

Diesel Engine용 내마모 초경Tappet 개발

송 근철, 심 동섭, 김 경운, 조 정환

대우중공업 중앙연구소 소재기술팀

The development of high wear resistant tappet in diesel engine

Keun-chul Song, Tong-seob Shim,

Kyung-woon Kim, Jeong-whan Cho

Daewoo Heavy Industries Ltd. Central R&D Division.

Materials Technology Team

Abstract

Tappet has wear problems like scuffing or pitting because of high Hertzian contact stress by line contact type between cam and tappet. To overcome this wear problems, we developed the high wear resistant tappet. Developed tappet consists of WC base alloyed tip and steel body. These two parts were directly bonded each other. at high temperature under vacuum condition.

To estimate the wear resistance of tungsten carbide tappet, we perform the scuffing test and engine dynamo test. As the result, tungsten carbide tappet has better wear resistance than conventionally chilled iron tappet.

Key Words : Diesel engine, Tappet, Wear resistance, Scuffing, Wear test, Dynamo-test

1. 서론

OHV형 디젤엔진의 valve-train계(그림 1)를 구성하는 cam과 tappet은 높은 접촉하중과 상대속도등 매우 가혹한 마모조건하에서 상대운동을 한다. 따라서 내마모성의 부족으로 인한 과다마모, 높은 접촉하중에 기인한 pitting과, 상대운동을 하는 두 재질간의 소착에 기인한 scuffing과 같은 이상마모가 발생할 가능성이 매우 높다.¹⁾ 이러한 문제의 해결을 위해 경질재료의 조합이나, 열처리 및 표면 코팅에 의한 내마모성 증대 방법등이 제안되어 있다.²⁾ 본고에서는 tappet의 내마모성을 증진시키는 방안으로서 초경합금재 tappet을 개발하였다.

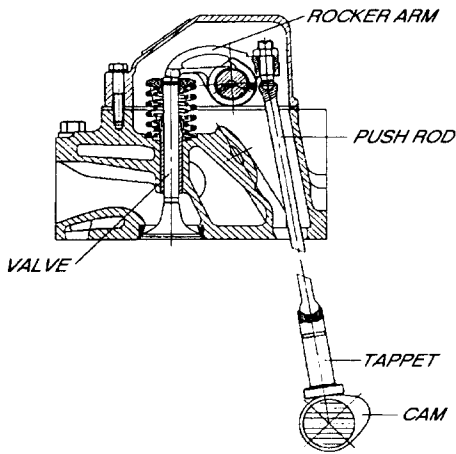


그림 1 Valve Train System

초경합금을 내연기관의 tappet과 같은 내마모성 부품으로 이용하기 위해서는 용가재금속을 이용하여 금속모재에 접합한 뒤 사용하는 것이 일반적이다. 그러나 이러한 용가재 금속을 이용하여 접합할 경

우 초경합금 및 접합모재와의 접합성이 우수하여야 하고, 용가재 금속 자체의 강도, 내충격성 등의 기계적 특성에 의해 접합체의 기계적 특성이 제한된다. 따라서 용가재 금속없이 초경합금과 철계모재를 직접 접합하는 방법이 기계적 특성과 경제적인 측면에서 유리하다. 이를 위해서 steel로 이루어진 body의 기계적 성질을 해치지 않는 온도범위에서 안정적으로 접합이 가능하며, 적절한 수준의 경도를 가지는 초경합금의 제조가 요구된다.

한편 새로운 재질을 cam, tappet 등과 같은 내마모부품으로 적용하기 위해서는 경도 등 기계적 성질이외에 내스커핑성등의 내마모성에 대한 평가가 필요하다. 가장 바람직한 상대비교 방법은 실차 조건하에서 장시간 실험을 통해 비교해 보는 것이지만, 이 경우에도 신뢰성 있는 결과를 얻기 위해서는 여러번의 실험결과가 요구된다. 그러나 이를 위해서는 오랜 시험기간과 시편제작 및 시험에 많은 비용이 요구되므로 개발 초기단계에 재질별 bench test의 수준에서 적용하기는 현실적으로 어려움이 있다. 따라서 범용마모시험기를 이용하여 가속실험을 행함으로써 단시간에 효과적으로 내스커핑성을 비교할 수 있는 실험방법이 요구되고 있다.

