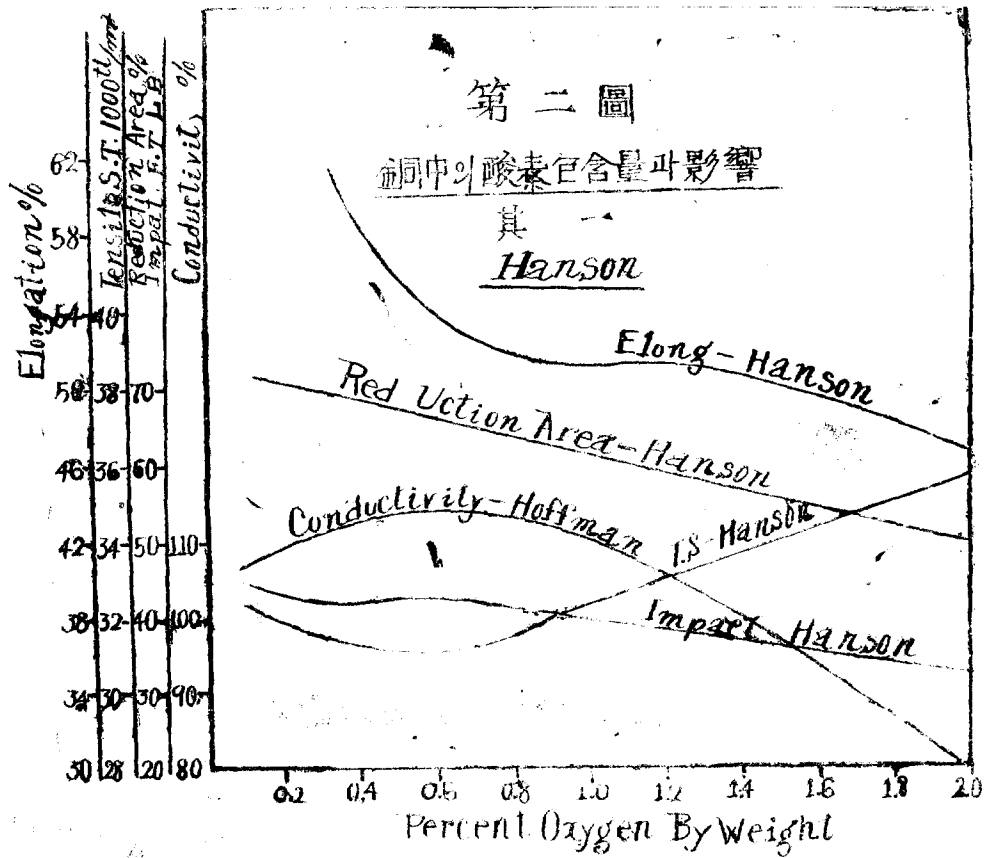


然이나 研究實驗者에 따라 相違가 있으나 不純物의 存在量이 多量일수록 導電率의 低下는 明白하다. 그러나 Antisell 은 優良한 電氣用銅의 條件이라면 第一表와 如하 成分을 標準으로 하였으며 Pilling 及 Halliwell 에 依하면 $Pb, Zn < 0.03\%$ 의 Wire Bar 면 平均 電氣銅에 比하여 導電率이나 加工等에 無妨할 程度라 한다.

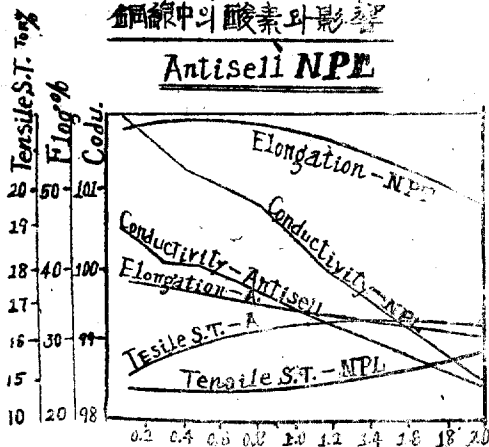
第一表

이러한 不純物이 同時에 混在하게 되면 其中 相互間 性質을 惡化하는것 相殺하는것 無關하는것 等이었다. 以下 各不純物의 影響을 略述하기로 하다.

