

金型 熱處理의 問題點과 對策

李 正 植

韓國熱處理

1. 金型이 갖추어야 할 必要한 性質

가) 마모되지 말아야 할 것. 그러므로 硬度가 높아야 함

나) 흠이 생기지 말아야 할 것. 그러므로 靱성이 높아야 함

다) 오래 써야 할 것. 卽 耐熱성이 있어야 함

一般的으로 金型은 使用中 마찰열에 依해 作業面의 溫度가 500~600℃로 上昇하므로 耐熱성이 絶對 必要하다. 그러므로 冷間金型이라도 高速 連續作業에서 熱傳導率이나 靱인 SUS304같은 것은 加工時 刃先의 溫度가 400~500℃가 되므로 普通鋼의 1/3의 熱傳導率을 가지고 있는 것이다.

金型은 用途上으로 볼 때 熱間, 冷間의 區別이 있으나 一律의으로 熱間加工用 金型으로 생각해서 材質을 選擇하고 熱處理를 實施하는 것이 현명하다.

例를 들면 冷間作業이므로 冷間用 金型을 選擇하고 따라서 冷間用 金型 熱處理를 하게 된다. 그러나 이렇게 되면 耐熱성이 낮아져서 곧 문제가 발생하는 要因이 되며, 低溫燒戻보다는 高溫燒戻를 施行하는 것이 效果의이다. 同一鋼種에서 高溫燒戻를 實施하면 低溫燒戻를 한 것보다 靱성이 向上된다. 그러나 耐磨耗性만을 볼 때는 低溫燒戻를 해야하나 耐熱性, 靱性を 同時に 滿足하려면 高溫燒戻를 하여야 한다. 硬度만 높다고 해서 耐磨耗성이 높은 것은 아니다.

熱處理 卽 燒入을 해서 殘留 Austenite(γ_R)가 많이 殘存하면 耐磨耗성은 내려간다. 그러므로 熱處理方法에는 여러가지가 있으나 金型에 必要한 熱處理조건은 다음과 같다.

가) 殘留 Austenite(γ_R)가 없고

나) 殘留應力(σ_R)이 없어야 하고

다) 硬度가(HRC60전후) 높아야 한다.

이 세 가지 條件을 어떤 方法으로 만족시킬 것인가. 卽 硬度가 높으면 磨耗가 되지 않고 靱성이 있으면 질기다는 것은 누구나 아는 事實이나, 이것은 兩立할 수 없는 性質로서 同時に 滿足하기는 어렵다. 앞에서도 말한 바와같이 硬하면 磨耗가 되지않고 殘留 Austenite(γ_R)가 있으면 硬하기는 하나 磨耗가 심하고, 또 燒入해서 放置하면 硬하기는 하지만 磨耗가 심해서 燒戻作業을 實施해서 殘留 Austenite, 殘留應力을 적게 또는 없애려는 것이다. 그러나 殘留 Austenite 나 殘留應力을 最小化하는 데에는 低溫燒戻보다는 高溫燒戻를 하는 것이 效果의이다.

勿論 鋼種 및 用途에 따라 燒戻方法이 달라지는데 STC, STS, STD11 등을 硬度가 내려가지 않는 범위내에서 殘留應力을 減少하기 위해 180~200℃의 低溫燒戻로서 殘留應力(σ_R)을 50% 程度해소시킬 수 있으나, 高溫燒戻를 하면 殘留應力(σ_R)은 거의 해소되나 硬度가 지나치게 내려가므로 磨耗가 심하게 된다.

또 STD11을 가지고 靱성을 높으려면 高溫燒戻를 해야하고 高速度工具鋼의 殘留應力(σ_R)을 解消하려면 역시 高溫燒戻만이 가능한 것이다.

熱處理時 殘留應力이 왜 생기는가 하면

가) 燒入으로 急冷에 依한 熱應力과

나) 過冷 Austenite가 Martensite로 變態하기 때문에 생기는 變態應力이 겹치기 때문이다.