본 실험에서는 시편제작이 용이한 범용마모시험기(Plint 77E Roll and Slide wear tester)를 이용하여 기존의 대형엔진에 적용되고 있는 고주파열처리한 cam재과 짝이되는 열처리한 chilled iron tappet와 새로 개발한 초경tappet의 내스커핑성을 비교하였다. 또한 개발된 초경합금을 steel

body와 접합하여 tappet을 제작하고, diesel engine dynamo 시험을 행하여 실제 엔진에서의 사용가능성을 평가하였다.

2. 실험방법

2.1 초경 tappet 제조

개발된 초경합금을 1100°C이하의 온도에서 steel body와 접합하여 초경 tappet을 제조하였다.(사진 1) 제조된 초경 tappet은 초경 tip부의 두께가 약 2mm정도로써 초음파탐상 결과 비접합부는 전혀 관찰되지 않았으며 접합강도는 200MPa 이상이 얻어졌다. 이렇게 제조된 초경tappet을 이용하여 마모시험 및 dynamo 시험을 행하였다.

2.2 마모시험

실제 엔진에서의 cam/tappet의 구동은 선접촉으로 이루어지며 이러한 구동은 그림 2에서와 같이 disc형태의 round면(이동자)과 평면(고정자)이 만나는 형태로 생각할 수 있으며, 이러한 접촉에서 sliding과 rolling이 동시에 일어나는 것으로 알려져 있다. 본 실험에서는 고정자로는 tappet 재질인 chilled iron, 초경합금을 사용하였으며 이동자인 상대재는 cam재와 동일한 표면 조도 $Ra = 0.3\mu m$ 로 연마된 고주파 열처리강(Induction hardened steel)을 사용하였다.

내scuffing성을 평가하기 위한 가속실험 조건을 알기 위하여 윤활제를 변화 시켜 가면서 예비실험을 행하였고 그 결과 재질별 마찰계수차이가 두드러진 유기용매(toluen)에 희석시킨 엔진오일(SAE #30)을

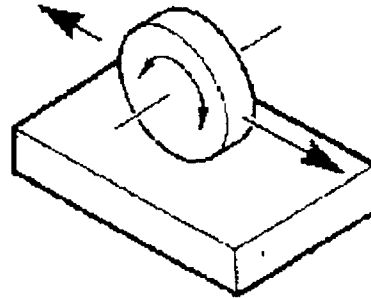


그림. 2 Rolling/Sliding mechanism at wear test

윤활제로 이용하여 scuffing이 발생할 때까지의 시간을 구하여 이를 재질별로 비교하였다. 다음 표 2에 시험조건을 나타내었다. 시험 후 마모면에 대하여 주사전자현미경 관찰을 행하였다.

표 2 마모시험조건

분 류	조 건
시험기	Plint 77E 마모시험기 Roll/Slide Adapter
온도	상온(약 20°C)
시험속도	5Hz(300rpm)
활주거리	10mm
하중	300N
윤활유	Toluen + 엔진오일(SAE #30)

2.2 Engine dynamo 시험

시험은 다음 표 2와 같이 6기통 340마력의 diesel engine dynamo 시험기를 이용하여 250시간 행하였으며, 시험 뒤 tappet을 분리하여 그 마모면을 조사하였다.

표 2 Dynamo-Test 시험조건

Diesel Engine	Test time	Tappet/Cam 최대면압
6기통 340마력	250hr	Cam nose부 : 83.2 kg/mm ²
Cam : Induction hardened carbon Steel		

3. 실험결과 및 고찰

3.1 마모시험

Chilled iron재는 총 10차, 초경은 5차에 걸쳐 시험을 행하였다. scuffing은 현상적으로 정의하면 마모면의 윤활막이 파괴됨으로 인해 상대재간의 응착이 발생하는 것이라 할 수 있다. 즉 스커핑은 마모가 점진적으로 진행되는 정상마모상태에서 가속적으로 마모가 진행되는 이상마모상태로 천이하는 현상으로 볼 수 있다. 이상마모로의 천이는 온도, 마찰계수 등의 급격한 변화를 수반한다. 마모시험기 상에서 이러한 천이가 일어나는 시점, 즉 scuffing이 발생하는 시점은 마찰계수가 급격히 증가하는 시점으로 결정하였다. scuffing이 발생하기까지의 소요시간을 scuffing 발생시간으로 정의하고, 이로서 두 재질의 내 scuffing성을 평가하였다.

