

# 鋼材의 機械 加工性에 미치는 冶金學的 因子

孫 有 洪

삼미종합특수강(주) 중앙연구소



●1947년생  
●물리아금, 금속재료, 강도학, 열처리 등을 전공하였으며 초고장력강인 Maraging강 대체재료 개발, 정밀 플라스틱 금형재료 개발, 초내열합금 개발, 강재의 기계 가공성등에 관심이 있다.

## 1. 머리말

鋼材의 대부분이 切削 加工에 의해 機械要素 部品으로 제조되지만 鋼材는 非鐵材料인 黃銅이나 알루미늄에 비해 機械 加工性이 훨씬 떨어져 이의 改善 研究가 오래전 부터 進行되어 왔다.

더구나 最近에는 自動車 트랜스 미션 및 驅動裝置 등의 耐摩耗性을 요구하는 高強度 機械 部品과 金型과 같은 精密 加工品の 生産原價 切減 및 生産能率 極大化를 꾀한 自動 切削 加工 機械의 등장으로 鋼材의 機械 加工性에 대한 관심이 高潮되고 있다. 最近의 機械 加工性에 對한 研究는 材料의 本來의 特性을 해치지 않고 機械 加工性을 向上 시키는 方向으로 나아가고 있다.

本稿에서는 鋼材의 機械 加工性에 가장 큰 영향을 미치는 冶金學的 因子인 鋼材의 化學成分, 非金屬 介在物, 熱處理 組織 및 冷間加工 등에 관해 검토하여 機械 加工性 改善 作業에 일말의 보탬이 되고자 한다.

## 2. 機械 加工性的 評價基準

鋼은 旋削, 드릴링, 밀링, 齒車加工, 브로치 가공 등의 加工 方法으로 切削되고, 各各의 切削 方式에 대해서 切削 加工의 難易을 表示하는데에는 機械 加工性 또는 被削性(ma-

chinability)이라는 용어가 사용되고 있다.

각각의 가공 방법에 대해서도 切削되는 部位의 幾何學的 및 力學的 條件이 서로 다르기 때문에 被削性 評價基準의 序列은 切削方式에 따라 변한다. 그러나 일반적으로 통칭해서 難削 材料와 快削 材料로 나눈것은 旋削 加工方法으로 評價해서 分類하는 것이 보통이다.

機械 加工性은 切削 作業의 生産能率, 經濟性, 最終 加工品の 品質이라는 측면에서 定量的 혹은 定性的으로 표현되지만 일반적으로 다음의 4개 項目<sup>(1)</sup>으로 나누어서 評價할 수 있다.

- (1) 工具의 壽命을 기준으로 한 切削速度 및 加工量 등의 切削 能率의 評價
- (2) 切削 加工時 工具에 걸리는 힘(切削抵抗) 또는 切削 動力의 크기
- (3) 切削 加工面の 거칠기 또는 最終 加工面의 品質(integrity)의 良好함
- (4) 切削되는 칩(chip)의 排除 및 處理性 즉 적당한 크기로 彎曲(curl) 切斷이 容易한

표 1 切削作業에서 본 機械 加工性 判定基準의 優先順位

切削加工 評價基準	荒削加工	仕上加工	自動切削
工具 壽命의 長短	1	3	3
切削 加工面の 良否	4	1	2
切削 칩 處理의 難易	3	2	1
切削 抵抗의 大小	2	4	4

지의 與否

표 1은 切削 作業에서 본 機械 加工性의 判定 基準의 優先 順位<sup>(2)</sup>를 나타낸 것으로 機械 加工性의 評價 基準은 切削 加工의 내용에 따라 우선 순위가 변한다.

즉 自動 切削에서는 칩 處理性이, 荒削 加工에서는 工具 壽命이, 仕上 加工에서는 加工面의 거칠기 등이 最優先의 評價 基準으로 되고 있다.

### 3. 機械 加工性和 冶金學的 因子

鋼材의 機械 加工性은 주로 化學成分, 顯微鏡 組織이나 物理的 性質에 영향을 받는다. 顯微鏡 組織이나 物理的 性質은 被削材의 冷間 加工이나 熱處理에 따라 크게 변한다. 또한 化學成分과 관계가 있지만 鋼中에 存在 하는 非金屬 介在物의 영향도 매우 크다.

