

|||||||  
**論 文**  
 |||||

## 인바형 저열팽창 주조재의 절삭성

문병문\*, 홍준표\*\*

### Machinability of Invar-type Cast Alloys

Byung-Moon Moon\* and Chun-Pyo Hong\*\*

#### Abstract

The relative machinability of the invar-type cast alloys, such as invar cast steel, invar-type cast iron, Meehanite cast iron, and the modified Invar-type cast iron containing Mo and V was evaluated based on the tool life test, the surface roughness test and the chipping test. Tool life and surface roughness were measured under various cutting conditions. The tool lives of Invar cast steel, Meehanite cast iron, the modified Invar cast iron and Invar cast iron was 12 min, 8 min, 1 min, 41 min, respectively. The surface finish of Invar cast steel and the modified Invar cast iron was better than that of Meehanite cast iron, and the chip breakability of invar cast iron and Meehanite cast iron was better than that of invar cast steel. The Taylor's equations of invar cast steel and the modified invar cast iron were  $VT^{0.3076}=154.479$  and  $VT^{0.3880}=102.326$ , respectively. As the cutting speed increases, the surface finish of the modified invar cast iron was improved.

(Received February 28, 1997)

#### 1. 서 론

최근, 정밀기계 및 반도체 제조장비 등에 실용화 되고있는 오스테나이트계 저열팽창 주조재료는 선형 열 팽창계수가 낮고 주조성도 우수하여 활용범위가 점차 넓어질 것으로 기대된다[1]. 그러나 이러한 주철 및 주강계 저열팽창재료는 기조직이 오스테나이트이므로 연성이 매우 높으므로 절삭가공중에 심한 열발생을 유발시켜 재료의 피삭성을 떨어뜨리는 요인이 된다. 특히 주강계 합금의 경우는 주철계 합금과는 달리 기조직에 연질의 흑연이 존재하지 않으므로 이러한 경향이 훨씬 크다. 또한 이러한 합금들은 경도가 매우 낮아서 실용성을 높이기 위해서 유효합금원소의 첨가나 열처리에 의해 재료의 기계적성질을 높이는 연구가 진행되고 있다[2]. 최근 인바형 주철(Invar-type cast iron)에 V이나 Mo를 첨가하여 열팽창계수의 증가없이 경도를 향상시킨 연구가 보고되고 있다[3]. 그러나 이러한 탄화물형성원소첨가에 의한 경도상승은 공구의 마모를 촉진시켜 기계가공을 어렵게 하는 요인이 되고 있다. 이러한 재료들의 특성에 맞는 절삭가공조건외 검토 및

피삭성의 평가는 점차 정밀, 고속화 및 자동화되는 절삭가공의 추세를 고려할 때 절실히 요구되고 있다.

따라서 본 연구에서는 기존의 invar 조성부근의 저열 팽창 회주철과 최근 본연구자들에 의해서 개발된 V과 Mo를 함유한 고경도 저열팽창 회주철 및 정밀공작기 계주물에 많이 활용되고 있는 미하나이트(Meehanite) 주철, 주강계 저열팽창합금에 흑연을 소량 정출시킨 주조재 등에 관한 절삭성을 공구수명측정, 가공후 표면조도측정, 절삭칩의 형상, 그리고 가공변수에 따른 절삭성평가 방법 등을 통하여 상호 비교 검토하여 실제작업에 적절한 절삭조건을 도출하고자 하였다.

#### 2. 실험방법

절삭성이란 절삭공구의 수명, 공구의 마모율, 일정한 양의 금속을 제거하는데 필요한 에너지, 절삭된재료의 표면품질정도와 같은 절삭공정의 구체적인 특성에 중점을두어 해석하는 것이 일반적이다. 절삭성을 측정하는 방법으로는 특정한 가공조건하에서 공구수명시험(tool life test), 표면조도시험(surface finish test),

\*생산기술연구원 (Korea Institute of Industrial Technology)

\*\*연세대학교 (Dept. of Metallurgical Eng., Yonsei University)

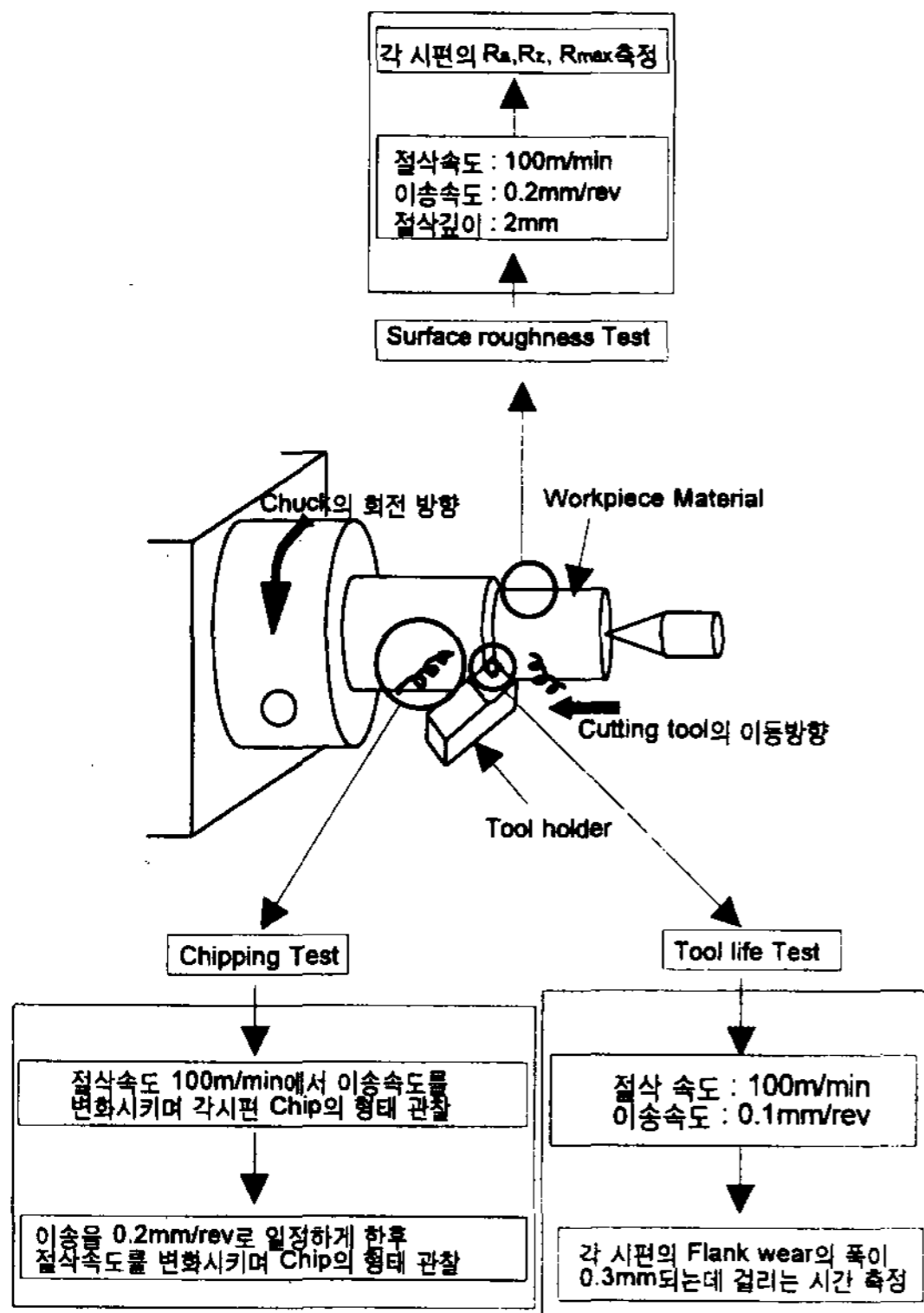


Fig. 1. Schematic diagram of machinability test.

최적절삭속도 및 이송속도시험(optimum speed and feed combination test), 절삭력시험(cutting force test), 절삭온도시험(cutting temperature test), 전력소비시험(power consumption test), 절삭능시험(cuttability test) 등이 있다[4]. 본 연구에서는 Fig. 1에 나타낸 바와같이 보다 일반적으로 많이 쓰이는 공구수명시험, 표면조도시험, 절삭칩시험 등을 실시하여 저열팽창 주조재의 상대적 절삭성을 평가하였다.

절삭성 시험편은 고주파 유도로를 사용하여 순철, 선철, 전해니켈, 합금철등을 장입하여 용탕중량 45 kg으로 용해하였다. 저열팽창 주철 및 미하나이트주철의 경우 레이드에 출탕시 총 장입량의 0.3 wt%에 해당하는 Fe-75wt%Si 접종재를 용탕에 접종하였다. 이를 적정주입온도에 이를 때까지 진정시킨 후 준비된 주형(사형)에 주입하여 직경100 mm, 길이 400 mm의 봉상으로 제작하였다. 각 시편의 화학조성은 Table 1에 나타내었다.

주방상태의 시편표면부의 불건전층과 선반에서 회전절삭시 편심을 없애기 위하여 표면을 약 4 mm 깊이

Table 1. Chemical composition of the specimens

Specimen number	Material	Chemical composition (wt %)							
		C	Si	Ni	Mo	V	Mn	Cu	Fe
No. 1	Invar Cast Steel (I)	0.70	0.28	32.0	-	-	0.74	0.16	bal
No. 2	Meehanite Cast Iron	2.96	1.98	-	0.30	-	1.01	1.10	"
No. 3	Modified Invar	1.89	1.54	33.0	2.50	2.90	0.35	-	"
No. 4	Invar Cast Iron	3.06	1.93	37.0	-	-	0.58	-	"
No. 5	Invar Cast Steel	0.74	0.40	34.4	-	-	0.50	-	"
No. 6	Modified Invar	1.65	1.85	33.8	2.00	2.30	0.60	-	"

로 가공하여 절삭성시험용 시편을 제작하였다. 경도 측정은 브리넬 경도계(1000 kg 하중, 10 mm 강구볼, 30초간 측정)와 미소경도계 (100 g 하중)를 사용하였고, 조직관찰을 위해서 광학현미경과 주사전자현미경(SEM)을 사용하였으며 이때사용한 부식액은 3% Nital과 5% Picral+2%Nital(중량비 1 : 1)을 사용하였다. 표면조도측정은 표면조도기(Sufter 402, Mitutoyo)를 사용하여 각시편의  $R_{max}$ ,  $R_z$ ,  $R_a$  값을 측정하였으며 이때의 표면상태를 현미경으로 관찰하였다.

절삭공구는 주강계 저열팽창재료의 경우에는 주로 강의 절삭에 사용되는 (WC+Co)에 열적특성을 향상시키기 위하여 TiC, TaC가 첨가된 초경합금재인 P20(SNMA120408)을 사용하였고, 저열팽창 주철 및 미하나이트주철의 경우에는 (WC+Co) 초경합금재인 K20 (SNMA120408)을 사용하였다. Tool holder는 PSBN2525 (side rake angle=6°, end cutting angle=15°, side cutting edge angle=15°) 형을 사용하였으며, 절삭유를 사용하지 않는 건식절삭을 실시하였다.

