

ESC 공정으로 제작된 금형강의 가공특성연구

김정운* · 김봉준* · 이득우** · 문영훈†
(2001년 9월 8일 접수, 2002년 3월 18일 심사완료)

Machining Characteristics of Tool Steels Manufactured by Electro Slag Casting Process

Jung Woon Kim, Bong Joon Kim, Deug Woo Lee and Young Hoon Moon

Key Words: Electro Slag Casting(전기 슬래그 주조), Tool Steel(공구강), Chip Shape(칩형상), Turning(선삭), Drilling(드릴링)

Abstract

Machining characteristics of tool steels manufactured by electro slag casting process has been investigated in this study. For the estimation of machinability, turning and drilling tests are carried out.

The chip shapes at various velocities are investigated for the comparison of turning workabilities of tool steels because the chip shapes reflect characteristics of cutting resistance. In case of drilling test, feed motor currents measured by a hall sensor are used as a measure for the drilling resistance. The machining characteristics of the tool steels are strongly correlated with tensile properties, such as tensile strength, hardness, and ductility. In case of turning workability, it was found to be favoured by the higher tensile strength, while the opposite is true for the drilling workability. The electro-slag casted materials show better turning workability in the viewpoint of chip shapes and, the quenching-tempered electro-slag casted material has relatively better drilling machinability than that of the annealed one.

1. 서론

최근 고도의 산업발전으로 여러 분야에서 다양하고 새로운 소재가 개발되어 사용되어지고 있다. 특히, ESC(Electro Slag Casting)^(1~3)에 의해 제조된 열간금형 소재는 폐기 금형을 소모전극으로 활용함으로써 재료원가의 절감, 기존 단조재와의

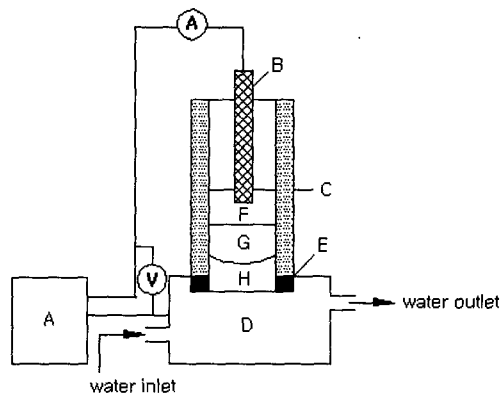
제조공정수의 감소 등과 같은 많은 잇점을 가지고 있다. 이러한 ESC공법을 이용하여 제작된 금형강의 가공성을 평가하기 위해서는 소재의 물리적·기계적인 성질, 화학성분 등이 영향을 미치므로 소재의 가공조건에 따른 칩처리성과 절삭저항을 검토해 봄으로써 가공성 파악 및 적절한 가공조건을 제시가 가능하다고 본다.^(4~7) 칩의 형태는 절삭조건, 피삭재의 종류, 공구의 기하학적인 모양에 따라 크게 변화한다. 특히 연속 칩의 경우 가공물, 공구, 작업자 등 절삭가공 시스템 전반에 큰 손상을 줄 수 있다. 자동화나 무인화된 절삭가공 시스템에서 절삭공정을 방해하는 연속칩의 제어는 절삭성의 중요한 평가기준 중의 하나이다.⁽⁸⁾

따라서 생산성에 많은 영향을 미치는 칩처리 문제를 해결하기 위해서는 피삭재의 종류에 따라

* 부산대학교 정밀기계공학과/정밀정형 금형가공 연구센터
** 회원, 부산대학교 정밀기계공학과/정밀정형 금형가공 연구센터
† 책임저자, 회원, 부산대학교 정밀정형 금형가공 연구센터,
E-mail : yhmoon@pusan.ac.kr
TEL : (051)510-2472 FAX : (051)512-1722

Table 1 Chemical composition of steels investigated

	chemical composition(wt,%)									
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	V	Al
ESC	0.51	0.24	0.92	0.012	0.005	1.95	0.96	0.47	0.12	0.008
SKT4	0.51	0.22	0.97	0.015	0.002	1.56	0.94	0.47	0.11	0.002
SKD61	0.36	1.0	0.44	0.028	0.009	-	5.3	1.3	0.98	