O 는 電氣工業用의 加工上으로 보거나 電氣的으로 보거나 必要한 Cu_2O 를 構成하여 存在하게 되나 過剩이면 亦是 좋지 못한 結果를 招來하게 된다. 即 酸化銅 包含量이 必要以上(約 0.05%) 되면 銅의 延性이 不良하며 導電率과 Elongation 이 低下되며 衝擊에 對한 忍耐力이 低下됨을 Hanson, 捺業, 후田等의 實驗이 如實히 證明되는바이다. (三三, 四圖)



第四圖
銅線中の酸素の影響
Antisell NPE



然이나 高若 酸素을 過剩還元하여 其量을 過少히 할라면 自然硫黃, 水素, 酸化炭素, 炭酸瓦斯等을 吸收하여 Casing 現象을 招來하여 鑄造時에는 Spume 이 생기는것은 勿論이나 水素等은 酸化銅包含容積의 60% 나되는 空所를 占하여 高温으로 加熱하면 高壓力의 水蒸氣가 생기여 銅分子를 破裂시킨다. Polling 은 700°C 에서 下記와如한 擴散을 銅中에서 한다고云한다.

水素	1000
水蒸氣	65
一酸化炭素	17
炭酸瓦斯	0.6

勿論 完全히 脫酸과 不純物을 除去한것은 如此한 現象이 없을것이나 酸素는 Cu₂O 를 構成하여 他瓦斯의 熔解를 低下하고 適當한 量에 있어서는 熔點熔解點을 低下시킨다.

導電率에 對하여서는 研究實驗者에 依하여 相違하다. 即 Addicks 에 依하면 酸素 0.03% 以下면 導電率이 低下된 結果나 Hanson 과 Antisell, N. P. L 에 依하면 酸素量減少에 따라 導電率이 良好하여지는 一般의 考察과 理論上으로 合致되는點이 있다할것이다.

Antimony (Sb) 0.05% 以上이면 使用不可能이고 0.1% 이면 Rolling 時에도 破裂하게 되어 Brass 中에는 0.005% 라도 Yellow Brass 를 脆弱하게 하여 其存在를 두기워한다.

Lead (Pb) 0.005% 부터 惡影響을 招來하여 使用不可能이나 酸素가 適合히 含有되면 酸素含有量內量에는 使用可能이다.

Arsenic (As) 1% 이면 Shortness 를 招來하며 0.5%假量이면 無害함으로 少量이면 銅에게 強靱性을 發揮하여 Arsenical Copper 라고 製品化되고있다. Brass Cu-Allay 等에는 無實이며 大體로 A6 가 存在하면 Bi Pb 等の少量이 含有하여도 Solid Solution 中에 包含되어 있음으로 其害가 減少되어 假令 0.1-0.2% Pb 에 對하여 0.6% As 는 Cu₂O 와 類似한 作用을한다.

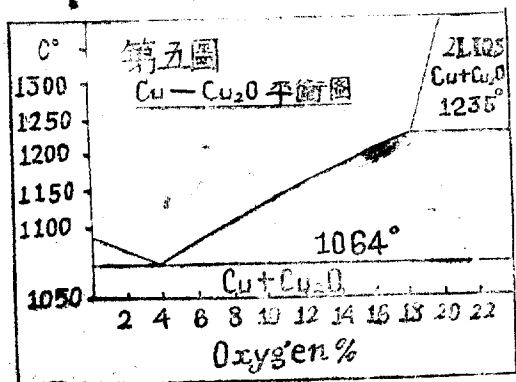
Phosphorus (P) 少量이면 耐腐性과 機械的으로 強하여지며 P-Brongc 로 使用하나 多量이면 磷化物을 析出한다.

Tin (S), Zine (Zn) 銅과 合金이 되어 Bronze 又は Brass 로 使用함.

