

재생 초경합금 분말을 활용한 금속기지 복합재료의 Abrasion 마모거동

강남현 · 채현병 · 김준기[†] · 최종하* · 김정환

한국생산기술연구원 정밀접합 · 용접팀
*세화엔지니어링(주)

Abrasion Wear Behavior of Recycled Tungsten Carbide Reinforced Metal Matrix Composite

Nam-Hyun Kang, Hyun-Byung Chae, Jun-Ki Kim[†], Jong-Ha Choi*, and Jeong-Han Kim

Advanced Welding & Joining, Korea Institute of Industrial Technology, Chonan 330-825, Korea
*Saehwa Engineering Co. Ltd., Incheon 404-330, Korea

(2003년 10월 25일 받음, 2003년 12월 5일 최종수정본 받음)

Abstract The abrasion wear behavior on the hardfacing weld was investigated by performing abrasion wear, hardness, and microstructural tests. The gas metal arc(GMA) weld was produced by using the cored wire which was filled with the hard metal, i.e., the recycled tungsten carbide (WC) reinforced metal matrix composite. For 30% addition of the hard metal, the abrasion wear resistance was significantly improved comparing with that for 20% addition of the hard metal. Above 30% addition of the hard metal, however, there was no significant improvement of the wear resistance. The improvement of the wear resistance was due to the increased amount of eutectic carbides(W_6C) which was formed during GMA welding. For the weld in which the hard metal was added to 30-40%, an optimum level of abrasion wear resistance was performed.

Key words hardfacing, tungsten carbide, abrasion wear, cored wire, hard metal

1. 서 론

하드페이징(Hardfacing)은 기계부품의 내마모성을 향상시키기 위하여 내마모성이 우수한 금속을 연강이나 스테인리스강과 같은 모재의 표면에 균일하게 용접하는 방법이다. 내마모 성질이 요구되는 산업설비 부품에는 일반적으로 크롬탄화물(Cr_7C_3) 분산강화 하드페이징 재료가 쓰이고 있는데, 용접시 유독한 Cr fume을 다량 발생하는 문제점이 있다. 인체에 유해한 Cr fume 발생이 없고 내마모성도 우수한 내마모 재료로는 텅스텐탄화물(WC) 분산강화 하드페이징 재료가 있다.

WC는 다른 탄화물에 비해 고경도이면서 어느 정도의 소성변형성과 용융금속에 대한 높은 젖음성을 보이기 때문에 내마모 용도를 위한 고경도 재료로서 널리 사용되고 있다.^{1,2)} 그러나 고가의 WC 분말 사용에 따른 제조단가 문제와 WC 분말을 용융시키지 않기 위해 산소-아세틸렌 용접과 같은 저에너지 용접의 적용에 따른 생산성 저하 등의 문제로 인해 널리 사용되지 못하고 있다.³⁾

WC를 주성분으로 하는 초경합금은 수명이 다한 경우 적절한 재활용 방법이 없어 대부분 폐기되어 왔으나 최근 초경합금의 분말화 제조기술과 재생 초경합금 분말을 이용한 용접기술이 개발되면서 경제적인 하드페이징

용접재료로서의 활용이 기대되고 있다⁴⁾. 초경합금 분말의 최적충진율을 찾아 내마모성을 유지함과 동시에 WC 분산강화 하드페이징 재료를 대체할 수 있는 저렴한 비용의 재생 텅스텐탄화물을 활용한 초경합금 코어드와이어(cored wire)를 개발하기 위해서 본 연구에서는 재생 초경합금 분말의 함량에 따른 하드페이징 용접부의 금속조직학적 특성과 abrasion 마모거동에 대하여 조사하였다.

2. 실험 방법

균일한 크기의 재생 초경합금 분말을 공급하기 위해서 수집된 폐기 초경합금 부품들은 분쇄 후 경계성을 고려하여 40 mesh 이하의 분말로 실험을 수행하였다. 하드페이징 용접에 사용된 코어드와이어는 마일드강을 피복재로 하여 재생 초경합금 분말을 20~40 wt.%가 되도록 충전하여 제조하였다. 피복재와 충전 분말의 화학조성을 Table 1에 나타내었으며 자세한 코어드와이어 제조법은 참고문헌⁴⁾에 포함되어 있다.

