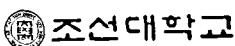


치과용 합금의 주조방법에 따른 주조결함 및 내식성에 관한 연구

A Study on Corrosion Resistance and Cast Defects
of Dental Alloys with Various Casting Methods



100284555 2004-10-15

2004년 8월 일

조선대학교 대학원

치 의 학 과
유 철

치과용 합금의 주조방법에 따른
주조결함 및 내식성에 관한 연구

지도교수 고 영 무

이 논문을 치의학 석사학위 논문으로 제출함.

2004년 4월 일

조선대학교 대학원

치 의 학 과
유 철

유 철의 석사학위 논문을 인준함.

위원장 조선대학교 교수 김동기인

위원 조선대학교 교수 고영무인

위원 조선대학교 교수 최한철인

2004년 5월 일

조선대학교 대학원

목 차

| | |
|---------------------|----|
| 영문초록 | iv |
| I. 서 론 | 1 |
| II. 연구재료 및 방법 | 3 |
| III. 연구성적 | 4 |
| IV. 총괄 및 고안 | 5 |
| V. 결 론 | 8 |
| 참고문헌 | 9 |

표 목 차

| | |
|---|---|
| Table I . Chemical compositions of dental casting alloys used in this study | 3 |
|---|---|

도 목 차

| | |
|--|----|
| Fig. 1. Clinical case of failed partial denture frame | 13 |
| Fig. 2. Photographs of partial denture frame for PDS alloy before radiographic test. (a) centrifugal casting (b) high frequency induction casting (c) vacuum pressure casting | 13 |
| Fig. 3. Photographs of partial denture frame for PDS alloy after radiographic test. (a) centrifugal casting (b) high frequency induction casting (c) vacuum pressure casting | 14 |
| Fig. 4. Photographs of partial denture frame for Ticonium alloy after radiographic test. (a) centrifugal casting (b) high frequency induction casting (c) vacuum pressure casting · | 14 |
| Fig. 5. Photographs of partial denture frame for Wironit alloy after radiographic test. (a) centrifugal casting (b) high frequency induction casting (c) vacuum pressure casting | 14 |
| Fig. 6. Optical micrograps of partial denture alloy before casting. (a) Ticonium x 200, (b) Wironit x 200 | 15 |
| Fig. 7. SEM micrographs showing casting structure for PDS alloy. (a) centrifugal (b) high frequency induction (c) vacuum pressure | 15 |
| Fig. 8. SEM micrographs showing casting structure for Ticonium. (a) centrifugal (b) high frequency Induction (c) vacuum pressure | 16 |
| Fig. 9. SEM micrographs showing casting structure for Wironit. (a) centrifugal (b) high frequency Induction (c) vacuum pressure | 16 |

| | |
|---|----|
| Fig. 10. Anodic polarization curves of partial denture frame for PDS alloy after potentiodynamic test. (a) centrifugal casting (b) high frequency induction casting (c) vacuum pressure casting | 17 |
| Fig. 11. Anodic polarization curves of partial denture frame for Ticonium after potentiodynamic test. (a) centrifugal casting (b) high frequency induction casting (c) vacuum pressure casting | 17 |
| Fig. 12. Anodic polarization curves of partial denture frame for Wironit after potentiodynamic test. (a) centrifugal casting (b) high frequency induction casting (c) vacuum pressure casting | 18 |
| Fig. 13 SEM micrographs showing corrosion morphology of PDS alloy after potentiodynamic test in 0.9% NaCl. (a) centrifugal (b) high frequency induction (c) vacuum pressure | 19 |
| Fig. 14. SEM micrographs showing corrosion morphology of Ticonium after potentiodynamic test in 0.9% NaCl. (a) centrifugal (b) high frequency induction (c) vacuum pressure | 19 |
| Fig. 15. SEM micrographs showing corrosion morphology of Wironit after potentiodynamic test in 0.9% NaCl. (a) centrifugal (b) high frequency induction (c) vacuum pressure | 19 |

A Study on Corrosion Resistance and Cast Defects of Dental Alloys with Various Casting Methods

Yoo, Chull, D.D.S.,

Director : Prof. Ko, Yeong-Mu, D.D.S., M.S.D., Ph.D.

Department of Dentistry,

Graduate School of Chosun University

Alloyed based on cobalt or nickel and containing a substantial amount of chromium are suitable for the construction of partial denture frameworks. The defects of partial denture frameworks are mainly shrinkage porosity, inclusions, micro-crack, particles from investment, and dendritic structure. In order to investigate a good casting condition of partial denture frameworks, the three casting alloy and casting method were used and detected casting defects using the radiographic testing and electrochemical methods. Three casting alloys (PDS:63Co-27Cr-5.5Mo, Ticonium:63Ni-16Cr, Wironit:63Co-30Cr-5Mo) were prepared for fabricating partial denture frameworks with various casting methods; centrifugal casting(Kerr,USA), high frequency induction casting(Jelenko Eagle,USA), vacuum pressure casting(Bego,Germany). The casting temperature was 1380°C (PDS and Ticonium) and 1420°C(Wironit). The casting morphologies were analyzed using FE-SEM, EDX, and OM. The detection of casting defects was carried out using radiographic tester(Smart2000E, Denmark) with 40, 80, 120sec. exposure time, tube current(4.5mA) and voltage(80Kvp). The corrosion test of the dendritic structure was examined through potentiodynamic method in

0.9% NaCl solutions at $36.5^\circ \pm 1^\circ\text{C}$ and corrosion surface was observed using SEM. The defects of partial denture frameworks improved in the order of centrifugal casting, high frequency induction casting, and vacuum pressure casting method, especially, pore defects were found at part of clasp in the case of centrifugal casting method. The structure of casting showed dendritic structure for three casting alloy. In the PDS and Wironit, α -Co and ε -Co were appeared at matrix and γ' -Ni₂Cr second phase showed in Ticonium. Also, the corrosion resistance of casted structure increased in the order of vacuum pressure casting, high frequency induction casting, and centrifugal casting method.

