

와이어 컷 방전 가공한 펀치와 다이플레이트 제작에서의 수명연장에 관한 연구

김세환^{1*}, 최계광¹

Study on extending the Die life of the mold in manufacturing wire cut electric discharge machined punches and die plates

Sei-Hwan Kim^{1*} and Kye-Kwang Chio¹

요약 다양한 종류의 제품을 생산하는 프레스금형의 부품 중에서 펀치와 다이플레이트를 제작하는데 주로 W-EDM을 이용한다. W-EDM전에는 기계가공으로 제작된 펀치와 다이플레이트로 제품을 생산하게 되면 생산량이 200만~230만개를 생산하고 금형수명을 다하였다. 그러나 W-EDM으로 제작된 금형으로 제품을 생산하게 되면 생산수량이 70만~80만개를 생산하고 금형수명이 다하였다. 이것은 W-EDM한 후에 발생하는 가공변질층에 기인하는 것으로 사료되므로 W-EDM전과 W-EDM후의 가공면에 대한 SEM촬영을 실시하여 가공변질층의 발생을 확인하고 이에 대한 제거 방법을 연구 하였다.

Abstract W-EDM is generally used to manufacture punches and die plates from among press mold parts. Before W-EDM was used, however, punches and die plates manufactured via mechanical processing were used to manufacture products, with the die life of the mold expiring after 2,000,000~2,300,000 products have been manufactured. When the mold manufactured through W-EDM was used, however, its service life expired only after 700,000~800,000 products have been manufactured. Since this was attributed to the deformed layer formed after using W-EDM, the surfaces before and after W-EDM was used were scanned using SEM to verify the occurrence of such layer. This study sought to come up with a method of eliminating such phenomenon.

Key Words : W-EDM, SEM, Die life, 템퍼드 마르텐사이트, 가공변질층.

1. 서론

W-EDM(electrical discharge machining)의 출현은 금형 제작 기술을 크게 발전시켜 다종다양(多種多樣)한 금형 제작이나 납기단축 요구에 대응할 수 있는 장비로써 큰 공헌을 하였다. 또 복잡한 형상의 제품이나 고정밀도 제품의 다량생산의 요구에도 적용할 수 있는 가공방법으로서도 W-EDM은 금형제작기술 발전에 크게 기여하고 있다.

그러나 W-EDM은 가공후의 제품에 발생하는 문제점

해결 없이는 고성능, 고정밀도, 고품질 제품의 생산을 할 수 없게 되어 금형공업 선진국으로서의 도약에 저해요소가 되고 있다.

따라서 W-EDM에 관한 전문적인 지식과 가공기법을 연구하여 가장 적합한 가공조건을 제시하여 금형수명을 연장 시킬 수 있는 고성능 효과를 얻고, 고정밀도 제품을 생산할 수 있는 W-EDM의 기술개발을 연구의 목표로 하였다.

2. 기술 개발내용

2.1 개발 필요성

프레스금형에서 부품으로 가장 중요시 사용되는 펀치

이 논문은 2004년 천안공업대학 산학연 공동기술개발 과제연구비의 지원에 의하여 연구되었음

¹공주대학교 기계자동차공학부

*교신저자: 김세환(zxcv@kongju.ac.kr)

(punch)와 다이블록(die block)을 제작하는 방법은, 첫째로 선반가공·밀링가공·성형연삭가공·구멍가공·사상가공과 조립 등 공작기계만을 사용한 절삭가공·연마가공에 의한 방법이 있으며, 둘째로는 공작기계와 방전가공기를 적절히 사용하여 금형부품을 가공 제작하는 방법이 있다. 최근에는 방전가공기의 확산 보급으로 공작기계에 의한 것 보다는 공작기계와 방전가공기를 복합적으로 사용한 금형제작을 많이 하고 있는데, 이 중 방전가공에 의한 금형 부품가공에서 다음과 같은 문제점이 발생하였다. 첫 번째의 문제점은, 블랭킹 가공용(work for blanking) 펀치와 다이블록을 제작할 때 선반가공, 밀링가공, 연마가공으로 제작 하였더니 금형수명(die life)이 200만~230만 스트로크 이었으나 와이어 컷 방전가공에 의한 제작에서는 70만~80만 스트로크에서 금형수명이 끝나므로 수리보수 하거나 재제작을 하게 되어 납기 지연, 금형비 과다, 제조원가 상승, 유저의 하자(瑕疵) 제기 등의 문제점이 발생되고 있다. 두 번째의 문제점은, 가공제품의 정밀도 결여 이다. 고정밀을 요구하는 제품에서 가공면 조도는 중심선 표면 거칠기 $Ra_{9\mu m}$, 최대 표면 거칠기 $R_{max}19\mu m$ (평균조도 $Ra 6\mu m \sim R_{max} 15\mu m$)이므로 후가공을 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 같게 하거나 또는 더 연장할 수 있도록 하기 위하여 개발의 필요성을 가진다.

