

## 와이어 컷 방전가공 시 프레스금형 수명 향상에 대한 고찰

윤재웅  
오피에스잉거솔코리아

### A Study for the Improvement of the Life Cycle of Press Die using Wire Cut Discharge Machining

Jae-Woong Yun  
OPS-INGERSOLL KOREA

**요약** 프레스금형 제작 시 사용목적에 맞는 적합한 소재선택과 빠른 가공방법에 대한 연구는 금형제작시간을 줄이고 금형 원가를 절감하는데 절대적으로 필요한 연구분야이다. 특히 장수명 프레스금형을 개발하기 위해선 열에 대한 고찰이 반드시 이루어져야 한다. 일반적으로 프레스금형의 주요부품 소재로는 Cr, W계 저합금 공구강, 고탄소 고크롬강, 고속도강 등 냉간 금형용 합금공구강이 많이 쓰이고 있다. 프레스금형부품을 가공하는 데는 주로 공작기계와 와이어 컷 방전가공을 사용하고 있다. 가공공정에 따라 금형부품의 가공시간 및 수명이 많은 차이가 난다. 밀링가공과 연삭가공으로 제작된 부품의 경우 제작 시간과 비용은 많이 드는데 비해 금형의 수명이 길고 밀링가공과 와이어 컷 방전가공을 사용하면 제작시간과 비용은 절감되는 반면 금형수명은 줄어드는 현상이 나타난다. 따라서 본 연구에선 가공시간과 비용이 절감되는 가공방법으로 열처리를 사용하여 금형의 사용수명을 향상시키는 방법에 대해 고찰하고자 한다. 밀링가공-연삭가공, 밀링가공-와이어 컷 방전가공, 밀링가공-와이어 컷-고온템퍼링, 3가지 가공방법으로 시편을 제작하여 가공표면과 중심부를 SEM, EDS분석 및 표면조도분석으로 문제점을 고찰하였고 밀링가공-와이어 컷 방전가공-고온템퍼링의 가공방법으로 밀링가공-연삭가공과 동일한 금형의 수명을 만드는 방법을 도출하였다.

**Abstract** Research into the selection of suitable materials and the development of fast processing methods for press die manufacturing is absolutely necessary to reduce the production time and cost. In particular, knowledge of its heat properties must be considered when developing a long press die. Generally, as the main component materials of press dies, Cr, W low alloy tool steel, high carbon-high chrome steel, high speed steel, etc., are used as the tooling steel for the cold die. Machine tools and wire-cut electric discharge machining are mainly used for processing the press die parts. There are many differences in the machining time and life cycle of die parts depending on the machining process. The parts produced by milling and grinding have a high manufacturing time and cost with a long life cycle, while those made by milling and wire-cut discharge machining have a reduced manufacturing time and cost, whereas their die life cycle is reduced. Therefore, in this study, we will discuss a method of improving the life cycle of the die parts by using heat treatment as a processing method that reduces the manufacturing time and cost. SEM, EDS analysis and the surface roughness analysis of the surface and center of the workpiece are used for analyzing the specimens produced by three machining methods, viz. milling - grinding, milling - wire cut discharge, and milling - wire cut discharge - heat treatment. A method of making die parts having the same life cycle as those produced by milling - grinding is developed with the milling - wire cut discharge - high temperature tempering method.

**Keywords** : Die life, EDS, Heat treatment, Press Die, W-EDM

---

\*Corresponding Author : Jae-Woong Yun(OPS-INGERSOLL KOREA)

Tel: +82-10-8238-1109 email: yun@ops-ingersoll.co.kr

Received August 21, 2017

Revised September 13, 2017

Accepted September 15, 2017

Published September 30, 2017

## 1. 서론

### 1.1 서론

냉간 금형용 합금공구강은 주로 각종 다이스, 펀치, 롤 제작용으로 사용된다. 세부적으로는 Cr, W계 저합금 공구강으로는 STS2, STS3이고, 고탄소 고크롬강으로는 STD1, STD11, STD12, 고속도강으로는 SKH2, SKH51 등이 많이 사용된다. 이중에 고탄소 고크롬강인 STD11은 프레스 금형의 펀치 다이로 많이 사용된다. 고탄소 고크롬강(STD11)은 경화능이 매우 우수하고 보통 풀립 상태로 공급된다. STD11의 담금질 경도는 STD11의 경우, 100mm 각재 중심의 경우 HRC 60~61, 표면은 HRC 61~62 정도이다.[1]