- A: Transformer
- B: Consumable electrode
- C: Mold
- D: Base plate
- E: Rubber
- F: Slag pool
- G: Molten metal
- H: Solidified metal

Fig. 1 Schematic diagram of experimental system

철삭조건, 공구 등을 적절히 택하여 칩형태를 조절할 필요가 있다. 또한 피삭재의 인장강도와 경도 등과 같은 기계적 물성치는 칩형성을 조절하며 특히 내마멸성은 공구의 마멸과 함께 절삭저항에 많은 영향을 미친다.

본 연구에서는 ESC 공법으로 제작된 소재와 기존의 열간단조 금형강의 기계적 성질로써 인장시험과 경도시험, 마멸시험을 실시하여 비교분석을 행하고, 이를 바탕으로 각 소재의 열처리조건에 따라 선반과 드릴링 가공을 실시하여 절삭성을 비교 평가하고자 한다.

2. 실험절차 및 방법

2.1 실험소재

본 실험에 사용된 시험편의 재질은 금형 및 공구강으로 널리 사용되는 SKD61과 열간단조 금형강인 SKT4와 SKT4를 모재로 하여 ESC법으로

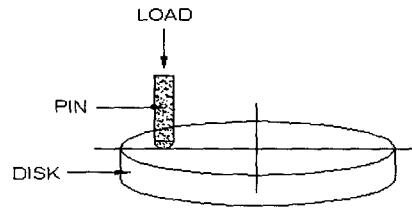


Fig. 2 Pin on disk test configuration

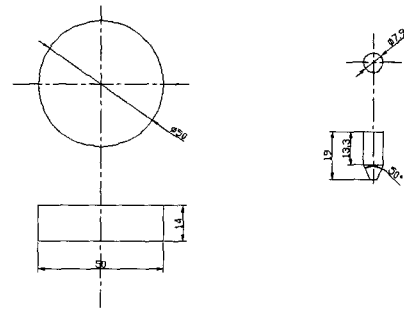


Fig. 3 Specification of pin and disk

제작된 소재(이하 ESC)로써 세 종류의 금형강으로 설정하였으며, 모든 소재는 Annealed(A: 790°C, 12hr공냉)과 Quenching-Tempered(Q-T: 870°C, 1hr유냉 + 600°C, 1hr공냉)된 열처리조건을 사용하였다. ESC 소재는 SKT4를 주 소재로 한 폐기 금형을 소모전극으로 활용하여 주조한 것으로 Fig. 1에 ESC공법에 대한 실험장치를 나타내었다. 이 장치를 통해 제작된 소재의 화학조성을 각 소재들과 함께 Table 1에 나타내었다.

2.2 기계적 물성치 평가와 마모시험

인장시험은 상온에서 Instron 장비에서 행하였으며 제작된 시험편은 ASTM A370을 참조하였다. 경도시험은 Rockwell Hardness Tester(C 스케일)를 사용하였으며 시험하중은 150 kgf로 설정하고 각 시험편에 대하여 각각 3개의 값을 얻어 평균을 취하였다. 사용된 시험편의 시험면 및 배면

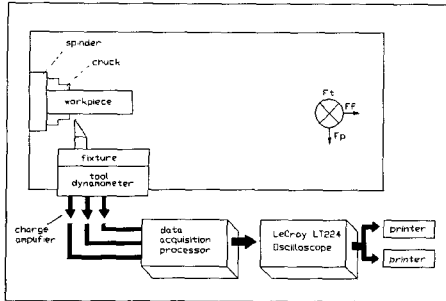


Fig. 4 Diagram of measuring system for turning workability

은 서로 평행하게 원통형으로 가공하였으며 표면은 carborundum paper 및 연마포로 연마하였다.

마멸시험은 핀과 디스크사이의 접촉면적이 비교적 일정한 핀과 디스크(PIN ON DISK)방식을 채택하였다(Fig. 2). 시편의 규격은 Fig. 3과 같으며 시험하중은 200N으로 설정하고 5시간동안 시험을 행하였다. 마멸량의 측정은 실험 전 핀의 무게를 미리 전자저울을 이용하여 측정하고, 실험 후 초음파 세척하여 불순물을 제거한 후에 무게를 전자저울로 측정하였다.

