

技術資料

熱間壓延用 鑄造롤

杉村幸彦 著\*  
姜春植 譯\*\*

1. 머리말

日本の 1981年度에 있어서의 熱間壓延鋼材의 生産量은 9,325万t이고, 이들의 鋼材는 모두 롤에 의한 熱間塑性加工을 거쳐 製品化된 것이다.

이 用途에 同 期間中 제공된 日本國內製鐵所로의 롤 生産量은 約 83,000 t 으로 推定된다.

이를 細分할 것 같으면, 鑄鐵롤이 70%弱의 57,000 t을 占하고 있고, 나머지의 26,000 t은 鑄鋼롤이다.

여기에 鍛造롤이 一部 添加되어서, 鋼材 1 t의 生産에 必要로 하는 롤의 消費는 1 kg內外로 推定된다.

여기서는 熱間鋼材壓延用 鑄造롤에 焦點을 맞추어서, 品質, 製造工程, 構造 및 檢査方法과 함께 一般의 롤 損傷에 對한 考慮點을 紹介하고자 한다.

內容을 充分히 理解하게 하기 爲해서, 一般 鑄造品과 鑄造롤과의 差異點을 몇가지 列舉하고자 한다.

1.1 大質量製品으로의 排戰

이런 種類의 用途에 使用되는 롤의 單重은 적어도 300 kg으로부터 65 ton에 이르는데, 롤의 直徑으로는 200 mm로부터 2,600 mm의 超大型 롤도 存在한다.

그런데, 製品에 要求되는 物理的, 機械的 性質 및 鑄造 缺陷의 許容度는 鑄造品으로서 最高級의 水準을 確保할 必要가 있다.

이 때문에 롤의 合金設計, 熔解 및 熔解處理方法, 鑄造方案, 熱處理方法, 加工 및 檢査方法等 어떤 것에 있어서도 大質量이라는 것을 前提로 해서, 健全性を 保證해야 할 뿐더러 어떻게 해서 高品質機能을 附與하는가 가 重要한 問題이다.

1.2 多機能型 製品

롤은 一般의 모양을 하고, 被壓延材와 接觸하는 胴

部(바렐部), 壓延荷重을 지탱하는 자날部 및 回轉驅動力을 傳達하는 워브라部로 構成되어 있다.

胴部表面은 800 ~ 1,150℃의 加熱鋼材와 直接接觸해서 一定모양의 製品을 送出하는 役割을 하여야 하며, 耐摩耗性, 거칠기에 對한 저항性 및 耐龜裂性을 具備하여야 한다.

한편, 롤 胴體內部, 자날部 및 워브라部에 있어서는, 壓延時에 加해지는 機械的 負荷나 熱負荷에 견디는 強靱한 機械的 特性이 要求된다.

아주 一般的으로 表現할 것 같으면, 硬質의 外層과 軟質의 內質, 자날 및 워브라部로의 構成이 基本 패턴이고, 이 基本特性을 주기 爲해서, 複合構造를 採用하게 된다.

1.3 複合構造

熱間鋼材壓延用 롤의 45 ~ 50%程度(重量比)의 롤이 複合構造를 採用하고 있다.

今後 이 比率은 一層 增加할 것으로 豫想된다.

이의 가장 代表的인 製造方法이 遠心鑄造이고, 뒤에 詳述하는 바의 異種材料의 熔融接合에 依해 複合化를 한다.

壓延條件의 苛酷化에, 롤品質을 올려야 한다는 戒서 얻어지는 背景의 하나로, 이 遠心鑄造法의 롤鑄造에의 應用을 들 수 있다.

其他 複合方法으로서, 鋼材와 接觸해서 壓延을 하는 硬質스리브와 壓延荷重을 支持하는 強靱한 샤프트部를 個別로 鑄造해서 이 兩者를 열박음(shrinkage fit) 키를 꽂고 其他의 方法으로 機械的으로 接合해서 複合機能을 주는 것으로, 今後 應用面에는 一層 擴大될 것이다.

1.4 品質保證要素의 多樣化와 保證水準의 高度化

예전의 롤品質은 치수와 硬度로 代表되고 있었다고 해도 過言이 아니다.

\* 日立金屬株式會社若松工場 次長  
(鑄物ノート, No.47, Nov.1982로부터)  
\* 서울大工大教授, 當學會 理事

그런데, 그 後의 壓延製品의 高級化指向과 大幅的인 壓延效率의 向上은, 廣義의 荷負荷의 增加를 가져오는 結果가 되어 이것에 對應하는 品質保證水準의 向上이 強力히 要望되게 되었다.

單品製造에 가까운 製造工程을 갖는 鑄에서는 拔取 破壞檢査는 不可能하여 이에 對應하기 爲해서 近年 大幅的인 進歩를 한 것이 超音波探傷技術을 中心으로 한 非破壞 檢査法이다.

특히, 難探傷材라고 하는 大型鑄鐵系 分野에서의 成果는 顯著하다.

以下, 鑄의 品質, 構造, 製造方法, 檢査方法 및 鑄 損傷에 對한 考慮方法에 對해서 紹介하고자 한다.

## 2. 壓延用 鑄의 特性

耐摩耗性和 強靱性의 兩機能을 同時에 滿足시키는 것은 困難하므로, 一般으로는 鑄의 用途에 따라서 鑄鋼鑄, 이 다마이트鑄, 鑄鐵鑄 등이 使用處에 따라 分類되어 있다.

大別할 것 같으면, 壓延荷重이 큰 粗壓延에는 鑄鋼鑄가 쓰여 지고, 耐摩耗性이 要求되는 끝마무리 壓延에는 鑄鐵鑄가 쓰여지고, 兩者의 中間에는 適當한 耐摩耗性和 強靱性을 갖는 아다마이트鑄가 쓰여 진다.

이들의 鑄의 成分은 用途나 鑄의 크기에 따라서 細分되어 있고, 그에 따라서 機械的性質도 變하는데, 대략 간추려 보면 表1과 같다.

(表 1) 熱間壓延用鑄造鑄材의 化學成分과 機械的性質

鑄材質	化 學 成 分 (%)						硬 度 (Hs)	引張強度 (kg/mm <sup>2</sup> )	延 伸 率 (%)	샤르피 衝擊值 (kg·m/cm <sup>2</sup> )	
	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo					
鑄 鋼	0.4~1.4	0.3~0.6	0.3~1.0	0.2~1.0	0.4~1.2	0.2~0.6	30~45	60~90	3~20	0.5~3	
아다마이트	1.4~2.4	0.3~1.0	0.3~0.8	0.2~1.0	0.8~1.2	0.2~0.6	35~55	35~80	0.2~3	0.15~0.4	
鑄鐵	칠 드	2.8~3.6	0.3~0.6	0.2~0.6	0.2~4.5	0.3~1.5	0.2~0.6	55~85	20~35	0.1~0.3	0.1~0.15
	그레인	2.8~3.6	0.3~1.2	0.4~0.8	0.2~4.6	0.5~2.1	0.2~0.6	45~85	30~55	0.15~0.35	0.15~0.25
	닥타일	2.8~3.6	1.2~2.2	0.3~0.8	0.2~3.3	0.2~0.6	0.2~1.0	35~75	35~70	0.2~5	0.15~0.6

### 2.1 鑄鋼鑄

그림 1에 顯微鏡組織例를 나타낸다.

炭素含有量이 0.4~1.4%로 微細퍼라이트 組織이 主體가 되는 材質이다.

強靱하기는 하나 硬度가 낮다.

耐摩耗性의 向上을 目的으로 해서, 合金元素의 添加나 熱處理를 實施한다.

熱負荷가 크고, 壓延荷重이 큰 粗壓延에 適合하다.

### 2.2 아다마이트 鑄

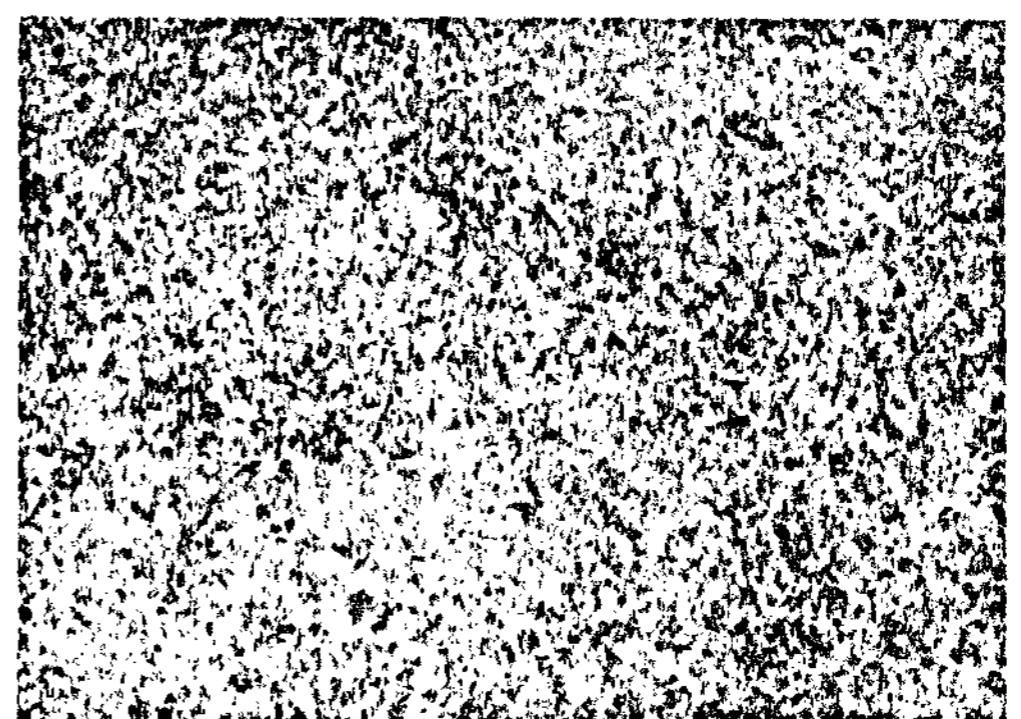
그림 2에 顯微鏡組織의 例를 나타낸다.

炭素含有量이 1.4~2.5%로 퍼어라이트主體의 其他組織과 少量의 共晶세멘타이트로 構成되어진 鋼과 鑄鐵의 中間的 材質이다.

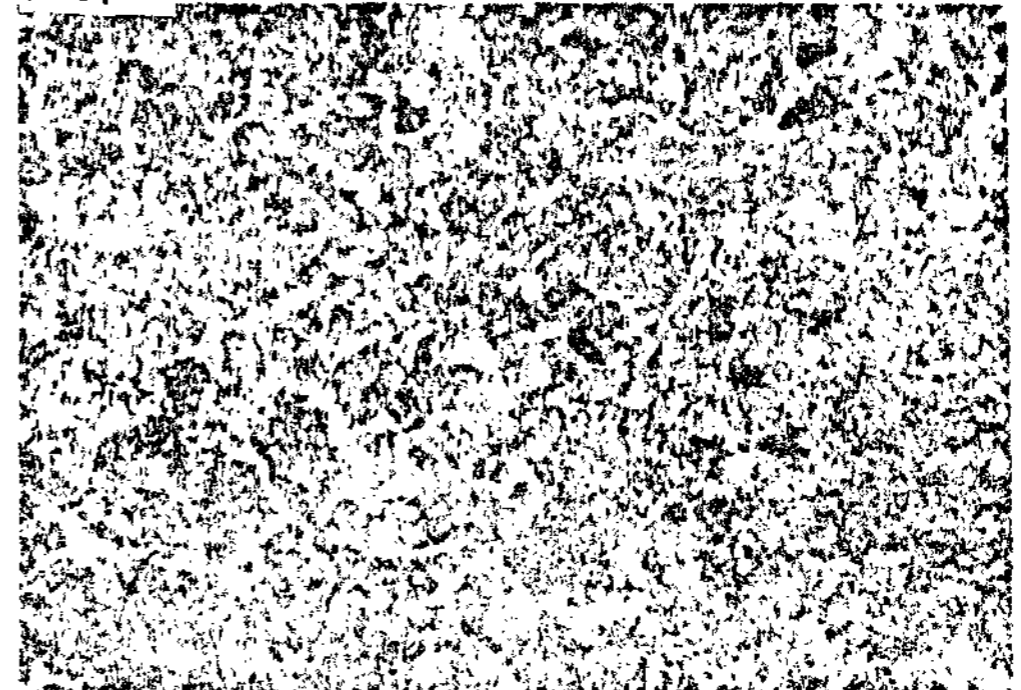
外國에서는 C 1.8%를 境界로 해서 C 1.8%以下를 Steel Based Adamite, 以上을 Iron Based Adamite라고 불르는 일도 있다.

強度는 鑄鋼鑄보다는 좀 낮으나, 鑄鐵鑄보다 強하고, 鑄鐵鑄보다도 硬質이다.