高速度工具鋼이나 合金工具鋼의 高溫燒戻의 경우 第1回 燒戻는 殘留 Austenite(γ_R)의 Martensite化로 實質的으로 燒入과 같고 第2回의 燒戻가 殘留應力(σ_R)의 해소용 燒戻가 되는 것이다.

이때 꼭 주의할 점은 1次燒戻를 하고 2次燒戻로 들어가기 前에 常溫까지 空冷한 후에 2次燒戻를 하는 것이 秘法이다.

殘留應力を 除去하는 方法은 燒戻溫度를 높여야하며 반복해서 實施하는 것이 有效하다. 特히 工具鋼의 燒戻는 長時間 1回 實施하는 것보다 짧게 2~3回 반복하는 것이 有益하다. 역시 低溫燒戻의 경우에는 반복해서 燒戻를 實施하는 것이 效果적이다. 그리고 다른 方法으로 殘留 Austenite를 除去하는 方法으로는 sub-zero(深冷處理) 處理이고 特히 up-hill-quenching 方法은 有效하며, 이것은 sub-zero 溫度에서 水中에 投入하는 方法이다.

표 1. 金型用 鋼의 大別

大別	用途例	鋼種	使用溫度
冷間金型用	PRESS 金型	STC 5, STS 3, STD 11	100℃
溫間金型用	PLASTIC 金型	SM 55C, STD 61, STD 11, SKH 51	300℃
熱間金型用	DIECAST 金型 押出鍛造用金型	STD 61, STD 5, STF 4, SKH 51	600℃

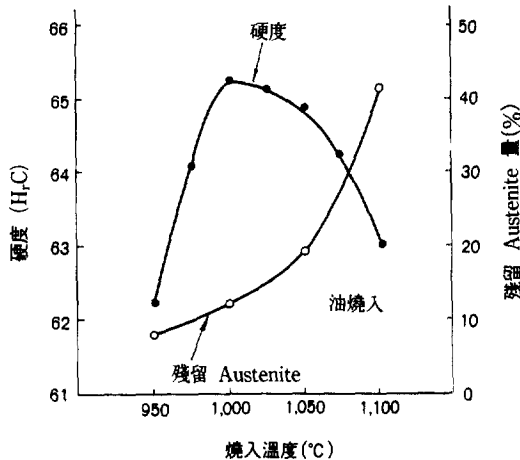


그림 1. SLD의 燒入溫度와 硬度, 殘留 Austenite의 關係

* 燒入溫度가 높을수록 殘留 Austenite 量이 增加하고 硬度는 適正溫度의 燒入에서 最高硬度를 얻을 수 있다.

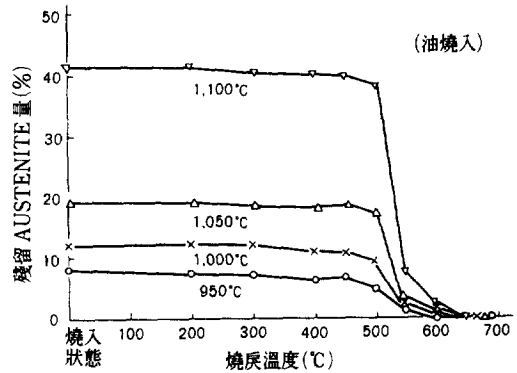


그림 2. SLD의 燒戻溫度와 殘留 Austenite 量의 關係

* 그림 1에서 본 것과 같이 燒入溫度가 높으면 殘留 Austenite 量이 많으나 燒戻溫度 500℃까지는 減少치 않으나 500℃ 以上에서는 半減 또는 그 以上 減少한다.

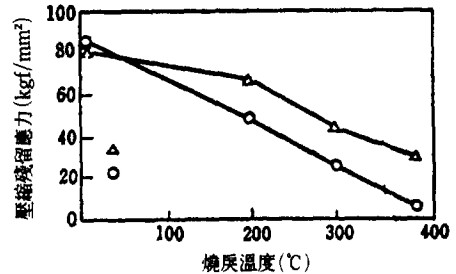


그림 3. 燒戻溫度와 殘留應力과의 關係

* 殘留應力도 燒戻溫度가 높을수록 감소된다.

