

석유시추용 인코넬 625강의 FCAW 용접에 관한연구 ; 보호가스 변화가 기계적 성질에 미치는 영향

박경동* · 진영범* · 박형동*
*부경대학교 기계공학부

A Study on Characteristics of Inconel 625 for Petroleum Application by FCAW Process ; Effect of Shield Gases Change Influence on a Mechanical Properties

KEYUNG-DONG PARK*, YOUNG-BEOM JIN* AND HYOUNG-DONG PARK
*Pukyong National University Dept. of Mechanical Engineering, Busan, Korea

KEY WORDS: High Temperature Tensile 고온인장, Petroleum Application 석유시추, FCAW 플렉스코어 아크용접, Shield Gas 보호가스, Anti-corrosion 방식

ABSTRACT: Inconel 625 is useful in a variety of industrial applications because of the resistance to attack in various corrosive media at temperatures from 200 °C to over 1090 °C, in combination with good low and high temperature mechanical strength. Recently this material has also been widely used in offshore processing piping in order to extend the maintenance term and improve the quality of anti-corrosion. In general, high quality weldings for this material are readily produced by commonly used processes. However, not all processes are applicable to this material group of Ni-alloys. Metallurgical or the unavailability of matching, position or suitable welding processes produce a lower quality. Nowadays, the flux cored wire is developed and applied for increased productivity in several welding positions, including the vertical position. In this study, the weldability and weldment characteristics (mechanical properties) of inconel 625 are considered in FCAW (Flux Core Arc Welding) associated with the several shielding gases (80%Ar +20%CO₂, 50%Ar +50CO₂, 100CO₂) in view of welding productivity.

1. 서 론

20세기에 들어와서 항공우주 산업, 원자력 산업, 파워 플랜트 산업, 석유화학 산업 등의 첨단산업분야에서 초내열합금이 기본적인 구조재료로 많이 사용되고 있다(Dupont, 1996; Lee, 1991). 그 중 Ni 합금은 규칙격자(FCC)를 갖는 오스테나이트상의 석출 현상을 이용한 강석출경화형 합금으로서, 초내열합금 중에서도 가장 강하며, 가스터빈의 블레이드, 디스크, 연소실 등과 같은 고온·고응력을 받는 주요부품의 구조용 재료로 널리 사용되고 있다(Cieslek, 1991; Dupont et al., 1997). 그리고 섭씨 980°C에서도 절기고 강한 성질이 있으며, 특히 산화, 부식에 잘 견디고, 인산용액에 강하다(Gieslak, 1989; Dupont, 1997). 때문에 화학 및 오염방지 시설용 배관, 밸브 해상장비에 사용된다. Inconel 625강은 용접성이 탁월하며 적용되는 용접기법은 주로 GTAW 용접법이 사용되고, SMAW, GMAW, SAW, FCAW 등의 용접법이 일부 사용되고 있다(박경동과 안재필, 2004).

FCAW 용접기법의 경우, 용접재료의 개발이 쉽지 않아서,

Butt용접은 불가능하고, 아래보기 Fillet 용접만 가능할 정도로 용접재료의 개발이 늦었다. 그러나 최근에 와서 Vertical-up 용접 자세까지 가능한 용접재료가 개발되어 점차 사용빈도가 높아지고는 있지만, 아직도 Inconel 625강의 FCAW용접에 관한 활발한 연구는 진행되지 못하고 있는 실정이다(zhao et al., 1992).

그리고 용접 이후 Bead 와 Bead 사이 혹은 Pass와 Pass 사이의 전후 처리 작업(Grinding, Cleaning, Brushing 등)은 산업현장에서 최근의 친환경 작업 개념에서도 필수적인 공정인데, Inconel 625강은 용접자세에 있어서의 제한성 및 용접생산성 등의 문제점으로 인하여 용접사에게는 작업기피 대상이 될 뿐만 아니라 높은 자재의 단가로 인해 용접 결함 등의 발생시에 수정이 불가능하고 대체하여야 할 경우에는 경제적인 부담도 대단히 높은 재질이다(박경동과 정재욱, 2004).