2.3 선반가공과 드릴링가공

선반가공은 절삭력을 측정하기 위해 선반용 공구동력계를 공구대 위에 설치하였고(Fig. 4) 또한 실험에 사용된 공구는 TiN 코팅된 초경공구를 사용하였다. 시편의 크기는 $\varnothing 10\text{mm}$, 길이 100 mm로 설정하였으며 절삭 중 가공물의 표면에 발생하는 가공경화를 고려하여 절입깊이를 0.05 mm로 3회 절삭 후 Table 2와 같이 세 조건에서 건식 절삭하였다. 또한 칩처리성을 측정하기 위해 각 조건에 따라 절삭한 칩을 수거하여 ISO3685의 칩분류⁽⁹⁾에 따라 Fig. 5와 같이 실험에서 주로 발생한 5종으로 설정하여 분석하였다.

드릴링 가공은 직경 5mm의 초경드릴을 사용하여 절삭력의 분포를 측정하기 위해 이송모터의 전류신호에 대한 전류 데이터의 표준편차를 비교하였다. 시편은 두께 150mm로 가공하였고 절삭 조건은 Table 2와 같이 설정하였으며 사용된 실험장치를 Fig. 6에 나타내었다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 가공 소재의 기계적 특성

Table 2 Cutting conditions for the turning and drilling test

condition	turning			drilling
	1st	2nd	3rd	
cutting speed (m/min)	37.7	37.7	6.28	30
feed (mm/rev)	0.102	0.051	0.102	0.32
depth of cut (mm)	0.5			0.3

classification	chip type	chip form	remarks
1 type	continuous, constant, irregular chips		bad
2 type	short continuous chips		preferred acceptable
3 type	short chips		
4 type	arc chips		
5 type	elemental chips		

Fig. 5 Classification of the chip types

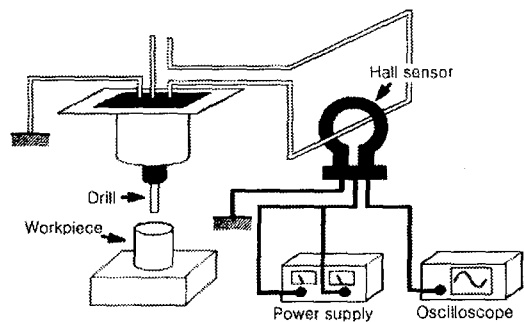


Fig. 6 Schematic diagram for the drilling test

상온에서의 인장 시험치를 Fig. 7에 나타내었다. Q-T 조건에서의 인장강도 값은 소재별로 큰 차이가 나타나지 않았으나 Annealed 조건에서는 ESC가 가장 높았으며 SKD61은 ESC와 SKT4에 비해 큰 폭으로 낮은 인장강도 값을 나타내었다. 이러한 결과는 Fig. 8에 나타낸 경도 값의 경향과 유

