

한지재료의 부식특성 및 찰과마멸 거동

곽 남 인 · 임 우 조* · 이 종 략**

부산기능대학 금형기술과, *부경대학교 공과대학, **한국가스안전공사 연구개발실
(1999년 9월 13일 접수, 1999년 12월 14일 채택)

Behaviour of the Fretting Wear and Corrosion Characteristics on a Hinge Material

Nam-In Kwak · Uh-Joh Lim* and Jong-Rark Lee**

Dept. of Die & Mold, Pusan polytechnic collage

**Dept. of Mechanical Eng., Pukyong Nat. University,*

***R&D Center, Korea Gas Safety Corporation*

(Received 13 September 1999 ; Accepted 14 December 1999)

요 약

일반강구조물로 많이 사용되고 있는 SM20C, BsC3 및 STC4H에 대하여, 여러 가지 부식환경(지하수(6,000 $\Omega \cdot \text{cm}$), 0.5% H₂SO₄ 및 0.5% HNO₃) 침지하에서의 부식특성 및 건조상태에서의 찰과마멸특성실험에 의한 이종금속간의 찰과마멸특성을 고찰하였다. 침지시험의 경우, 이들 금속의 전위값은 HNO₃, 지하수, H₂SO₄ 순으로 크게 나타났으며, BsC3을 제외한 동재금속보다 이종금속의 전위가 높았다. 동종재인 SM20C의 마멸은 회전축의 경우가 이동축보다 약 1.9배 증가하였으며, 이는 마찰력에 의한 표면경화가 그 원인인 것으로 추측된다.

Abstract - In the study, corrosion characteristics under various corrosion environments(neutral solution, acid solution), for various hinge materials(SM20C, BsC3 and STC4H), were investigated by immersion test, and the behaviour of fretting wear under atmosphere was studied. In immersion test, corrosion potential of those materials showed to be noble in the sequence of 0.5% HNO₃ > underground water > 0.5% H₂SO₄ solution, and potential of a sole material, except BsC3, was more noble than these of mixed materials. In same material SM20C, the fretting wear loss of rotary materials increased about 1.9 times to that of moving materials, because of surface hardening by frictional force.

Key words : Different metal, Fretting wear corrosion, Hinge, Corrosion potential, Wear loss

1. 서 론

각종 산업의 지속적인 발전과 더불어 금속구

조물과 시설물 및 기계장치와 시설 등은 조립 및 체결을 위하여 볼트, 핀, 리벳 및 용접 등을 이용하고 있으며, 핀을 비롯한 구동부 힌지

(Hinge)의 경우 치수의 정밀도가 구조물 및 기계장치의 작동과 안전유지에 중요한 역할을 하고 있다. 그러나 이들 각종 기계구조물에 이용되고 있는 힌지나 핀의 접촉면은 미약한 상대운동이나 진동 등에 의해서 마찰되고, 마찰되고 있는 힌지나 핀과 조합된 구조물 부재의 금속표면은 마멸이 발생한다[1]. 이 마멸된 금속의 새로운 노출면은 대기중 산소의 흡착으로 산화되고 그 산화물이 다음의 진동으로 다시 마멸됨으로써 일어나는 마멸과 부식의 반복작용인 찰과마멸부식(Fretting Corrosion)을 일으키게 된다[2].

고체의 마멸부식은 복잡한 과정으로, 여러 가지 인자들 때문에 그 연마과정에 있어서 성질의 변화가 매우 커지므로 응착마멸을 기초로 한 마멸부식의 문제를 고찰함이 좋다.

그리고 주변환경은 아황산가스(SO₂) 및 일산화탄소(CO)의 배출량이 증가되어 대기가 오염화되는 추세이고, 결로(結露)현상이나 습도가 약 50%이상의 습윤환경에 의해 황산이나 질산으로 되며, 더욱이 산성비 등으로 인해 산성인 부식환경조건[3-6]으로 될 수 있으므로, 산성 및 해염인자의 부식환경조건하에서 부식 특성에 대하여 연구할 필요가 있다[7,8].

따라서 본 연구에서는 금형의 가이드포스트(Guide post) 및 부싱(Bushing)의 재료로 많이 사용되는 탄소공구강(STC4), 일반구조용강(SM20C), 황동주물(BsC3) 등에 대하여 여러 가지 부식환경조건하에서 침지실험에 의한 부식특성 및 찰과마멸실험에 의한 건조상태에서의 이중금속간 찰과마멸 특성을 검토하였다.

