

난삭재란 말 그대로 절삭하기 어려운 재료, 즉 피삭성이 불량한 재료이다. 필요에 의한 기술의 발달로 신소재가 계속 출현할 것이고, 이와 더불어 절삭가공 기술이 같은 수준으로 발전하지 못하면 그 신소재는 난삭재가 될 것이다. 따라서, 같은 재료가 시대에 따라 난삭재로 분류될 수도 있고 그렇지 않을 수도 있다. 절삭성에서 언급한 바와 같이, 가공의 중요성의 관점이나 가공방법에 따라서 난삭재에 속할 수도 있고 속하지 않을 수도 있다.

그림 15·1은 현시점에서 일반적으로 난삭재로 분류되는 재료의 특성이 절삭현상에 미치는 영향과 문제점을 보여 준다. 난삭의 원인은 1개라 하여도 그것이 절삭에서 여러 개의 현상이 복합적으로 나타나는 것을 볼 수 있다.

그림 15·2는 공구손상의 관점에서 본 난삭재의 난삭성 pyramid로서, 정점으로 갈수록 가공하기 어려운 재료이다.

그림 15·3은 난삭재의 가공에 필요한 공구재료의 특성이 절삭성능에 미치는 영향을 보여주고, 표 15·1은 난삭재용 공구재료의 물리적 성질이다.

난삭재의 가공을 어렵게 하는 것을 열거하면

- ① 공구마모가 심하다.
- ② 절삭인에 chipping 또는 결손이 생긴다.
- ③ 절삭인이 소성변형된다.
- ④ chip이 공구에 응착한다.
- ⑤ chatter진동이 발생한다.
- ⑥ groove마모가 심하고 burr가 많이 발생한다.
- ⑦ 절삭저항이 크다.
- ⑧ chip 처리가 어렵다.
- ⑨ 가공면의 조도와 치수 정밀도가 불량하다.