각 재질에 대한 상대적인 공구수명시험의 경우에는 측정에 기준이 되는 마모의 형태를 crater 보다는 먼저 공구 수명의 기준에 도달하고 측정이 용이한 Flank wear를 선정하였다. Fig. 2에 나타낸 바와같이 마모폭의 측정에서는 경계마모와 불규칙적인공구날끝의 마모를 제외한 B구역에서의 평균마모폭을 광학현미경으로 측정하여 0.3 mm에 도달할 때까지의 시간을 공구수명으로하였다. 또한, 공구수명은 절삭속도에 크게 의존하므로 절삭속도에 따른 공구수명을 측정 후

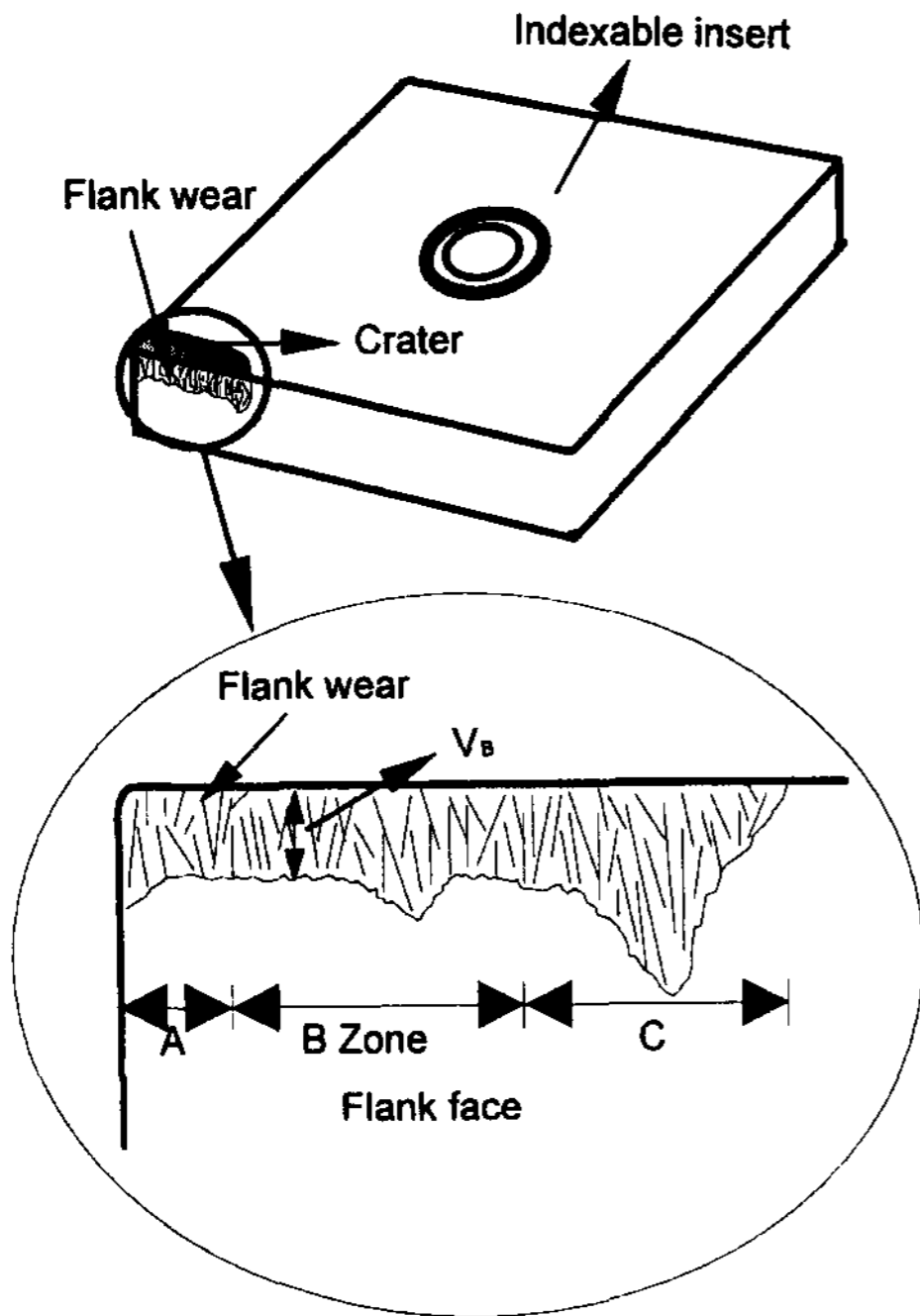


Fig. 2. Flank wear and crater on indexable insert.

Taylor식을 이용하여 관계식을 구하였다. 이때의 측정 방법으로는 시편의 양과 시간을 절약할 수 있는 accelerated wear test와 Heignbotham과 Pandey에 의해 개발된 variable-rate machining test, taper turning test 등이 있으나 상수값 추정에서의 부정확성, 시편제작과 기기 작동의 어려움 등 많은 문제점으로 인해 전통적인 long absolute machinability test를 채택하여 측정하였다 [5,6]. Taylor상수를 찾기위한 절삭시험에 사용된 공구는 P20과 K20 이외에도 현장에서 폭넓게 활용되고있는 TiC/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/TiN 다중코팅된 KT250(SNMG120404) 공구를 저열팽창 주철과 주강의 절삭에 동시에 사용하여 전술한 공구들과 공구수명을 비교하였다. 이때에는 건식 및 습식절삭시험을 모두 행하였고 습식절삭시에 사용한 절삭유는 KSM 2173 규격의 soluble oil을 물과 1 : 10의 비율로 혼합하여 사용하였다.

이상의 공구선정과 마모측정방법 등 모든 기준은 ISO Standard 3685-1977의 "Tool-Life Testing with Single Point Turning Test"에 따라 행하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 공구수명 시험(Tool life test)

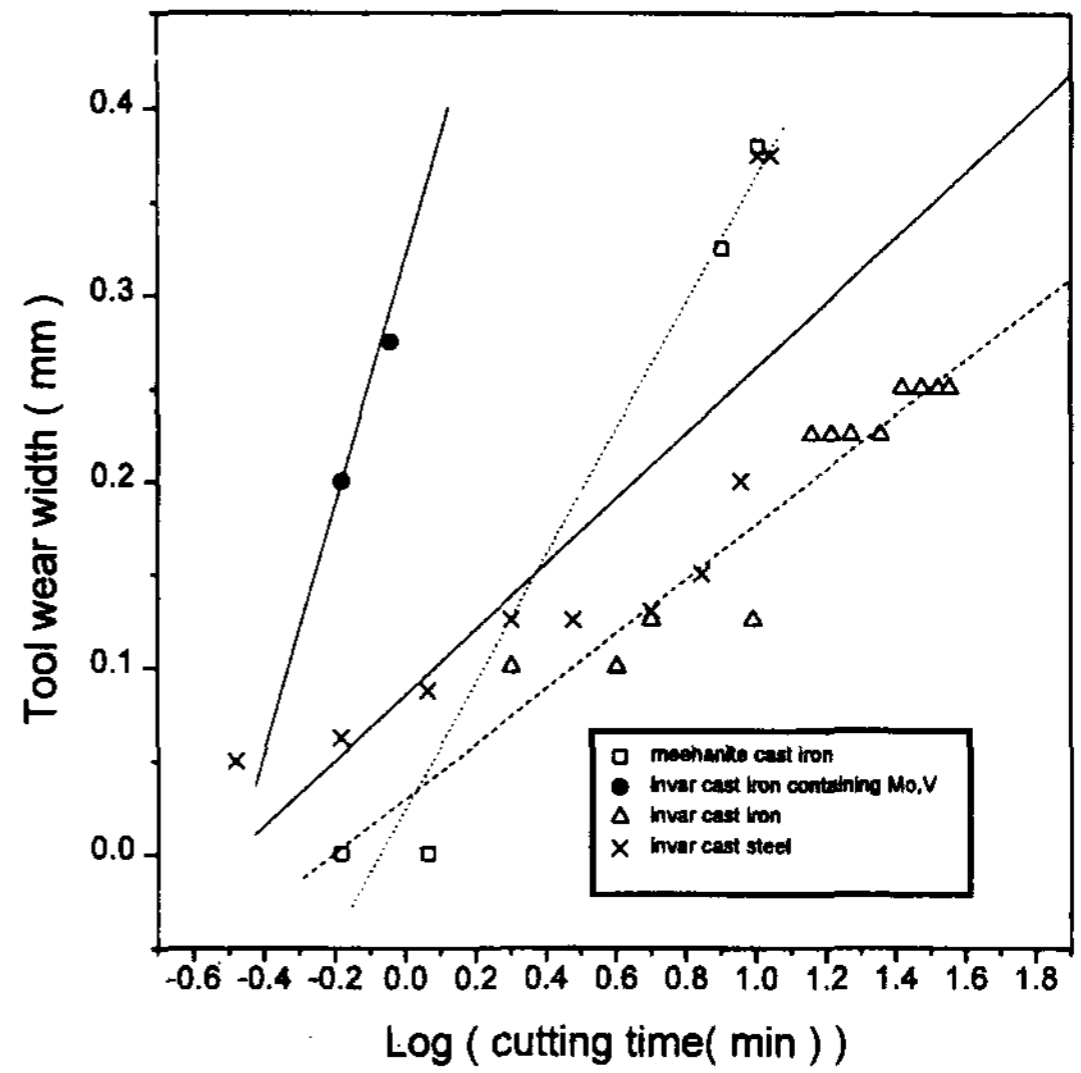


Fig. 3. Variation of tool wear width according to the cutting time (cutting tool: P20, cutting speed: 80 m/min, cutting depth: 2 mm feeding rate: 2 mm, and no cutting fluid).

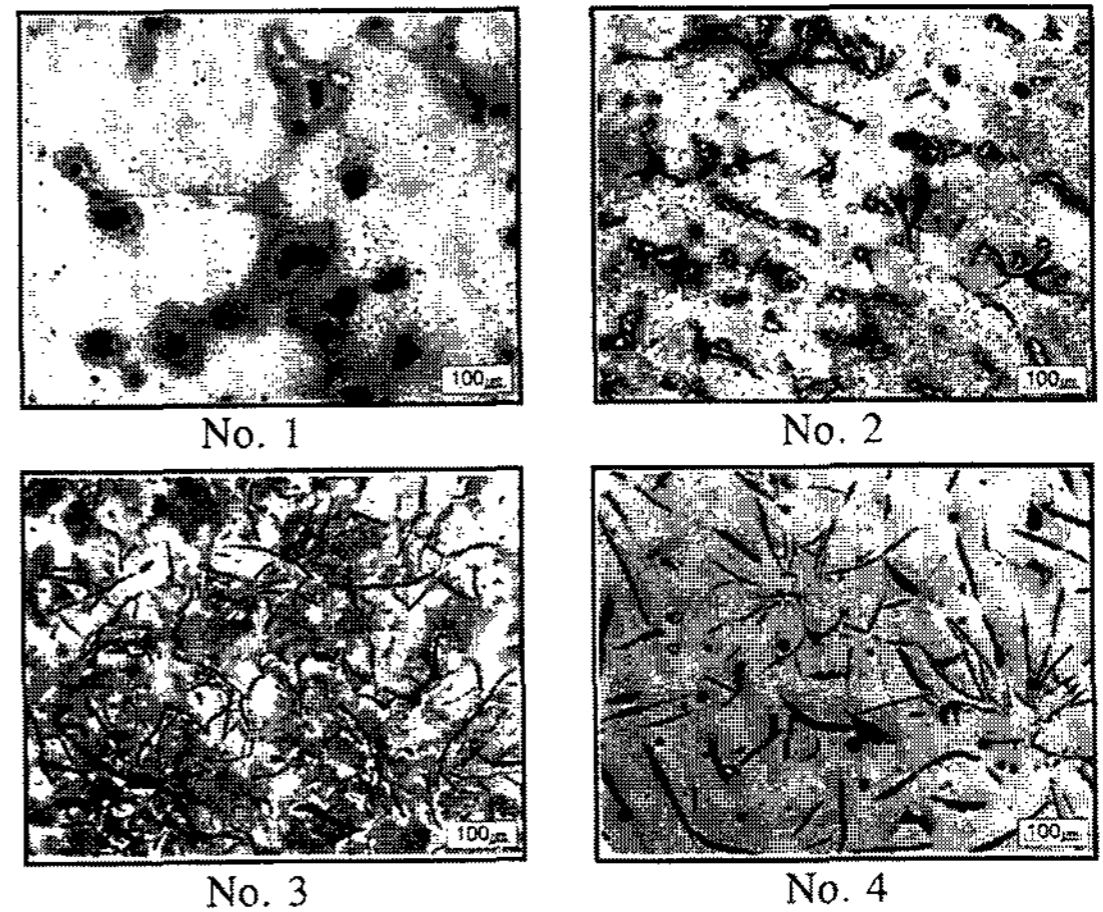


Photo. 1. Optical micrographs of the machinability test specimens.