따라서 粗 및 中間壓延 및 大形型鋼의 끝마무리 壓延 등에 쓰여 진다.

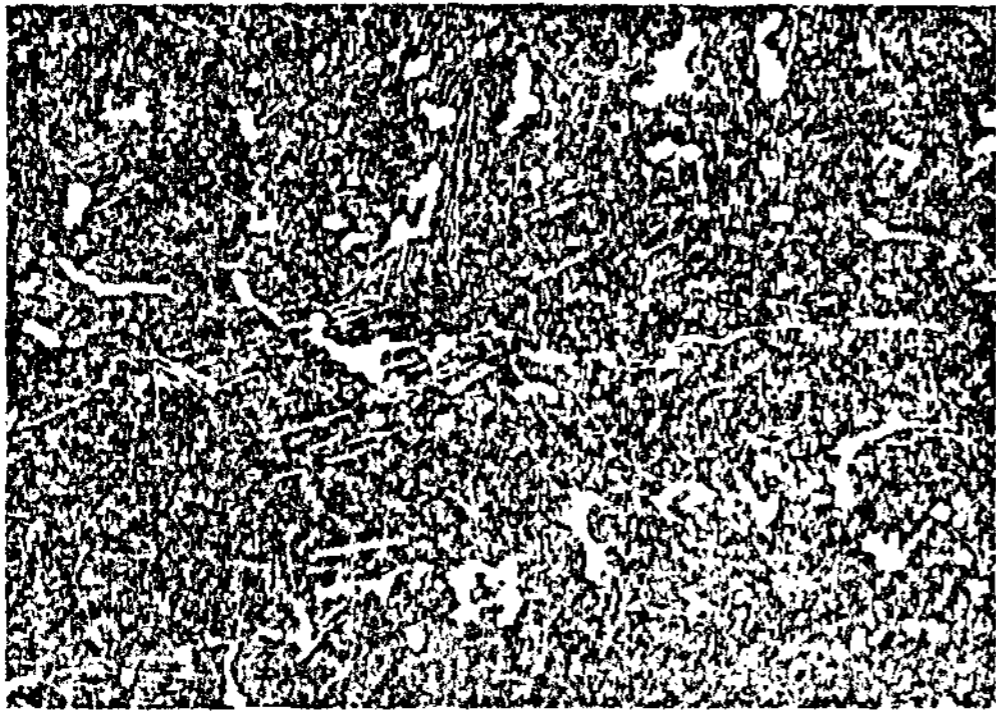


100 μm × 100

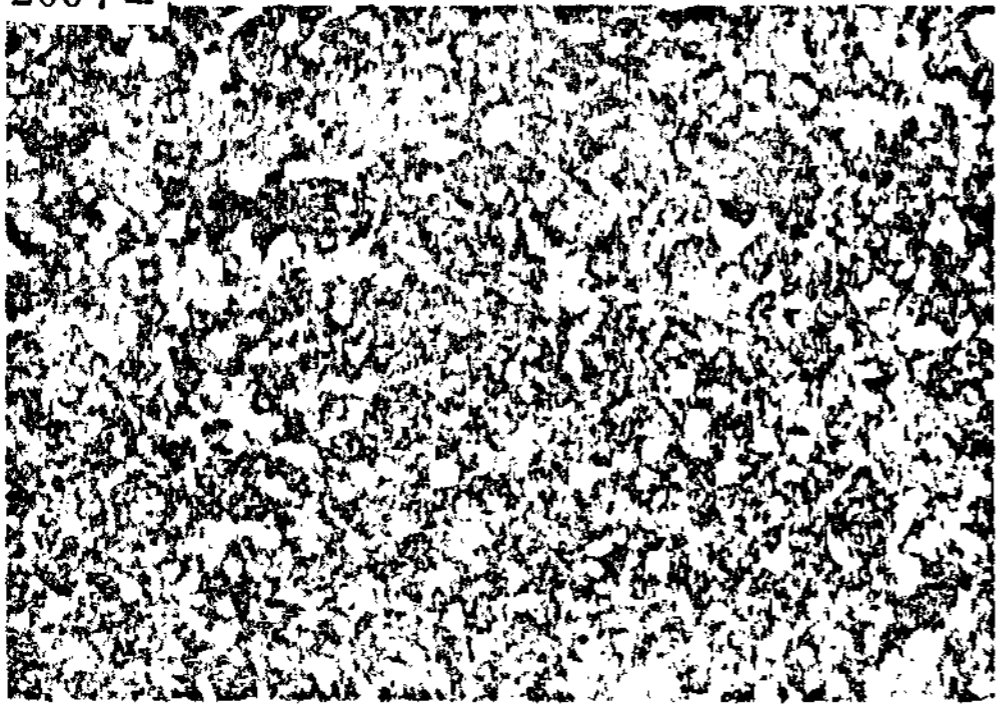


20 μm C 0.9%, Hs 38, 合金鑄鋼 × 500

그림 1 鑄鋼鑄材의 顯微鏡組織



200 μm × 50



20 μm C 1.7%, Hs 50, 合金 × 500

그림 2 아다마이트롤材의 顯微鏡組織

### 2.3 鑄鐵용

철드材質, 그레인材質 및 닥타일材質로 分類된다.

#### 2.3.1 철드롤

胴部金型과 接하는 表層部는 完全白銑層으로서 또, 內部는 徐冷되어 斑銑으로부터 灰銑組織으로 移行되도록 鑄造된 롤이 本來의 철드 롤이다.

이 狀況을 그림 3에 나타낸다.

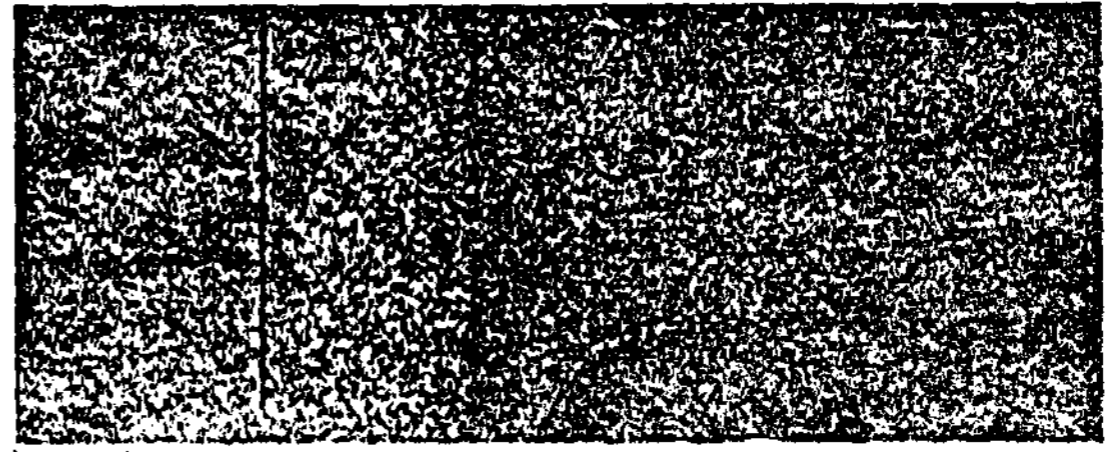
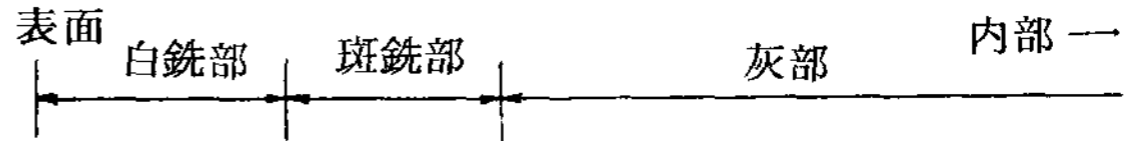
白銑層의 깊이의 決定이나 內部黑鉛化를 良好하게 하기 爲해서는, 經驗的 技術을 必要로 하는 데, 製造를 함에 있어서 가장 妙味가 있는 材質이다.

그런데, 合金化하면, 內部가 充分한 黑鉛化가 困難하게 되므로 이와같은 경우에는 遠心鑄造法 等에 依해 複合鑄造를 한다.

表層部の 顯微鏡組織은 其他組織과 共晶세멘라이트로 構成되어 있고, 基地組織은 퍼얼라이트의 것으로부터 合金元素量을 增加함에 따라서 베이나이트 및 말덴사이트로 되어 硬度를 높인 것 까지 여러가지가 있다.

顯微鏡組織의 例를 그림 4에 나타낸다.

이 材質은 耐摩耗性이 뛰여 나므로 板, 線材, 파이프 等の 끝다듬질壓延에 쓰여 진다.

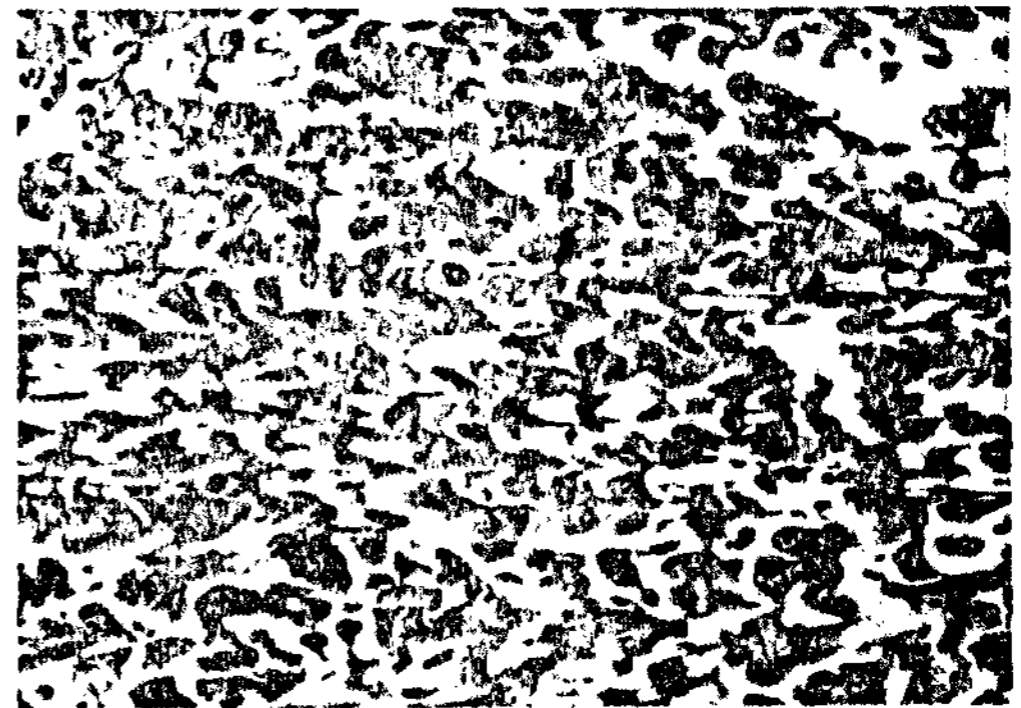


10 mm C 3.5%, Hs 63, 普通철드 × 1

그림 3 철드롤表面部の 肉眼組織

#### 2.3.2 그레인 롤

顯微鏡組織으로는 철드롤에 비슷하나, 또한 組織中에 黑鉛을 析出시킨 斑鑄鐵에 屬하는 材質이다.



200 μm × 50

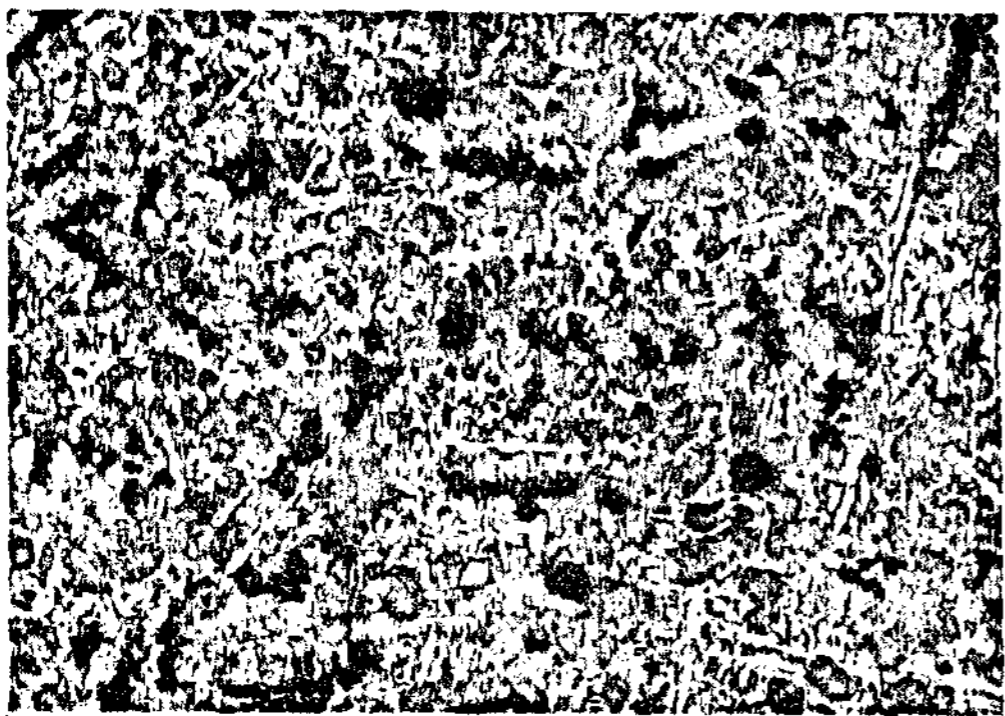


20 μm C 3.3%, Hs 68, 低合金철드 × 500

그림 4 철드롤材의 顯微鏡組織

그림 5에 顯微鏡組織의 例를 보인다.