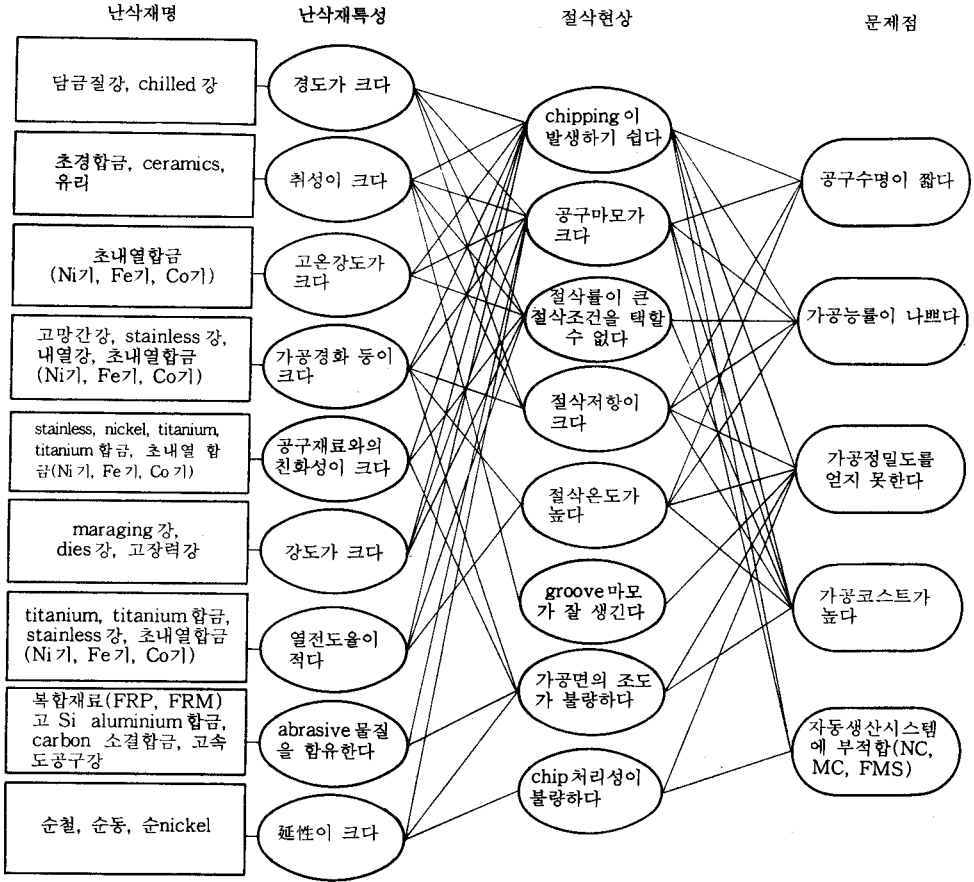


그림 15.1 난삭재의 특성이 절삭현상에 미치는 영향 및 문제점

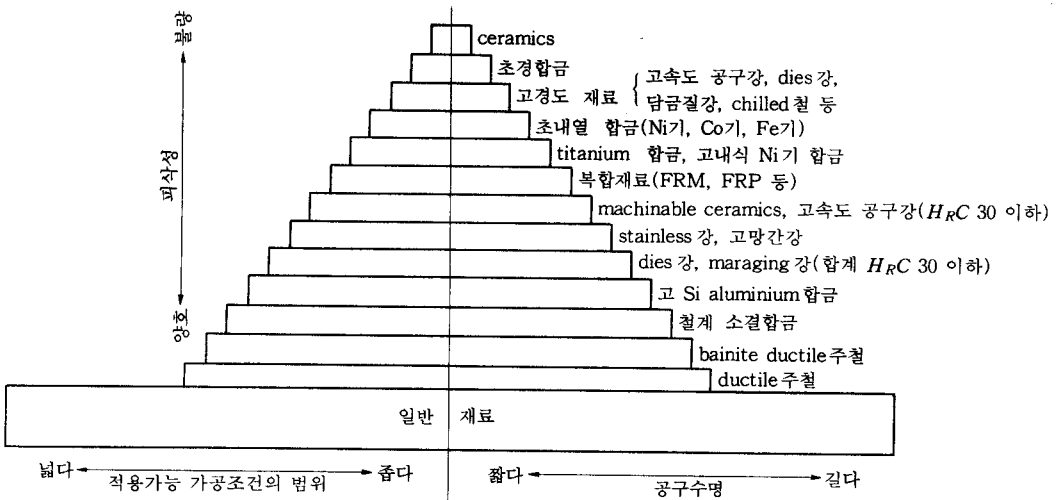


그림 15.2 공구손상의 관점에서 본 난삭성 pyramid

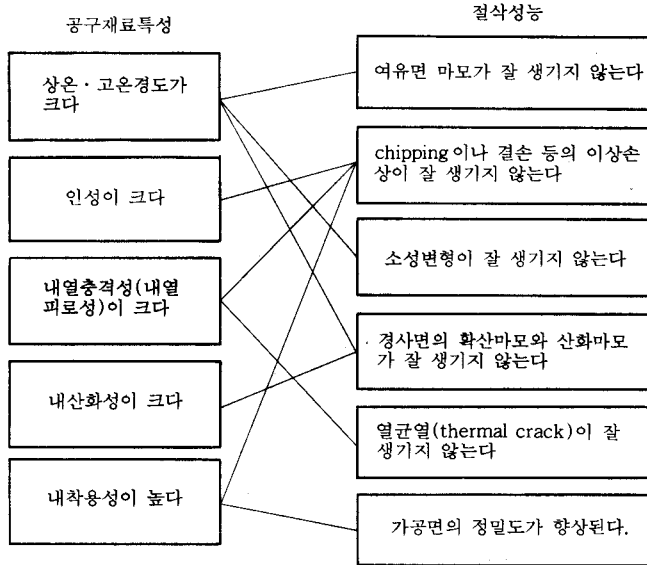


그림 15-3 공구재료의 특성이 절삭성능에 미치는 영향

표 15-1 난삭재용 공구재료의 물리적 성질

경질물질	밀도 (g/cc)	융점(℃)	결정구조	결정경도 $MHV(50\sim 1000g)$	영률 ($10^4kg/mm^2$)	열팽창 계수 (ppm℃)	열전도율 (W/cmK)	산화개시 온도 (℃)
다이어프램	3.5	—	입방정	10,000	10.5	3.2*	20**	630
CBN	3.5	—	입방정	7000	7.3	3.5	2	>1100
B ₄ C	2.5	2430	Rombohedral	3700	4.6	4.3	0.16	1100
SiC	3.2	3040	6방정	2500	3.9	4.3	0.85	1100
WC	15.8	2780	6방정	2100	7.1	5.2	0.42	500
TaC	14.5	3920	입방정	2000	2.9	6.7	0.39	800
TiC	4.9	3070	입방정	3200	4.6	7.2	0.052	1100
TiN	5.4	2950	입방정	2400	2.6	9.4	0.074	1200
Al ₂ O ₃	4.0	2030	6방정	2100	3.6	8.0	0.059	안정