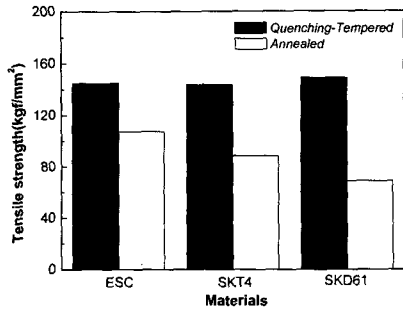


Fig. 7 Comparison of tensile strength at room temperature

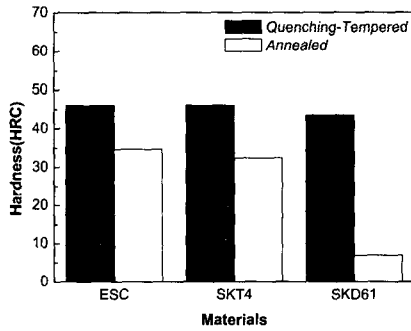


Fig. 8 Hardness value measured at room temperature

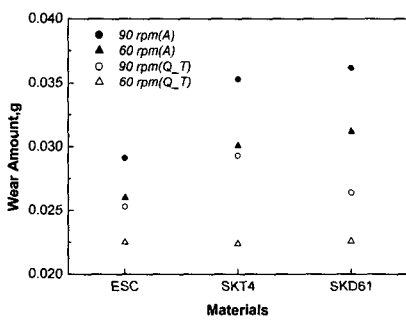


Fig. 9 The difference of the wear amount with increasing velocity

사한 경향을 나타내었다. 각 소재별로 열처리 조건에 따른 마멸량의 차이를 Fig. 9에 나타내었다. Q-T 조건에서는 소재들이 Annealed 조건에 비해 마멸량이 작았고, SKD61이 다른 소재들에 비해 마멸량이 크게 나타났다. 또 편이 부착된 마운트의 회전속도를 60rpm에서 90rpm으로 올리면 전

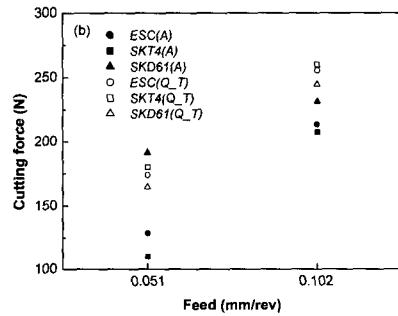
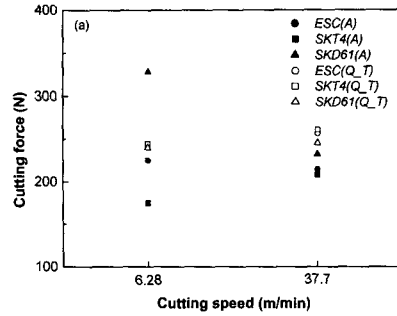


Fig. 10 Variation of the cutting force with (a)cutting speed, (b) feed rate

체적으로 마멸량은 증가하는데, ESC의 경우, 그 증가치가 다른 두 소재와 비교하여 작았다. SKD61은 세 소재 중 회전속도 변화에 따른 마멸 변화량이 가장 크게 나타났는데 그것은 낮은 인장강도 값과 경도 값에 상응한다고 볼 수 있다. 결과적으로 ESC가 SKT4, SKD61에 비해 상대적으로 인장과 경도가 높기 때문에 내마멸성이 훨씬 우수하다고 판단된다.

3.2 선반가공

3.2.1 절삭저항

측정한 3개의 절삭력 중에서 가장 중요한 주분력을 대상으로 Fig. 10에 각 조건별로 절삭력을 비교하였다. 그림 (a)는 절삭속도의 변화에 따른 절삭저항을 나타낸다. 절삭속도가 클수록 Annealed 조건에서는 SKT4를 제외하면 절삭력이 작아지는 경향을 보였으나 Q-T 조건에서는 차이가 나지 않았다. Annealed 조건에서 SKD61의 절삭력이 가장 높게 측정되었으며 ESC는 SKT4보다

높은 절삭력을 가졌다. Q-T 처리된 조건에서는 SKT4의 절삭력이 가장 크게 나타났으며 절삭속도가 6.28 m/min 와 37.7m/min 일 때 모두 ESC의 평균 절삭력의 차이는 각각 2N, 5N만큼 SKT4에 비해 작은 값을 가졌다. 따라서 그림에서 보는 바와 같이 같은 절삭면적의 조건 하에서 열처리 조건에 따라서는 다른 경향을 나타내고 있다. 그림 (b)는 이송량의 변화에 따른 소재의 절삭저항을 나타내고 있다. 이송량이 클수록 절삭력은 증가하였으며 ESC의 평균 절삭력의 차이가 Annealed 조건에서는 SKT4에 비해 각각 18N와 6N만큼 큰 절삭 저항값을 가졌으나 Q-T 조건에서는 각각 6N와 4.5N의 차이를 가지며 작은 절삭저항을 나타내었다. 또한 이송량의 변화에서 SKD61은 Annealed 조건에서 가장 큰 절삭저항 값을 나타내었지만 Q-T 조건에서는 ESC와 SKT4에 비해 가장 낮은 절삭저항 값을 나타내었다.