Fig. 3은 절삭시간에 따른 flank wear의 폭을 측정한 결과이다. Mo와 V이 첨가되지 않은 인바형 주철의 경우 주강계 인바합금에 비하여 절삭시간에 따른 절삭공구마모량의 증가가 완만하였다. 이는 미소경도계로 측정한 오스테나이트 기지조직의 경도가 Mo 및 V이 첨가되지 않은 인바형 주철의 경우 165 Hv로 주강계 인바합금의 263 Hv 보다 낮을 뿐만 아니라 Photo 1에서 보듯이 인바형 주철에 존재하는 다량의 흑연에 기인

Table 2. Tool life and hardness of the specimens

Materials	Invar cast steel	Meehanite cast iron	Invar Cast Iron (containing Mo, V)	Invar cast iron
Content				
Tool life (min)	12	8	1	41
Hardness (HB)	154	229	177	100

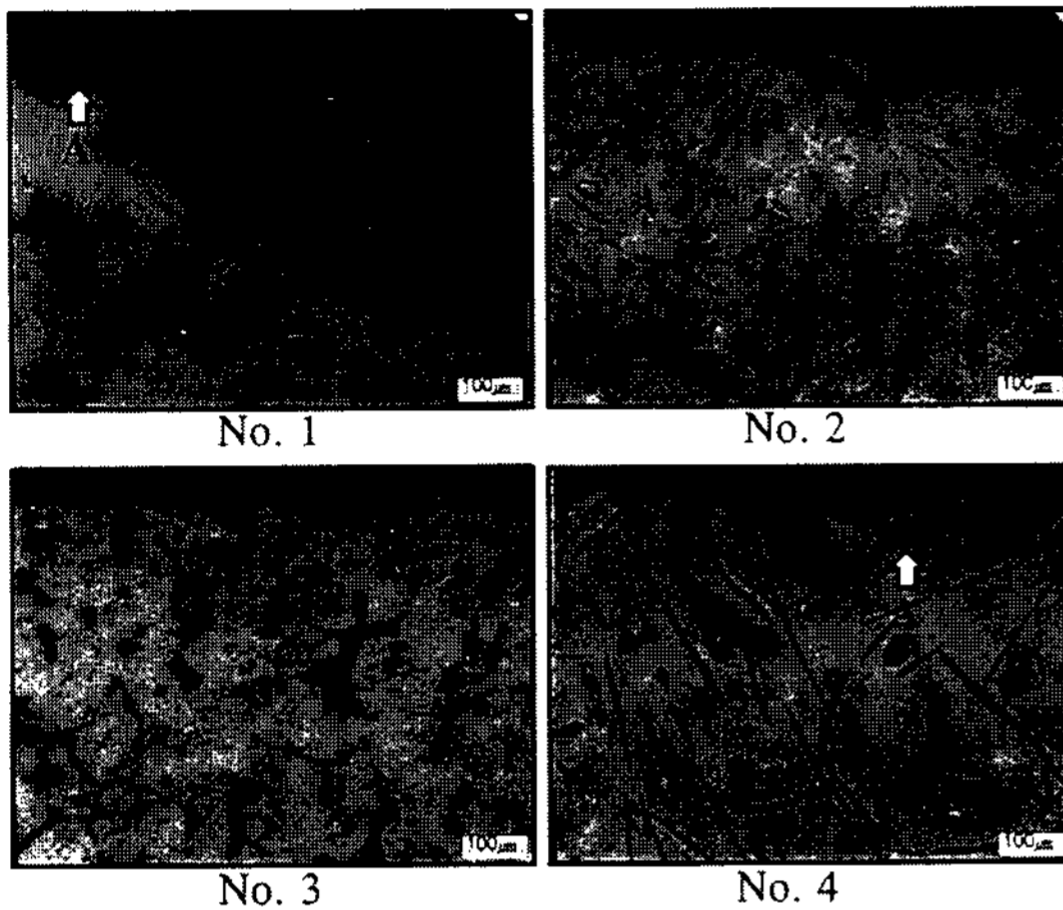


Photo. 2. Microstructures of the plastic deformed free surface (cutting tool: P20, cutting depth: 2 mm, feed rate: 0.2 mm, cutting speed: 100 m/min, and no cutting fluid).

한 것이다. 일반적으로 흑연은 칩(chip)의 파괴를 촉진시키며 칩이 절삭공구에 소착하는 것을 방지하는 윤활작용을 하여 공구수명과 칩의 파쇄성을 향상시키는 것으로 알려져 있다[7]. 미하나이트주철은 기지조직이 퍼얼라이트이므로 경질의 Fe<sub>3</sub>C에 의한 공구마모가 현저하게 발생하였다. Mo 및 V이 첨가된 인바형 주철은 Table 2에 나타난 바와 같이 미하나이트주철에 비해 경도값은 낮으나 고경도 탄화물에 의한 abrasive wear와 흑연량의 감소로 인하여 공구 수명이 급격히 감소한 것으로 여겨진다.

Photo 2는 선반절삭에 의한 절삭표면의 가공경화량과 가공경화층을 측정하기 위하여 절삭시편의 단면을 절취한 것으로서 주강계 인바합금(No. 1)과 Mo 및 V이 첨가되지 않은 인바형 주철(No. 4)의 경우 절삭면 부위(화살표 A부분)에 심한 소성변형이 일어난 것을 알 수 있으며 절삭표면으로부터 피삭물의 안쪽으로 기지의 미소경도를 측정한 결과 Fig. 4에 나타난 바와 같이 가공경화층은 약 200 µmm정도였다. 이같이 가공경화깊이가 약 200 µm정도임을 알게됨으로써 절삭

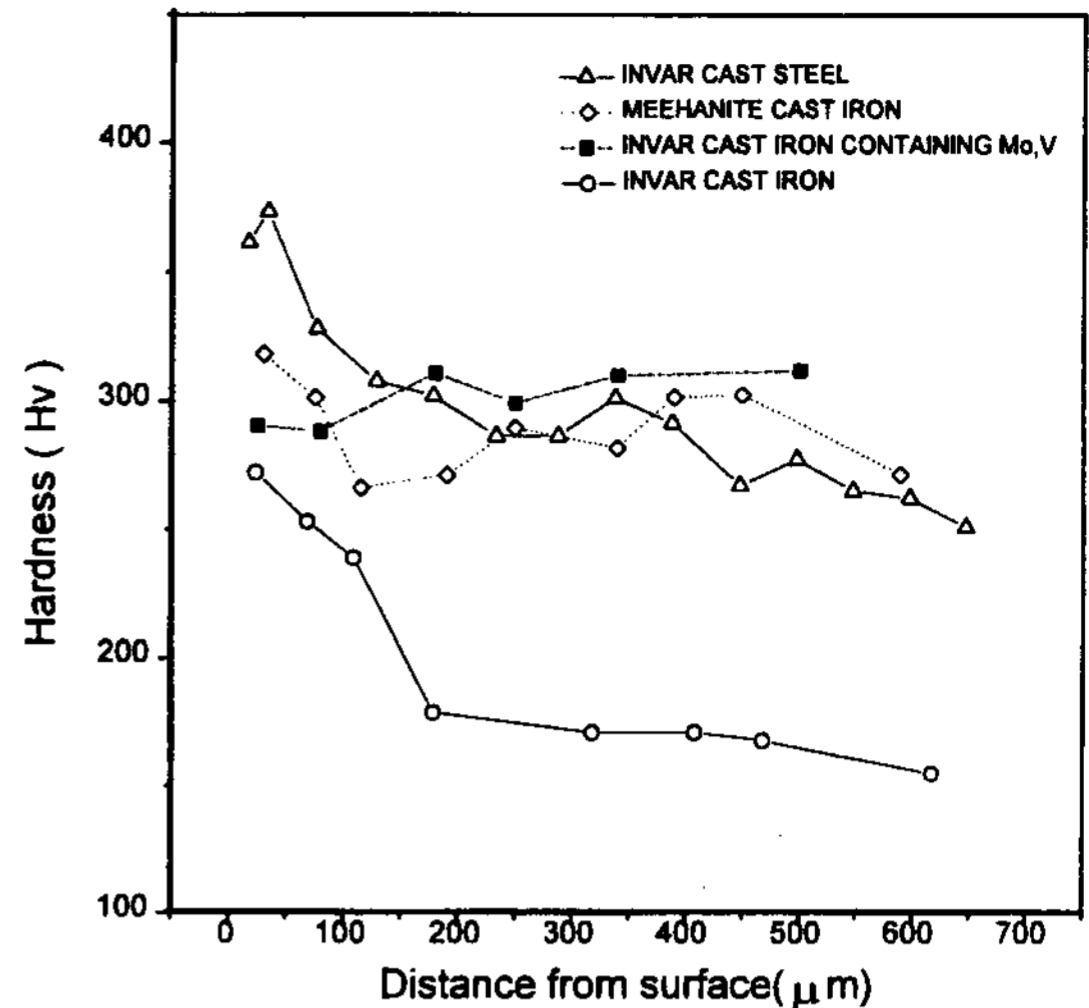


Fig. 4. Variation of the hardness from the free surface.

시의 이송량을 약 200 µm/rev. 이상으로 하여 가공경화층을 넘는 영역에서 절삭하는 것이 매우 유용하다 하겠다. Mo와 V이 첨가된 고경도 인바형 주철의 경우 절삭에 의한 가공경화층이 거의 관찰되지 않았으며 미하나이트 합금주철의 경우에도 절삭에 의한 가공경화가 미미하였다. 이는 주철계에서는 오스테나이트 기지조직의 경도가 낮을 수록 소성변형이 심하게 일어나고 주강계의 경우 주철계에 비해 훨씬 큰 가공경화를 나타내고 있기 때문이다.

이처럼 Ni이 다량으로 함유된 오스테나이트 기지의 인바계 합금의 경우 낮은 열전도도로 인하여 절삭시 절삭공구의 마모가 촉진되며 가공경화속도가 크기 때문에 일반적인 난삭재로 분류된다. 따라서 고Ni 저열팽창주조재의 절삭시, 공구의 이송속도가 작을 경우에는 생성된 가공경화층의 절삭으로 인해 공구수명이 단축되며 이송속도가 너무 큰 경우에는 절삭공구에 미치는 절삭저항(cutting force)의 증가로 공구수명이 급속히 감소하므로 절삭조건과 재료에 따라 적절한 이송량의 선택이 요구된다[8].

### 3.2 표면조도 시험(Surface roughness test)

일반적으로 표면조도는 선반절삭 후의 제품의 가공정밀도와 내피로 특성등에 많은 영향을 끼치므로 절삭성평가지 중요한 기준이 된다. 표면조도에 영향을 끼치는 인자로는 피절삭재 자체의 재질특성뿐만 아니라 절삭공구의 재질, 절삭속도, 절삭깊이, 절삭선반의

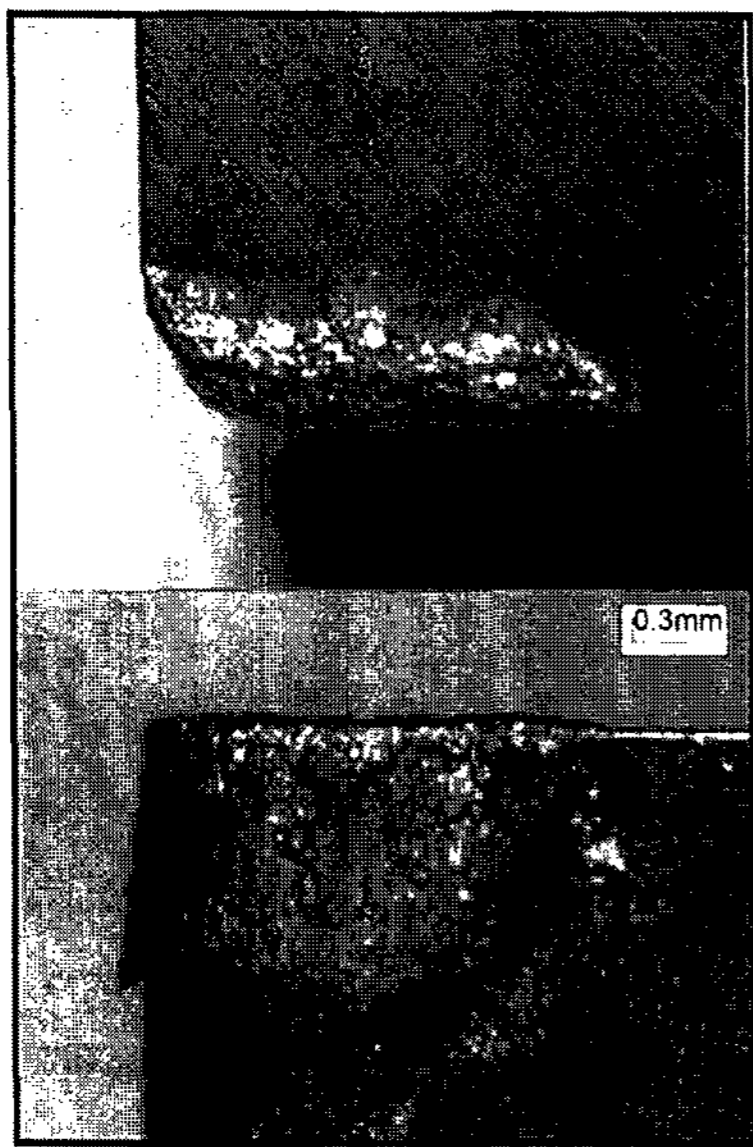


Photo. 3. Built up edge on the indexable insert.