하드페이징 용접은 역극성 gas metal arc(GMA) 용접으로 수행되었으며 $26 \times 76 \times 12$ mm의 마일드 강재 위에 Fig. 1과 같이 1층 용접을 하였다. 용접출력으로는 350 A \times 32 V를 사용하였다. 보호가스로는 순수 Ar을 사용하였으며 유량은 20 ml/min이었다. CTWD(contact to

[†]E-Mail : jkim@kitech.re.kr

Table 1. Composition of recycled hard metal and sheath.

	W	Co	Fe	Cr	Si	Ti	Ni	C
Hard metal	55.3	5.1	19.9	2.4	8.6	1.7	3.4	3.6
Sheath	-	0.3	Balanced	0.3	-	-	0.3	0.2

(wt.%).

work distance)는 20 mm였으며 토치 이동속도는 8 mm/sec 이었다. 마모시편은 육성용접부 표면을 연마한 후 모재를 밀링하여 26×76×12 mm 치수로 제작되었다. 최종 연마 후 표면에 남아있는 하드페이싱 두께는 3 mm 이상을 유지하였다. 마모시험은 ASTM G 65 규격에 따라 제작된 Engineer Data Net의 AB-23 model 시험기와 표준 샌드를 사용하여 procedure B로 수행하였다. 시료의 마모저항성을 평가하기 위해 시험 전후의 무게를 측정하여 무게손실량을 측정하였다. 동시에 재료의 내마모성에 영향을 미치는 것으로 알려진 재료의 경도를 평평하게 연마된 시편표면에 대하여 Rockwell C-scale로 측정하였다. 시편의 미세조직과 상 분석은 각각 SEM(scanning electron microscopy)과 XRD(x-ray diffraction)을 이용하여 조사하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 충전율에 따른 abrasion 마모거동

초경합금 분말의 충전율에 따른 abrasion 마모거동을 Fig. 2에 나타내었다. 충전율이 20%에서 30%로 증가됨에 따라 마모손실량이 71 mg에서 42 mg으로 급격히 감소되었음을 알 수 있다. 30% 이상의 충전율에서는 마모손실량의 감소화 경향이 크게 둔화된 것을 볼 수 있다. 이는 재생 초경합금 분말의 함량이 30% 이하의 경우 내마모성 향상에 상당한 영향을 미치고 있음을 보여주고 있다. 그러나 충전율 30%를 전후해서 육성용접부의 마모 특성 또는 마모기구에 큰 변화가 있음을 나타낸다.

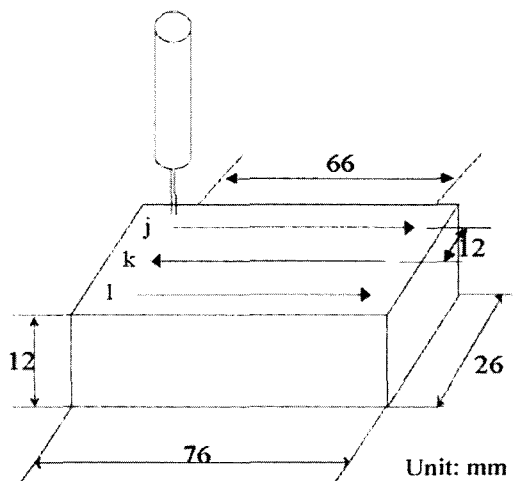


Fig. 1. Gas metal arc(GMA) welding for producing the abrasion wear specimen.

3.2. 경도와 마모거동과의 관계

경도는 재료의 내마모성을 알려주는 일반적인 특성으로 측정이 용이하여 현장에서 재료의 품질평가에 널리 이용하고 있다.^{2,5)} 충전율에 따른 마모손실량의 변화와 경도와의 관계를 비교 분석하기 위해 충전율에 따른 육성용접부 경도를 Fig. 2에 포함시켰다. 충전율 20%와 25%에서는 63.5 HRC의 높은 경도를 가지나 충전율이 30%로 높아지면서 경도는 53.3 HRC로 감소하였으며 30% 이상의 충전율에서는 경도의 감소경향이 둔화된 것을 볼 수 있다.