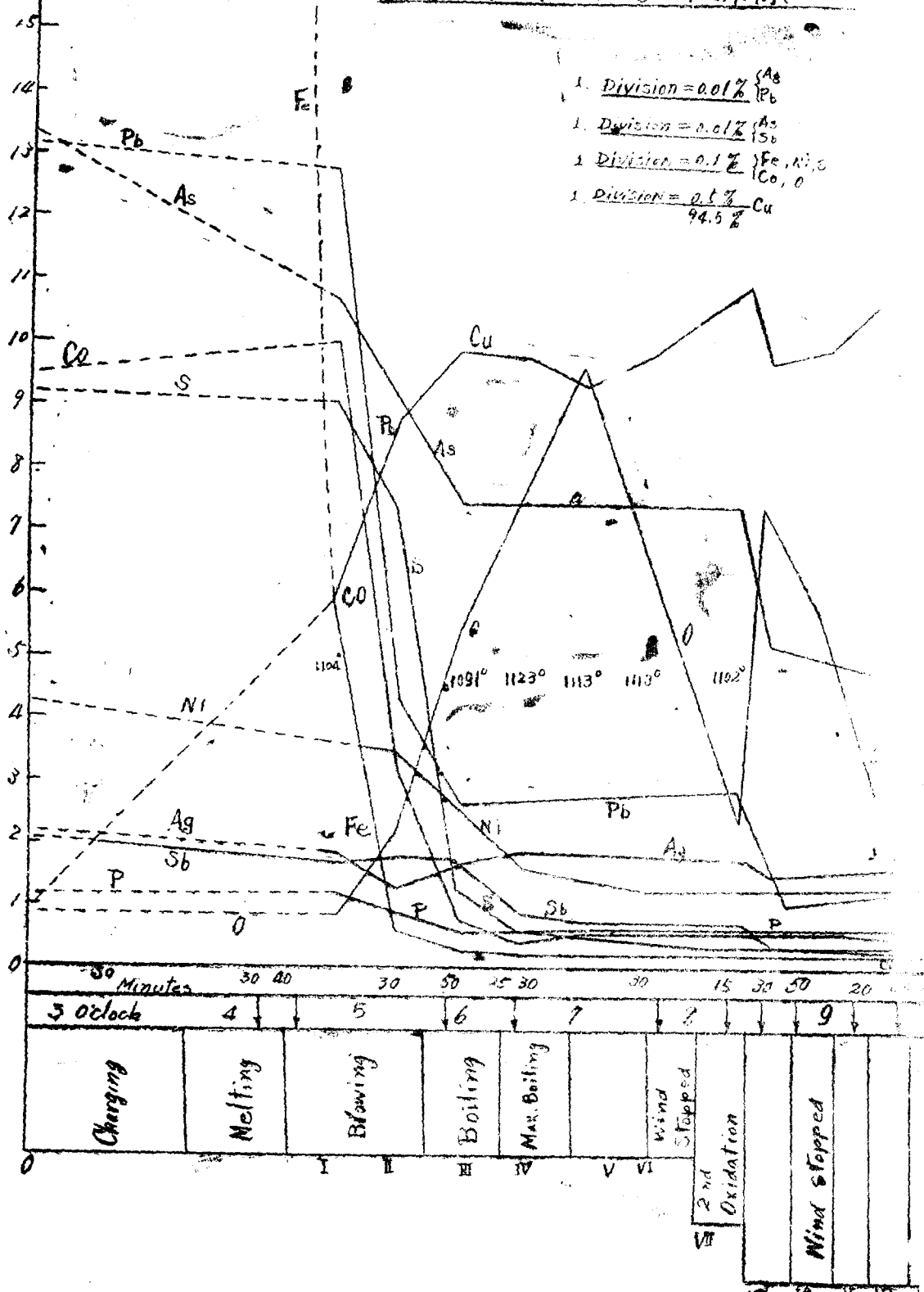
Sulphur (S) 銅과 主眼關係 模樣으로 不難關係가 있어 熔鑄時에는 S₂ 로써 吸收되어 鑄造時에는 逃去하나 酸素還元기 過剩時에 Spows 가 생기는 原因은 이것이다. Spows 가 생기면 Bending 時에는 銅을 破裂하고 말미암아 Rolling 을 不可能하게한다.

Iron (Fe), Maganess (Mn), Nickel (Ni), Aluminum (Al) 等は Solid-solution 이기여 0.2% 程度까지는 肉感으로보아도 純銅과 近似하며 Rolling 에도 無害하다.

都大體 上記不純物의 含量은 不純한 影響을 招來하기나 此를 排除하려면 熔鑄作業中에서 既述한바거너와 酸化作業과 還元作業時에 物理的, 化學的으로 不純을 消除하여 高純度銅을 鑄造하여야 할것이다. 參考로써 Wanjukaw 의 研究한 Diagram 을 第六圖에 紹介한다.