3.2.2 칩처리성

선반가공 후 발생된 칩을 앞서 Fig. 5에서 언급한 ISO3685의 칩분류 중 5종에 따라 형태를 분류하였다. 먼저 칩형태에 대해 간략히 설명해 보면, 1번 형태는 공구나 공작물에 영커 작업자에게 위험하고 공작기계, 공구, 가공물에 손상을 주는 연속형 칩이며, 2~4번 형태는 칩처리성이 양호한

칩이고, 5번 형태는 너무 짧거나 단단하여 비산 시 작업자나 공작기계의 운동부에 영향을 주고 가공물이나 공구에도 손상을 주는 칩이다. 가공 후 열처리조건에 따른 각 소재의 칩형상을 Fig. 11과 12에 나타내었다. 그림에서 절삭속도를 6.28, 37.7m/min로 증가시켜 볼 때, 칩의 형태는 절삭속도의 증가에 따라 짧은 파단형에서 연속형으로 변화를 보이고 있다. Annealed 조건에서 Fig. 11(a)~(c)의 6.28m/min구간에서는 ESC가 짧은 연속 칩과 짧은 칩을 발생시킴으로써 절삭성이 가장 우수한 반면에 SKT4는 짧은 칩, 아크형 칩과 함께 가공 중 공작기계나 소재, 작업자에게 영향을 줄 수 있는 입자형 칩을 발생시켜 가공성이 나쁜 것으로 나타났다. SKD61의 경우는 거의 입자형 칩만을 배출해서 세 소재 중 칩처리성이 가장 나쁜 것으로 관찰되었다. Fig. 11(d)~(f)의 37.7m/min구간에서는 ESC와 SKD 61은 비슷하게 짧은 연속칩을 배출하여 가공성이 우수하지만, SKT4의 경우 불규칙적인 연속칩을 발생시킴으로써 가공성이 좋지 않음을 나타낸다. Q-T 조건에서 Fig. 12(a)~(c)의 6.28m/min구간에서는 ESC가 Annealed 조건의 경우보다는 다소 길지만 동일하게 짧은 연속 칩과 아크형 칩을 발생시켜 가공성이 양호함을 보인다. SKT4의 경우는 길고 일정

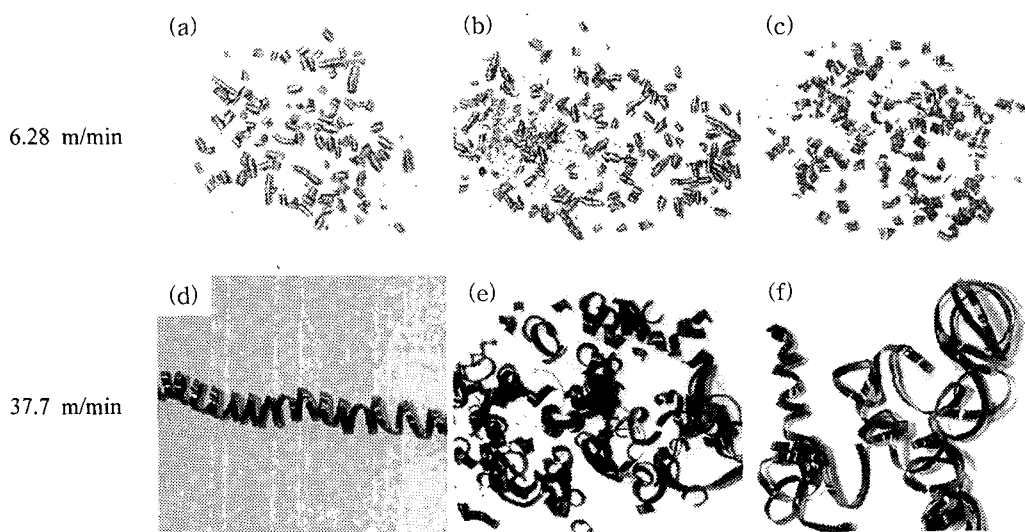


Fig. 11 Variation of the chip type with cutting speed in Annealed (a),(d)ESC and (b),(e)SKT4 and (c),(f)SKD61