특성, 진동과 칩의 형상 등이 있으며 특히 가공시에 BUE (built up edge)가 생성되면 경질의 BUE 입자가 절삭표면에 존재하여 표면조도에 상당한 악영향을 끼치게 된다[9]. Photo 3은 인바형 주철의 선반절삭시 절삭공구 모서리에 형성된 BUE의 형상이다. 이러한 BUE의 생성을 억제하기 위해서는 절삭속도를 상승시키거나 절삭공구의 rake angle과 relief angle 을 크게 하는 방법등이 있다[10]. 또한 절삭표면은 이송량과 절삭공구의 nose radius에 크게 좌우되며 이러한 표면 조도를 나타내는 값으로는 아래와 같은  $R_a$ ,  $R_z$ ,  $R_{max}$  값들이 있다.

$$R_a = \frac{1}{L} \int_{x=0}^{x=L} |f(x)| dx \quad (1)$$

$$R_z = \frac{(R_1 - R_3 - R_5 - R_7 - R_9) - (R_2 - R_4 - R_6 - R_8 - R_{10})}{5} \quad (2)$$

$$R_{max} = f(x)_{max} - f(x)_{min} \quad (3)$$

$f(x)$ : 표면거칠기 곡선식

L: 샘플링 길이

y: 표면조도곡선의 중심선으로부터의 세로좌표

x: 표면조도 곡선의 중심선으로부터의 가로좌표

$R_1, R_3, R_5, R_7, R_9$ : 표면조도곡선을 지나지 않고 중심선에 평행한 임의의 한직선으로부터 조도곡선의 가장높은 피크점으로 부터 다섯번째 높은 피크

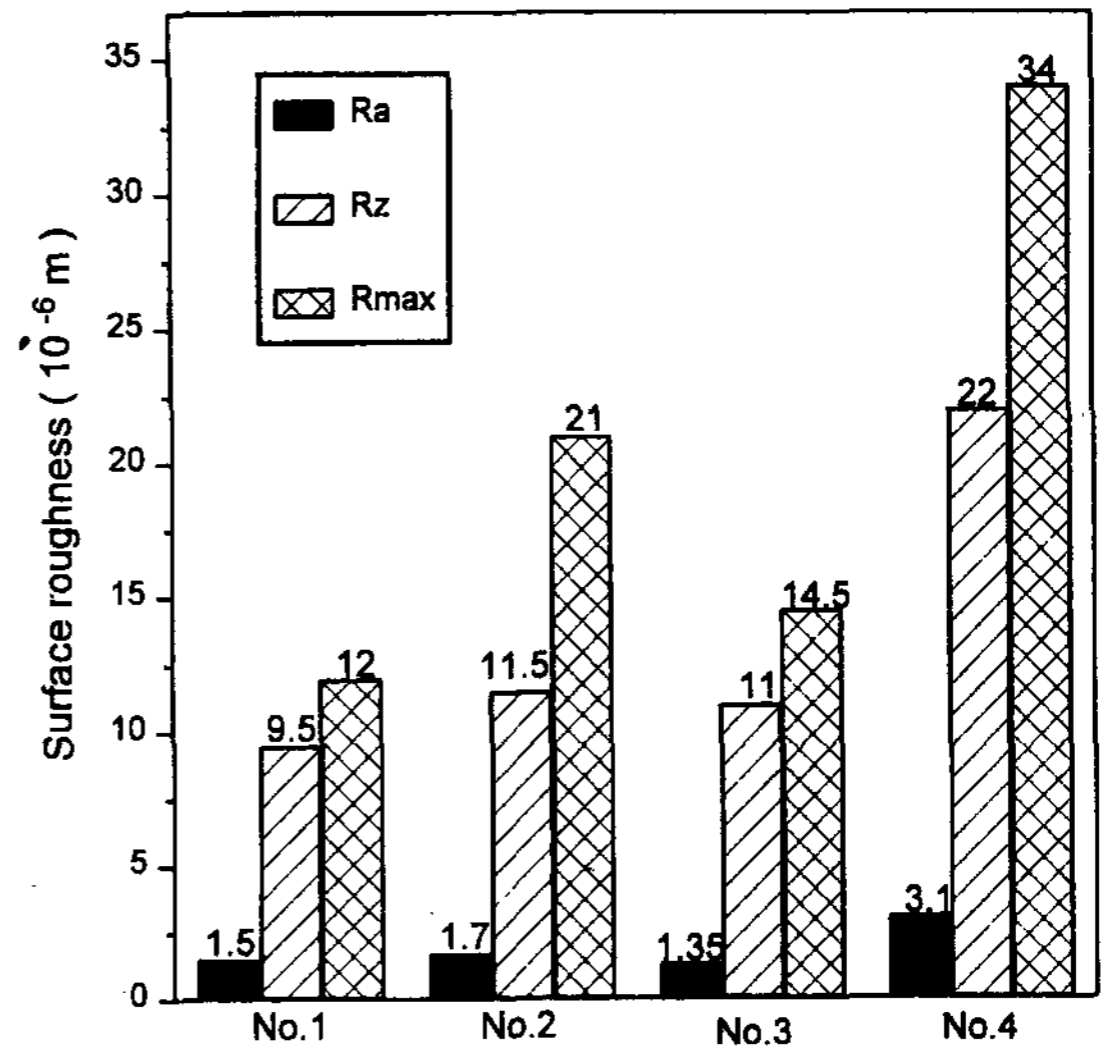


Fig. 5. Surface roughness of the specimens (cutting speed: 100 m/min, feeding rate: 0.2 mm/rev. cutting depth: 2 mm, and no cutting fluid).

점들 까지와의 거리.

$R_2, R_4, R_6, R_8, R_{10}$ : 표면조도곡선을 지나지 않고 중심선에 평행한 임의의 한 직선으로부터 조도곡선의 가장낮은 피크점으로 부터 다섯번째 낮은 피크점들까지와의 거리.

$f(x)_{max}$ : 표면조도 곡선중 Y축상의 최대점

$f(x)_{min}$ : 표면조도 곡선중 Y축상의 최소점

Fig. 5는 각 절삭시편을 일정한 절삭조건에서 선반 절삭후 측정된 조도를  $R_a$ ,  $R_{max}$ ,  $R_z$  값으로 나타낸 것이며, Photo 4는 실제 절삭시편의 표면을 관찰한 것으로서 Mo 및 V이 첨가되지 않은 인바형 주철의 경우 절삭표면이 가장 거칠었으며 이는 측정된  $R_a$ ,  $R_{max}$ ,  $R_z$  값이 가장 높았음을 확인시켜주고 있다.

Photo 5는 각시편의 절삭시 BUE 유무를 측정하기 위하여 절삭칩을 수거하여 각칩의 단면을 관찰한 것이다. Mo 및 V이 첨가되지 않은 인바형 주철은 기지조직중의 다량의 흑연으로 인한 칩의 소착방지와 그로인한 BUE 방지 역할을 하지만 기지조직의 경도가 매우 낮기 때문에 약간의 BUE(사진d의 화살표 부분)가 생성 되었다. 또한 Photo 6에서 보듯이 흑연은 기지조직의 연속성을 저해하고 흑연주위의 기지조직은 절삭도중 이탈되어 절삭표면에 소착되기 쉽기 때문에 과량의 흑연으로 인하여 표면조도가 상당히 악화된 것으로 사료된다. Mo 및 V이 첨가된 고경도인바형 주

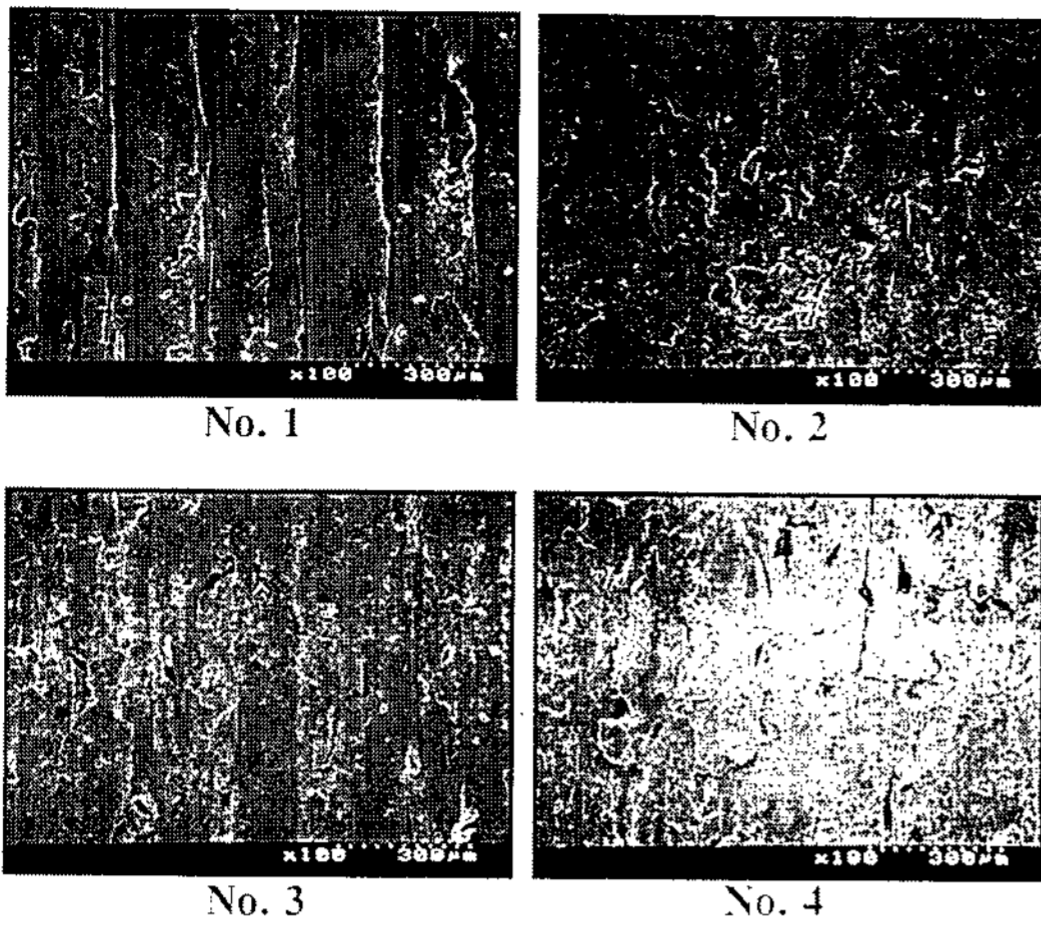


Photo. 4. Micrographs of the free surfaces after cutting (cutting tool: P20, cutting depth: 2 mm feed rate: 0.2 mm, cutting speed: 100 m/min and no cutting fluid).