2.2 개발 내용

2.2.1 개발 연구내용

프레스 금형의 펀치와 다이블록의 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 가공변질층[1,2,3]이 생성된다고 가정할 때 이의 해소방법을 연구하는 것을 개발 연구내용으로 하였다.

2.2.2 시편제작

가공변질층 생성여부를 확인하기 위하여 금형공구강(STD11)으로 표 1과 같이 시편을 제작하여 열처리 하였

다. 시편 B와 같은 방법으로 제작한 펀치와 다이블록의 수명은 전술한 바와 같이 70만 ~ 80만 스트로크이고 시편 A와 같은 방법으로 열처리 한 후 공작기계만을 사용한 펀치와 다이블록의 수명은 200만 ~ 230만 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.

표 1. 열처리 방법

시편의 종류	열처리 방법
시편 A	어닐링 → 담금질 → 템퍼링
시편 B	어닐링 → 담금질 → 템퍼링 → W-EDM
시편 C	어닐링 → 담금질 → 템퍼링 → W-EDM → 템퍼링

2.3 개발 방법

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. 방전가공은 열적 가공법이고 가공 후에 발생하는 재질적 변화는 열적요인에 의한 것으로 판단되므로 가공면의 상면(上面) 부위를 고찰하여 가공변질층을 고찰·확인하고 문제점으로 도출시켜 해결 방법을 연구 개발 하였다.

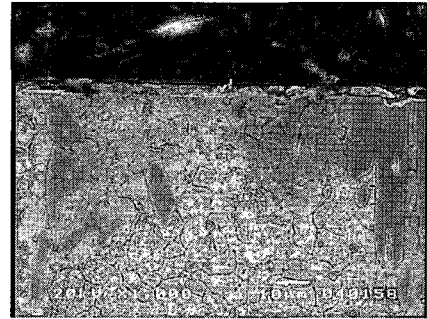
방전가공에서 금형재질에 미치는 영향에 대한 문제점을 도출시키기 위하여, 금형용 재료로 많이 사용되는 STD11의 기계적 성질이 방전가공 할 때 나타나는 현상에 대하여 고찰하였다. 방전가공시의 용융전이 부위에 용접부위에서와 같이 용융 잔류부나 백선조직 등 용융잔류층 및 열변질층이 존재 하므로 이의 제거방법에 대하여 연구 개발 하였다.

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 방전가공 전에 실시하는 담금질에 이은 저온템퍼링 또는 고온템퍼링의 영향에 대한 비교 검토와 우수한 템퍼링 작업 사이클을 연구 개발하였다.