따라서 본 연구에서는 최근에 많이 개발되고 있는 Inconel FCW(Flux Core Wire)용접재료를 사용하여 용접의 작업성을 높이고 용접부의 품질을 향상 시킬 수 있는 용접기법을 개발하여 생산현장의 용접생산성을 향상시키고자 용접 중에 사용하는 보호가스(Shielding Gas)의 혼합비에 따른 Inconel 625강의 기계적 성질 및 고온 인장 특성에 관해 연구하고자 한다.

제1저자 박경동 연락처: 부산광역시 남구 용당동 산100

051-620-1592 parkkd@pknu.ac.kr

2. 실험재료 및 방법

2.1 실험재료

본 연구에서 사용된 시험편은 대구경 파이프 및 박판의 용접 구조용 재료로 널리 사용되고 있는 Inconel 625강이며, 두께 19 mm, 직경은 14" 파이프를 사용하였다. 이 재료의 화학적 성분은 Table 1과 같고, Table 2는 기계적 성질을 나타내었다. 용접방법은 GTAW와 FCAW로 사용하였는데, 용접하기 전에 시험편을 압연방향과 직각으로 60° V-groove로 기계가공 후 1층과 2층에는 GTAW로 파이프를 45°로 고정하고 라운드 용접을 하고 나머지 층은 FCAW로 파이프를 회전시키면서 아래보기 자세로 용접을 하였다. Table 3에 FCAW 용가제의 화학조성을 나타내었고, Table 4에 용접조건을 나타내었다. Fig. 1은 시험편의 형상과 용접 순서 및 비드형상을 나타내었다.

Table 1 Chemical compositions of Inconel 625 steel (wt.%) (ASTM B705 UNS N06625)

Material	Si	Mn	Cr	Ni	Ti	Fe	Nb	Mo	Al	Co	Ta
Inconel 625	0.15	0.12	22.3	60.4	0.21	3.9	3.4	9.1	0.14	0.2	0.05

Table 2 Mechanical properties of Inconel 625 steel

materials	Yield Strength (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Elongation (%)	Hardness (HV10)
Inconel625	556	948	50.1	241 ~ 267

Table 3 Chemical composition of FCAW filler metal (AWS CLASS. : ERNiCrMo-3)

Element(wt.%)											
C	Si	Mn	Cr	Ni	Ti	Fe	Nb	Mo	Al	Cu	Rem.
0.062	0.38	0.15	21.5	61.8	0.17	3.21	3.58	8.82	0.28	0.03	0.05

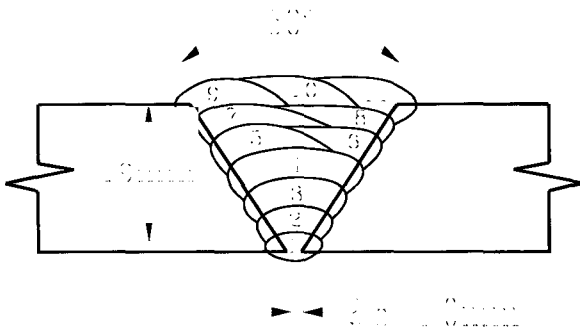


Fig. 1 Schematic diagram of specimen and welding procedure

Table 4 Welding Parameters and procedure

Pass No.	Welding Process	Welding Parameters			Heat Input (kJ/cm)	Interpass Temp. (°C)
		Current (A)	Volt (V)	Speed (CPM)		
1	GTAW	100	11	65.2	12.7	19
2	GTAW	160	13	10.9	17.0	51
3	FCAW	190	27	22.7	13.6	33
4	FCAW	200	28	21.4	15.7	78
5	FCAW	190	27	21.1	14.6	94
6	FCAW	190	27	20.8	14.8	58
7	FCAW	190	27	25.4	12.1	117
8	FCAW	190	27	24.8	12.4	136
9	FCAW	180	26	22.2	12.6	58
10	FCAW	180	26	23.0	12.2	79
11	FCAW	180	26	22.6	12.4	103

2.2 용접작업성측정

FCAW 용접보호가스 종류에 따른 용접작업성의 차이점을 관찰하였는데, 시험 전에 예상했던 일반적인 용접재료 특성과 유사한 결과(아크안정성, 비드퍼짐성 등)를 나타내었다.

