

기어손상(Gear Failures)

기어손상의 종류

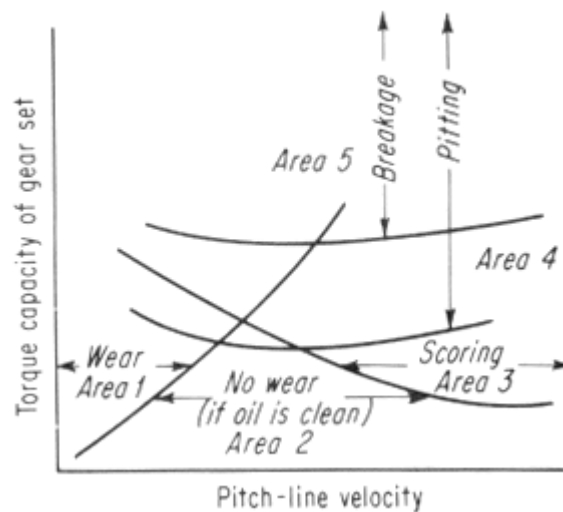
사용중의 기어는 기어 손상은 기어이의 피팅(pitting), 파손(breakage), 장시간의 마모(long-range wear), 소성변형(plastic deformation), 스코링(scoring) 그리고 비정상적인 파괴적인 마모(destructive wear)등의 원인에 의하여 망가진다.

AGMA(American Gear Manufactures Association)는 ANISI/AGMA 110.04(1980) 규격에서 모든 기어손상의 범위를 다음 다섯가지 일반적인 분류로 구분하였다.

1. 마모 (Wear)
2. 소성유동 (Plastic flow)
3. 표면 피로 (Surface fatigue)
4. 파손 (Breakage)
5. 복합요인에 의한 손상 (Associated gear failure)

각각은 정의에 의하여 다시 몇가지 형태로 나눈다. 설계 엔지니어는 표준을 복사하여 쉽게 참고할 수 있는 곳에 두면 좋을 것이다. 이 표준에 있는 몇가지 사진을 여기에서 제시하도록 한다.

훌륭한 설계자는 어떻게 기어 손상을 인식할 수 있고 해석할 수 있는지를 알아둘 필요가 있다. 과거 경험으로부터 교훈을 얻을 수 있으려면 손상을 적절하게 조사하고 해결 활동을 배워야 한다.



그림은 피치선속도와 기어 쌍의 토오크 용량과의 일반적인 상관관계이다. 각 영역은 가장 일어나기 쉬운 기어손상의 종류와 범위를 표시한다. 영역 1,2,3은 마모(wear) 현상과 관련된 손상영역이다. 영역 1에는 유막(oil film)을 형성할 수 있을 정도로 기어쌍이 빠르지 않다. 영역 2에서는 유막을 형성할 정도로 충분히 빠르며 윤활제에 이물질이 섞이지 않고 부식방지성이 있으면 무한한 기간동안 작동된다. 영역 3에서는 속도와 하중이 오일유막을 파괴 시킬 정도로 충분히 크다면 급격한 마모(wear)와 스코링(scoring)이 일어난다. 이상적으로는 기어가 2의 영역안에서 작동되도록 설계하여야 한다.

1. 마모 (Wear)
2. 연마마모 (Abrasive Wear)
3. 부식마모 (Corrosive Wear)
4. 스커핑 (Scuffing--Adhesive Wear, Scoring)

5. [소성유동 \(Plastic Flow\)](#)
6. [물결무늬항복 \(波狀降伏, 리플링, Rippling\)](#)
7. [리징 \(條痕降伏, Ridging\)](#)
8. [피팅 \(Pitting, Surface Fatigue\)](#)
9. [서리형상 피팅 \(프로스팅, Frosting, Micro Pitting\)](#)
10. [경화층 파손\(Case Crushing\)](#)
11. [기어이 절손 \(Gear Tooth Breakage\)](#)
12. [과부하 절손 \(Overload Breakage\)](#)
13. [기어 파손의 다른 형태 및 원인](#)

참고문헌

Dennis P. Townsend, "Dudley's Gear Handbook", MacGraw-Hill, 1992
☞ 주) 본 내용은 위의 참고문헌과 기타의 자료를 기반으로 기어파손에 대한 일반적인 내용을 간략하게 정리한 내용입니다.

Home

1. 마모(wear)

마모는 특히 무한한 시간동안 운전되는 고속기어장치에서 아주 중요한 현상이다. 엔지니어의 입장에서 마모는 금속층이 표면에서 불균일하게 제거되는 손상중의 하나로 정의되어 왔다. 가장 일반적인 마모의 원인은 불충분한 오일유막에 의한 금속-금속 접촉, 공급 오일중의 연마 입자, 급격한 마모와 스코어링을 부르는 접촉면의 오일유막 붕괴, 오일과 첨가제 성분에 의한 화학적 마모이다.

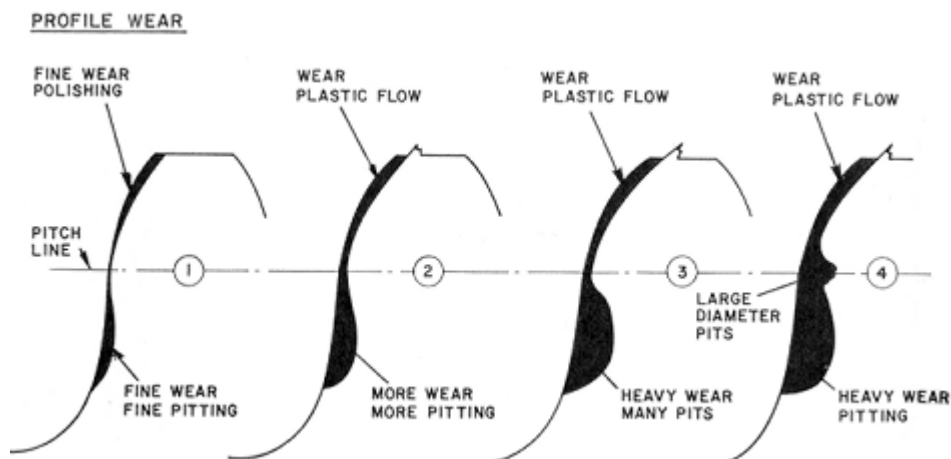
기어박스를 길들이고, 천천히 전부하, 전속력으로 올리는 것이 일반적이고 좋은 습관이다. 이것은 접촉면의 꺼칠한 부분을 서서히 그리고 조절된 방식으로 사라지게 한다. 폴리싱(polishing, 광택내기)은 대부분 섬세한 연마마모 과정이다. 폴리싱에 의한 금속제거 허용량은 장치 설계수명내에 있도록 지켜야 한다. 아래 그림은 훌륭하게 폴리싱된 스파이럴 베벨기어의 예이다.