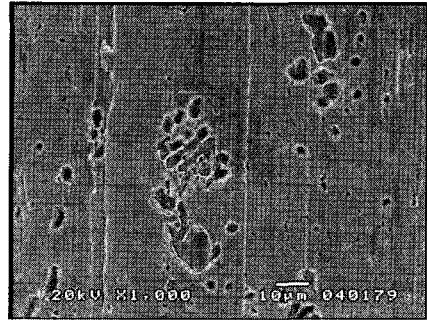
3. 고찰과 금형제작

3.1 SEM촬영 및 고찰

시편 A, B, C에 관한 SEM 촬영 사진은 그림 1, 그림 2, 그림 3. 과 같다. 시편 A의 SEM사진(그림 1)의 표면 단면부에서는 가공변질층이 거의 없으며 단면부의 금속 조직도 마르텐사이트화 되어 있고 평면연삭기로 연삭을 하면서 떨어져 나간 부분이 관찰 되는데 이는 가공전 미세조직에 분포되어있던 Cr 탄화물이 연삭을 하면서 떨어져 나가면서 발생된 것으로 사료된다. 반면, 시편 B의 SEM사진(그림 2)의 표면부에서는 열변질층이 확연하게 생성되었으며 사진에서 보이는 어두운 부분의 깊이는 20 μm 이상 되고 가공변질층이 발생되었다. 가공변질층에서 크랙발생이 관찰되는데 이는 소재의 급열과 급랭에 의해 발생된 마르텐사이트 변태와 관련된 것으로 사료된다. 기타 용융잔류층, 탄소물질부착과 가공 등이 존재하고 있었다. 단면중심부의 금속조직도 치밀하지 않아 조직이 나쁘게 나타났다. 시편 C의 SEM사진(그림 3)의 표면단면부에는 시편 B(그림 2)에 생성된 열변질층이 해소되어 있음을 확인 할 수 있었으며 표면의 급열 급랭된 조직을 고온 템퍼링을 실시함으로써 템퍼드 마르텐사이트 조직으로 안정화 되었다. 그림 2의 경우 W-EDM 진행시 급열급냉된 가공면은 열적작용에 의하여 모재의 조직과는 전혀 다른 가공변질층이 생성하여 경도, 강도, 인성, 내마모성, 내피로성 등이 결여 되었고, 잔류 오스테나이트 조직으로 되어 전술한 문제점의 원인으로 확인 할 수 있게 되었다. 그래서 시편 A(그림 1)의 경우 금형수명은 200만 - 230만 스트로크였으나 시편 B(그림 2)의 경우는 70만 - 80만 스트로크로 나타났던 것으로 판단된다. 시편 C(그림 3)에서와 같이 W-EDM후 고온 템퍼링(550 $^{\circ}\text{C}$) 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 [5].

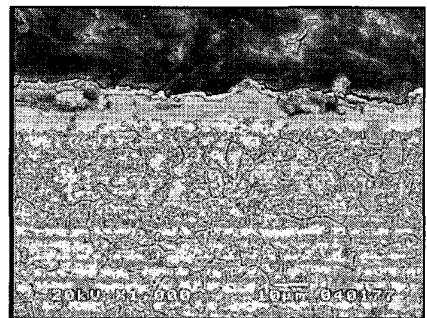


(a) 단면부

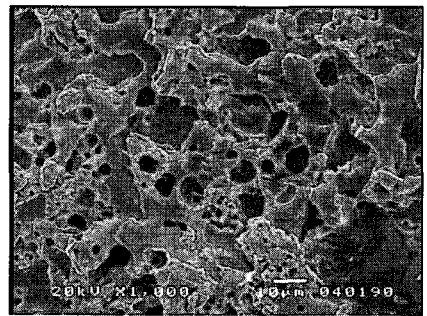


(b) 표면부

그림 1. 와이어 컷 방전가공 전

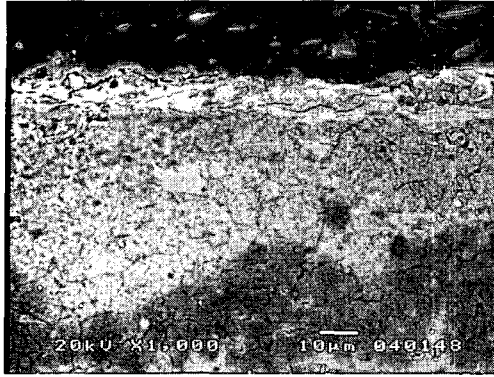


(a) 단면부

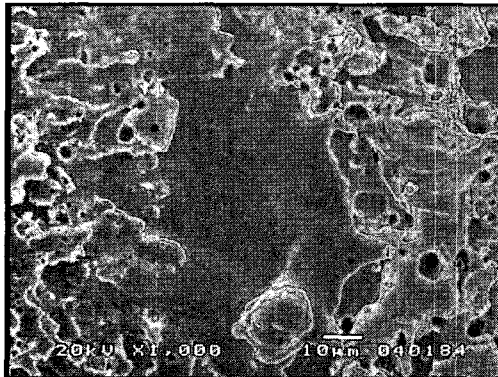


(b) 표면부

그림 2. 와이어 컷 방전가공 후



(a) 단면부



(b) 표면부

그림 3. 와이어 컷 방전가공 후 열처리

3.2 금형제작

금형재료로 STD11을 사용하여 프로그레시브금형을 제작 하였다. 특히, 펀치와 다이블록 제작은 W-EDM에 의하여 가공하고 고온템퍼링을 3회 실시한 뒤 다듬질(사상)과 조립작업으로 금형제작을 완료하였다. 금형을 프레스에 설치하고 트라이얼하여 수정보완 하였고, 이후 금형 수명을 체크하기 위하여 스탬핑을 계속하였다. 사용프레스는 110톤급의 국내산 파워프레스를 사용하였으며 50만 개 단위로 금형을 체크하였다. 200만개를 넘어서부터 10만개 단위로 체크하였다. 220만개 까지는 금형의 펀치와 다이구멍에 변화가 없었으나 그 이후에는 서서히 제품의 전단면에 버가 발생하기 시작하였다. 연마하여 다시 사용할 수 있으나 로트 당 생산량을 완료 하였으므로 종래의 80만개에 비교할 때 275%의 수명연장 효과를 얻게 되었다. 그림 4에서는 다이플레이트를 실제 제작하여 다이 홀더와 조립한 것을 나타내었다.

