Ca脫酸鋼의 被削性에 関한 研究 (第 1 報)

李 用 成* 金 聖 謙**

A Study on Machinability of Calcium – Deoxidized Steel (1st Report)

Yong Seong Lee and Seong Kyum Kim

Abstract

The machinability of calicium-deoxidized steel is studied in turning by being compared with that of Fe-Si deoxidized steel under a given set of cutting condition.

Tool life, cutting force and cutting mechanism are examined on a few sorts of steel.

It is found that adhesive layer "Belag" is developed on the cemented carbide tool and the peak value is observed at the cutting speed of 300m/min followed by gradual increase in the thickness of Belag with the increase of cutting speed.

the maximum thickness of Belag is also shown at the feed of 0.3mm/rev.

On the other hand, the tool life of carbide tool is more favorable than that of high speed steel (SKH 9) in cutting calcium-deoxidized steel.

It is considered that the steel deoxidized with Ca-Si shows better machinability a little than that with Fe-Si.

However, the cutting force and the shear angle of the former are similar to those of the latter in turning.

1. 緖 論

快削鋼은 切削加工에서 被削性을 向上시키기 위해, 널리 使用中인 材料이고, 工作機械의 高速強力化 傾向으로 이러한 切削狀態에서 더욱 有用性이 있는 被削材의 開発이 要求되고 있다.

論題의 Ca 脫酸鋼은 工具寿命의 延長과 切削性改善을 目的으로 현재 이에 関한 研究가 활발하게 進行中에 있다.

이 分野에 関한 研究로는 Ca 脫酸鋼의 切削時에 있어서 工具面의 付着物挙動에 対해서 奥島, 星, 鳴滝[1] 이 工具磨耗面에서 研究했고 荒木, 伊川[2] 등이 Ca 脫酸鋼에서 金属介在物의 同定에 関해서, 또 伊勝[3] 등은 Ca 快削鋼中의 酸化物系 介在物의 融点과 切削温度의 関係를 超硬合金工具에 関하여 研究하였으며 國内에서도 李[4]는 Belag를 定量分析에 의하여 研究하였다.

그러므로 本 研究는 切削條件의 変化에 따른 Belag의 進行状態와 工具寿命特性 및 Ca 脫酸鋼의 切削抵抗등을 実験 検討하였다.

2. 工具寿命方程式의 理論

V = 切削速度 F = 移送 R = 切削比 (cutting ratio) T : 工具寿命

$$R = R(F, V) \quad \cdots\cdots(1)$$

$$T = T(F, V) \quad \cdots\cdots(2)$$

独立変数 V, F로 表示된 特性方程式이 存在하

* 檀國大學校 工大 機械科 教授・工博
** 檀國大學校 大學院

기 위해 Jacobian의 값은

$$J=\frac{\partial(R,T)}{\partial(F,V)}=\begin{vmatrix}\frac{\partial R}{\partial F} & \frac{\partial R}{\partial V}\\ \frac{\partial T}{\partial F} & \frac{\partial T}{\partial V}\end{vmatrix}=0 \quad \cdots\cdots(3)$$

W가 R-T曲線의 一点이므로

$$\left(\frac{\partial R}{\partial F}\Big/\frac{\partial R}{\partial V}\right)_W=\left(\frac{\partial T}{\partial F}\Big/\frac{\partial T}{\partial V}\right)_W \quad \cdots\cdots(4)$$

Fig. 1에서 $R=R_1$, $T=T_1$ 은 R-T曲線의 一点이고 $R=R_1$, $T=T_1$에서 기울기는

$$\left(\frac{dV}{dF}\right)_{R_1}=-\left(\frac{\partial R/\partial F}{\partial R/\partial V}\right)_{R_1} \quad \cdots\cdots(5)$$

$$\left(\frac{dV}{dF}\right)_{T_1}=-\left(\frac{\partial T/\partial F}{\partial R/\partial V}\right)_{R_1} \quad \cdots\cdots(6)$$

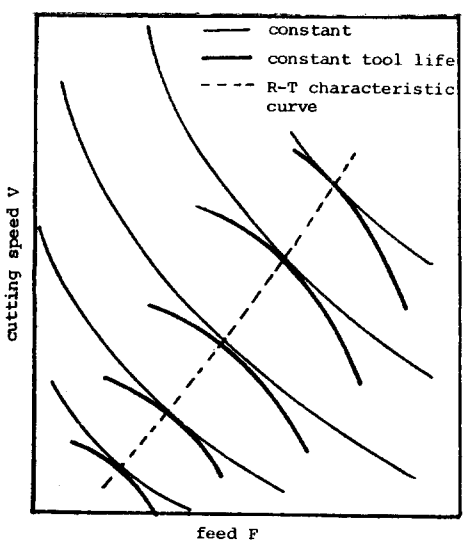

Fig. 1. Geometric interpretation of the R-T curve in the F-V plane.