[그림 1.1]

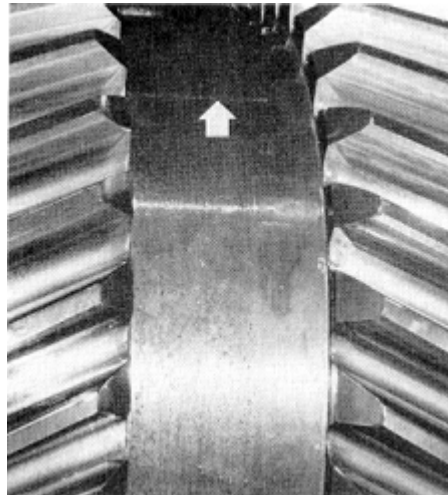
그림 1.1의 기어는 작동 사이클을 많이 거친 것으로 보여지며 비록 어느 정도의 금속이 제거 되었지만 기어 표면은 아주 우수한 상태다. 이런 성질의 광택마모(polishing wear)는 매우 섬세한 연마마모로 생각되며 때때로 윤활유의 EP 첨가제에 의해 화학적으로 촉진된다. 어떤 폴리싱은 섬세한 점착마모(adhesive wear)에 의해서도 일어난다.

기어이에서의 다양한 마모단계를 사진으로 정리하기에는 각각의 단계가 비슷한 외관을 가지기 때문에 어렵다.



[그림 1.2]

그림 1.2의 스케치는 기계가공이 가능할 정도의 경도상태에서 일어나는 마모의 점진적 단계를 보인다. 첫번째 단계에서 마모와 폴리싱이 진행 되지만 피치선 주위는 아주 적은양의 금속이 제거 되는 것을 주목해야 한다. 기어 표면 마모가 진행될 수록 피치선 영역은 역시 비교적으로 적게 마모가 일어난다. 마지막 단계는 피치선에서 더 많은 전달 하중을 감당해야 하므로 피치선 움푹파임이 나타난다. 대부분의 적용에서 심한 소성유동과 위그림에서 보듯이 날개꼴 모서리 생성은 최소한으로 나타난다.



[그림 1.3]

위 그림 1.3은 웬만한 정도의 마모가 일어난 헬리컬 기어이다. 비마모 되거나 크게 마모된 것을 나타내주는 피치선을 명백하게 볼 수있다. 전달 하중이 감소하거나 윤활이 상당히 향상되지 않으면 그림 1.2의 마지막 단계에서와 비슷하게 피치선에서 부터 움푹파임으로 인해 결국에는 파손될 것이다. 이런 성질의 마모는 때로 점착마모와 미세한 연마마모의 조합으로 나타난다.

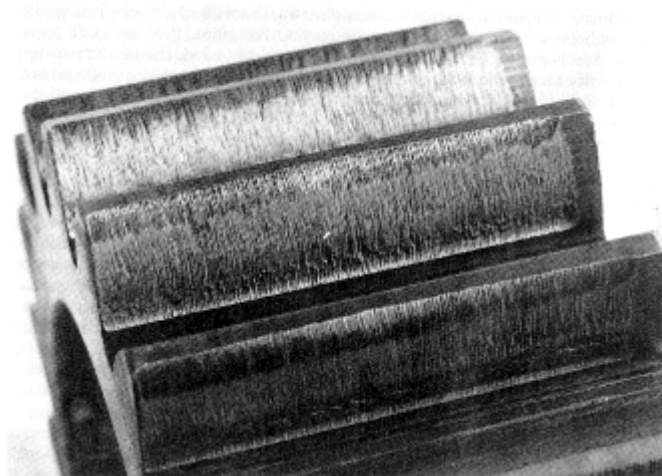
[Home](#)

2. 연마마모(abrasive wear)

연마마모는 이물질로 기어장치와 윤활시스템을 오염되었을 때 일어난다. 오염은 기계 가공 칩(chip), 연삭 잔류물, 배관에서의 녹(scale), 세척과정중의 잔모래(grit), 그리고 다른 원인등의 다양한 방식으로 발생한다. 일반적인 연삭마모 입자 생성원인 중의 하나는 때때로 윤활시스템 내에 남아있는 기어표면 마모에 의한 마모파편이다.

연마마모는 기어열의 성공적인 운전에 중요한 관건이 될 수 있다. 연마입자는 윤활 시스템과 격리되어야 하는 것은 논리적으로는 쉬운 이야기 일 뿐 실제로 이것을 실행하는 것은 아주 어려운 작업이다. 연마마모는 접촉면에서 금속 제거비를 증가시키는 래핑 화합물로 작용하는 연마입자를 스스로 재생할 수 있다. 여과 설비가 없는 밀폐 기어장치는 특히 연마마모 문제가 걸리기 쉽다. 연마입자도 역시 여과요소(element)를 통과하는 수도 있다. 물론 이것은 여과장치의 마이크론(micron) 크기에 달려 있다. 정비불량에 의해서 여과장치가 가득차게되면 바이패스 또는 터짐에 의해 시스템을 오염시킨다. 많은 경우 경도가 높은 입자는 기어열의 무른 마모표면에 묻혀지기도 한다. 이렇게 파묻힌 입자는 미세한 연마 스톨로 작용하여 경도가 높은 기어 부속을 연마한다. 특별히 위험한 기어쌍은 중간정도 경도의 기어(medium-hard gear)와 백색층(white layer)를 가진 질화처리된 피니언(nitrided pinion) 조합이다. 얼마후 백색층의 물질에 있는 연마입자들이 무른기어 표면으로 마모되어 들어간다. 무른기어 표면으로 들어간 백색층의 연마 입자들이 그 다음으로 더 딱딱한 질화된 피니언 표면을 마모시킨다.

또 다른 연마마모 상황은 표면상태가 불량한 경화기어를 사용하는 것으로 반드시 피해야 한다. 이런 성질의 표면은 추가적으로 연삭 공정이 없는 고주파나 질화 열처리로 생성된다. 거칠고 딱딱한 표면이 부드럽고 무른 표면을 문지를 때 짧은 기간안에 엄청난 물질을 제거할 수 있다.



[그림 2.1]

그림 2.1은 평기어가 극심하게 연마마모가 일어난 것을 보여 준다. 밀폐 기어시스템에서 오일이 충분히 자주 교환하지 않았기 때문에 마모가 지속된 것이다. 치면은 미끄럼 방향으로 반경방향의 깊은 홈을 보이고 있다.