기본적인 용접성은 보호가스 세 종류 모두 용접하는데 무리가 없는 비교적 양호한 결과를 보여주었다. 먼저, 스파터 발생량과 용접성 측면에서는 80%Ar + 20%CO₂ 보호가스가 가장 양호하였고, 100%CO₂ 보호가스가 가장 열등하였으며 50%Ar + 50%CO₂ 보호가스는 중간적인 성질을 나타내었다. 그러나 송급성 측면에서는 100%CO₂ 보호가스가 가장 양호하였고, 80%Ar + 20%CO₂ 보호가스가 가장 열등하였다. 이에 대한 용접작업성 시험 결과를 Table 5에 나타내었다.

Table 5 Result of weldability test

Shield gas	Work ability	Bead appearance	Spatter	Weld ability	Wire feedability
80%Ar + 20%CO ₂	△	little	●	△	
100%CO ₂	△	much	△	●	
50%Ar + 50%CO ₂	△	medium	○	○	

●: very good, ○: good, △: normal

그리고 용접후에 비파괴검사(radiographic inspection)를 하였는데 세 종류의 보호가스 모두 결함이 존재하지 않는 양호한 결과를 나타내었다. Fig. 2에 용접후 마크로 사진을 촬영하였는데, 세 종류의 보호가스 모두 양호한 결과를 나타내었다. 이는 본 용접에서 사용한 용접조건은 기본적으로 산업현장에서 내 균열성(Hot crack)시험을 통해서 균열이 발생하지 않는 범위에서의 용접조건이기 때문에 균열이 발생하지 않는 것이며 본 연구에서는 보호가스 특성에 따른 이물질(slag) 혼입 혹은 용융부족 및 융합불량 등을 비교의 대상으로 관찰한 결과이다.

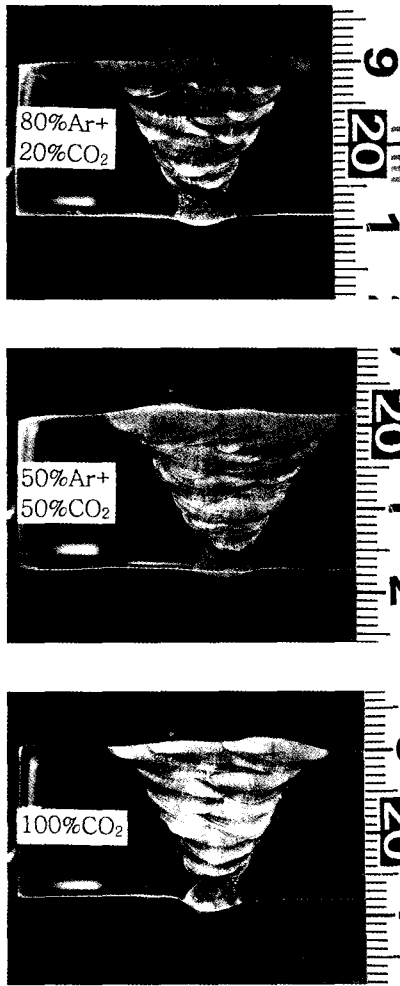


Fig. 2 Macro photograph

2.3 경도측정

용접후에 마크로 시편을 가공하여 에칭한 후 micro vicker's hardness tester(HV5)로 경도시험을 수행하였다. 경도위치는 모재, 열영향부, 용접부 순으로 찍었고, 각 압흔 사이의 간격은 0.5mm로 하였다.

2.4 고온인장 시험

Fig. 3은 Inconel 625강에서 가장 중요한 성질인 고온 인장시험을 하기 위한 Heating Chamber가 장착된 50톤 피로시험기

(SHIMADZU, UH-F50A)이다. 고온인장 실험온도는 25℃, 200℃, 400℃, 600℃, 800℃, 1000℃에서 측정하였다.