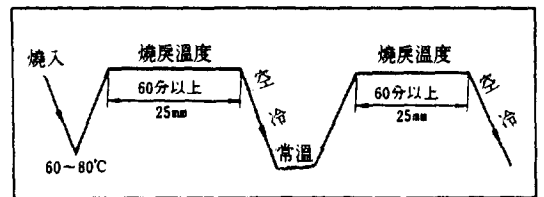


그림 4. SLD의 燒戻要領

* 燒入이 끝난 후 온도 60~80℃ 정도에서 1回 燒戻에 들어가야 하나, 1回 燒戻가 끝나면 常溫이 될 때까지 기다렸다가 (要點) 2回 燒戻에 들어가야 한다.

2. 金型의 問題와 對策(事例重點)

가. 事例 1.

1) 熱處理要求狀況과 鋼種

가) 鋼種 : 合金工具鋼 (STD11)

나) 生産地 : 國內 特殊鋼 業體

다) 加工치수 : 580 ϕ × 250 $^{\text{T}}$

라) 用途 : 造管 ROLL

마) 要求硬度 : HRC60~63

2) 缺陷 또는 事故內容

時效 Crack

※ Roll 製作하여 最初 500 $^{\text{TON}}$ 生産后 해체하여 保管하였다가 1個月后 使用하려고 點檢하니까 3個가 깨진 것을 發見

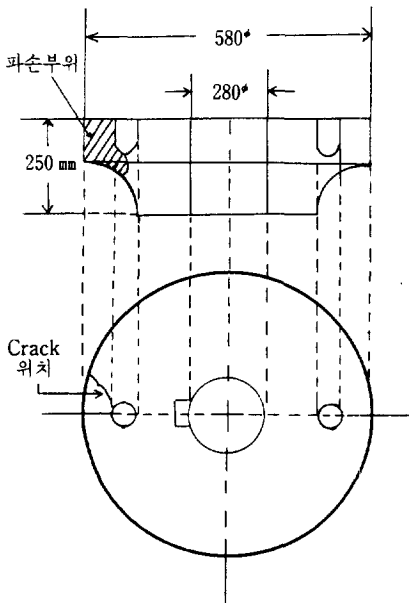
3) 調査事況

가) 熱處理 條件

① 大型 Roll 이므로 Salt 爐에서 實施하였고 500 $^{\circ}\text{C}$ 와 850 $^{\circ}\text{C}$ 에서 豫熱, 1030 $^{\circ}\text{C}$ 에서 가열하여 Mar-quench 를 하였음.

② 要求硬度가 HRC(60~63)이므로 이를 만족하기 위해 低溫燒戻 3回 實施

나) 發生 狀況(形狀 치수)



다) 調査結果

① 內部 組織이 樹枝狀의 粗大한 組織으로 1次炭化物은 比較的 高르게 分布되어 있었음.

② Crack 이 發生한 部位의 組織은 結晶粒子가 치밀하여 鍛造效果가 높은 것을 알 수 있었음.

4) 結論

가) 材料의 內外部 組織의 차이가 있는 것은 鍛造比의 不足으로 變態應力에 依한 長時間 經過后에 Crack 이 發生되었다고 判斷됨.

나) Crack 의 發生位置로 보아 外部에서 內部로 成長하다 Bolt 孔에서 停止된 것으로 熱處理上의 문제 라면 Keywa 의 Corner 에서 發生되었어야 타당하다고 判斷됨.

다) 본 時效 crack 은 材料에 依한 것으로 규정지을 수 있었음.

5) 對策

가) 大型의 合金工具鋼(STD11)의 경우는 造管 roll 이라도 硬度를 HRC58~59程度로 낮추어 使用케 유도 권장하였고,

나) 高溫燒戻를 實施할 수 있으므로 靱性を 높일 수 있고 殘留應力과 殘留 Austenite 도 해소시킬 수 있다고 判斷, 高溫燒戻를 實施하였음.