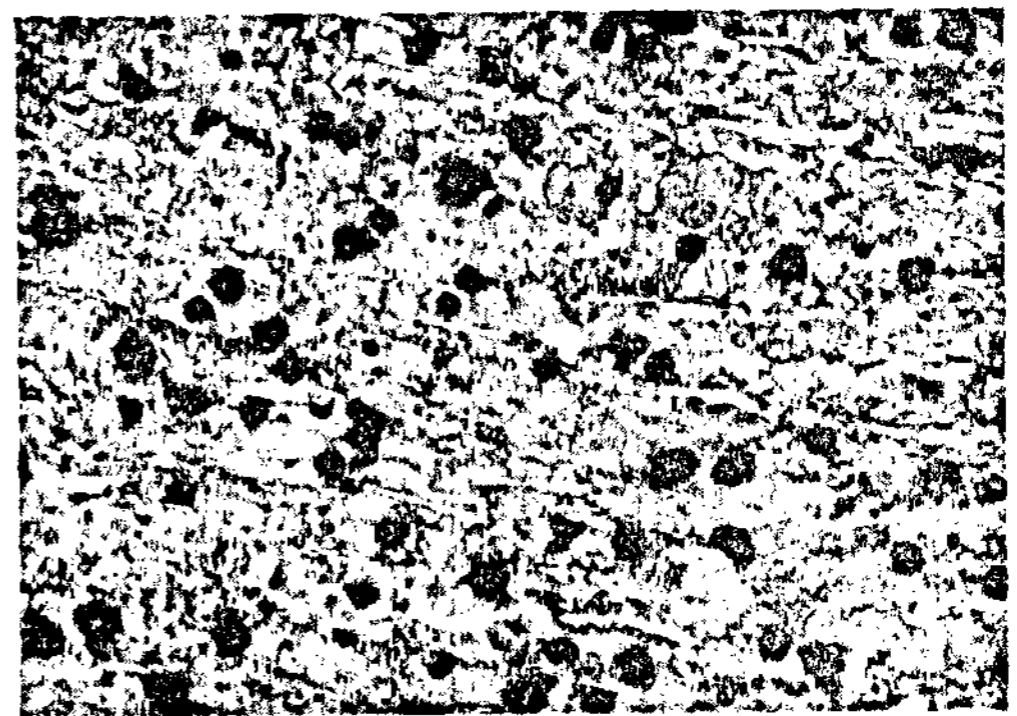
組織中에 黑鉛이 存在하여 있기 때문에 壓延中에 熱衝擊이 加해졌을 때, 龜裂의 發生이나 進展에 對해서 抵抗性이 있고, 耐摩耗性과 함께 耐事故性에 對해 뛰여



200 μm × 50



20 μm C 3.4%, Hs78, 高合金그레인 × 500



200 μm × 50



20 μm C 3.4%, Hs63, 低合金닥타일 × 500

그림 5 그레인롤材의 顯微鏡組織

그림 6 닥타일롤材의 顯微鏡組織

난 材質이다.

化學成分을 調整하므로서, 黑鉛量, 其他 組織, 硬度 등을 調整하여 廣範圍한 特性이 얻어져서 一般的으로 遠心鑄造法에 依한 複合롤로서 商品化되어 있다.

### 2.3.3 닥타일 롤

그레인 롤의 黑鉛모양이 片狀 또는 塊狀인데 對해서 이 롤은 球狀黑鉛을 갖고 있다.

그레인 롤 처럼 化學成分을 調整하므로서, 黑鉛量, 基地組織, 硬度 등을 調整하여, 幅넓은 特性을 얻을 수가 있다.

複合化하지 않고, 單體로서 鑄造하더라도 胴內部, 자 날部, 워브라部에 있어서 比較的 높은 機械的性質이 얻어지는데 特히 線材, 棒鋼 등의 粗 및 中間壓延用 小型 롤에 많이 쓰여지고 있다.

그림 6 은 顯微鏡組織의 例를 나타낸다.

以上에 있어서, 壓延材와 直接 接觸하는 롤 表面材의 一般的 特性에 對해서 說明하였는데, 前述한 바와 같이, 롤은 要求되는 機能을 充分히 發揮시키는 目的으로 複合構造로 하는 경우가 많다.

다음에서 이들 롤의 構造에 對해서 說明한다.

## 3. 롤의 複合化

### 3.1 靜置鑄造法에 依한 複合롤의 製造

롤의 材質이 今日처럼 여러가지 種類로 갈라지기 以前에는 鑄鐵系에서는 軋드롤이 主로 使用되어 왔다.

當時의 롤은 전부 다 單一材質에 依한 一體鑄造品이 었기 때문에 製造에 있어서는 壓延材에 接하는 롤 外層部의 白銹化를 피하는 한편, 롤 胴部의 內質 및 자 날部, 워브라部는 強靱하고 熱傳도가 良好한 灰鑄鐵로 할 必要가 있었다.

그런데, 이 一體로 만들어 지는 軋드 롤이나 그레인 롤은

- 1) 硬度를 높이면, 材料의 脆化나 過大殘留應力의 發生에 依하여 使用中 破損되기 쉬워지는 것.
- 2) 軋層의 두께管理가 固難한 것.
- 3) 롤의 探硬性이 나빠지는 것.
- 4) 充分한 強度를 確保할 수 없는 것 등의 問題點을 갖고 있기 때문에, 그 後 롤의 外層材와 內層材를 各各 別個의 熔湯으로 鑄造하는 이른바 中拔鑄造(그림 7)이 開發되어 롤은 하나의 轉期를 맞았다.

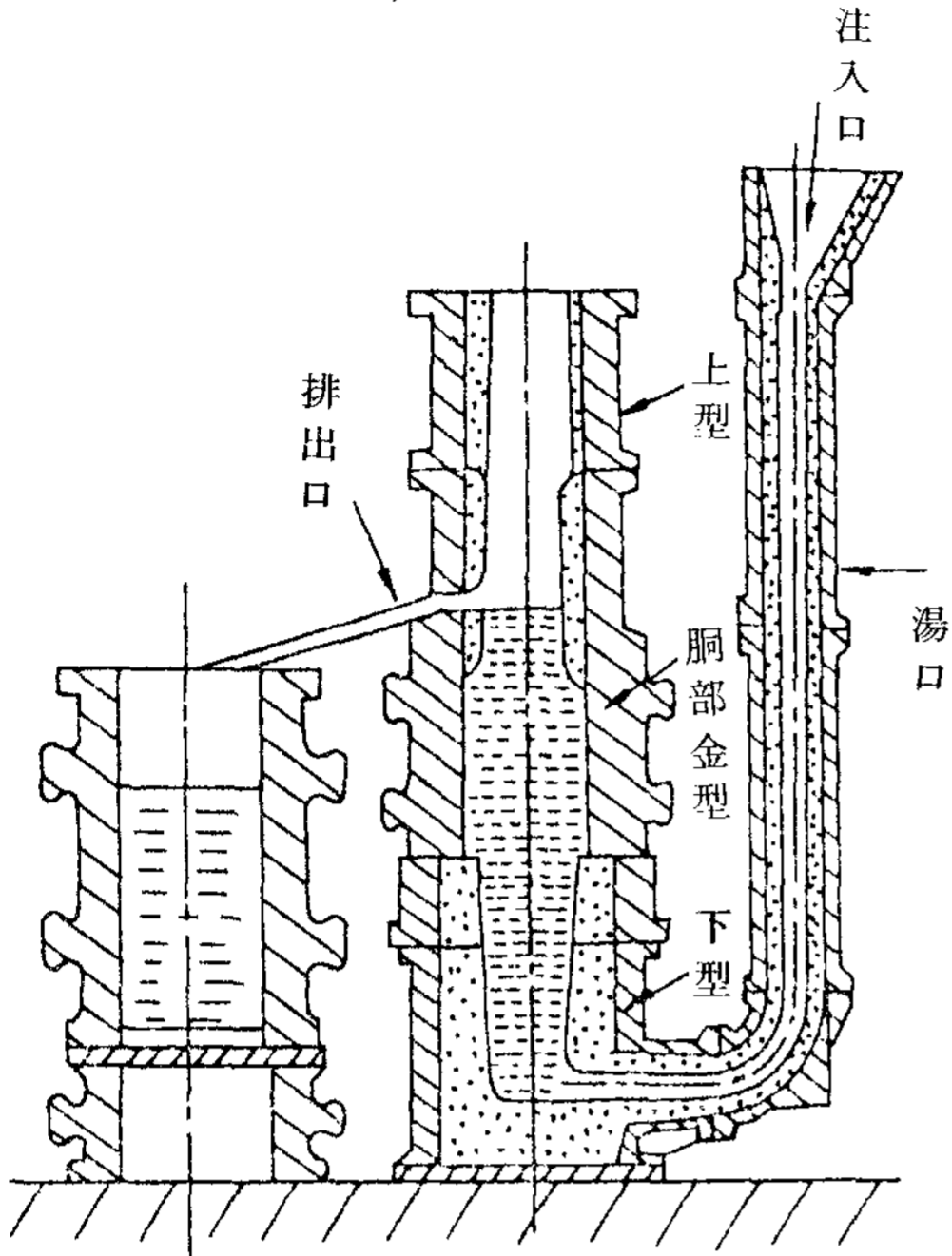


그림 7 靜置複合鑄造法 (中拔鑄造法)

3.2 遠心鑄造法에 의한 複合롤의 製造

1955 年代 後半이 되어 遠心鑄造法이 複合롤의 製造에 應用되게 되어, 이미 말한바의 一體롤의 缺點을 補完한 高品質롤의 製造가 可能하게 되었다.

이 遠心鑄造法은 品質面에서는 勿論이고, 省資源, 省에너지의 效果를 發揮하고, 複合롤의 中心이 되어 發展한다.

이에 對해서는 章을 달리해서 詳述코져 한다.

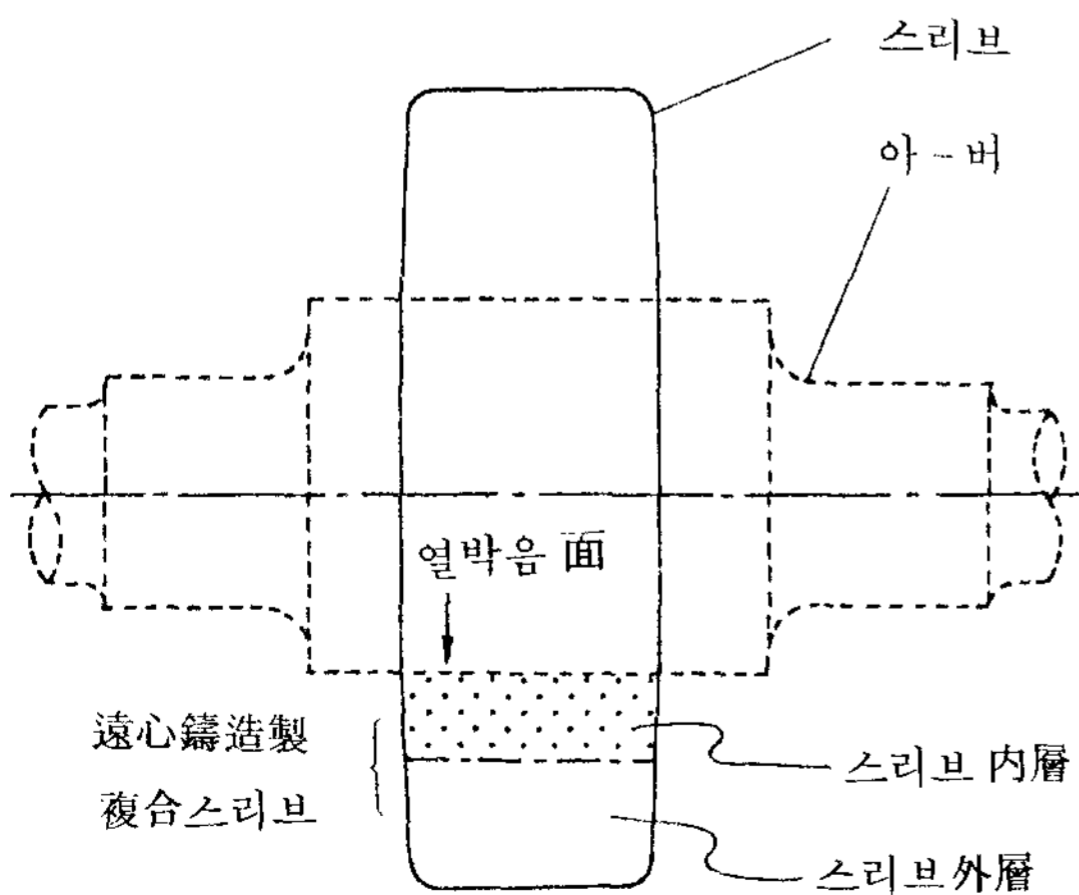


그림 8 열박음式組立롤의 構造

3.3 스리브들의 開發

1965 年代에 들어서서 異種材質의 스리브와 아버의 機械的接合에 依한 롤이 開發되고, 特히 H型鋼을 壓延하는 유니버살·밀用 水平롤로 커다란 效果를 發揮하였다.