와이어 컷 방전(W-EDM)가공은 지름이  $\Phi 0.02\sim 0.3\text{mm}$ 의 가는 금속선 전극을 사용하여 NC로 필요한 형상을 가공하는 장치이다. 가공액은 물을 사용하며 취급이 쉽고 화재 위험이 적으며 와이어의 냉각성이 좋고 가공 칩의 배출이 용이하다. 전극용 와이어의 재질은 Cu, Bs, W 등이 사용되고, 새로운 와이어 전극이 계속적으로 공급되기 때문에 공작물의 가공면이 깨끗하다. 와이어 컷 방전가공기의 용도는 프레스금형 부품제작, 시삭 부품의 제작, 방전가공용 전극의 가공에 주로 사용된다. 와이어 컷 방전가공은 전기가 통할 수 있으면 어떠한 재료도 변형 없이 가공이 가능하고, NC기술의 도입으로 무인 운전의 가능해져서 수요가 확산되고 있다. 와이어 공작물 사이의 갭 형상에 대한 연구[2], 가공특성과 가공조건[3], 가공속도, 최적제어에 관한 연구[4], 다중 컷의 표면특성[5], 전극선의 파손과 기계적인 강도분석[6], 방전가공 후 공구 표면 손상 층 깊이 추정방법[7], 표면 크랙형성과 EDM변수에 관한 연구[8] 등에 대한 다양한 연구가 진행되어 왔다.

## 2. 본론

### 2.1 필요성

프레스금형에서 부품으로 가장 중요시 사용되는 펀치와 다이를 제작하는 방법은, 첫번째로 선반가공→밀링가공→성형연삭가공→구멍가공→사상가공과 조립 등 공작기계만을 사용한 절삭가공→연삭가공에 의한 방법이 있으며, 두번째로는 공작기계와 와이어 컷 방전가공기를

사용하여 금형부품을 가공 제작하는 방법이 있다. 최근에는 와이어 컷 방전가공기의 확산 보급으로 공작기계에 의한 것 보다는 공작기계와 와이어 컷 방전가공기를 같이 사용한 금형제작을 많이 하고 있는데, 이 중 와이어 컷 방전가공에 의한 금형 부품가공에서 다음과 같은 문제점이 발생 하였다. 첫 번째의 문제점은, 블랭킹용 펀치와 다이를 제작할 때 선반가공→밀링가공→연삭가공으로 제작 하였더니 금형수명(die life)이 200만~220만 스트로크 이었으나 와이어 컷 방전가공에 의한 제작에서는 90만~100만 스트로크에서 금형수명이 끝나, 수리보수하거나 다시제작을 하게 되어 납기 지연, 금형비 과다, 제조원가 상승, 유저의 하자(瑕疪) 제거 등의 문제점이 발생되고 있다. 두 번째의 문제점은, 가공제품의 정밀도 결여 이다. 고정밀을 요구하는 제품에서 가공면 조도는 중심선 표면 거칠기  $Ra 10\mu\text{m}$ , 최대 표면 거칠기  $R_{\text{max}} 20\mu\text{m}$  (평균조도  $Ra 5\mu\text{m}\sim R_{\text{max}} 16\mu\text{m}$ )이므로 후 가공을 하여야 한다.

따라서 이러한 현상은 와이어 컷 방전가공 과정에서 발생하는 문제점으로 판단되므로 이에 대한 원인을 고찰하고 대책을 연구 개발하여 금형 부품을 가공할 때 기계가공에 의한 제작보다 방전가공에 의한 제작이 금형수명을 길게 하거나 또는 더 연장할 수 있도록 하기 위하여 개발의 필요성을 가진다.

