

치과용 Ti-Xwt%Cu합금의 연삭성

안 재 석

고려대학교 안산병원

Grindability of Ti-Xwt%Cu Alloys for Dental Applications

Jae-Seok Ahn

Dept. of Dental Lab. Korea University Ansan Hospital. Gojan1dong 516 Danwon Ansan Kyung-ki , South Korea.

[Abstract]

This study evaluated the grindability of series of Ti-Cu alloys in order to develop a Ti alloy with better grindability than commercially pure titanium(CP Ti). Experimental Ti-Xwt%Cu alloys(X=2, 5, 10) were made in an argon-arc melting furnace. Slabs of experimental alloys were ground using a SiC abrasive wheel on an electric handpiece at circumferential speed(15000, 30000rpm) by applying a force(250, 300gr). Grindability was evaluated by measuring the amount of metal volume removed after grinding for 2 minutes. Data were compared to those for CP Ti and Ti-6wt%Al-4wt%V alloy.

From results, It was observed that the grindability of Ti-Cu alloys increased with an increase in the Cu concentration compared to CP Ti, particularly the 10wt%Cu alloy exhibited the highest grindability at all speeds.

By alloying with Cu, the Ti exhibited better grindability at high speed. The continuous precipitation of Ti₂Cu among the α-matrix grains made this material less ductile and facilitated more effective grinding because small segments more readily formed. The Ti-10wt%Cu alloy has a great potential for use as a dental machining alloy.

●Key words : Ti-Cu alloys, Grindability, commercially pure titanium(CP Ti), Ti-6wt%Al-4wt%V alloy, Precipitation of Ti₂Cu, The α-matrix grains

교신저자	성명	안 재 석	전화	031-412-5376	E-mail	jsa2004@korea.ac.kr
	주소	경기도 안산시 단원구 고잔1동 516 고려대학교 안산병원 치과 기공실				
논문접수	2009. 10. 30		수정재접수	2009. 11. 9		

I. 서론

금합금과 Co-Cr합금이 주된 치과용 금속재료로 사용되고 있다. 그러나 이들 재료는 비중이 높아서 부피가 큰 가철성 의치의 프레임의 적용에는 무리가 있고, 민감한 환자에 있어서는 Co 등 일부 합금원소에 대한 알레르기 반응이 있다고 보고된 바 있다(Shepard et al, 1983).

근래에는 Ti 및 Ti합금이 생체적합성과 내식성이 우수하고 비중이 낮아 치과용 금속재료로 주목 받고 있다(Ohkubo et al, 2000). 그러나 실질적으로는 Ti의 고 용점, 고온 산화성과 더불어 구조체를 다듬고 연마하는 연삭공정이 수월하지 않아서 Ti의 치과 응용에서 제한적이다(Kikuchi, 2003). 연삭은 금속주조로 보철물을 제작할 때 필수적인 공정이며, 연삭공정의 수월성은 작업시간, 연삭면의 마무리 정도, 연삭력, 연삭기구의 수명과 연관되어 있고, 최근에 개발된 치과용 CAD/CAM 시스템에서 Ti의 밀링과도 밀접하게 관련되어 있다.

치과용 Ti와 Ti합금의 연삭성에 관련하여 연구들이 많이 시행되고 있는데(Tamaki et al, 1986; Grajower et al, 1986; Wataneba et al, 2009), Ti의 연삭성이 낮은 것은 고용점, 고온 산화성 및 낮은 열전도성과 관련 있고, 특히 높은 연성 때문으로 알려져 있다(Takeyama et al, 1962).

Ti의 연삭성을 개선하는 대안 중의 하나는 합금화하는 방법이다. 현재 개발된 Ti합금은 주로 구조성을 개선하기 위한 것이고 연삭성을 개선하기 위한 것은 그리 많지 않다(Kikuchi, 2001).

본 연구에서는 Ti의 기계적 성질의 개선효과를 기대할 수 있고, 소량이면 생체적합성과 내식성에도 큰 문제가 없다고 알려진 Cu를 합금원소(Marcinak et al, 1980; Holden et al, 1955)로 첨가한 Ti-Cu합금의 연삭성을 평가하였다.