그림 3과 4에 전형적인 마찰계수의 시간에 따른 변화양상을 나타내었다. Chilled iron의 경우(그림 3) 마찰계수는 초기 감소하다가 다시 증가하여 일정기간 유지하며 이후 대략 1시간 정도에서 급격하게 증가하기 시작한다. 급격하게 증가하기 전 마찰계수는 0.18 정도이다. 초경합금의 경우(그림 4)는 초기 마찰계수는 감소하다가

0.09정도로 일정하게 유지된 후 다시 증가하지 않았다. 그림 3과 같이 급격하게 마찰계수가 증가하는 시간을 scuffing시간으로 하여 재질별 scuffing 시간을 다음 그림 5에 나타냈다.

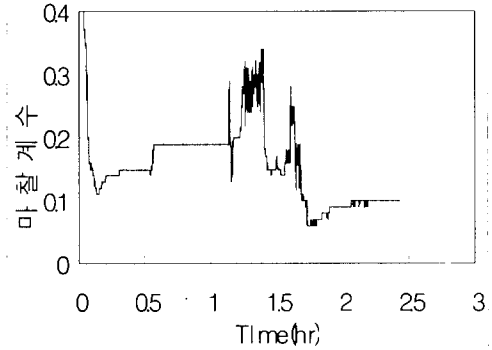


그림 3 Chilled iron재의 시간에 따른 마찰계수 변화 (상대재 : 고주파경화강)
scuffing 발생시간은 chilled iron재의 경우 평균 약 1.7시간이었으며, 초경합금

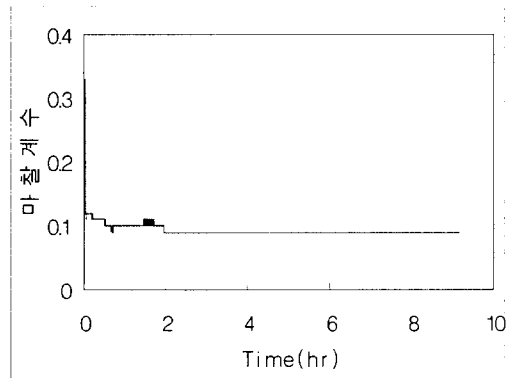


그림 4 초경합금의 시간에 따른 마찰계수 변화 (상대재 : 고주파경화강)

경우 2회는 4, 6시간에서 scuffing이 발생하였으나, 3회의 경우 9시간이상에서도 scuffing이 발생하지 않았다. 상기 결과로

부터 초경재가 chilled iron재보나 scuffing이 우수한 것으로 판단된다.

사진 2에 chilled iron tappet의 마모면과 상대재인 cam 마모면의 SEM Image를 나타내었다. Tappet재와 cam재의 마모면 모두에서 상대재로부터 transfer된 것으로

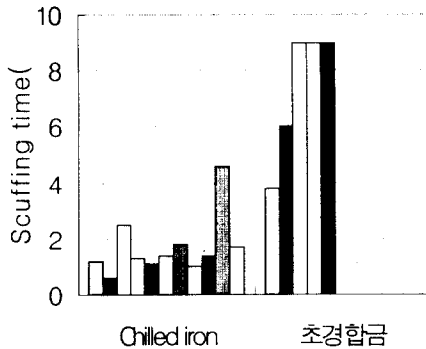


그림 5 Tappet 재질별 scuffing발생시간 (초경합금 9시간의 경우 scuffing 발생하지 않음)

관찰되지만, chilled iron재와 cam재는 모두 철계합금이므로 EDX로는 확인할 수 없었다.

사진 3에 scuffing이 발생한 시험편에서 초경타렛의 마모면과 상대재인 캠의 마모면중 이상마모된 부위의 SEM Image를 나타내었다. 초경면에 상대재인 cam재로부터 전이된 금속상이 덮여 있는 형태가 관찰되며 EDX분석결과(그림 6, a) cam재의 재질인 Fe가 관찰되었다. 한편 scuffing이 발생하지 않은 시험편에서 초경 tappet의 마모면과 상대재인 cam의 마모면에 대한 SEM Image를 사진 4에 나타내었다. 초경면에 마모방향과 평행하게 abrasive 마모흔이 관찰된다. EDX 분석결과(그림 6, b) Fe등 상대재의 재질은 관

찰되지 않았다.

3.2 Dynamo 시험

개발된 초경합금과 carbon steel을 접합하여 초경 tappet을 제조하였으며 이를 diesel engine dynamo를 이용하여 그 성능평가를 행하였다. 이때 비교평가를 위하여 chilled iron tappet도 같이 시험하였다. 이를 정리한 결과를 표 3에 나타내었다.