다) 여기서 잡고 넘어가야 할 사항은 合金工具鋼 (STD)은 鍛造比 8以上이 되어야 內外部 組織이 一定하게 된다고 함. 이것은 使用者들이 할 수 있는 사항이 아니고 鋼材 製造者들의 責務라고 봄.

나. 事例 2

1) 熱處理 要求狀況과 鋼種

가) 鋼種 : 合金工具鋼 (STD61)

나) 生産地 : 輸入鋼材

다) 加工치수 : 400 $^{\text{L}}$ × 400 $^{\text{W}}$ × 70 $^{\text{T}}$

라) 用途 : AUDIO TURN TABLE. DIE CASTING 金型

마) 要求硬度 : HRC 44~46

2) 缺陷 또는 事故內容

HEAT CRACK 과 만곡 변형

※ 만곡변형이 1mm가 생겼고 使用中 제품에 龜甲狀 흔이 早期에 發生

3) 調査 狀況

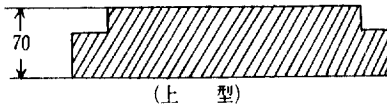
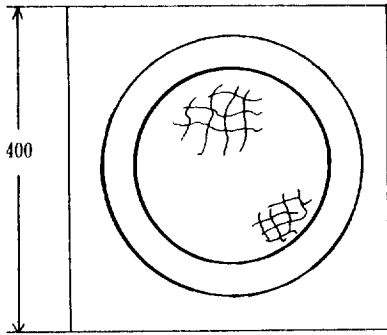
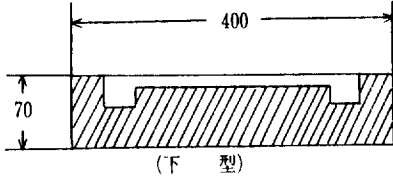
가) 熱處理 條件

① 正常的으로 豫熱 加熱하였으며 熱處理作業上 過熱이나 어떤 異狀을 內部 현미경 조직으로는 判斷할 수 없었음. 다만 加工面에 片側, 即 바닥면에 脫炭層이 殘存하고 있는 것은 알 수 있었음.

② 그러나 硬度上으로는 要求硬度(HRC 44~46)의 下限에 屬해 있었음.

나) 發生 狀況(形狀 치수)

① 上下型에 龜甲狀 흠이 發生하였고 硬度 確認하였더니 HRC41로 나타났음.



② 龜甲上의 흠에는 Al이 부착되어 돌출되어 있었음.

다) 調査結果

① 龜甲狀의 흠은 金型의 硬度가 낮아진데서 溶融 Al에 依해 파여서 HEAT CRACK에 의한 것이었으며 파여진 곳에 Al이 박혀서 냉각되므로 돌출현상을 가져와 제품에는 凹凸모양이 생기게 되었음.

② 만곡 變形된 것은 金型加工時, 壓延時 生成되어 있는 脫炭層을 兩面 고르게 加工하지 않고 한쪽 으로부터 많이 加工하였기에 殘存된 脫炭層이 있어 만곡변형을 가져왔음.

4) 結論

- 가) 金型의 硬度가 낮았기 때문에 早期 Heat Crack이 생겼고
- 나) 殘存脫炭層을 均等히 加工치 않았기 때문에 만

곡변형이 발생한 것임.

5) 對策

가) 硬度를 上向 調整, HRC 46~49로 추천하였고 熱處理時는 用途上 中間에 맞도록 硬度를 맞출 것.

나) 脫炭層의 加工除去는 均一하게 하고 材料購入時는 이를 감안하여 必要치수보다 10^{mm}이상 두꺼운 材料를 選擇케 하였음(AISI 규격에 의한 압연제품의 脫炭層 두께를 표시한 表를 참조).

