

.....
論 文

실리사이드 복합 공정합금의 미세조직 및 고온 압축특성

이재현*, 조용성*, 강수현*, 박장식**, 김상식***

A Study on Microstructure and High Temperature Compression Characteristics of Silicide Eutectics

Je-Hyun Lee*, Yong-Seong Cho*, Soo-Hyeon Kang*,
 Jang-Sik Park** and Sang-Sik Kim***

Abstract

There has been a considerable interest to develop the silicide alloys as high temperature structural materials because of their excellent high temperature stability and strength, however, their lack of room temperature ductility and toughness was a main obstacle for the application. In order to improve ductility while maintaining good high temperature properties, possible refractory metal-silicide eutectic alloys composed of fine two phases were prepared by VAR(Vacuum Arc Remelting). Three silicide alloys, Nb-Nb₃Si, Ti-Ti₅Si₃, V-V₃Si, were selected as prospecting silicide eutectics and those high temperature characteristics were evaluated by high temperature compression test.

(Received October 25, 1996)

1. 서 론

고온 특성이 Ni기 초내열합금을 능가하는 구조용 재료의 개발에 대한 필요에 따라 높은 용융온도에 미세한 공정조직을 갖는 고온 금속-실리사이드계 공정합금에 대한 관심이 고조되고 있다 [1]. 금속 실리사이드계 공정은 대부분 8.0g/cm³ 이하의 비교적 낮은 밀도에 1600°C 이상의 높은 용점을 가지며, 일방향응고등을 이용하여 공정조직의 조도 및 배열방향을 조절함으로써 현재 사용하고 있는 초내열합금의 고온특성을 능가하는 우수한 고온재료로 개발될 가능성을 갖추고 있다 [2]. 이들을 구조용 재료로 개발하려면 높은 용융온도로 인한 주조상의 어려움과 금속간 화합물인 금속 실리사이드계에서 일반적으로 나타나는 높은 취성을 극복해야한다.

최근 Chang[3] 등은 Cr-Cr₃Si, Nb-Nb₃Si 및 V-V₃Si공정을 대상으로 특수 유도가열법과 초크랄스키 결정성장법을 이용하여 한 방향으로 정열된 공정조직을 얻는데 성공함으로써 금속 실리사이드계 공정의 미세조직을 조절할 수 있음을 보여주었다. 고온 구조용 재료를 개발하기 위한 노력의 일환으로 본 연구에서는 VAR(Vacuum Arc Remelting)용해에 의해 주조된 Nb-Nb₃Si, Ti-Ti₅Si₃ 및 V-V₃Si계 공정합금을 제작한 후 고온에서 압축시험을 수행하여 이들이 고온재료로서 개발될 가능성을 살펴보았다. 본 연구의 예비실험에서는 Co₂Si-CoSi, CoSi-CoSi₂, Cr-Cr₃Si, Mo₅Si₃-MoSi₂, Nb-Nb₃Si, Ti-Ti₅Si₃ 및 V-V₃Si 등 8가지의 공정계를 용해 주조하였으며, 미세조직검사와 경도시험을 통하여 Nb, Ti 및 V계 합금이 개발의 가능성이 가장 높은 것으로 선정

*한국기계연구원 재료기술연구부

**홍익대학교 금속공학과

***경상대학교 금속재료공학과

되었다. 다음의 Table 1에서는 Nb, Ti 및 V계 공정 경도치를 비교하였다.

2. 실험방법

고순도의 Nb, V, Ti 각각에 Table 1에 보인 함량에 따라 Si을 첨가하여 VAR 용해로에서 용해 합성하여 잉고트로 주조하였으며, 이를 차후에 조직검사 및 압축시편제작에 이용하였다. 주조된 잉고트는 절단, 연마, 부식 등의 표준처리과정을 거친 후 미세조직검사에 사용되어 공정조직의 형성여부가 가려졌다. 미세조직검사는 광학현미경과 SEM(Scanning Electron Microscope)을 사용하였으며, 조성 및 각상의 분석에는 SEM의 EPMA(Electron Probe Microanalysis)를 사용하였다. 경도시험은 Vickers 경도시험기를 사용하였다.

본 실험을 통하여 시편을 준비하는 과정에서 용해와 준비된 시편의 분석에 있어서 정확한 조성의 공정시편을 준비하는데는 다음과 같은 어려움이 있었다.

1) 합금조성 : Refractory metal-silicide 합금 용해시 Refractory metal과 Si의 용융점의 차이와 Si의 쉬운 휘발성으로 인하여 정확한 공정조성을 용해하기 어렵다. 따라서 용해시 Si함량을 보존하기 위해 용해방법에 있어서 plasma melting, electron beam melting등 다른 용해방법과 용해시 chamber안을 가압상태에서 용해하는 가압용해, 여분의 Si함량을 첨가시키는 방법 등 여러 방법이 연구되었다[4].

2) 균일한 조성 : VAR 용해시 silicide 합금의 높은 용해온도와 높은 열전도도로 인하여 합금 용해시 전체적으로 균일한 합금을 만드는데 어려움이 따랐다. 여러 차례 반복용해로 보완할 수 있었지만 반복되는 용해는 합금조성에 영향을 줌으로 본 실험에서는 4차례 반복용해를 실시하였다.

3) 성분분석 : 준비된 시편의 정확한 성분분석은 습식분석에 의하여 분석되어야 하나 금속-Silicide 복합물을 형성시켜 습식용해에 어려움이 따라 합금성분분석 및 상분석은 SEM의 EPMA를 통하여 분석되었다. EPMA는 Noran사 SQ (Standardless Quantitative) 분석 프로그램에 내장된 Standard를 이용하여 분석하였다.

용해된 잉고트의 일부는 지름이 6mm, 길이 9mm의 봉상 상태로 방전가공 및 표면을 연마하여 고온에서 압축시험을 수행하였다. 압축시험은 0.3torr의 진공분위기 하에서 유도 가열법을 이용하여 5°C/sec로 시험온도까지 가열하였으며, 시편의 부위별 온도 편차를 줄이기 위하여 시험온도에 도달 후 300초간 유지 후 초당변형률 10^{-3} /sec로 압축시험을 수행하였고 몇가지 경우에 대하여 변형속도에 따른 압축특성을 알아보기 위하여 10^{-2} /sec 및 10^{-1} /sec의 속도로 고온압축시험을 수행하였다.