R_1, T_1 曲線이 点 M(F_M, V_M)에 수직이고 交換이 可能하여

$$R_1=R(F,V) \quad \cdots\cdots(7)$$

(1)式과 (6)式을 使用하여 T_1이 最大가 될 條件을 만족하기 위한 式은

$$\left(\frac{dT_1}{dF}\right)_M=\left[\frac{\partial T}{\partial F}+\frac{\partial T}{\partial V}\left(-\frac{\partial R/\partial F}{\partial R/\partial V}\right)\right]_M=0 \quad \cdots\cdots(8)$$

이다.

3. 實驗裝置 및 實驗方法

本 実験에 使用된 旋盤은 大韓重機의 KOMA 16型 N/C 旋盤으로 swing이 400㎜이고 center사이의 거리가 1,000㎜이며 速度範囲가 15~3,200 r.p.m의 高速用 旋盤으로 特히 主速 一定制御裝置가 付着되어 있는 것이다.

이 工作機械에 日本 Kyowa Co.의 Model TD-300 KA의 三分力 工具動力計를 連結하여 切削抵抗을 測定하였고, 工具경사면에 生成된 Belag의 最大 두께와 crater磨耗는 触針式의 Electronic comperator로 測定하였다.

実験에 使用된 被削材는 Base鋼과 脱酸鋼(Ca-Si, Fe-Si)이고 工具는 高速度鋼工具(SKH 9)로서 単体型이고, 超硬合金工具(P10, P20)는 throw-away type의 三角形 tip이다.

그리고 工具寿命 判定基準은 ISO의 精密軽切削할때의 規定값인 crater磨耗깊이(K_T)는 0.03㎜, flank磨耗幅(V_B)은 0.2㎜로 하여 工具寿命에 関한 実験을 하였다.

4. 實驗結果 및 檢討

Fig. 2는 Ca脱酸鋼을 超硬合金工具(P20)로 공구형상(Tool Geometry)이 (−5, −5, 5, 5, 30, 0.4)인 bite에 의해 210m/min의 切削速度로 切削했

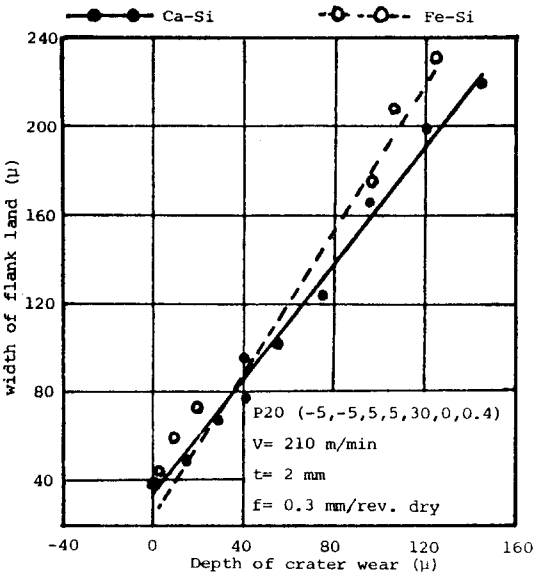

Fig. 2. Crater wear VS flank wear.

을 때, 工具의 crater 磨耗와 flank 磨耗의 進行過程을 나타낸 것으로 flank 磨耗가 crater磨模보다 磨耗進行速度가 빠르다.

또 crater磨耗에 対한 flank 磨耗의 比인 直線의 기울기는 Ca 脫酸鋼쪽이 더 완만한 直線이고, flank 磨耗가 80μ이상부터는 Fe-Si脫酸鋼이 Ca 脫酸鋼보다 左上方向의 直線으로 나타나며, 特히 Fe-Si 脫酸鋼은 初期段階에 있어서 点線에서 벗어나는 약간의 誤差가 나타나고 있다.