### 2.2 실험장치 및 측정방법

#### 2.2.1 실험 연구내용

프레스 금형의 펀치와 다이의 수명을 연장하려면 열처리방법에서 잔류오스테나이트와 잔류응력이 없어야 하고, 경도가 높으며 인성과 내마모성이 양호하여야 한다. 담금질처리에 의하여 발생된 잔류응력은 일반적으로 템퍼링처리에 의하여 제거하는데 템퍼링온도가 높을수록 잔류응력이 잘 해소 되지만 너무 고온 일 때는 경도가 떨어져 금형강으로서의 기능을 상실한다는 보고도 있었다. 따라서 소재를 열처리 한 후 와이어 컷 방전가공을 하면 열에 의한 가공변질층이 생성되는데 이의 해소방법을 고찰하는 것을 연구내용으로 하였다.

#### 2.2.2 실험 및 측정장비

실험에서 사용한 와이어 컷 방전 가공기는 두산인프라코어의 EZ60FS이고, 와이어 전극은 직경 0.25mm 황동선 2종이다. 시편의 표면은 썬텍(주) 산업용 카메라로

100배 확대하여 조사하였다. 금형의 표면조직은 JEOL사의 모델 JSM 5410 주사 전자 현미경(SEM)을 이용하여 1000배로 확대하여 관찰하였고 운전 전압은 20kV로 하였다.

### 2.2.3 시편제작

시편의 평면연삭은 유일연삭기의 평면연삭기 YGS-52A를 사용하였으며, 연삭 스톨은 제일연마공업(주)의 WA36H를 사용하였다. 시편의 크기는 8mm×8mm×12mm로 밀링가공하고 평면 연삭하여 제작하였다. 위와 같이 제작된 시편을 STD11의 열처리조건에 따라서 650℃로 1시간, 850℃로 2시간, 1030℃로 2시간 30분간 퀴칭을 하였다. 이후에 -160℃로 3시간씩 2회 심냉(sub-zero)처리를 하였다. 시편을 꺼내어 전기로에 넣고 510℃로 2시간, 490℃로 2시간 고온템퍼링을 하여 열처리를 완료하였다. 가공변질층 생성여부를 확인하기 위하여 합금공구강(STD11)으로 열처리된 시편을 평면연삭, 와이어 컷 방전가공을 이용하여 다음과 같이 a, b, c의 세 가지 타입으로 제작하였다.

a타입은 열처리된 시편의 높이 12mm를 10mm로 평면연삭을 해서 가공하였고 b타입은 열처리된 시편의 높이 12mm를 10mm로 와이어 컷 방전가공으로 가공하였으며 c타입은 b 타입 시편을 510℃에서 고온 템퍼링을 2시간씩 3회 실시하여 가공하였다.

시편 b와 같은 방법으로 제작한 펀치와 다이의 수명은 전술한 바와 같이 90만 ~ 100만 스트로크이고 시편 a와 같은 방법으로 열처리 한 후 공작기계만을 사용한 펀치와 다이의 수명은 200만 ~ 220만 스트로크였다.

그래서 시편 b와 시편 c의 가공변질층에 대한 관찰을 위하여 전자현미경(SEM)을 이용하여 1000배로 촬영하였다. 그리고 시편 a, b, c에 대한 화학성분도 비교분석하기로 하였다.

### 2.2.4 측정방법

실험에 사용한 측정 장치는 영국 Taylor Hobson사의 Talysurf Series 2를 이용하여 가공면의 표면형상을 측정 한 값을 Table1에 나타내었다. 측정방법은 traverse unit에 부착되어 있는 pick-up으로 가공된 시편의 정보를 읽어 들어 컴퓨터에서 표면형상을 보여준다. 시편의 측정은 축 방향과 이송방향 양끝 단을 각각 2mm씩 제외하고 이송방향으로 100 $\mu$ m간격으로 총 41단계로 축 방향을 측정하였다.