일반적으로 경도가 높을수록 내마모 특성이 우수하여 마모손실량이 적은 것으로 알려져 있다.^{6,7)} 그러나 본 실험에서는 충전율이 증가함에 따라 내마모성이 증가하지만 이와는 반대로 경도가 감소하는 경향을 보였다. 이는 초경합금 분말 충전율에 따른 abrasion 마모거동 조사에 있어서 경도는 육성용접부의 내마모성을 평가하는 데에 부적합한 방법임을 알려주며 경도가 아닌 다른 원인에 의해 마모특성이 변화된 것임을 알 수 있다.

3.3. 미세조직과 마모거동과의 관계

Abrasion 마모거동에 미치는 미세조직의 영향을 조사하기 위해 초경합금 분말의 충전율에 따른 육성용접부의 SEM 미세조직을 Fig. 3에 나타내었다. 충전율 20%와 25%에서 검은 선 모양의 마르텐사이트(martensite) 조직이 나타나며 탄화물은 뚜렷하게 구분되지 않으나 입계에 미량 석출된 것이 관찰된다. 충전율 30% 이상에서는 그물망 형태의 탄화물 조직이 관찰되었으며 내부의 기지조직에서는 마르텐사이트도 관찰되었으나 그 생성 경향은

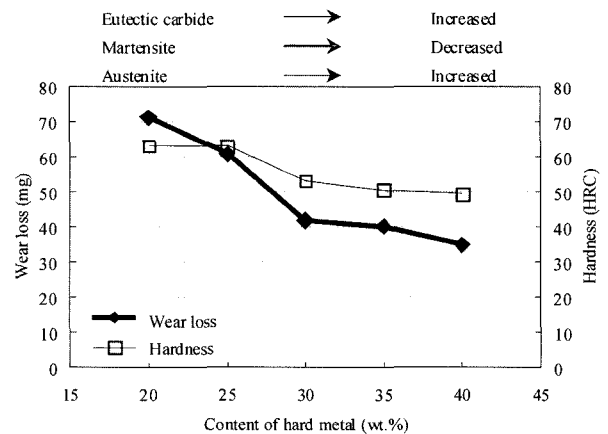


Fig. 2. Effects of hard metal content on the abrasion wear loss and hardness.

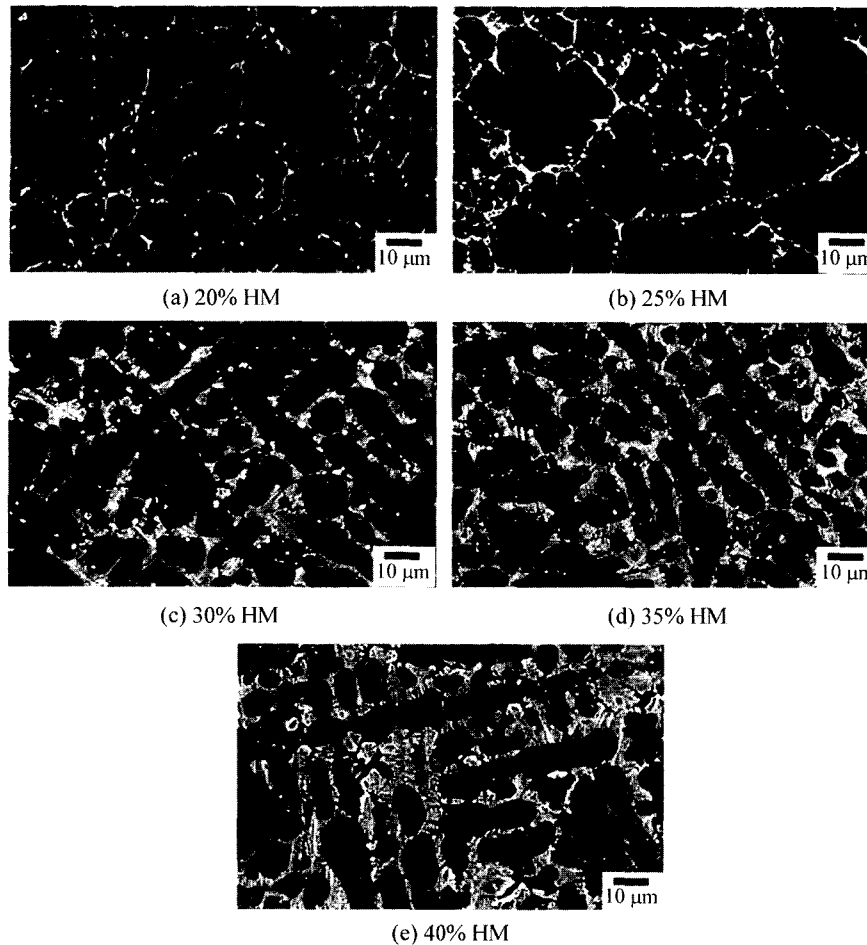


Fig. 3. Microstructural behavior with respect to the hard metal(HM) content.

