

저온냉각공구의 절삭특성 변화(제2보) -모타 회전자의 절삭특성-

김 순 채*, 김 희 남**
(명지대대학원) (명지대)

On Cutting Characteristics Change of Low Temperature Cooling Tool (2nd Report) -Cutting Characteristics of Cage Motor Rotor-

Soon-Chae Kim*, Hee-Nam Kim**

ABSTRACT

The cutting process of cage motor rotor require high precision and good roughness. the surface roughness of cutting face is very important factor with effect on the magnetic flux density of cage motor rotor.

The paper describes a cause of decrease in the cutting force and roughness on low temperature cooling tool by means of analysis on the mechanism of force system at cutting condition and experimental findings. The main results as compared with the room temperature cutting are as follow :

- 1) The cutting resistance decreased due to low temperature cooling tool.
- 2) The surface roughness decreased due to low temperature cooling tool.
- 3) The low temperature cooling tool effected machinability of the cutting direction in machined surface.
- 4) The low temperature cooling tool decreased burr of corner in feed direction.

Key Word : Cage Motor Rotor(모터회전자), Magnetic Flux Density(자속밀도), Low Temperature Cooling Tool(저온냉각공구), Room Temperature(상온)

1. 서론

오늘날 산업사회에서 사용되고 있는 기계부품요소는 대부분 내식성, 내마모성, 내피로성, 고강도를 요구하며 환경변화에 따른 기계장치의 변화가 발생함으로 인한 문제점에 상당한 관심을 두고 있는 실정이다.

그래서 절삭가공에서도 능률을 향상시키고 고정밀화를 시켜 생산성과 원가절감을 할 수 있는 새로운 절삭가공법이 연구되어 왔다.

따라서 저온절삭에 관한 연구는 1953년 E. W. Bartle¹⁾이 저온상태를 위해 액체탄산가스를 이용하여 고크롬, 고니켈, 고텅스텐을 피삭재로 하여 실험하였으며, OKUSHIMA⁴⁾는 액체 질소와 액체탄산가스를 냉각제로 하여 피삭재인 탄소강과 스텐레스강을 저온절삭실험을 통해 상온절삭보다 저온절삭으로 공구수명이 연장됨을 규명하고, UEHARA⁵⁾는 액체질소 냉각제를 사용하여 nozzle를 통해 피삭재를 전체 냉각시키고 공구는 상온에서 절삭가공하여 flank마모와 냉각의 관계를 규명하였고, 또한 냉각의 효과가 모든 재료에 대해 마모량이 항상 감소한다는 이전까지의 연구내용을 구체적으로

언급했고, OKAMOTO⁷⁾는 탄소강을 사용하여 저속영역에서는 고속도강을 고속영역에서는 초경공구를 사용해 프레온 R-22을 냉각제로 사용하여 flank마모와 crater마모를 측정하여 공구수명을 판단하였고, MEKARU⁸⁾는 냉각제를 수돗물과 터어 빈유(#42)를 사용하여 공구내부냉각법으로 공구수명 향상에 기여하려는 인자에 대해서 규명하였다.

또한 ZHAO¹⁰⁾는 재료관점에서 재료들의 저온특성을 연구하였고, OBIKAWA¹¹⁾는 절삭가공기술에서 절삭온도가 중요한 인자로 영향을 주고 있는데 유한차분법에 의한 절삭온도의 수치해석을 퍼스널 컴퓨터로 해석하여 용이한 model을 설정하도록 하였다. 지금까지 저온절삭에 대한 연구가 많은 학자들에 의해 진행되고 있지만, 저온절삭을 위한 냉각제는 액체탄산가스, 액체질소가스, 프레온가스등을 이용하여 실험을 하였으나 이런 장치들은 구조가 복잡하고 냉매비용이 비싸며 가스의 회수방법이 어려워 산업현장에서의 활용방법이 극히 제한되어 있었다.

그렇지만 본 논문에서는 공기압을 이용하여 입기 온도와 냉기온도차가 -60℃까지 냉각이 가능한 냉각장치로 공구내부냉각을 시킴으로 구조가 간단하면서도 비용이 싸서 산업현장에서 공구내부냉각장치에 활용하도록 시험제작 하였다.