### 2.2.5 연구개발 방법

와이어 컷 방전가공면의 표면부와 내부의 중심부의 조직을 SEM으로 고찰하여 문제점을 도출시키기 위하여, 시험편을 제작하여 방전가공을 수행하고, 가공단면(加工斷面)을 전자현미경(SEM)으로 1000배 확대하여 방전가공후의 잔류응력 발생 유무를 가공품의 시험편별로 고찰하여 확인하고 문제점으로 도출시켜 해결방법을 연구 개발 하였다. 와이어 컷 방전가공은 열적 가공법이고 가공 후에 발생하는 재질적 변화는 열적요인에 의한 것으로 판단되므로 가공면의 상면(上面) 부위를 고찰하여 가공변질층을 고찰하고 문제점으로 도출시켜 해결 방법을 연구 개발 하였다.

와이어 컷 방전가공에서 금형재질에 미치는 영향에 대한 문제점을 도출시키기 위하여, 금형용 재료로 많이 사용되는 STD11의 기계적 성질이 와이어 컷 방전가공할 때 나타나는 현상에 대하여 고찰하였다. 방전가공시의 용융전이 부위에 용접부위에서와 같이 용융 잔류부나 백선조직 등 용융잔류층 및 열변질층이 존재 하므로 이의 제거방법에 대하여 연구 개발 하였다.

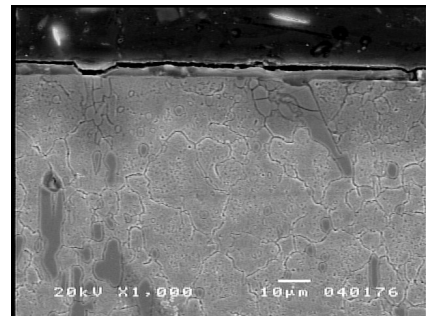
와이어 컷 방전가공과 열처리의 관계를 연계시켜 조사 분석하기 위하여, 금형수명의 연장과 단축에 가장 큰 영향을 주는 인자가 열처리 작업이다. 열처리 작업에서 담금질과 템퍼링 작업 사이클의 적합한 방법을 연구하여 열처리 작업 사이클을 개발 하였다. 특히, 열처리작업 중 템퍼링은 금형재의 인성을 부여하는 역할을 하므로 시편별 와이어 컷 방전가공 전에 실시하는 담금질에 이은 저온템퍼링 또는 고온템퍼링의 영향에 대한 비교 검토와 우수한 템퍼링 작업 사이클을 연구 개발하였다.

## 3. 고찰

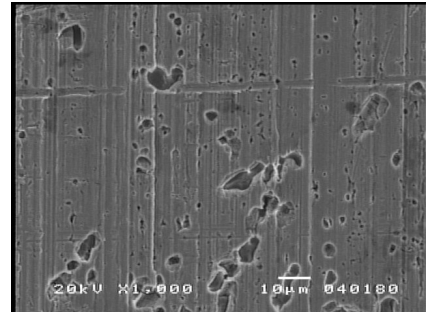
### 3.1 SEM 촬영 및 고찰

시편 a, b, c에 관한 SEM 촬영 사진은 Fig. 1, Fig. 2, Fig. 3 과 같다. 시편 a의 SEM사진 (Fig 1)의 표면단면부에서는 가공변질층이 거의 없으며 단면부의 금속조직도 마르텐사이트화 되어 있고 평면연삭기로 연삭을 하면서 떨어져 나간 부분이 관찰 되는데 이는 가공전 미세조직에 분포되어있던 Cr 탄화물이 연삭을 하면서 떨어져 나가면서 발생된 것으로 사료된다. a타입의 단면부에서도 알 수 있듯이 5 $\mu$ m가 기계가공시 탄화물 입자의 탈락