그리고 工具寿命의 延長에 効果的인 역할을 하는 Belag의 두께가 切削速度와 移送에 따라, 어떻게 変化하는가를 調査하기 위해 다음과 같은 実験으로부터 Fig. 3 을 얻었다.

切削速度가 50m/min 정도에서 Belag가 付着되기 始作하여 그 量은 점차적으로 增加하게 되어 切削速度가 300m/min에서 Belag의 두께가 最大로 成長하고, 그 이상의 切削速度에서부터 減少하는 경향이 있다.

이때 最大 Belag의 두께는 약 8μ程度까지 도달한다. 또한 移送에 따른 Belag의 付着두께도

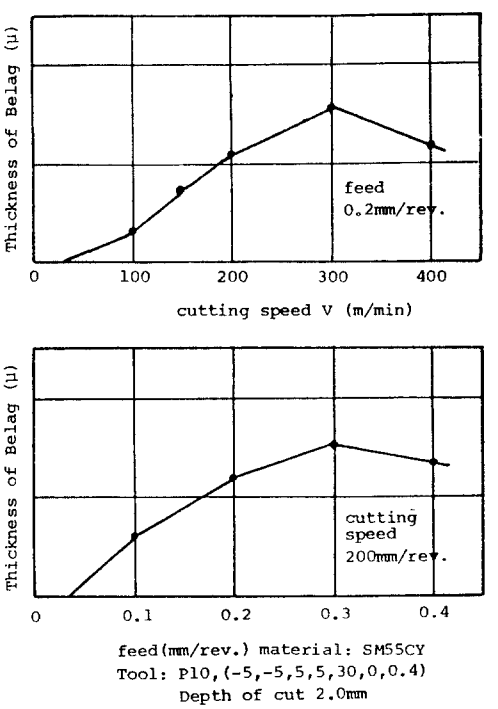

Fig. 3. Relation between thickness of belag and cutting speed, feed in Ca bearing deoxidized steel.

切削速度의 경우와 같은 傾向으로서, 移送이 增加하여 0.3mm/rev 일때 Belag의 두께가 最大値이고 그 값은 역시 8μ정도이다.

그러나 移送을 더 增加시키더라도 Belag의 付着두께는 增加하지 않고 減少하게 된다.

이와 関聯하여 切削温度와의 関係를 考察하여 보면, 切削速度와 移送量이 增加할수록 切削速度가 上昇한다는 李[5]의 報告와 竹山[6]의 B.U.E가 再結晶温度이상에서 脫落한다는 報告등에 비추어 볼때, 本 実験에서 切削速度가 300m/min과 移送이 0.3mm/rev 에서는 高温状態이며, 이것은 切削温度에 依存한다고 생각된다.

그러나 切削速度가 400m/min 이상과 移送이 0.4mm/rev이상에서는 Belag의 付着두께가 더 增加되지 않으며, 오히려 Belag 層이 얇게 되어, 被削性의 改善効果를 기대하기가 어렵다고 생각되고 있다.

다음은 工具를 超硬合金工具와 高速度鋼工具로 Ca 脫酸鋼과 Base鋼 (SM 45 C)를 切削했을 경우, 工具寿命曲線을 Fig. 4 로 表示했다.

이러한 경우, 超硬合金工具 (P10)로 切削할때, Ca 脫酸鋼이 Base 鋼보다 工具寿命의 改善効果가 良好하지만 高速度鋼工具는 두 被削材사이에서 工具寿命의 改善効果가 크게 나타나지 않는다.

물론 工具寿命面에서 超硬合金工具 (P10)가 高速度鋼工具 (SKH 9) 보다 우수하므로 그 寿命曲線이 高速度鋼工具의 寿命曲線보다 위쪽에 表示된다.

엄밀히 관찰하면 超硬合金工具를 使用할 경우, 被削材中 Ca脫酸鋼이 Base 鋼 (SM 45 C)에 比해, 2分工具寿命速度는 약 35 %, 60分 工具寿命速度 (工具寿命이 60分일 경우 切削速度)는 약 75 % 程度의 切削速度를 上昇시키더라도 同一한 工具寿命을 얻을 수가 있다.

반면에 高速度鋼工具 (SKH 9)는 2分 工具寿命速度에서는 약 7 % 程度 우수하나 60分 工具寿命速度는 Base 鋼이 오히려 Ca脫酸鋼보다 약 2-4 % 정도 우수한 것으로 나타나게 되고 전체적으로 高速度鋼工具는 超硬合金工具에 比해 工具寿命의 改善은 나타나지 않고 있다.