다. 事例 3

1) 熱處理 要求狀況과 鋼種

가) 鋼種 合金工具鋼(STD11)

나) 材料의 條件은 전혀 알지 못하였음.

다) 用途: 打拔金型

라) 要求硬度: HRC60이상

2) 缺陷 또는 事故內容

Wire Cutting時 Corner部에 Crack發生

3) 調査 結果

가) 熱處理 依●時 wire cutting하는 製品이란 情報을 받지 못하였음.

나) 要求 硬度가 HRC60 以上の 打拔金型이므로 硬度가 높다는 의견을 제시하였다.

다) 要求硬度를 맞추기 위하여 低溫燒戻를 2回 實施하였다.

4) 結論

Wire Cutting時 再溶融層에 變態應力이 모서리 부분에 集中하여 Crack이 發生하였음.

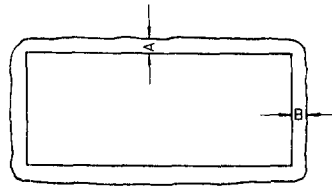
5) 對策

Wire cutting時 表層部에는 再溶融時에 micro crack이 發生하는데 原因은 變態應力이 殘存하므로 低溫燒戻로서는 應力의 해소가 完全하지 못하므로 高溫燒戻를 實施함으로써 應力을 充分히 해소하고 靱性을 부여한다. 그러나 앞에서 말한 바와같이 硬度는 HRC 57~58로 떨어지나 耐磨耗性은 크게 變하지 않는다.

또한 wire cutting時에 使用하는 wire는 銅이나 眞線을 使用하므로 表層部에 이들과 合金狀態의 層을 이루고 다음에 再溶融層, 熱 영향층 그리고 母材가 나온다. 그러므로 合金層에서 熱 영향층까지 除去한 후 使用하는 것이 金型壽命이 길어지게 된다.

표 2. AISI 제정 공구강의 가공여유(열처리전)

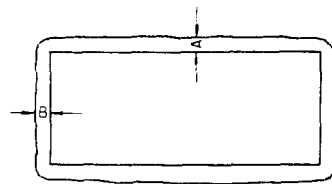
(a) 平, 角材(熱間壓延材)



(片肉mm)

A : 幅	B : 厚さ											
	12.70 以下	12.70 25.40	25.40 50.80	50.80 76.20	76.20 101.60	101.60 127.00	127.00 152.40	152.40 177.80	177.80 203.20	203.20 228.60	228.60 以上	
12.70以下	A	0.63	0.63	0.76	0.89	1.01	1.14	1.27	1.39	1.52	1.52	1.52
	B	0.63	0.91	1.11	1.42	1.72	2.33	2.64	3.04	3.45	3.66	3.86
12.70~ 25.40	A	—	1.14	1.14	1.27	1.39	1.52	1.78	1.78	1.90	1.90	1.90
	B	—	1.14	1.32	1.62	2.03	2.24	3.04	3.45	4.06	4.06	4.06
25.40~ 50.80	A	—	—	1.65	1.65	1.78	1.78	1.90	1.90	2.28	2.41	2.54
	B	—	—	1.65	1.90	2.13	2.84	3.14	3.66	4.26	4.57	4.57
50.80~ 76.20	A	—	—	—	2.16	2.16	2.16	2.16	2.28	2.54	2.54	2.54
	B	—	—	—	2.16	2.29	3.04	3.45	4.06	4.57	4.82	4.82
76.20~101.60	A	—	—	—	—	2.92	2.92	2.92	2.92	3.18	3.18	3.18
	B	—	—	—	—	2.92	3.22	3.55	4.57	4.82	4.82	4.82
101.60~127.00	A	—	—	—	—	—	3.81	3.81	3.81	3.81	3.81	3.81
	B	—	—	—	—	—	3.81	4.19	4.57	4.82	4.82	4.82
127.00~152.40	A	—	—	—	—	—	—	4.82	4.82	4.82	4.82	4.82
	B	—	—	—	—	—	—	4.82	4.82	4.82	4.82	4.82
152.40以上	A	—	—	—	—	—	—	—	6.35	6.35	6.35	6.35
	B	—	—	—	—	—	—	—	6.35	6.35	6.35	6.35