면 Ti-Cu 2원 합금은 공석합금이며, 790°C의 7.1wt%Cu에서 공석변태 하여 α Ti상과 Ti₂Cu상이 형성된다.

본 시료의 합금설계는 2.1wt%Cu이하에서는 공석반응과 관계없는 α Ti 구간의 2wt%Cu 합금, 아공석(hypoeutectoid)구간의 5wt%Cu, 그리고 과공석(hyper-eutectoid) 구간의 10wt%Cu 합금으로 하였다.

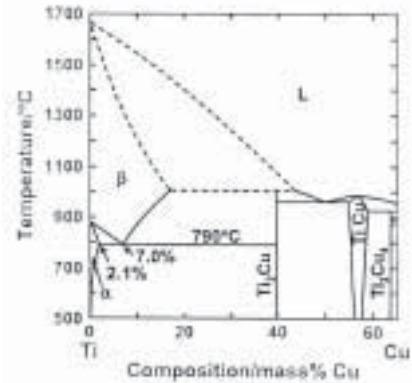


Fig. 1 A portion of the equilibrium phase diagram for the Ti-Cu system

2. 시료합금 제조

시료합금으로 Ti-Xwt%Cu(x=2, 5, 10)을 설계하고 각 종류별로 99wt%Ti와 98wt%Cu를 계량하여 200g이 되도록 하였다. 시료합금을 아르곤-아크용해로(Argon-arc melting furnace, VAM-B, 형제진공사, 한국)에 장입하고 10⁻³ torr까지 진공을 유지한 후 아르곤 가스를 주입하여 아크 용해하였다. 수냉식 copper hearth에서 냉각된 인코트를 diamond abrasive wheel cutter로 두께 2mm가 되도록 절단하여 시편으로 하였다. 시편을 직경 25mm, 두께 10mm의 초경석고 block에 mounting하여 연삭시험에 이용하였다.

시료합금의 화학성분은 Table 1과 같고, 비교군으로 선정된 CP Ti Grade 2 및 Ti-6wt%Al-4wt%V합금의 화학성분은 Table 2와 같다.

Table 1 Chemical compositions of experimental specimen alloys(wt%)

II. 실험 재료 및 방법

1. 합금설계

Fig. 1의 평형상태도에 따르

	Cu	Ti
Experimental specimens		
Ti-2wt%Cu	1.48	Bal.
Ti-5wt%Cu	4.16	Bal.
Ti-10wt%Cu	9.35	Bal.

Table 2 Chemical compositions of alloys used for control(wt%)

Controls	Al	V	Fe	C	H	O	N	Ti
	CP Ti (ASTM Grade 2)			0.30	0.10	0.015	0.25	0.03
Ti-6wt%Al-4wt%V	6.2	4.2		0.015	0.003	0.11	0.008	Bal.

6300, JEOL, Peabody, MA, USA)으로 관찰하였다.

III. 결과 및 고찰

3. 연삭 시험

Ohkubo 등(2000)의 시험방법에서 원리를 응용하여 Fig. 1과 같이 제작한 시험기구로 시행하였다. 치과용 핸드피스에는 연삭기구로 직경 1.5mm, 두께 13.0mm인 실리콘 카바이드(SiC) 휠(DURA-Green Stones, Shofu, Japan)을 끼웠고 연삭기구와 시편의 연삭면이 90°의 위치관계에 있도록 하였다. Kicuchi 등(2003)의 시험방법을 응용한 하중(150gf, 250gf) 및 회전속도(1500rpm, 3000rpm)로 2분간 연삭하여 연삭량을 구하고, 하중과 속도의 변화에 따른 통계적 유의성을 검정하였다. 이때 통계처리는 일원배치법에 의한 분산분석(one-way ANOVA)과 사후검정으로 Scheffe's test($\alpha=0.05$)를 하였다. 연삭 시험은 시편 당 3회 시행하였다.