特히 超硬合金工具中 TiC成分을 含有한 등급 P 10 으로 Ca脫酸鋼을 切削하면 鋼中에 残留하는 脫酸生成物이 切削中에 工具와 chip의 直接接触을 防止하는 作用을 하게 되어 工具磨耗를 効果的으

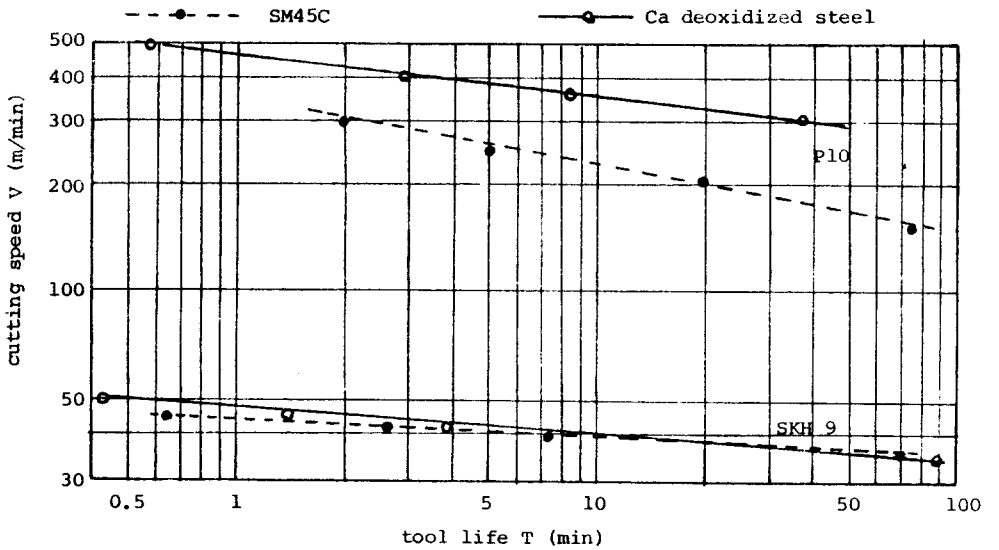

Fig. 4. V-T curves between SM45C and Ca deoxidized steel.

로 抑制한다고 생각된다.

그리고 Fig. 5와 Fig. 6은 超硬合金工具인 P20으로 Ca脫酸鋼과 Fe–Si 脫酸鋼을 被削材로 切削実験을 했을때 工具의 crater磨耗와 flank磨耗의 切削時間에 따른 進行状態를 表示한 것으로 crater 磨耗는 Ca脫酸鋼을 被削材로 하는 경우가 Fe–Si 脫酸鋼에 比해 高速에서보다 低速에서 磨耗進行이 현저히 늦고 flank 磨耗는 반대로 低速에서

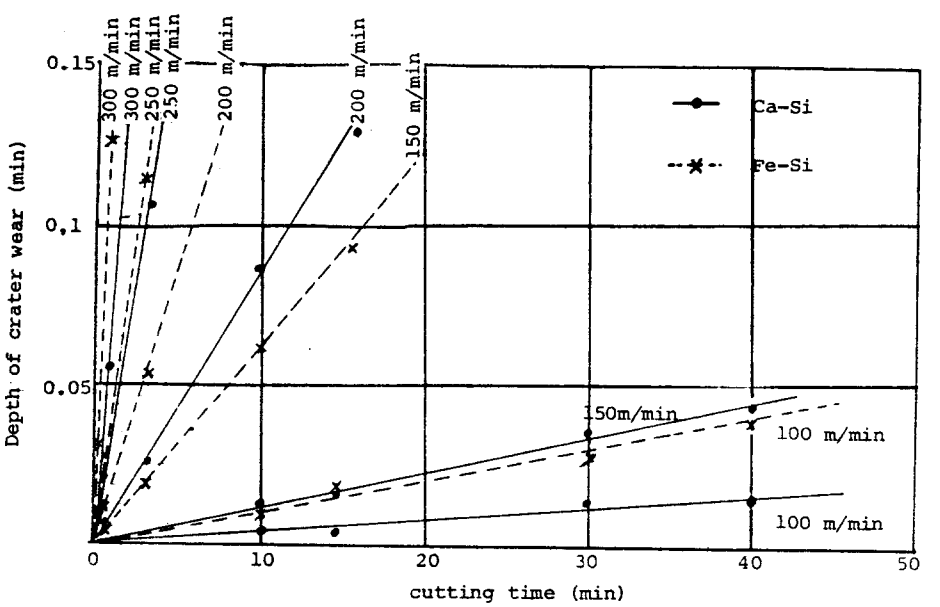

Fig. 5. Crater wear VS cutting time.