*400~11.200K, ** 단결정의 값

와 같고, 이러한 문제를 극복하기 위하여는 그림 15-4에 명시한 제반사항이 적절하게 취해져야 한다.

난삭성을 극복하는 방법의 일환으로 다음과 같은 특수 절삭법을 채택하기도 한다.

15-1 高速切削

공구재료의 성능향상에 수반하여 切削速度도 높아지고 있다. 즉, 炭素工具鋼의 시대에는 절삭속도가 선삭에서 10數[m/min]이던 것이 高速度鋼의 발명으로 말미암아 30[m/min] 부근

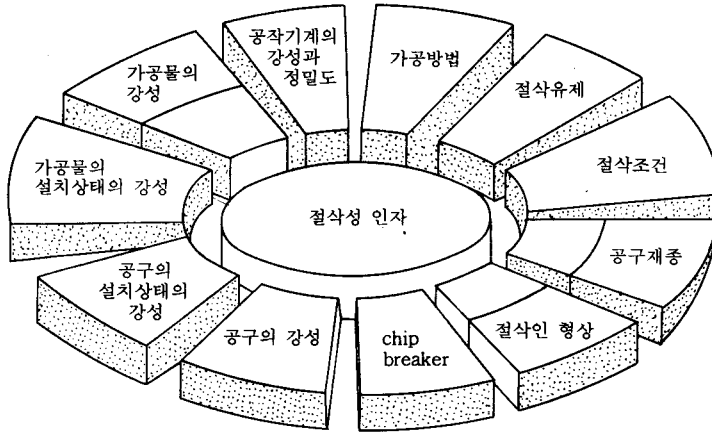


그림 15.4 절삭성에 영향을 주는 인자

으로 되고, 超硬合金의 출현으로 인해서 100[m/min] 이상의 절삭속도가 가능하게 되었으며, 또 ceramic공구, cermet공구로 인하여 數 100[m/min]을 常用하게 되었다.

이와 같은 절삭의 高速化는 공구재료의 高溫硬度和 관계가 있다. 공구재료의 온도와 경도의 관계는 그림 15.5와 같으며, 탄소 공구강에서는 300[°C], 고속도강에서는 650[°C]에서 크게 軟化하므로 이 이상의 절삭온도가 되는 조건에서는 절삭할 수 없다. 즉, 절삭속도에 의한 절삭온도의 상승 때문에 위에 기술한 속도를 한계로 절삭하고 있다. 이에 비해서 超硬合金工具나 ceramic공구에서는 1000[°C] 부근까지 경도가 거의 저하되지 않는 특징을 갖고 있으므로 고속절삭이 가능하다.

공작물의 切削熱에 의한 軟化를 생각한다면, 예컨대 鋼을 그 再結晶 온도부근에서 절삭하면 常溫일 때에 비해서 가공물이 크게 軟化되므로, 그 온도에서도 연화되지 않는 공구로 절삭한다면 低速으로 절삭하는 것보다도 오히려 쉽게 절삭할 수 있게 된다.

따라서, 절삭속도를 증가시키는 것이 반드시 공구의 온도를 높여서 그 수명을 크게 단축시킨다고만은 할 수 없으며, 지금까지 생각하고 있었던 범위 이상으로 절삭속도를 높여도 각종의 이점을 얻을 수 있는 가능성이 있게 된다. 이와 같이 常用보다도 빠른 절삭속도를 사용하는 절삭을 고속절삭(high speed cutting)이라고 한다.