(b) 平, 角材(熱間鍛造材)



(片肉mm)

A : 幅	B : 厚さ											
	12.70 以下	12.70 25.40	25.40 50.80	50.80 76.20	76.20 101.60	101.60 127.00	127.00 152.40	152.40 177.80	177.80 203.20	203.20 228.60	228.60 以上	
12.70以下	A	0.76	0.76	0.89	1.01	1.14	1.39	1.65	1.78	1.90	—	—
	B	0.76	1.21	1.62	2.03	2.54	3.04	3.66	4.26	5.08	—	—
12.70~ 25.40	A	—	1.35	1.52	1.52	1.65	1.90	2.03	2.16	2.28	2.54	2.79
	B	—	1.35	1.82	2.13	2.54	3.04	3.66	4.26	5.08	5.08	5.08
25.40~ 50.80	A	—	—	2.28	2.28	2.28	2.54	2.79	2.92	3.18	3.55	3.81
	B	—	—	2.28	2.74	2.74	3.14	3.76	4.26	5.08	5.08	5.08
50.80~ 76.20	A	—	—	—	3.04	3.04	3.18	3.30	3.42	3.81	4.06	4.44
	B	—	—	—	3.04	3.33	3.55	3.76	4.33	5.08	5.08	5.08
76.20~101.60	A	—	—	—	—	3.81	3.81	4.06	4.57	5.08	5.33	5.71
	B	—	—	—	—	3.81	3.81	4.06	4.57	5.08	5.33	5.71
101.60~127.00	A	—	—	—	—	—	4.57	4.57	4.82	5.33	5.71	6.35
	B	—	—	—	—	—	4.57	4.57	4.82	5.33	5.71	6.35
127.00~152.40	A	—	—	—	—	—	—	5.33	5.71	5.71	6.35	6.35
	B	—	—	—	—	—	—	5.33	5.71	5.71	6.35	6.35
152.40以上	A	—	—	—	—	—	—	—	6.35	6.35	6.35	6.35
	B	—	—	—	—	—	—	—	6.35	6.35	6.35	6.35

Wire cutting 이나 放電加工을 實施한 金型은 반드시 高溫燒戻를 實施하는 것이 가장 현명하며 金型도 오래 使用할 수 있다. 그리고 wire cutting 할 金型이면 熱處

理 依瀨時 情報를 주면 打協후 高溫燒戻를 實施하여 硬 度를 낮게 한다.

명 제	발 생 상 황	발 생 원 인
제품명 : 打拔金型	WIRE CUT 시에 CORNER 부 분에 균열이 생겼다.	WIRE CUT 시에 표층부의 昇熱 (용융층)에 따라 응력이 COR- NER 부분(변태응력)에 집중하 여 큰 균열이 생겼다.
재 질 : SLD(SKD 11)		
열처리 : ㉔		
비 고 : ㉑1030℃ ㉒ 200℃		

- (1) WIRE CUT 品은 특히 열처리 조건(저온 TEMPER)에 주목한다.
- (2) 균열起點은 방전가공면에서 생기고 있다.



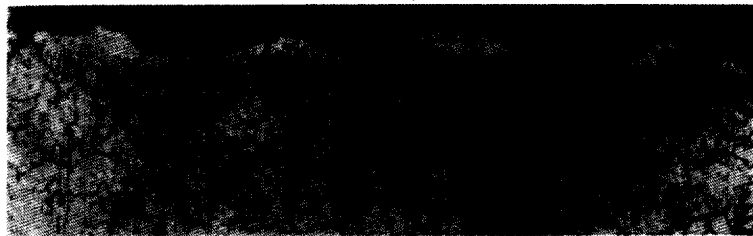
금형형상



COLOR CHECK에서 균열강조



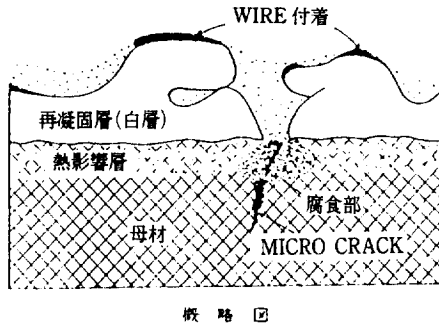
(×100)