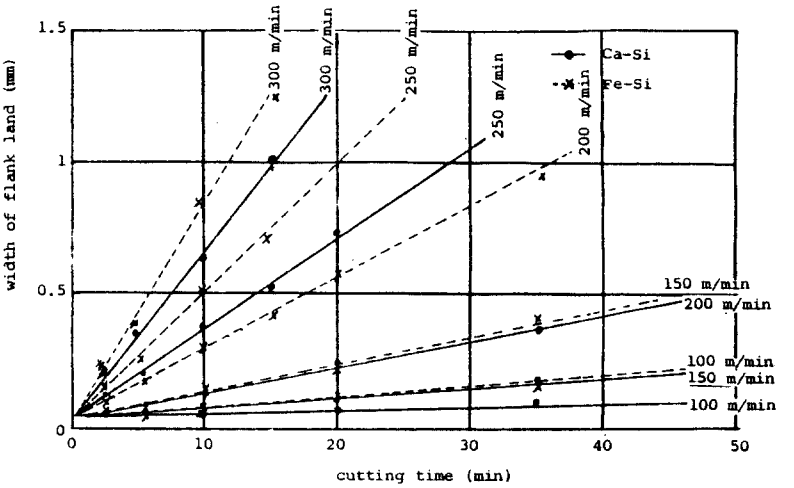

Fig. 6. Flank wear VS cutting time.

보다 高速에서 磨耗의 進行이 훨씬 더 遲延되고 있다.

Fig. 5와 Fig. 6의 切削時間에 따른 crater 磨耗(K_T)와 flank 磨耗(V_B)의 進行狀態를 근거로 両対数 座標에 V-T線図를 作成하면 Fig. 7이 된다.

이때 工具寿命 判定基準은 crater 磨耗가 0.03 ㎜, flank 磨耗가 0.2 ㎜로 하여, 工具寿命曲線을 表示했고 그림과 같이 切削速度가 200m/min 이하에서는 그 이상의 切削速度에 比해 flank磨耗의 寿命曲線이 折曲되어서 工具寿命方程式의 기울기도 変하며 工具寿命도 低下하는 傾向이 있다.

또 切削速度가 300m/min일 경우 Ca 脱酸鋼이 다른 脱酸鋼에 比해 crater磨耗와 flank磨耗가 다 같이 약 1～2倍의 工具寿命이 延長되나 切削速度가 150 m/min에서는 crater 磨耗는 약 6倍, 壽命曲線의 기울기의 變化가 일어난 후의 flank 磨耗는 약 3倍가량 工具壽命이 길어지고 있는 것을 알 수 있다.

한편으로 高温高速 切削用의 ceramic工具도 超硬合金工具에 比하면 工具寿命의 改善効果가 낮고 高速度鋼 工具(SKH 9)도 마찬가지이다.[1]

切削의 容易性을 検討하기 위해 Ca脱酸鋼과 Fe-Si 脱酸鋼을 各各 切削하여, 切削抵抗을 測定하면 Fig. 8로 나타난다.

이와 関聯하여 主分力(F_C)과 移送分力(F_t)의 2分力만 보더라도 두 脱酸鋼 사이에 큰 差異가 나타나지 않고, chip의 두께를 測定하여 剪断角의 変化를 表示하더라도 Fig. 9와 같이 별다른 差異

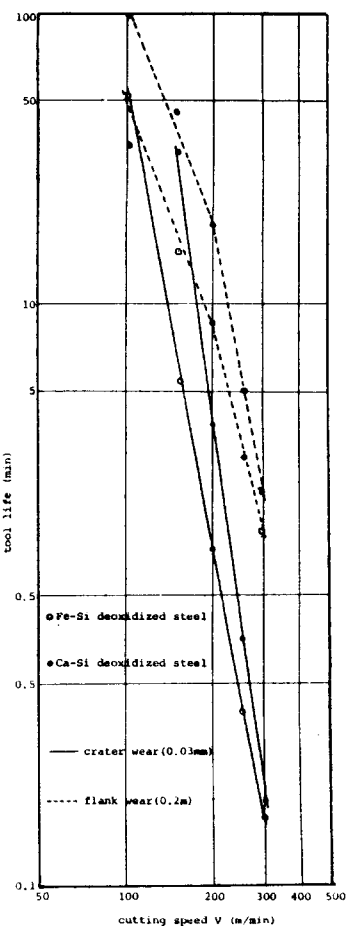

Fig. 7. V-T curves of type SM45C steels.