에 의한 것임을 알 수 있었다. 반면, 시편 b의 SEM사진 (Fig 2)의 표면부에서는 열변질층이 확연하게 생성되었으며 사진에서 보이는 어두운 부분의 깊이는 20 $\mu$ m이상 되고 가공변질층이 발생되었다. 가공변질층에서 크랙발생이 관찰되는데 이는 소재의 급열과 급랭에 의해 발생한 마르텐사이트 변태와 관련된 것으로 사료된다. 기타 용융잔류층, 탄소물질부착과 가공 등이 존재하고 있었다. 단면중심부의 금속조직도 치밀하지 않아 조직이 나쁘게 나타났다. EDS 검사결과 Fe는 81.11%, Cr은 12.88%로 측정되었고 a타입과 다른 점은 Cu성분이 4.60% 검출 되었다는 것이다. 이것은 와이어 컷 방전 가공을 하면서 공구인 구리선이 용융되면서 원소재 표면에 불규칙적으로 용착된 결과로서 나타난 것이다. 시편 c의 SEM사진 (Fig. 3)의 표면단면부에는 시편 b (Fig. 2)에 생성된 열변질층이 해소되어 있음을 확인 할 수 있었으며 표면의 급열 급랭된 조직을 고온 템퍼링을 실시함으로써 템퍼드 마르텐사이트 조직으로 안정화 되었다. EDS검사결과 Fe는 79.82%, Cr은 13.82%로 측정되었고 b타입과 마찬가지로 Cu성분이 4.22%정도 검출되었다. Cr의 함량이 a타입과 c타입은 13.65, 13.82%로 검출되었고 b타입에서는 12.88%로 검출되었다. Fig. 2의 경우 W-EDM 진행시 급열급냉된 가공면은 열적작용에 의하여 모재의 조직과는 전혀 다른 가공변질층이 생성하여 경도, 인성, 내마모성, 내피로성 등이 결여 되었고, 잔류 오스테나이트 조직으로 되어 전술한 문제점의 원인으로 확인 할 수 있게 되었다. 그래서 시편 a (Fig. 1)의 경우 금형수명은 200만 - 220만 스트로크였으나 시편 b (Fig. 2)의 경우는 90만 - 100만 스트로크로 나타났던 것으로 판단된다. 시편 c (Fig. 3)에서와 같이 W-EDM후 고온 템퍼링(550 $^{\circ}$ C) 3회 실시로 템퍼드 마르텐사이트 (Tempered Martensite)기지[4]에 조대한 합금탄화물과 구형의 탄화물입자로 구성되어 잔류응력해소, 인성향상, 조직균등화, 피로강도증대가 이루어진 것으로 확신을 얻게 되었다. 따라서 W-EDM 가공면에는 가공변질층이 존재하며 이것은 용융응고, 고온 담금질 층이며 이들 가공변질층의 해소방법으로는 고온 템퍼링실시가 필수적임을 알게 되었다. 일본에서 프레스 금형재료로 각광을 받고 있는 마이크로 파인강(Microfine Steel) KD11과 STD 11의 화학조성도 동등하게 나타났다.