표 3 Dynamo Test 후 Cam과 Tappet 마모

Tappet재질	갯수	현상	
		Cam	Tappet
Chilled iron	6	정상마모	3개 이상마모 3개 정상마모
초경	6	정상마모	정상마모

Chilled iron tappet 6개중 3개에서 이상마모가 관찰되었고 초경합금 Tappet 6개는 전혀 이상이 없었다. 다음 사진 5와 6에 tappet의 마모면을 나타내었다. 사진 5는 정상마모된 chilled iron tappet와 초경 tappet, 그리고 상대cam의 마모면이다. Tappet은 chill과 초경 모두 동심원방향으로 마모흔이 관찰되며, cam의 경우도 nose부위에 마모흔이 관찰된다. 사진 6의 a)는 이상마모가 관찰된 tappet으로서 tappet표면에 떨어져 나간 부위 즉 pitting이 관찰되었다. 이 부위를 수직으로 절단하여 나타낸 사진이 b)로서 떨어져 나간 부위(pitting)가 잘 관찰된다. 한편 c)의 경우 표면직하에서 관찰된 crack으로서 cam/tappet 접촉 면압 조건하에서 형성된 최대전단응력에 의하여 균열이 생성 전파하는 것으로 고찰된다. 이러한 균열의 생

성 진파는 이후의 cam/tappet 사용조건에서 마모를 가속시키는 한 원인이 될 것으로 고찰된다.

4. 결론

초경합금제 tip을 steel body와 직접 접합하여 초경 tappet을 제조하여 chilled iron재 tappet와 같이 마모시험과 engine dynamo 시험을 행하여 마모성능을 고찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

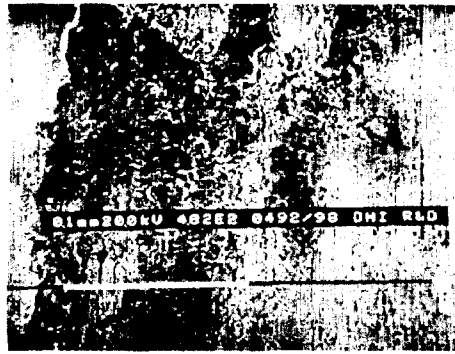
1. 1100℃이하에서 steel body와 초경tip을 접합하여 초경tappet을 제조하였다.
2. Chilled iron tappet보다 초경tappet의 경우가 내scuffing성이 우수하였다.
3. Dynamo 시험 결과 내pitting성은 초경tappet이 chilled iron tappet보다 우수하였다.

참 고 문 헌

1. M.H.Jones and D.Scott,ed., "Industrial Tribology," Tribology series 8, Elsevier, pp216, 1991.
2. " Friction, Lubrication, and Wear technology," ASM Handbook Vol. 18, ASM International, pp559, 1995



a) Chilled iron tappet의
마모면(마모방향↔)



b) 상대 cam재의 마모면(마모방향↓)

사진 2 Chilled iron tappet과 상대cam재의 마모면



a) 초경 tappet의 마모면(마모방향↓)

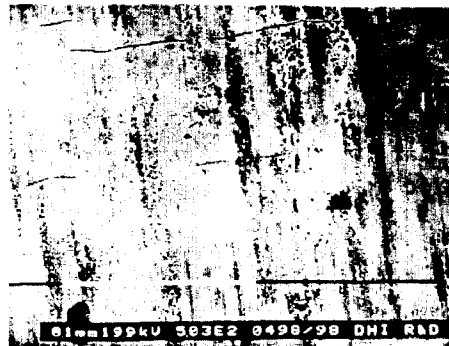


b) 상대 cam재의 마모면(마모방향↓)

사진 3 Scuffing이 발생한 초경 tappet과 상대cam재의 마모면



a) 초경 tappet의 마모면(마모방향↓)



b) 상대 cam재의 마모면(마모방향↓)

