

# 초내열합금강의 온간회전단조용금형소재 적용연구

박준수, 이윤우, 임성주, 최석우, 나경환

(주)봉신 단조사업부

한국생산기술연구원 생산공정기술연구팀

## 1. 연구배경

온간회전단조 공정이 갖고있는 여러 장점들에도 불구하고 금형마모에 의한 금형수명 단축문제로 이의 양산적용에 어려움을 겪고 있는 실정임.

## 2. 연구내용

- 초내열합금강을 적용한 온간회전단조용 금형제작
  - 고온특성이 우수한 초내열합금강으로 이중링금형제작
  - Insert : 초내열합금강
  - Holder : STD61
- 금형재질에 따른 금형수명파악
  - 기존의 열간금형강(STD61, SKT4) 적용시 수명파악
  - 초내열합금강 적용금형의 수명파악
- 제품형상이 금형수명에 미치는 영향파악
  - 다양한 종류의 Clutch Hub를 양산하면서 제품치수 및 형상이 금형수명에 미치는 영향파악

## 3. 연구결과

- 초내열합금강을 적용한 온간회전단조용 금형제작
  - 이중링 금형제작시 압입량 설정이 중요한 설계변수임.
- 초내열합금강 적용시 금형수명 향상효과
  - 기존 열간금형강(STF4, STD61) 적용금형대비 최소25배 향상됨.
- 제품형상이 금형수명에 미치는 영향
  - 소재중량 0.6~1.2kg 범위에선 금형수명이 큰 차이가 없음.
  - 보스부에 돌출형상이 있는 경우 반경방향 크랙으로 인해 금형수명이 단축됨.
- 금형파손 및 제품결함 유형파악

## I. RF100 회전단조기라인

Fig.1은 당사에 설치된 회전단조기 라인으로 소재가열용 전기로, RF100, 그리고 내경 piercing을 위한 U-Drill machine등으로 구성되어 있다.

- 소재가열: 35kW급 전기로
- 단 조 : RF100 회전단조기
- 내경piercing : U-Drill 전용기

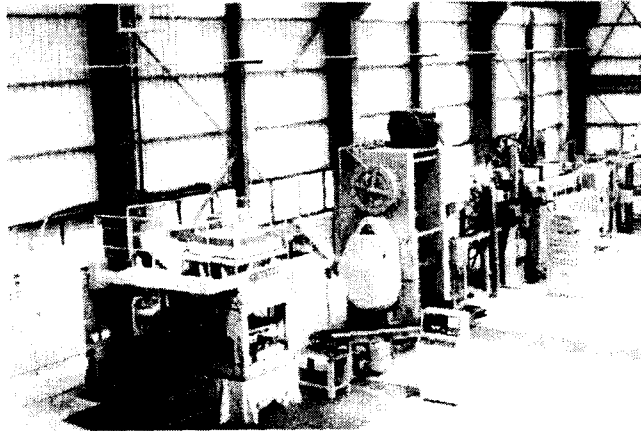


Fig.1 회전단조기 라인

### (1) 기계사양

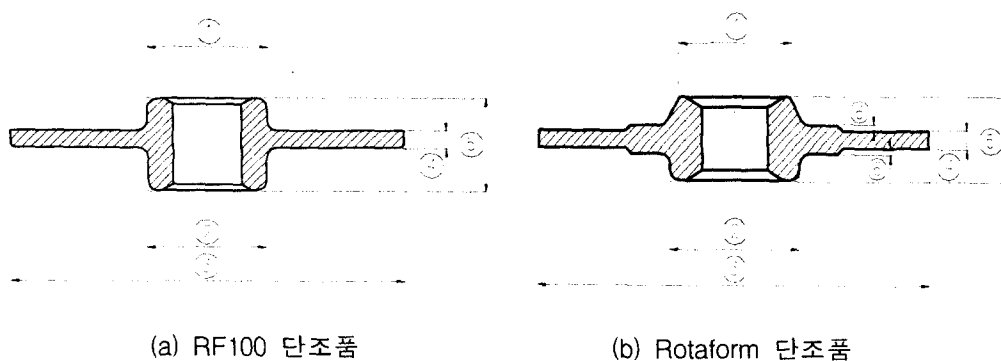
RF100은 1993년 당사와 생기원이 공동으로 개발한 회전단조기로 원래 냉간전용으로 개발되었으나 냉각시스템을 추가하여 온간 및 열간단조도 가능하도록 개조하였다.