2. 시험편 및 실험방법

2.1. 시험시료 및 시험편

본 실험에 사용한 재료는 탄소공구강(STC4), 일반구조용강(SM20C) 및 황동주물(BsC3)재료 하였으며, 이들 시험재료의 화학적 성분과 기계적 성질은 Table 1과 같다.

여기서 탄소공구강이 프레스 금형에 이용되어 질 때, Guide post와 부싱은 금형에서 펀치 및 다이의 위치결정에 매우 중요한 역할을 하기 때문에 반드시 열처리후에 연마하여 치수공차가 일반적으로 ±0.02mm 이내에서 사용해야 하며, 열처리된 시험편을 STC4H로 표기하였다. 열처리방법은 860℃로 가열한 다음 1시간 유지후 60℃로 oil quenching하여, 다시 180℃

까지 가열하여 3시간 유지후에 템퍼링을 실시하여 공기중에서 공냉하였다. 구동측 시험편에 SM20C를, 회전측 시험편에 STC4H, SM20C 및 BsC3을 사용하였다.

Table 1. Chemical composition and mechanical properties of used material

(a) Chemical composition (Wt %)

Material	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Cu	Pb	Sn
STC4	0.95	0.18	0.4	0.022	0.002	0.10	0.20	0.20	-	-
SM20C	0.18	0.34	0.9	0.024	-	0.04	0.02	0.034	-	-
BsC3	-	-	-	-	-	0.09	-	57.25	2.31	0.308

(b) Mechanical properties

Material	T.S (MPa)	Y.S (MPa)	Elongation (%)	Hardness (HRC)
STC4H	-	-	-	58 - 60
SM20C	461 - 471	312 - 324	-	-
BsC3	284 - 294	-	35	60-62(HRB)

2.2. 시험편

이동측 시험편은 원형의 블록형이며, 회전측 시험편으로는 실린더형으로 제작하여 선삭가공후에 양면 연삭하였다. 또한 마찰면의 표면조도는 에머리 페이퍼 #1200으로 정면연삭하여 최대 높이 Rmax는 약 0.1μm로 유지하도록 하였으며, 그 표면조도의 상태는 가능한 균일한 조도가 되도록 하였다.

또한 정면 연삭가공으로 인한 시험편의 변질층을 최소한으로 하기 위하여 절삭속도는 저속으로 하고 냉각수는 충분히 공급하면서 가공하였고 가공중에 발생한 표면의 자력은 탈자기(脫磁機)로 자력을 탈자한 후 실험하였다. 2.3 실험장치 및 실험방법

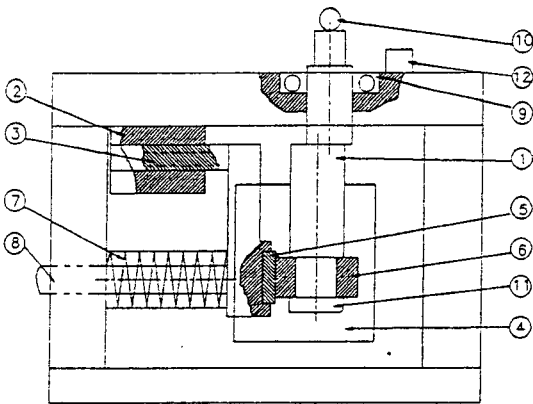
2.3. 침지실험

사용한 시험편은 STC4H, SM20C 및 BsC3을 이용하여, 단일시험편과 이중시험편을 각각의 부식환경에 넣어 실험하였다. 부식환경이 3.5% NaCl, 0.5% HNO₃, 0.5% H₂SO₄ 용액 및 비저항이 6,000(Ω·cm)인 지하수 분위기에서 침지실험을 실시하였으며, 침지시간은 8시간이다.

시험편표면은 에머리페이퍼 1200까지 정밀연마한 다음, 불순물을 제거하기 위하여 초음파 세정을 실시한 후 감도 0.1mg의 디지털 천칭으로 시험편의 중량을 측정하였으며, 환경변화에 따른 무게감량을 측정하기 위하여 일정시간이 경과한 후 초음파 세척하여 감량을 측정하였다.