또한 절삭조건에 따라 공구의 냉각상태를 조절하므로써 절삭조건 최적화를 찾도록 하였으며, 피삭재는 규소강판

* 명지대학교 대학원 기계공학과
** 명지대학교 기계공학과

을 프레스에서 타발하여 적층시킨후 알루미늄으로 die casting한 난삭재를 선정하였다. 그렇지만 난삭재는 가공 방법과 절삭조건이 재료에 따라 다르므로 일률적으로 해석하여 정립할 수는 없는 상태이기 때문에 가공재료에 따른 절삭특성을 규명하고 이를 활용하는 대책은 당면한 중요한 과제이다. 그래서 본 논문에서는 절삭특성을 고찰하기 위해 상온절삭과 저온절삭을 병행한 후 절삭조건은 절삭속도를 100m/min~400m/min로 하고 절삭깊이는 0.1mm, 이송량은 0.1mm/rev 하여 절삭력, 표면거칠기 관계를 규명하고자 절삭 가공을 하고, 모터 회전자의 가공표면에 조직변화를 보기 위해 상온절삭과 저온절삭에서 절삭속도를 100m/min와 400m/min, 절삭깊이 0.1mm, 이송량 0.1mm/rev일 때 절삭방향과 이송방향의 조직변화를 규명하고자 하였으며, 특히 모터 회전자가 구조강판과 알루미늄의 복합재료 이므로 절삭성에 크게 영향을 미치는 알루미늄의 결합부를 중점 관찰하였으며, 절삭속도를 다양화하기 위해서 선반의 구동방식을 인버터제어로 무단변속을 시켜서 실험하였다.

2. 냉각절삭장치

본 실험에서는 산업현장에서 자동화, 무인화에 따른 공기압의 활용이 보다 증가되고 있으며, 실험에 사용하고 있는 피삭재는 산업용 모터회전자로서 절삭유에 의한 절삭가공을 하면 모터회전자 내부에 유막제거가 어려우며 모타가 회전시 노이즈의 원인이 되어 모타의 성능평가가 어렵기 때문에 절삭유를 사용할 수가 없다.

따라서 본 실험에서는 냉각효과를 더 높이기 위해서 Fig.1과 같이 컴퓨러에서 압축된 공기압을 9~10Kgf/cm² 까지 상승시키고 공기압의 안정화를 위해 보조탱크에서 5~7 Kgf/cm² 상태로 공기압조절기로 조절한 다음 air dry와 filter를 거쳐서 제2의 filter를 통과시킨 다음 ON/OFF 전자밸브를 통해서 냉각장치에 도달한다.

도달된 공기는 냉각장치에서 vortex 발생기에 의해 뜨거운 공기와 찬 공기로 분류되어 찬 공기는 Fig.2와 같이 바이트 상크의 작은 구멍을 통과하여 bite tip에 도달하는데 이때 상크부의 미세구멍들이 nozzle이 되어 단열팽창을 한다. nozzle 직경은 1.5mm와 3mm로 특수가공하였으며, nozzle의 공기출구는 cutting edge 부분에 냉각된 공기가 통과되도록 개회로(Open loop)방식으로 하고, Fig.3과 같은 air 통과방식을 선택하여 칩의 충동을 방지하며 마찰로 인한 열을 최소화시켰다. 이때 발생한 냉각된 공기압은 throw way tip에 냉각을 시킨다.

이 장치로 공구를 냉각하면 입기 온도와 출구온도차가 0~-60℃까지의 범위에서 임의값을 설정할 수가 있지만 본 논문에서는 온도차 -27℃인 대기중의 -5℃상태로 공구내부를 냉각시킨 다음 피삭재를 절삭가공을 하였다.

3. 실험방법 및 실험장치

3.1 실험 방법

앞에서 언급된 냉각장치로 대기중의 -5℃로 냉각시켜 절삭 실험을 하였다.

이 경우 절삭하기전 ON/OFF전자밸브를 ON시키면 압축된 공기가 냉각장치를 거쳐 공구인선부를 통과 되도록 하여 상온 22℃에서 -5℃가 될 때까지 공구인선부를 냉각시킨 다음 2

분 후에 냉각을 시키면서 절삭실험을 하였다.

공구내부의 냉각된 온도를 측정하기 위해 Chromel-Alumel의 thermocouple K type를 사용하여 온도를 측정하였으며, 피삭재의 화학적성분과 기계적 성질은 Table 1과 같으며 외부 형상은 Fig.4와 같다. 또한 Fig.5와 같이 절삭방향과 이송방향의 단면을 관찰하기 위해 abrasive cutter로 절단하여 mounting press에서 molding후 polisher로 연마하여 표면처리을 하여 현미경 조직검사를 하였다.