Table 1 RF100 회전단조기 사양

Item	Spec.
Capacity	100 [Ton]
Wooble angle	3°
Main Spindle motor	55 [kW]
Main spindle speed	200-800 [rpm]

(2) 단조작업조건

Rotaform에서 양산했던 SPLINE HUB와 동급인 당사단조품의 각부치수를 Fig.2에, Rotaform과 RF100의 기계사양 및 단조작업조건을 Table 2에 비교, 요약하였다.



구분	비교항목	RF100 단조품	Rotaform 단조품
일반사항	소재재질	SM45C	41 Cr 4
	소재중량 [kg]	0.67	0.7
각부치수	①	φ34.5	φ35
	②	φ33	φ41.5
	③	φ121	φ124.5
	④	5.5	5
	⑤	29	24
	⑥	-	1.6

Fig.2 The Comparison of clutch hub dimensions

Table 2 Rotaform vs. RF100

구분	비교항목	RF100	Rotaform
기계 사양	Capacity [Ton]	100	200
	Wooble angle [Degree]	3	4
	Driving main spindle motor [kW]	55	75
	Machine area [m2]	3	6
	Ram fast approach rate [mm/sec]	30	300
	Ram max. squeeze rate [mm/sec]	12	75
	Ram return rate [mm/sec]	60	600
	Spindle speed [rpm]	200~800	1000
단조 조건	단조온도 [℃]	800	850
	회전당 가압량 [mm/rev]	2-4	4.5
	금형-소재 접촉시간	5초	1초이하

## II 실험준비

### (1) 금형제작

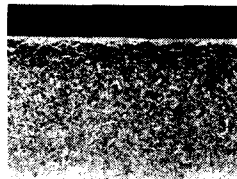
금형재질에 따른 금형수명을 파악하기 위해 동일제품(Fig.4의 (c))생산용 금형을 STF4, STD61, 초내열합금+STD61로 각각 제작하였다.

금형재질	STF4	STD61	초내열합금+STD61
금형구조	일체형	일체형	이중링
열처리	-	Plasma nitriding	용체화처리 + 시효경화처리
표면경도	HRC40	1300Hv	HRC42

Table 4에는 Nickel-base 초내열합금의 열처리후 상온 및 고온특성을 게재하였다.

Table 4 초내열합금의 열처리후 상온 및 고온특성 [10]

Item	Room Temp.	at 1200F
Yield strength (0.2%) [ksi]	150.0	136.5
Tensile strength [ksi]	201.0	162.3
Elongation in 2" [%]	18.0	23.5
Reduction of area [%]	27.0	33.0
Hardness [HB]	415	-