그림 1은 機械 加工性의 評價 基準과 機械 加工性에 영향을 미치는 諸 因子와의 관계를 나

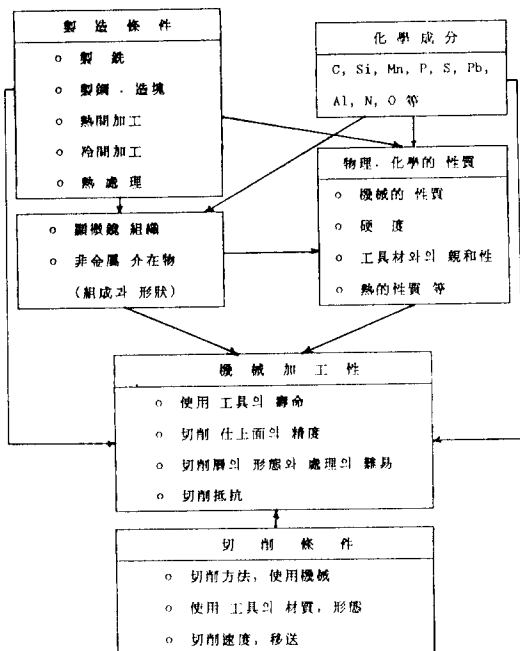


그림 1 機械 加工性에 미치는 諸因子

타낸 것이다.

그림에서 보듯이 機械 加工性에 영향을 미치는 要因은 많다. 이들 要因들도 복잡하게 얽혀있고 또한 어느 評價 基準에서도 같은 영향을 미치지 않고 오히려 반대의 결과를 나타내는 경우도 있다.

例를 들면 炭素鋼의 切削의 경우 被削材의 硬度가 커지면 仕上 加工面은 좋아지지만 工具 摩耗가 커진다. 따라서 材料의 機械 加工性의 良否를 判定하는 데에 그 加工에서는 어떤 判定 基準이 重要한가를 먼저 확인하는 일이 重要하며 이어서 그 評價 基準에 대해서는 어떤 因子가 正 또는 負의 效果를 가지고 있는가를 明確히 하지 않으면 안된다.

#### 3.1 化學成分

표 2는 機械 加工性에 미치는 化學成分의 영향을 나타낸 것이다. 이들중 영향을 크게 미치는 元素들에 대해 좀더 說明을 附加하면

##### (1) 炭素 (C)

C은 페라이트(ferrite)에 0.025% 固溶하고 그 이상은 炭化物로 析出 한다. 이 炭化物은 切削 加工時 應力 集中源으로 作用해 切削 抵抗을 減少시키는 效果가 있는 反面에 炭化物은 매우 硬하기 때문에 工具를 摩滅시킨다는 兩面性을 갖고 있다.

그림 2는 機械 加工性에 미치는 鋼中의 C量의 영향<sup>(3)</sup>을 나타낸 것으로 各種 工具 試驗法에 따라 機械 構造用 炭素鋼인 S10C~S55C(鋼中에 C가 0.1~0.55% 含有한 鋼)의 機械 加工性을 나타낸 것이다.

그림에서 炭素 含有量이 증가할수록 工具 壽命은 떨어지나 칩 處理性은 오히려 좋아진다.

##### (2) 硫黃 (S)

S는 鋼中에서 硫化物(MnS)로 存在하여 機械 加工性을 附與하는 元素로서 가장 오래전부터 알려져 있다. AISI, JIS 및 JASO 등에는 0.04~0.35%S까지 添加된 것이 快削鋼으로서 規格化되어 있다.

또 0.04% 이하에서도 S는 機械 加工性을

표 2 化學成分과 機械 加工成性

元素	量%	鋼中の 形態	效果(元素의 量 增加)			
			工具壽命	仕上面 거칠기	切削 칩 處理性	
C	-0.60	Ferrite에 固溶 (硬度를 높인다)	減少 HB150~180 에서 最適인 경우도 있음	HB150~180 最 適	改 善	
Si	-0.35					
Mn	-2					
P	-0.120					
N	-0.015					
Ca	-0.010	介 在 物	酸化物(CaO-SiO <sub>2</sub> -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> MnO-TiO <sub>2</sub> -MnO)	改 善	-	-
Si	-0.35		酸化物(Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , SiO <sub>2</sub> )	減少	-	-
Al	-0.06		窒化物(TiN, ZrN)	減少	-	-
Mn	-2		硫化物(MnS, CaS)	改 善	改 善	改 善
Ti	-0.020		Mn Te, Mn Se	改 善	改 善	改 善
N	-0.015		Pb, Bi	改 善	改 善	改 善
S, Se	-0.40					
Te	-0.10					
Pb, Bi	-0.35					

매우 좋게 하므로 機械 構造用鋼에서는 規格 上限으로 成分 制御한 강이 切削用으로 사용되고 있다.