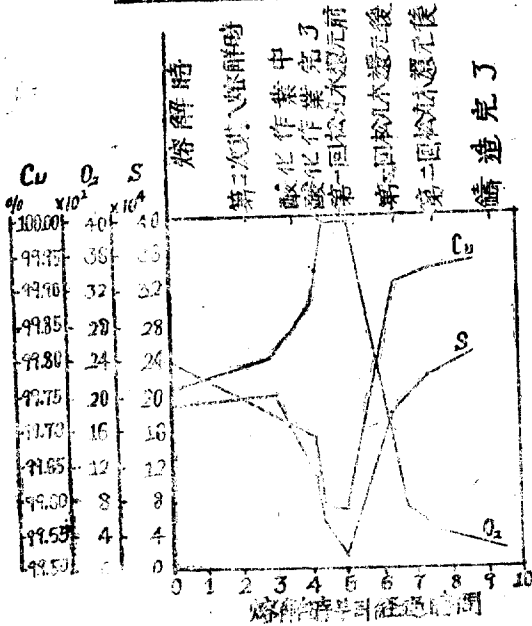
第六圖) 不純物の排除



이러한 變化作用과 還元作用을 二重으로
 그것이나 不純物의 排除狀況을 觀察할 수가
 있다. 即 Ni, Pb, As, Sb 等은 그 排除가 進行
 하기는 하나 不完全하며 Ag 는 排除하기 困
 難한것을 表示하고 있다. S 와 O 는 Cu 와 親
 和力이 強한 關係로 最後까지 殘留하게되며
 兩者間에 對한 關係는 擦葉, 幸田等의 研究에
 依하면 酸素量이 增加되면 硫黃量이 減少되
 고 還元時에서는 硫黃量이 增加되어 CuS 는
 大端한 影響이 없으나 So₂ 는 惡影響을 招
 來함으로 作業上注意를 要한다. (第七圖)

第七圖

酸素及硫黃量의 變化



三 壓延作業

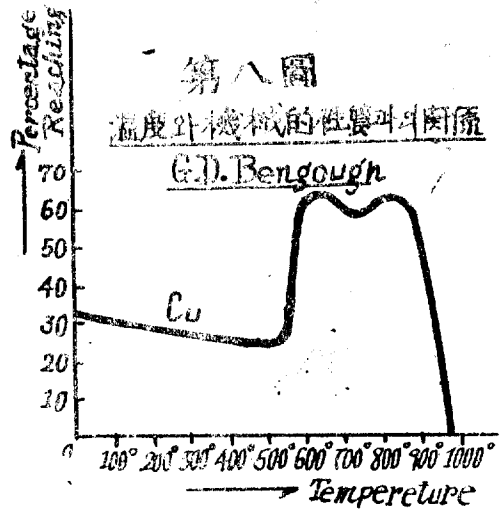
壓延의 目的은 塑性物質 (Plastic Substance) 의
 形과 其質을 變化하며 加工壓下率을 많기하
 며 良質의 線材 (Wire Rod)를 製造함에 있다. 大
 體로 Casting 한 Wire Bar 內에는 Blowhole
 結 開의 空虛部分이 存在하여 線材의 靑이
 低下됨으로 이를 完全壓下鑄 하는 同時에
 塑性變形 (Plastic Deformation)을 시키어 所
 要의 Wire Rod 를 製造하여야 한다. 即 此目
 的을 容易하게 完全히 하려면 高溫作業을 要
 하니 壓下鑄接에 對하여서는 不純物이 包含
 한것은 鑄接이 不能함은 勿論이거니와 作業
 溫度가 高溫일수록 加壓力이 高壓일수록 鑄

接이 容易하게됨은 周 하는바라.

展延性으로 말하면 常溫으로부터 加壓에 따
 라 其初期에는 若干 減少된다. 其限度를 經
 過한 約 750 C 近傍으로부터 顯著히 增加되
 여 熔融點近傍 1000°C 까지 優秀한 展延性을
 保有하게 된다. 參考로 G. D. Benghough 氏의 研
 究實驗한 溫度와 機械的性質과의 關係圖를
 第八圖에 表示한다.

第八圖

溫度와 機械的性質과의 關係



彈性限度 (Elastic Limit) 는 溫度에 따라 限
 度가 低下되어 塑性變形을 容易케 한다. 中原
 은 數種物質에 對하여 彈性限度와 溫度에
 對한 關係를 次式에 依하여 發表하고 있다.