2.4. 찰과마멸시험

본 실험에 사용된 찰과마멸시험에 사용된 실험장치의 전체계통도는 Fig. 1과 같으며, Radial형 마멸시험장치이다. 회전축은 2mm의 편심축을 이용하였으며, 이동축의 시험편은 4mm의 변위를 가지고 왕복운동을 하도록 하였다. 또 코일형 압축스프링을 이용하여 이동축의 압력을 20~60 MPa로 변화를 주었다. 또한 이동축 시험편의 왕복회수는 90 rpm으로 하였다.



- | | |
|-----------------------|------------------------|
| 1. Eccentricity Shaft | 7. Compression Spring |
| 2. Moving Guide | 8. Spring Bar |
| 3. Moving Die | 9. Radial Ball Bearing |
| 4. corrosion Cell | 10. R.P.M gauge |
| 5. Moving Specimen | 11. Washer |
| 6. Rotary Specimen | 12. Timer |

Fig. 1. Schematic diagram of experimental apparatus.

3. 결과 및 고찰

3.1. 침지상태에서의 부식환경변화에 따른 특성

Fig. 2는 0.5% H₂SO₄용액중에 여러종류의 시험편을 단일 혹은 이중시험편을 침지하여 2시간에서 8시간까지 침지시험에 따른 무게감소량을 나타낸 것이다. 여기에서 이중금속의 무게감소량은 상대금속에 대한 SM20C재의 무게감소량을 의미한다. 본 실험기간중에는 고전위 금속인 BsC3의 화학적 부식에 의한 무게감량은 없으며, 이중금속재(BsC3, SM20C)의 경우는 2시간까지 비례적으로 SM20C에서 무게감소량이 증가하고 있으며, 시간이 경과함에 따라 무게감소량의 증가가 거의 없으며, 이는 부동태 영역으로의 진행이 이루어지고 있는 것으로 사료된다. 또 STC4H가 단일 금속중 가장 심한 화학적 부식 감소를 나타내는데, H₂SO₄용액에서 BsC3, SM20C보다 민감한 반응을 보이는 것으로 추정된다.

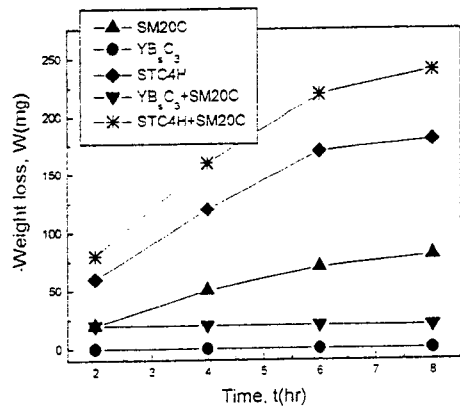


Fig. 2. Weight loss of SM20C, BsC3, STC4H, STC4H+SM20C and STC4H+SM20C in 0.5% H₂SO₄ Solution.

Fig. 3은 0.5% HNO₃용액중에서의 시간경과에 따른 무게감소량을 나타낸 것이다. STC4H+SM20C의 경우 2시간 경과후 다소 심한 무게감소량을 보이다가 점진적인 양상을 보이고 있는데, 이는 부동태막의 생성이 늦어지고 강산성질에 취약함을 보이고 있는 것으로 추정된다. 그리고 BsC3+SM20C의 경우 약 6시간이 지나면서 무게감량이 증가하는 것으로 보아 BsC3이 0.5% HNO₃용액중에서 일정시간이 지나면 SM20C의 화학적 부식을 억제하지 못하

는 것으로 생각된다.

Fig. 4는 실험에 사용된 재료들의 부식환경에 따라 전위를 측정 정리하여 나타낸 것이다. 본 실험에 사용한 모든 금속은 HNO₃, 지하수, H₂SO₄용액순으로 전위값이 크게 나타났으며, BsC3을 제외한 단일 금속보다 이종재질의 전위가 높으며 이종재(STC4H, SM20C)의 경우 SM20C보다 높고 STC4H보다 낮게 나타났으나 0.5%H₂SO₄ 용액속에서 높게 나타내고 있다.