충진율이 증가함에 따라 감소하는 것을 볼 수 있다. 또한 충진율이 30% 이상으로 높아질수록 조직이 미세해지면서 탄화물의 양이 증가되는 것을 볼 수 있다.

초경합금 분말 충진율에 따른 상분석을 위해 XRD 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 충진율 20%와 25%의 회절 패턴에서는 페라이트(ferrite) 혹은 마르텐사이트 피크 그리고 미미하지만 W_6C 타입의 탄화물 피크가 관찰되었다. XRD상에서 페라이트와 마르텐사이트가 잘 구분되지 않는 것은 이들이 bcc와 bct의 결정구조를 갖기는 하지만 격자상수의 차이가 거의 없기 때문으로 알려져 있다⁶⁾. 충진율 30%에서는 이들 두 상 이외에 오스테나이트(austenite) 피크가 관찰되기 시작하는 것을 볼 수 있으며 상대적으로 페라이트/마르텐사이트 피크는 감소됨을 볼 수 있다. 또한 탄화물 피크가 20-25% 충진율에 비해 상당히 증가한 것으로 조사되어 Fig. 3에서의 SEM 사진 결과를 확인해 주고 있다.

Fig. 2와 Fig. 3에서 보았듯이 충진율 20-25%에서의 높은 경도가 충진율 30% 이상에서 저하된 것은 고경도의 마르텐사이트가 감소하고 오스테나이트가 형성된 것에 기인한 것으로 조사되었다. 또한 오스테나이트 조직은 마모시 변형유기 상변태를 일으켜 표면을 경화시킴으로써 내마모성을 보이는 것으로 알려져 있다.⁷⁾ 따라서

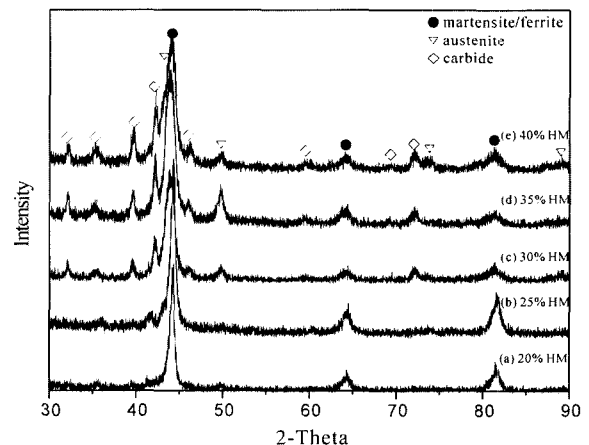


Fig. 4. Phase analysis as a function of the hard metal(HM) content.

30% 이상의 충진율에서는 초경합금 육성용접부의 오스테나이트 조직이 변형유기를 통한 마르텐사이트 변태에 의하여 내마모성에 도움을 준 것으로 예상된다. 미세조직 변화와 마모거동과의 관계를 Fig. 2에 종합적으로 나타내었다. 오스테나이트 조직의 변형유기를 확인하기 위해서는 마모시험 이전과 이후의 표면에 대한 XRD 상분석의 비교분석이 필요하지만 마모시험을 준비하는 과

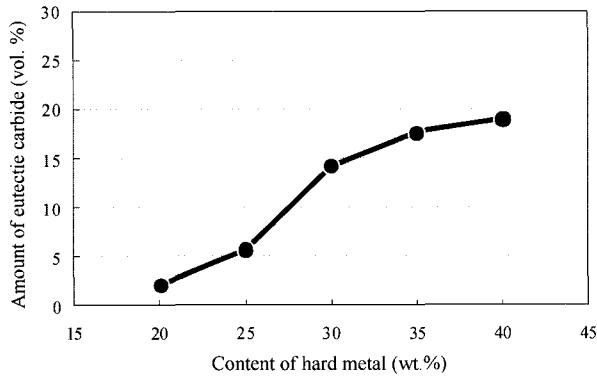


Fig. 5. Effects of hard metal content on the amount of eutectic carbide formed.