Table 1 Chemical composition and mechanical properties of test materials

Chemical composition (%)				Mechanical property (L/R direction)			
C	Mn	Si	P	Yield strength (kg/mm ²)	Tensile strength (kg/mm ²)	Elongation (%)	Hardness (H _v)
0.001	0.33	0.40	0.06	27/28	36/37	38/40	115

3.2 실험 장치

실험장치는 Fig.6과 같이 구성하였으며, 공구는 초경합금공구인 P20(SNGG 120408R P20)을 사용하여 3분력과 조건별 표면 거칠기를 비교분석 하였다.

Table 2 Working condition

Tool materials	Cutting speed (m/min)	Feed rate (mm/rev)	Cut of depth (mm)	Cutting condition	Cooled method
P 20	100	0.10	0.10	Room temp. & Low temp.	Tool internally cooled method
	200				
	300				
	400				

선반은 (주)화천기공의 WHPL-380(2.2Kw)을 이용하여 절삭가공시 가공조건을 정확성을 찾고자 구동방식을 인버터제어로 무단변속을 시키고 회전수는 타코메타로 감지하여 ±2%내로 유지시켜 가며 절삭속도의 오차를 최소화시켰다. 통상 상온절삭과 공구내부냉각에 의한 저온절삭의 두가지절삭조건으로 절삭속도를 100~400 m/min, 절삭깊이를 0.1mm, 이송량을 0.1mm/rev로 절삭하여 절삭력, 표면 거칠기 관계를 비교분석을 하고, 절삭방향과 이송방향의 조직변화를 보기 위해 절삭속도를 100m/min과 400m/min, 절삭깊이 0.1mm, 이송량 0.1mm/rev일 때의 단면조직을 분석하였으며, 작업조건은 Table 2와 같다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 저온절삭이 절삭력에 미치는 영향

저온절삭이 절삭력에 미치는 영향을 고찰하기 위해 절삭속도를 100m/min~400m/min, 절삭깊이는 0.1mm, 이송량은 0.1mm/rev하여 실험을 하였다.

Fig.7은 상온절삭과 저온절삭에 있어서 절삭속도의 변화가 주분력에 미치는 영향을 표시한 것이다.

그림에서 상온절삭시 절삭속도가 100 m/min 일 때는 주분력이 최대가 되지만 절삭속도의 증가와 더불어 절삭력이 감소하는 상태를 알 수 있고 저온절삭에서는 상온절삭보다는 약 1kgf의 차이를 유지하면서 주분력이 감소하는 것을 알 수가 있다.

이것은 복합재료인 모타회전자의 재료특성에 기인한 것으로 순알루미늄을 절삭가공 할 때 절삭속도가 낮을수록 구성인선이 발생하지만 규소강판이 절삭가공중에 순알루미늄의 구성인선을 탈락시켜 버린다.

또한, 저온절삭에서는 앞에서 언급한 이유와 공구내부냉각으로 cutting edge의 온도상승을 억제할 하므로 피삭재와 절삭공구에 물리적인 특성변화를 최소화시키므로 주분력을 감소시킴을 알 수 있고 가공 중에 생성되는 칩을 냉각공기로 제거를 시킴으로 피삭재 표면을 보호할 수 있었다.

Fig. 8과 Fig. 9는 Fig. 7과 똑같은 조건으로 이송분력과 배분력의 관계를 나타낸 그림으로 이송분력은 주분력과 비슷한 영향을 받고 있지만 배분력은 절삭속도가 300m/min 상태에서 급격하게 변화하고 있는데 이것은 모타회전자의 절삭특성에 미치는 인자 중에서 절삭속도가 300m/min에서 변화가 있는 것을 알 수가 있다.

Fig. 10은 상온절삭시 절삭속도의 변화가 절삭력에 미치는 영향을 나타낸 그림으로 이송분력과 배분력은 매우 완만하게 변화하고 있지만 주분력은 절삭속도 증가와 더불어 감소 비율이 큰 것은 절삭속도 증가에 따라 바이트의 온도가 상승하지만 피삭재의 비절삭저항도 감소가 되어 절삭력을 감소시키게 한다.

Fig. 11은 저온절삭에 있어서 절삭속도의 변화가 절삭력에 미치는 영향을 나타낸 것으로 Fig. 10의 상온절삭시 3분력과 비교해 보면 주분력과 배분력은 약 1 kgf 정도 감소하였지만, 이송분력은 미소한 감소를 나타냈다. 이것은 공구를 저온 냉각으로 절삭가공시 이송분력 보다는 주분력과 배분력의 영향이 크다는 것을 알 수 있었다.

또한 절삭력에 영향을 많이 미치는 절삭방향의 조직변화를 관찰하기 위해 절삭속도를 100m/min과 400m/min, 절삭깊이 0.1mm, 이송량 0.1mm/rev일 때를 비교하였다.