Fig. 1 Apparatus for grindability test

4. 연삭 chip 및 연삭면의 SEM 관찰

하중 250gr, 속도 3000rpm조건에서 연삭 시험 후에 연삭 chip 및 연삭면을 주사전자현미경(JSM-

1. 연삭성

Fig. 2는 Cp Ti, Ti-6wt%Al-4wt%V합금 및 Ti-Cu합금의 시편에 가해지는 하중과 삭제기구의 회전속도를 달리하여 2분간 연삭했을 때 연삭량을 나타낸 것이다. 하중과 삭제기구의 회전속도가 증가함에 따라 모든 시편에서 연삭량은 점점 높게 나타났고, 하중과 회전속도의 변화에 따른 삭제량은 통계적으로도 유의한 차이를 보였다 ($p<0.05$). 하중(250gf)과 회전속도(3000rpm)가 가장 높을 때 연삭량도 가장 높게 나타났으며, 특히 Ti-6wt%Al-4wt%V합금 및 Ti-Cu합금에서 뚜렷한 경향을 보였다. 이는 Kikuchi 등(2003)이 연구한 Ti-Cu합금 주조체와 Ohkubo 등(2000)이 연구한 Cp Ti 및 Ti-6wt%Al-4wt%V합금 주조체의 연삭성에 대한 실험결과와도 유사하였다.

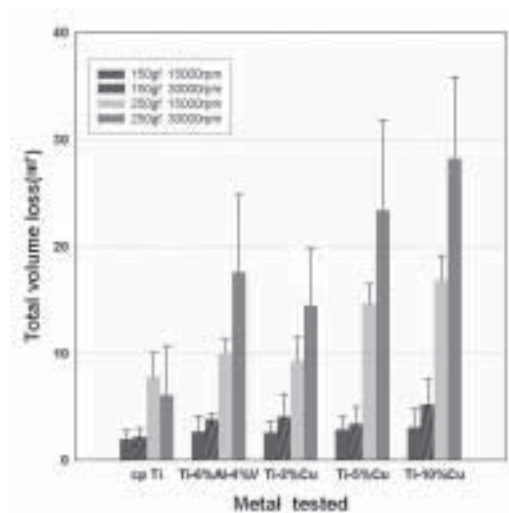


Fig. 2 Results of total volume loss for 2 minutes

Fig.3은 하중 250gr, 회전속도 3000rpm에서 연삭한 후의 CP Ti, Ti-6wt%Al-4wt%V합금 및 Ti-Cu합금의 1분 당 연삭량인 연삭률을 나타낸 것이다. Ti-Cu합금에서는 Cu의 농도가 높을수록 삭제률은 증가하였고, Ti-5wt%Cu 및 Ti-10wt%Cu합금의 연삭률은 CP Ti보다 3

배 이상 높았고 통계적으로도 유의한 차이를 보였다 ($p < 0.05$). Kikuchi 등(2003)은 Ti-Cu합금 주조체의 연삭성 시험에서 Cu의 농도가 증가할 때 연삭률도 증가하였으며, 특히 10wt%Cu합금은 하중 100gr, 속도 $1500\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$ 일 때 연삭률이 Ti보다 2.9배 정도 높고 통계적으로도 유의성($p < 0.05$)이 있으며 연삭기구의 마모량 대비 연삭량인 연삭효율은 6.3배정도 높았다고 보고한 바 있다. Ti-Cu합금의 강도와 경도는 CP Ti보다 높고 특히 Ti-10wt%Cu합금의 강도는 약 2배 정도 높다 (Takahachi et al, 2002). 일반적으로 강도와 경도가 높으면 연삭과 가공이 어렵고 알려져 있지만(Tekyyama et al, 1975), 본 시험군인 Ti-Cu합금 중 특히 5wt%Cu 및 10wt%Cu합금의 연삭률이 Ti-6wt%Al-4wt%V합금과 더불어 CP Ti보다 높게 나타난 것은 Fig. 1의 Ti-Cu상태도에서 보는 바와 같이 5wt%Cu 및 10wt%Cu합금은 α Ti/Ti₂Cu의 층상 공석조직을 포함하고 있어서 합금의 연성을 감소시키기 때문으로 생각된다. 이와 같은 결과에 대해서는 다른 시험방법의 적용 등 더 많은 연구가 필요하지만 Ti 및 Ti합금의 연삭성은 기계적 성질과 관련하여 단순하게 평가될 수 없음을 알 수가 있었다(Grajower et al, 1986). 그러나 Cu의 함유량이 낮은 2wt%Cu에서는 CP Ti와 비슷하였다.