3. 실험결과 및 고찰

Bar 형태로 용해된 합금의 미세조직 분석결과 부분적으로 아공정 또는 과공정 조직으로 보이는 초정 수지상을 포함하는 조직을 얻었으나 대체로 refractory metal-silicide 공정조직을 얻었다. 위에서 언급한 바와 같이 준비된 합금은 EPMA에 의한 분석을 실시하였고 Table 2에 준비된 합금 및 각 상의 EPMA에 의한 성분분석 결과와 통용되고 있는 상태도에서 예상되는 조성과의 비교되었고[5], 여기서 보여주는 바와 같이 EPMA의 분석오차를 고려하더라도 공정상의 상분석은 충분히 가능하였다. 그 결과 대체로 준비된 합금은 공정조성에서 약간의 아공정 또는 과공정의 조성을 보여 주었으며, 공정조직에서 각상들은 상태도에서 예상되는 상의 조성과의 거의 비슷하게 나타나 다음절에서 보여지는 금속조직에서 각상을 분석하는데 유용하게 사용되었다.

Table 1. Physical properties of Nb, Ti and V-Silicide eutectics.

실리사이드	용융온도 (°C)	Si함량 (at.%)	밀도 (g/cm ³)	Vickers경도 하중 = 1kgf
Nb-Nb ₃ Si	1887	48.7	7.4	620
V-V ₃ Si	1870	13.0	5.6	530
Ti-Ti ₅ Si ₃	1330	13.5	4.2	355

Table 2. Composition analysis on the silicide alloys and phase characterization of each phase on the eutectics by EPMA.

Alloy	Phase or Alloy	EPMA Si(at.%)	*Expected Comp.(at.%)
V-V ₃ Si	Prepared Alloy	11.8	13
	Eutectic region	12.8	13
	V phase	6.0	7
	V ₃ Si phase	19.4	19
Ti-Ti ₅ Si ₃	Prepared Alloy	15.7	13.5
	Eutectic region	14.2	13.5
	Ti phase	5.3	4.7
	Ti ₅ Si ₃ phase	34.2	37.5
Nb-Nb ₃ Si	Prepared Alloy	13.3	18.7
	Eutectic region	19.1	18.7
	Nb phase	2.9	4.8
	Nb ₃ Si phase	22.7	25.1

*The composition expected by the phase diagram[5]

1) V-V₃Si 공정합금 : 이 합금의 용해조직은 대체로 균일한 약간의 초정 수지상을 포함하는 공정 미세조직을 보여 주었으며, 광학 현미경 및 SEM 조직이 Fig. 1에 나타나있다. 세포형태로 응고된 공정조직이 잘 발달되어 있음을 볼 수 있고 Table 2의 성분분석에서도 거의 공정조성임을 보여주었다. Fig. 1(b)에서 수지상은 Si 함량이 5.1at.%Si로서 초정 V상이고 공정조직은 Table 2의 조성성분과 같이 짙은 상은 V₃Si상이고 희게 보이는 상은 V상인 것으로 나타났다. 따라서 이 합금의 조직은 아공정조직으로 Table 2에 합금 전체성분 분석에서 예상된 바와같이 아공정 조성임을 알 수 있다. 공정부에서 미소경도는 530으로 압입부 주위에서 미소균열은 발견되지 않았다.

2) Ti-Ti₅Si₃ : Fig. 2 에서 보는바와 같이 Ti-Ti₅Si₃ 공정합금의 용해된 조직은 대체적으로 미세한 복합조직의 공정조직으로 이루어 졌으나 부분적으로 facet형의 초정을 포함하는 조직을 보여 주었다. Fig. 2에 공정조직만 보여주는 지역과 초정을 포함하는 공정조직을 보여준다. Table 2에서 보여준 바와 같이 전체적인 합금조성은 과공정 조성임을 보여주어 facet형의 초정은 Ti₅Si₃ 상임을 예상할 수 있다. Fig. 3(a)의 SEM조직에서 상분석결과 facet형의 초정은 Si 함량이 40.3at%로서 Ti₅Si₃상임을 알 수 있다. 공정조직의 각상에서 EPMA 결과 Table 2에서 성분이 보여진 바와 같이 Fig. 3(a)에서 흰 상이 Ti₅Si₃상이고 짙은 상은 Ti상이다. 여기에서 초정상과 공정의 짙은 상이 같은 상처럼 보이나 이는 Fig.