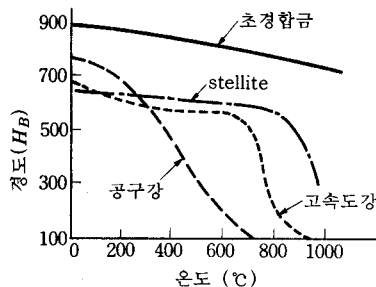


그림 15.5 공구재료의 고온경도

고속절삭을 함으로써 얻어지는 이점을 요약하면 다음과 같다.

- ① 가공능률의 향상
- ② 다듬질면 粗度의 감소(향상)
- ③ 加工變質層 깊이의 감소
- ④ 構成刃先이 발생하지 않거나 소멸

이와 같이 고속절삭은 많은 이점을 갖고 있으므로, 공작기계와 공구의 성능이 허용하는 한 고속도로 절삭하는 것이 유리하다. 최근 공작기계를 고속화하고 動力을 크게 하는 목적의 하나는 고속절삭을 가능하게 하는 데 있다.

Fields는 선반에 의해서 SAE1045鋼(0.45% C)을 초경공구를 사용해서 표 15·2의 조건에서 절삭실험을 하였다. 공구가 과열되는 것을 방지하기 위하여 가공물을 가공 전 -20[℃]로 냉각하여 절삭하고, 공구가 계속 차가운 금속에 닿도록 하였다. 이와 같이 높은 절삭속도에서 3회의 실험을 하는 동안 공구를 再研磨하지 않아도 되었으며, 가공물의 다듬질면은 아주 매끄러워지는 것으로부터 Fields는 고속절삭의 가능성을 확인하였다.

표 15·2의 예는 가공물을 냉각하는 특수한 조작을 한 것인데, 보통의 방법으로는 500[m/min] 부근까지의 속도로 절삭할 수 있다. 이와 같은 高速旋削에서 유출하는 chip을 처리하는 것이 문제이며, 고온 chip이 고속도로 飛散하는 관계로 작업자에게 위험이 있으므로, 투명한 cover 속에서 절삭한다.

milling에서는 선삭bite와 같이 공구의 같은 곳이 연속적으로 가열되는 경우가 없이 cutter의 각 날이 加熱과 冷却이 반복되므로, 공구의 온도는 bite의 경우보다도 낮아서 상당한 고속절삭에도 견딜 수 있으며, 鋼의 절삭에서는 800[m/min], 알루미늄에서는 5800[m/min], 주철에서는 6800[m/min] 정도까지 고속절삭을 할 수 있다.

표 15·2 고속절삭의 예

절삭깊이 (mm)	이 송 (mm)	가공물 지름 (mm)	회 전 수 (rpm)	절삭속도 (m/min)	절삭률 (cm ³ /min)
3	0.14	89	2240	620	27.7
6	0.11	89	2240	620	40.1
4.5	0.15	89	2240	620	42.2

15·2 超高速切削

앞에서 설명한 고속절삭보다도 더욱 높은, 예를 들면 1000[m/min] 이상의 절삭속도에서의 절삭을 보통 超高速切削이라 한다. 이와 같은 기술은 초고속으로는 절삭온도가 오히려 저하되지는 않을까 하는 기대와 재료의 超高速變形·파괴가 보통속도의 그것과 다른 기구로 행해지는 것은 아닌가 하는 기대에서 연구되었으나, 數 10,000[m/min]까지의 실험에서

도 이러한 현상이 나타나지는 않았다.

그러나 선반 등을 사용하는 10,000[m/min]까지의 실험에서는 절삭저항의 저하, 가공면 조도의 향상, 가공 변질층 깊이의 감소 등이 확인되었다. 한편, 實用化 때 문제가 되는 공구 마모는, 현재 出現된 절삭공구로 볼 때 알루미늄 절삭 이외에는 아직 문제가 많다고 한다.

그림 15·6, 15·7은 각각 선반을 사용한 초고속 절삭에 있어서의 절삭저항, 다듬질면 조도와 공구마모의 예이다.

초고속 절삭은 공구마모의 문제만 해결된다고 할 때 많은 이점이 있을 것이나, 공작기계 의 加速, 減速의 문제, 위험방지, 소음, 진동, 보수 등 기술면에서도 해결해야 할 점이 많다.