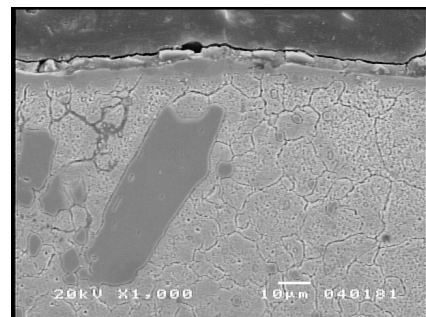


(a) Cross Section

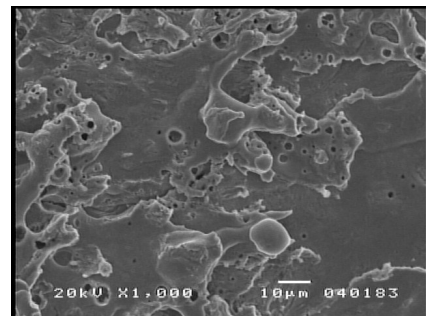


(b) Top View

Fig. 1. Microstructure after grinding

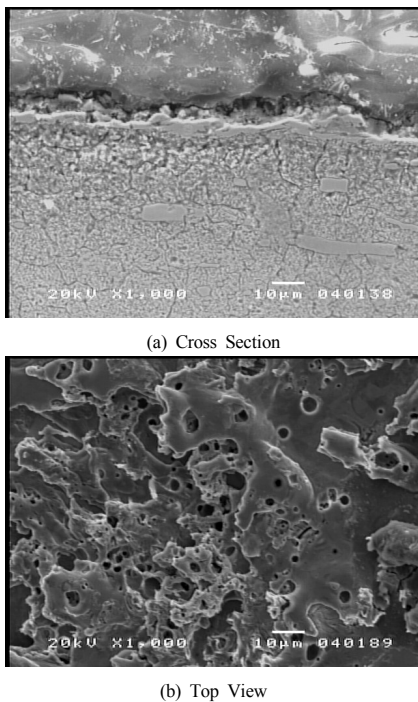


(a) Cross Section



(b) Top View

Fig. 2. Microstructure after W-EDM



(a) Cross Section

(b) Top View

Fig. 3. Microstructure after heat treatment

Fig. 4 에서는 각 타입별 Fe, Cr, Cu 성분의 함량을 퍼센트(%)로 표시하였다. Fig. 4에서 a타입이 b타입보다 Cr함량이 높게 관찰된 이유는 다음과 같다. 첫째는 대부분의 Cr탄화물이 연삭가공시 탈락되어 나갔으나 일부 Cr탄화물은 잔존한다. 이 부분을 측정하는 경우 Cr함량이 높게 관찰된다. 두 번째는 a타입과 b타입을 EDS 면분석시에 Fe, Cr, Cu의 3 원소 구성이 100% 되는 조건 하에서 측정하였다. 따라서 a타입에는 Cu가 없기 때문에, 탄화물 자체의 Cr함량은 변화가 없으나 상대적으로 Cr의 함량이 높게 관찰되었다. b타입의 경우, Cu함량을 제외하고 Fe와 Cr로 구성되었다는 가정하에 Cr함량을 계산하면 13.70으로 a타입과 거의 유사한 값이 얻어진다. 따라서, Fig. 4에서 b타입의 Cr함량이 낮게 관찰되는 것은 두 번째 이유에 기인한다고 생각된다.

Fig. 4 의 b타입의 성분분석에서 Cu가 측정된 결과로부터 와이어 컷 방전 가공시 황동선의 Cu가 시편 표면에 부착되었음을 확인할 수 있었다. 이러한 시편을 고온 템퍼링하는 경우 일부 부착된 Cu가 탈락하는 현상이 발생되어 결과적으로 고온 템퍼링한 시편의 표면거칠기가 다소 개선되었다고 사료된다.

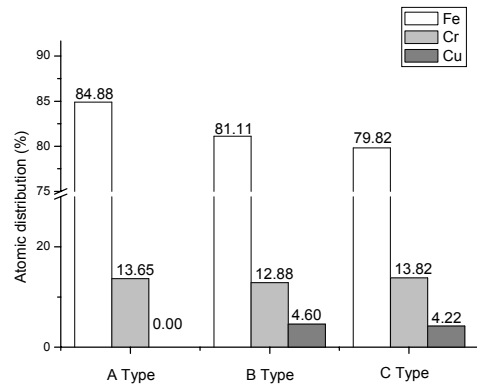


Fig. 4. Atomic distribution for specimens a, b, c

### 3.2 표면 조도 분포

가공면 표면 분포를 표면거칠기 측정기를 이용하여 측정한 값을 Table 1과 같이 나타내었다. 표면거칠기를 나타내는 Rt(maximum roughness depth)값과 Rp(levelling depth)값은 1차 와이어 컷 방전 가공을 하게 되면 가공중에 황동선의 진동과 on time에 의해 시편의 표면거칠기가 일정하지 않고 불규칙하게 형성된다. 이러한 영향까지 확인하기 위해서 Rt 값과 Rp 값을 선정하였다. Rt 값과 Rp 값은 공히 a 타입이 가장 작은 값을 나타내었으며, 와이어 컷 방전 가공한 경우 저온 템퍼링을 실시한 c 타입이 와이어 컷 방전 가공만 실시한 b 타입보다 약간 작은 값을 나타내었다.