그림 8에 롤의 概略을 나타낸다.

從來의 一體式 롤에서는 H型鋼의 후렌지端部가 닿는 部分의 耐摩耗性에 問題가 있었으나 高硬度로 外層 두께가 두꺼운 遠心鑄造製 複合 스리브를 씌으로써 壓延製品의 表面과 롤의 耐用度가 飛躍的으로 改善되었다.

스리브式 롤은 其他에도 鋼·스리브·밀의 粗스탠드·워크·롤이나 調質壓延機의 백·오프·롤 또는 型鋼이나 棒鋼, 線材壓延用 롤에도 廣範圍하게 쓰여져서 롤 原單位의 節減과 製品表面의 向上에 貢獻하고 있다.

또, 最近에는 大形型鋼롤의 경우 캐리버一部分의 損傷內容에 對應해서 一本의 아버에 複數個의 異種材質 스리브를 組立하는 方法도 實用化되어 效果를 發揮하고 있다.

그림 9에 이 例를 나타낸다.

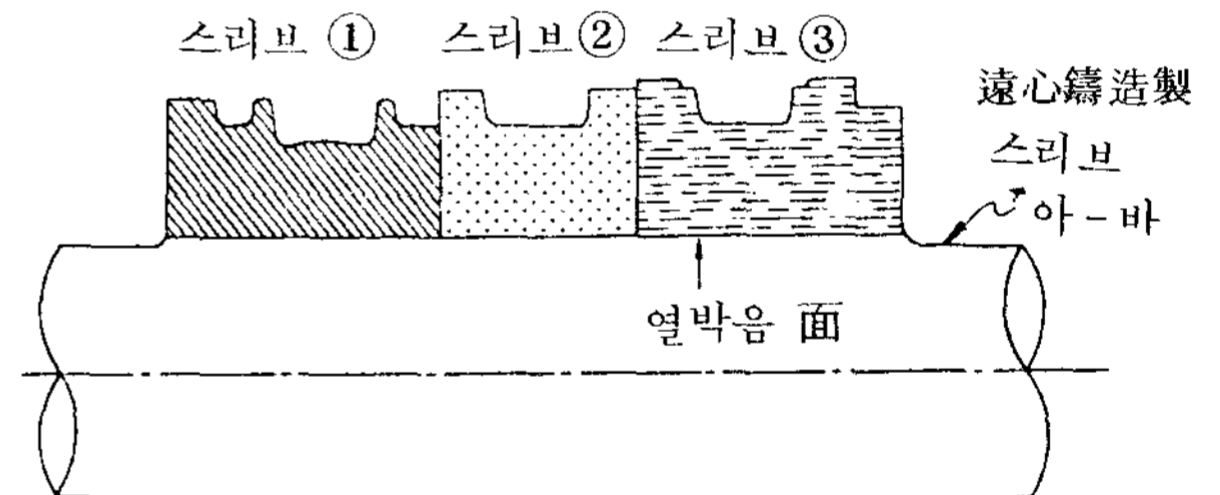


그림 9 複數個의 異種스리브를 갖는 組立롤

3.4 스리브의 組立法

스리브와 아버의 組立法은 大別해서 3가지가 있다.

1) 열박음法

스리브를 加熱膨脹시켜 아버의 定位置에 셸트한 後 冷却시켜 조임을 하는 方法으로 열박음面에 特殊한 物質을 입혀서 摩擦係數를 增加시키는 方法도 있다

2) 키-로 固定하는 方法

스리브와 아버-를 키로 固定하는 方法

3) 側壓조여붙이기 法

特히 高硬度의 스리브( 텅그스텐 카바이드·롤이나 特殊鑄鐵롤 )을 組立하는 경우에 쓰이는 方法으로 조임 너트나 補助 테이퍼·링의 열박음等에 依해서 側面으로부터 스리브를 조여 붙인다.

그의 一例를 그림 10에 紹介한다.

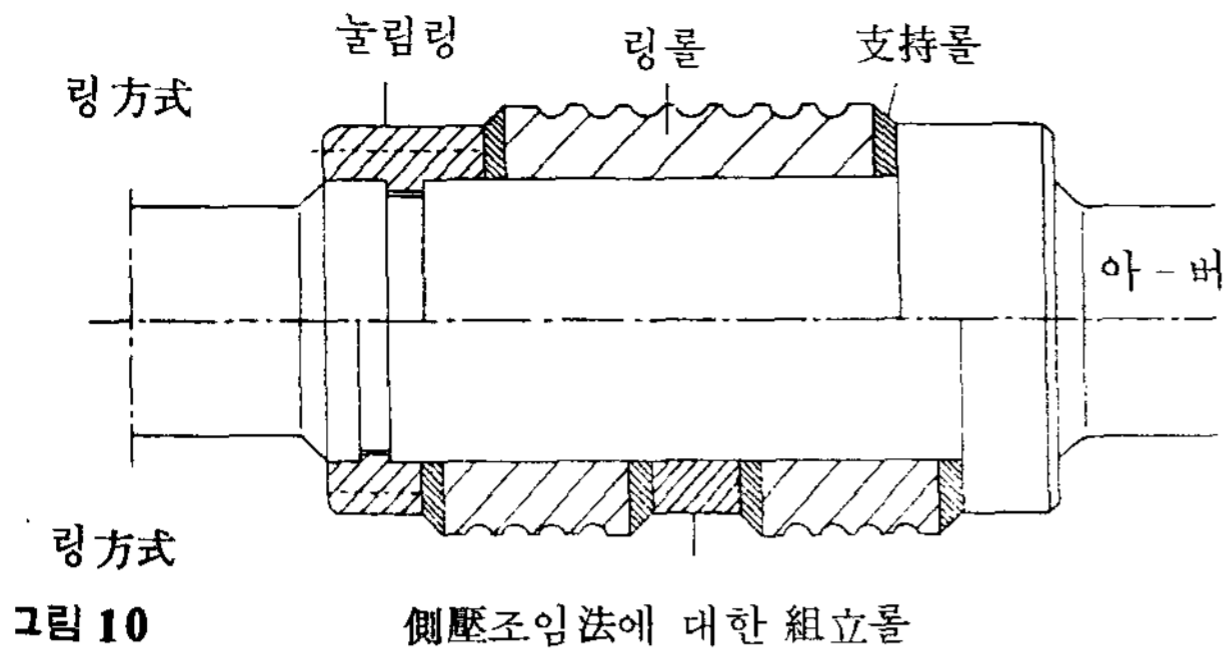


그림 10 側壓조임법에 대한 組立롤

4. 鑄造複合롤 - 遠心鑄造法

前章에 걸쳐서 靜置鑄造法에 依한 複合롤의 製法에 對해서 簡單히 紹介하였는데, 胴部를 金型으로해서, 牙 날部를 砂型으로 한 鑄型에 外殼材로서의 特性을 具備한 熔融金屬을 鑄込한 後, 必要한 外殼層의 두께를 얻을 만큼의 凝固時間을 經過한 뒤부터 芯材로서 靱性이 있는 灰鑄鐵이나 닥타일鑄鐵熔湯을 鑄込해서 胴體內部를 置換하는 方法을 取하고 있다(그림 7).

이 方法에서는 置換하는 分量만큼의 熔湯을 버리는 것이 되어 回收率이 나쁘고 롤의 外殼層도 內部로 갈 수록 점점 硬度가 떨어지는 等 品質上으로도 滿足한 것이라곤 할 수 없었다.

現在에는 이들의 缺點을 改善하기 爲해서 遠心力을 利用한 遠心鑄造技術이 採用되고 있다.

이 方法에 依하여 鑄造回收率은 飛躍的으로 向上하고, 롤의 外殼材는 高硬化化라고 하는 品質改善의 點에서도 커다란 進步를 하였다.

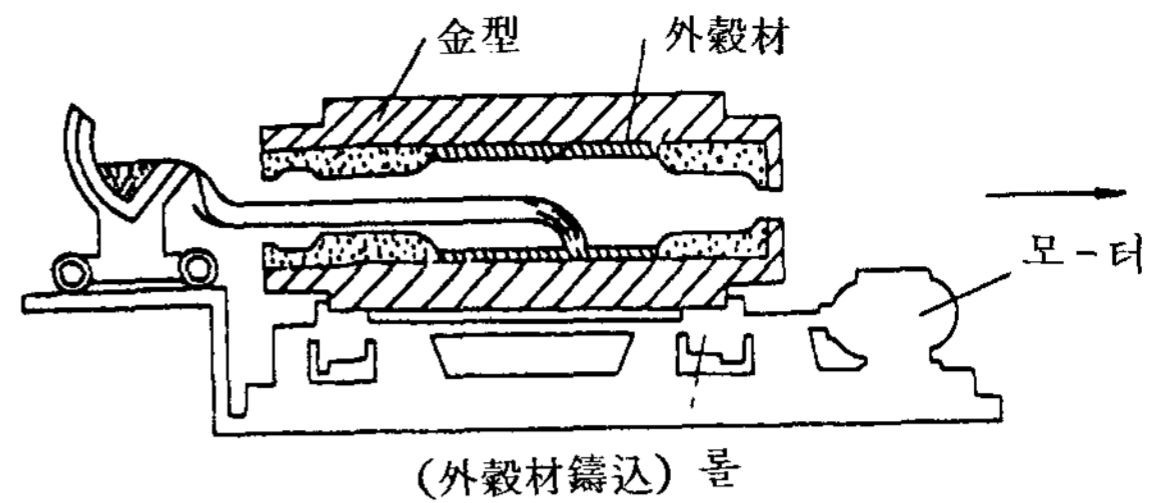
이 遠心鑄造法이라고 하는 것은 一種의 加壓鑄造라고 해도 좋은 데, 金型을 回轉시켜서 熔湯에 遠心力을 加함에 依하여 鑄造組織의 微細化나 硬度抵下의 抑制를 피한다.

數千年의 歷史를 갖는 鑄造技術中에서 遠心鑄造라고 하는 發想은 1809年 英國人의 特許로부터 始作되는 比較的 새로운 技術이라고 일컫는다.

롤의 製造에 이 方法을 採用한 것은 1960年 以後이고, 그 歷史는 20餘年으로 짧으나, 現在에는 롤製造法으로서 是 없을 수 없는 것으로 되어져 있다.

遠心鑄造法의 種類는 그림 11에 나타내는 것처럼 金型의 回轉軸의 方向에 따라서 3가지 種類로 나누어서 생각 할 수가 있다.

그 하나는 水平型 遠心鑄造法인데, 水平으로 놓여진 金型을 롤과의 摩擦로 回轉시키는 것인데, 外殼熔湯을 鑄込해서 凝固된 後, 直立시킨 内部에 芯材熔湯을 鑄込하여 兩者의 境界를 冶金的으로 熔着시키는 方法이다.