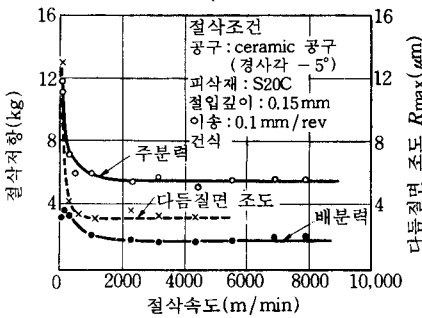


그림 15·6 초고속 절삭에서의 절삭 저항과 다듬질면 조도

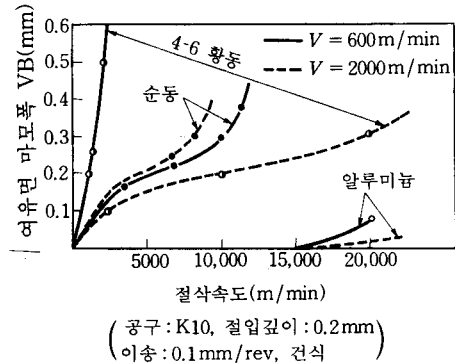


그림 15·7 초고속절삭에서의 공구마모

15.3 高温 切削

절삭할 때 공작물을 가열해서 軟化시켜 절삭하기 쉬운 상태로 한 후 절삭하는 방법이 高温切削(hot machining)이다. 이것은 耐熱鋼 등과 같이 常溫에서는 도저히 절삭할 수 없는 재료를 절삭하기 위해 제2차 세계대전 중 주로 미국에서 발달한 기술이다.

가공물의 온도가 그 軟化溫度까지 상승하면 그 경도와 전단강도가 감소하고, 이 상태에서 절삭하면 당연히 절삭저항 및 소요동력이 감소된다. 그러나 이 때 공구도 가열되므로, 공구는 그 온도에서 심하게 연화되지 않는 것을 사용해야 하며, 이에 적합한 공구로는 超硬合金 工具를 들 수 있다.

고온절삭에 의해서 얻어지는 이점과 단점을 나열하면 다음과 같다.

[이점]

- ① 가공물 被削性의 향상(상온에서는 절삭불능인 것도 절삭된다)
- ② 절삭동력의 감소
- ③ 공구수명의 증가

④ 다듬질면의 향상

[단점]

- ① 가공물의 열팽창으로 인한 제품의 치수 정밀도의 저하
- ② 가열장치 혹은 가열을 위한 동력으로 생산비의 증대
- ③ 작업의 어려움

고온절삭은 위에서 기술했듯이 切削不能의 재료를 절삭하는 것을 목적으로 시작된 것이나, 그 밖에 보통재료의 가공능률만을 향상시키기 위해서도 응용된다.

가공물의 가열방식으로는 가열 후 가공하는 방식과 가열하면서 가공하는 것이 있다. 전자는 爐에서 가공물을 꺼내서 바로 공작기에 장착하고 절삭하는 방법이어서 신속히 절삭해야 하고, 소형부품에서는 냉각이 빨라서 실용할 수 없는 등의 결점이 있으므로 고온절삭은 주로 후자의 방법으로 행해지며, 가열방법으로는 다음을 들 수 있다.

[1] 高周波加熱法

工具臺의 공구직전에 고주파 코일을 장착하고 이 속에 가공물을 통하는 것이며, 10~50 [kVA]의 100~500[kHz]의 고주파 전류에 의해 가열한다. 가공물의 온도는 절삭속도, 이송속도, 전류, 주파수, coil의 형상과 간격, 가공물의 치수 등에 의해서 영향을 받으므로, 이와 같은 조건을 합당하게 정해야 한다. 이 방법은 편리하나 설비비가 높고 열효율이 낮은 결점이 있다.

[2] gas 加熱法

산소-acetylene gas에 의한 火焰으로 가열하는 것이며, torch를 그림 15·8과 같이 공구대에 장착한 상태에서 절삭한다. 가공물의 절삭부위에 집중해서 가열하기가 곤란하며, 재료의 내부까지도 가열되는 결점이 있으나 설비가 간단해서 손쉽게 이용할 수 있다.