시험 시편은 시험 중 하중과 무관하게 본 시험의 회전속도인 15000rpm 및 30000rpm 모두에서 고온산화에 의한 불꽃반응이 일어났고, 특히 Ti-5wt%Cu 및 Ti-

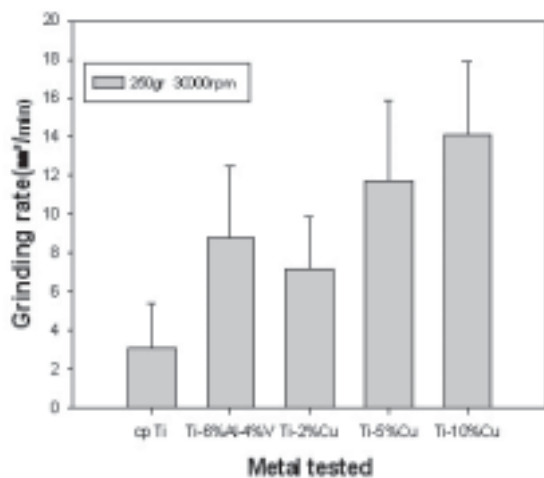


Fig. 3 Grinding rate evaluated by volume of the test metal removed per minutes at the rotational speeds of 30000rpm by applying a force of 250gr

10wt%Cu합금에서 강하게 일어났다. 이는 연삭 속도가 증가하면 연삭열도 더 높게 발생하게 되고(Ashiura et al, 1992; Loewen et al, 1954), 고속으로 연삭될 때 CP Ti보다 Ti-Cu합금에서 가연성이 높은 미세한 chip을 더 많이 발생되기 때문으로 생각된다(Chandler, 1989; Dahn, 1989).

고속 연삭시 주의할 점은 Cu의 함량이 많아지면 용점이 낮아져서 마이크로 용해가 일어날 가능성도 있다 (Kikuchi, 2003)고 알려져 있고, 이는 보철물의 변색 부식 및 균열의 원인이 될 수도 있다.

2. 연삭 chip 및 연삭면의 SEM 관찰

Fig. 4는 본 시험조건 중 가장 고 하중, 고속인 하중 250gr, 회전속도 30000rpm에서 연삭한 후에 CP Ti, Ti-6wt%Al-4wt%V합금 및 Ti-Cu합금의 금속 chip의 전자현미경사진이다. chip의 크기를 계량화 하지는 않았지만 CP Ti의 chip은 입자가 크고 거친 형태로 나타나서 Ti-Cu합금 중 5wt%Cu 및 10wt%Cu 합금의 chip이 상대적으로 작고 균일한 형태로 나타난 것과는 차이가 있었다. 특히 Ti-6wt%Al-4wt%V합금에서 가장 균일하고 미세하게 나타났다. 이는 Kikuchi 등(2003)이 연구한 Ti-Cu합금의 연삭성에 대한 실험에서 CP Ti의 chip이 10wt%Cu 합금보다 더 미세하게 나타났다고 보고한 내용과 유사하였다.