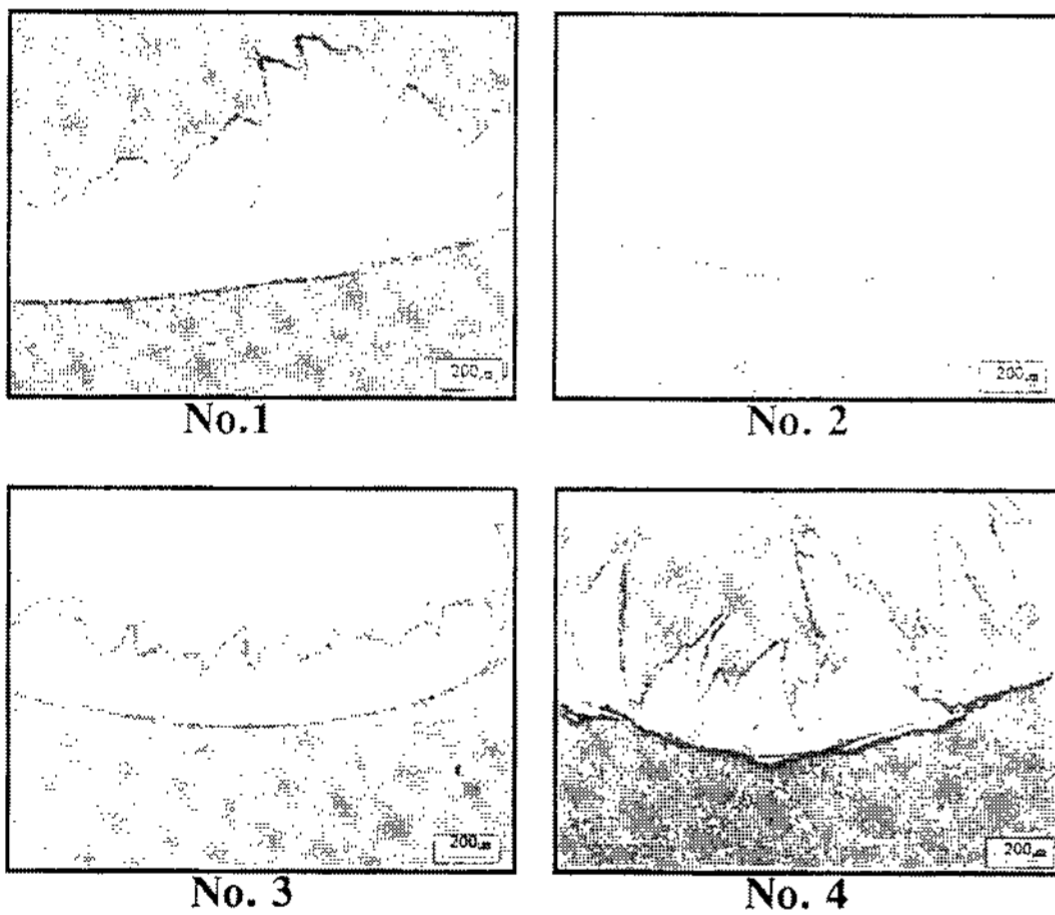


Photo 5. Micrographs of the specimen's chip (cutting tool: P 20, cutting depth: 2 mm, feed rate: 0.2 mm, cutting speed: 100 m/min and no cutting fluid).

철의 경우 기지조직의 경도상승과 흑연량의 감소로 인하여 표면조도가 향상되었으며, 칩관찰에 의한 BUE의 생성도 거의 관찰되지 않았다. 그러나 Photo 7 (화살표 부분)에서 보듯이 기지조직내의 경질의 탄화물은 절삭시 절삭면을 따라 절삭되지 않고 절삭공구를 마모시키며 또한 이탈된 탄화물 입자에 의하여 표면조도를 악화시키는 것으로 사료된다. 주강계 인바합금의 경우 BUE는 거의 생성되지 않았으며, 기지조직내에는 절삭성을 향상시키기 위한 극히 소량의 흑연만 존재하므로 상대적으로 표면조도가 가장 양호 하였다.

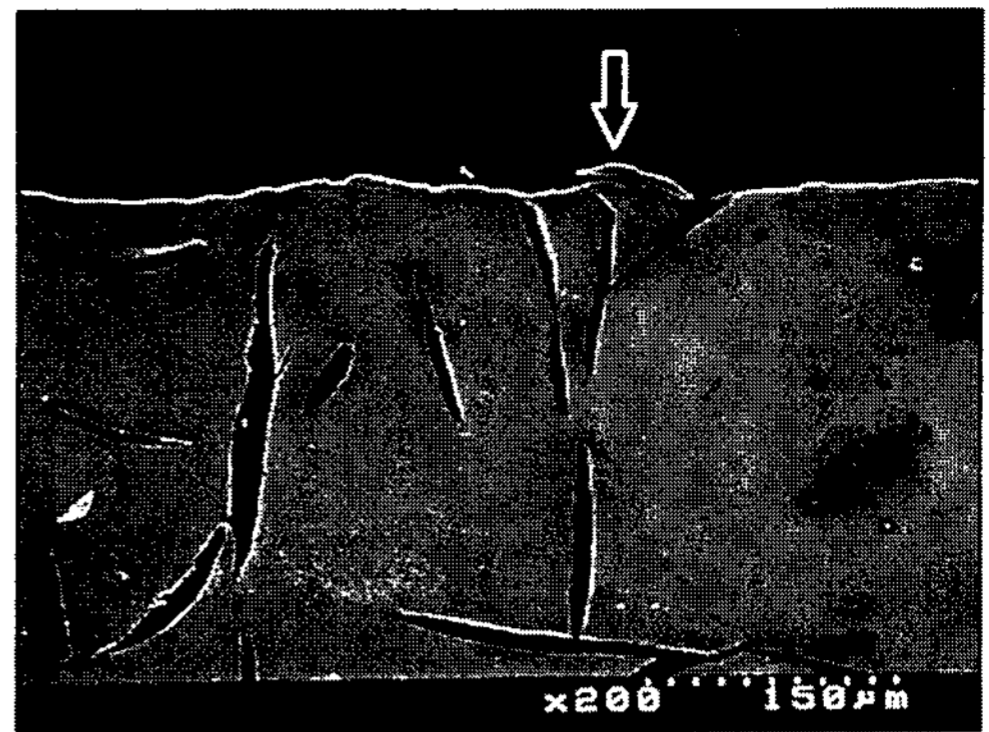


Photo. 6. Micrograph of the separated invar-type cast iron chip around the graphite on the free surface.

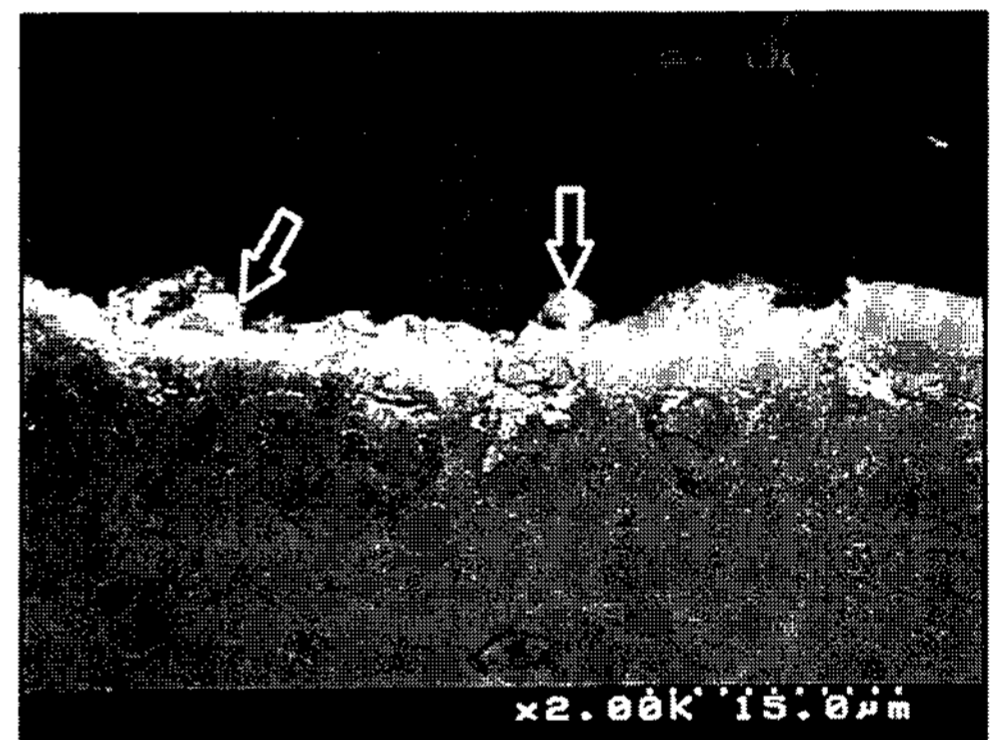


Photo. 7. Micrograph of the separated carbide particles from the substrate.

### 3.3 절삭칩 시험 (Chipping test)

연성이 높은 재료는 절삭칩 자체도 유연한 만큼 기계가공시에 잘 끊어지지않고 길게 생성되어 작업성을 악화시키기도 하며 고Ni 합금처럼 열전도도가 비교적 낮은 금속의 경우에는 절삭시 발생하는 공구끝부분에 축적된 열로 인해 절삭공구에 칩이 용착하기 쉬워 이것이 궁극적으로는 공구의 결손으로까지 이어지기 쉽다. 따라서 절삭칩시험은 실제작업에 유용한 정보를 제공해 준다.

Photo 8은 일정한 이송량에서 절삭속도의 변화에 따른 칩의 형상변화를 관찰한 것이다. 주강계 인바합금의 경우는 절삭속도가 증가할 수록 칩의 길이는 약간 증가하였으며 미하나이트주철과 고경도 인바형 주철 그리고 Mo 및 V이 첨가되지 않은 인바형 주철은 전자와 반대의 결과를 나타내고있다. Photo 9은 일정한 절삭속도에서 이송량의 변화에 대한 각시편의 칩

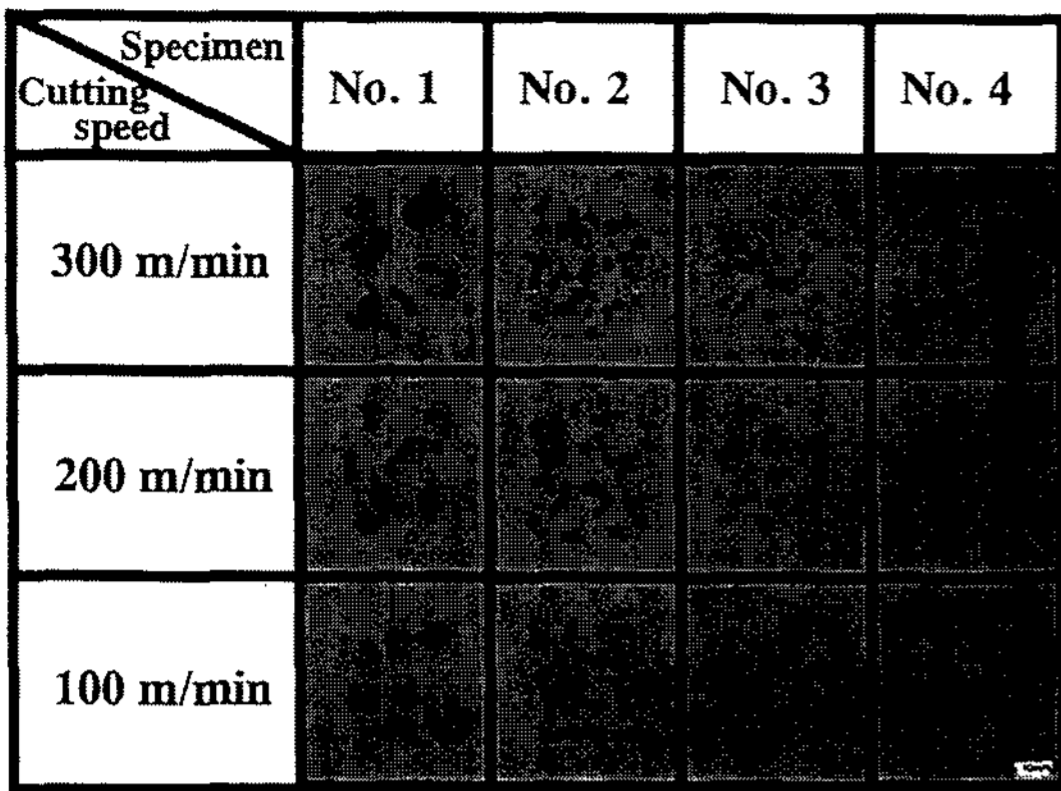


Photo. 8. Shapes of the chips in various cutting speeds (cutting tool: P20, cutting depth: 2 mm, feeding rate: 0.2 mm/rev, and no cutting fluid).