3. 부식마모(corrosive wear)

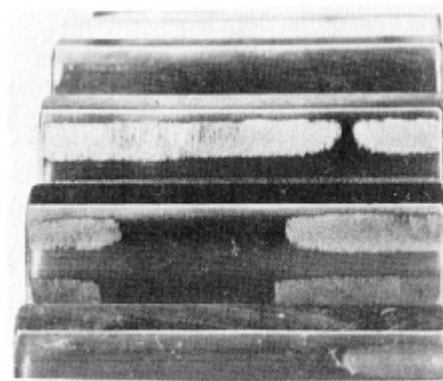
기어장치의 화학적 부식과 부식마모는 주로 윤활시스템의 오염으로 일어난다. 물, 염분, 용제, 기름용해제, 세척제 등과 같은 일반적인 물질이 오염과 기어부속품 부식을 일으킨다. 정상시의 빈번한 기동과 냉각에서 발생하는 증기는 기어 윤활시스템에 포함된 수분을 증가시킨다. 이같은 방식으로 녹스는 것 같은 부식이 대부분 일어난다. 또한 부식은 습기와 윤활오일중의 화학 물질사이, 문제되는 부속의 기초재질 사이의 반응에 의해서도 일어난다. 극압 첨가제의 많은 종류가 어떤 운전환경하에서는 매우 부식성이 강한 염소(chlorine) 같은 화학물을 포함하고 있다. 화학 공장에서의 몇몇 공정은 기어장치에 일반적으로 사용되는 특정 재질을 공격하거나 결합해 버려 화학반응을 일으켜 결국 부식마모를 일으키는 증기나 입자를 방출한다.

[Home](#)

4. 스커핑 (Scuffing-Adhesive Wear, Scoring)

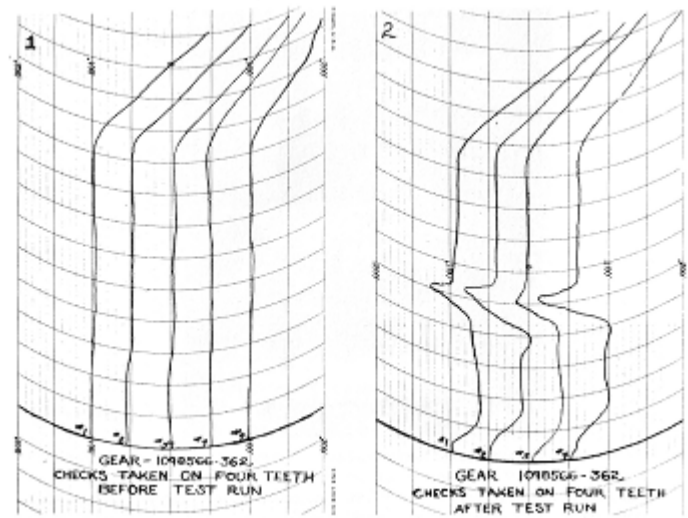
연마마모는 이물질로 기어장치와 윤활시스템을 오염되었을 때 일어난다. 오염은 기계 가공 칩(chip), 연삭 잔류물, 배관에서의 녹(scale), 세척과정중의 잔모래(grit), 스커핑(scuffing)은 금속-금속 접촉, 용착과 분리의 반복작용의 형태로 나타나는 점착마모(adhesive)를 허용하게 하는 과열에 의해 윤활막의 국부적 파손에 의해 시작되는 매우 빠르게 치표면이 마모되는 것이다. 이것은 치접촉 표면에서 금속을 빠르게 없앤다. 비록 스커핑은 윤활막의 국부적인 파손에서 시작하지만 오일외에 기어 맞물림의 최종 스커핑 저항성에 영향을 미치는 많은 인자가 있다. 이 인자들 중의 몇가지로서는 치면압(tooth surface pressure), 금속의 성질, 표면조도, 표면처리, 표면 미끄럼 속도 등이 있다. 비록 스커핑 손상은 파악하기 쉽지만 분석하기는 어렵다. 스커핑은 실제적인 파손 원인을 찾아내는데 도움이 되는 몇가지 범주로 세분할 수 있다. 스커핑의 다양한 정도는 다음과 같다. 초기 또는 약한 스커핑, 중정도의 스커핑, 심한 스커핑, 정렬불량(misalignment) 스커핑, 국부 응력집중에 의한 스커핑.

초기 또는 약한 스커핑은 장치의 속도나 부하가 증가되지 않는 이상 보통 자체적으로 쉽게 드러나지 않는다. 대부분의 경우 이런 성질의 스커핑은 충분한 기름임 부족으로 일어난다.



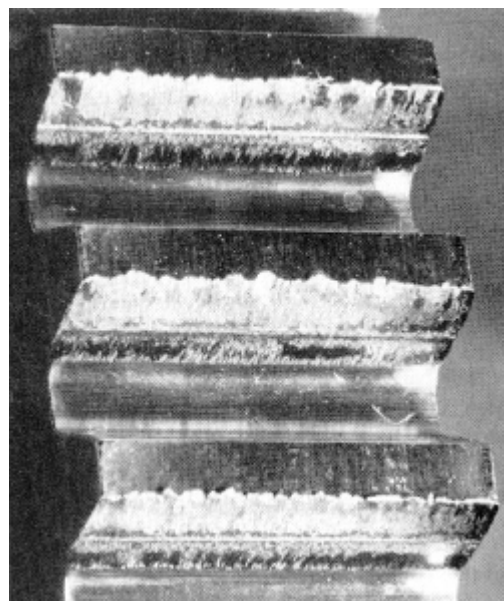
[그림 4.1]

그림 4.1은 전형적인 중정도의 스커핑이다. 많은 부분이 명확하게 영향받지않은 것에 주의한다. 이런 상태의 기어는 스코링(scoring) 조건을 항상 시키는 조치, 예를 들어 전달 하중을 약간 감소, 윤활유의 점도를 증가, 작동 속도를 감소, 윤활유에 스코링 감소 첨가제를 넣기, 유입 오일 온도를 낮추는 등을 하면 사용가능한 상태로 돌아갈 수 있다.