It was concluded that the defects of clasps increased or decreased with various casting methods and casting condition, such as dried or wetted investment.

I. 서 론

치과용으로 비귀금속 합금은 코발트-크롬계 합금, 니켈-크롬계 합금, 스테인레스 강 및 티타늄계 합금 등은 금관, 가공의치, 매식체와 주조합금과 교정장치의 가공합금으로 사용하고 있다.^{7,12,13,14)} 특히 치과용 국소의치 구조물은 주로 Co-Cr합금이 사용되며 기계적 성질이 뛰어나고 생체와의 적합성도 좋아 클래스 프, 교정용 선재 등으로 많이 사용되고 있으며 인공관절용 재료로도 많이 사용되고 있다. 국소의치용 구조물의 수명은 clasp 부분의 주조성에 의해 크게 의존하며 환자가 국소의치를 탈 부착시 Fig. 1과 같이 clasp부분에서 쉽게 파괴되어 의치로서의 생명을 다하게 된다. 이는 주조성과 내식성의 개선이 중요한 요인으로 작용하고 있다. 주조성을 좌우하는 것은 재료내의 불균일한 불순물도 문제이지만 주조과정이나 주조 후에 발생되는 미세한 균열과 기공 및 수축공을 방지하는 것이며 최적의 주조조건을 찾는 것이 제품의 성공을 좌우하는 제일 중요한 요인이다. 그러나 표면상으로는 이러한 결함을 발견할 수 없지만 방사선투과시험을 사용하면 이러한 결함을 쉽게 검출할 수 있다. 치과용 생체재료로 사용하는 비 귀금속계 합금은 구강내의 수용성 용액에 노출되면 부식할 수 있는데 구강 안에서 부식은 치과수복물의 결합부위에서 쉽게 발생된다. 수용액 내에서 치과용 비귀금속계 합금중 코발트-크롬계 합금, 니켈-크롬계 합금 및 스테인레스 강은 크롬이 합금표면에 크롬산화막으로 부동태막을, 티타늄계 합금에서는 티타늄이 산화막을 형성하여 부식저항성을 높이게 되는데 이러한 주조시의 결함과도 밀접한 관계에 있다. 비귀금속계 합금에서 부식저항은 부동태막의 형성과 안정성에 큰 영향을 받으며 안정성은 합금의 조성 뿐 아니라 주조조직에도 좌우되므로 귀금속계 합금에서 보다 영향을 더 많이 받게 된다. Kuhn¹¹⁾은 수용액에서 코발트-크롬계 합금의 부식에 관하여, Brune 등⁸⁾은 코발트-크롬계 합금이 부동태화한 경우와 부동태화하지 않은 경우의 부식성향을, Pourbaix¹⁵⁾는 생체재료로 사용하는 금속의 전기화학적 부식에 관하여, Melo 등¹⁰⁾은 마모가 치과용 코발트-크

롭계 합금의 부식에 주는 영향에 관하여, Angelini 와 Zucchi⁶⁾는 치과용 코발트-크롬 및 니켈-크롬 합금에서 열처리가 부식에 주는 영향에 관하여 보고한 바 있다.

이러한 많은 연구결과에도 불구하고 주조조직 및 주조결함과 부식특성에 관한 연구는 미미하며 따라서 본 연구에서는 국소의치용 주조합금을 선택하여 주조방법을 달리하여 방사선 투과법으로 국소의치 구조물의 내부에 존재하는 결함을 조사하여 최적의 주조방법과 주조합금을 조사하였으며 주조조직이 갖는 내식성을 동시에 조사하였다.

II. 연구재료 및 방법

A. 연구재료

본 실험에 사용된 주조합금은 국소의치 구조물로 주로 사용되는 합금을 사용하였으며 합금제품은 PDS(Aalbadent Co., USA), Ticonium(Ticonium Co., USA), 및 Wironit(BEGO, Germany)의 3종류를 사용하였으며 이들 합금은 Table 1에 도표화하였다.

Table I. Chemical compositions of dental casting alloys used in this study.

| Samples | Composition (wt%) | Cr | Co | Mo | Al | Mn | Be | Ni | C | Fe |
|-------------|-------------------|----|-----|----|-----|-----|------|-----|-----|----|
| #1 PDS | 27 | 63 | 5.5 | - | - | - | 0.99 | - | 2.0 | |
| #2 Ticonium | 16 | 8 | 5 | 3 | 3.5 | 1.5 | 63 | - | - | |
| #3 Wironit | 30 | 63 | 5 | - | - | - | - | 0.4 | - | |

B. 연구방법

국소의치 구조물제작은 준비된 합금을 사용하여 원심주조기(Kerr, USA), 고주파주조기(Jelenko Eagle, USA) 및 진공음압주조기(Bego, Germany)를 이용하여 주조온도를 1380°C(PDS and Ticonium) 및 1420°C(Wironit)로 하여 시편용 국소의치 구조물을 제작하였다. 주조된 시편의 주조조직과 합금의 조직은 광학현미경, 주사전자현미경 및 EDX를 사용하여 조사하였으며 제조된 시편내의 결함조사는 방사선투과시험기(Smart200E, Andrex Co, Denmark)를 이용하여 4.5mV의 80Kvp의 관전압에서 노출시간을 40, 80 및 120초로 변화시키면서 조사하였다.

내식성시험은 EG&G사의 263A potentiostat을 사용하여 동전위방법으로 수

행하였다. 국소의치의 clasp부위를 절취하여 부식실험시편으로 사용하였고 실험에 사용된 전해액은 실험이 시작되기 60분전부터 실험종료 때까지 아르곤 가스를 유입시켜 cell 내에 잔류하는 용존산소를 충분히 제거하고 기준전극은 포화칼로멜전극, 보조전극은 고밀도 탄소전극, 시험전극은 준비된 시편을 각각 사용하였다. 시편의 합금성분과 주조방법에 따른 부식특성을 조사하기 위해서 0.9% NaCl 전해액과 전해액의 온도를 $36.5\pm1^{\circ}\text{C}$ 로 하여 양극분극실험을 행하였으며 이때 전위주사속도는 100mV/min로 하였다. 부식시험이 끝난 시편은 SEM을 사용하여 morphology를 관찰하였다.