Photo. 1과 Photo. 2는 상온절삭과 저온절삭에서 절삭속도를 100m/min일 때 절삭방향 조직을 나타낸 것으로 규소강판과 알루미늄의 경계부를 살펴보면 상온절삭에서는 절삭가공시 규소강판의 burr가 알루미늄 모서리를 제거시키지만 가공중에 탈락 된 것을 볼 수 있고 알루미늄 표면은 가공중의 구성인선으로 인하여 매끄럽지 않음을 알 수 있다. 그러나 저온절삭에서는 규소강판의 burr가 알루미늄의 경계부를 덮고 있어 모터 회전자의 표면 거칠기를 감소시켜 절삭력이 감소한다고 생각되며 알루미늄의 표면도 상온절삭보다 더 양호한 것을 알 수 있다.

Photo. 3과 Photo. 4는 절삭속도를 400m/min로 하였을 때 절삭방향의 조직을 나타낸 것으로 상온절삭에서는 규소강판의 burr가 알루미늄과 일치하지 않지만 저온절삭에서는 일치한 것을 알 수 있으며 알루미늄의 burr도 상온절삭에서는 발생되었지만 저온절삭에서는 발생하지 않았고 Photo. 1과 Photo. 2를 비교하면 작업조건이 같을 때는 상온절삭보다 저온절삭이 피삭재의 절삭성을 향상시키고 절삭속도의 상승에 따라 더 향상됨을 알 수 있다.

4.2 저온절삭이 표면 거칠기에 미치는 영향

저온절삭이 표면 거칠기에 미치는 영향을 고찰하기 위해 절삭속도를 100m/min~400m/min, 절삭깊이는 0.1mm, 이송량은 0.1mm/rev로 하여 실험을 하였다.

Fig. 12는 상온절삭과 저온절삭의 있어서 절삭속도와 표면 거칠기의 관계를 나타낸 그림으로 절삭력의 증가와 더불어 표면 거칠기는 양호하지만 100m/min에서 변화가 400m/min에

서의 변화보다도 표면 거칠기에 더 큰 변화를 주는 것을 알 수가 있는데 이것은 저속영역에서는 저온절삭의 영향이 크고 고속영역으로 갈 수록 표면 거칠기 값의 차가 감소하는 것은 회전수의 증가와 더불어 발생하는 마찰열과 저온절삭으로 인한 재료의 물성과 공구재종의 원인으로 생각된다. 또한, 본 실험에서는 대기온도 -5°C 조건하에서 절삭을 하였고 때문에 절삭속도 400m/min에 대한 영향에 대해서는 더 검토를 할 필요가 있다고 사료된다.

Fig. 13은 상온절삭과 저온절삭에서 주분력의 변화와 표면 거칠기 변화를 비교한 그림으로 저온절삭이 상온절삭보다 피삭재인 모타 회전자를 절삭가공시 절삭성이 향상되는 것을 알 수 있었다.

또한 저온절삭이 표면 거칠기에 미치는 영향을 관찰하기 위해 이송방향의 조직을 절삭속도를 100m/min과 400m/min, 절삭깊이 0.1mm, 이송량 0.1mm/rev일 때의 조직변화를 살펴보면, Photo. 5는 상온절삭시 절삭속도를 100m/min로 하였을 때 이송방향의 조직을 나타낸 것으로 규소강판에 투입된 알루미늄은 바이트의 진행방향으로 모서리가 제거되고 절삭이 끝나는 부분에서는 모서리가 탈락되었고, Photo. 6은 저온절삭시 절삭속도를 100m/min로 하였을 때 이송방향의 조직을 나타낸 것으로 전반적으로 표면이 양호한 것을 알 수 있으며, Photo. 7은 절삭속도를 400m/min로 하였을 때 상온절삭 상태를 나타낸 것으로 절삭속도가 100m/min일 때의 상온절삭에서 처럼 알루미늄의 절삭이 완료되기 전에 모서리 부분이 탈락 된 것을 볼 수가 있으며, Photo. 8은 절삭속도가 400m/min일 때의 저온절삭의 이송방향 단면을 나타낸 것으로 알루미늄의 표면이 매끄럽고 규소강판과 경계부에도 모서리 부의 탈락이 없음을 알 수 있다.

따라서 모터 회전자의 절삭가공시 저온절삭이 이송방향의 조직에도 변화를 주어 피삭재의 표면의 거칠기를 감소시키는 것으로 생각한다.