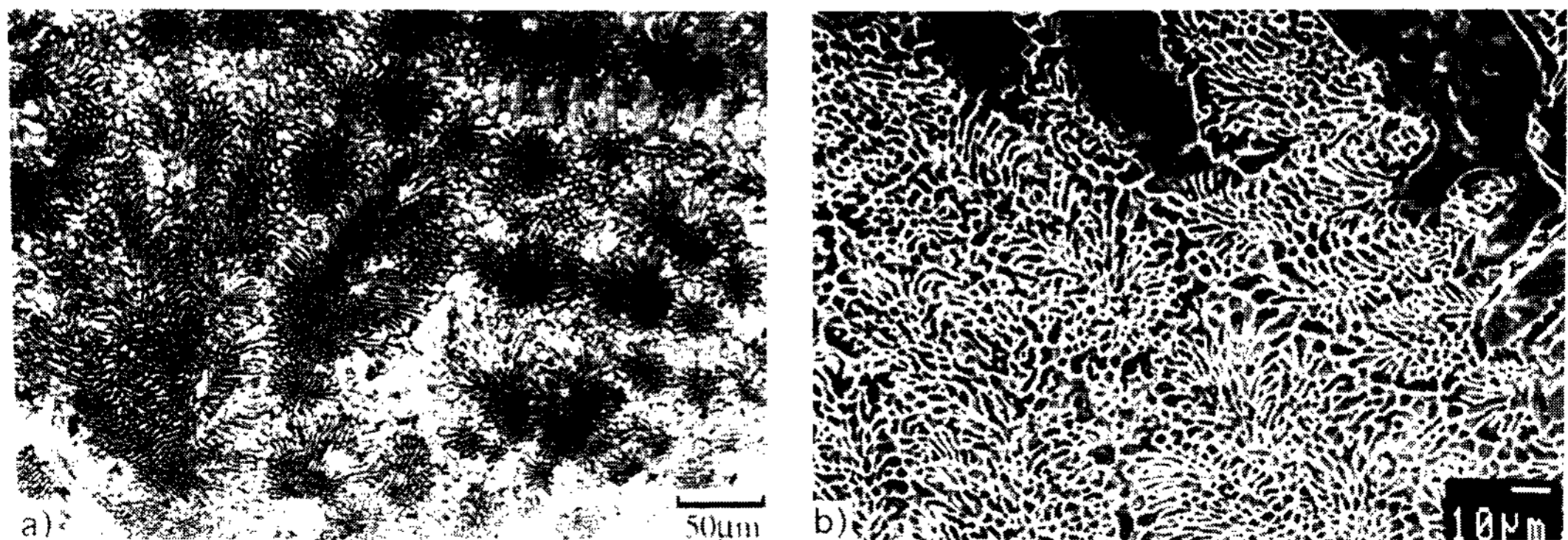


Fig. 1. Microstructure of V-V₃Si eutectic alloy. a) Optical microscope b)SEM microstructure and phase characterization.

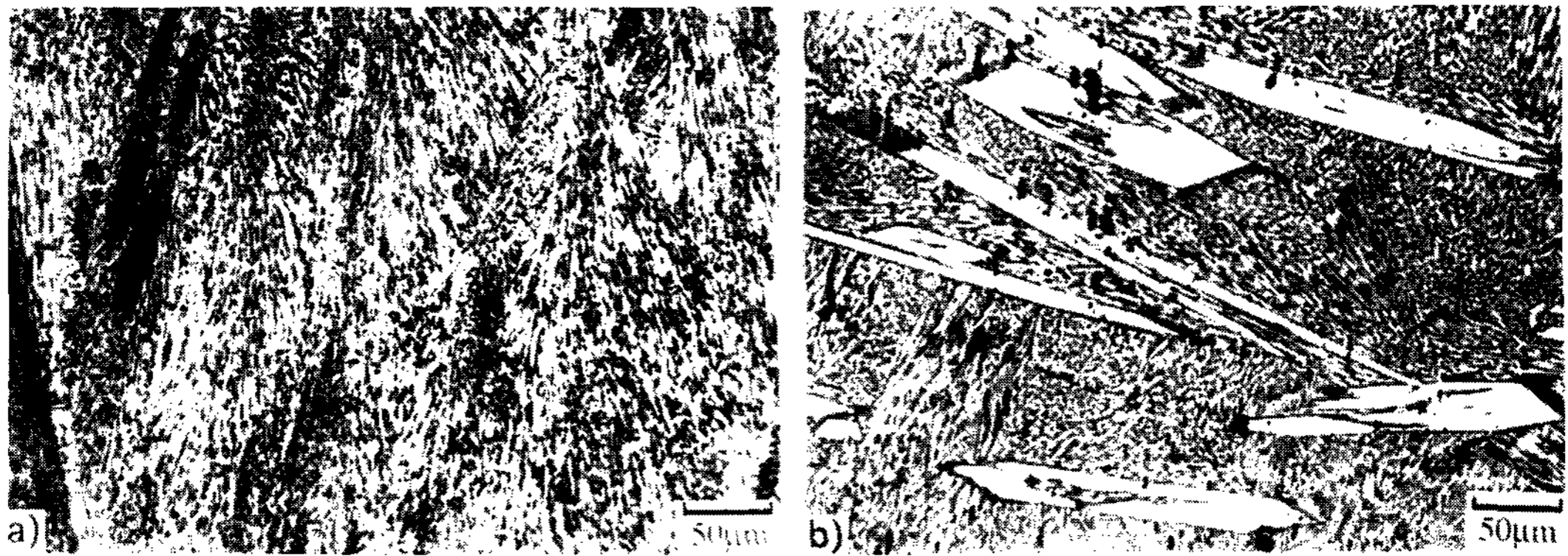


Fig. 2. Optical microstructure in Ti-Ti₅Si₃ alloy. a) 100% Eutectic region b) Eutectic region including faceted primary phase.