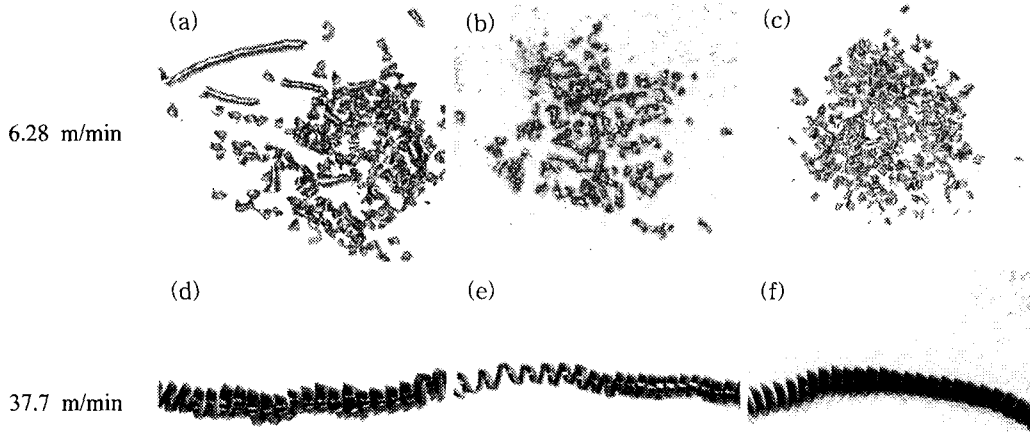


Fig. 12 Variation of the chip type with cutting speed in Quenching-Tempered (a),(d)ESC and (b),(e)SKT4 and (c),(f)SKD61

한 연속 칩을 배출하였고 SKD61은 Annealed 조건의 경우와 Q-T 조건의 경우가 거의 차이가 없이 입자형 칩을 발생시켰다. 이러한 입자형 칩은 가공시 튀어나갈 경우 공작기계 및 가공면에 좋지 않은 영향을 미칠 수 있다. Fig. 12(d)~(f)의 37.7m/min구간에서는 세 소재 모두 일정한 연속 칩을 발생시켜 선반 가공에는 적합하지 않는 것으로 나타났다. 이러한 결과로부터 선반가공은 피삭재의 열처리조건과 절삭속도가 칩형태 변화에 영향을 미친다는 사실을 보여주고 있다. 전체적으로 ESC가 SKT4, SKD 61에 비해 양호한 칩을 가장 많이 발생시켜 칩처리성이 가장 우수한 것으로 나타났다. 특히 열처리된 금형 소재의 선반 가공성은 적합하지 않은 것으로 나타났다. 이러한 ESC의 우수한 선반가공성은 Annealed 조건에서의 인장강도 값과 경도 값에 기인한 것으로 추측되며 내마멸성에 비례하는 것으로 나타났다.

3.3 드릴링 가공

절삭력의 표준편차는 자료의 분포상태를 나타내는 방법 중 많이 이용되는 방법으로 평균값이 측정 데이터의 크기를 나타내는데 비하여 데이터의 변동성을 나타내는 데는 표준편차 값을 사용한다. Fig. 13에서 Idling은 드릴 가공에서 가공을 하지 않고 모터를 회전시켰을 때의 전류 표준편차를 나타낸다. 일반적으로 전류 표준편차가

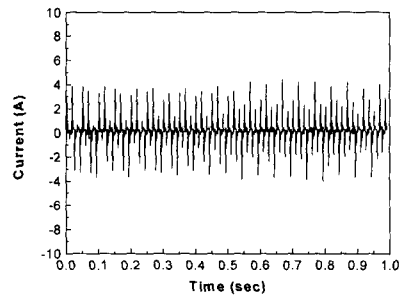


Fig. 13 Idling graph for the time

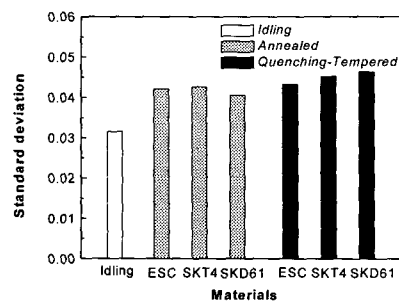


Fig. 14 Comparison of standard deviation with time

클수록 절삭력의 분포가 크기 때문에 공구의 마멸을 더 많이 발생시킨다. 반면에 표준편차가 작으면 절삭력이 고르게 분포된 것을 의미하기 때문에 절삭력 분포가 작을수록 절삭성이 우수하다