5. 결 론

공구내부냉각에 의한 절삭방법으로 상온절삭과 비교한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 절삭력은 절삭속도 증가와 더불어 감소하지만 상온절삭보다 저온절삭이 절삭속도에 따라 약 1kgf 감소된다.
- 2) 표면 거칠기 변화는 상온절삭보다 더 양호하고 절삭속도 증가에 따라 감소되었다.
- 3) 공구내부냉각으로 절삭시 발생하는 칩이 공기압으로 제거 되어 피삭재의 표면을 보호할 수가 있다.
- 4) 절삭방향에서의 표면 거칠기는 상온절삭보다 저온절삭이 더 미려하다.
- 5) 이송방향에서의 절삭단면은 상온절삭보다 저온절삭이 모서리부의 burr를 감소시킨다.

위의 결론에서 알 수 있듯이 저온절삭에서 공구의 작용력이 감소하는 것을 알았다. 또한 본 실험에서 행하지 못한 공구수명에 대해서 연구를 진행하고 있다.

참 고 문 헌

- 1) E. W. Bartle : Machinery (E), 83, 24 July, (1953)172.
- 2) G. Pahlitzsch and Braunschweig : Low Temperature, Cooling, A means of Increasing Cutting Tool Life, Microtechnics, Vol., 9, No. 2, PP. 65-69 (1955).

- 3) R. Ichimiya : A Study of Accuracy on Hot Machining
J. S. P. E, Vol. 30, No. 10, PP. 816-821(1964).
- 4) K. OKUSHIMA and Y. KAWASHIMA : Study on Machining
With Internally-Cooled Tool, J. S. P. E, Vol. 34, No 2, PP.
97-104(1968).
- 5) K. UEHARA and S. KUMAGAI : Mechanism of Wear in the
Cryogenic Machining, J. S. P. E, Vol. 35, No. 9, PP. 593-599
(1969).
- 6) S. OKAMOTO and M. DOI : On Cutting with Internally
Cooled Cutting Tool (1st Report), J. S. P. E, Vol. 38,
No. 5, PP. 443-448(1972).
- 7) S. OKAMOTO and M. DOI : On Cutting With Internally
Cooled Cutting Tool (2nd Report), J. S. P. E, Vol. 41,
No. 5, PP. 431-435(1975).
- 8) Y. KAKINO, K. NAKAMURA, A. FUJIWARA and M. HASHITANI
: A Study on the Thermal Crack Resistivity of
the Cutting Tool (1st Report), J. S. P. E, Vol. 53,
No. 3, PP. 491-496(1987).
- 9) S. MEKARU, I. FUKUMOTO and K. NAKAYAMA : Improvement of
Tool Life on Cutting Stainless Steel With the
Internal Cooling Method, J. S. M. E, Vol. 53, No. 496,
PP. 2688-2691(1987).
- 10) Z. ZHAO and S. Y. HONG : Cooling Strategies for
Cryogenic Machining from a Materials Viewpoint,
J. M. P. E, Vol. 1(5), No. 10, PP. 669-678(1992).
- 11) T. OBIKAWA and T. MATSUMURA : Visualization,
Adaptation and Optimization of Machining Technology,
J. S. P. E, Vol. 60, No. 5, PP. 641-646(1994).

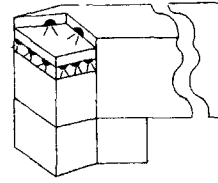


Fig.3 Schematic illustration of low temperature cutting tool

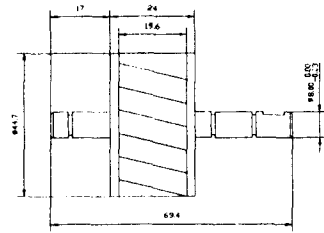


Fig.4 Dimension of cage motor rotor.

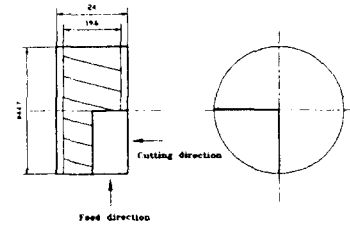


Fig.5 Pattern direction of the tool microscope

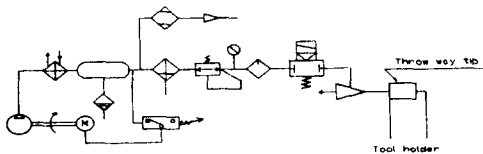


Fig.1 Pneumatic block diagram for internally cooled cutting tool

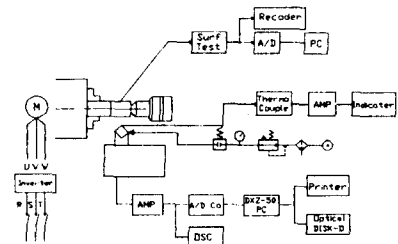


Fig.6 Measurement system for room and low temp. cutting working

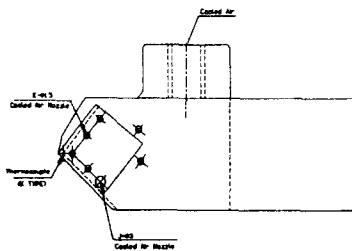


Fig.2 Mechanism of low temperature cutting tool.