Fig. 5는 하중 250gr, 회전속도 30000rpm에서 연삭한 후에 CP Ti, Ti-6wt%Al-4wt%V합금 및 Ti-Cu합금의 연삭면의 전자현미경사진이다. 육안으로 관찰했을 때 모든 시험조건의 시료에서 연삭면이 뚜렷하고 다소의 차이는 있었으나 연삭열에 의한 변색이 나타났다. 이는 연삭 속도가 증가하면 열이 더 많이 발생하게 되고 Ti나 Ti 합금은 고온산화성이 매우 높기 때문으로 생각된다. 연삭면의 특징으로 CP Ti의 표면에는 금속이 엉겨 붙어 있어서 다른 실험 군인 Ti-Cu합금 및 Ti-6wt%Al-4wt%V합금과는 뚜렷한 차이가 나타났고, Ti-Cu합금에서 5wt%Cu 과 10wt%Cu합금 간에는 차이가 나타나지 않았다. 이는 Kikuchi 등(2003)이 연구한 Ti-Cu합금의 연삭성 평가에서 저속에서는 Ti와 Ti합금의 연삭면의 차이가 없었으나 고속인 $1500\text{mm} \cdot \text{m}^{-1}$ 속도에서는 차이가 뚜렷하게 나타

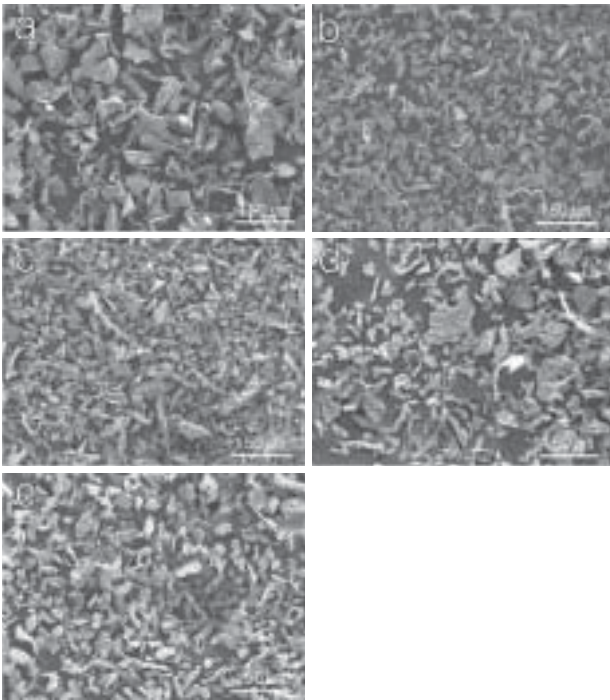


Fig. 4 Metal chips resulting from grinding of the test metals at the rotational speeds of 30000rpm by applying a force of 250gr: (a) CP Ti; Ti-6wt%Al-4wt%V; Ti-2wt%Cu; Ti-5wt%Cu; Ti-10wt%Cu

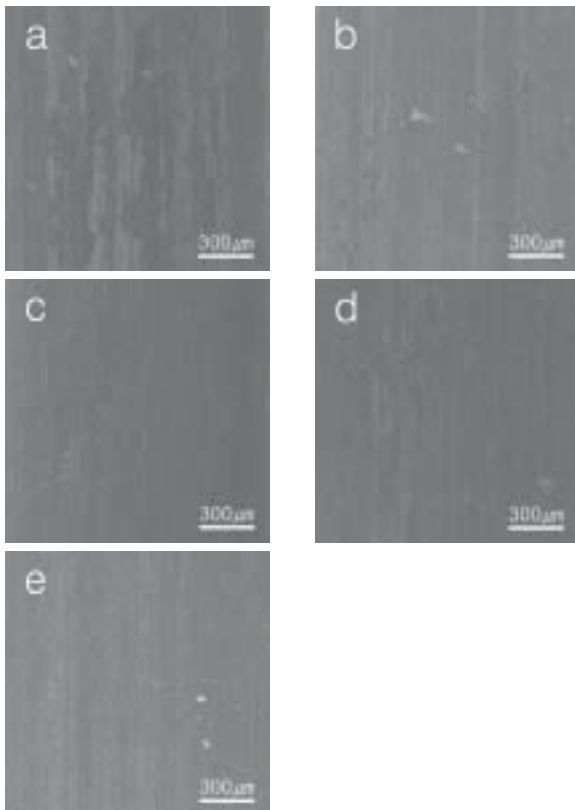


Fig. 5 Ground surfaces of the test metals at the rotational speeds of 30000rpm by applying a force of 250gr: (a) CP Ti; Ti-6wt%Al-4wt%V; Ti-2wt%Cu; Ti-5wt%Cu; Ti-10wt%Cu