(1) 水平型遠心鑄造法

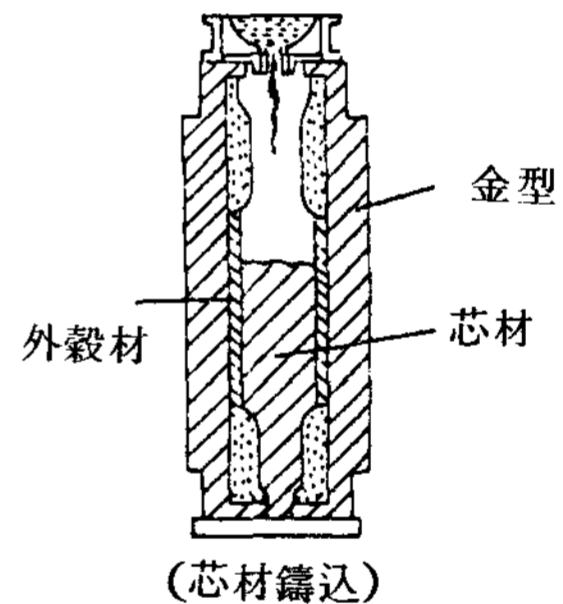
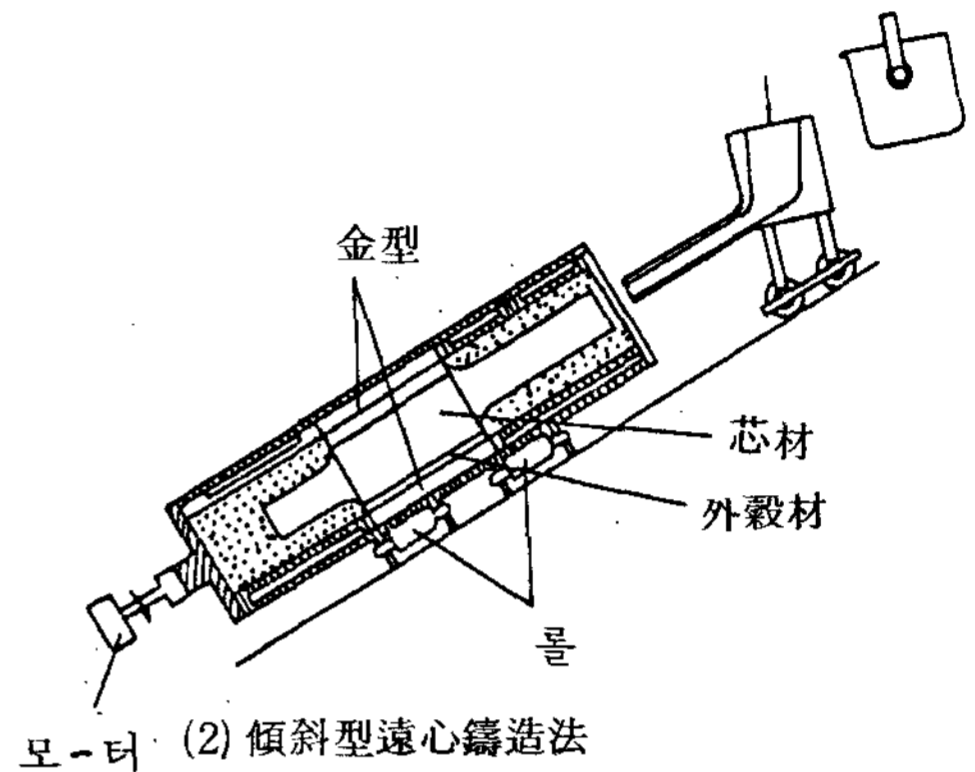


그림 11 遠心鑄造法의 種類

回轉軸을 水平에 對해서 20 ~ 30° 傾斜시킨 이른바 傾斜型遠心鑄造法은 傾斜시킨 金型에 外殼熔湯을 鑄込해서 一定時間을 기다린 後 回轉中에 芯部熔湯을 鑄込한다.

또한, 堅型遠心鑄造法은 垂直으로 回轉시킨 金型에 外殼熔湯을 鑄込한 後 芯部熔湯을 鑄込해서 境界를 熔着시키는 方法을 취하고 있다.

遠心鑄造法에서는 高速回轉시키면서 外殼熔湯을 鑄込하기 때문에, 金型은 큰 機械的 또는 熱的인 衝擊을 받는다.

金型內面에는 燒着을 防止하기 爲해서 塗型材를 발르는데, 그種類나 塗型方法 또는 金型的 整備가 製造에 있어서 重要的 點이고, 여러가지 노우-하오가 蓄積되어 있다.

또, 롤胴部の 特性을 뛰어나게 하기 爲해서는 金型的 回轉數가 重要的 製造要因이 된다.

이것은 熔湯에 어느程度의 힘이 加해지는가 하는 것의 한가지의 尺度라고 생각해서 좋고, 遠心鑄造의 경우는 G數值라고 하는 값을 使用하고 있다.

이것은, 遠心力이 重力의 몇배에 相當하는 가를 나타내는 값으로서

$$G = (遠心力 F) / (重力 f) = DN^2 / 178700$$

(D : 롤直徑cm, N : 金型回轉數 r.p.m)

으로 나타내고 있다.

遠心鑄造法의 問題點으로서는 高速回轉으로 熔湯이 鑄込되기 때문에 比重差에 의한 遠心分離가 일어나기 쉬워서 偏析이 일어나기 쉽다.

G數值의 管理나 鑄型精度의 向上으로 偏析의 防止가 피해지고 있다.

또, 롤은 壓延中에 되풀이 해서 機械的 또는 熱的 負荷를 받는데, 外殼材와 芯材의 境界部가 脆弱하면 境界部の 剝離라는 事故가 일어나기 쉽다.

이 때문에 遠心鑄造法에서는 이 境界部를 어떻게 健全하게 結合시키는 가는 重要的 것이다.

現在에는 熔湯의 成分管理나 鑄造의 管理에 여러가지 計器에 의한 測定技術을 導入하여 管理하므로써 充分한 保證을 得할 수 있게 되었다.

### 5. 鑄造롤의 熱管理

#### - 質量에 排戰 -

롤은 一般 鑄造品으로서는 치수가 아주 커서 지름 1,500 mm, 胴長 5,000 mm를 넘는 것도 많다.

따라서 롤의 熱管理에는 對象으로 하는 롤의 質量, 치수 등의 要素와 所要特性을 充分히 檢討한 熱處理方

法을 決定할 必要가 있다.

#### 5.1 鑄造系롤 ( 닥타일, 칠드, 그레인롤 )

鑄鐵系롤은 組織的으로 共晶炭化物을 많이 含有하여 材質的으로 脆弱하고, 높은 應力을 發生하는 熱處理는 하지 않는다.

대체로 鑄鐵롤의 性狀은 鑄放狀態에서 주어 지는 것이 原則이고, 基地組織은 各各 鑄造時의 冷却速度와 含有合金量으로 決定된다.

鑄放狀態에서는 鑄造應力 및 變態應力에 따라서 롤 中心部에는 높은 引張殘留應力이 생겨 있어서, 이것과 롤 使用時의 熱應力이 附加되어 롤 折損事故가 일어나는 경우가 있다.

이 때문에 殘留應力除去를 目的으로 한 應力除去熱處理를 하는 경우가 많다.

##### 5.1.1 칠드, 그레인 롤

現在 이들 많은 수의 롤이 遠心鑄造法에 依해서 複合롤로서 製造된다.

胴徑 600 ~ 1,200 mm, 쇼어 硬度 65 ~ 85의 롤 中心部에는 10 ~ 15 kg/mm<sup>2</sup>의 引張殘留應力이 생긴다.

이 應力除去를 目的으로해서 350 ~ 500 °C로 熱處理하는 경우가 많다.

##### 5.1.2 닥타일 롤

一般 닥타일 롤은 應力除去아니링 뿐이나, 特히強度를 必要로 하는 分塊 또는 粗롤用의 닥타일 롤은, 組織的으로도 共晶炭化物이 적고, 基地組織改善을 爲한 노마라이징 및 템퍼링을 하는 경우가 많다.

#### 5.2 鑄鋼, 아다마이트系 롤

熱處理는 擴散아니링, 노마라이징, 템퍼링이 一般的이다.

그런데 擴散熱處理는 鑄造組織을 破壞하고 成分偏析을 除去함이 目的이고 1,000 °C 附近의 高溫에서 長時間 加熱한다.

昇溫途中에는 鑄造殘留應力에 昇溫熱應力이 加해져, 折損不良을 일으키기 쉽고, 加熱速度도 지름이 큰 롤에서는 10 °C/H로 늦은 것도 있다.

다음의 노마라이징 熱處理는 Acm線 以上の 850 ~ 950 °C에서의 加熱維持와 다음의 適切한 冷却條件의 設定이 必要하다.

冷却은 衝風冷却을 하는 경우가 많은데 最近에는 合金添加를 하여 高硬度指向 때문에 미스트 퀴칭도 많아졌다.

따라서 지름이 큰 롤은 冷却中 表面龜裂 또는 링後의 內部龜裂不良도 發生하는 경우가 있고 퀴칭時의 殘

留應力을 나추는 것과 組織의 安定化, 硬度調整이 目的이다.

따라서 550~700℃에서 處理하는 경우가 많다.

以上이 鑄의 一般的 熱處理에 對한 說明인데, 最大의 留意點은 큰 鑄수의 製品을 取扱하는 法인데, 이로부터 派生하는 靚性, 熱應力, 變態應力, 殘留應力에 材料 強度와 겹쳐서 어떻게 對處하는가가 要點이다.

### 6. 鑄의 非破壞 檢査法

大型鑄物인 鑄의 檢査法으로서 가장 重要한 것의 하나로서 非破壞檢査法이 있다.

이 非破壞檢査法에는 一般으로 放射線透過檢査(RT), 超音波探傷檢査(UT), 磁粉探傷檢査(MT), 染色浸透探傷檢査(PT) 등이 있다.

이 中에서 大型鑄造品의 鑄內部의 缺陷 探傷으로서, 超音波探傷檢査가 가장 適合하다.

外表面的 缺陷探傷으로서는 MT, PT法도 適用하고 있다.

그런데 RT의 利用은 거의 없다.

그래서 利用度가 많은 超音波探傷法(UT)에 依한 鑄造鑄의 檢査에 對해서 紹介한다.

#### 6.1 鑄造鑄의 超音波探傷檢査

鑄造鑄의 경우, 壓延鋼材, 鍛鋼材에 比해서 結晶粒이 크고 또, 遊離세멘타이크나 黑鉛의 晶析出이 보여지기 때문에 超音波의 透過性은 나쁘고, 音波의 減衰가 激烈하다. 그래서, 探傷하는 範圍, 檢出하고자 하는 缺陷의 크기에 따라서 適用周波數를 選定하지 않으면 안된다.

超音波의 周波數가 높을 수록 減衰는 커지나 적은 缺陷은 檢出할 수가 있다.

逆으로, 周波數가 낮으면 減衰는 적으나, 적은 缺陷은 檢出되지 않는다.

缺陷檢出可能치수는 適用 超音波의 波長의 1/2 以上이라고 한다.

鑄鐵鑄中에서 아다마이트材, 닥타일材는 比較的 音波의 減衰가 적기 때문에 廣範圍한 探傷이 可能하다.

##### 6.1.1 內部缺陷探傷

鑄의 內部缺陷探傷에는 크게 나누어서 被壓延材와 接觸하는 胴體의 使用部分(鑄 表面으로부터 200mm以內)의 微小缺陷檢出과 鑄中心附近의 缺陷探傷이 있다.

探傷法으로서는 垂直法에 依한 1探觸子法 또는 2探觸子法으로 펄스反射法이나 透過法을 쓴다.