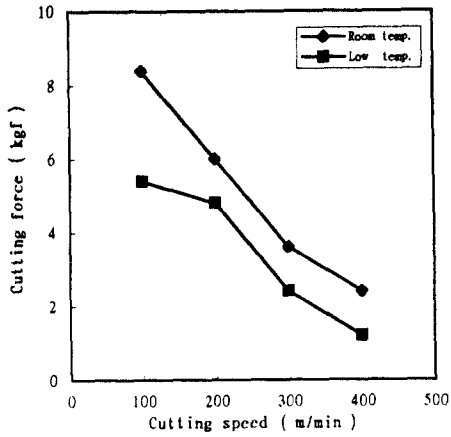


Fig. 7 Relation of cutting speed(m/min) and tangential force(kgf) due to room and low temp.

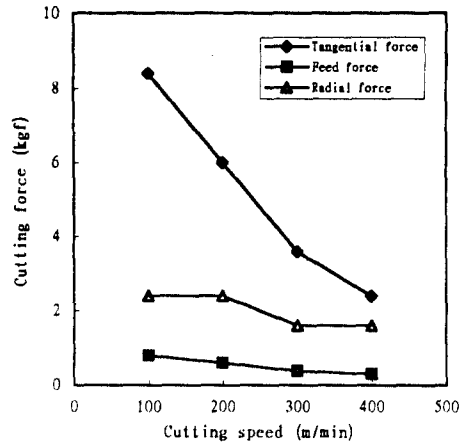


Fig. 10 Relation of cutting speed(m/min) and cutting force(kgf) due to room temp.

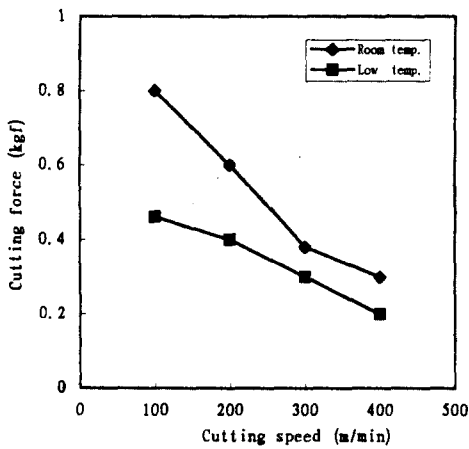


Fig. 8 Relation of cutting speed(m/min) and feed force(kgf) due to room and low temp.

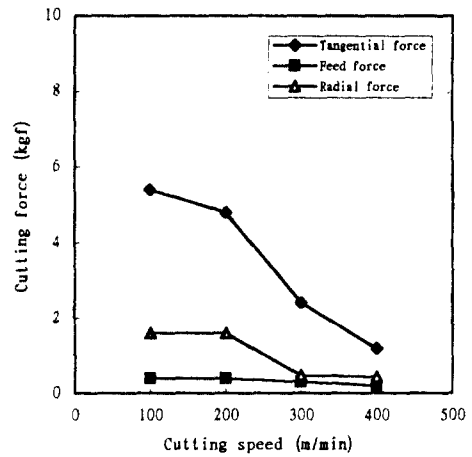


Fig. 11 Relation of cutting speed(m/min) and cutting force(kgf) due to low temp.

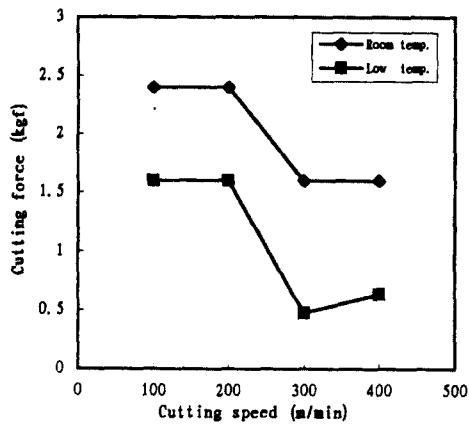


Fig. 9 Relation of cutting speed(m/min) and radial force(kgf) due to room and low temp.