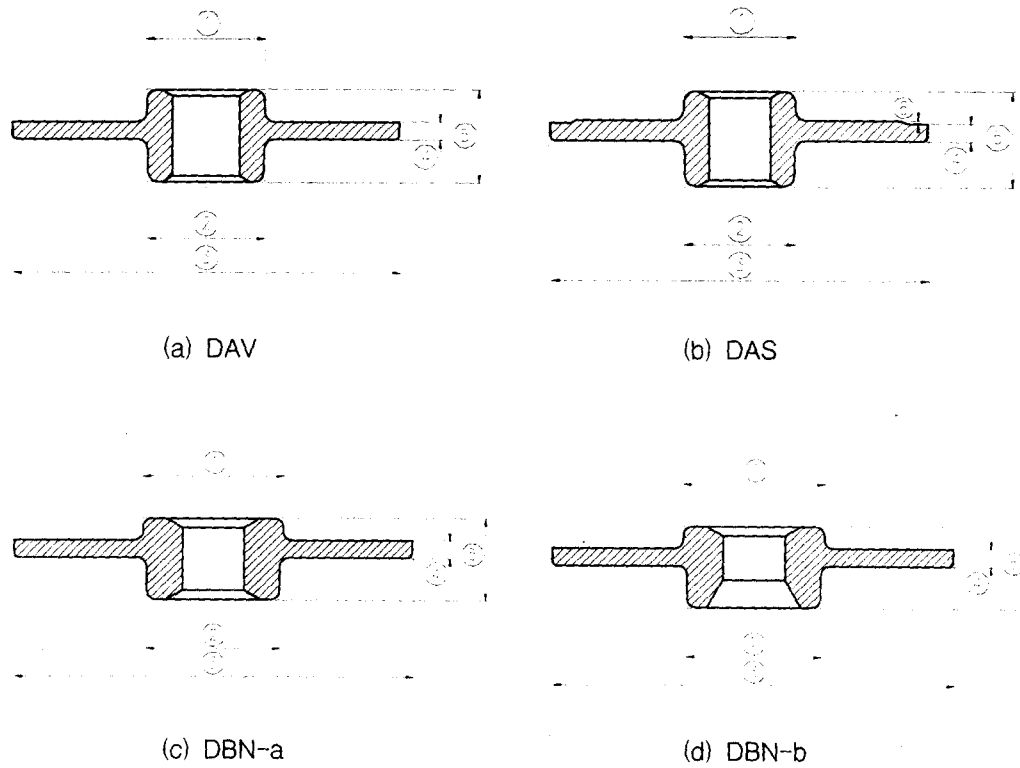


표면경도 (Hv 100g)	1300 Hv
내부경도 (Hv 100g)	550 Hv
질화깊이 (mm)	0.25
화합물층 ( $\mu\text{m}$ )	7

Fig.3 Plasma nitriding of STD61

(2) 단조제품형상

제품형상 및 치수가 금형수명에 미치는 영향을 살펴보기 위해 Fig.4와 같이 형상 및 크기가 다른 clutch hub에 대해 양산금형수명을 추적해 보았다.



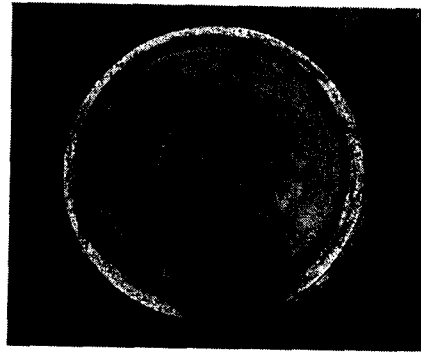
구분	제품				
	비교항목	DAV	DAS	DBN-a	DBN-b
일반사항	소재재질	SM45C	SM45C	SM45C	SM45C
	소재중량 [kg]	0.67	0.59	1.15	1.12
각부치수	①	φ34.5	φ33	φ48	φ48
	②	φ33	φ33	φ46	φ46
	③	φ121	φ112	φ135	φ135
	④	5.5	5	7	7
	⑤	29	28	29	29
	⑥	-	1	-	-

Fig.4 Clutch hub 양산품의 각부 치수

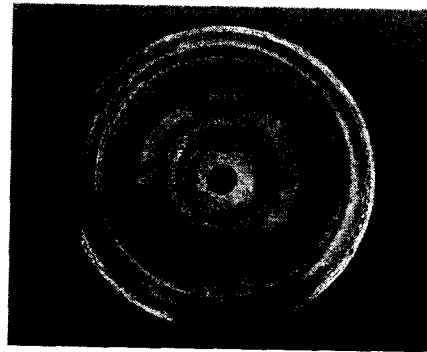
III. 실험결과

(1) 금형재질과 금형수명

단조품	DBN-a (Fig.4 (c))		
금형재질	STF4	STD61	초내열합금+STD61
금형구조	일체형	일체형	이중링
열처리	-	Plasma nitriding	용체화처리 + 시효경화처리
표면경도	HRC40	1300Hv	HRC42
금형수명	80개	200개	5,000개 이상
비고	상,하형 보스부의 심한 마모 및 함몰로 작업중단(Fig.5)	←	상하형 모두 보스필렛부에 반경방향 hair crack 이 크랙이 발견되었으나 재사용가능(Fig.6)



(a) Upper Die



(b) Lower Die

Fig.5 STF4금형 (제품80개 단조후)



(a) Upper Die



(b) Lower Die

Fig.6 Super alloy금형 (제품5,000개 단조후)

(2) 제품형상과 금형수명

제품형상 및 크기가 금형수명에 미치는 영향을 파악하기 위해 해당금형마다 ID code를 부여하고 금형이력관리 프로그램을 통해 각 금형수명을 추적한 결과를 Table5에 정리하였다.