使用周波數는 鑄材에 따라 달라지는데 0.5, 1, 2, 5

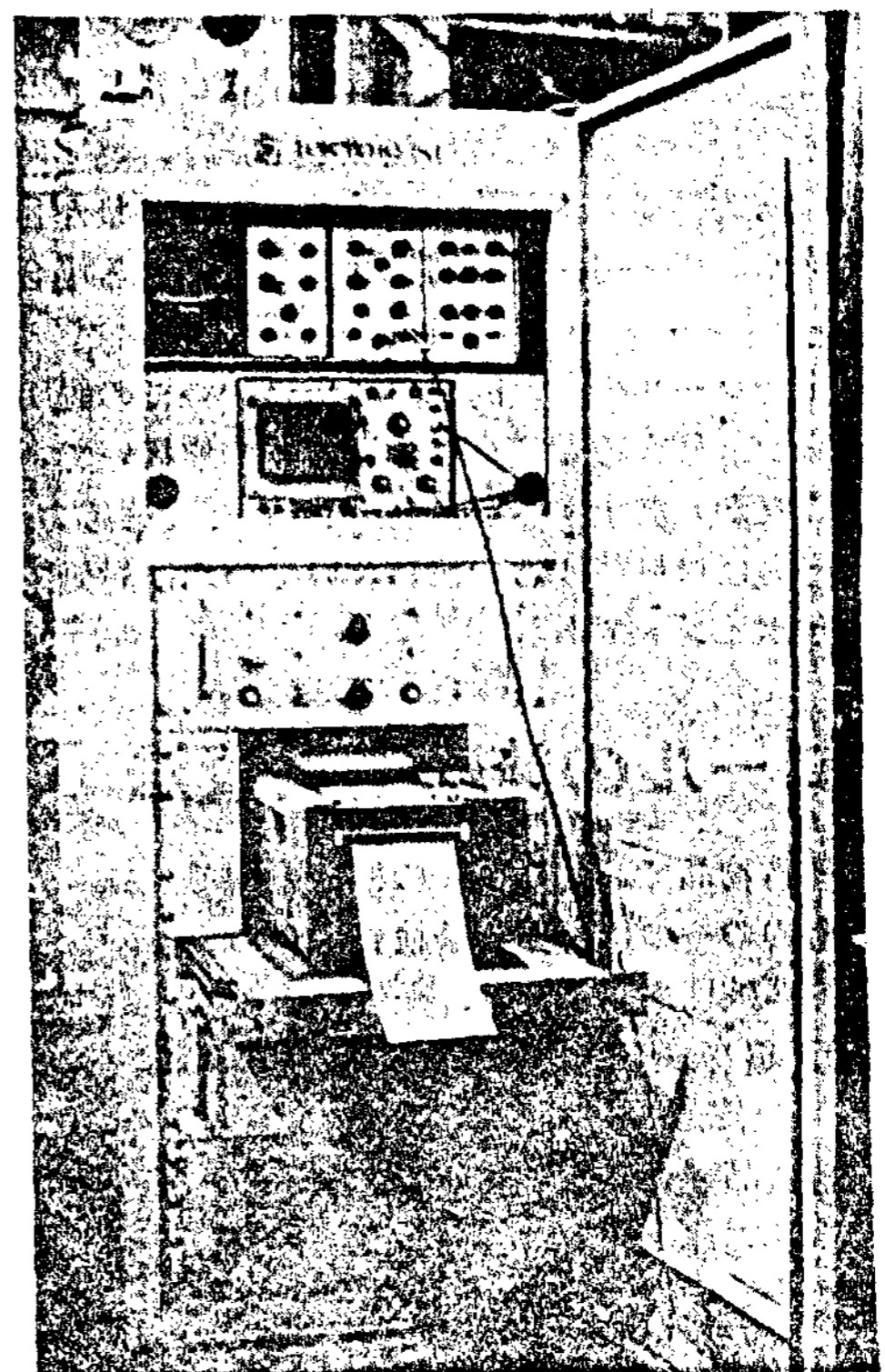
MHZ가 一般적으로 쓰여진다.

0.5, 1MHz는 遠距離의 큰 缺陷檢出用으로, 2, 5 MHz는 近距離의 微小缺陷檢出用으로 使用하고 있다.

또 鑄 中心附近의 探傷檢査는 手探傷인데 表面附近의 微小缺陷探傷은 近來에 와서 自動探傷法이 適用되

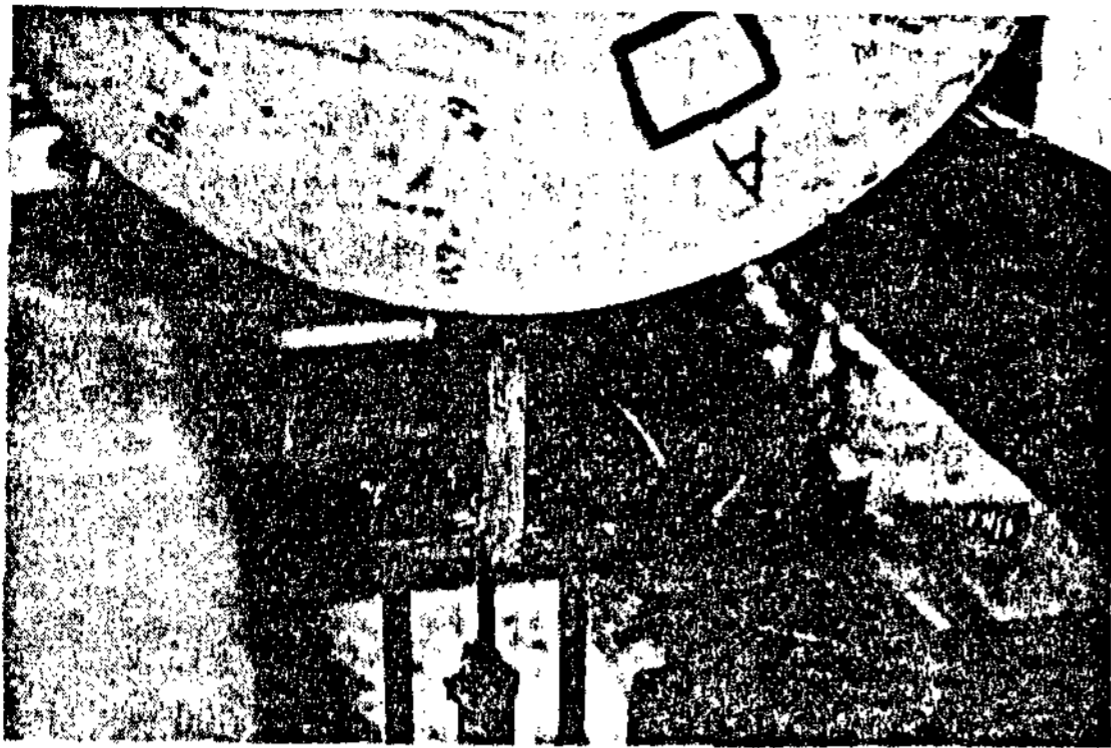


(a) 手探傷法



自動超音波探傷器





探触子部分

(b) 自動探傷法

그림 12 内部缺陷探傷法

게 되었다.

이에 의해서 檢出精度는 현저히 向上되고 있다(그림 12).

### 6.1.2 外殼層두께, 軋두께分布測定

이미 말한 바 처럼 롤 胴部의 外殼層은 高合金의 高硬度材로 內質은 強靱性을 갖인 材料로부터 되는 複合材이다.

外層의 두께 測定은 從來 롤의 胴體 端面의 肉眼判定에 따라 하여 왔는데 胴體内部의 두께의 分布는 不明이었다.

이것을 超音波를 써서 測定함이 可能하게 되었다.

即, 外層과 內層의 境界에서는 兩者에 音響임피던스 (音速×密度)의 差를 알수 있는 것으로부터 境界部로부터의 音波의 反射를 發生시켜, 檢出이 可能하다.

그림 13은 具體的測定을 하는 畫像例이다.

### 6.1.3 材質檢査와 其他의 檢査

材質檢査에의 適用으로서, 超音波의 減衰性 또는 音

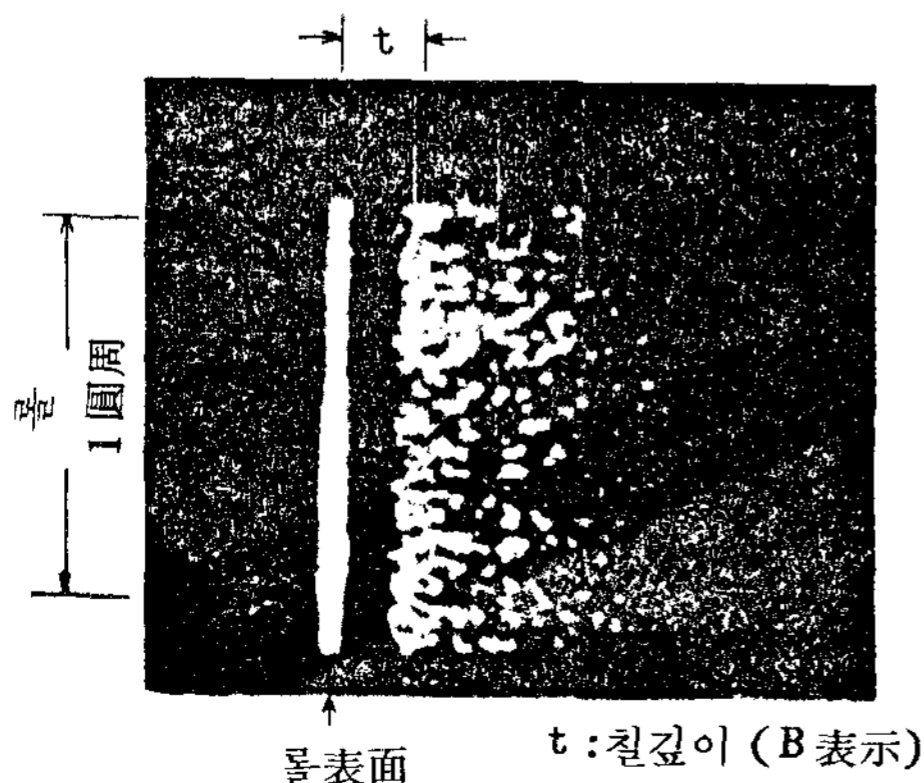


그림 13

外殼層 (軋 깊이) 測定結果

速度를 利用해서 롤内部의 材質性狀을 非破壞的으로 測定하는 것이 可能하다.

音波가 롤의 内部를 傳播할 때, 金屬組織의 크기, 黑鉛量의 多少, 닥타일材의 黑鉛球狀化度 等に 크게 影響을 주어서, 音波의 減衰量에 差가 알려진다.

이 減衰量을 定量的으로 測定함에 依하여 上記, 材質要因의 差를 把握할 수가 있다.

또 超音波의 音速은 傳播하는 材質特性에 依하여 그 빠르기가 다르다.

音速은 傳播材質의 彈性係數, 포아손比, 密度와의 相關性이 있어서, 音速을 正確히 測定함에 依해서도 材質의 特性을 把握할 수가 있다.

其他의 檢査로서, 大型鑄物에서 一般으로 超音波探傷이 不可能하다고 片狀黑鉛鑄鐵에 極低周波(超音波로서 周波數 0.05 ~ 0.5 MHz)를 利用한 超音波探傷法의 適用이 注目되고 있다.

## 7. 表面探傷의 구조와 롤의 실정

### 7.1 롤의 負荷條件

롤에 加해지는 힘은 그림 14에 나타내는 바처럼 壓延에 必要한 힘 P가 胴部에 이것을 支持하는 힘, P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>가 軸部에 作用한다.

軸端部에는 또한 壓延에 必要한 回轉모멘트 M이 加해진다.

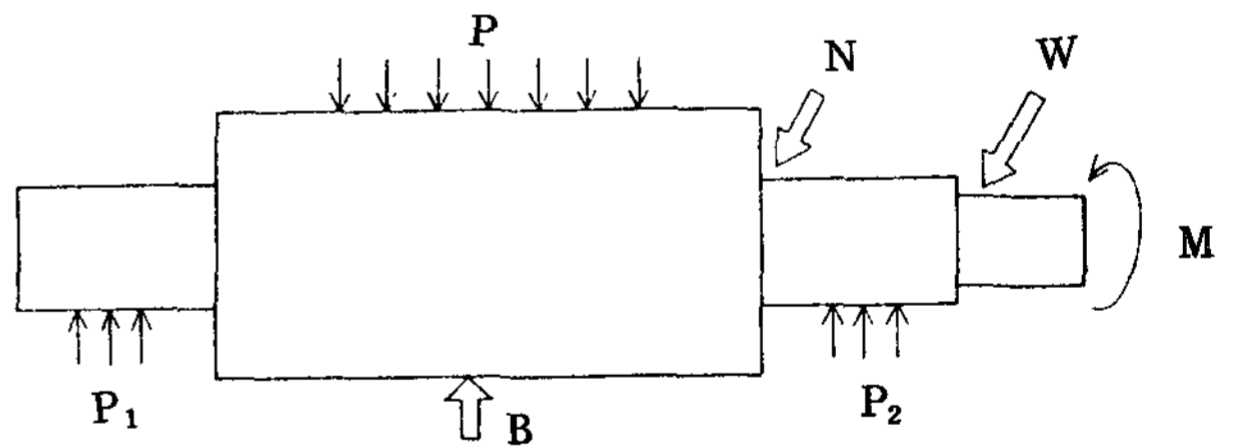


그림 14 롤에 작용하는 힘

이와같은 外力에 依해서 軸部에는 應力 N, W, 胴部에는 B의 應力이 생기기 때문에 이것에 견디는 強度를 갖지 않으면 안된다.

그런데 롤에서 求해지는 가장 重要한 性質은 摩耗가 적고 表面의 거칠어 짐이 쉽지 않아야 한다는 點이다.

이와같은 表面損傷을 일으키는 外的要因은 다음과 같은 것을 列舉할 수 있다.

#### 1) 溫度

薄板廣幅帶鋼을 連續壓延하는 軋·스트릴·밀(HSM이라고 略한다)用 워크·롤의 表面附近에 생기는 온도 사이클을 그림 15에 나타낸다.