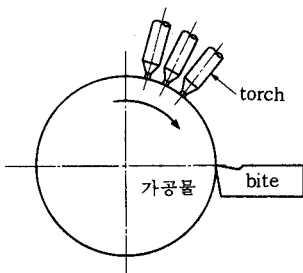


그림 15·8 torch에 의한 가공물의 가열

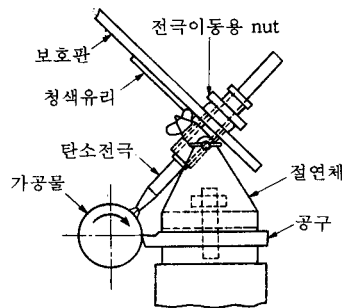


그림 15·9 방전가열장치

[3] 放電加熱法

그림 15·9와 같이 공구대에 탄소전극을 장착하여 탄소전극과 가공물과의 사이에 電弧(arc)를 발생시켜 가열하는 방법이다. 가열을 공작물 표면의 절삭부위에만 집중할 수가 있어 열효율은 높으나, 전호가 불안정한 결점이 있다.

[4] 通電加熱法

그림 15·10 과 같이 공구-공작물간에 低壓大電流를 통하여 절삭점에 있어서의 抵抗發熱을 이용하는 방법이다. 이 방법은 각종의 절삭법에 적용할 수 있고 제어나 조작이 용이하다는 이점이 있어 실용성이 높다.

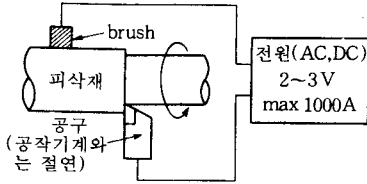


그림 15·10 통전가열법

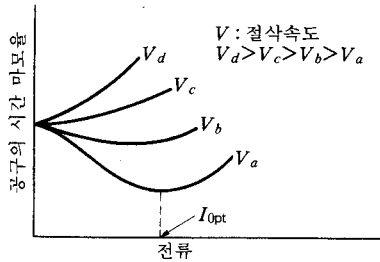


그림 15·11 가열전류와 공구마모 속도

그림 15·11 에 定性的으로 표시한 바와 같이 일반적으로 가열전류에는 공구마모를 극소로 하는 최적값이 있다고 한다. 적용 예로서 高Mn鋼을 절삭할 때 절삭속도 14[m/min]에서 150~200[Å]의 전류인 경우에 非通電인 때에 비하여 마모율이 1/3로 저하된다고 보고되어 있다. 그러나 ceramic공구와 같은 導電性이 없는 공구를 사용할 때에는 적용할 수 없다.

고온절삭에서 가공물은 이상과 같은 방법으로 가열하면 되나, 가공물이나 공구도 고열의 영향을 받으므로 그것에 대한 대책을 강구해야 한다. 먼저, 가공물이 열팽창하므로, 旋削인 경우 재래의 支持法에서는 열응력으로 인해 가공물의 장착장치가 파손될 염려가 있다. chuck으로 장착할 때에는 그 나사를 파손하므로 센터支持로 하여야 하며, 心押臺에는 그림 15·12에서와 같이 spring을 넣어 가공물의 열팽창에 따라 신축할 수 있도록 하여야 한다. 공구 및 공작기계가 열의 영향을 받는 것을 방지하기 위해 중요 요소를 水冷하여야 한다.

고온절삭에서 발생하는 chip은 고온으로 길게 계속하여 나오기 때문에 chip breaker로 파괴가 잘 되지 않아 처리가 매우 번거롭다. chip을 chip box에 유도하도록 절삭조건을 고려하거나 혹은 管 속에 유도하는 등의 연구도 행해지고 있다.

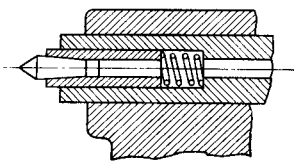


그림 15·12 고온절삭에 사용하는 심압대

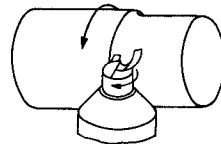


그림 15·13 회전공구에 의한 고온절삭

旋削에서는 공구 절삭인이 충분히 냉각되지 않아 그 수명이 짧아지므로, 그림 15·13 과 같이 공구대에 회전공구를 장착하여 좋은 효과를 얻고 있다. 이 방법으로 공구의 수명을 연장하는 효과가 있음은 물론, 그 밖에 chip이 길게 계속해서 나오지 않고 milling에서처럼 chip이 짧게 나오므로 그 처리가 용이한 것도 큰 특징이다.

