

온간 단조용 금형에 있어서 고속도 공구강의 적용

이현석* · 김동진** · 강종훈*** · 제진수*** · 강성수****

Application of High Speed Tool Steel in Warm Forging

H.S. Lee, D.J. Kim, J.H. Kang, J.S. Je and S.S. Kang

Abstract

There are several effective factors to influence die life in the warm forging process. For instance, process design, die design, and die materials, etc. This study presented heat treatment method which could improve toughness and wear resistance simultaneously in high temperature to apply high speed tool steels like SKH51 to die material for warm forging process. To verify the feasibility of application for heat treatment method mentioned above, wear test was performed under the condition of constant time in 400°C. Wear coefficient was examined to search a relation between wear amount and time for each material and heat treatment method in 30, 60, and 130 minutes. To quantify the toughness-behavior between room and high temperature, impact test was performed and heat fatigue test also fulfilled to compare with the resistance of heat check in room, 200, 400, and 600°C temperature. On the basis of experimental results mentioned above, high speed tool steel was applied to verify appropriateness of newly proposed heat treatment method for die of rotor pole used in automobile alternator. As a result, die life of high speed tool steel applied newly proposed heat treatment is longer than that of STD61.

Key Words : Warm Forging, Die Life, Wear Coefficient, Toughness, Heat Check

1. 서론

근래에 들어 온간 단조는 냉·열간 단조의 장점을 동시에 취하는 성형 기술이라 보는 것 외에 새로운 재질을 개발하기 위한 수단으로 보기 때문에 이에 따른 연구가 전 세계적으로 활발한 연구가 이루어지고 있다. 온간 단

조에서는 피가공재의 변형 저항이 냉간 단조에 비해 낮지만 가공시의 온도가 높기 때문에 냉간 단조보다 훨씬 가혹한 조건에서 금형이 사용되며 금형의 표면이 1회 성형 때마다 가열·냉각을 반복하기 때문에 열영향에 의한 변형, 마멸, 열피로에 대한 대책이 필요하다.

온간 단조용 금형재로서 금형 표면의 연화를 방지하고

* 부산대학교 일반대학원 정밀기계공학과

** 동우열처리공업주식회사

*** Valeo Electrical Systems

**** 부산대학교 기계공학부

고온 강도를 유지하기 위한 초기 경도가 높고, 연화 저항성이 높은 재료가 필요하다. 현장에서 주로 사용되고 있는 온간 단조용 금형재는 열간 금형용 강인 STD61로서 이 강종은 내 열 충격성, 내 열 피로성은 우수하나 고온에서의 내마모성과 고온 강도는 떨어진다. 따라서 이 강종은 공구 면압이 낮은 부분에 사용하면 효과적이거나, 변형 저항이 높은 부분과 마멸되기 쉬운 부분에서는 금형의 수명이 현저히 떨어지는 단점이 있다. 이 때문에 가혹한 변형을 받는 부분에는 매트릭스 하이스피드 금형재인 YXR3, YXR33, DH32 등의 수입재에 의존하고 있는 실정이다.

따라서, 온간 단조용 금형에 요구되는 특성을 지닌 강종의 개발이 필요하나 현실적으로 힘들기 때문에 본 논문에서는 지금까지 냉간 단조용 금형재로 쓰여 왔던 고속도 공구강의 열처리법에 의한 접근으로 미시 조직을 제어하여 현장에 적용코자 한다.

2. 실험 방법 및 결과

2.1 열처리법 제안

일반적으로 고속도 공구강인 SKH51종은 Fig. 1(a)와 같이 1200°C에서 소입을 행하는 열처리 방식이 사용되어져 왔다. 하지만, 이 방식은 냉간 단조용 금형에 적용되어지는 열처리 방식으로 온간 단조에 적용하기에는 경도가 높으며, 인성도 부족하다. 이 문제점을 해결하기 위해 Fig. 1(b)와 같이 소입 온도를 1130°C로 낮춘 언더 하드닝(Underhardening) 열처리법을 제안하고자 한다. 이 방법을 택함으로써 소입 온도를 낮춤으로써 냉각 속도를 상대적으로 높여주어 입계에 석출되는 탄화물 등의 미세 조직을 제어하여 경도를 떨어뜨리는 대신에 고온 강도와 인성을 부여하고자 하였다.