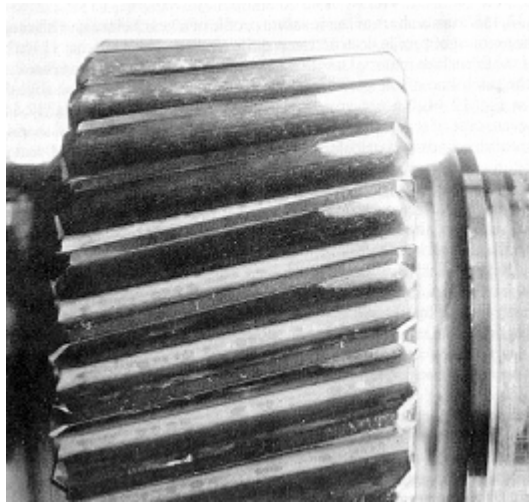
[그림 4.2]

그림 4.2는 스커핑 파손이 일어나기 전후의 인볼류트 형상을 보인다. 치형이 파손된 정도는 분명하다. 이 기어는 HRC 35 정도 수준이다. 기어표면 물질은 이뿌리 영역에서 움푹 파여지고 피치원 주변에서 쌓여 있다. 이런 스커핑 파손은 그림 4.1보다 조금더 나쁜 상태인 것으로 보여지지만 심한 스커핑 상태를 보여주는 그림 4.3 만큼 어느 부분에서도 도달하지 않았다. 그림 4.3에서 보면 용착과 분리 작용이 진행되었고 특별히 기어 이끝 부분에서 금속이 반경방향으로 썰리질되었다.



[그림 4.3]

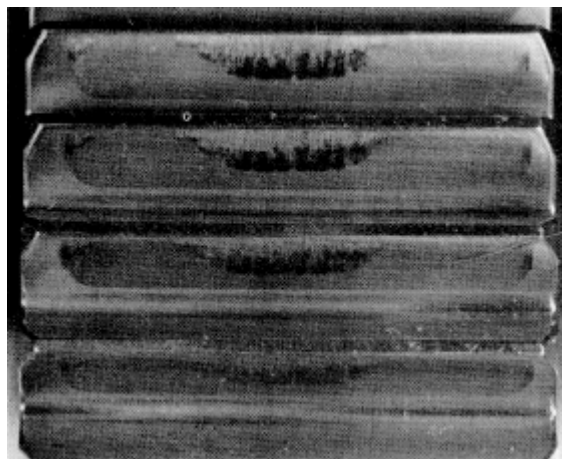
기어 맞물림에서 전달되는 하중이 일반적인 스커핑을 일으킬 만큼 충분히 크지 않아도 변형이나 제작오차에 의해 내부적으로 정렬불량(misalignment) 상태가 되면 기어 치 끝부분에 하중이 집중될 수 있다. 이런 집중하중은 오일유막을 깰 수 있을 정도의 충분한 크기가 되어 이끝에 스커핑이 발생하게 한다(misalignment type scuffing). 그림 4.4는 이런 종류의 손상 보기이다.



[그림 4.4]

이런 성질의 스커피 손상은 조기에, 때론 시험장치에서, 정렬불량 상태를 나타내어 주기 때문에 어떤 면에서 도움이 될 수도 있다. 엔지니어는 이런 상태가 존재하는 것을 인식하고 기어장치가 사용되기전에 해결책을 세울 수 있다. 만일 정렬불량 상태를 찾아내지 못한다면 문제는 상당한 시간이 흐른 후 기어 이끝이 완전히 부서지거나 이 끝에 심한 피팅이 있는 형태로 나타나게 된다.

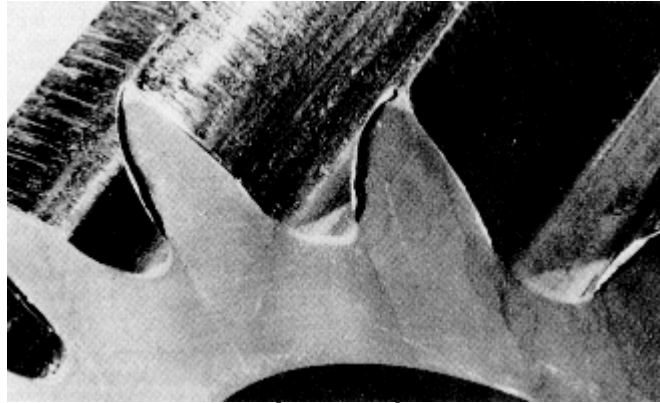
일반적으로 정렬불량 상태는 비틀림각(helix angle)을 수정, 접촉하는 이끝을 깎아냄 또는 상황이 허락하면 잇줄 방향으로 크라우닝을 실시하여 개선할 수 있다. 크라우닝은 기어의 중심 부근에 하중을 집중하게 하는 효과가 있기 때문에 상당한 주의와 해석이 필요하다. 크라우닝은 그림 4.5와같이 하중집중 손상(load concentration failure)를 일으킬 수 있다.



[그림 4.5]

5. 소성유동 (Plastic Flow)

무거운 하중하에서 접촉면이 항복이나 변형될 때 소성유동에 의하여 파손된다. 이것은 높은 접촉응력하에 있는 맞물림의 구름과 미끄럼 동작 결과이다. 일반적으로 냉간 유동(cold flow)는 무르고 중간정도의 경도 재질에서 일어나지만 경화된 기어 표면에서도 일어날 수도 있다. 대부분 이런 소성유동은 그림 5.1에서 보는 것과 같이 기어의 끝과 꼭대기 부분에서 얇은 금속이 매달려 있는 상태를 특징으로 한다.



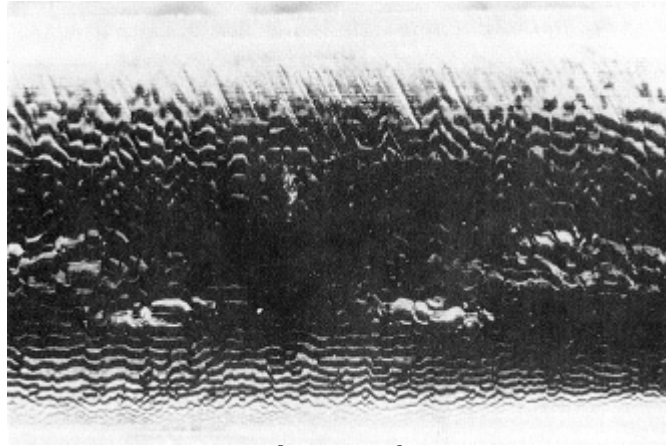
[그림 5.1]

이런 성질의 파손은 작용하중을 줄이고 접촉 부품의 경도를 높이면 줄일 수 있다. 정도(accuracy)를 높이면 기어장치가 소음이나 동하중 없이 작동될 수 있게 도와준다. 그림 5.1의 피니언은 이끝 부분과 잇면 끝에서 소성유동이 일어난 것을 보인다. 보통 경화된 피니언에서 금속유동이 생길려면 큰하중이 필요하다.