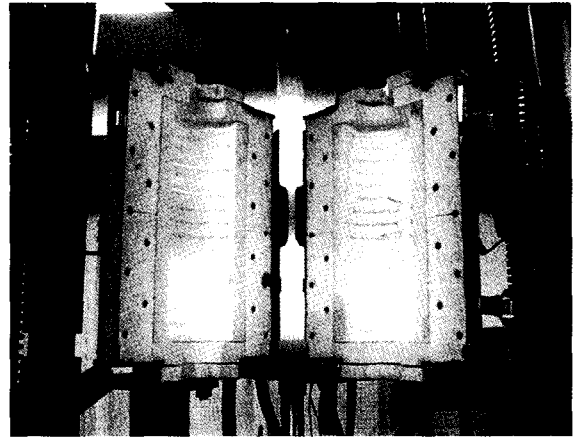


Fig. 3 Test equipment for hot tensile strength

3. 실험결과 및 고찰

3.1 경도분포

Fig. 4에는 각 보호가스 종류에 따른 경도시험의 결과를 보여주고 있는데, 용접부의 경우, 100%CO₂보호가스가 가장 높은 경향을 보여주고 있으며, 50%Ar + 50%CO₂보호가스가 중간 정도의 경향을 보여주고 있으며, 80%Ar + 20%CO₂보호가스가 가장 낮은 경향을 보여주고 있다.

일반적으로 Inconel 625강은 NACE MR0175 code를 만족하도록 되어있으며, 이 code에 따르면 경도값은 최대 345(HV)를 초과하지 못하도록 되어있는데 80%Ar + 20%CO₂보호가스와 50%Ar + 50%CO₂보호가스는 이 규정을 만족하지만, 100%CO₂ 보호가스는 이 규정을 만족하지 못하고 있다. 따라서 NACE MR0175 code를 따르게 되는 경우, 100%CO₂보호가스는 사용하기가 어려울 것으로 판단된다. 또한, 높은 경도값은 충격치에도 나쁜 영향을 미칠 것으로 판단된다.

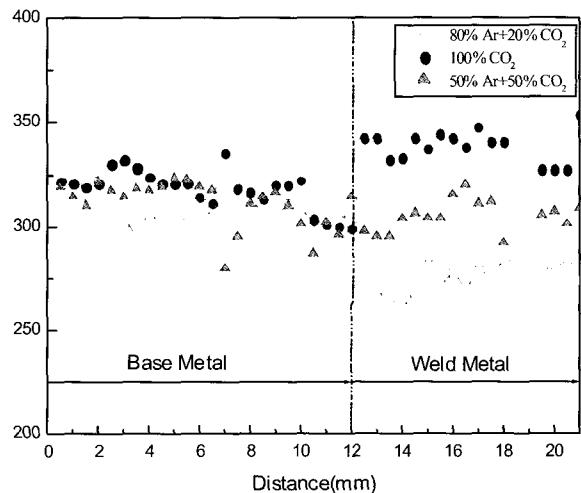


Fig. 4 Relation between hardness and distance

3.2 고온인장시험 결과

Inconel 625강에서 가장 중요한 성질인 고온 인장시험을 행하였는데, 그 온도는 25℃, 200℃, 400℃, 600℃, 800℃, 1000℃에서 실험하였다. 각 보호가스 종류별 상온에서 1000℃까지의 온도에서의 실험결과를 Fig. 5와 Table 6에 나타내었다. 25℃~600℃까지는 인장강도가 완만하게 감소하는 것을 볼 수 있으나, 600℃ 이상의 온도에서는 급격한 감소를 보여주고 있다. 보호가스 종류별로는 80%Ar+20%CO₂보호가스의 인장강도가 약간 낮은 경향을 보여주고 있다. 이것은 정도 분포와 마찬가지로 Ar가스가 CO₂ 가스보다 아크 에너지가 낮고, 용접 입열량이 적으며 냉각 속도가 빠르기 때문에 Ar가스를 포함한 보호가스의 인장강도가 낮게 나타나는 것으로 판단된다.

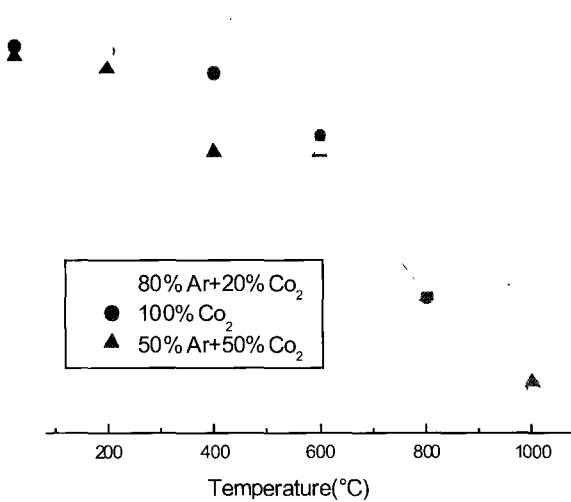


Fig. 5 Relation between tensile strength and temperature

Table 6 Hot tensile strength and gas type

Gas type	Hot tensile strength(MPa)					
	20℃	200℃	400℃	600℃	800℃	1000℃
80%Ar+20%CO ₂	743	718	555	553	272	101
100%CO ₂	765	756	711	586	270	96
50%Ar+50%CO ₂	807	757	666	566	294	84