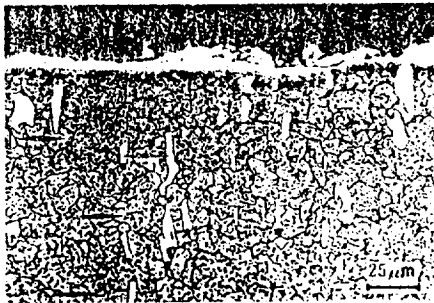
(×400)

MICRO조직

(확대)



概略圖



斷面組織

그림 5. WIRE 放電加工變質層의 概略圖와 SKD 11(低溫燒戻)의 加工斷面組織

라. 事例 4

1) 熱處理 要求狀況과 鋼種

가) 鋼種 : 合金工具鋼(STD 11)

나) 材料條件 : 알지못함

다) 用途 : 打拔金型

라) 要求硬度 : HRC 60~62

2) 缺陷 또는 事故內容

使用中에 떨어짐. 發生하고 內側面에 거친 放電加工의 자국이 있음

3) 調査結果

가) 熱處理時 放電加工한다는 情報를 받았음.

나) 硬度는 HRC 60以上을 꼭 내주어야 한다고 제한을 받았음.

다) 要求硬度인 HRC 60을 맞추기 위해 低溫燒戻 2회 실시하였음.

4) 結論

事例 3의 경우와 같이 放電加工 時에도 亦是 再溶

融層에 미세한 Crack 이 생기고 있어 이것을 基點으로 使用中에 떨어졌다고 봄.

5) 對策

가) 放電加工品을 亦是 40μ 程度의 放電加工面을 除去해야 함에도 거친층만 연삭하고 使用했으므로 미세 Crack 이 成長하여 깨지게 된 것임.

나) 低溫燒戻만 하였기에 殘留應力이 充分히 解消되지 않았음.

다) 此后는 打拔金型도 高溫燒戻를 實施하여 韌性을 갖게하는 것이 必要하다고 판단됨.

라) 放電加工面이 거칠다는 것은 速度가 빨랐다고 볼 수 있으며 이런 경우는 引張應力이 크게 걸리므로 金型의 壽命이 짧아질 수 있다.

마. 事例 5

1) 熱處理 要求狀況과 鋼種

가) 鋼種 : 合金工具鋼(STD 11)

나) 材料條件 : 未詳

다) 用途 : 冷間鍛造 press 金型

라) 寸數 : 180φ × 250^l

마) 事故內容 : 初期 Crack

2) 缺陷 또는 事故內容

현미경조직으로 보아 1次炭化物은 치밀하게 分布되어 있었으며 그림과 같이 몇 shot 鍛造하지 못하고 깨졌음. 또한 熱處理上으로도 결함을 찾을 수 없었음.

3) 調査結果

가) 內徑에 段이 쳐 있었으며 段이 진곳에는 R이 쳐 있지 않고 tool mark 가 있는 것이 發見되었음 (완전히 두쪽으로 깨 보았음).

나) 使用中 tool mark 部分에 斷熱壓縮에 의하여 應力이 集中되었고 이곳에 공기가 남아 있는 狀態이면 온도가 5000℃까지도 올라 간다고 함. 이로인해 破壞되었다고 判斷됨.

4) 結論

段部에 tool mark 또는 R을 붙인다고 勸을 주게 되면 斷熱壓縮에 依해 應力이 集中되어 破壞의 原因이 되어 壽命 短縮됨.