III. 연구 성적

3.1 방사선 투과법을 이용한 주조합금 결함조사

제조된 시편내의 결함의 조사를 위하여 방사선투과시험기(Smart200E, Andrex Co, Denmark)를 이용하여 4.5mV의 80Kvp의 관전압에서 노출시간을 40, 80 및 120초로 변화시키면서 결함을 조사한 결과, Fig. 2에서와 같이 외관상으로는 주조결함을 검출할 수 없으나 금속투과용 방사선기를 이용한 Fig. 3, 4 및 5에서 보면 결함의 검출이 가능하였다. 결함은 Fig. 3과 5에서 원심주조기를 이용한 경우, 거의 Cr-Co합금에서 관찰되었으나 Fig. 4에서와 같이 Ni-Cr 합금에서는 발견되지 않는 경향을 보였다. Cr-Co합금일지라도 고주파주조기와 진공음암주조기를 사용하여 제조된 시편은 결함이 발견되지 않아 우수한 국소의 치 구조물을 제조할 수 있음을 알았다.

3.2 주조방법과 합금에 따른 주조조직의 관찰

주조된 시편의 주조조직과 합금의 조직은 광학현미경, 주사전자현미경 및 EDX를 사용하여 조사한 결과, 주조하기 전 합금의 조직은 Ticonium의 경우 columnar조직을 보였으며 PDS와 Wironit는 수지상구조를 보였다(Fig. 6). 주조방법을 달리하여 주조하면 PDS와 Wironnit의 주조조직은 주로 수지상구조를 가졌으며 α -Co, ε -Co 상이 나타났고 Ticonium에서는 Ni_2Cr 상이 columnar나 타났다. 주조조직인 수지상조직은 원심주조에서 3가지 합금 모두 관찰되었고 고주파주조와 진공음암주조의 경우 주조조직인 수지상이 점차 소멸되어 거의 주조 전의 조직과 비슷한 양상을 보였다. 특히 원심주조의 경우는 기지 내에 많은 펫트 등을 보임으로써 국소의 치구조물의 주조결함이 증가시키는 조건임을 알 수 있었다(Fig. 7, 8, 9).

3.3 주조방법과 주조합금에 따른 내식성의 조사

전기화학적 방법을 이용한 내식성시험은 EG&G사의 263A potentiostat을 사용하여 동전위 부식시험을 행한 결과, 원심주조법으로 제조한 주조조직의 결함으로 인하여 부식전위가 크게 낮아지며 전류밀도가 증가되는 경향을 보이나 고주파와 음압주조법은 부식전위가 증가되고 전류밀도가 감소되는 양상을 보였다. 특히 합금에 따라서는 α -Co, ε -Co 상을 형성하는 PDS와 Wironit합금이 내식성이 감소되며 Ni_2Cr 상을 형성하는 Ticonium에서는 내식성이 크게 증가되는 경향을 보였다. 이는 주조결함 뿐만 아니라 내부의 상변화에 따라 내식성이 크게 좌우됨을 알 수 있었다(Fig. 10, 11, 12). 부식 후 시편의 부식형상은 수지상조직을 따라 부식생성물이 형성되었고 주조조직에서 부식이 이루어짐을 보였다. PDS와 Wironit는 수지상조직에서 부식된 반면 Ticonium은 columnar조직에서 부식이 이루어져 있음을 보였다.(Fig. 13, 14, 15).

IV. 총괄 및 고안

국소의치 구조물은 그 수명이 클래스프의 주조성에 의해 크게 의존하며 환자가 탈부착시 클래스프 부분에서 쉽게 파괴되어 의치로서의 생명을 다하게 되는데 이러한 보철물의 수명은 구강 내에서 주조성에 따라 발생되는 조직의 변화나 결함 등이 부식에 민감한 중요한 요인이 되고 있다. 즉 주조성을 좌우하는 것은 재료 내의 불균일한 불순물도 문제이지만, 주조과정이나 주조 후에 발생되는 미세한 균열과 기공 및 수축공을 방지하는 것이며 최적의 주조조건을 찾는 것이 제품의 성공을 좌우하는 제일 중요한 요인이다. 그러나 표면상으로는 이러한 결함을 발견할 수 없지만 방사선투과시험을 사용하면 이러한 결함을 쉽게 검출할 수 있다. 시편내의 결함의 조사는 비파괴적으로 재료, 구조물중에 존재하는 결함을 검출하기 위한 방법이며 그 기초가 되는 것은 물성이고 재료의 물리적 성질이 결함의 존재로 변화되는 것을 이용하여 반대로 물성치의 변화로부터 결함의 존재를 추정하는 기법이다. 비파괴시험은 물성연구의 진보에 따라 많은 방법이 개발되고 있으며 방사선투과법, 초음파탐상법, 자기탐상법, 전기적탐상시험, 침투탐상시험, 열적탐상시험, 누설시험, 광학적 시험 등 여러 가지가 있다.²⁻³⁾ 이들 중에서도 방사선투과법은 선원을 X-선과 V-선을 이용하여 내부의 결함을 2차원의 투영상으로 하여 검출해서 X-선 필름 등에 그대로 기록할 수 있는 방법이며 비파괴시험법 중에서 객관성과 기록성의 면에서 우수하므로 널리 이용되고 있다. 본 연구에서는 선원을 X-선을 이용한 방사선투과시험기(Smart200E, Andrex Co, Denmark)를 사용하여 4.5mV의 80Kvp의 관전압에서 시험하였으나 시험의 조건이 노출시간을 변수로 하여 검출하기 때문에 40, 80 및 120초로 변화시켰다. 노출시간에 따라 상의 선명도가 크게 차이가 있었으며 따라서 Fig.3, 4, 5는 노출시간을 40초로하여 얻은 방사선사진이다. 방사선사진상의 판독에는 고도의 숙련을 필요로 하며 즉, 방사선사진상에 시편의 결함이 아닌 필름의 저장, 취급관리의 잘못, 현상과정에서 잘못으로 인한 불완전한 방사선사진이 얻어질 수 있기 때문이다. 그