3.3 조직관찰

Fig. 6, Fig. 7, 및 Fig. 8은 상온에서 1000℃까지의 온도에서 실험 후 파단을 시켜 각 보호가스별 인장시험편 파단면을 SEM(scanning electron microscope)로 촬영한 사진이다. 사진에서 볼 수 있듯이 각 보호가스 모두 상온에서 600℃까지는 딴플(dimple)형태의 전형적인 연성 파면을 보여 주고 있다. 그러나 인장강도 값이 급격히 낮아진 800℃에는 세 보호가스 모두 약간 산화되었으며, 1000℃에서는 모두 산화 되어 있는 것을 볼 수 있다.

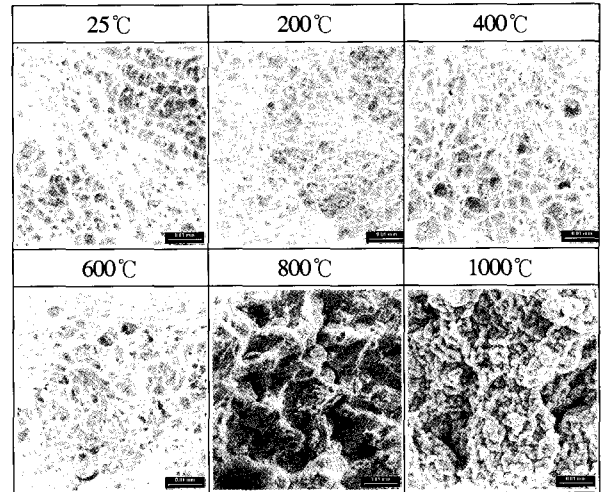


Fig. 6 SEM fractography after tensile test(80%Ar + 20%CO₂)

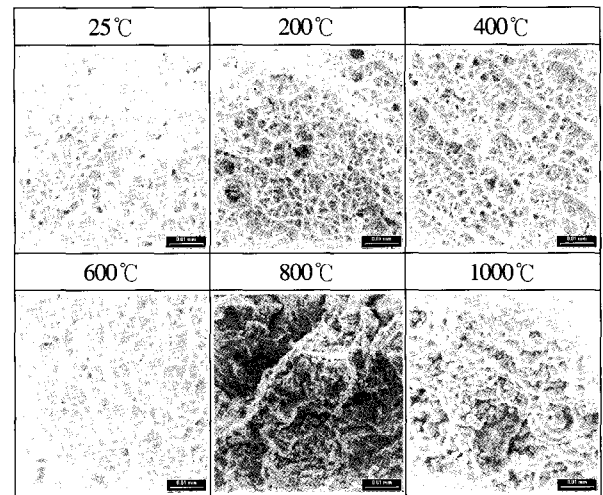


Fig. 7 SEM fractography after tensile test(100%CO₂)

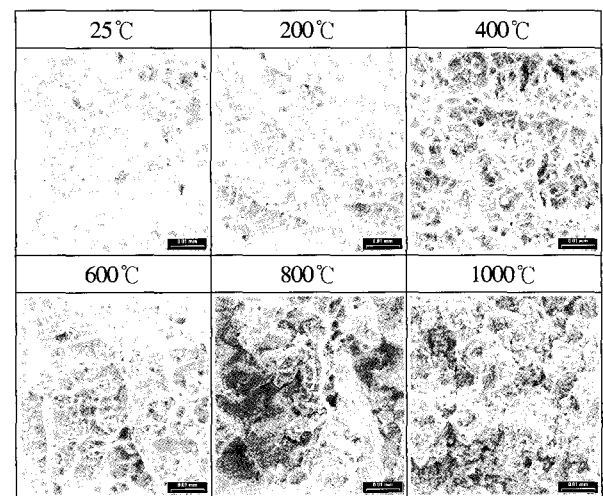


Fig. 8 SEM fractography after tensile test(50%Ar + 50%CO₂)

4. 결 론

인코넬 625강의 FCAW 용접 보호가스 종류에 따른 용접특성을 검토하였다. 보호가스 종류는 80%Ar + 20%CO₂, 50%Ar + 50%CO₂, 100%CO₂ 보호가스의 3종류를 사용하였다. 실험에 따른 결과를 살펴보면 다음과 같다.