그림 3은 림드鋼의 S量과 機械 加工性 指數와의 關係<sup>(4)</sup>를 나타낸 것으로 機械 加工性의 향상은 S量에 대해서 直線的이 아니고 소량의 S添加로도 현저하다.

硫化物계 介在物의 機械 加工性에 대한 기여는 切削 칩 剪斷域에 있어서 MnS가 內部 應

力 集中源으로 작용하는 것과 工具와 切削 칩 간에 粘性流體潤滑 作用이다<sup>(5)</sup>.

潤滑作用 보다도 內部 應力 集中源으로서 효과가 큰 사실은 熱間 壓延에 의해 변형되기 어려운 硫化物이 실모양으로 延伸된 硫化物보다 機械 加工性이 양호하다는 결과로서 알 수 있다.

白井<sup>(6)</sup>에 의하면 切削 칩의 剪斷域에서 MnS 때문에 미세 크랙이 발생하여 이것이 應力 集

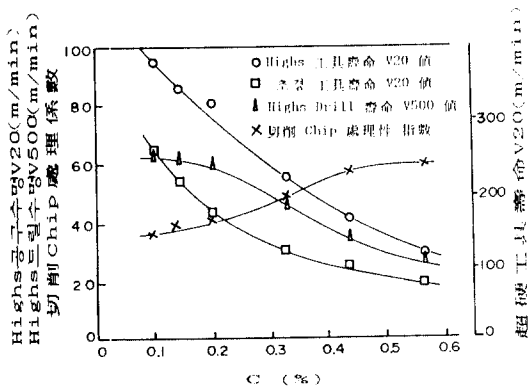


그림 2 機械 加工에 미치는 鋼中の C量의 영향

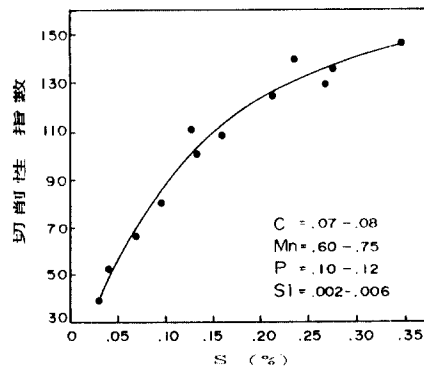


그림 3 機械 加工性에 미치는 S의 영향(定壓 移送 切削法에 依한 評價)

中源을 따라 전파한다. 이 때문에 切削 칩 剪斷域은 좁게되고 切削 칩의 剪斷 應力이 명확하게 감소한다. 硫化物계 介在物에서 미세 크랙이 생성되고 切削力을 저하 시킨다는 보고도 많고<sup>(7~12)</sup> 硫化物이 工具面에 얇은 막을 형성해서 摩擦과 摩滅을 경감시킨다는 보고도 있다<sup>(9,12,13)</sup>.

또한 硫化物의 形狀과 分布에 따라 機械 加工性에 큰 차가 있다<sup>(14,15)</sup>.

그림 4는 硫化物의 形狀과 機械 加工性에 대한 관계로서 가느다란 실모양의 硫化物보다 두꺼운 타원형의 硫化物 경우가 機械 加工性에 좋다<sup>(15)</sup>. 그림 5는 硫化物의 크기가 機械 加工性에 미치는 영향으로 Van Vlack<sup>(15)</sup>은 50~100개/mm<sup>2</sup> 이상의 硫化物이 필요하지만 0.01mm 길이 이하의 硫化物에서는 工具 摩滅이 증가된다는 보고<sup>(16)</sup>도 있다.

그러나 硫化物이 극단적으로 커지면 硫化物이 존재하지 않는 부분이 많게 되어 被削材 전체의 성능 향상은 기대할 수 없다.