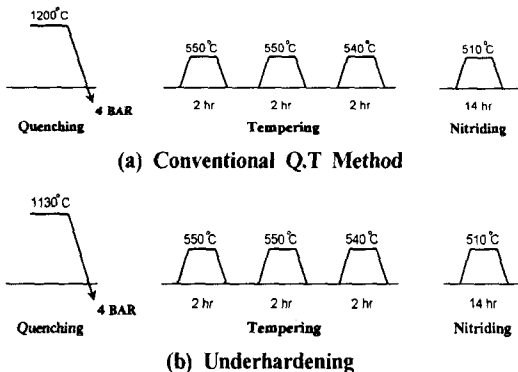


Fig. 1 Cycle of heat treatment for high speed tool steel

2.2 고온 마멸 시험

금형의 마멸 계수를 측정하기 위해서 Pin-on-Disk 방식의 마멸 시험기를 이용하였으며, 전기로를 이용하여 온도를 400°C로 하여, 금형의 온도와 유사성을 갖게 하였다. 적용하고자 하는 금형재를 Pin으로, 온간 단조에서 피가공재로 널리 쓰이는 SM45C를 Disk로 하였으며, Pin의 재질과 그에 따른 열처리법, Archard 식에 의해 계산된 마멸 계수를 Table 1에 정리하였다.

Table 1 Material and heat treatment method of pin

Q.T Method (Quenching Temp.)	Nitriding	Material	Hardness (HRC)	k ($\times 10^{-7}$)
Conventional Q.T Method (1200°C)	×	SKH51	63.5~64	1.45311
		SKH55	66	1.46037
		YXR3	62	1.85517
	○	SKH51	64~64.5	1.63619
		SKH55	66	1.49871
		YXR3	61~61.5	2.08179
Under-hardening (1130°C)	×	SKH51	58.5~59	1.13085
		SKH55	62.5~63	1.22877
		YXR3	60~60.5	1.62307
	○	SKH51	59.5~60	1.28199
		SKH55	62.5~62.8	1.24396
		YXR3	60.5~61	1.68549
Conventional Q.T Method	○	STD61	53~53.5	2.69078
		DH32	57~57.5	4.49888
C.N.X Method	○	STD61	56.5	2.01415
		DH32	58.5~59.5	3.28515

Table 1에 나타난 것처럼 정상 소입한 것보다 언더 하드닝한 것이 마멸계수가 더 낮은 것으로 미루어 보아 언더 하드닝한 것이 고온 내마모성 측면에서 더 우수함을 보여주었다. 또 고합금 공구강의 경우도 C.N.X 처리한 것이 고온 내마모성이 더 우수한 결과를 나타내었다. 측정된 경도값을 보면 언더 하드닝한 것이 더 낮음을 알 수 있었다.

2.3 충격 시험

일반적으로 행해지고 있는 JIS 규격집 Z 2202에 나타나는 시험편으로는 열처리 등에 있어서 미세 조직 제어에 의한 인성의 차이를 측정하는데는 어려움이 있기 때문에 IOR notch의 시험편을 사용하였다. 시험은 전기로를 이용해 상온과 200, 400, 600°C로 온도를 5분 동안 유지한 후 행하였고, 이에 따른 시험 결과를 Table 2에

정리하였다. 표에서와 같이 모든 강종에 대해 온도가 높을수록 인성이 향상하는 결과를 보여 주었으며, 고속도 공구강의 경우 언더 하드닝한 것이 정상 소입한 것에 비해 흡수 에너지가 더 높아진 것으로 보아 인성이 더 향상하였음을 보여주었고, 고합금 공구강의 경우에는 C.N.X처리한 것의 인성값이 좋지 않아진 것을 확인할 수 있다.

Table 2 The Result of Impact Test

Material	Heat Treatment	Temperature			
		Room Temp.	200 ℃	400 ℃	600 ℃
STD61	Conventional	1.35	2.7	5.55	5.55
	C.N.X	1.05	1.35	2.45	2.7
SKH51	Conventional	1.85	2.7	2.9	3.15
	Underhardening	2.55	3.55	3.55	3.8
YXR3	Conventional	2.9	2.7	4.15	5.3
	Underhardening	5.05	5.3	9.3	11.0

2.4 열 피로 시험

온간 단조용 급형에 있어서 가장 문제가 되고 있는 것 중 하나가 열피로인데 가열, 냉각이 1회 성형 시마다 반복되어 이 때 생기는 열 응력 차에 의해 균열이 발생, 성장하는 것을 말한다. 이 현상을 실험적으로 근사화시키기 위해서, 본 논문에서는 각각의 열처리에 따른 시편을 준비하여, 이를 고주파 가열 장치를 이용하여 700℃로 가열한 후, 20℃의 냉각수에 7초 동안 충분히 냉각을 하는 과정을 1,500회 반복하였다.