Table 5. 제품별 금형수명

제품 ID	구분	금형 ID	생산량	금형상태	금형이력
(a) DAV	상형	7060-1	6,317	재사용가능	신작금형
	하형	7333	5,837	재사용가능	DBN-b 하형으로 재활용
(b) DAS	상형	7311	5,333	재사용가능	신작금형
		7105	5,274	재사용가능	신작금형
	하형	7310-1	10,108	Resink대기	신작금형
(c) DBN-a	상형	980728	5,000	재사용가능	신작금형
	하형	7212	5,000	재사용가능	신작금형
(d) DBN-b	상형	7057	6,215	재사용가능	신작금형
	하형	7308	2,991	Resink대기	7333을 Resink한 수정금형

① 제품크기와 금형수명

제품 (a),(b),(c)는 형상에는 큰 차이가 없고 제품크기(플랜지외경,중량)만 다른 경우로 이 정도의 범위에선 금형수명이 모두 5,000개 이상인 것으로 확인되었다. 특히 DAS용 하형인 7310-1의 경우엔 10,000개 까지 생산한 후 Resink대기중인 것으로 보아 다른 금형들도 이 정도까진 무난히 사용할 수 있을 것으로 생각된다.

Fig.7은 Resink대기중인 7310-1의 상태를 보여주는 것으로 금형보스부에 심한 반경방향 크랙이 관측되었지만 제품품질사양은 만족시켰다.

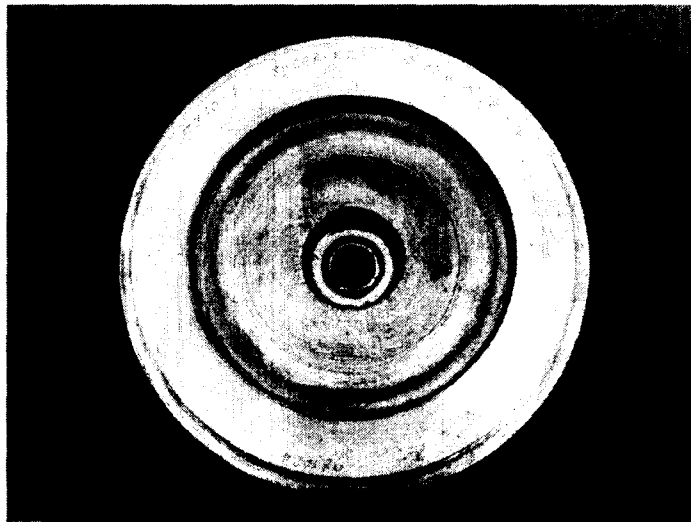


Fig.7 7310-1금형상태 (10,000개 성형후)

② 제품형상과 금형수명

제품 (c),(d)는 보스부 형상만 다른 동일제품의 예로 (c)의 경우는 보스부 돌출부위를 후가공으로 처리한 경우이고 (d)는 단조시에 이를 성형한 경우이다.

7308금형의 경우 Fig.8에서와 같이 이중링압입부의 마모와 보스돌출부의 심한 반경방향 크랙발생으로 약 3,000개를 작업하고 금형을 Resink해야만 했다.