러나 이러한 원인을 철저히 제거한 숙련가가 처리하였으므로 인공결함은 없을 것으로 생각된다. 주조체 그대로의 상태는 주조방법이나 주조합금에 따라서 육안으로 어떠한 결합도 검출할 수 없지만 이러한 방사선투과법을 이용하면 주로 클래스프 부분에서 결합이 발생되고 있음을 알 수 있다. 특히 주조방법에 따라 주형내로 용융금속의 침투가 용이하지 않은 원심주조법의 경우가 거의 결합이 발견되고 있으며 진공주조법이나 음압법의 경우는 클래스프와 같이 주물의 두께가 얇고 복잡한 부분까지 용융금속이 응고되기 전에 빠른 속도로 침투하게 됨으로써 완전한 채움효과가 있었기 때문으로 판단된다. 합금의 종류에 따라서는 Ni이 다량 첨가된 Ticonium합금의 경우는 칠(chill) 방지효과¹⁾로 원심주조법이라 할지라도 클래스프부분에서 결합이 발생되지 않았음을 알 수 있다(Fig.4). 따라서 금속투과용 방사선투과기를 이용한 결과, 결합은 원심주조기를 이용한 경우 거의 Cr-Co합금에서 관찰되었으나 Ni-Cr합금에서는 발견되지 않는 경향을 보였다. Cr-Co합금일지라도 고주파주조기와 진공음압주조기를 사용하여 제조된 시편은 결합이 발견되지 않아 우수한 국소의 치구조물을 제조할 수 있음을 알았다.

결합이 방사선투과법으로 검사되고 주조합금과 주조방법에 따라 다름을 알았으며 따라서 주조된 시편의 주조조직에도 그 영향을 미쳤을 것으로 판단되어 합금의 조직을 광학현미경, SEM 및 EDX를 사용하여 보면 주로 대부분의 합금이 주조 전보다는 주조 후에 주로 수지상구조로 변화됨을 알 수 있었다. 정교한 주조방법일 수록 수지상조직의 형성은 감소되고 주조전의 조직과 비슷한 양상을 보였는데 이는 빠르게 주입되고 빠르게 냉각됨으로써 주조조직인 수지상조직의 형성을 억제하는 것으로 판단된다⁹⁾. 또한 합금성분에 따라서는 α -Co, ϵ -Co 상이 PDS와 Wironit합금에서 주로 형성되고 Ticonium에서는 Ni_2Cr 상을 보이는데 이러한 상들의 형성은 강도를 증가시키지만 부식저항성을 감소시키는 인자로 알려져 있다⁴⁾. 따라서 주조조직의 형성을 최대한 억제시키는 방법이 최고의 국소의 치물을 제작하는 방법이다. 주사전자현미경을 관찰한 조직사진에서 보더라도 기지 내에 많은 기공과 결합이 존재하는 경우는 원심주조법으로 치밀한 주조조직을 갖지 못함을 보인다.

부식은 조직사진에서 보더라도 기지와 석출물 사이에 계면이 존재하며 그 부분에서 농도차이에 의한 국부전지가 형성되고⁵⁾ 구강내의 용액에서 부식이 가속화되는 결과를 가져온다. 전기화학적 방법을 이용한 내식성시험을 행한 결과, 이러한 조직변화의 영향으로 인하여 분극곡선 상에서 원심주조법의 경우는 부식전위가 크게 낮아지며 고주파와 음압주조법은 부식전위가 증가되는 양상이며 전류밀도도 원심주조법에서는 증가되지만 다른 방법들은 감소되는 경향을 보였다. 이는 미세조직의 변화와 밀접한 관계가 있음을 알 수 있다. 전류밀도가 증가되는 이유는 기지와 2차상(Second Phase)의 계면사이에서 전위차와 수지상조직사이의 농도차로 인하여 부식이 촉진되었기 때문으로 생각된다. 따라서 α -Co, ε -Co상을 형성하는 PDS와 Wironit합금의 내식성이 감소되며 Ni_2Cr 상을 형성하는 Ticonium에서는 내식성이 크게 증가되는 경향을 보였다. 부식후의 조직사진에서도 수지상조직을 따라서 부식이 진행되었음을 알 수 있는데 수지상 조직부분에 많은 부식생성물을 형성하여 이를 뒷받침하고 있다.

따라서 clasp의 내식성은 주조방법에 따라 원심주조법, 고주파유도법, 진공주조법 순으로 개선되었으며 주조합금에 따라 2차상의 형성 여부에 따라 내식성이 개선된다는 것을 알 수 있다.

V. 결 론

국소의치용 구조물의 파절원인이 되는 결함을 조사하기 위하여 3종의 주조합금을 사용하여 조직상, 주조결함, 부식저항성을 실험하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 주조결함은 원심주조법, 고주파유도법, 진공음압주조법의 순으로 개선되었다.
주로 금속내의 이물질과 내부기포 및 매몰재의 잔사 등에 의한 결함으로 판단되었다.
2. 주조조직은 주로 수지상구조를 가졌으며 α -Co, ε -Co 상이 PDS와 Wironit 합금에서 나타났으며 Ticonium에서는 Ni_2Cr 상이 나타났다.
3. 부식저항 역시 원심주조법, 고주파유도법, 진공음압주조법의 순으로 개선되었다.

이러한 결과를 토대로 국소의치용 합금의 결함과 내식성은 주조합금과 주조방법에 따라 크게 달라질 수 있으며 Ticonium합금을 사용하여 진공음압주조법으로 주조한 구조체가 가장 좋은 국소의치 구조물을 제조할 수 있을 것으로 생각된다.