(1) 용접작업성에서 세 종류의 보호가스 모두 비교적 양호한 결과를 보여주었으며, 스패터 발생량 측면에서는 80%Ar + 20%CO₂ 보호가스가 가장 양호하였고, 100%CO₂ 보호가스가 가장 열등하였다. 50%Ar + 50%CO₂ 보호가스는 중간적인 성질을 나타내었다. 그러나 송급성 측면에서는 100%CO₂ 보호가스가 가장 양호하였고, 80%Ar + 20%CO₂ 보호가스가 가장 열등하였다.

(2) 경도시험은 용접부의 경우, 100%CO₂ 보호가스가 가장 높은 경향을 보여주고 있고, 50%Ar + 50%CO₂ 보호가스가 중간 정도의 경향을 보여주고 있으며, 80%Ar + 20%CO₂ 보호가스가 가장 낮은 경향을 나타내었는데 이는 Ar가스가 CO₂ 가스보다 아크 에너지가 낮고, 용접 입열량이 적으며 냉각속도가 빠르기 때문이다. 그러나 NACE MR0175 code가 적용되면, 100%CO₂ 보호가스는 경도값이 345(HV)를 초과하는 값이 있기 때문에 사용하기가 어려울 것으로 판단된다.

(3) 상온 25℃에서는 50%Ar+50%CO₂보호가스가 80%Ar + 20%CO₂, 100%CO₂ 보호가스보다 조금 높게 나타났으나 200℃에서는 100%CO₂ 보호가스와 같은 인장강도를 유지하였으며, 200℃에서600℃사이에는 100%CO₂ 보호가스 인장강도가 높은 것으로 나타났으나 600℃이상의 고온에서는 보호가스의 종류와 상관없이 모두 고온인장강도가 급격히 감소함을 나타내었다. 그리고 용접성, 경도 시험에서는 80%Ar + 20%CO₂ 보호가스가 가장 양호한 결과를 보여주었으므로 가장 우수한 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- 박경동, 정재욱 (2004). "석유시추용 인코넬 625강의 FCAW용접에 의한 저온 충격강도에 관한 연구", 한국해양공학회 춘계학술대회, pp 356-359.
- 박경동, 안재필 (2004). "석유시추용 인코넬 625강의 FCAW용접에 의한 부식성에 관한 연구", 한국해양공학회 춘계학술대회, pp 365-369.
- Cieslak, M.J. (1991). "The Welding and Solidification Metallurgy of Alloy 625", *Welding Journal* Vol 70, No 2, PP 49-56.
- Cieslak, M.J., Headley, T. J. and Frank, R.B. (1989). "The Welding Metallurgy of Custom Age 625 PLUS Alloy", *Welding Journal*, Vol 68, No 12, pp 473-482.
- Dupont, J.N. (1996). "Solidification of an Alloy 625 Weld Overlay", *Metallurgical and Material Transactions A*, Vol 27A, No 3, pp 3612-3620.
- Dupont, J.N. (1997). Solidification and Welding Metallurgy of Experimental Ni Base and Fe Base Alloys Containing Nb, Si, and C, Ph.D. Thesis, Lehigh University, pp 6-12.
- Dupont, J. N, Robino, C. V., Marder, A. R. (1997). "Solidification of Nb-braring superalloys, Part II : Pseudo-ternary Solidification Surfaces", Vol 28, No 2, pp 81-90.
- Lee, B.Y (1991). "Welding Construction System", *Journal of KWS*, Vol 16, No 3, pp 38-39.
- Zhao, Q. H., Gao, Y., Devletian, J. H., Mccarthy, J. M. and Wood, W. E. (1992). "Microstructural Analysis of Ni Alloy 625 Cladding over Carbon Steel", *Proc. of 3rd Int. Conf. International Trends in Welding Science and Technology*. David S.A. and Vitek, J.M. eds., ASM, Materials Park, pp 339-343.

2004년 5월 3일 원고 접수

2004년 7월 20일 최종 수정본 채택