사진 4 Scuffing이 발생하지 않은 초경 tappet과 상대cam재의 마모면

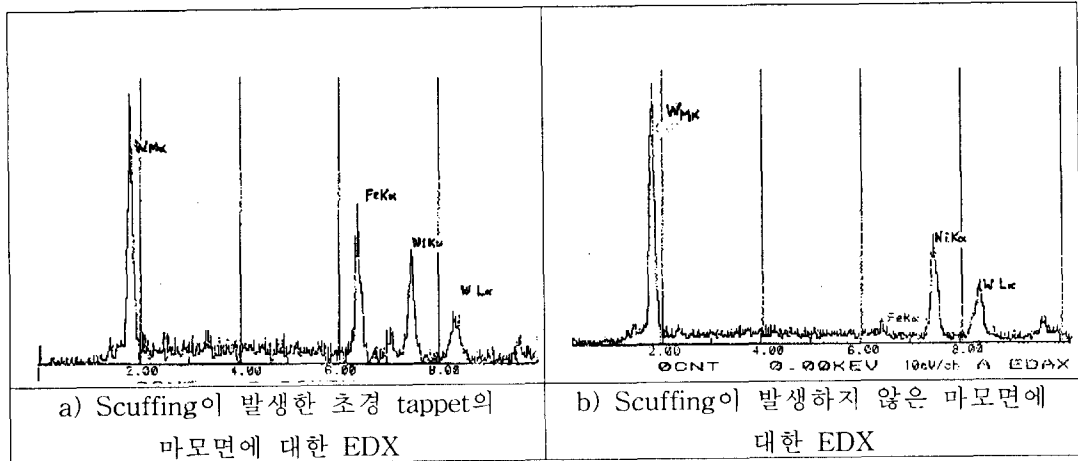


그림 6. 사진 2와 3의 scuffing이 발생한 초경 tappet과 scuffing이 발생하지 않은 상대cam재의 마모면에 대한 EDX 분석 결과

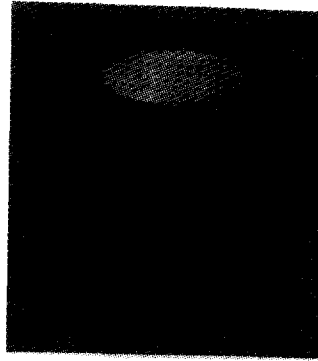
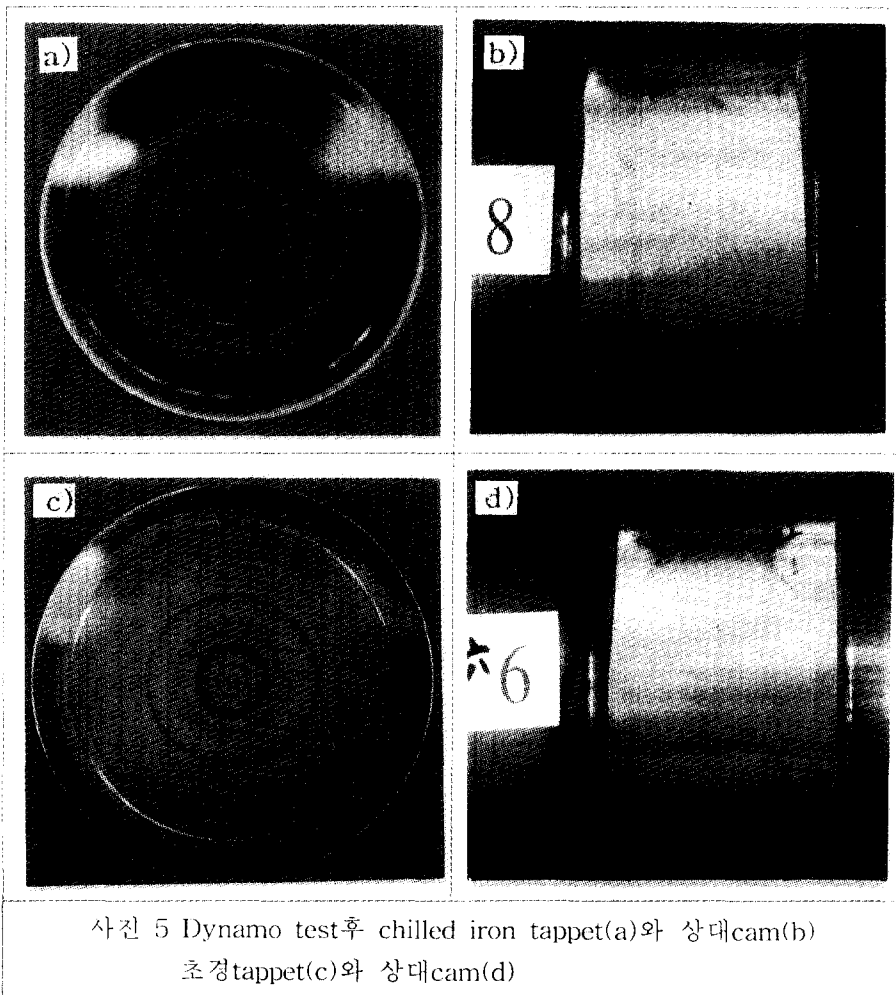