(3) 鉛 (Pb)

Pb는 鋼중에서 介在物로 존재하여 切削 加工時 應力 集中源으로 작용함과 동시에 工具面과 切削 칩 間에 潤滑作用 및 切削 칩 생성시

미세크랙면에 침투해서 再溶着을 방지하므로 切削 칩이 쉽게 切斷이 된다. 그 결과 비교적 低速 加工域에서의 工具壽命(특히 드릴링)을 개선함과 동시에 切削 칩 處理性 및 加工面の 거칠기 등이 현저하게 개선된다.

그러나 超硬 工具의 경우는 腐蝕 作用에 의해 工具壽命이 Pb가 첨가되지 않은 鋼보다 떨어진다.

Pb에 의한 機械 加工性 向上 効果는 Pb 介在物에 의한 潤滑 効果와 昇溫脆性에 기인한다<sup>(11,17)</sup>.

MnS가 Pb 때문에 變形이 억제되어 MnS 効果가 한층 커진다<sup>(18)</sup>.

그림 6은 SCM 420(0.15%C-Cr-Mo강)의 燒準(normalizing) 한 材料에 대해 첨가량과 工具壽命 60분에 상당하는 切削 速度의 관계<sup>(17)</sup>를 나타낸 것으로 Pb 含有量이 증가함에 따라 동일 工具壽命에 대응하는 切削速度는 커진다. 특히 Pb 0.01%까지의 切削 速度의 증가 비율은 현저히 크다.

그림 7은 Pb 快削鋼의 C 含有量과 工具壽命과의 관계로서 Pb 快削鋼의 工具壽命은 基本鋼의壽命보다 2~7배로 매우 양호하고 특히 C가 낮을 수록 效果가 크다.

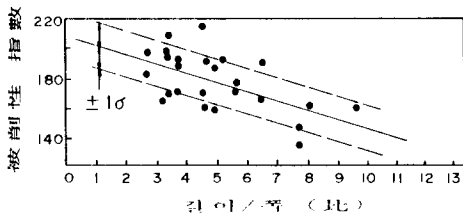


그림 4 硫化物 形狀이 被削性指數에 미치는 영향

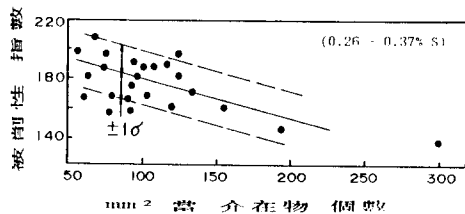
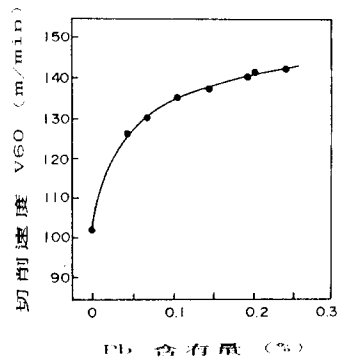
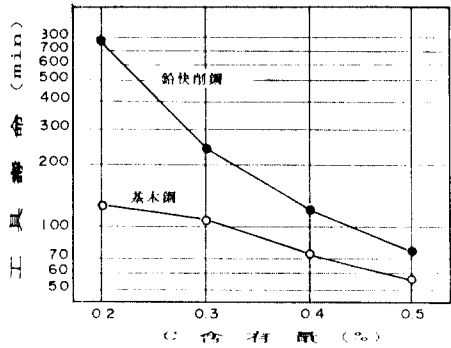


그림 5 硫化物 크기가 被削性指數에 미치는 영향



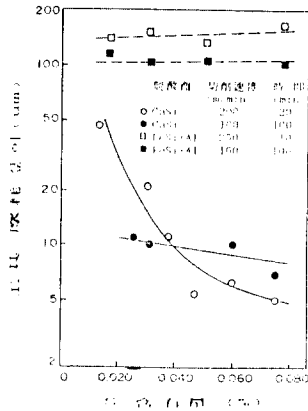
被削材...SCM 420(소준)  
 工具...P10(0.6.6.6.8.0.0.4)  
 Feed...0.2mm/rev, Depth...1.0mm  
 切削油...없음, 工具壽命限度...후랭크  
 摩滅幅 V=0.3mm