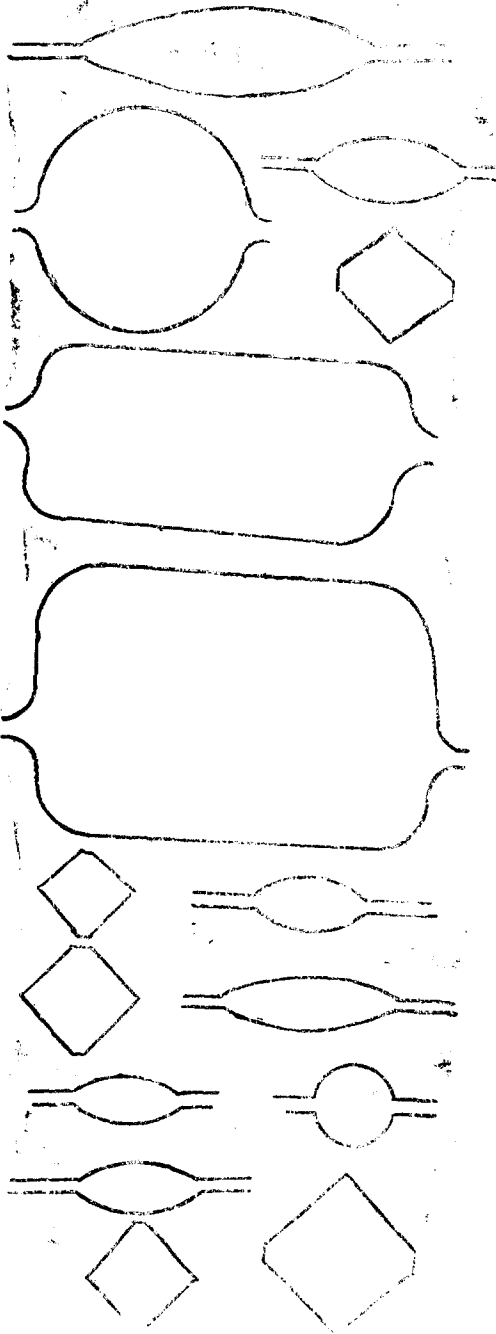
$$\sigma_e = \frac{1}{C} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_m} \right)$$

- σ_e 彈性限度
- T 絕對溫度
- T_m 絕對溫度에 對한 材料의 融解點
- C 金屬에 依한 常數

即 第八圖에 依하나 上式에 依하나 溫度에 따
 르는 彈性限度의 變化를 알 수 있다.

然故로 銅壓延은 熔鑄鑄造한 Wire Bar 를
 再加 爐中에서 約 900° C 程度에 加 하여 壓
 延機에다가 熱壓延 (Hot Rolling)을 行하여
 15-17 μ에 걸쳐서 Kalber 를 通過시키여
 Wire Rod 를 造作한다. 壓延工積의 壓下率과
 Kaliber 의 配置는 各工場에 있어 相違하는것
 은 勿論이거니와 第一例로써 現在 朝鮮電線
 株式會社에서 使用하고 있는것은 第九圖과 같
 다.

第九圖



線의性質이 좋으나뿐것은 線材의 좋코 나
 뿐것에 大部分이 左右되니 勿論 Wire Bar
 의 質에도 있으나 Wire Bar 가 良好하여도
 壓延作業 缺點에서도 甚大한 影響을 받는다.
 卽 Roll 의 Nip 을 容易하게 하기爲히 Rolling
 이 過度하여 Lap 을 生하거나 Roll 調整과

Caliber 의 不充分한 設計로因한 Rib 의發生
 으로서因하여 Edging 時에 發生한 Lap 이라든
 의 壓延材過冷却에依한 Wire Rod 의 硬化
 或은 非丸形 誘導裝置 (Twisting guide) 의 不
 完全과 磨耗等에依한 壓延工精申의 異狀과 冷
 却水의 不足으로인한 Roll 에의 壓延材의附
 着 Roll 粗惡에對하 Roll 에 附着等等 壓延
 作業申의 異狀으로 因하여 Wire Rod 의 不
 良은 線의 機械的不良을 招來하며 甚至於伸
 絲途中에 斷線까지 招來하게된다.

然故로 壓延機의構造 壓下率 Caliber 의配
 置 冷却水等 設計도 慎重히 하여야함은 勿
 論이거니와 作業時에는 恒常 注意에 注意를
 거듭하여 完全한 Wire Rod 를 製作하여야
 한다.