사진 1 초경 tappet



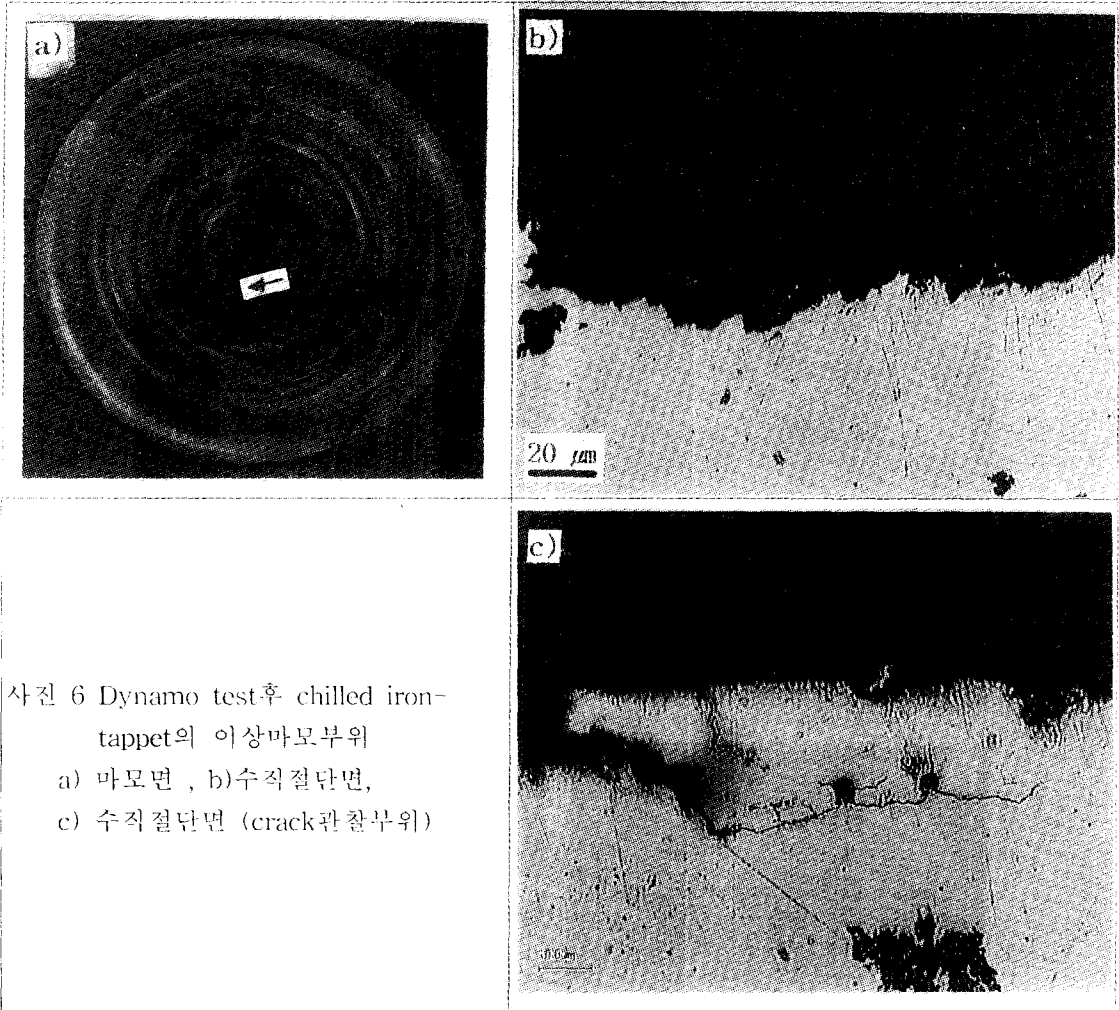


사진 6 Dynamo test 후 chilled iron-tappet의 이상마모부위
 a) 마모면 , b) 수직절단면,
 c) 수직절단면 (crack 관찰부위)