정에서 육성용접부의 연마와 폴리싱으로 인해 정확한 상변화를 확인할 수 없었다.⁴⁾ 하지만 Fig. 2에서 보듯이 30% 충전율 부근에서 급감하는 마모손실량을 설명할 만큼 오스테나이트 변형유기 마르텐사이트 변태현상이 중요하다고는 판단되지 않는다.

3.4. 마모거동과 탄화물 함량과의 관계

탄화물의 부피분율은 재료의 경도와는 별도로 재료의

내마모성에 영향을 미치는 인자로 알려져 있다.⁸⁾ 초경합금 분말의 충전율에 따라 형성되는 탄화물을 관찰하기 위하여 SEM 조직사진 (Fig. 3)에서 공정탄화물의 형성량을 측정하였다. 초경합금 충전율에 따른 공정탄화물의 함량의 변화는 Fig. 5에 나타내었다. 충전율이 20%에서 30%까지 증가하면서 형성되는 공정탄화물의 함량도 급격히 증가하다가 충전율 30% 이상부터는 그 증가율이 둔화되는 경향을 보이고 있다. 공정탄화물 형성량의 증가율은 Fig. 2의 마모손실량 감소율의 경향과 거의 일치하는 것을 알 수 있다. 즉 충전율이 20%에서 30%로 증가하면서 abrasion 마모손실량이 크게 감소한 것은 공정탄화물의 양이 급증했기 때문이다. 또한 충전율 30% 이상에서 마모손실량의 감소를 둔화는 공정탄화물 형성량의 증가율이 감소함에 따라 기인한 것이라 생각된다. 이 결과로 보아 공정탄화물 형성량이 초경합금 분말 충전율에 따른 내마모 특성에 주된 영향을 미치는 것으로 판단된다.

형성된 공정탄화물이 abrasion 마모특성에 미치는 영향을 관찰하기 위해서 마모시험 후 시편표면의 SEM 사진을 Fig. 6에 나타내었다. 충전율 20-25%에서는 표면 전체에 굵힌 흔적을 볼 수 있으며 이러한 굵힘이 소량 형