四 伸線作業

伸線作業은 Dies 를 通하여 Dies 의 壁面
 側壓과 引張力으로써 塑性變形을 하는것이니
 前項에 Wire Rod 의 表面酸化銅을 除去하기
 爲하여 約 50°C~60°C 의 硫酸, 濃度 3~5%
 程度 稀硫酸液申에 浸漬한後 約 一時間이 經
 過한다음 乾져 壓力있는 冷水로 硫酸分과
 同時에 銅粉 酸化銅의 Scale 等を 洗除한다
 음 Alkali 溶液에 浸漬하여 殘餘酸分을 中
 和시키면 銅의表面이 完全히 清麗하게된다.
 이것을 Pointing Machine 에다 一尖端을 가
 늘게 한다음 潤滑油를 塗布하여 Dies 를 通
 過시키 Block 에다 감어서 Drawing 하는것이
 다. 此工程의 伸絲縮少 (Drawing Reduction) 를
 많이 할라면 Tensile Strength 를 超過하지않는
 程度이 安全한 最大의 Tension 을 加하여
 함으로 材料申에는 恒常 降伏點 (Yielding
 Point) 以上の Stress 가 生하게되며 伸延是
 는 Dies 를 通過한것의 Tension 만 加한것보
 다 많으니 前者는 約20%에 達할수있고 後
 者는 6%에 不達하다.

Drawing 時 變數에對한 關係를 考察하면

- L_1Dies를 通過後의 線의거리 (長)
- L_0Dies를 通過前의 線의거리 (長)
- TTension 을 加하 方面에生한 變形
 卽 長의 Stress
- d_1Dies 를 通過後의 線의줄기 (徑)
- d_0Dies 를 通過前의 線의줄기 (徑)

- f Tention 을 加한 方面과 直角에 生한 變形 即 徑에 對한 Stress
- ϵ Tention 을 加한 方面에 生한 變形率
- ϵ' Tention 을 加한 方面과 直角에 生한 變形率

$m = \frac{\epsilon}{\epsilon'}$ 기어의 變形率과 徑의 變形率의 比

라고 하면

$\lambda = l_1 - l_0$ (1)

$\epsilon = \frac{l_1 - l_0}{l_0}$ (2)

$f = d_0 - d_r$ (3)

$\epsilon' = \frac{d_0 - d_1}{d_0}$ (4)

$m = \frac{\epsilon}{1 - \sqrt{\frac{1}{1 + \epsilon}}}$ (5)

(5) 式에 ϵ 가 僅少한 때에는

$m = \frac{\epsilon}{1 - (1 + \frac{\epsilon}{2})} = 2$

即 伸長率이 僅少하면 長의 變形率은 徑의 變形率의 二倍가 된다. 然이나 事實上으로 는 이같이 多少 적은便이 많다.

다음에 Drawing 에 依하여 生기는 ϵ 를 以下 考慮하면

- A 原線의 斷面積
- A_0 Dies 를 通過後의 斷面積
- d_1 原線의 直徑
- d_0 Dies 를 通過前의 直徑

$r = \frac{d_2}{d_1}$ Drawing 의 係數

$S = \frac{d_1 - d_2}{d_1}$ Drawing 의 直徑縮少率 (Reduction)

이러하면 直徑의 縮少와 伸率의 關係式은 如下 矣.

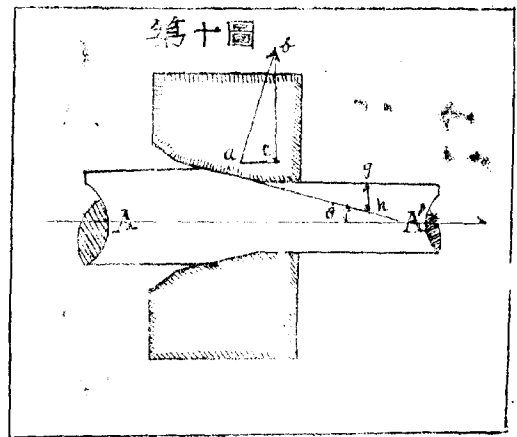
$\epsilon = \frac{A_1}{A_2} - 1 = \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^2 - 1 = \frac{1}{r^2} - 1 = \frac{1}{\left(1 + \frac{Sn}{100}\right)^2} - 1$ (6)