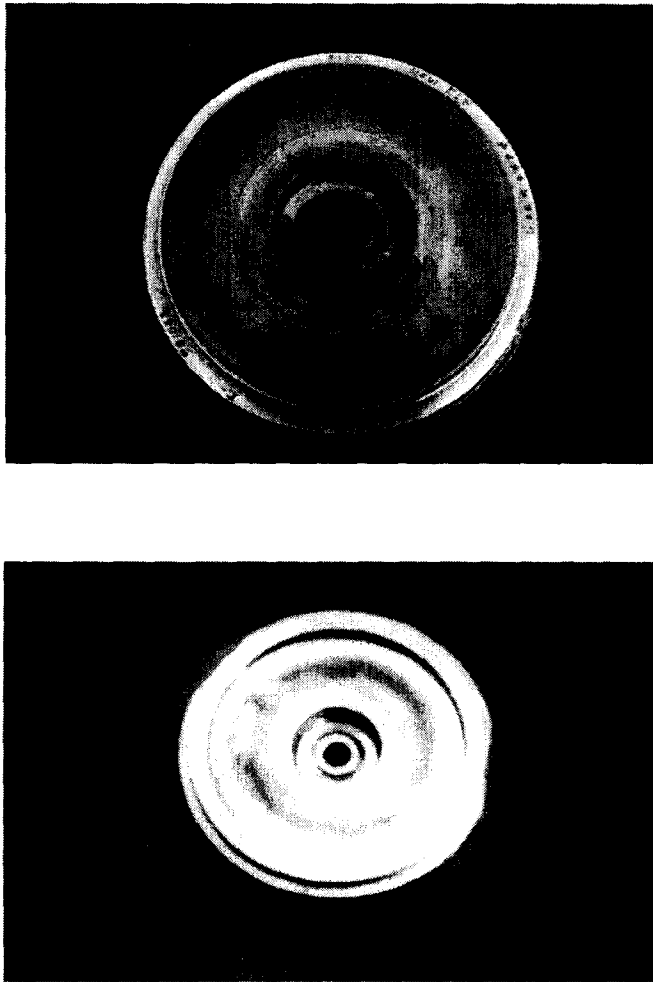


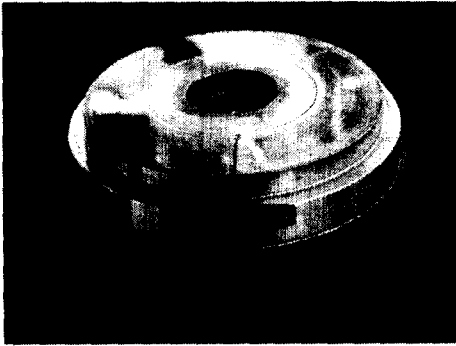
Fig.8 7308 금형상태 (3,000개 성형후)



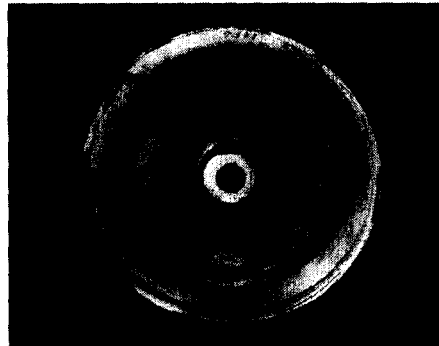
### (3) 금형 파손 유형

양산실험중 여러 형태의 금형 파손이 관찰되었으며 이를 발생원인별로 분류하여 Fig.9에 요약하였다.

- a) 이종재질간 열팽창계수 차이로 인한 Holder의 파손
- b) 과도한 성형압으로 인한 Holder의 파손
- c) Shear stress에 의한 Insert의 파손



(a) 이종재질간 열팽창차이로 인한 파손



(b) 과도한 성형압으로 인한 파손



(c) shear stress에 의한 파손

Fig.9 금형 파손 유형

(4) 제품결함유형

Fig.10에서와 같은 플랜지외경과 상면에서의 결육 및 겹침현상이 모든 제품에서 발견되었다. 단조시 상형보스부에 소재의 상단이 찍히는 경우 이런 현상이 나타났다.

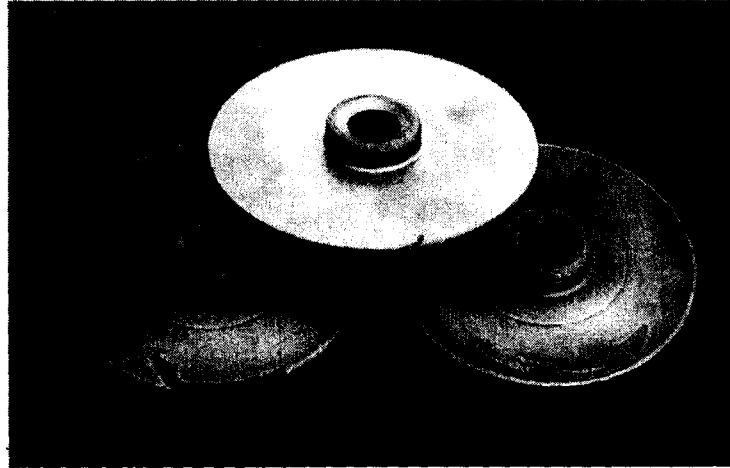


Fig.10 제품결함유형

IV. 결론

(1) 초내열합금강을 적용한 온간회전단조용 금형제작

고온특성이 우수한 초내열합금강을 적용한 이중링금형을 제작하였으며 이 때 압입량이 중요한 설계변수임이 밝혀졌다.

(2) 금형수명 향상효과

초내열합금강을 적용할 경우 기존금형대비 최소 25배 이상 금형수명이 향상되었다.

(3) 제품형상이 금형수명에 미치는 영향

- 소재중량 0.6~1.2kg 범위에선 금형수명이 큰 차이가 없었다.
- 보스부에 돌출형상이 있는 경우 상부금형수명은 큰 차이가 없었으나 하형의 경우엔 반경방향의 크랙발생으로 금형수명이 단축되었다.

(4) 금형파손유형 및 제품결함유형

양산시 발생할 수 있는 금형파손유형 및 제품결함의 유형을 확인하였으며 제품결함의 경우 주원인이 소재성형 초기단계에서의 상형과 소재의 찍힘이라는 것도 밝혀졌다.