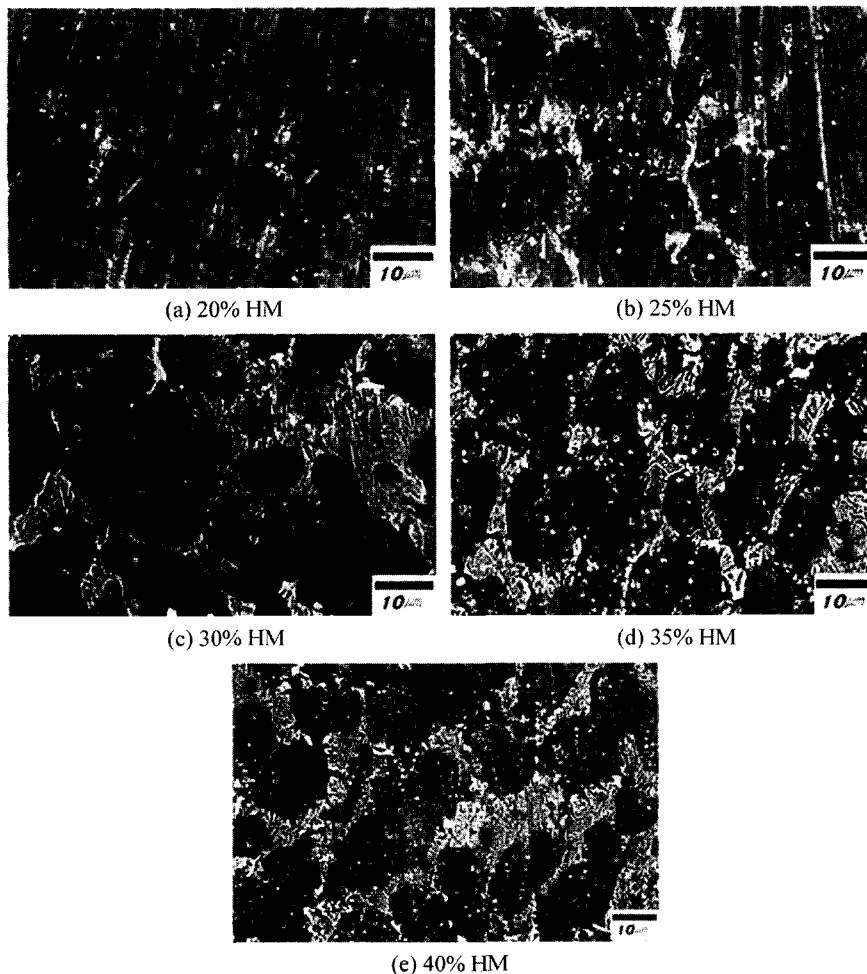


Fig. 6. Microstructural behavior on the worn surface as a function of the hard metal(HM) content.

성된 탄화물을 관통한 것을 볼 수 있다. 충전율 30% 이상에서는 형성된 공정탄화물의 양이 증가하였으며 굽힘에 관통되지 않고 형상을 유지한 것을 볼 수 있다. 특히 기지조직 내에서의 굽힘도 급격히 줄었는데 이는 충전율이 증가함에 따라 굽힘에 저항할 수 있는 강도를 지닌 공정탄화물의 양이 증가하고 이들이 상대적으로 강도가 낮은 오스테나이트 기지가 마모되는 것을 방지한 것으로 판단된다. 또한 기지조직에서의 오스테나이트 상은 경도는 낮으나 공정탄화물을 지지하는 기지상의 인성을 증가시켜 내마모성 향상에 기여했을 것으로 생각된다. 따라서 본 연구에서의 abrasion 마모특성은 공정탄화물 형성량에 의한 영향이 지배적이었음을 알 수 있다.

4. 결 론

재생 텅스텐탄화물을 활용한 금속기지 복합재료에서 재생 초경합금 충전율에 따라 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

(1) 재생 초경합금 분말의 충전율이 20%에서 30%까지 증가할 때 abrasion 마모특성이 향상된 것은 주로 공정탄화물의 형성량이 증가된 데에 기인한 것으로 생각된다. 즉 마르텐사이트 부피분율이 감소하고 오스테나이트 부피분율이 증가하여 경도가 저하되었으나 공정탄화물의 형성량이 급증하면서 내마모성 향상에 기여한 것으로 판단된다.

(2) 재생 초경합금 분말의 충전율이 30%에서 40%까지 증가할 때 abrasion 마모손실량의 감소율이 둔화되었는데 이는 공정탄화물 형성량의 증가율이 동시에 감소되

었기 때문으로 생각된다.

(3) 30% 이상의 재생 초경합금 분말 충전율에서 탄화물의 형성량이 증가는 하였으나 WC 탄화물에 비해 경도가 낮은 W_6C 탄화물이었다.

(4) 재생 초경합금 분말 충전율에 따라 제조된 금속기지 복합재료에서 공정탄화물 형성량이 많고 내마모성이 높은 30-40%를 최적의 충전율로 결정하였다.

감사의 글

본 연구는 2002년도 부품소재종합기술지원사업을 통하여 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. K. C. Antony, *Journal of Metal*, **35**(2), 52-60 (1983).
2. H. Ocken, *Nuclear Technology*, **68**, 18 (1985).
3. *Materials and Applications part 2, Welding Handbook-8th edition*, vol. 4, AWS, 392-394 (1998).
4. J. Kim, H. Chae, and J. Kim, Final Report to Korea Institute of Industrial Technology "Development of hardfacing cored welding wire by using recycled hard metal" (2002).
5. H. Berns and A. Fisher, *Wear of Materials-1985*, ASME, 625-633 (1985).
6. J. Rawers, D. Govier and D. Cook, *Scripta Metallurgica et Materialia*, **32**(9), 1319-1324 (1995).
7. J. Kim, G. Kim and S. Kim, *Journal of Nuclear Materials*, **289**(3), 263-269 (2001).
8. D. J. Kotecki and J. S. Ogborn, *Welding Journal*, **74**(8), 269s-278s (1995).