그림 6 工具壽命에 미치는 Pb 含有量의 영향



공구 : P 10(33-4), 이송속도 ; 0.24mm/rev,  
 절삭깊이 ; 0.8mm, 절삭속도 ; 120m/min,  
 공구수명판정 ;  $V_B = 0.3\text{mm}$

그림 7 鉛快削鋼의 C含有量과 工具壽命의 關係



被削材 : S45C 相當鋼, 工具 : P20(-5, -5, 5, 5,  
 15, 15, 0.8)

Feed : 0.25mm/rev, Depth : 2.0mm

그림 9 超硬旋削時의 工具 摩減量에 미치는 脫酸  
 法과 硫黃 含有量의 영향

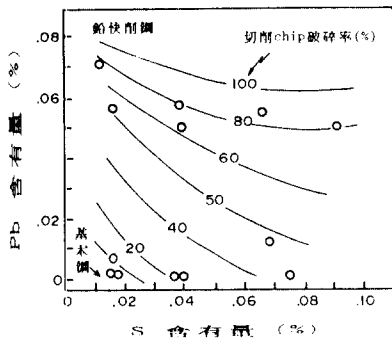


그림 8 Pb 및 S含有量과 切削칩 破碎率의 關係

鋼中에 Pb가 첨가되면 切削 칩 破碎性이 개선 된다. 그 이유는 工具와 切削 칩 간의 접촉 길이가 짧아, 이 때문에 切削 칩이 만곡(curl)되기 쉬운 것과 200~350°C에서 취화하기 때문이다.

그림 8<sup>(19)</sup>은 SCM 420에서 Pb 및 S含有量과 切削 칩 破碎率을 나타낸 것으로 Pb 및 S含有量의 증가에 따라 切削 칩 破碎率이 커지고 Pb 0.07%이상에서 거의 100%의 破碎率을 나타낸다.

(4) 칼슘 (Ca)

Ca는 製鋼에서 酸化 精練時 즉 溶鋼中에 酸素가 다량있을때 이를 除去하기 위해 脫酸材로 첨가한다. 이때 Ca의 대부분은 酸素와 結合되어 스투그로 되나 일부는 鋼中에 잔류하게

된다.

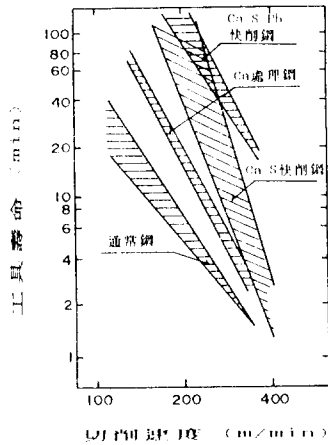
이와같이 鋼中에 잔류된 Ca 複合 酸化물이 材料의 機械 加工性에 影響을 미친다.

그림 9<sup>(20)</sup>는 S含有量이 다른 Ca 脫酸鋼과 Fe-Si-Al 脫酸鋼(일반적인 脫酸鋼)을 超硬 合金 工具 P20을 사용해서 2종류의 速度로 旋削한 경우의 工具 摩減을 비교한 것으로 Ca 脫酸鋼이 훨씬 工具 摩減이 적다.

특히 高速 切削인 경우 S含有量 증가와 함께 양호한 機械 加工性을 나타낸다. Ca 脫酸鋼이 工具 壽命을 증대시키는 것은 工具面에 Ca 複合 酸化물이 附着되어 그 附着物이 工具面을 보호하고 工具가 切削 칩과 직접 摩擦되는 것을 억제한다. 또한 工具의 元素가 熱擴散으로 切削 칩 중에 이동되어 工具 성능이 劣化 되는 것을 막는다<sup>(21,22)</sup>.

Ca 脫酸鋼은 低融點 介在物이 工具面에 附着되어 工具 壽命을 개선시키는 것이기 때문에 超硬 合金 工具를 이용해서 高速 切削 할때에 매우 큰 效果가 있다. 그러나 실제의 切削 加工에서는 高速 切削만을 하는 것이 많지않고 高速度鋼 工具에 의한 旋削 및 드릴링하는 경우도 많다.

그리고 高速度鋼 工具를 사용하는 경우에는



切削材 熱處理 : 소준  
 工具 : 超硬合金 P20(-5°, -5°, 5°, 15°, 15°, 0.8 mm)  
 切削條件 : Depth 2.0mm, Feed 0.25mm/rev  
 그림 10 各種 快削鋼의 工具壽命의 比較

Ca 脫酸鋼은 效果가 없는 경우가 많다. 또한 Pb 快削鋼과 같이 切削 抵抗의 低下, 加工面의 거칠기 향상 切削 칩 破碎性 향상 및 드릴링의 향상 그리 크지않다.