참고문헌

1. 양훈영 : 신금속재료학, 문윤당, 1995, p324.
2. 양훈영 : 신금속재료학, 문윤당, 1995, p584.
3. 이 용 : 방사선투과검사, 세진사, 1998, p27.
4. 이학열 : 금속부식공학, 연경문화사, 1997, p104.
5. 이학열 : 금속부식공학, 연경문화사, 1997, p112..
6. Angelini, E, Zucchi, F. In vitro corrosion of some Co-Cr and Ni-Cr alloys used for removable partial dentures : Influence of heat treatments, J. Mat. Sci. : Mat. in Medicine 1991;2:27.
7. Bannon, B.P., Mild, E.E. Titanium alloys for biomaterial application : An overview, ASTM STP 796, H.A.Luckey and Fred Kubli. Jr., Eds., pp 1983:7~15.
8. Brune D, Hultquist G, Leygraf, C. Corrosion resistance of a passivated and non-passivated cobalt-chromium alloy, Scand. J. Dent. Res 1984;92:262.
9. D.A. PORTER. Phase transformations in metals and alloys, Van Norstrand Reinhold Co. New York 1981:232
10. De Melo, JF, Gjerdet, N.R, and Erichsen, E.s. The effect of abrasion on corrosion of dental Co-Cr alloys : An in vitro study, Acta Odontol. Scand 1985;43:69.
11. Kuhn, A.T. Corrosion of Co-Cr alloys in aqueous environments, Biomaterials 1981;2:68.
12. Lautenschlager, E.P. Monaghan P. Titanium and titanium alloys as dental materials, Int. Dent. Journal 1993;43:245.
13. Leinfelder, K.F, Lemons, J.E. Base metal alloys and biomaterials

- for dental surgical implants. Clinical restorative materials and techniques, Philadelphia, Lea and Febiger, pp 1988:139-159.
14. Noort, R.V. Titanium : the implant material of today, J. Master Sci 1987;**43**:3801.
 15. Pourbaix, M. Electrochemical corrosion of metallic biomaterials, biomaterials 1984;**5**:122.

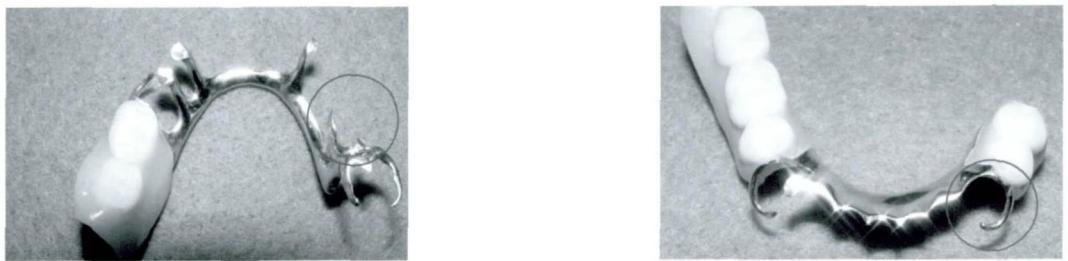


Fig. 1. Clinical case of failed partial denture frame.

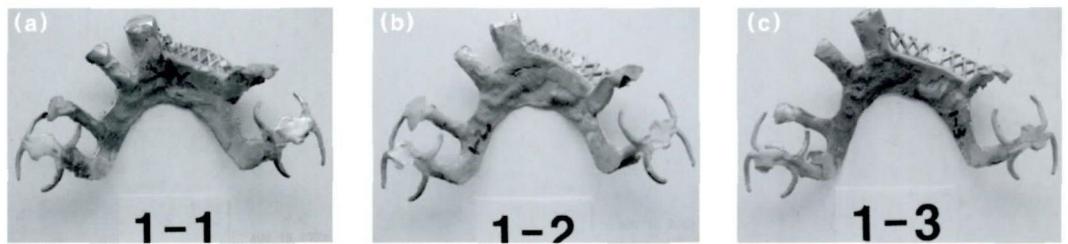


Fig. 2. Photographs of partial denture frame for PDS alloy before radiographic test. (a) centrifugal casting (b) high frequency induction casting (c) vacuum pressure casting

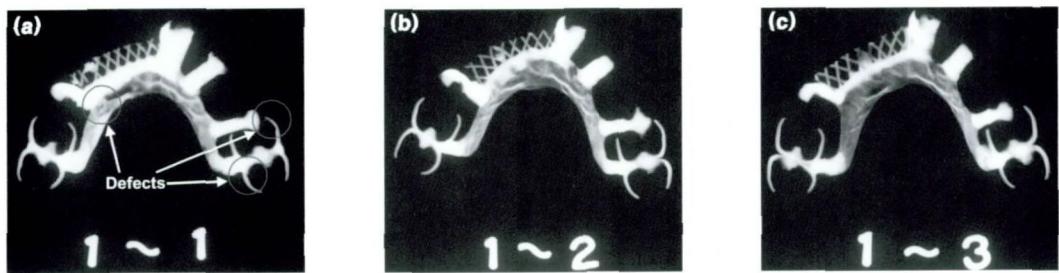


Fig. 3. Photographs of partial denture frame for PDS alloy after radiographic test. (a) centrifugal casting (b) high frequency induction casting (c) vacuum pressure casting

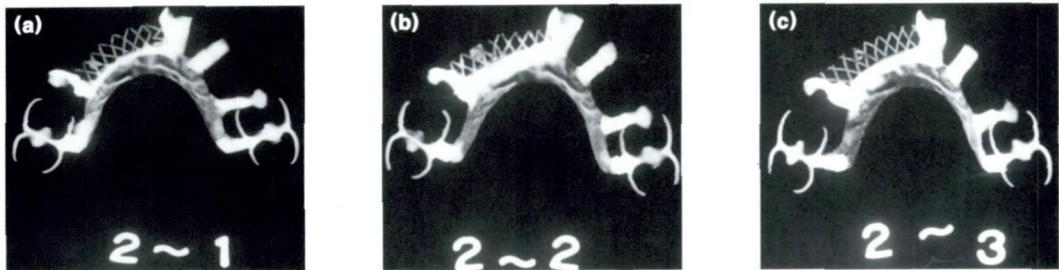


Fig. 4. Photographs of partial denture frame for Ticonium alloy after radiographic test. (a) centrifugal casting (b) high frequency induction casting (c) vacuum pressure casting