点을 발견할 수가 없다.

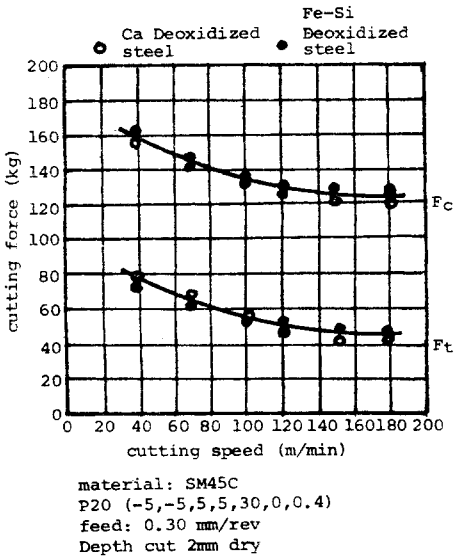

Fig. 8. Cutting forces (Fc, Ft) VS cutting speed.

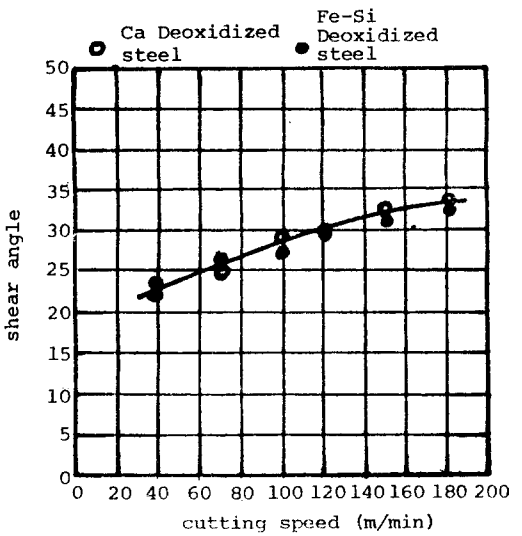

Fig. 9. Shear angle VS cutting speed.

5. 結　論

이상과 같은 実験으로부터 다음과 같은 結果를 얻었다.

1. 本 実験에서 凝着物의 付着層인 Belag는 切削速度가 300m/min에서 最大가 되고 移送에 対하여도 같은 傾向으로 増加하여 移送이 0.3mm/rev에서 또한 最大付着두께를 나타낸다.
2. Ca脫酸鋼의 切削에서 超硬合金工具(P10)가 高速度鋼工具(SKH 9)보다도 工具寿命의 改善効果가 크다고 생각된다.
3. 脫酸方法이 다른 두 被削制(Fe-Si, Ca-Si 脫酸鋼) 중에서 Ca脫酸鋼이 Fe-Si 脫酸鋼보다 工具寿命이 延長된다.
4. Ca脫酸鋼과 Fe-Si 脫酸鋼의 切削抵抗 및 剪断角등 切削特性을 検討한 結果 별다른 差異를 発見할 수가 없다.

Reference

1. 奥島啓式, 星鉄太郎, 鳴滝則彦：Ca脫酸鋼 切削時の工具付着物の挙動, 精密機械, 31巻 5号, pp. 33-37, 1968
2. 荒本 透, 佐川龍平, 石滋宜：Ca 脫酸鋼の非金属介在物の同定について, 鉄と鋼, 54巻 3号, pp.68, 1968
3. 伊藤哲郎, 高橋徹夫, 本村篤良, 山野清市：Ca脫酸鋼中の酸化物系 介在物融点と切削温度の関係について, 電気製鋼, 44巻 1号, pp.29-37, 1973
4. 李用成, 平元一之, 佐田登志夫： 定常切削における切削温度の解析と測定, 精密機械, 44巻12号, pp. 1428, 1978
5. 竹山秀彦：高速切削の研究(第11報),刃面切屑接触面と工具寿命, 精密機械, 23巻 2号, pp. 68, 1957