이 때문에 實用的 Ca 快削鋼은 S 또는 S+Pb 快削鋼과 複合해서 사용한다.

그림10은 S50C(0.5%C를 함유한 炭素鋼)를 基本鋼으로한 때의 Ca 快削鋼, Ca-S 快削鋼 및 Ca-S-Pb 快削鋼의 超硬 合金 工具에 의한 工具 壽命의 比較로서 Ca 單獨 添加鋼보다 S와 S+Pb의 複合 添加鋼이 工具 壽命에 좋다<sup>(23)</sup>. 표 3은 Ca 複合 快削鋼의 機械 加工성과 기계적 성질을 通常鋼, S 快削鋼 및 Pb 快削鋼의 성질과 比較한 것으로 S 添加된 것은 異方性 (延伸率, 靱性)이 좋지 않고 機械 加工성은 매우 좋다. 그러나 Pb 添加鋼은 機械的 性質이 通常鋼에 비해 크게 떨어지지 않으며 機械 加工성이 개선된다.

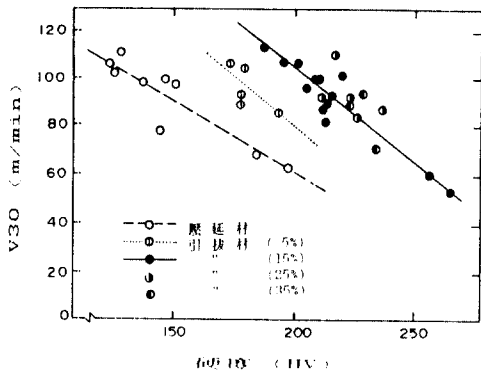
3.2 冷間加工

鋼材를 冷間 加工하면 일반적으로 硬度는 증가하지만 延性값은 저하한다. 冷間 加工材를 切削하면 剪斷角이 증가해서 切削 칩 變形의 減少라고 하는 機械 加工성에 유리한 效果和 硬度 증가에 의한 剪斷 應力 증가라고 하는 마이너스 效果도 있다.

표 3 Ca 複合 快削鋼의 比較

區 分		通常鋼	Ca-S	Ca-S-Pb	S	Pb
被 削 性	工 具					
	超硬合金(旋削)	×	◎	◎	×	○
	高速度鋼(旋削)	×	△	◎	△	○
	高速度鋼(穿孔)	×	○	◎	○	◎
	仕上面거칠기	×	△	○	△	○
機 械 的	切 削 칩 破 碎 性	×	△	◎	△	◎
	强 度	◎	○	◎	◎	◎
	延 性	◎	△	△	△	◎
性 質	靱 性	◎	△	△	△	◎
	强 度	◎	◎	◎	◎	◎
異 方 性	延 性	◎	×	×	×	○
	靱 性	○	×	×	×	○

◎ 매우 양호, ○ 양 호, △ 약간 나쁨, × 매우 나쁨



工具 : SKH9(0, 15, 6, 6, 0, 0.5)  
 Feed : 0.16mm/rev, Depth : 1.5mm  
 乾式切削 : 壽命基準 : 完全損傷

그림 11 硫黃 快削鋼의 壓延材와 引拔材의 工具 壽命에 미치는 硬度的 영향

따라서 低炭素鋼에서는 延성이 높은 웨라이트 部位를 冷間 加工으로 硬化시켜 機械 加工性을 개선할 수 있다. 그러나 中炭素鋼에서는 硬도가 너무 높아 工具壽命 저하를 가져온다. 또, 冷間 加工하면 切削 칩이 얇아져 칩 處理性이 나쁘지만 加工 硬化지수가 감소함으로 構成刀先이 적어져 仕上面의 거칠기가 개선된다(24).

즉 다시 말하면 切削熱의 대부분은 칩 생성시 加工 硬化에 의해 발생하므로 切削 工具에 의해 생기는 加工 硬化량을 적게 하기 위해 加工 前에 冷間 加工해두면 機械 加工性 향상에 유

효하다(25).