고 볼 수 있다. Fig. 14에 각 소재별 표준편차 값을 나타내었다. Annealed 조건에서는 SKD61이 가장 작은 절삭력 분포를 가지며 ESC는 SKT4보다 더 큰 표준편차를 나타내었다. Q-T 조건에서 ESC는 모재인 SKT4와 절삭력의 차이가 크지 않으며 가공성이 비슷할 것으로 예측된다.

4. 결 론

본 실험은 열간단조 금형강에 대하여 선반가공과 드릴링 가공을 실시한 후 가공 중 발생하는 칩형태를 분류하고 절삭성을 측정하여 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

(1) 선반가공 후 절삭저항은 Annealed 조건에서 작은 인장강도 값과 경도 값을 가지는 SKD61의 절삭력이 가장 높았고 그 다음 ESC, SKT4 순으로 나타났으며 반면에 Q-T 조건에서는 내마멸성이 우수한 ESC가 모재인 SKT4보다 절삭력이 작은 것으로 나타났다.

(2) 절삭속도의 변화에서는 절삭속도가 클수록 Annealed 조건에서는 절삭력이 작아지는 경향을 보였으나 Q-T 조건에서는 거의 차이가 없는 것으로 확인되었다.

(3) 칩처리성은 Annealed 조건이 Q-T 조건보다 처리가 용이한 짧은 파단형 칩을 생성하였다. 소재별로는 ESC가 가장 우수하였으며 절삭속도 37.7m/min에서는 모두 연속형 칩이 발생되었다.

(4) 절삭저항의 표준편차 측면에서 볼때 ESC가 SKT4와 SKD61에 비해 상대적으로 드릴링 가공성이 열위한 것으로 판단된다.

참고문헌

(1) Paton, B. E., Medovar, B. I. and Boiko, G. A.,

1981, *Electroslag Casting*, Kiev, Naukova Dumka Publ.

(2) Baligheid, R. G., Prakash, U. and Krishna, A. R., 1998, "Effect of Carbon Addition on Structure and Mechanical Properties of Electro Slag Remelted Fe-20wt.% Al Alloy," *Material Science and Engineering A249*, pp. 97~102.

(3) Kim, C. Y., Kang, C. S., 1982, "A Study on the Melting Parameter in Electro Slag Casting Process," *Journal of the Korean Institute of Metals*, Vol. 20, No. 12, Dec.

(4) Chae, W. S., Kim, K. W. and Kim, D. H., 1997, "Turning and Metallic Characterization for CAM Shaft Materials of Diessel Engine," *JKSPE*, Vol. 14, No. 7.

(5) 허성중, 1997, "난삭재의 초정밀·고능률 연삭가공을 위한 다이아몬드숫돌의 개발," 대한기계학회논문집 A, 제21권, 12호, pp. 2172~2178.

(6) 백대균, 고태조, 김희술, 1996, "표면조도 모델을 이용한 정면밀링에서의 최적 이송속도 선정," 대한기계학회논문집 A, 제20권, 8호, pp. 2508~2515.

(7) 김남훈, 이용성, 1996, "SM45C와 SCM440의 피삭성 검토에 관한 연구," 대한기계학회논문집 A, 제20권, 12호, pp.3899~3908.

(8) Sim, G. J., Cheong, C. Y., Oh, S. H. and Seo, N. S., 1995, "A Study on the Classification and Prediction of the Chip Type under the Specified Cutting Conditions in Turning," *JKSPE*, Vol. 12, No. 8.

(9) Fei, J. and Jawahir, I. S., 1994, "A New Approach for Chip-Form Characterization in Metal Machining," *Processing of the First S. M. WU Symposium on Manufacturing Science*, pp. 11~17.