[Home](#)

6. 물결무늬항복 (波狀降伏, 리플링, Rippling)

리플링(rippling)은 소성유동과 연관된 파손이다. 대부분 최종 파손으로 몰고갈지도 모르는 리플링은 기어 맞물림의 미끄럼 운동 방향과 90도 근처의 각도로 접촉면에 물결형태로 발생한다. 리플링은 금속 표면층을 변형 시킬수 있는 정도의 높은 응력에 의하여 일어난다. 그림 6.1은 경화처리된 펄기어의 리플링의 예이다.



[그림 6.1]

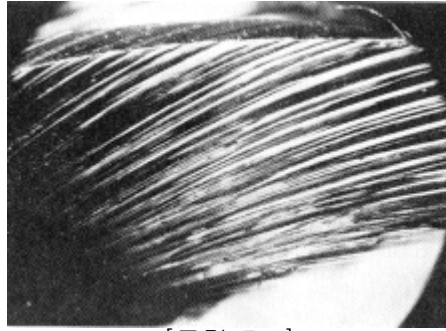
또한 리플링은 혼합윤활영역(mixed lubrication regime)에서 낮은 속도로 운전되는 고하중 기어 표면에서 일어나기도 한다. 응력하에서 구름과 미끄럼 운동은 표면 금속층의 주기적 유동을 촉진한다.

리플링은 기어가 무르다면 기어재질을 경화 시키기도 한다. 접촉응력을 줄이고 오일 점도를 높이면 리플링을 막는데 아주 좋다. 표면 조도를 향상 시키고 오일과 첨가제를 사용하면 기어 맞물림에서 미끄럼힘을 줄이는데 유용하다.

[Home](#)

7. 리징 (條痕降伏, Ridging)

리징(ridging)은 치 작용면 미끄럼 방향으로 산마루 같은 주름이 형성되는 소성유동의 형상중 하나이다. 접촉 부위의 미끄럼 속도가 상대적으로 높은 웜과 웜기어, 하이포이드 기어와 피니언에서 주로 발견할 수 있다. 소성유동은 또한 표면마모와 폴리싱과 연관 되어 있다. 어느정도 시간이 흐르면 산마루 같은 자국이 두드러지며 그림7.1과 같이 이빨 전체를 가로지른 연속된 주름으로 발전한다.



[그림 7.1]

리징은 표면하중을 줄이고 두 접촉 부품사이의 상대 미끄럼 속도를 줄이면 방지 할 수 있다. 윤활유의 점성을 증가 시키거나 극압 첨가제를 사용하는 등 윤활 환경을 개선하는 것도 도움이 된다. 윤활유는 반드시 깨끗하고 미세 연삭마모입자 등이 없어야 한다. 어떤 경우, 합성유를 사용하면 높은 미끄럼에의해 맞물림에서 발생하는 온도를 줄여서 윤활막이 더 지속적으로 유지된다.

[Home](#)

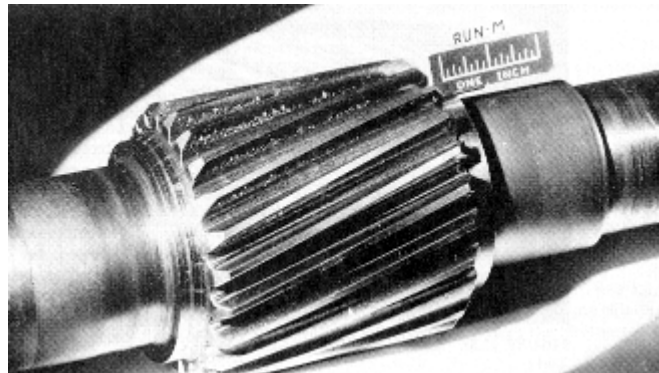
8. 피팅 (Pitting, Surface Fatigue)

표면피로(surface fatigue), 또는 일반적으로 피팅(pitting)이라 부르는 것은 기어 재질이 견딜수 있는 치면용량을 초과 했을 때 나타나는 피로파괴 현상이다. 하중작용 중의 기어는 표면과 표면 아래에 주기적인 응력이 발생한다. 하중이 충분히 높고 응력 주기가 크면 표면에서 작은 입자가 피로한도를 넘어 떨어져 나감으로 접촉면에 작은 흠이나 공동이 생성된다.

표면 손상의 심각성에 따라 (I)초기피팅(initial pitting), (II)급격한 피팅(destructive pitting), (III)스폴링(spalling, 쪼갬, 깎) 세종류의 단계로 분류한다.

1. 일반적으로 초기 피팅의 흠은 2.5 m 이빨에서 지름 0.4 mm, 5 m 정도의 이빨에서 지름 0.8 mm 정도로 꽤 작다. 이 것들은 국부적으로 과다 응력이 작용하는 곳에서 발생하며 높은 접촉응력점을 점차적으로 제거함으로 하중을 재 분배하는 경향이 있다. 하중이 좀더 고르게 분포 되었을 때 피팅 현상은 줄어 들어서 결국 사라진다. 이런 성질의 초기 피팅은 가끔 "교정" 피팅으로도 부른다.

2. 파괴적인 피팅은 좀더 가혹하고 흠은 항상 크다. 파괴적 피팅은 재료의 허용한계와 비교해서 응력 수준이 높을 때 발생한다. 그림 8.1은 전형적인 파괴적 피팅이 일어난 피니언의 모습이다.



[그림 8.1]

이런 성질의 피팅은 치형이 회복할 수 없을 정도로 파괴되기 때문에 항상 치명적이다. 그리고 전달하중이 그대로 유지된채로 작동 된다면 피팅은 점점 악화되어 기어장치가 보수되어야만 하거나 기어이에 크랙과 절손이 발생한다.

3. 스폴링은 파인흠 지름이 크고 상당한 영역에 걸쳐 있을 때 사용하는 용어라는 것을 제외하고는 파괴적인 피팅과 유사하다.



[그림 8.2]

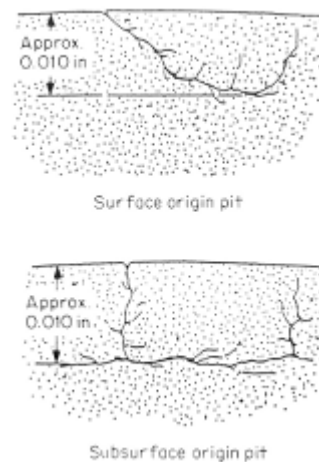
그림 8.2의 스파이럴 베벨 피니언은 스펀링의 대표적인 예이다. 때로 스펀링은 침탄 처리된 기어와 피니언에서 발생한 흠과 큰 조각의 표면 금속이 피로로 인하여 떨어져 나갈 때 일어난다. (이것은 침탄파손과 혼동되어선 안된다) 또한 스펀링은 파괴적인 피팅흠이 상대방에 침입하여 불규칙하고 큰 직경의 공동을 만들 때 형성될 수 있다.