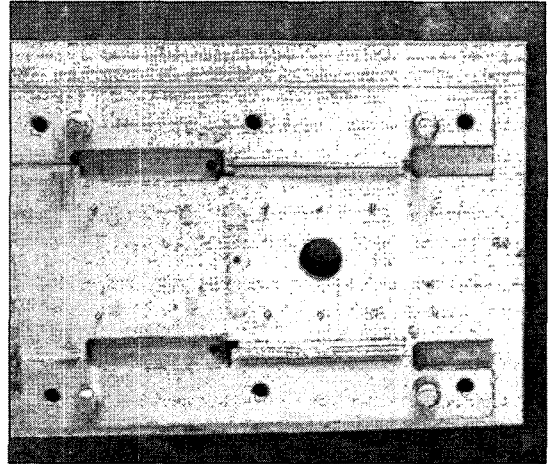


그림 4. 실제 제작한 다이플레이트

4. 결론

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

- (1) 시편 C와 같은 조건으로 제작한 금형에서는 생산수량이 200만 ~ 230만개를 생산하고 금형수명이 다하였고, 시편 B와 같은 조건으로 제작한 금형에서는 생산수량이 80만 ~ 90만개를 생산하고 금형수명이 다하였다.
- (2) 시편 C와 같이 W-EDM후 고온 템퍼링(530℃ - 560℃) 3회 실시 추가로 급열급냉된 표면조직이 템퍼드 마르텐사이트 조직으로 안정화 되어 금형수명이 2.5 배 이상 향상됨을 알 수 있었다.
- (3) 와이어 컷 방전가공으로 펀치와 다이플레이트를 제작할 때 기계가공, 열처리, 열처리후 저온템퍼링, W-EDM 순서였으므로 금형수명이 짧았으나 본 연구에서와 같이 W-EDM후 530℃ - 560℃ 고온 템퍼링 3회 실시 추가로 템퍼드 마르텐사이트 조직으로 안정화 되어 급열급냉된 표면의 가공변질층을 해소 할 수 있으므로 조질 향상, 인성향상, 피로강도 증대, 응력 해소, 경년변형감소의 효과를 기대 할 수 있다. 특히 금형온도가 500℃ 이상 상승하므로 W-EDM후 실시하는 고온 템퍼링온도는 550℃ 전후로 하는 것이 바람직하다고 판단되었다.

참고문헌

- [1] H.T. Lee., and T.Y. Tai., "Relationship EDM parameters and surface crack formation," Journal of Material Processing Technology, Vol. 142, pp. 676-683, 2003.
- [2] 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.
- [3] 이영배, 박정웅, "금속열처리원리," 문운당, pp. 107-117, 1992.
- [4] 김세환, 최계광, "저온템퍼링이 W-EDM한 합금공구 강표면에 미치는 영향," 한국산화기술학회 추계 학술 발표논문집, pp. 274~277, 2005.
- [5] 일본 고추파강업(주), "미크로파인강," 세미나 자료, pp.1-4, 1999.

김 세 환(Sei-Hwan Kim)

[종신회원]



- 1971년 2월 : 수도공과대학 기계공학과 (공학사)
- 1986년 2월 : 국민대학교 기계설계과 (공학석사)
- 1997년 2월 : 국민대학교 기계설계과 (공학박사)
- 1975년 2월 : (주)무지개 특수조명 기술부장

- 1979년 2월 : (주)삼아 공장장
- 1982년 3월 : 천안공업대학 금형설계과 교수
- 2005년 3월 : 공주대학교 기계자동차공학부 교수

<관심분야>
프레스 금형, 단조가공, 금형열처리

최 계 광(Kye-Kwang Chio)

[종신회원]



- 1993년 2월 : 부산공업대학교 금형공학과 (공학사)
- 1995년 8월 : 국민대학교 기계설계학과 (공학석사)
- 2005년 2월 : 국민대학교 기계설계학과 (공학박사)
- 2005년 8월 : (주) 현대배관 기술부장

- 2006년 4월 : 공주대학교 기계자동차공학부 전임강사

<관심분야>
프레스 금형, 와이어 컷 방전가공