Drawing 에 對한 所要함을 考慮하면

- P Drawing 에 要하는 힘
- A_0 原線의 斷面積
- A_1 Drawing 한 線의 斷面積
- $r = \frac{A_0 - A_1}{A_0}$ 斷面縮少率
- t 原線의 Tensile Strength
- c 線과 Die 와의 接觸面에 對한 抗壓力
- y 壓縮에 對한 降伏點 (Yielding Point)
- q Dies 中心線과 角의 度
- u Dies 와 線의 摩擦係數
- s Drawing 의 速度
- f 係數

라하면 第十圖에 依하여 考察컨대 Drawing

에 必要한 힘은 線과 Dies 와의 抗壓力 ab 의 分力인 ac 와 摩擦力 fh 의 分力인 fg 와의 合力이다.



\rightarrow ac 分力은 $\frac{c(A_0 - A_1)}{\sin \theta} \sin \theta = CA_r$

\rightarrow fg 分力은 $\frac{u_0(A_0 - A_1)}{\sin \theta} \cos \theta = \frac{uCA_r}{\tan \theta}$

$P = CA_r + uCA_r / \tan \theta = CA_r (1 + u / \tan \theta)$ (7)

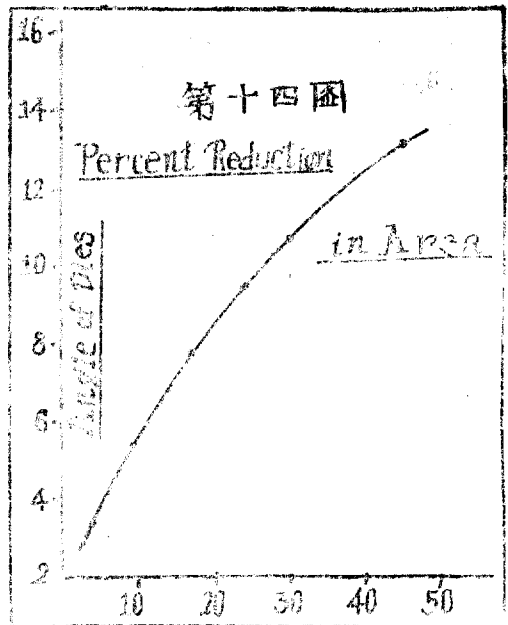
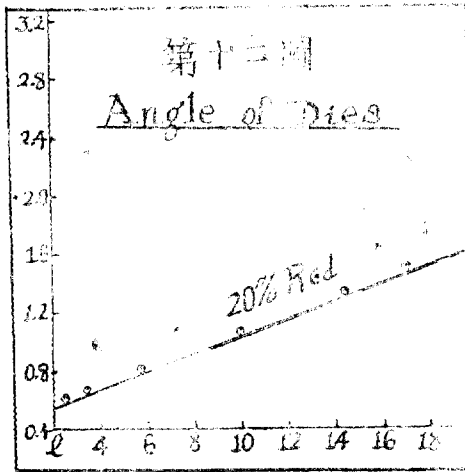
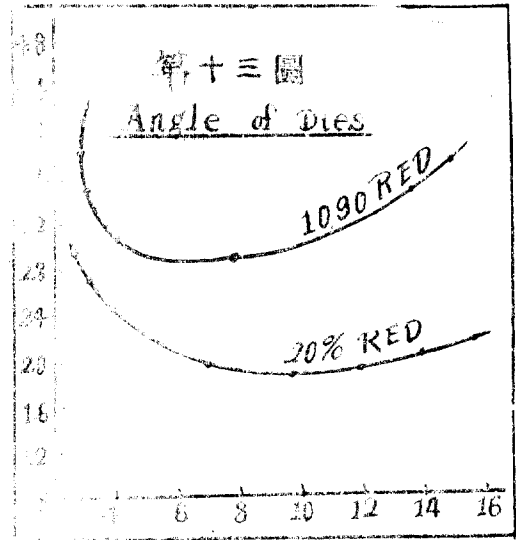
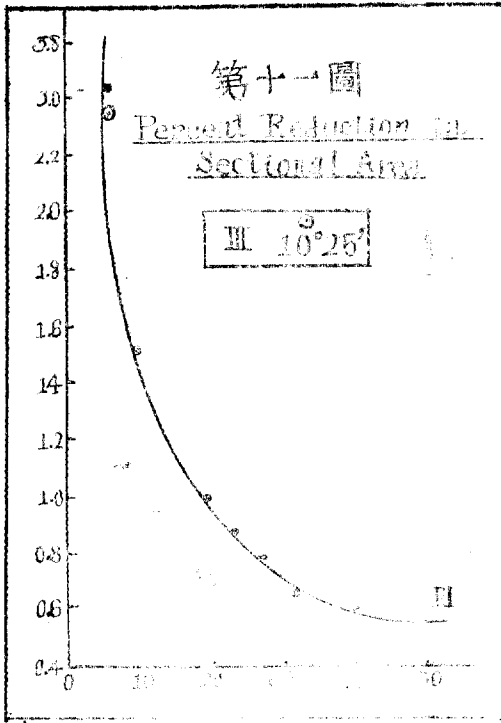
上式中 C를 $C = f \lambda$ 로하면