기어가 파괴적인 피팅이나 스펀링에 의하여 파손 될 때 기어 설계자는 광범위한 조사를 하여야 한다. 기어 맞물림이 심각한 정렬오차-대부분 수정 가능하다-증거를 보이지 않는 이상 파괴적 피팅이나 스펀링은 설계가 목표하중을 전달할 수 있는 용량을 가지고 있지 않다는 증거가 된다.

이 경우 재설계는 하중 전달 능력을 증가시키는 방향으로 실시하여야 한다. 중간 경도의 기어는 완전히 경화 되어야 한다. 이는 표면 금속의 지속한계를 피팅을 방지할 수 있을 만큼 충분해 질 수 있도록 증가하는 하는 것이다. 고 용량의 질화처리 금속이나 침탄처리 금속등으로 재질을 바꾸는 방법도 있다. 위 두가지 재질은 피팅능력을 증가하는데 탁월한 효과가 있다.

때로 재질과 열처리를 바꾸는 것 만으로 재설계가 충분하지 않을 수 있다. 이 경우 치폭을 증가 시키면 치폭 단위길이당 전달하중이 줄어 피팅 저항력이 증가 된다. 기어 박스의 중심거리도 증가 시킬 수 있다. 전달 하중을 감소시켜 결국 표면 피팅을 개선하는 방법중 하나이다.

전형적 피팅은 표면아래(subsurface)의 전단응력이 최대가 되는 응집점에서 시작한다. 크랙은 표면 아래 몇만분의 1 mm 깊이 정도에서 시작되어 표면으로 진행되고 작은 금속조각으로 떨어져 나간다. 떨어져 나간 면적의 옆면은 그림 8.3에서 보는 것과 같이 표면에 수직이다.



[그림 8.3]

표면아래 피팅은 표면 응력과 표면 아래의 전단응력, 작용 사이클, 재질 청정도의 함수다. 이것을 기초로 이중 진공 재용융강(? double vacuum remelt steel)과 같은 재질로 표면아래 피팅에 대해 최대 저항력을 가지도록 할 수 있다.

실제로는 산업용 기어 장치의 기어이에서 발생하는 표면 피로의 상당 부분은 표면의 파손에서 발생하는 피팅이다. 경계나 혼합윤활 영역에서 작동하는 기어는 금속-금속 접촉이 상당량 일어난다. 이전 문자를 동작은 표면 개시 크랙 점 생성을 유발한다. 크랙은 이런 표면 위치에서 시작하여 표면 금속으로 전파되어 초기 크랙 시스템이 반복응력 사이클에 의하여 유도 되도록 한다. 표면에서 시작한 흠은 그림 8.3에 구조적으로 보여 준다. 표면 유발 흠은 깊이 방향으로 진행되고 가지를 친 경사면을 가지고 있다. 가지중 하나가 표면으로 향할 때 표면에서 동공이나 흠은 남겨 놓고 작은 금속조각이 떨어져 나간다.

표면 압축의 낮은 지속한계 때문에 동재질의 웜기어는 표면피팅과 스펀링이 쉽게 일어나는 경향이 있다. 그림 8.4는 다수의 작은 흠이 나중에 큰 동공을 형성한 스펀링의 예를 보여준다.

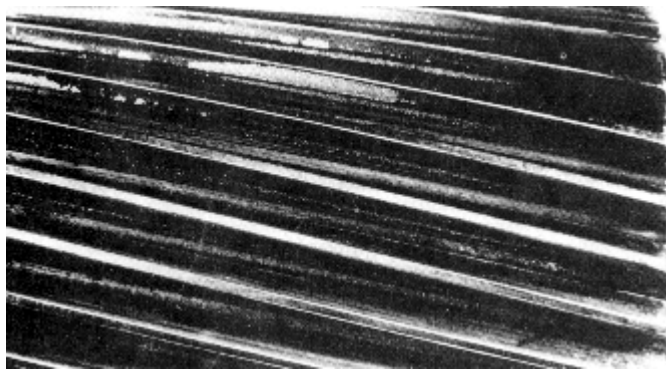


[그림 8.4]

[Home](#)

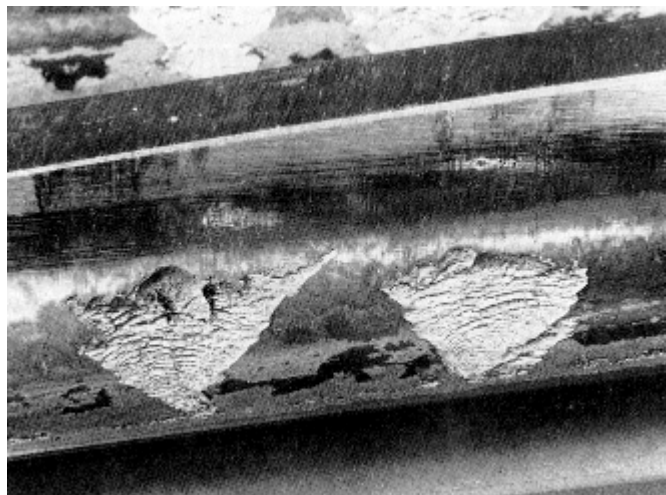
9. 서리형상 피팅 (프로스팅, Frosting, Micro Pitting)

프로스팅(frosting)은 얇은 윤활막 상황에서 일어나는 미세피팅(micropitting)이다. 정상적으로 길들임 된 치 표면이나 폴리싱된 표면의 일부분이 에칭된 것 같은 상태이다. 표면을 확대하면 깊이 0.0001 in 보다 작은 아주 미세한 흠의 영역이 보인다. 그림 9.1은 피니언 이빨에서 전형적인 프로스팅 양상을 보여준다. 이단계의 손상은 미미하다.



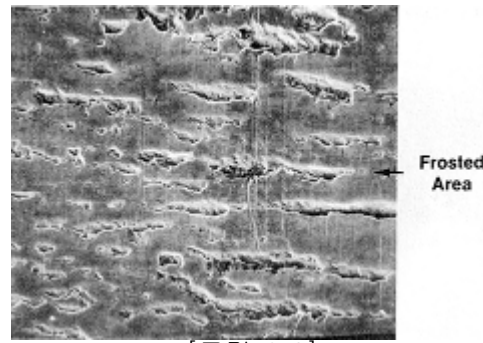
[그림 9.1]

그림 9.2는 디텐덤 영역에서 심각한 프로스팅 상태인 침탄 열처리, 표면연마 피니언이다. 얇고 화살머리 형상의 흠이 이 프로스팅 영역에 발달되어 있다. 이 흠은 상대적으로 깊이가 얇지만 아주 넓은 면적을 차지한다.