그림11은 硫黃 快削鋼의 壓延材와 引拔材의 工具 壽命에 미치는 硬度的 영향으로서 어느 정도의 冷間 加工은 工具 壽命을 향상시킨다(26).

### 3.3 熱處理 組織

동일 화학성분을 갖더라도 熱處理 방법의 차이에 따라 鋼材의 硬度나 靱性치 및 延性값이 다르기 때문에 필연적으로 機械 加工性도 변한다(27,28).

熱處理는 加工 製品의 最終 用途를 滿足시키기 위해 또는 加工을 容易하게 하기 위해 시행한다.

切削 加工에 있어서도 加工하기 쉬운 組織이라는 것이 있어 옛부터 中炭素鋼이나 低合金鋼은 燒準(normalizing)처리를 하여 비교적 거칠은 웨라이트, 펄라이트 組織을 만든다.

炭素 含有量이나 合金 成分量이 증가하면 단단해지므로 硬度的 저하를 주목적으로 完全 燒鈍(full annealing)이나 球狀化 燒鈍(spherodized annealing)을 실시한다.

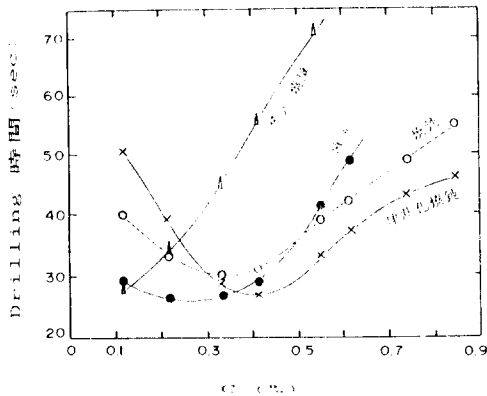
표 4는 炭素鋼 및 低合金鋼에서의 切削 方法과 組織과의 관계(29)를 나타낸 것으로 동일 성분이라도 熱處理 方法에 따라 組織이 변화하여 機械 加工性에 영향을 미치고 鋼種別 加工 方法別로 最適 條件이 있음을 보여주고 있다.

그림12는 炭素鋼의 機械 加工性和 炭素量 및 熱處理의 관계로서 低炭素 및 中炭素鋼에서는

표 4 炭素鋼, 低合金鋼의 切削 方法과 組織과의 關係

C(%)	熱處理	組織	旋削	成形	드릴링	브로칭
低C(0.08~0.30)	壓延狀態 혹은 燒準	Ferrite+L. Pearlite	良	良	良	良
中C(0.30~0.50)	壓延狀態 혹은 燒準	Ferrite+L. Pearlite	良	良	良	良
中C(0.30~0.50)	球狀化 燒鈍	Ferrite+S. Pearlite	良	不可	可	不可
中C(0.30~0.50)	燒入+燒戻	Sorbite	可	可	可	可
高C(0.50~0.80)	燒鈍	Ferrite+L. Pearlite	可	不可	可	不可
高C(0.50~0.80)	球狀化 燒鈍	Ferrite+S. Pearlite	良	良	良	可
高C(0.50~0.80)	燒入+燒戻	Sorbite	良	可	可	良

L. Pearlite ; Lamella Pearlite, S. Pearlite ; Spherodized Pearlite



工具 : SKH9 種 straight shank drill  
 切削條件 : 推力 27kg, 回轉速度 : 2,250rpm

그림 12 炭素鋼의 被削性(드릴링)과 C 및 熱處理의 關係

燒鈍 處理가 機械 加工性에 有利하며 高炭素鋼은 球狀化 燒鈍이 가장 좋다.

#### 4. 맺 음 말

鋼材의 機械 加工性(被削性 : machinability)에 영향을 미치는 要因은 많다. 그러나 가장 큰 要因은 冶金學的 因子로서 그 중에서도 化學成分, 熱處理 組織 및 冷間 加工 등이다. 化學成分은 材料의 機械的 性質(強度, 靱性), 熱處理 組織, 介在物 種類 및 工具材와의 親和性 등에 영향을 크게 미친다.

이러한 冶金學的 因子도 材料의 加工方法 및 加工性 評價 基準에 따라 正 또는 負의 效果를 나타낸다. 바꿔 말하면 아무리 어려운 加工 作業이라도 모든 要因을 고려한다면 最適의 條件을 얻을 수 있다고 할 수 있다.