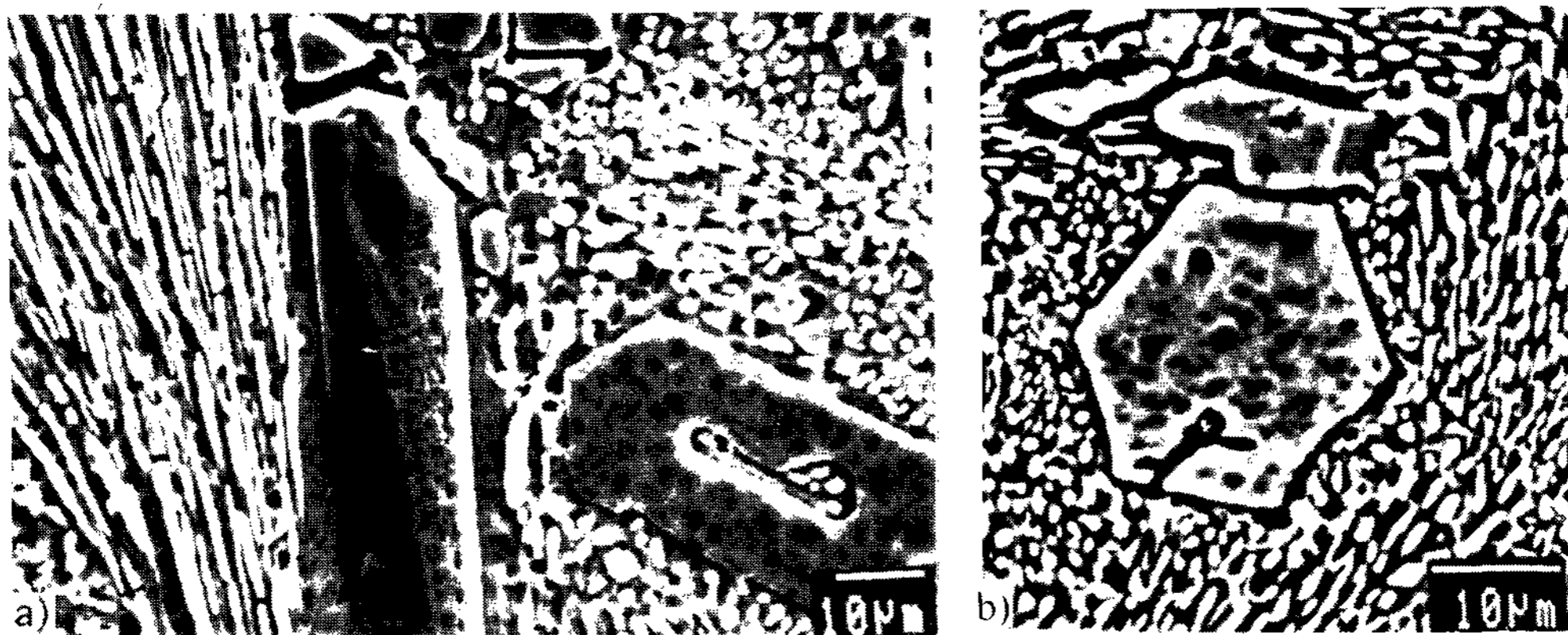


Fig. 3. SEM microstructure of Ti-Ti₅Si₃ alloy by a) secondary image and b) BEI(back scattered electron image)

3(b)의 BEI(Back-scattered Electron Image)에서 facet상과 rod형태의 흰 상이 같은 상임을 다시 보여주었다.

하중 1kg하에서 실시한 미세경도 측정결과 Fig. 2(a) 공정지역에서는 355를 Fig. 2(b)의 과공정 지역에서는 평균경도치 400을 보여주었고 여러 번의 경도측정에서 압입부 주위에 미세균열이 발생되지 않았으나 미세조직과 경도면에서 동일한 시편부위의 편차를 보여 주었다.

3) Nb-Nb₃Si 공정합금 Fig. 4(a)에 용해된 합금을 보여주고 있으며, 전체적으로 균일한 조직을 얻었으나 다량의 초정 수지상을 포함하는 공정조직을 얻었다. Table 2의 EPMA 결과에서 전체조성이 아공정 조성으로 나타났듯이 초정 수지상은 Nb상임을 예상할 수 있다. Fig. 4(b)의

SEM 사진에서 상 분석 결과 초정수지상은 Si 함량이 2.3at% 로써 Nb상임을 보여 주었고 공정조직은 Table 2의 EPMA 결과와 같이 흰 상이 Nb상이고 짙은 상은 Nb₃Si상임을 알 수 있다. Nb₃Si상은 응고후 냉각과정에서 예견되는 Nb-Nb₃Si₃상으로의 상변태는 일어나지 않은 채 상온까지 냉각되어 준 평형상으로 존재하는 것으로 생각된다. 하중 1Kg하에서 실시한 미세경도 시험 결과 공정부위에서는 경도치 620을 그리고 Nb수지상에서는 360의 경도치가 얻어졌다. 각각의 서로 다른 조직에 대하여 여러 번 실시한 경도실험에서 미세균열의 흔적은 발견되지 않았다. 이 합금은 용해시 상당량의 Si이 손실된 것으로 생각되며 용해시 Si함량을 유지하는 용해기술의 확보가 요구된다.

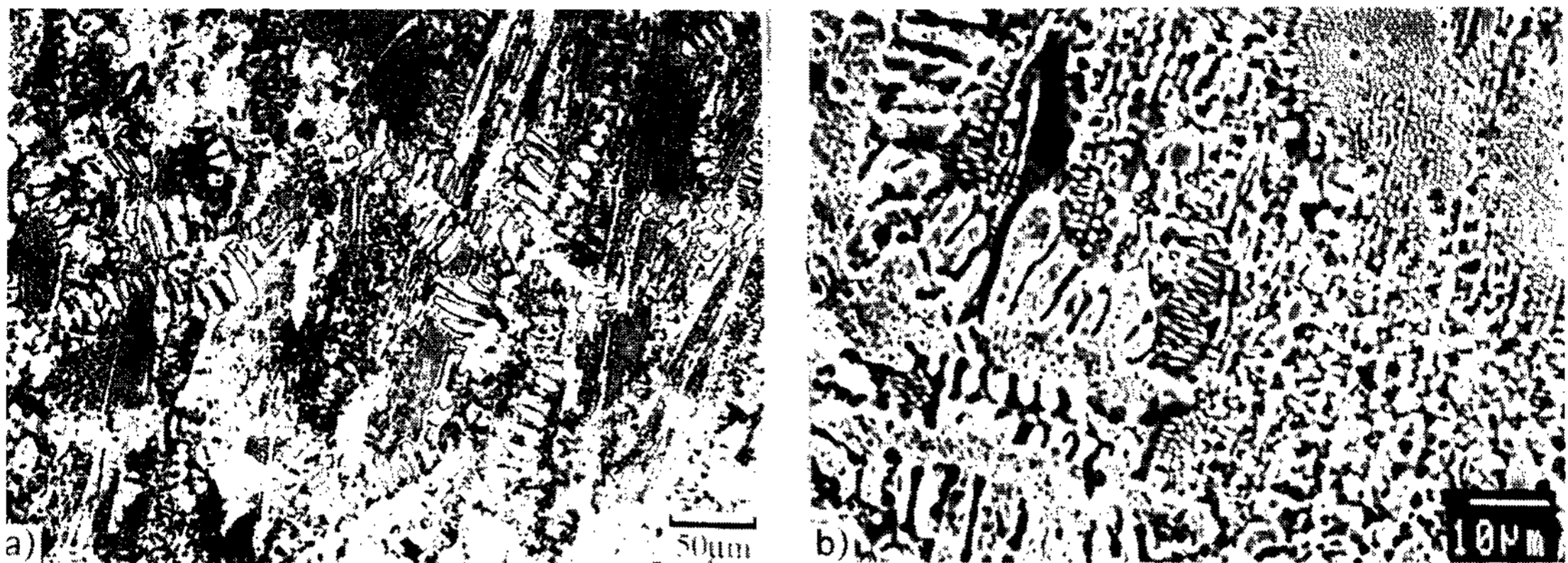


Fig. 4. a) Optical and b) SEM microstructures of Nb-Nb₃Si alloy.