Table 1. Surface roughness data (unit : μm)

Type		a type	b type	c type
Rt	1	3.94	22.93	20.98
	2	3.06	21.09	21.57
	3	3.30	22.43	21.63
	Average	3.43	22.15	21.39
Rp	1	1.41	11.70	11.30
	2	0.99	10.72	10.89
	3	1.01	11.06	10.26
	Average	1.14	11.16	10.82

Fig. 5~7는 a타입~c타입의 표면 분포와 베어링 비율(Bearing ratio)을 보여준다. Fig. 5의 a타입 표면깊이 분포를 보면 Rt 3.43μm, Rp 1.14μm로 나타내고 있다. Fig. 6의 b타입 표면깊이분포를 보면 Rt 22.15μm, Rp

11.16 $\mu\text{m}$ 로 와이어 컷 방전가공 한면임을 나타내고 있다. Fig. 7의 c타입 표면깊이분포를 보면 Rt 21.39 $\mu\text{m}$ , Rp 10.82 $\mu\text{m}$ 로 b타입보다 와이어 컷팅을 한 가공면이 Rp 11.16 $\mu\text{m}$ 에서 Rp 10.82 $\mu\text{m}$ 로 표면깊이분포가 약간 향상되고 있음을 나타내고 있다.

베어링 비율은 프로파일 형상에 대한 정보와 내마모성 관련 표면에 대한 정보를 제공해준다. Fig. 5와 같이 베어링비율의 경사가 완만할 때는 내마모성이 강한 것을 의미하며 Fig. 6, 7과 같이 베어링 비율의 경사가 급격할 때는 내마모성이 약한 것이라는 것을 의미한다.