앞으로의 機械 加工性 改善 研究 方向으로는 材料의 特性을 해치지 않고 機械 加工性을 改善시키는 것과 特殊元素 添加(Te, Se, Bi 등)에 의한 機械 加工性 向上 및 難削 材料인 高硬度 鋼材, 高 Mn 鋼, 스테인리스系 및 超耐熱 合金 등의 機械 加工性 改善이 될 것이라고 판단된다.

#### 참 고 문 헌

- (1) 荒木透, 山本重男, 1971, 鐵と鋼, Vol. 57, p. 1912.
- (2) H. Miller, 1975, Stahl Eisen, Vol. 75, p. 1171.
- (3) 古澤貞良 : 西山記念 技術講座(日本鐵鋼協會)(第96回)(1984), p. 24.
- (4) F. W. Boulger, H. A. Moorhead, 1951, Iron Age, Vol. 167, No. 20, p. 90.
- (5) E. M. Trent, 1963, JISI, Vol. 201, No. 12, p. 1001.
- (6) 白井英治, 1961, 機械試驗所 報告 第43號.
- (7) 岩田一明, 上田完治, 1977, 精密機械, Vol. 43, No. 3, p. 311.
- (8) R. L. Aghan, 1981, Met. Technol., Vol. 8, No. 2, p. 41.
- (9) P. C. Becker, 1981, Met. Technol., Vol. 8, No. 6, p. 234.
- (10) C. W. Kovach, 1975, Sulfide Inclusions in steel, p. 459, [ASM]
- (11) L. H. S. Luong, 1980, Met. Technol, Vol. 8, No. 11, p. 465.
- (12) V. A. Tipnis, 1975, Sulfide Inclusions in steel, p. 480, [ASM]
- (13) M. G. Stevenson, 1973, JISI, Vol. 211, No. 10, p. 710.
- (14) J. D. Watson, 1979, 4th Tewksbury Symp., Melbourne p. 151.
- (15) L. H. Van Vlack, 1953, Trans. ASM, Vol. 45, p. 741.
- (16) F. Vodopivec & L. Sencor, 1966, Radex-Rundschan No. 6, p. 336.
- (17) 伊藤哲郎, 加藤剛志, 1967, 電氣製鋼, Vol. 38, No. 5, p. 237.
- (18) S. Ramalingam, 1975, Proc. Int. Conf. Influence Metall. March., p. 111, [ASM]
- (19) T. Ito & T. Takahashi, 1975, Influence of Metallurgy of Machinability, ASM p. 189.
- (20) 赤澤, 黑岩, 1976, 精密機械, Vol. 42, No.



- 2, p. 94.
- (21) 荒山, 山本, 1974, 應用 機械工學, Vol. 15, No. 8, p. 88.
- (22) Narutaki: Int. Symp. Influence Metall. Mach. steel, (1977), p. 167.
- (23) 加藤, 宇野, 1970, 住友金屬, Vol. 22, No. 8, p. 50.
- (24) 山口喜弘, 下田隆司 1974, R & D, Vol. 3, p. 16.
- (25) G. B. Troup, 1966, Automatic Machining Jan., p. 66.
- (26) 山口喜弘, 1974, 神戶製鋼技報, Vol. 24, No. 3, p. 16.
- (27) K. Thomas, 1963, Stahl Eisen, Vol. 83, p. 1209.
- (28) 山本俊郎, 態谷憲一, 1976, 鐵と鋼, Vol. 62, p. 72.
- (29) 竹山秀彥, 1964, 金屬切削, p. 59. [他人書店]



機械工學・工業의 最新 技術 情報誌

## 大韓機械學會論文集에서!

'89年度年間購讀案内

- ◎ 年間購讀料 : 25,000 원 (送料 本會 負擔)
  - ◎ 購讀申請方法 : 書面 또는 電話連絡으로 可能함  
住所 : 서울特別市 永登浦區 汝矣島洞 13-31號 (T150-010)  
電話 : (02) 783-4571, 4572番
  - ◎ 購讀料納付方法
    - 本會에 直接 申請・納付
    - 郵便對替計座 012401-31-0508903番을 利用하여 申請・納付
- ※ 論文集은 年 8回(KSME Journal 2回 包含)發刊되며, 發刊 즉시 個別的으로 郵送하여 드립니다.