Table 3. Ture maximum compression in Nb-Nb₃Si, Ti-Ti₅Si₃, and V-V₃Si eutectic alloys at various temperatures and a strain rate of 10⁻³/sec.

Alloy	Compression Test	Temperature(°C)					
		500	700	800	900	1000	1100
Nb-Nb ₃ Si	Max. stress(MPa)	1058	1019		1008	530	127
	Ture strain ratio	0.04	0.04		0.12	0.5<	0.8<
Ti-Ti ₅ Si ₃	Max. stress(MPa)	686	127	147	54		29
	Ture strain ratio	0.2	0.5<	0.8<	0.8<		0.8<
V-V ₃ Si	Max. stress(MPa)	941	725	608	294	235	187
	Ture strain ratio	0.2	0.2	0.3	0.8<	0.8<	0.8<

☐ : Serration observed temperature

3.1 고온 압축시험

주조된 V, Ti, Nb-실리사이드 공정합금의 기계적 특성 평가를 위하여 500와 1100°C사이의 온도에서 각각 10⁻³, 10⁻², 10⁻¹/sec의 공칭변형률 속도로 압축시험을 행하였다. Table 3은 온도 변화에 따른 합금의 최대 압축 진응력과 진변형률을 보여주고 있다. 세합금 모두 진응력/변형곡선에서 일정온도 이상에서 serration현상이 발견되었고 이는 다음 절에서 논의하였다. 본 연구에서 사용한 세 가지 공정합금의 고온 압축강도 및 압축변형률을 비교해 보면 Fig. 5에서 보는 바와 같이 강도면에서 Nb-Nb₃Si합금이 다른 두합금에 비해 500에서 1000°C 사이에서 월등히 우수함을 알 수 있다.

본 Nb-Nb₃Si합금의 중간온도에서 나타나는 우수한 압축강도는 1000°C의 고온까지 유지되다가, 1100°C에서는 127MPa로 급격히 감소하였다. 그러나 변형률의 경우는 그러나 1000°C미만에서 Ti계나 V계 공정합금에 비해 현저히 떨어

짐을 알 수 있다. 실제로 Nb-Nb₃Si합금은 700°C까지는 진변형률 5%이하에서 파괴가 일어나, 항복점에 도달하기 전에 파괴되었다. 그러나 900°C에서는 최대 응력에 도달하여 항복이 개시된 후 파괴될 때까지 12%의 진 변형률을 나타내었다. Nb-Nb₃Si 합금계는 비중이 7.4g/cm³으로 실리사이드계에서 높은 편이며, 900°C에서 저온의 압축응력수준인 1000MPa를 그대로 유지하면서 연성면에서도 900°C이상의 고온에서 다른 두합금과 비교하여 크게 떨어지지 않음을 알 수 있다. Ti-Ti₅Si₃공정합금의 경우 압축시험이 실시된 전 온도 구간에서 비교적 우수한 압축 변형률을 나타내었으나, Fig. 1에서 보는 바와 같이 강도면에서 특히 700°C 이상에서 다른 두합금에 비해 매우 낮음을 알 수 있다. 또한 Table 3에서 보는바와 같이 Ti계 합금의 압축강도는 500°C에서 686MPa, 700°C에서는 127MPa로 매우 급격히 감소하였다. 500°C 온도에서도 Nb계 합금의 1058MPa와 V계합금의 941MPa에 비해 매우

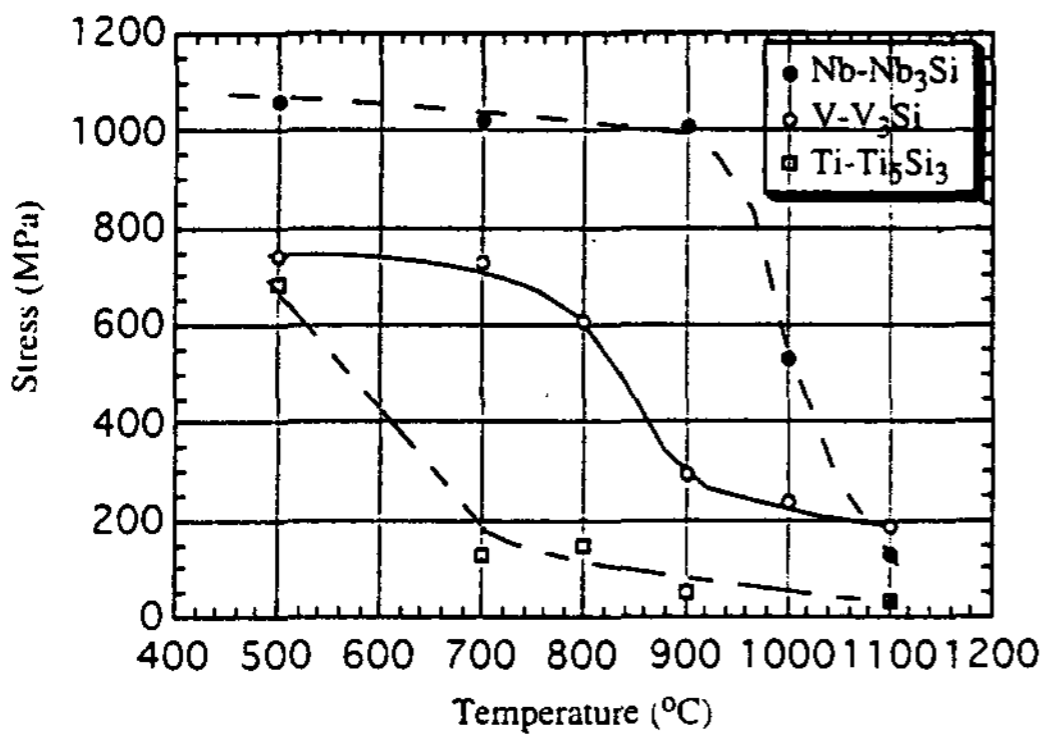


Fig. 5. Changes in maximum compression stress with increasing temperature at a strain rate of $10^{-3}/\text{sec}$