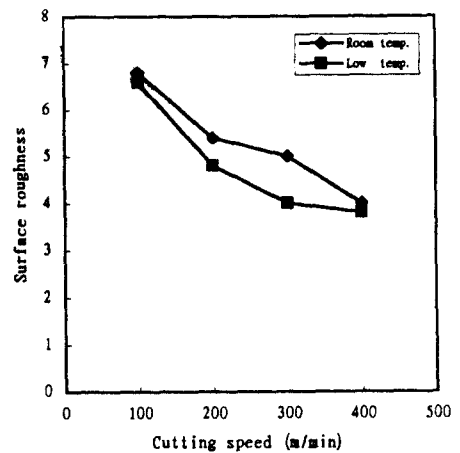


Fig. 12 Relation of cutting speed(m/min) and surface roughness due to room and low temp.

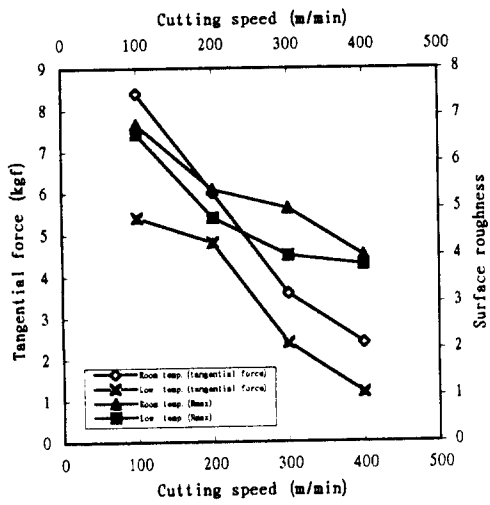


Fig.13 Relation of tangential force and surface roughness due to room and low temp.