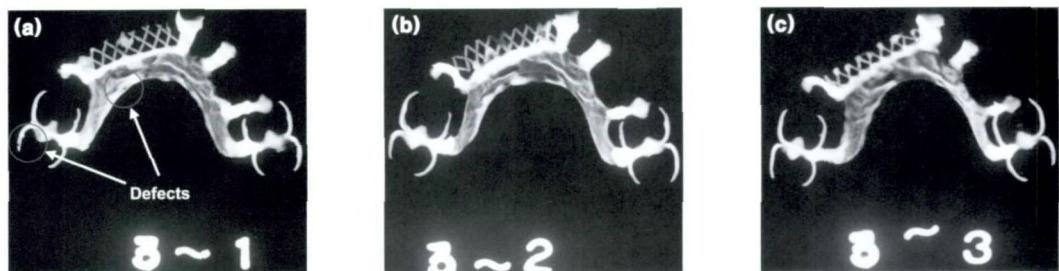


Fig.5. Photographs of partial denture frame for Wironit alloy after radiographic test. (a) centrifugal casting (b) high frequency induction casting (c) vacuum pressure casting

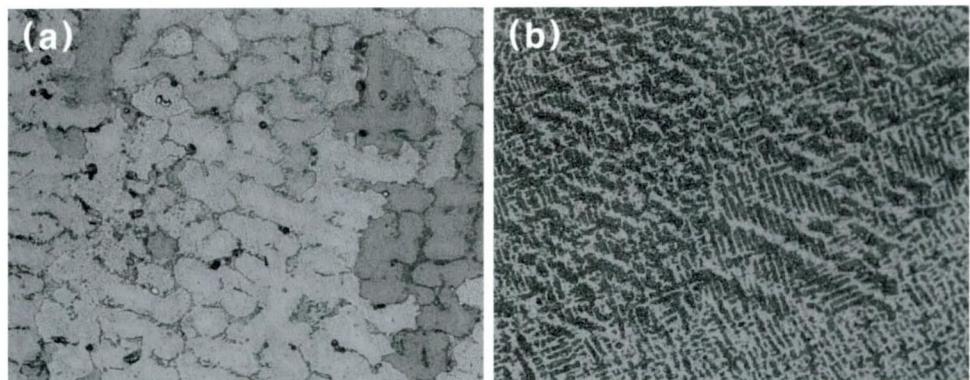


Fig. 6. Optical micrographs of partial denture alloy before casting.

(a) Ticonium x200, (b) Wironit x200

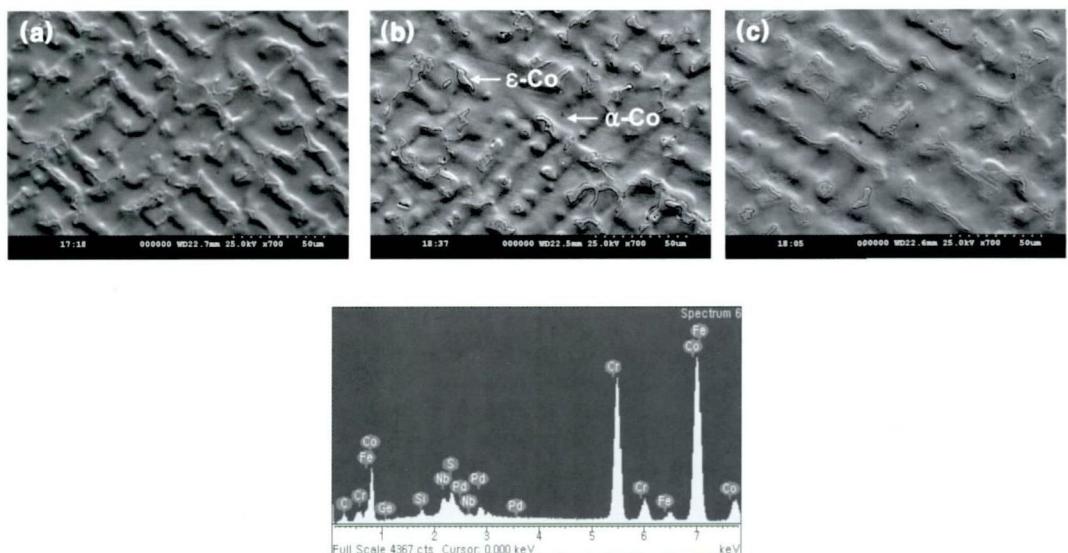


Fig. 7. SEM micrographs showing casting structure for PDS alloy.

(a) centrifugal (b) high frequency induction (c) vacuum pressure

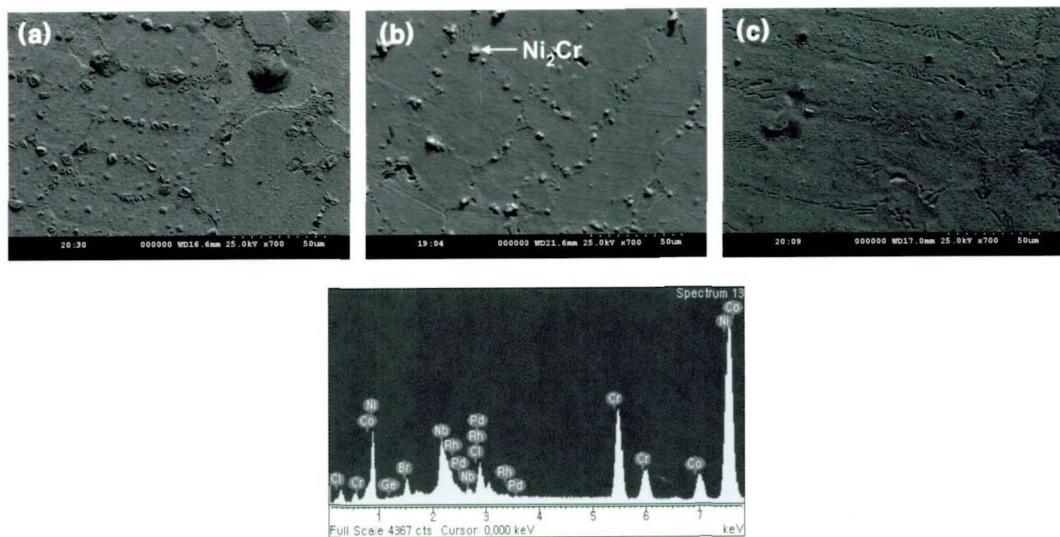


Fig. 8. SEM micrographs showing casting structure for Ticonium.