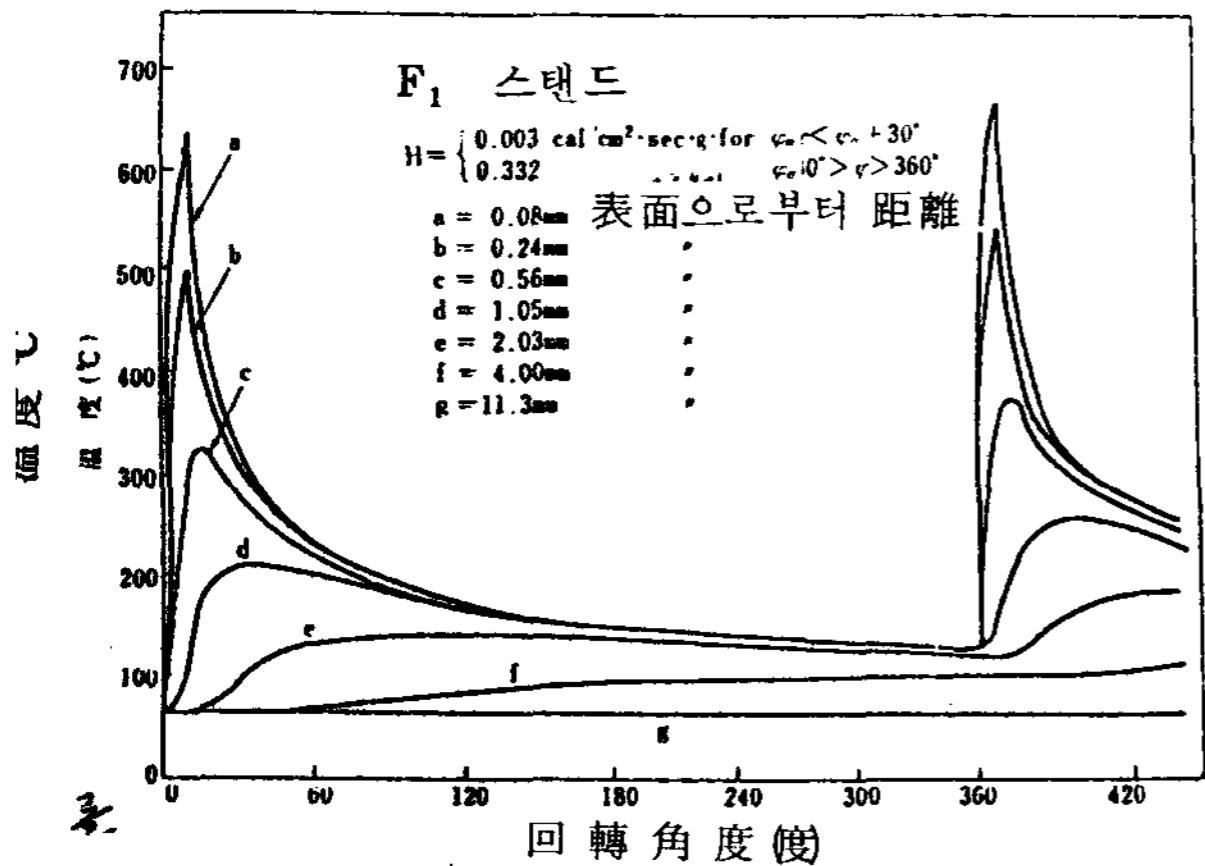


그림 15 熱間롤 表面附近에서의 溫度分布

表面損傷層을 研削除去하는 周期內에서  $10^4$  회以上の 熱사이클이 加해지기 때문에 롤 表面에는 반드시 熱疲勞龜裂이 생긴다.

2) 接觸壓力

HMS 用 워크·롤에는 壓延材와의 接觸壓力이 20 ~ 60 kg/mm<sup>2</sup> 또 백·오프·롤과의 接觸에 依해서 100 ~ 150 kg/mm<sup>2</sup> 의 큰 最大 軋壓壓力이 加해진다.

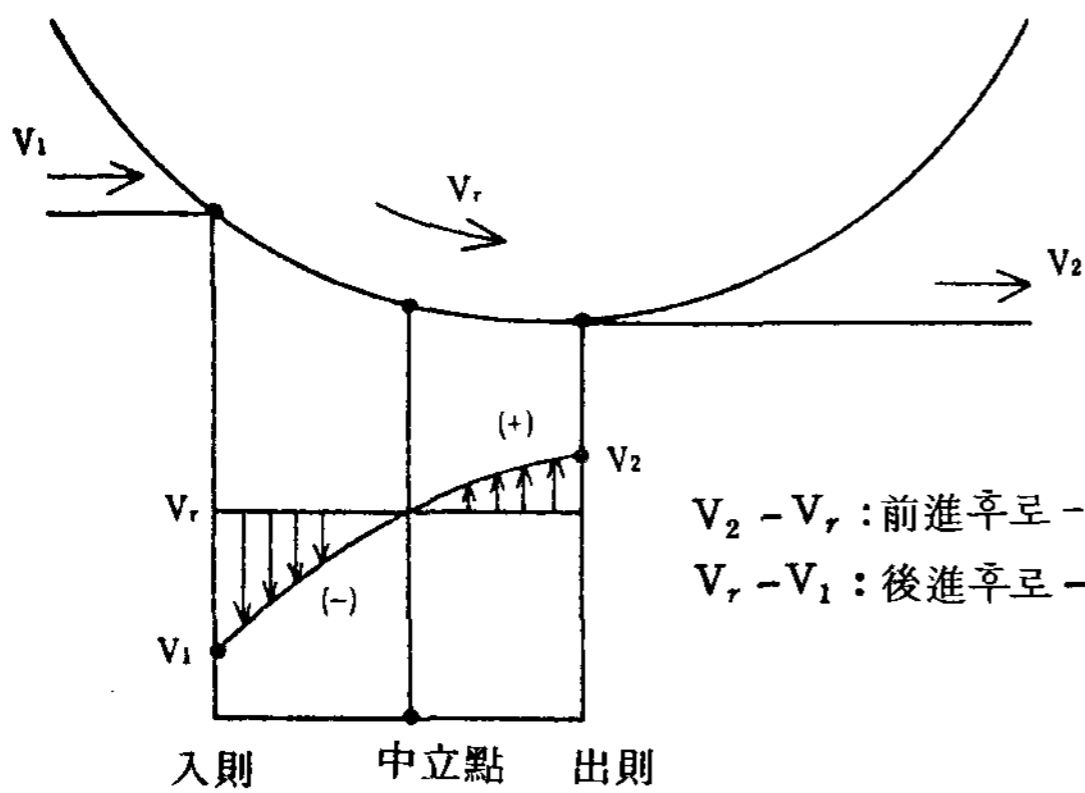


그림 16 前, 後進 후로 -

3) 미끄럼速度

롤과 壓延材과의 相對미끄럼에는 두가지가 있는데, 하나는 그림 16에 나타내는 바와 같은 壓延材의 速度變化에 依하여 버티기前, 後進 후로이고, 다른 하나는 그림 17에 나타내는 構形롤에서 보여지는 롤 周速差에 起因하는 것이 있다.

4) 분위기

롤 冷却水에 依한 腐蝕 및 高溫加熱에 따른 酸化等 表面化學反應이 促進되는 環境下에 있다.

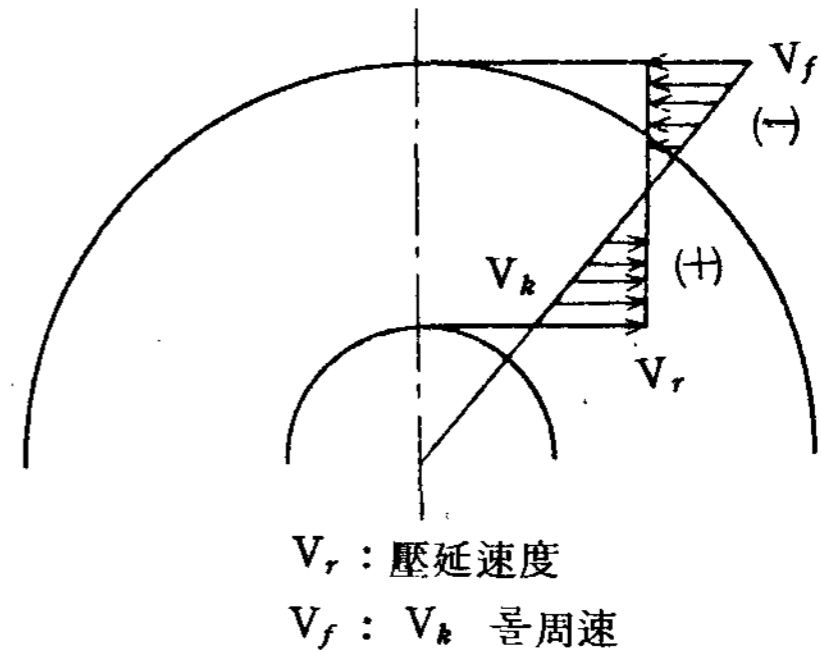
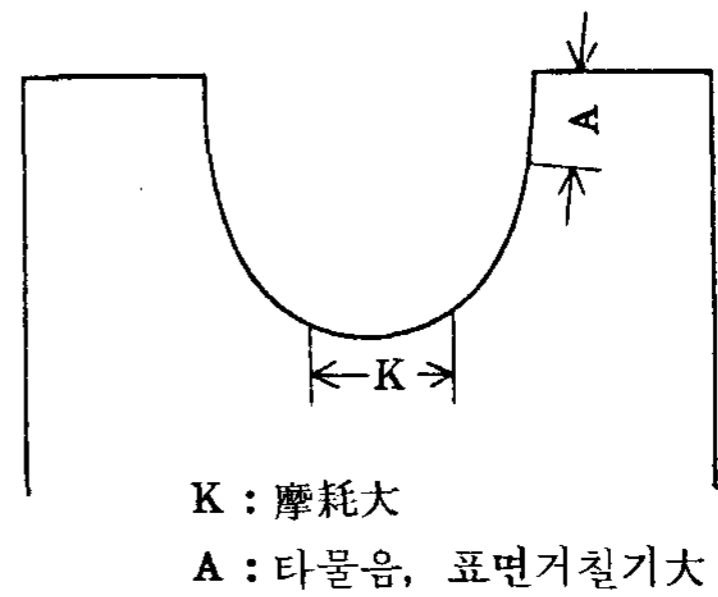


그림 17 溝形롤의 損傷과 미끄럼速度

그 中에서도 高溫酸化는 HSM 워크·롤에서 보여지는 黑皮의 生成과 關聯해서, 表面損傷에 影響이 크다.

물 以外에 潤滑性を 높이기 爲해서 熱間潤滑油의 使用도 널리 하고 있어서 耐摩耗性의 向上에 效果를 올리고 있다.

5) 스케일

壓延材의 加熱에 수반하고 1次 스케일 및 1次스케일 脫落後 生成되는 2次 스케일은  $FeO, Fe_3O_4, Fe_2O_3$  에 따라 構成되어 있는데, 이들이 롤表面에 對해서 여러가지 形으로 影響을 미친다는 것은 말할 것도없다.

7.2 表面損傷과 롤材質과의 關係

壓延에 使用되는 롤 表面에는 그림 18에서 나타내고 있는 것처럼 表面에 垂直한 세로龜裂, 平行龜裂 및 凹凸이 보여지고 이 以外에는 基地組織의 軟化 또는 塑性流動이 생긴다.



그림 18 面損傷의 斷面觀察

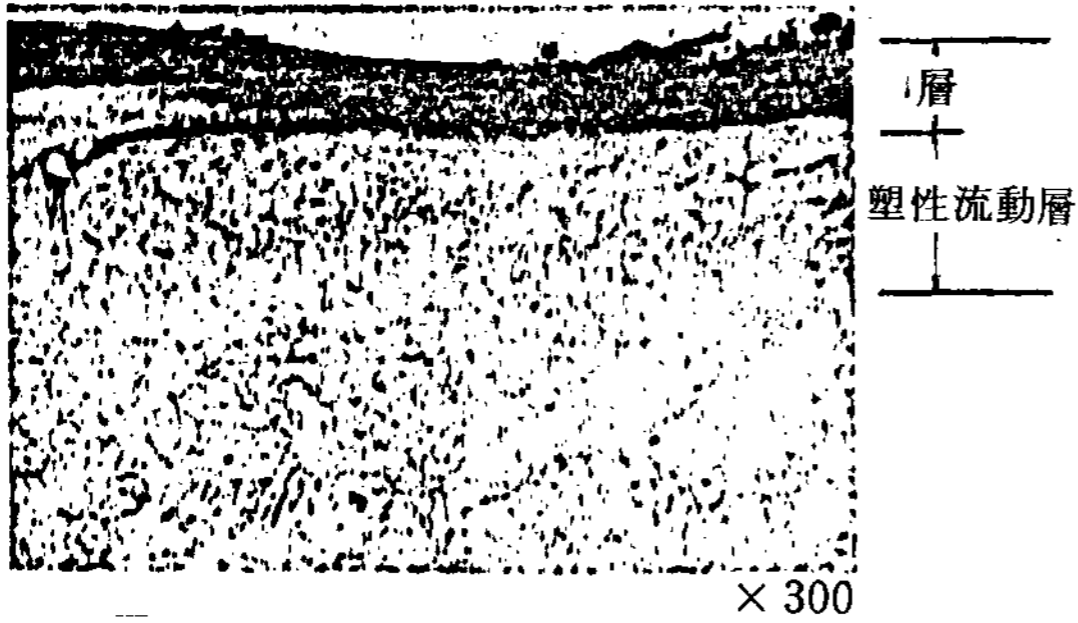


그림 19

그림 19에는 基地塑性流動部에 壓延材가 酸化된 狀態로 層狀으로 타 붙은 것처럼 된다.