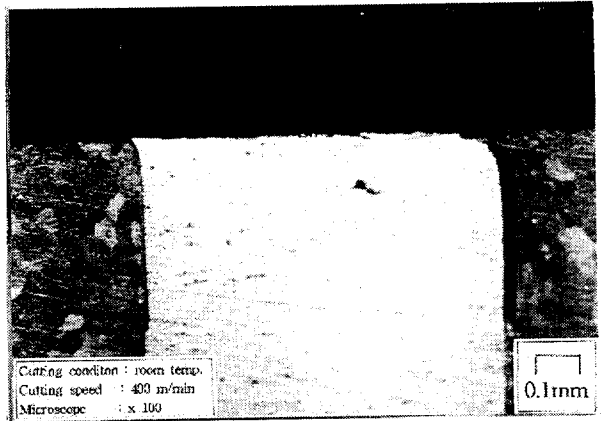


Photo.3 Section of cutting direction by metal microscope

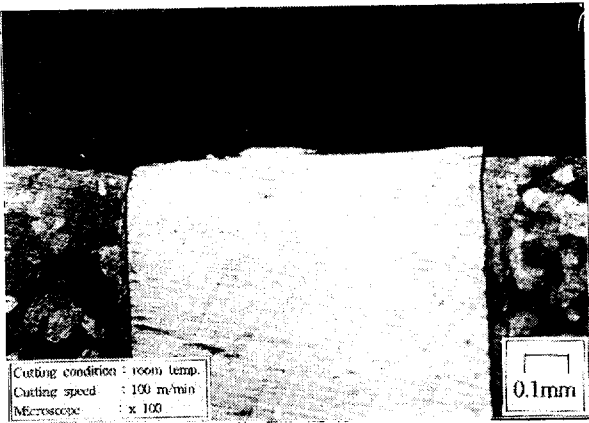


Photo.1 Section of cutting direction by metal microscope

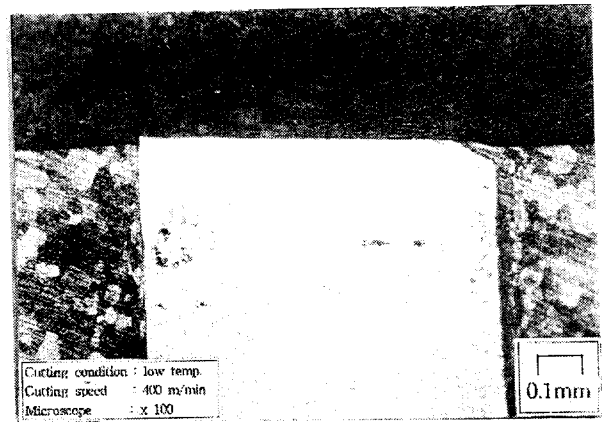


Photo.4 Section of cutting direction by metal microscope

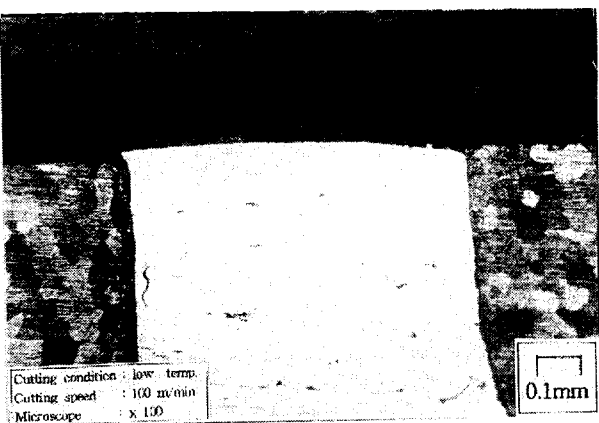


Photo.2 Section of cutting direction by metal microscope

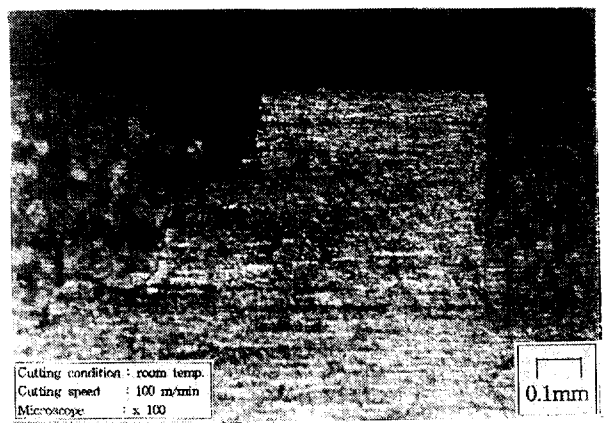


Photo.5 Section of feed direction by metal microscope

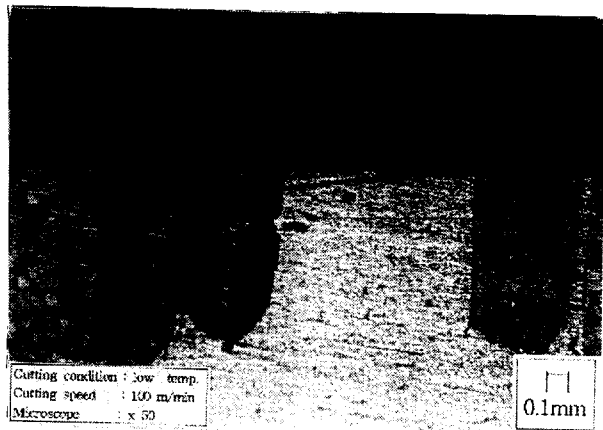


Photo.6 Section of feed direction by metal microscope

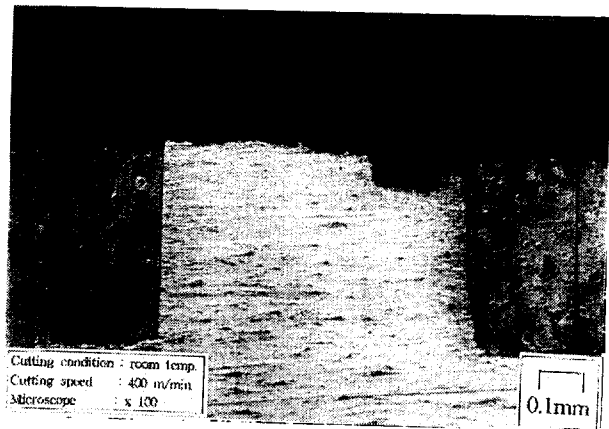


Photo.7 Section of feed direction by metal microscope

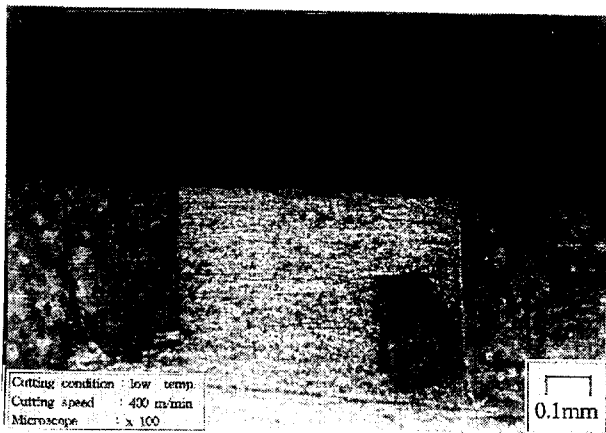


Photo.8 Section of feed direction by metal microscope