낮은 값을 나타냄을 알 수 있다. 이러한 Ti-Ti₅Si₃ 공정합금의 낮은 고온강도는 공정온도가 1330°C로 비교적 낮은 점에 기인하는 것으로 보이며, 고온 구조용 재료로서 개발될 가능성은 매우 낮은 것으로 생각된다.

한편, V-V₃Si 합금계의 공정온도는 1870°C로 Nb-Nb₃Si계의 1883°C와 비슷한 수준임에도 불구하고 전 온도 구간에서 Nb-Nb₃Si 합금계에 비하여 낮은 압축강도를 나타내었으며, 온도에 따른 급격한 강도 감소도 비교적 낮은 온도에서 나타났다. 예를 들어 V계 합금은 500°C에서 Nb계 합금의 1058MPa에 비해 낮은 941MPa를 나타내었으며, 이러한 중은 강도는 900°C 이상에서 급격히 감소하기 시작했다. 그러나 전술한 바와 같이 Nb계 합금에 비해 전 온도구간에서 우수한 압축변형률을 나타내었다. 따라서 ternary element를 첨가하는 등 합금설계에 대한 연구를 통하여 강도면에서 Nb-Nb₃Si 수준으로 향상시킬 수 있다면 V-V₃Si계가 갖는 우수한 연성은 고온 구조용 재료로서 활용하는데 큰 장점이 될 것으로 여겨진다.

3.2 온도 및 변형률 속도에 따른 serration 현상 및 유동응력곡선의 변화

유동곡선에서의 serration 현상은 일반적으로 특정온도 구간에서 강 합금, 알루미늄 합금, 니켈기 초합금, 구리합금 등에서 주로 나타난다. 이러한 serration 현상은 급격한 변형률의 변화에 따른 재료의 가공성과 사용할 시 안정성에 영향

을 미칠 수 있다. Serration 현상은 일반적으로 Portvin-le Chatelier 효과에 의한 동적경화시효 (dynamic strain aging)에 의해 일어나지만, 고온 변형시에는 급격한 동적재결정(dynamic recrystallization)이 주된 기구로 작용할 수 있다[6].

본 연구에서는 세 가지 공정합금 모두 어느 온도 이상에서 유동곡선상에 serration이 관찰되었다. 즉 Nb, Ti, V계 합금은 각각 1100°C, 700°C 그리고 900°C 이상에서 serration이 관찰되었다. 한편 serration의 진폭 및 주기는 또한 Fig. 6과 7에서 보는 바와 같이 온도가 증가함에 따라 증가하였으며, 변형률 속도가 증가함에 따라 감소하였다. 한편, serration과 함께 압축 진응력-진 변형률 곡선 상에서 가공연화(work softening) 현상이 관찰되었다.