고온절삭에는 高温硬度가 높은 超合金工具가 많이 사용되고, TiC의 함유량이 많은 것일수록 수명이 길다. 고온에서 공구 경사각의 영향은 常温에서만만큼은 크지 않으므로 切削強度가 크고, 熱集積이 적은 것을 고려하여 陰의 傾斜角을 택한다.

고온절삭에 있어서 일반적으로 절삭저항이 낮고 chip의 변형이 작으며, 다듬질면은 구성인선의 消失로 인하여 매끈하게 된다. 그림 14·14는 이의 한 예로서, 절삭면 온도가 200~300[°C] 부근에서는 이른바 靑熱脆性(blue brittleness)의 영향으로 인해 절삭저항은 일시 증대하나, 그것이 지나면 가공물이 온도상승에 따라 軟化하여 절삭저항은 감소하고, 600[°C]부근에서는 常温보다도 훨씬 낮은 값을 나타낸다. 이 온도주위에서는 절삭비가 거의 1에 가까워져 chip의 변형이 아주 작다는 것을 나타낸다. 또, 다듬질면 조도도 고온에서는 매우 작아진다.

고온 절삭시는 流動形 chip이 나오기 쉽고 상온에서 均열형 chip, 剪斷形 chip을 발생하던 것도 온도가 상승하면 가공물이 軟化하여, 延性이 증대하는 관계로 靱性材料를 절삭할 때와 같은 결과로 되어 유동형 chip을 생성하게 된다.

加工變質層의 깊이도 고온절삭에서는 상온일 때에 비해 얇아지는 것으로 알려져 있다.

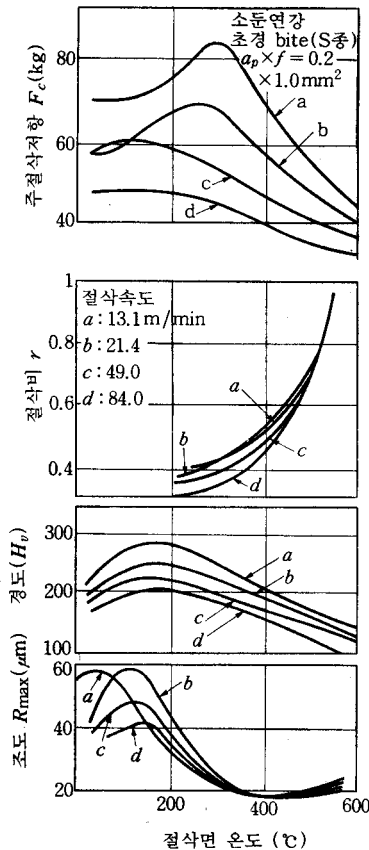


그림 15·14 가공물 온도에 의한 절삭제 특성

고온절삭에서 공구재료의 경도는 온도상승에 따라 어느 정도 저하되나, 그와 동시에 가공물도 연화하여 절삭하기 쉽게 되므로 결국 공구의 마모는 이 양자의 軟化의 정도에 따라 변화한다. 즉, 공구의 수명은 그림 15·15와 같이 온도상승과 더불어 증대하나, 온도가 너무 높을 때 공구재료가 軟化하는 관계로 오히려 수명이 짧아지게 된다. 특히, 상온에서 경도가 높고 절삭불능의 재료를 고온절삭할 때는 효과가 있으며, 다른 예에서 耐熱合金인 S816 (42% Co, 20% Ni, 20% Cr, 기타 W, Fe 등의 합금)이 75[m/min]의 절삭속도에서는 260[°C]로 공구수명이 상온의 30배, 820[°C]에서는 80배로 현저하게 공구수명이 증대하였다는 Merchant의 보고가 있다.