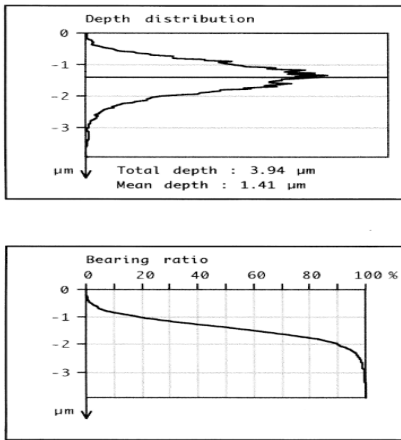


Fig. 5. Surface roughness distribution of a type

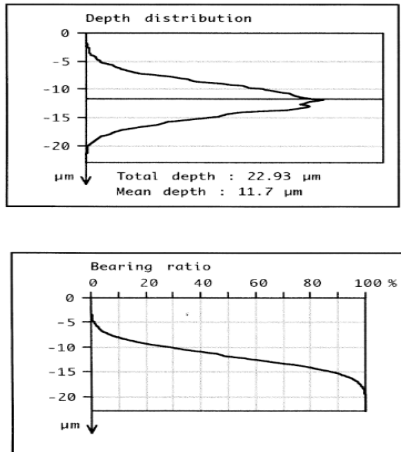


Fig. 6. Surface roughness distribution of b type

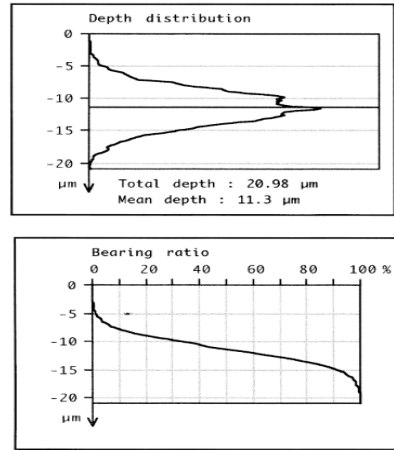


Fig. 7. Surface roughness distribution of c type

#### 4. 결론

본 연구의 실험결과 금형강의 표면 가공기술에 따른 특성에 대하여 다음과 같은 결론을 얻게 되었다. W-EDM으로 가공한 프레스부품의 수명이 비교적 짧은 이유는 가공면에 가공변질층이 존재하며 Cu가 가공면에 용융 응고되어 있어 표면조도와 잔류응력등을 야기 시키는 것으로 사료된다. W-EDM후 고온 템퍼링(550 $^{\circ}\text{C}$ ) 3회 실시로 템퍼드 마르텐사이트 (Tempered Martensite) 기지에 조대한 합금탄화물과 구형의 탄화물입자로 구성되어 잔류응력해소, 인성향상, 조직균등화, 피로강도증대가 이루어진 것으로 확신을 얻게 되었다. 또한 550 $^{\circ}\text{C}$ 로 고온 템퍼링 후에 표면조도는 Cu의 탈락으로 Rt는 21.39 $\mu\text{m}$ , Rp는 10.82 $\mu\text{m}$ 로 줄어드는 것이 관찰되었다.

본 논문에서는 와이어 컷 방전 가공한 STD11의 가공 변질층을 확인하기 위하여 기계가공, 와이어 컷 방전가공, 와이어 컷 방전가공후 고온 템퍼링등 3개 조건으로 열처리한 시편을 전자주사현미경으로 고찰한 결과를 바탕으로 펀치와 다이를 설계한 후 제작하여 실제 제품 생산을 통해서 다음과 같은 결론을 얻었다.

W-EDM후 530 $^{\circ}\text{C}$  - 560 $^{\circ}\text{C}$  고온 템퍼링 3회 실시 후 템퍼드 마르텐사이트 조직으로 안정화 되어 급열급냉된 표면의 가공변질층을 해소 할 수 있으므로 조직 향상, 인성향상, 피로강도 증대, 응력해소, 경년변형감소의 효과로 시편 c와 같은 조건으로 제작한 금형에서는 금형 수명이 200만 ~ 220만개, 시편 b와 같은 조건으로 제작

한 금형에서는 생산수량이 90만 ~ 100만개를 생산하고 금형수명이 다하였다.

## References

- [1] C-K Kim, Latest mold materials, Gi jeon Researcher, 2005.
- [2] Gap Phenomena, "Study on EDM with Wire Electrode", Annals of the CIRP, vol. 25/1, 1976.
- [3] S. M. Pandit, "Verification of On-Line Computer Control of EDM by Data Dependent System", Journal of Engineering for Industry, vol. 109, 1987.
- [4] Gap Phenomena, "Study on EDM with Wire Electrode", Annals of the CIRP, vol. 25/1, 1976.
- [5] C. A. Huang, C. C. Hsu, H. H. Kuo, "The surface characteristics of P/M high-speed steel(ASP23) multi-cut with wire electrical discharge machine(WEDM)," Journal of Materials Processing Technology, vol. 140, pp. 298-302, 2003.  
DOI: [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(03\)00765-9](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(03)00765-9)
- [6] Y. F. Luo, "Rupture failure and mechanical strength of the electrode wire used in wire EDM," Journal of Materials Processing Technology, vol. 94, pp. 208-215, 1999.  
DOI: [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(99\)00107-7](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(99)00107-7)
- [7] L. C. Lee, and L. C. Lim, V. Narayanan, V. C. Venkatesh, "Quantification of surface damage of tool steels after EDM," International Journal of Machine Tools & Manufacture, vol. 28, pp. 359-372, 1988.  
DOI: [https://doi.org/10.1016/0890-6955\(88\)90050-8](https://doi.org/10.1016/0890-6955(88)90050-8)
- [8] H. T. Lee, T. Y. Tai, "Relationship EDM parameters and surface crack formation," Journal of Materials Processing Technology, vol. 142, pp. 676-683, 2003.  
DOI: [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(03\)00688-5](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(03)00688-5)

윤재웅(Jae-Woong Yun)

[중신회원]



- 2000년 3월 : 독일 루르보쿰대학 기계공학과 석사졸업
- 2005년 2월 : 독일 하노버대학 기계공학부 프레스성형과 박사졸업
- 2005년 8월 ~ 2013년 1월 : LG전자 금형기술센터장
- 2013년 2월 ~ 현재 : OPS-INGER SOLL KOREA 대표이사
- 2013년 2월 ~ 현재 : 한국금형공학회 부회장

<관심분야>

프레스금형설계 및 가공