$P = f \lambda A_0 (1 + u / \tan \theta)$ 8

(8) 式中 λ, A_0, r, θ 는 知得할 수 있는 數나 f, u 는 斷面縮少率 Dies 의 Angle (θ) Drawing 速度 潤滑油의 種類에 對하여 變化되는 것 이니 (8) 式에 對하여서 最小價에 對한 右岸의 研究 實驗한 結果의 一部를 第十一圖 第十二圖 第

十三圖 第十四圖를 參考로 한다.

維狀을 이리며 Stress 方向의 擴張力을 增加
한다



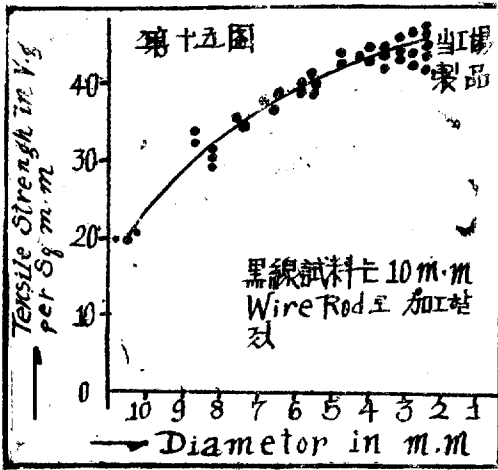
以上 Drawing에 對하여 論述하였거니와 Drawing을 加하면 Reduction에 따라 Tensile Strength가 增加된다. 即 硬化現象이다. 이 硬化現象의 原因은 金屬의 Stress로 壓力의 變換을 加하면 結晶에 Slipband (滑移)가 漸次하여 結晶格子 Crystal Lattice面이 變位하여 表面面이 摩擦로 因한 單晶의 破片이 變位에 依하여 結晶群體를 構成하게하는 一變位은 Stress 方面으로 結晶의 變化를 招來하여 織

參考로 Reduction과 Tensile Strength와의 關係는 第十五圖와 如하다.

五 軟化作業

以上 各項과 如하 冷間加工을 받은 金屬은 硬命만 으면 軟化狀態로 復原되려하는 傾向이 있으나 移動의 難易은 金屬種類에 依하여 相違됨은 勿論이 거니와 一邊 冷間加工에 依

한 硬度가 減消된다.



이제 軟化作業과 其溫度에 對하 關係를 考慮할진대 이를 三階級으로 分別할수있다.

第一階段은 內部 Stress 가 漸減되여 따라서 龜裂傾向이 있는것은 原狀으로 回復되고 彈性이 變化되나 Tensile Strength 와 硬度는 減退하지않는 階段이다.

第二階段은 本是 存在한 結晶 或은 破碎 結晶의 維積에서 新結晶을 出現하야 成長하는階段 이것은 Stress 가 많은部分에서 核이 생기여 始初에는 微少하나 溫度昇上에 따라 增大한다.

第三階段은 結晶粒의 크기가 成長하며 賴化가 完全히된다. 大体로 賴化溫度와 結晶粒의 大小는 變形量의 大小에 關係되나 變形量이 많은수록 溫度가 낮고 結晶粒이 크게되는 傾向이 있으며 賴化溫度와 其時日關係는 時間의 對數와 溫度는 廣範圍內에서 直線關係를 保有한다. 第十六圖와 第十七圖는 軟化作業의 時間과 線質에 對한變化를 表示할것이다.

以上