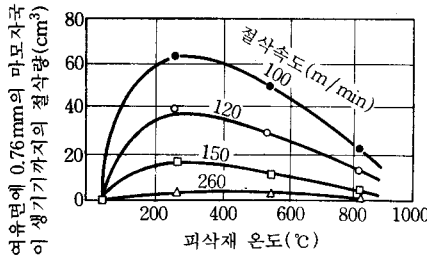


그림 15·15 절삭온도와 공구수명의 관계(초경공구에 의한 정면 milling, Timken 16-25-6, 고주파 가열)

15·4 低温切削

0[°C] 이하로 저온이 되면 탄소강 등은 강도가 떨어지게 된다. 절삭도 일종의 파괴현상이므로, 이와 같은 저온에서는 절삭하기 쉬워질 가능성이 있다. 그런데 공구마모는 절삭온도가 낮을수록 작아진다. 공구-가공물간의 마찰, 凝着이 저온에서는 어떤 효과를 기대할 수 있을지도 모른다.

이와 같은 효과를 기대하면서 가공물, 공구, 가공액의 어느 하나 또는 그 전부를 상온 이하로 유지하고 절삭하는 것을 低温切削(subzero machining)이라 하고, 보통 -20~-190[°C] 정도의 온도에서 실시되고 있다.

低温脆性を 나타내는 탄소강 등에서는 절삭속도가 그다지 높지 않은, 예컨대 20[m/min] 이하에서 다듬질면의 향상, 절삭저항의 감소 등이 보고되어 있으나, 저온취성을 나타내지 않는 스테인리스강, 알루미늄 등에서는 위와 같은 효과는 적고 공구수명만 약간 증가한다.

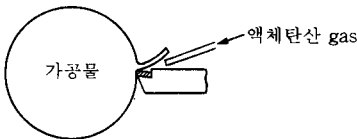


그림 15·16 인선만 냉각하는 방법

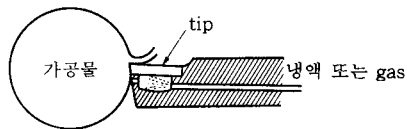


그림 15·17 공구 내부에 注入하는 방법

냉각방법은 저온의 절삭유제(냉각 alcohol, 액체 CO₂, 액체 N₂)를 피삭재에 분사하는 방법, 피삭재를 低温槽에 浸漬한 후 절삭하는 방법, 공구내부에 注入하는 방법이 있다.

주의점으로는 가공물 재료, 절삭조건, 냉각조건을 적절하게 선정하는 것이며, 공작기계 및 가공물의 結露에도 주의해야 한다.

15.5 振動切削

공구-가공물간에 절삭운동 외에 制御된 相對振動(數 10[Hz]~數 10[kHz])을 주어서 바람직한 절삭상태(다듬질면, 절삭저항, 공구수명, chip 배출)를 얻고자 하는 것이 진동절삭이다. 그림 15·18은 振動源으로서 超音波振動子를 사용하는 초음파 진동절삭 장치이다. 진동방향은 절삭방향과 같은 방향을 취하며, 절삭속도를 V , 진동의 진폭을 a , 주파수를 f 로 하면 $V < 2\pi \cdot f \cdot a$ 의 조건하에서 진동절삭의 효과가 크다. 예컨대 $f = 20 \sim 30$ [kHz]에서는 실용진폭(數~數 10 μm)에 대해서 $V < 150$ [m/min]이 유효한 조건이다. 이와 같은 상태에서는 진동 1cycle 간에 이론상 공구와 가공물간에 空隙이 생기게 되며, 절삭액의 침입, 界面에서의 酸化膜의 생성 등에 의해서 계면마찰이 저하된다. 이 때 chip 배출이 용이하게 되며 절삭저항의 저하, 절삭면조도의 향상, 변질층 두께의 감소 또는 공구수명에도 좋은 결과를 기대할 수 있다.

超音波切削은 旋削만이 아니라 milling, reamer가공, broach가공, gear절삭에 응용된 예가 있으며, 일반적으로 진동방향으로는 절삭방향을 취한다. 따라서, reamer 가공에서는 비틀림 진폭이 유효하다.

한편, 商用電源을 이용해서 100[Hz] 정도의 진동수, 0.1[mm] 정도의 진폭을 공구, 가공물에 가하는 절삭이 나사내기, milling, broach 가공에 응용되어 다듬질면의 개선에 기여하고 있다.

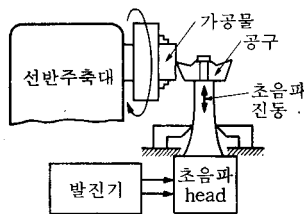


그림 15·18 초음파절삭