Portvin-le Chatelier 효과에 의해 serration이 발생할 경우, 소성변형시 기지내의 용질원자들이

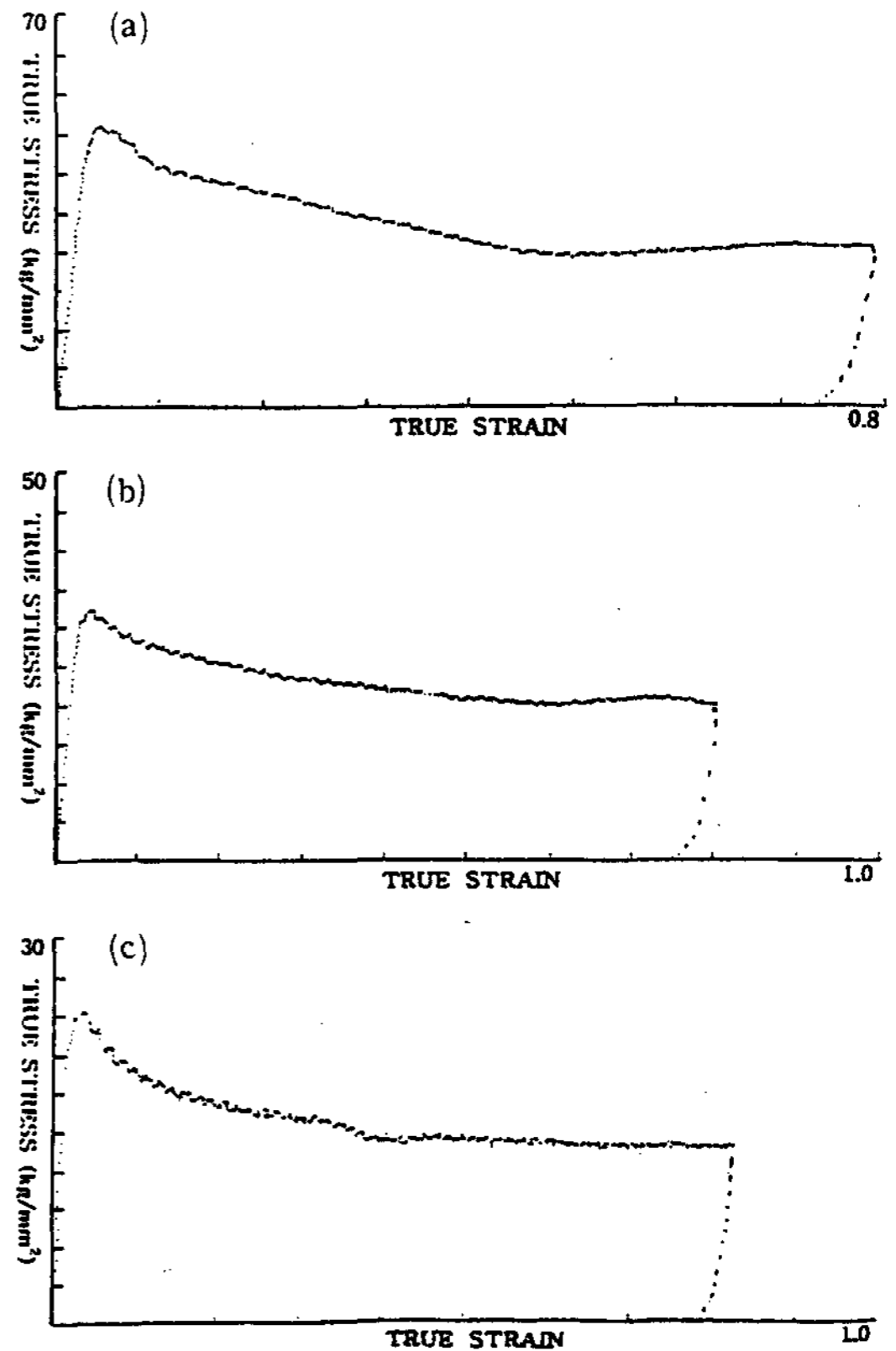


Fig. 6. Compression test results with various temperatures at a strain rate of $10^{-2}/\text{sec}$ in the V-V₃Si alloy a)900°C b)1000°C c)1100°C.

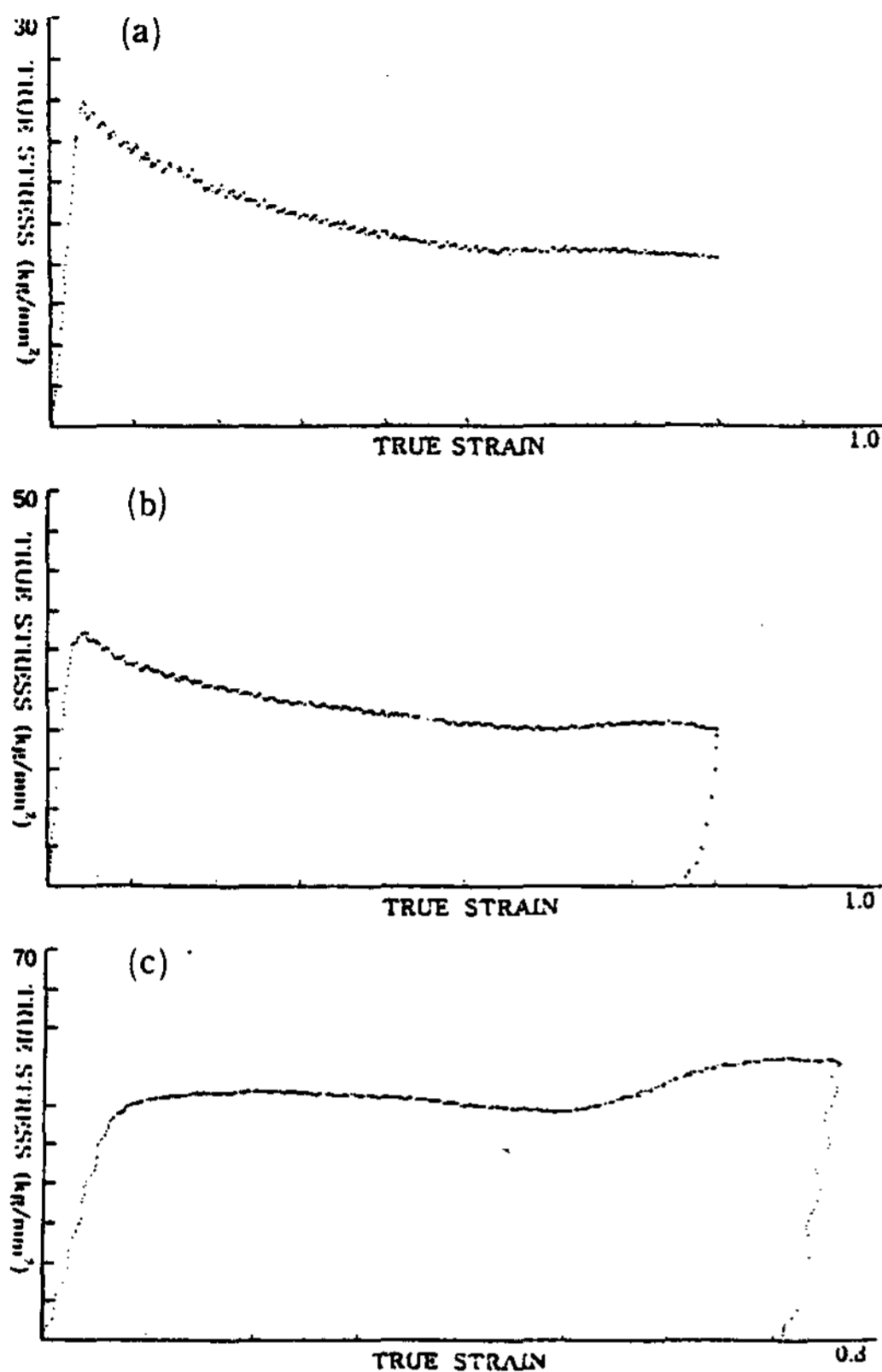


Fig. 7. Compression test results at 1000°C with various strain rate of a) 10^{-3} b) 10^{-2} c) 10^{-1} /sec in the V-V₃Si alloy.