났다고 보고한 시험결과와 유사하였고, 이로써 실험 군인 Ti-Cu합금은 Ti-6wt%Al-4wt%V합금과 더불어 CP Ti보다 고속 연삭에서 더 효율적인 것을 알 수가 있었다.

IV. 결 론

CP Ti보다 연삭성이 개선된 치과용 Ti합금을 개발하기 위한 기초로서 Ti-Xwt%Cu(X=2, 5, 10)의 연삭성을 평가하였다. 그 결과 5wt%Cu 및 10wt%Cu합금의 연삭성이 고속연삭에서 CP Ti보다 더 효율적으로 나타났으며, 이 합금조성에서는 층상의 공석조직인 α Ti/Ti₂Cu를 포함하고 있어 연성을 감소시켰기 때문으로 생각된다.

참 고 문 헌

- Ashirura Y, Motonishi S, Machining. Fabrication technique of titanium, Japan Titanium Society, Tokyo, 19-50, 1992.
- Chandler HE. Machining of reactive metas. Metal handbook 9th ed. Vol.16 Machining, ASM Inc., Metals Park, OH, 844, 1989.
- Dahn CJ. Explosively nd pyrophoricity of metal powders, Metals Handbook 9th ed., Vol.7 Powder Metallurgy, ASM Int., Metals Park, OH, 194-200, 1989.
- Grajower R, Kurz I, Bapna MS. Cutting times and grinding rates of various crown an bridge metals. Dent Mater, 2(5), 187, 1986.
- Holden FC, Watts AA, Ogden HR, Jaffee RI. Heat treatment and mechanical properties of Ti-Cu alloys. Trans AIME, 7, 117-125, 1955.
- Kikuchi M, Takahashi M, Takada Y, Lijima K, Okuno O. Machinability of experimental titanium alloys. Proceedings of fifth international symposium on titanium in dentistry, Chiba, 45, 2001.

- Kikuchi M, Takahashi M, Okabe T. Grindability of dental cast Ti-Ag and Ti-Cu alloys. Dental material Journal, 22, 2, p.191, 2003.
- Loewen EG, Shaw MC and Mass C. On the analysis of cutting tool temperatures. Trans ASME, Feb, 217-231, 1954.
- Marcinak CF, Young FA, Spector M. Biocompatibility of a new Ti dental casting alloy. J Dent Res, 59:472, Abstr No.821, 1980.
- Ohkubo C, Watanabe I, Ford JP, Nakajima H, Hosoi T, Okabe T. The machinability of cast titanium and Ti-6Al-4V, Biomaterials, 21, 421, 2000.
- Shepard FE, Grant GC, Moon PC, Fretwell LD. Allergic contact stomatitis from a gold alloy-fixed partial denture, J Am Dent Assoc, Vol.106, 198, 1983.
- Takeyama H, Murata R. Study on machinability of pure titanium. J Jpn Soc Preci Eng, 28:6, 331, 1962.
- Takahachi M, Kikuchi M, Takada Y, Okuno O. Mechanical properties and micro structures of dental cast Ti-Ag, and Ti-Cu alloys. Dent Mater J, 21(3), 270, 2002.
- Tamaki Y. Electro-mechanical grindings of dental alloys. J Jpn Dent Mater, 5, 804, 1986.
- Tekyama H, Yoshikawa T, Takada T. Machinability rating settei ni kansuru kenkyuu. J Jpn Soc Preci Eng, 41(4), 392, 1975 (in Japanese).
- Watanabe I, Aoki T, Okabe T. Grindability of cast Ti-6Al-4V alloyed Copper. J Prosthodont, 18, 152, 2009.