각각의 열처리에 따른 내 열피로성을 정량화시키기 위해서 시편 중심부를 절단하여 SKH51에 대해서는 열피로 균열의 양상을 비교하여 Fig. 2에, YXR3에 대해서는 주 열피로 균열의 사진을 찍어 Fig. 3에 나타내었다.

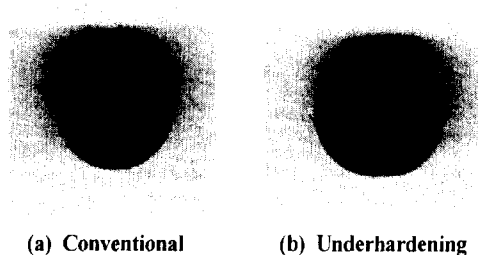


Fig. 2 Cross section after heat check test for SKH51

SKH51의 경우, Fig. 2(a)는 기존의 열처리 방식으로 균열이 발생, 성장하여 결국 파단으로 이어진데 반해 (b)의 경우에는 균열이 발생하였으나 파단은 일어나지 않음으로 미루어보아 언더 하드닝에 의한 경우가 내 열피로성이 더 우수함을 확인할 수 있다. YXR3은 SKH51과는 달리 Fig. 3에서와 같이 균열의 길이로서 비교하였는데 (a)의 경우는 균열의 길이가 7.6mm이고, (b)는 6.8mm로 YXR3도 SKH51과 마찬가지로 언더 하드닝 방식이 더 우수한 내 열피로성을 나타냄을 알 수 있다.

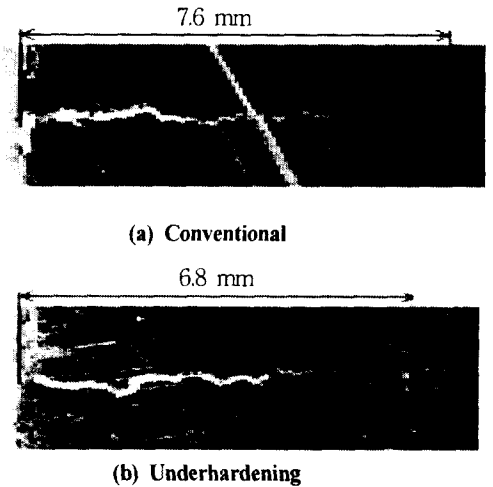


Fig. 3 Crack after heat check test for YXR3

3. 고찰

Fig. 4의 SKH51에 대한 (a)정상 소입, (b)언더 하드닝을 비교하면, (a)에서는 입계에 탄화물의 석출이 많이 일어났음을 알 수 있다. 또한 입계를 따라 생성된 탄화물의 분포를 살펴보면 일정하게 퍼져 있지 않고 한 곳에 집중되어 있음을 볼 수 있고, 그 크기도 크면서 형상도 제각각을 관찰할 수 있다. 이 현상은 소입 온도가 1200℃이기 때문에 탄화물이 충분히 용해되어 기지 조직보다 취약한 입계에 집중적으로 석출되기 때문이다. 반면에 (b)의 경우에는 (a)와는 달리 입계보다는 입내에 일정하게 골고루 석출되어 분포되었고 탄화물의 크기가 작고 형상 또한 거의 구와 다름이 없음을 확인하였다. 그 이유는 (a)와는 달리 소입 온도가 1130℃로 정상 소입된 경우보다 그 온도가 낮기 때문에 상대적인 냉각 속도가 빠르기 때문에 TTT선도에서의 석출 한계선을 지나지 않아 입계에서의 탄화물 석출을 억제하였고, 탄화물이 (a)의 경우보다 용해되는 양이 적게 되어 분해되지

못하고 입내에 골고루 분포하기 때문이다.

Fig. 4의 (c), (d)에 나타나 있는 YXR3의 경우도 마찬가지로 (a), (b)의 SKH51과 거의 동일함을 확인할 수 있다. 입계의 크기는 (d)의 언더 하드닝의 경우가 (c)의 정상 소입한 경우에 비해 상대적으로 작고, 탄화물도 역시 입내에 아주 조그마하게 골고루 분포되어 있음을 알 수 있다.