전위주위에 분위기를 형성하게 되고, 이러한 용질원자 분위기는 전위이동의 장애물로 존재하게 된다. 한편 전위의 이동속도와 용질원자 분위기의 이동속도가 비슷할 경우, 전위들이 주기적으로 이러한 용질원자 분위기를 통과하면서 유동응력곡선이 국부적으로 감소하는 serration현상을 나타내게 된다. 즉, 외부응력 증가에 따라 전위가 이러한 분위기를 통과하게 되면 국부적으로 유동응력이 감소하게 된다. 이러한 Portvin-le Chatelier효과는 특정온도 구역에서 일반적으로 일어나며, 이때 그 온도구역에서 변형률은 감소하게 된다. 본 연구에서는 세가지합금에서 serration에 따른 변형률의 감소는 관찰되지 않았고, serration이 발생하는 특정온도 구간에서 관찰되는 것이 아니라, 매우 높은 온도에서 이러한 현상이 관찰되는 것으로 보아 Portvin-le Chatelier 효과에 의한 serration발생이라고는 보기에 어려

운 것으로 생각된다.

한편 Fig. 6과 7의 V-V₃Si계 합금의 진응력-진변형률 곡선에서 보는 바와 같이 이들 세 합금의 진응력-진변형률 곡선은 전형적인 고온에서의 동적재결정에 의한 압축변형곡성을 나타내고 있다. 이는 전위상쇄에 따른 동적재결정이 일어나기 위해서는 임계 전위밀도 이상의 전위가 축적되어야 하는데, 따라서 유동응력이 감소하게 되는 가공연화 현상을 보이게 된다. 또한 낮은 변형속도에서나 특정온도 이상에서 동적재결정에 의해 유동곡선상에 serration이 나타날 수 있는데, serration의 진폭 및 주기는 변형률이 증가할수록 감소하게 된다. 이러한 동적재결정시 serration은 재결정이 끝남과 함께 기지내의 전위의 substructure가 다시 발달하게 되고, 이에 따라 유동응력은 다시 증가하게 되고 substructure내의 전위 밀도가 다시 충분히 높아지면 다시 재결정이 시작되게 됨으로서 일어난다. 이때 재결정에 필요한 임계시간은 변형률 속도에 비례하게 되고 따라서 Fig. 7(c)와 같이 변형률속도가 충분히 빠르게 되면 동적재결정은 저지되고 serration도 이에 따라 감소하게 된다. 결과적으로 Fig. 7(c)는 전형적인 동적회복에 의한 고온 변형곡선을 보여주고 있다. Table 2에서 보는바와 같이 각 합금에서 serration이 나타나는 온도와 최대 압축강도가 온도 증가에 따라 급격히 감소하는 온도가 일치함을 알 수 있다. 이는 전위상쇄로 인해 전위의 강화효과가 약화되는 온도와 serration이 관찰되는 온도가 일치함을 간접적으로 나타내어 준다.

4. 결 론

고온 구조용 재료로서 실리사이드계합금의 개발이 시도되고 있는 가운데 개발 가능한 고온금속-실리사이드계 공정합금을 용해주조 하였고, 그 중 개발가능성이 있는 Nb-Nb₃Si, Ti-Ti₃Si₃ 및 V-V₃Si공정합금의 금속조직 및 고온압축특성 분석을 통하여 고온 특성을 평가하였고 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 고온 금속-실리사이드 합금용해시 금속의 고 용융점과 Si의 휘발성으로 인하여 용해 후 Si 함량의 미달을 보정하기 위하여 5% 여분의 Si

을 첨가함으로써 어느 정도의 성분함량을 보정할 수 있었다.

2) 고온압축시험결과 Nb-Nb₃Si계 공정은 강도면에서 우수하지만 변형률이 낮아 취성이 강한 것으로 나타났고, Ti-Ti₃Si₃계 공정은 변형률은 우수하지만 500°C 이상에서 항복응력이 급격히 감소하는 것으로 보아 고온 구조용 재료로는 부적합한 것으로 사료된다. V-V₃Si계 공정은 변형률과 항복강도가 비교적 우수한 것으로 나타나 고온 구조용 재료로 개발될 가능성이 높은 것으로 나타났다.

3) 실리사이드 공정합금에서 온도가 높고 변형률이 낮을 경우 serration 현상을 보여 주었다. Serration은 동적재결정으로 인해 생성되는 것으로 생각되며 serration이 나타나기 시작하는 온도에서 최대 압축강도가 급격히 감소하였고 이는 전위상쇄로 인해 전위강화효과가 약화되는 온도와 serration이 생성되는 온도가 일치함을 보여

주었다.

5. 참고문헌

- [1] D. M. Shah, Superalloys 1992, Eds. S. D. Antolovich et. al., TMS (1992) 409
- [2] R. Henne and W. Weber, High Temperature-High Pressure, 18 (1986) 223
- [3] K. M. Chang, B. P. Bewlay, J. A. Sutliff, and M. R. Jackson, J. Metals, June (1992) 59
- [4] T. A. Lograsso, Materials Science and Engineering, A155 (1992) 145
- [5] T. Massalaki, Binary alloys Phase Diagram, ASM, Metals Park OH, (1986)
- [6] T. H. Courtney, Mechanical Behavior of Materials, McGraw-Hill, NY (1990) 316

기술서적 발간 (예정) 안내

- 도서명 : 주물결함 국제도해(International Atlas of Casting Defects)
- 출판사 : 원창출판사
- 발간예정일 : '97. 3. 31

상기 도서는 주물의 품질수준을 향상시키기 위하여 미국주물인협회(AFS)가 국제주물기술협회(CIATF)의 추천하에 발간한 것을 한국주조공학회에서 국제주물기술협회(CIATF)의 승인을 얻어 한국판으로 번역하여 발간 진행중이다. 이 서적은 종전에 독일어판, 불어판, 일어판으로도 발간되었으나 미국판이 최신 자료를 수록하고 있다. 총 400여쪽으로서 국제적 결함분류체계, 결함묘사, 참고문헌, 인덱스로 구성되었다. 특히 결함묘사부분은 결함의 현상묘사, 가능한 원인지적, 결함억제/제거를 위한 조치 추천 등을 기술하고 있으며, 결함의 특징에 따른 기호에 의한 분류체계가 정연하고 모든 결함 묘사에는 많은 사진과 도면이 삽입되어 있어 이용자가 편하게 활용할 수 있도록 기술되어 있다.

■ 광고신청안내

본 서적에 광고신청을 원하시는 회원은 한국주조공학회(02-796-1346)로 문의 바랍니다.