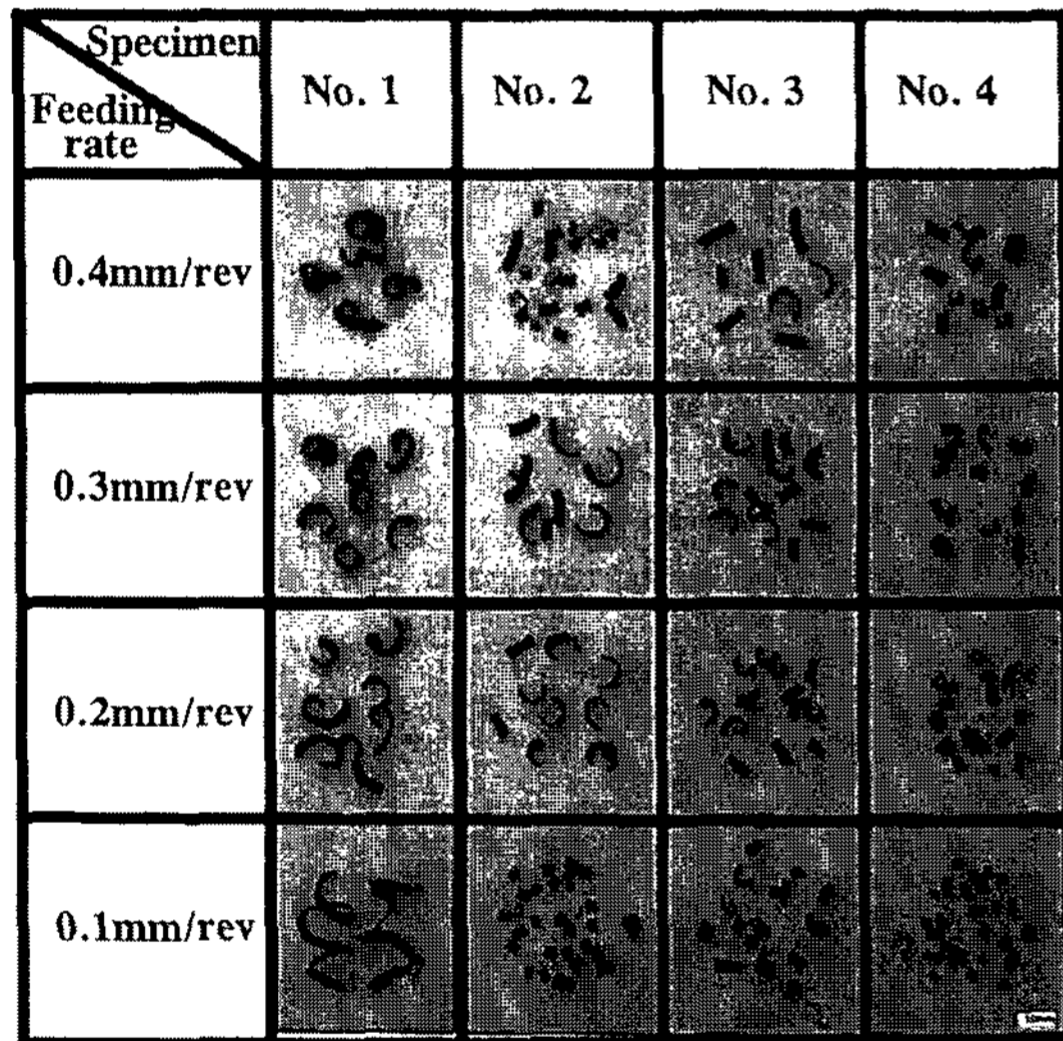


Photo. 9. Shapes of the chips in various feeding rates (cutting tool: P20, cutting depth: 2 mm, and cutting speed: 100 m/min).

의 형상을 나타낸 것이다. 주강계 인바합금의 경우 이송량이 증가할수록 칩의 길이는 감소하는 경향을 나타내었으며, 미하나이트 주철과 고정도 인바형 주철, Mo 및 V이 첨가되지 않은 인바형 주철의 경우 칩의 길이가 오히려 증가하였다. 또한 어떠한 이송속도나 절삭속도에 대해서도 주철계합금은 주강계합금에 비해 다량의 흑연으로 인하여 우수한 칩의 파쇄성을 나타내었으나 지나치게 짧은 절삭칩의 생성은 작업시에 작업반경 밖으로 칩이 날아가버려 작업을 불편하게 하는 수가 있으므로 적절한 이송속도와 절삭속도가

요구된다. 결과적으로 주강계 인바합금의 경우에는 이송속도가 증가하면 칩 자체의 곡률반경이 감소하여 칩의 curl이 공구와의 충돌에 의해 파쇄될 때까지의 길이가 짧아지는 반면, 절삭속도가 증가하면 칩자체의 곡률반경이 증가하여 칩의 길이가 증가한다는 보고와 잘 일치하고 있다[11]. 그러나 미하나이트주철 및 인바형 주철은 반대의 결과를 나타내고 있다. 이는 주철 절삭칩의 파쇄가 강에서와 같이 절삭칩curl의 공구와의 충돌에 의해 일어난다기 보다는 기조직중 혼재하는 흑연의 존재로 인한 기조직의 불연속성에 기인한 것으로 생각된다.

### 3.4 공구수명에 미치는 절삭속도의 영향

절삭속도는 공구수명에 가장 큰 영향을 끼치며 Taylor에 의하여 제안된 절삭속도와 공구수명과의 관계식은 다음과 같다[12].

$$VT^n = C \tag{4}$$

V=절삭속도(m/min)

T=공구수명 (min)

C, n=상수

일반적으로 초경공구를 사용하여 절삭시 강 의 경우 n값은 0.3, 주철은 0.25, 경금속은 0.41 정도의 값을 갖는 것으로 알려져 있으나, 피삭재의 특성, 공구재질, 공구의 기하학적형상 등에 의해 영향을 받는다[13].

실제작업에서 보통 절삭 깊이는 주어진 소재의 형상과 가공후의 형상의 차이에 의하여 결정하며 이송량은 가공면의 표면거칠기 등을 고려하여 결정하게 된다. 따라서 절삭깊이와 이송량이 결정되면 바람직한 공구수명에 따라 Taylor 식을 이용하여 적절한 절삭속도를 선정하게 된다. Fig. 6은 주강계 저열팽창합금(No. 5)에서 절삭속도에 따른 공구수명의 변화를 나타낸 것이다. 절삭속도가 감소함에 따라 공구의 수명이 급속히 증가하는 것을 볼 수 있으며, 절삭유가 공구수명에 미치는 영향은 고속절삭시 보다는 저속절삭시에 보다 큰 결과를 나타내고 있는데 이는 높은 절삭속도에서는 절삭칩의 생성및 이탈속도가 크므로 공구와 피삭재사이에 충분한 절삭유의 접촉효과를 방해하기 때문으로 생각된다. Taylor 식의 상수는 관계식으로부터 n은 0.38, C는 102.32으로 측정되었다. 한편, 절삭공구를 보다 단단한 코팅재종인 KT250으로 사용

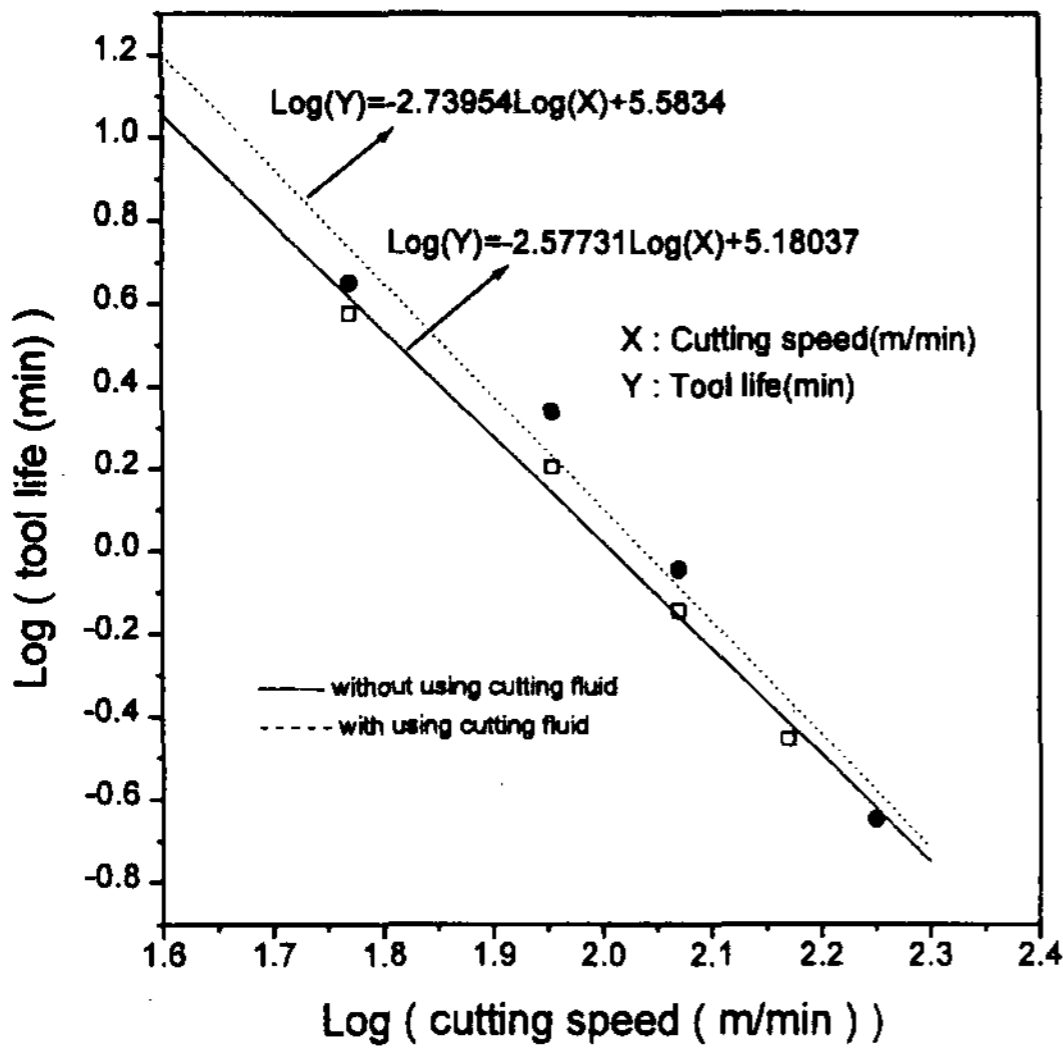


Fig. 6. Relationship between the tool life and the cutting speed (cutting tool: P20, feeding rate: 0.2 mm/rev, and cutting depth: 2 mm).