(a) centrifugal (b) high frequency Induction (c) vacuum pressure

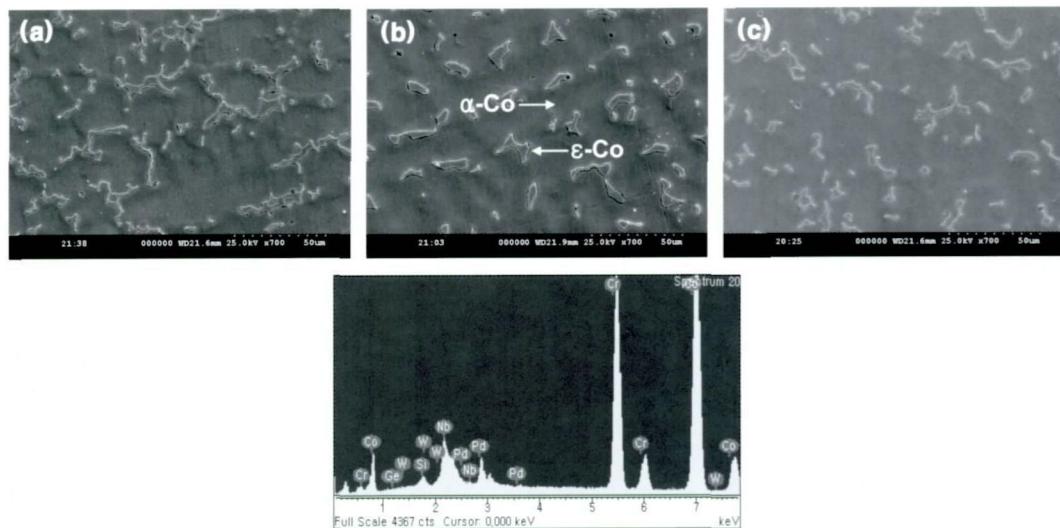


Fig. 9. SEM micrographs showing casting structure for Wironit.

(a) centrifugal (b) high frequency Induction (c) vacuum pressure

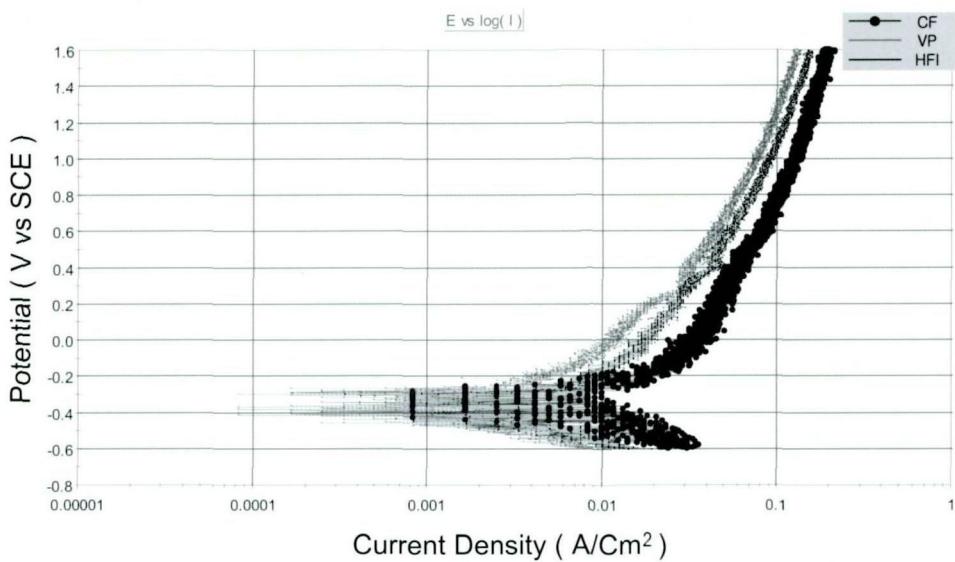


Fig. 10. Anodic polarization curves of partial denture frame for PDS alloy after potentiodynamic test. (a) centrifugal casting (b) high frequency induction casting (c) vacuum pressure casting

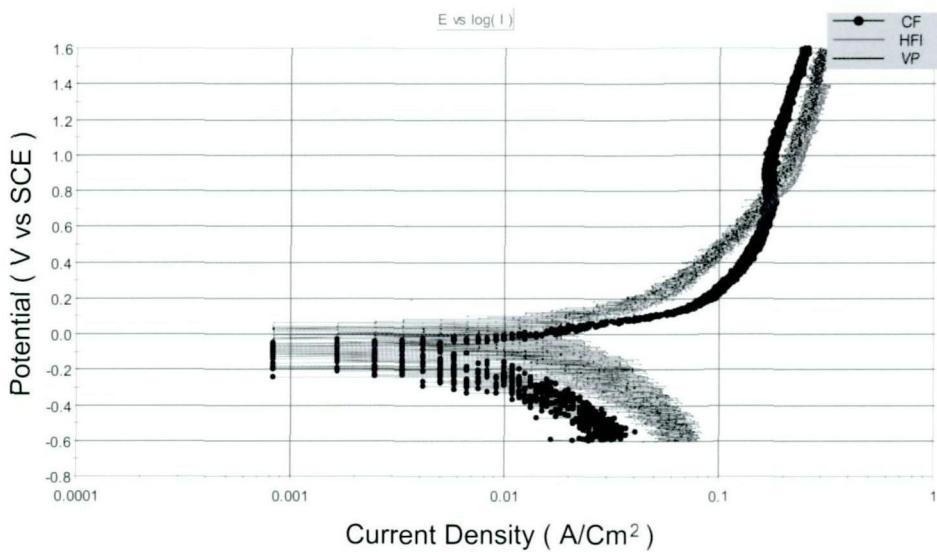


Fig. 11. Anodic polarization curves of partial denture frame for Ticonium after potentiodynamic test. (a) centrifugal casting (b) high frequency induction casting (c) vacuum pressure casting