5) 對策

段部 加工을 精確히하여 tool mark 나 흠이 생기지 않게 加工할 것.

명세	발생상황	발생원인
제품명 : 타발금형	사용중에 떨어짐 발생 내경면에는 거친 방전가공이 행 해지고 있다.	방전가공 표면은 거칠고 방전 가 공시에 생긴 용융층내에는 미세 한 균열이 생기고 있어 이것을 기점으로 하여 사용중 떨어지게 되었다.
재질 : SLD(SKD 11)		
열처리 : ④		
비고 : 저온 TEMPERING (HRC 62.5)		

- (1) 방전가공품은 특히 열처리조건(저온 TEMPER)에 주목한다.
- (2) 균열기점은 방전가공면에서 생기고 있다.

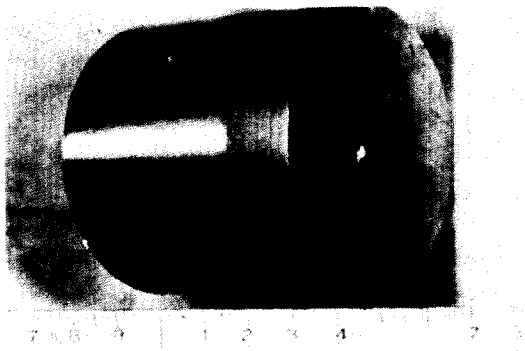
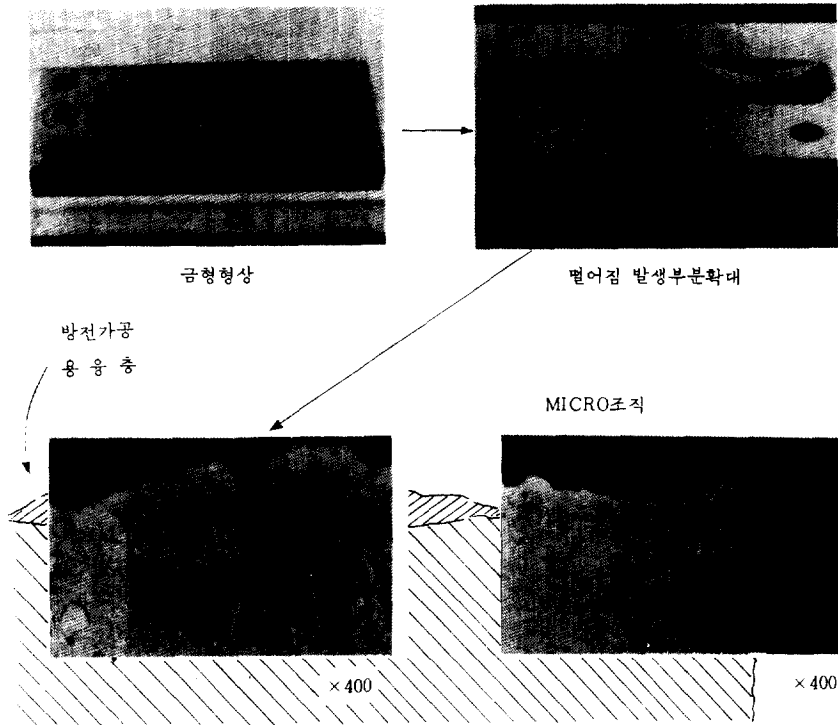


그림 6. 冷間鍛造 Press 金型の Crack 例

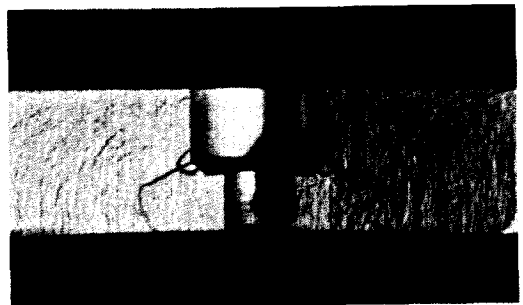


그림 7. 斷面に Crack 狀況