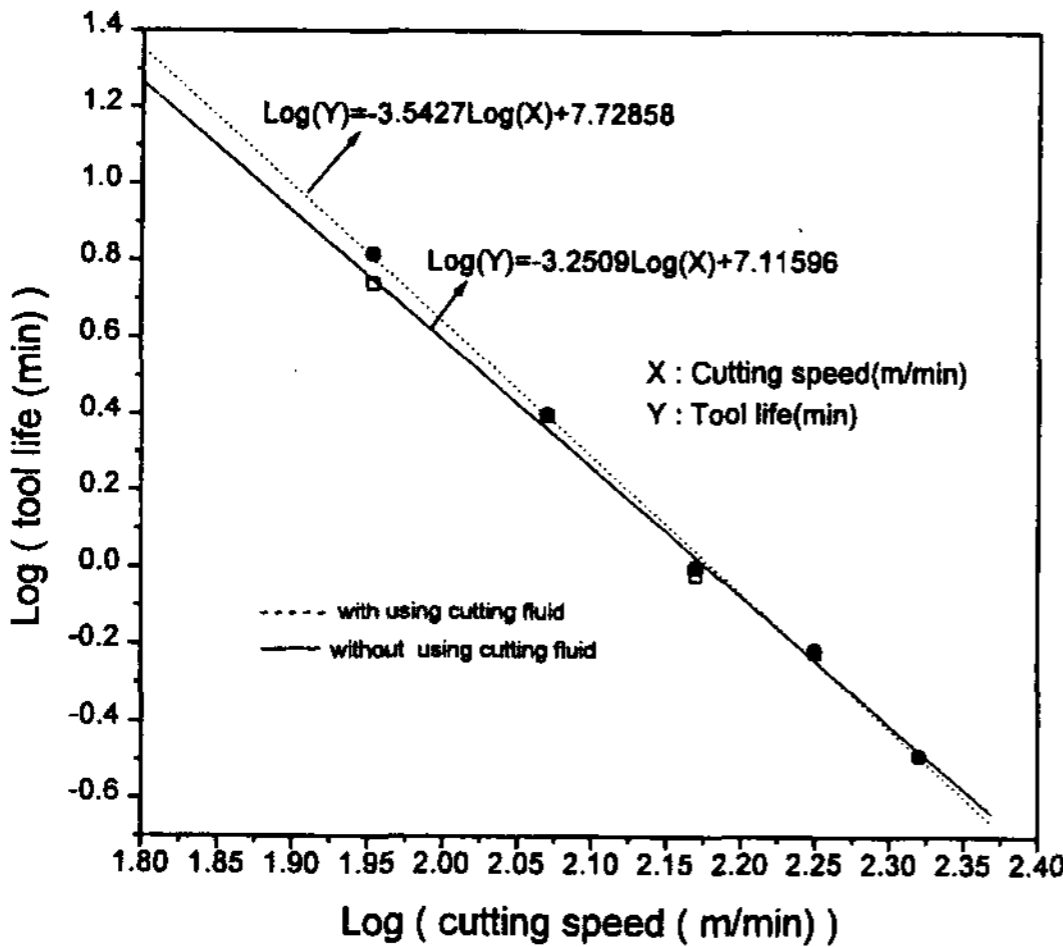


Fig. 7. Relationship between the tool life and the cutting speed (cutting tool: K20, feeding rate: 0.2 mm/rev, and cutting depth: 2 mm).

하여 절삭하였을 때에는 전식절삭시 절삭속도가 120 m/min일 경우 공구수명이 11.8분으로 P20으로 사용할 때의 0.72분보다 약 16배정도 공구수명이 향상되었다.

Fig. 7은 개량 인바형 주철(No. 6)의 선반절삭시 절삭속도에 따른 절삭공구수명의 변화를 나타낸 것이다. 측정된 Taylor 상수 n과 C는 각각 0.30, 154.47이었다. 절삭유 사용효과는 주강계 합금에 비해서도 훨

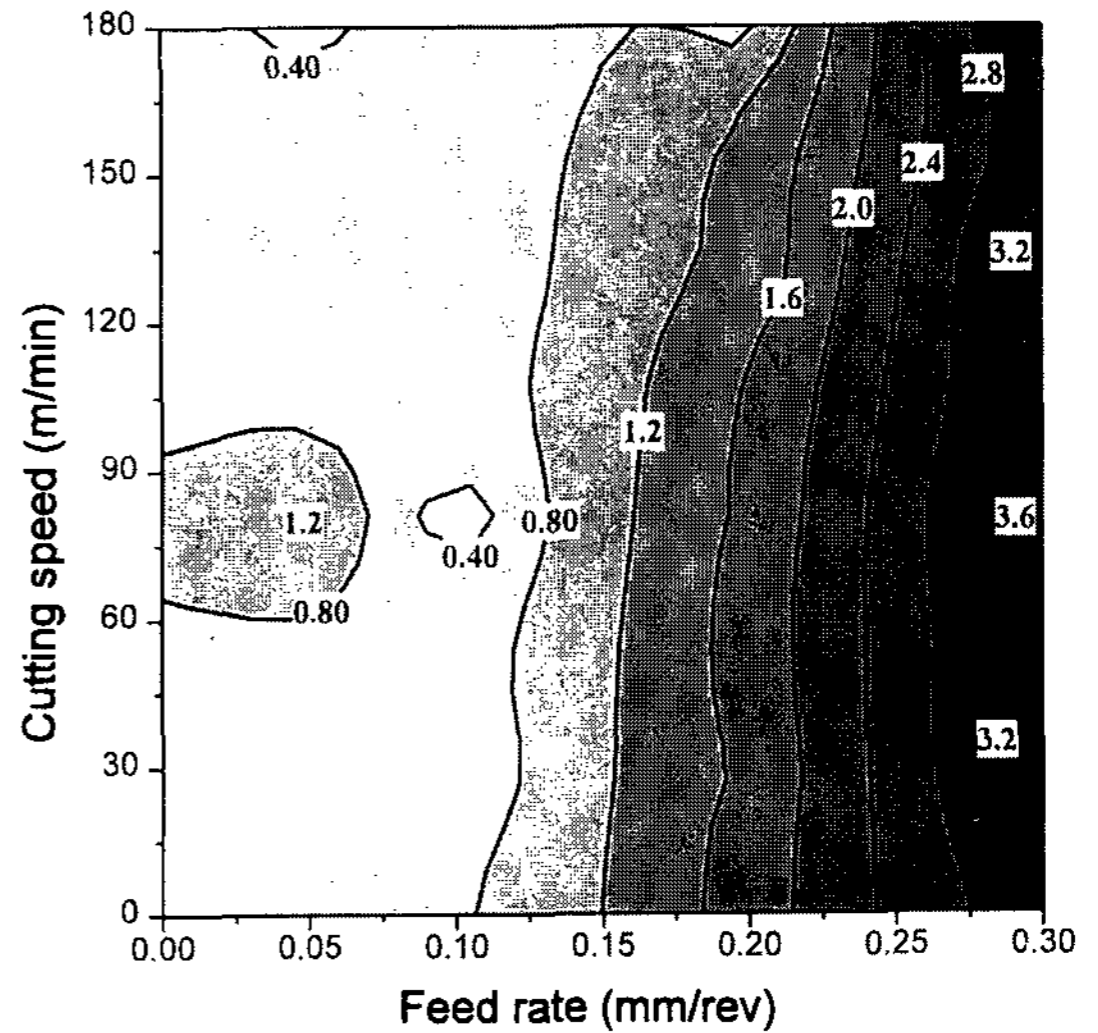


Fig. 8. Contour map of the surface roughness (Ra) (cutting tool: P20, cutting depth: 1 mm and no cutting fluid).

씬 기대할 바가 못 되었으며, 고속 절삭에서는 절삭유 사용으로 인한 공구수명의 변화가 거의 관찰되지 않았다. 코팅재종인 KT250 절삭공구를 사용시에는 동일한 절삭조건에서 절삭속도가 120 m/min 일때 공구수명이 5.38분으로 비 코팅재종인 K20으로 사용할 때의 2.51분 보다 공구수명이 약 2배 가량 증가하였다.

### 3.5 표면조도에 미치는 절삭속도와 이송속도의 영향

Fig. 8은 주강계 저열팽창 인바합금(No. 5)의 절삭시, 요구되는 표면상태를 얻기 위한 절삭조건을 선정하기 위하여 절삭속도와 이송량의 변화에 따른 표면조도( $R_a$ )의 변화를 최적화 프로그램을 활용하여 나타낸 등고선도이다. 표면조도 실측치의 최대, 최소값은 각각  $3.6 \mu\text{m}$ ,  $0.4 \mu\text{m}$ 이며 해석을 위한 요소수는 16개이다. 여기서 알 수 있는 바와같이 절삭속도의 증가에 따라서는  $R_a$  값의 변화가 거의 관찰되지 않았으며 이송량의 증가에 따라  $R_a$  값은 점차적으로 증가하였다. 이는 Photo 10의 칩의 형상에서 보듯이 일정한 이송량에서 절삭속도에 관계없이 BUE의 생성이 거의 관찰되지 않았으므로 절삭속도 증가에 의한 표면조도의 향상은 기대할수 없으며, 이송량의 증가에 의한  $R_a$  값의 증가는 식 (5)에서 나타난 바와 같이 이송량이 증가할 수록 표면조도값은 증가한다는 식 (5)의 계산 결과와 잘일치하고 있다[14].



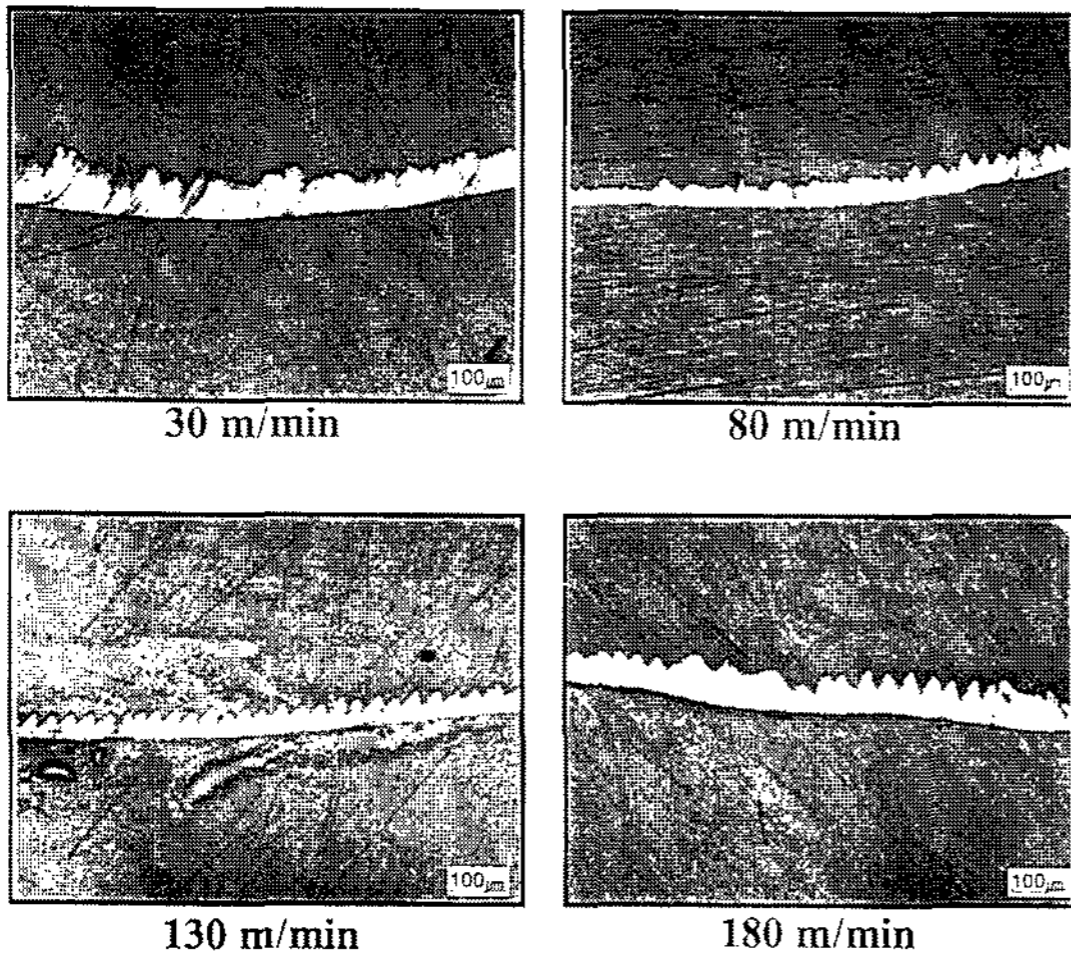


Photo. 10. Shapes of the chips of invar cast steel at various cutting speeds (cutting tool: P20, cutting depth: 1 mm, feeding rate: 0.2 mm, and no cutting fluid).