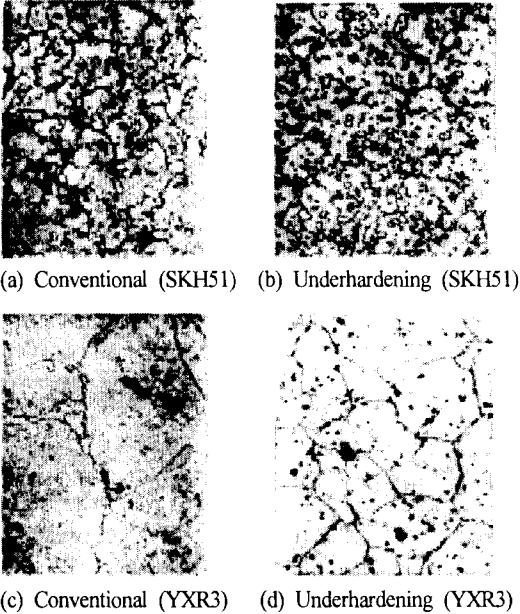


Fig. 4 Microstructure of high speed tool steel (×1000)

고온 내마모성 측면에서 보면, Fig. 4의 사진에서 알 수 있듯이 언더 하드닝한 경우가 일반적인 열처리에 의한 것에 비해 기지 조직내의 미세한 탄화물이 많이 석출되어 있으며, 입계를 따라 집중적으로 생성된 탄화물은 거의 없다. 이 미세한 석출물들은 일반적인 열처리 방식에 의해 생성된 입계의 탄화물들을 대신하여 입내 기지 조직 내에서 고온에서도 그 성질을 유지한다. 그리고 용해되지 않은 잔존 탄화물의 양도 소입 온도가 낮은 언더 하드닝 쪽이 많으며 분포 또한 일정하기 때문에 온간 단조용 금형에서 더 우수한 내마모성을 가지게 된다.

또한, 입계에 석출되는 탄화물들을 제거해줌으로서 인성을 향상시키고 게다가 입내에 미세하게 석출시켰기 때문에 균열의 전파가 상대적으로 잘 이루어지지 않아 전체적인 인성은 언더 하드닝을 행한 경우가 더 좋을 수 있다. 내 열피로성도 마찬가지로 언더 하드닝한 경우가 입계의 크기가 작고 입내에 탄화물이 미세하게 골고루 분포되어 있기 때문에 열피로 균열의 전파 측면에서

상대적으로 유리하다고 생각할 수 있다.

실제 현장에서의 금형 수명은 앞서 설명한 고온 내마모성, 인성 등의 온간 단조용 금형에 요구되는 성질들이 종합적으로 작용하고 그 메카니즘도 복잡하기 때문에 CAE를 통한 검증에 무리가 따른다. 따라서, 제안된 열처리의 타당함을 검증하기 위해서 실제 현장에서 온간 단조로 생산하고 있는 자동차 발전기용 로타 풀 금형에 직접 적용하여, 그 결과를 Table 3에 나타내었다.

Table 3 Die Life for Each Real Die

Material	Method of heat treatment	Die Life (blow)
STD61	conventional + nitriding	8,000
	C.N.X	12,000
	C.N.X + CVD/TiAlCN	15,000
SKH51	conventional + nitriding	≤ 3,000
	underhardening + CVD/TiAlCN	25,000
YXR3	underhardening	15,000
	underhardening + CVD/TiAlCN	30,000

4. 결론

온간에 있어서의 금형 수명 향상을 위한 이상의 연구에서, 고온 마멸 시험, 고온 충격 시험, 열피로 시험, 조직 분석 등을 실시하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- (1) 온간 단조용 금형에 널리 쓰이고 있던 STD 61종을 비롯한 고탍금 공구강 대신 SKH 51종으로 대표되는 고속도 공구강을 적용하기 위해서 새로운 열처리 방법인 언더 하드닝법을 제안하였다.
- (2) 일반적인 열처리와 제안된 열처리 방식에 의한 고속도 공구강을 이용하여 고온 마멸 시험을 실시하여 마멸 계수를 계산하였고, 샤르피 충격 시험을 통하여 인성값을 정량화하였다.
- (3) 온간 단조용 금형에 있어서 문제 시되었던 내 열피로성을 정량화하기 위해서 열피로 시험을 실시하였다.
- (4) 여러 시험을 통해 얻어진 언더 하드닝에 대한 기계적 성질을 미시조직적인 관점에서 탄화물의 석출 거동을 이용하여 설명하였다.
- (5) 시험에서 얻어진 데이터를 바탕으로 실제 금형에 적용해 본 결과, 제안된 열처리 방식을 이용한 고속도 공구강의 수명이 고온용 금형제에 널리 적용되고 있는 STD 61종에 비해 훨씬 유리함을 확인하였다.