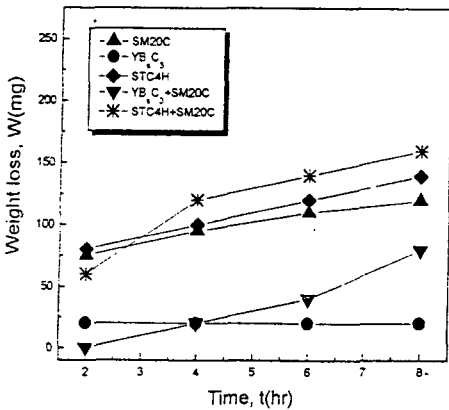


Fig. 3. Weight loss of SM20C, BsC3, STC4H, STC4H+SM20C and STC4H+SM20C in 0.5% HNO₃ Solution.

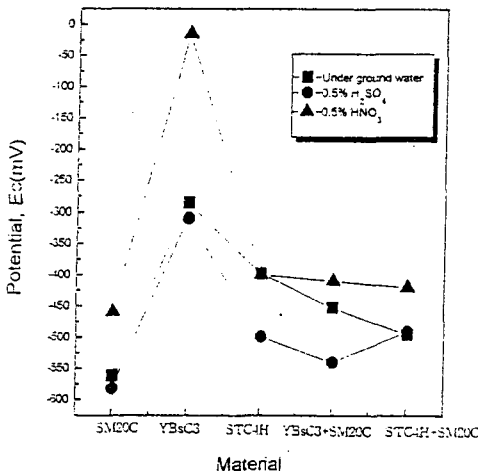


Fig. 4. Potential of SM20C, BsC3, STC4H, STC4H+SM20C and STC4H+SM20C in various corrosion condition.

3.2. 건조상태의 찰과마멸 특성

3.2.1 건조 찰과마멸 거동

Fig. 5에 대기중에서 접촉압력(P)을 2~6 kgf/mm²로 변화시키고, 90 rpm으로 일정하게 회전시키면서, 이동측에는 SM20C재를, 회전측에는 SM20C, BsC3 및 STC4H재로 하였을 경우에 대하여 시간경과에 따른 찰과마멸량(W)을 나타내었다.

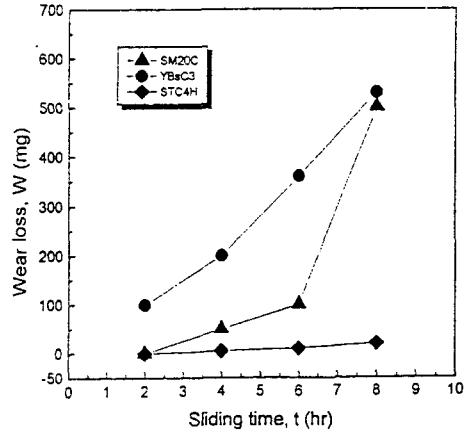


Fig. 5. Relation between wear loss of SM20C, BsC3 and STC4H(rotary specimen) contacted with SM20C(moving specimen) and sliding time in air.

BsC3재의 마멸량은 다른 재료의 마멸량보다 가장 많이 증가하고, 거의 직선적으로 증가하는 경향을 나타내고 있다. SM20C재는 약 6시간까지 다소 완만한 마멸거동을 보이다가 다시 급격하게 증가하는 양상을 보이고 있으며, STC4H재는 약 2시간 경과후 미세한 마멸현상이 나타나고 있다. 이는 연성재질인 BsC3재의 마멸량은 가장 많이 증가하고, STC4H는 경도가 높기 때문에 마멸량이 극히 적은 것으로 생각된다. 특히 동일 재료인 SM20C재는 다소 완만한 마멸거동을 보이다가 다시 급격히 증가하는 이유로 초기에는 동일한 재료의 마찰표면에 마멸분(磨滅粉)이 윤활작용에 의해 완만한 마멸양상을 나타내다가 시간이 경과되면서 마찰에 의해서 누적된 윤착마멸분이 탈리(脫離)되면서 마멸량이 급격히 증가하는 것으로 사료된다.

다.