이와같은 表面損傷에 對해서 鋼材質로서의 基本的인 構成에 對해서 말하고자 한다.

7.2.1 硬度

凝着 또는 引掻摩耗에 따른 摩耗量은 다음에 나타내는 Holm 의 式에 따른다고 한다.

$$V = Z \frac{WL}{H}$$

여기서,

V : 摩耗容積

W : 荷重

L : 摩擦距離

H : 材料의 硬度

Z : 摩耗되어 나가는 두께의 確率

이다.

따라서 一般으로 단단하게 하므로서 耐摩耗性이 向上하는 것이라고 鋼에 있어서도 이 關係가 들어 맞는 경우가 많다.

한편 HSM用 워크·롤의 表面거칠기는 酸化의 安定附着性이나, 龜裂周邊部의 機械的損傷等이 關係되기 때문에 硬度는 2次的인 것이라고 생각하고 있다.

鋼表面이 高溫으로 加熱되므로 摩耗에 對해서 더 效果的인 것이라고 보는 측도 있으며 이런 觀點에서 合金設計의 知識이 必要하다.

7.2.2 炭化物

壓延鋼의 金屬組織上 含有되는 炭化物은  $Fe_3C$  (HV 1,000 ~ 1,200)가 主가 되는 것인데, 高Cr鑄鐵과 같은  $M_7C_3$ 型 (HV 1,300 ~ 1,600)의 炭化物이 쓰여지는 鋼도 增加傾向에 있다.

炭化物은 高硬度이고 高溫軟化抵抗을 높이기 위해서 摩耗를 적게하는 效果를 위해서 使用한다.

이 以外에 壓延材와의 親和性이 적고 타붙음에 對해서 뛰어나다.

이 性質은 그림 20에 나타내는 타붙음 試驗의 結果에도 잘 反映되고 있다.

反面, 매우 脆性이 있기 때문에 炭化物이 過多하게 되면 機械的性質이 劣化한다.

그림 21은 이 傾向을 나타내는 것이다. 또 熱負荷가 큰 경우에는 機械的 破壞摩耗가 主體가 되기 때문에 炭化物이 많으면, 오히려 摩耗가 增加한다.

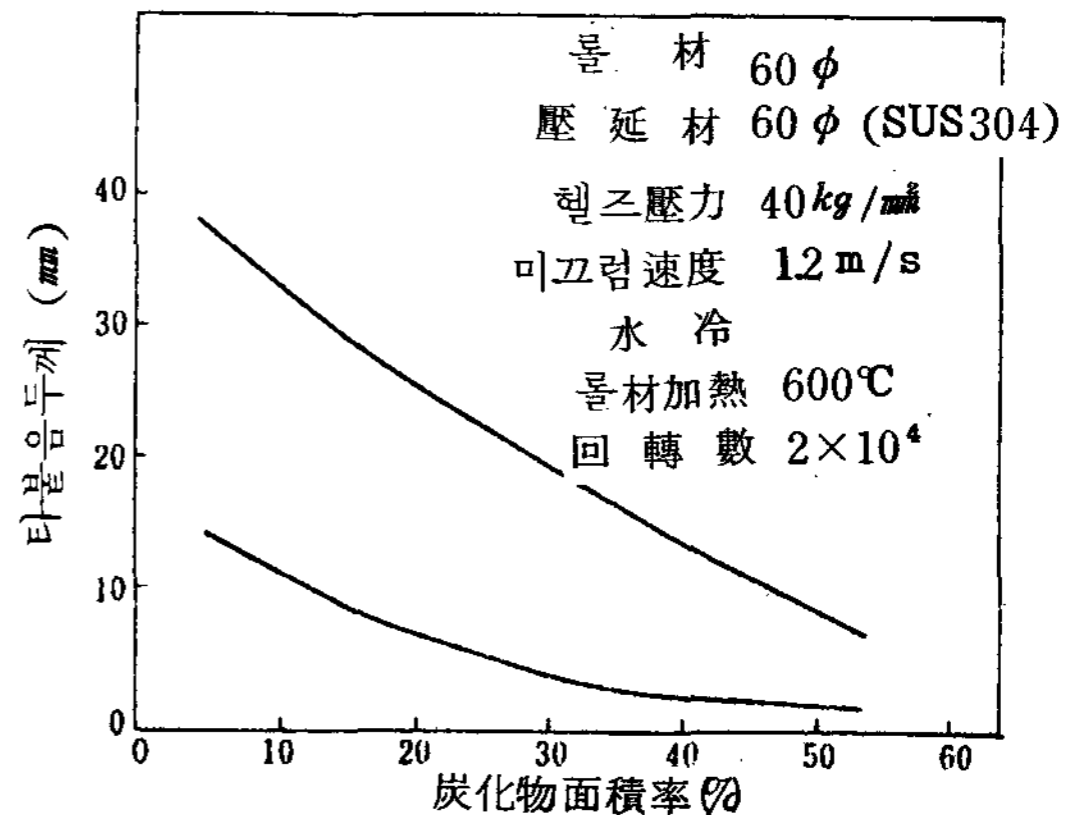


그림 20 炭화물과 타붙음의 관계

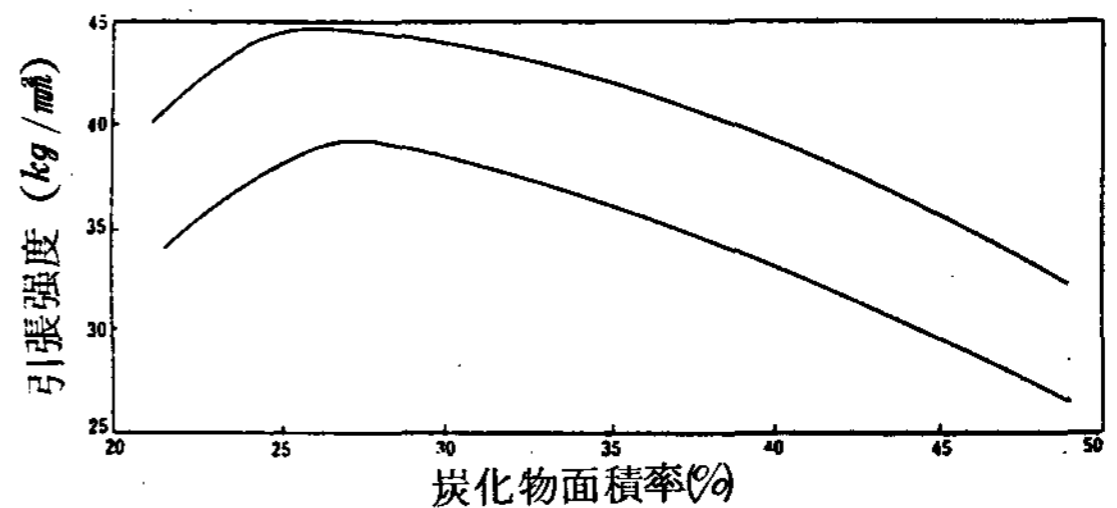


그림 21 炭化物量과 引張強度의 關係

따라서 炭化物의 量이나 種類는 摩耗와 破壞의 兩面으로부터 最適條件을 選定할 必要가 있다.

7.2.3 黑鉛

熱싸이클을 받는 工具類에 黑鉛組織이 즐겨 쓰여지는 것은 熱龜裂을 얇게 해 막아주는 性質을 黑鉛이 갖고 있기 때문이고, 黑鉛의 다음의 性質이 寄與하고 있다.

即, 黑鉛의 熱傳導率이 높고, 應力集中源이 되어 多數의 龜裂을 生成하므로 應力緩和效果를 갖고 있고, 또 彈性係數를 低下시키므로 發生應力이 적은 것 등이 생 각되어 진다.

이 때문에 다음式에 나타내는 熱衝擊係數를 크게하는 效果가 黑鉛에 依해서 얻어진다.

$$K = \frac{\lambda \sigma_B}{E \alpha}$$

단,  $\lambda$  : 熱傳導率  
 $\sigma_B$  : 引張強度  
 $E$  : 彈性係數  
 $\alpha$  : 熱膨脹率

이다.

또 黑鉛은 潤滑效果를 갖고 있기 때문에 耐摩耗性的 向上에도 寄與하고 있다는 見解도 있다.

한쪽에서는 그림에서 나타내는 바와 같이 機械的破壞摩耗를 일으키는 가로龜裂에 對해서 黑鉛은 그의 發生源이 된다.

이와같이 黑鉛은 表面損傷에 對해서 功罪兩面을 갖고 있어서, 損傷形態나 問題에 應해서 適用하지 않으면 안 된다.

7.2.4 其他

耐高溫酸化性, 壓延材와의 親和性, 熱傳導率 또는 強靱性 等の 性質은 表面損傷에 對해서 여러가지 形態로 影響을 끼치고 있다.

7.3 卷 材質設計

表面損傷에 對한 要因을 要約해서 말했는데, 아주 一部分만 손댄 것 뿐이다.


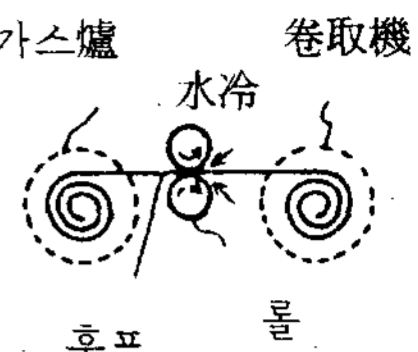
具體的인 卷材質의 設計에 있어서는 要因이 많고, 이들의 全體를 事前에 把握할 수 있으므로 經驗的인 接近이 主가 된다.

그런데 壓延機의 시뮬레이터를 쓴 材質設計의 試驗도 있다.

表2는 現在 하고 있는 熱間壓延卷의 시뮬레이션을 目標로 한 試驗方法을 나타낸 것으로, 從來 一般으로 쓰고 있던 方式에 比하면 實壓延機에 좀더 가깝다고 생각된다.

이들의 시뮬레이터의 精度를 높여서, 效果的으로 活用함으로써 熱間壓延用 卷에 있어서의 表面損傷에 關한 系統的인 데이터의 蓄積이 可能해 지리라고 생각한다.

(表2) 熱間卷摩耗 시뮬레이터

	新日鐵方式 <sup>4)</sup>	本原一昭石方式 <sup>6)</sup>
配 置	 <p>高周波 加熱爐 물 水冷</p>	 <p>가스爐 水冷 卷取機 후프 물</p>
卷 材	$\phi 50 \times 10$	$\phi 70 \times 40$
相對材	$\phi 190 \times 15$ (S45C外)	$0.7 \times 17 \times 1,000m$ (SPCC)
溫 度	$\sim 1,200^\circ\text{C}$ ( $950^\circ\text{C}$ )	$\sim 1,200^\circ\text{C}$ ( $950^\circ\text{C}$ )
周 速	$\sim 3\text{ m/s}$	$\sim 3.3\text{ m/s}$
荷 重	$50 \sim 100\text{ kg}$ (헬즈壓加 $50\text{ kg}$ $27\text{ kg/mm}^2$ )	$\sim 6,000\text{ kg}$

(鑄物ノ-ト, No.47, Nov.1982 로 부터)

參 考 文 獻

- 1) 關本, 田中, 澤田, 古賀; 鐵과 鋼 61, 10(1975), 2337.
- 2) 小野田, 釘宮, 長井, 田村; 住友金屬, 30-3, Jul (1978), 227.
- 3) 佐野; 第 81 回 심포지움 교재, 塑性加工學會 九州支部 (1982), 1
- 4) 大貫; 第 6 回工業材料의 利用技術 심포지움 (1979), 日本能率協會
- 5) A.Magnee, C.Gaspard, M.Galriel; C.R.M., 57 Dec(1980), 25
- 6) 本原, 銅屋, 中村, 末永, 佐野; 鐵과 鋼, '81-S379
- 7) 岩元; 潤滑, 15-11(1970), 752