[그림 9.2]

그림 9.2의 프로스팅 영역을 400배로 확대한 그림은 그림 9.3 이다. 큰 화살머리 형상의 흠은 이런 미세 흠에서 발전되었다. 넓은 면적의 흠이 한번 형성 되면 피니언이나 기어의 수명은 극히 감소된다.



[그림 9.3]

[Home](#)

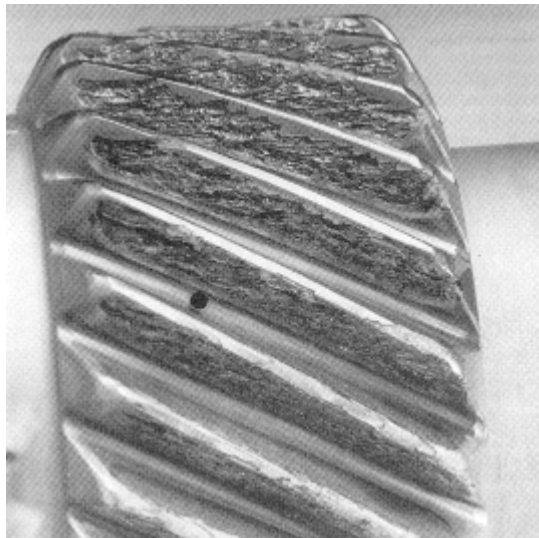
10. 경화층 파손(Case Crushing)

[주]

Case crushing—우리말로 옮기기에는 적합한 단어가 없습니다. 일단 여기에서는 경화층 파손이란 말을 사용하기로 합니다. case hardening에서 유래한 용어라고 봅니다. case hardening은 저탄소강의 표면에 탄소나 질소 또는 혼합가스를 확산 시켜 화학적 조성을 변화게 하여 경도를 향상 시키는 방법입니다. 이것에는 침탄열처리(carburizing), 질화처리(nitriding), 침탄질화처리(carbonitriding), 시안화염처리(cyaniding) 등이 있습니다. 그리고 경화층의 의미로 case를 사용하기도 합니다.

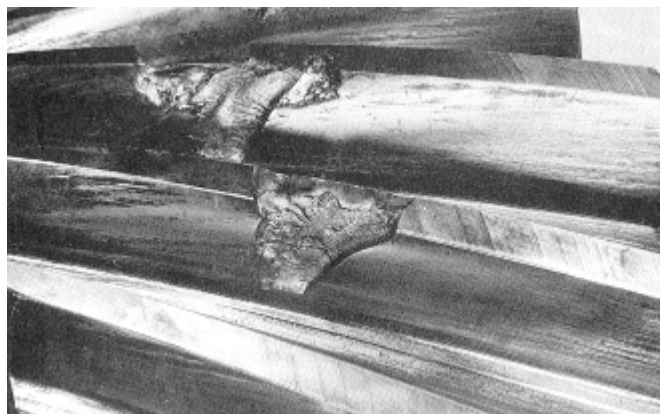
경화층 파손은 재료의 내구한도를 초과 했을 때 표면아래에서 발생하는 파손이다. 비록 파손이 매번 이 지점에서 일어나지는 않지만 파손 시작점은 경화층과 심부 접합층 근처이다. 이 성질의 파손은 표면의 접촉응력, 깊이에 따른 재료 강도, 경화층이 도가 심부보다 극히 단단할 때 그리고 수많은 응력 사이클의 수에 달려 있다.

그림 10.1은 경화층 파손의 좋은 예를 보여주는 질화처리 피니언이다. 단단하게 질화 처리 된 경화층은 표면 아래에서 파손되어 대부분의 경화층 재질이 떨어져 나갔다.



[그림 10.1]

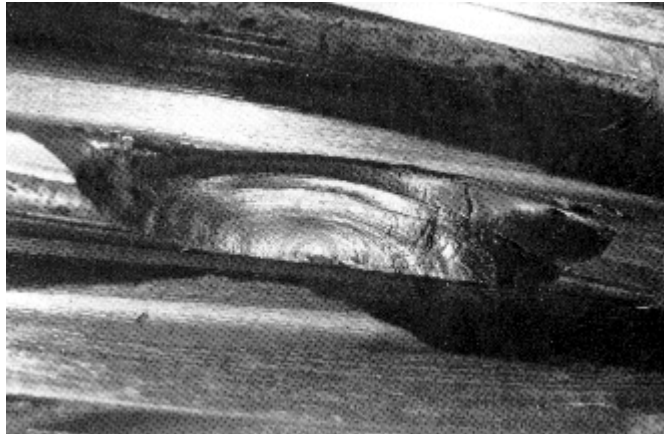
그림 10.2는 더 극부적인 경화층 파손이다. 하중이 이빨 중심점에 집중 되었다. 파손은 경화층과 심부 경계층에서 시작되어 이빨 조각이 떨어져 나갔다.



[그림 10.2]

11. 기어이 절손 (Gear Tooth Breakage)

기어이 절손은 기어이 전체나 일부분이 과부하나 충격, 또는 굽힘응력 작용시 재질 내구한계를 초과하는 반복응력에 의한 피로현상으로 깨지는 파손이다. 그림 11.1은 전형적인 고사이클(high cycle) 피로 파괴이다. 이 파손에서는 초점(focal point)나 특징적인 "눈(eye)", "해변무늬(beach mark)" 과 같은 피로절손을 깨끗하게 볼 수 있다.



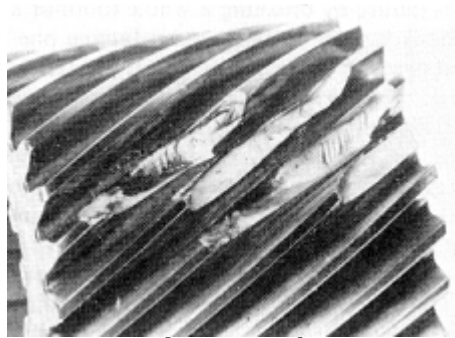
[그림 11.1]

이런 성질의 파손은 설계에서 간과한 초과 하중, 호브 자국(hob tear) 또는 이뿌리 구석 노치, 금속 함유물, 열처리 크랙, 정렬오차 등에서 발생한다. 피로파손이 발전할 때까지 많은 사이클이 필요하다. 이것은 왜 "눈"이나 "해변무늬"를 분명히 관찰할 수 있는가에 대한 설명이다. 절손은 초기에 작은 크랙형성에서 시작한다. 약간의 운동이 피로 "눈"에서 관찰할 수 있는 "프레팅 부식(fretting corrosion)"을 발전시킨다. "해변무늬"는 크랙의 전파를 보여주며 파손이 될 때 까지 시간이 필요한 것을 의미한다. 일반적으로 절손면은 실제 파손이 일어 날 때까지 상당한 양의 크랙 표면 운동이 일어난 것을 의미 하듯이 매우 부드럽다. 마지막 파손 영역에서는 빠른 크랙 성장을 보이는 거친 표면을 가지고 있다.