Fig. 6은 대기중에서 접촉압력(P)을 2~6 kgf/mm²로 변화시키고, 90 rpm으로 일정하게 회전시키면서, 시간경과에 따른 회전측 SM20C, BsC3 및 STC4H와 이동측 SM20C와의 찰과부식에 의한 SM20C의 마멸량(W)을 나타낸 것이다. 동종재료인 마찰에서 이동측 SM20C의 마멸량은 이종재와 마찰된 이동측 SM20C의 마멸량보다 매우 민감한 마멸거동을 보이고 있다. 또 BsC3와의 마찰된 이동측 SM20C의 마멸량은 거의 일어나질 않을 정도로 미세하고 나타나고 있다. 이와 같이 BsC3과 마찰된 이동측 SM20C가 거의 마멸이 일어나지 않는 것은 연성재료인 BsC3으로부터 마멸된 금속마멸이 윤활제작용을 함으로서 이동측 SM20C의 마멸은 거의 일어나지 않는 것으로 판단된다.

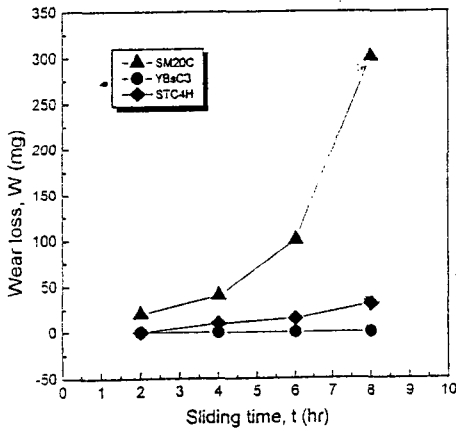


Fig. 6. Relation between wear loss of SM20C(moving specimen) contacted with SM20C, BsC3 and STC4H(rotary specimen) and sliding time in air.

3.2.2 건조 찰과마멸의 표면특성

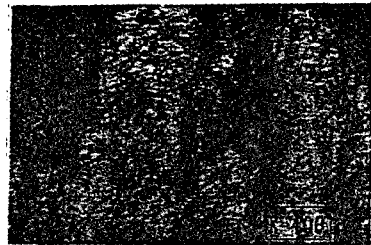
Photo. 1은 대기중에서 회전측 SM20C, BsC3 및 STC4H와 이동측 SM20C와의 마찰에 의한 마멸면의 양상을 나타낸 것이다. 여기서 (a)는 SM20C와 마찰된 이동측 SM20C의 마멸면, (b)는 BsC3과 마찰된 이동측 SM20C의 마멸면, (c)는 STC4H와 마찰된 이동측 SM20C의 마멸면을 나타낸다.

동종재의 마찰인 SM20C의 마멸면은 금속마멸분에 의해 굵은 자국과 금속마멸분의 부착

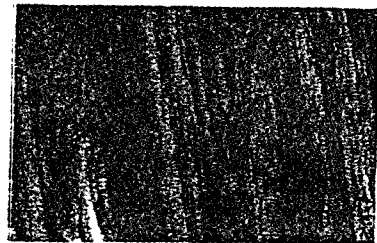
그리고 마멸분이 탈리된 양상을 나타내고, 이러한 양상은 동종재의 마찰에 의한 SM20C의 찰과마멸부식이 민감하게 하는 원인으로 생각된다. 또 BsC3과 마찰된 SM20C의 마멸면은 BsC3의 마멸분으로 추정되는 것이 SM20C의 표면에 응착되어 있는 현상을 보이고 있다. SM20C의 마멸면에 부착된 연성재료인 BsC3의 마멸분은 SM20C의 마멸면에 피막현상과 윤활작용으로 동종재의 마찰에서보다 마멸이 크게 억제되는 것으로 사료된다. 그리고 STC4H와 마찰된 SM20C의 마멸면은 마멸된 자국만 나타날 뿐 부착된 금속마멸분이나 마멸분의 탈리현상은 거의 나타나지 않는 것으로 나타나 마멸량이 가장 적게 나타나는 원인으로 생각된다.



(a) SM20C contact with SM20C



(b) SM20C contact with YBsC3



(c) SM20C contact with STC4H

Photo. 1. Photographs of the rubbed surface in air.

3.2.3 찰과마멸부식 표면의 기계적 특성

Fig. 5와 Fig. 6의 결과에서, 동종재인 SM20C의 찰과마멸거동을 살펴보면, SM20C이 회전측인 경우의 마멸량이 이동측인 경우의 마멸량보다 약 1.9배 정도 증가함을 보이고 있다. 이와 같은 양상을 정량적으로 고찰하기 위하여 공기중에서 건조찰과마멸 실험후의 이동측 시험편과 회전측 시험편 그리고 찰과마멸실험 이전의 SM20C의 기계적인 특성인 경도를 Fig. 7에 나타내었다.