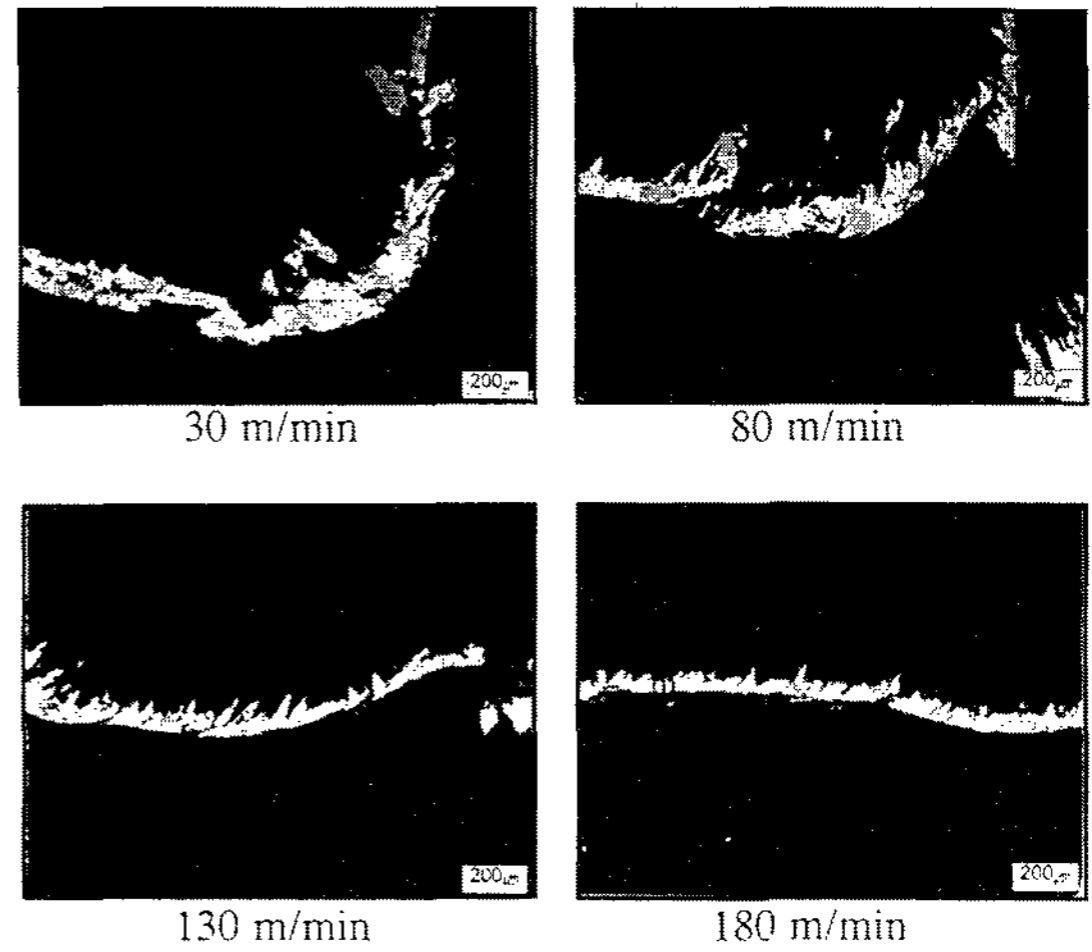


Photo. 11. Shapes of the chips of invar cast steel at various cutting speeds (cutting tool: P20, cutting depth: 1 mm, feeding rate: 0.2 mm and no cutting fluid).

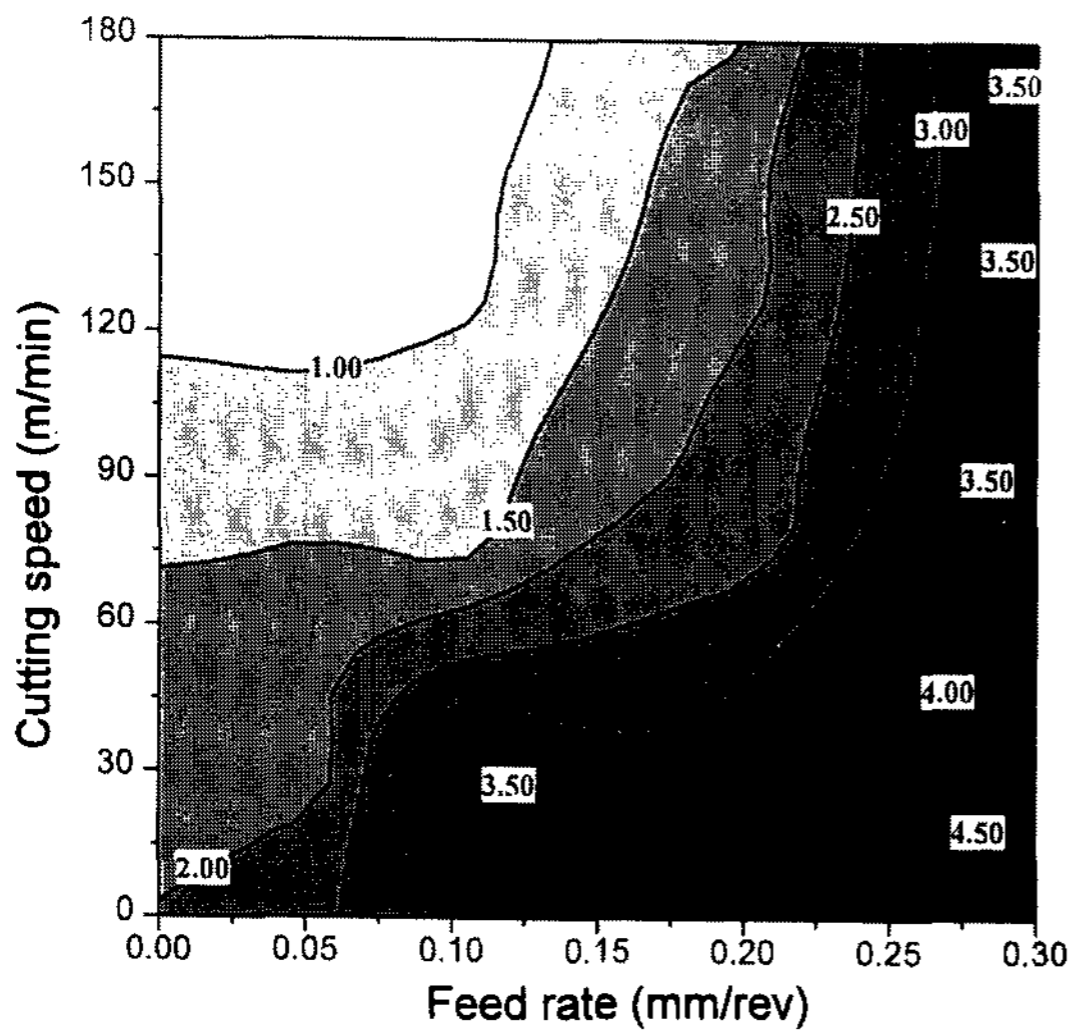


Fig. 9. Predicted contour map of the surface roughness (Ra) as a function of the cutting speed and the feeding rate. (cutting tool: K20, cutting depth: 1 mm, and no cutting fluid).

$$R_a = 32.1(S^2/R) \tag{5}$$

S : feed rate (mm)

R : tool nose radius (mm)

그러나 실제 이틀계수의 측정값은 계산값보다 높은 값을 나타내었다. 이는 절삭조건과 절삭공구의 기하학적인 형상이 표면조도에 크게 영향을 미치기는 하지만 피삭재의 금속학적인 특성 즉, 재료의 기계적성

질과 기지조직에 제2상의 존재유무등에도 영향을 받기 때문으로 생각된다. 또한 절삭시 고속으로 유출되는 칩에 의하여 모재의 긁힘 (Scuffing) 이 관찰되었으며 이러한 긁힘은 절삭유 사용으로 어느정도 방지가 가능하였다.

Fig. 9는 V 및 Mo이 첨가된 개량 인바형 주철(No. 6)의 절삭시 절삭속도와 이송량의 변화에 따른 표면조도(Ra)값을 등고선도로 나타낸 것이다. 그림에 나타난 바와 같이 절삭속도가 증가하고 이송량이 감소하는 쪽으로 표면조도(Ra)값이 감소하였다. 이송량의 감소에 의한 표면조도값의 감소는 식 (5)에 따른 결과이며 절삭속도 증가에 따른 표면조도값의 감소는 Photo 11에 나타난 칩의 형상에서 보듯이 일정한 이송량에서 절삭속도가 증가함에 따라 BUE의 정도가 감소되기 때문이다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 미하나이트주철과 인바형 주철, 개량 인바형 주철 및 주강계 인바합금의 절삭성을 공구수명시험, 표면조도시험, 절삭칩시험 등을 통하여 상대적으로 평가하였으며, 절삭속도와 공구수명과의 관계식인 Taylor식을 유도하였다. 또한 주강계 인바합금과 인바형 주철에서 절삭속도와 이송량에 따른 표면조도의 변화를 관찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻

었다.

1) 인바형 주철의 경우 주강계 인바합금에 비하여 공구수명이 매우 길었으나, Mo 및 V이 첨가된 개량 인바형 주철의 경우에는 입계와 입내에 생성된 고경도 탄화물에 의한 abrasive wear 에 의하여 공구수명이 급격히 감소하였다.

2) 절삭속도 100 m/min, 이송량 0.2 mm/rev, 절삭깊이 2 mm의 절삭조건에서 주강계 인바합금과 개량 인바형 주철의 표면조도가 매우 양호하였으며 Mo 및 V이 첨가되지 않은 인바형 주철은 낮은 기지조직의 경도와 과량의 흑연으로 인하여 표면조도가 가장 좋지 않았다.

3) 주강계 인바합금은 절삭속도가 증가하고 이송량이 감소할수록 칩의 길이가 길어졌으며, 미하나이트 주철과 인바형 주철은 이송량과 절삭속도에 관계없이 칩의 파쇄성은 아주 양호하였다.

4) 주강계 인바합금의 경우 절삭공구를 P20을 사용시 절삭속도의 변화에 따른 Taylor 식은  $VT^{0.3880} = 102.326$ 으로 측정되었으며, 절삭유를 사용시 고속절삭에는 효과가 거의없었고, 절삭속도가 낮아질 수록 절삭유 사용에 의한 공구수명 증가효과는 향상되었다. 또한 절삭공구를 KT250으로 사용할 때에는 P20으로 사용할 때보다 절삭속도 120 m/min에서 공구수명이 17배로 향상되었다.

5) 주강계 인바합금의 경우 이송량이 증가할 수록 표면조도값( $R_a$ )은 상승하였으며, 절삭속도의 변화에 따른 표면조도의 변화는 거의 관찰되지 않았다. 반면에 개량 인바형 주철의 경우 이송량이 감소하고 절삭속도가 증가할 수록 표면조도값( $R_a$ )이 감소하였다.

6) 인바형 주철의 경우 절삭공구를 K20으로 사용시 Taylor식은  $VT^{0.3076} = 154.479$ 으로 나타났고, 고속절삭에는 절삭유 사용의 효과가 거의 없었으며, 절삭속도가

낮아질 수록 절삭유 사용에 의한 공구수명 증가효과는 향상되었다. 또한 KT250으로 절삭시 절삭속도 120 m/min의 경우 공구수명이 5.38분으로 절삭공구를 K20으로 사용할 때보다 공구수명이 약 2배 정도 향상되었다.

### 참고문헌

- [1] 木夏 本新一 : 素形材, Vol. 29 (1988) 16.
- [2] 生井亨 : 鑄鍛造 と 熱處理 (1989) 21.
- [3] B. M. Moon, K. Y. Kim, Y. M. Hong, C. P. Hong : Proc. 4th Asian Foundry Congress, K Don Lakeland, Jo Mckeown, Peter Glennie (Editor), Australian Foundry Institute Queensland Division, October (1996) 176.
- [4] Thomas J. Drozda and Carles Wick : Tool and Manufacturing Engineers Handbook, Forth edition, vol 1, (1983) 1-41.
- [5] W. B. Heginbotham, P. C. Pandey : Proc. 8th M.T.D.R. conf., (1967) 163-71.
- [6] W. B. Heginbotham, P. C. Pandey : Proc. 7h M.T.D.R. conf., (1966) 515.
- [7] H. T. Angus : Cast iron, Physical and Engineering Properties, Butterworth & Co (Publisher) Ltd, (1976) 333.
- [8] 이영희 : 最新 難削材 加工技術, (株) 技術情報(1995) 12.
- [9] 李用成 : 切削 및 研削理論, 東明社 (1986) 111.
- [10] Thomas J. Drozda and Carles Wick : Tool and Manufacturing Engineers Handbook, Forth edition, vol 1, (1983) 1-23.
- [11] B. Mills and A. H. Redford : Machinability of Engineering Materials , Applied Science Publishers (1983) 28.
- [12] F. W. Taylor : Trans. A.S.M.E., 28 (1907) 31-432.
- [13] M. Kronenberg : Tool Engineer, 8(1940) 10
- [14] B. Mills and A. H. Redford : Machinability of Engineering Materials , Applied Science Publishers (1983) 23.