[Home](#)

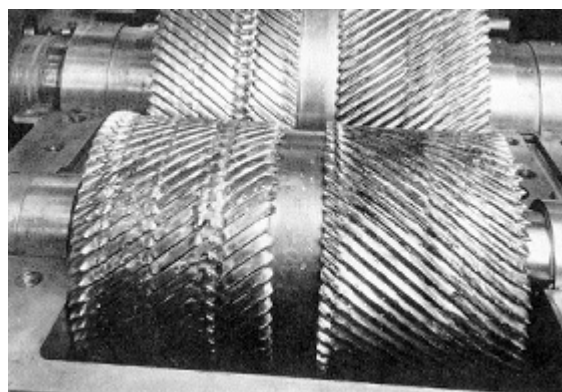
12. 과부하 절손 (Overload Breakage)

과부하 절손은 섬유표면같은 단면을 보이는 절손이다. 단단한 재질일 수록 좀더 부드럽게 보이거나 절손면은 피로의 증거가 보이지 않고 갑자기 순간적으로 잡아 떼어낸 것 같은 모양이다. 과부하 절손은 갑작스런 정렬오차나 기어 변속기를 순식간에 작동 불능인 상태로 만드는 베어링 파손, 큰 외부 이물질이 이빨 사이에 끼어들었을 때 등의 원인에 의하여 일어난다. 그림 12.1 과부하 절손에 의하여 파손된 침단 열처리한 헬리컬 피니언이다. 접촉 영역내의 잇수에 해당하는 부분의 이 몇개가 떨어져 나간 모양이 흥미롭다.



[그림 12.1]

떨어진 기어 조각이나 외부 이물질이 맞물림 사이에 끼어 들었을 때 대대적인 파손으로 연결 된다. 그림 12.2는 기어 맞물림에서 떨어져나간 어떤 모서리가 전체 기어 파손을 일으킨 예이다.



[그림 12.2]

많은 경우 기어 절손은 과도한 마모나 피팅 파손의 2차 효과다. 그림 12.3은 절손된 이빨에 파괴적 피팅과 스폴링이 결합된 스퍼기어이다. 이사진은 과도한 피팅에 의한 응력 발생에서 피로 크랙이 시작 된 것을 확실히 보여준다.



[그림 12.3]

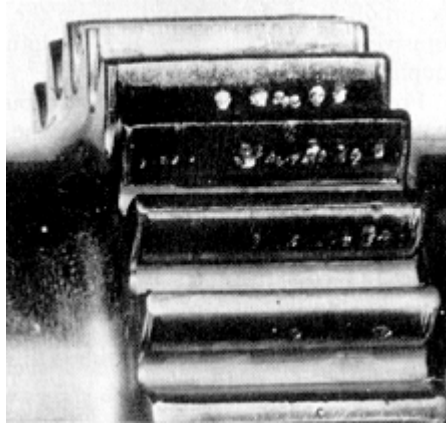
기어이가 절손 되었을 때 조사자는 파편을 모아 파손이 제일먼저 일어난 기어이를 꽤 정확하게 추정할 수 있다. 기어이 모서리 부분이 주로 떨어져 나간 것은 특별한 원인이 있을 수 있다. 정렬오차가 주원인이며 접촉흔적을 주의 깊게 해석함으로서 알아낼 수 있다. 때로는 기어가 조립시나 제작시 손상을 입을 수 있다. 우연히 기어 이 끝이 찌그러 졌다면 이부분에서 기어이 표면에 뭉뚝한 재질이 형성, 심한 과부하 작용 함으로 이부근의 이 단면에서 부터 피로 파손 된다.

[Home](#)

13. 기어 파손의 다른 형태 및 원인

앞에서 언급한 범주에 정확하게 들어 맞지 않는 많은 기어 파손이 있다. 몇가지 크게 다른 경우에 대하여 여기 소개 한다.

간단한 윤활 실패가 전체 기어박스의 완전한 파손을 일으킬 수 있다. 예를 들어, 만약 윤활 라인이 파손 되거나 운전자가 윤활 시스템을 작동하지 않으면 전체 기어박스는 오일 부족에 시달린다. 결국 극심한 과열, 베어링 파손, 심하게 굽히거나 흠이 생긴 기어이가 된다. 이런 성질의 파손이 그림 13.1이다.



[그림 13.1]

이파손은 과도한 열발생 흔적(진청색)이 있다. 따라서 경도가 약화, 경도 부족에 의한 조기 피팅이 진행 중이다.

기어박스의 오일 부족과는 달리 쉽게 찾아내기 어려운 윤활제 문제가 있다. 이것 중에는 (1)오일 윤활막을 형성할 정도로 점도가 충분히 높지 않을 경우, (2) 윤활제의 "미끄럼성(oiliness)"이 맞물림 마찰력을 견딜 수 있을만큼 높지 않을 때, (3) 윤활제가 적절하게 적시는 성질(wetting)이 없을 때, (4) 윤활제가 오염물질이나 파편, 해로운 화학적 부산물등을 형성 할 때, (5) 윤활제가 산화되거나 슬러지를 발생하여 필터 통과를 방해, 정제되지 않고 바이패스된 오일이 베어링이나 기어 맞물림에 공급될 때 등이다.

때로는 오일 노즐의 위치와 설계가 기어박스 운전에 영향을 준다. 베어링과 기어 맞물림 위치에 윤활과 열발산을 위한 적당한 양의 오일을 공급하는 문제는 아주 중요하다. 만일 노즐이 기어와 베어링 표면을 적당하게 적시지 못한다면 반드시 조정이 필요하다. 노즐을 더 추가하거나 노즐 위치를 조정해야 한다. 때로 맞물림에서 발생하는 바람에 의하여 오일 노즐이 이 장벽을 넘지 못하는 경우가 있다. 따라서 기어 맞물림 바람을 관통할 수 있을 정도로 적절한 분출 속도를 얻기 위해서 좀더 높은 압력이 필요하다.

[Home](#)