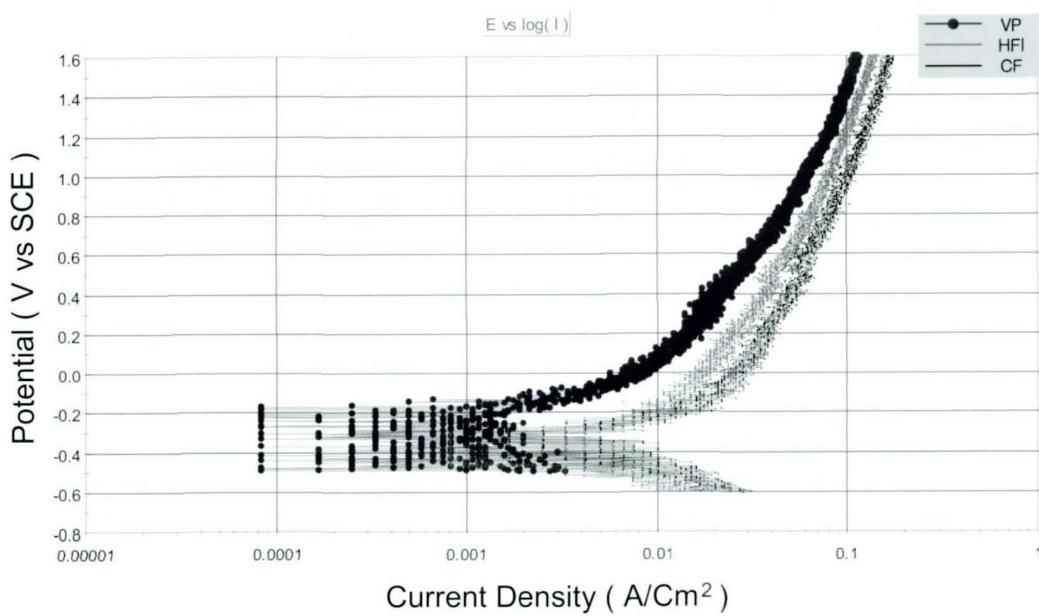


Fig. 12. Anodic polarization curves of partial denture frame for Wironit after potentiodynamic test. (a) centrifugal casting (b) high frequency induction casting (c) vacuum pressure casting

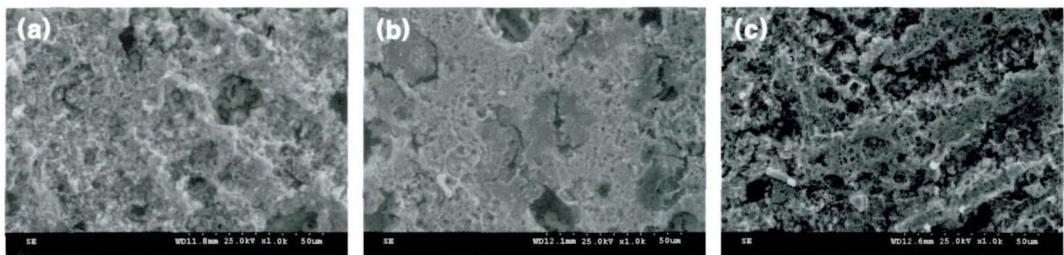


Fig. 13. SEM micrographs showing corrosion morphology of PDS alloy after potentiodynamic test in 0.9%NaCl. (a) centrifugal (b) high frequency induction (c) vacuum pressure

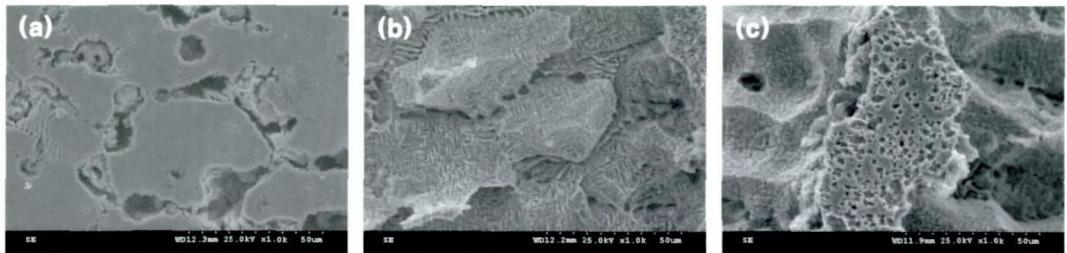


Fig. 14. SEM micrographs showing corrosion morphology of Ticonium after potentiodynamic test in 0.9%NaCl. (a) centrifugal (b) high frequency induction (c) vacuum pressure

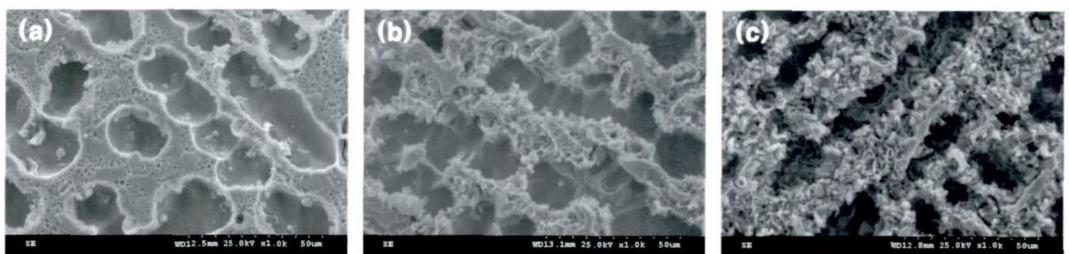


Fig. 15. SEM micrographs showing corrosion morphology of Wironit after potentiodynamic test in 0.9%NaCl. (a) centrifugal (b) high frequency induction (c) vacuum pressure