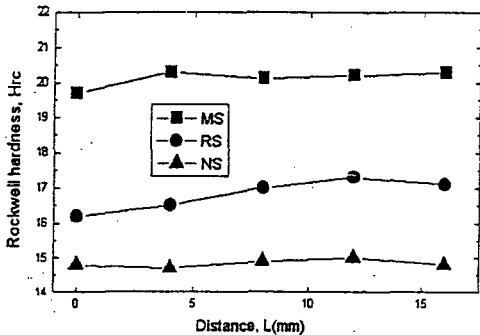


Fig. 7. Hardness of Moving specimen (MS), rotary specimen (RS) and no-load specimen (NS) for SM20C in air.

이 결과에 의하면 건조찰과마멸실험을 하지 아니한 SM20C의 경도값은 H_{RC} 15이지만, 건조찰과마멸 실험후 회전측 시험편의 경도값은 약 H_{RC} 16.2~17 정도로 나타나고, 실험후 이동측 시험편의 경도값은 H_{RC} 20으로 높게 나타나고 있다. 이와 같이 건조찰과마멸 실험후 경도값이 높게 나타나는 것은 마찰에 의한 표면 경화현상에 의해 경도값이 높게 되는 것으로 추측된다. 또 회전측 시험편에서 경도값이 H_{RC} 16.2~17 범위를 보이는 것은 회전측 시험편이 편심륜이므로 마찰력이 다르기 때문이다. 또한 실험후 이동측 시험편의 경도값이 약 20으로 더 높게 나타나는 이유는 회전측 시험편보다 마찰면적이 적으므로 마찰력이 크게 되어 가공 경화의 영향을 크게 받기 때문인 것으로 생각된다. 특히 건조찰과마멸 실험후 회전측 시험편의 경도값보다 이동측 시험편의 경도값이 높게 나타남으로서 Fig. 5에서 회전측 SM20C의

마멸량보다 약 1.9배로 더 증가되는 원인으로 추론된다.

4. 결론

본 연구에서는 현지재료로 많이 사용되는 STC4 (탄소공구강), SM20C (일반구조용강), 황동 등에 대하여 여러 가지 부식환경조건하에서 침지실험에 의한 부식특성 및 찰과마멸실험에 의한 건조상태에서의 이종금속간 찰과마멸 특성을 연구한 결과는 다음과 같다.

- 1) 모든 금속의 전위값은 은 HNO₃, 지하수, H₂SO₄ 순으로 크게 나타났으며, BsC3을 제외한 단일 금속보다 혼합금속의 전위가 높았다.
- 2) 동종재료인 마찰에서 이동측 SM20C의 마멸량은 이종재와 마찰된 이동측 SM20C의 마멸량보다 매우 민감한 마멸거동을 보였으며, BsC3와의 마찰된 이동측 SM20C의 마멸량은 거의 일어나질 않을 정도로 미세하였다.
- 3) 동종재인 SM20C의 찰과마멸부식에 의한 마멸거동은 회전측 SM20C의 마멸량이 이동측 SM20C 보다 약 1.9배로 더 증가함을 보이고 있으며, 이는 마찰력에 의한 표면 경화의 원인으로 추측된다.

참고 문헌

1. Herbert H. Uhlig and R. Winston revie, "Corrosion and corrosion control" 157-162 (1984).
2. 윤병하, 김대룡, "금속의 부식과 방지개론", 141-142 (1994).
3. 정선모, 남평우, 최재찬, "기구학", 200 (1986).
4. 新川里萬, "金屬の腐食損傷と防食技術", 40-46 (1983).
5. Mars G Fontana, "Corrosion Engineering", 386.
6. ASME, "Erosion, wear and interfaces with corrosion", 292 (1974)
7. 임우조, 이진열, "캐비테이션에 의한 베어링재의 腐蝕浸蝕에 관한 연구 (I), 한국부식학회지, Vol.20, No.4, 285-289 (1991).
8. 日本腐食防食協會, 防食技術便覽, 日刊工業新聞社, 222-223 (1987)