

## 온간 성형법으로 제작한 오스테나이트계 스테인레스강의 소결 거동에 관한 연구

임 태 환

선문대학교 공과대학 재료금속공학부

### A Study on Densification Behavior of Austenitic Stainless Steel Powder Compacts Processed by Warm Compaction

T-W. Lim

Division of Metallurgical and Materials Engineering, Sunmoon University, Asan 337-840, Korea

(Received January 14, 2000)

**Abstract** Densification behavior of conventional austenitic stainless steel powder compacts was studied by comparing the relative density of sintered compact ( $D_s$ ) with that of green compacts ( $D_g$ ) prepared with various carbon contents and by P/M process.  $D_g$  of 304 and 316 powders by warm compaction under pressure of 686 MPa at heating temperature of powder (553K) and dies (573K) were 80% and 81%, respectively, which were 2 and 3 % higher than those of conventional green compacts at the same pressure.  $D_s$  of 304 compacts sintered at 1373K in  $H_2$  gas had the same value of 84 % max. regardless of compacting temperature, and  $D_s$  of 316 compacts at the same sintering conditions were 80% by conventional compaction and 83% by warm compaction. Oxygen contents of 304 and 316 sintered compacts were increased 1.43~2.94 % and 0.010~0.921 % higher than those of raw powders and warm green compacts, respectively. In other case,  $D_s$  of 304 compacts sintered at 1573 K in vacuum had the same value of 86 % max. And  $D_s$  of 316 compacts at the same sintering conditions were 83 % and 86 % by conventional and warm compaction, respectively. Oxygen contents of 304 sintered compacts were 0.321% and 0.360 %, and in case of 316, they were 0.419 % and 0.182 % by the respective compacting condition. With carbon additions in the range of 0.1~0.6 %,  $D_s$  increased to the extent of 86~88% and 87~89% in 304 sintered compacts, and to 82~84 % and 85~87 % in 316 according to different two compacting processes compared to those of sintered compacts without carbon addition.

### 1. 서 론

최근 사무기기/OA기기 및 산업기기, 자동차 등이 고성능화·고급화됨에 따라 부품의 고성능화·고급화도 추진되고 있어 분말야금 부품 중에서 스테인레스 연자성 소결 부품 및 스테인레스 내열·내식용 부품의 사용 증대<sup>1,2)</sup>가 한층 기대되고 있다. 현재 분말 야금법에 주로 이용되는 스테인레스 분말은 오스테나이트 스테인레스강<sup>3)</sup> 분말이나, 조대한 합금분말을 이용하여 금형성형+고상 소결법으로는 고밀도 (>6.8 g/cm<sup>3</sup>)의 소결체 제작이 어렵기 때문에<sup>4)</sup> 철분과 스테인레스 강분 혼합에 의한 확산합금법,<sup>5,6)</sup> 소량의 B첨

가에 의한 액상소결법<sup>7,8)</sup> 등을 통하여 제품을 생산하고자 하는 노력이 있어 왔다.

본 연구에서는 오스테나이트계 스테인레스강 중에서 기계부품의 재료로 가장 많이 이용되는 304 (Fe-18%Cr-8%Ni) 및 316 (Fe-18%Cr-12%Ni-2%Mo) 합금의 조대분말을 사용, 성형온도가 성형체의 밀도와 소결체의 밀도에 미치는 영향과 원료분말의 탄소첨가, 소결온도 및 소결 분위기가 소결체의 밀도에 미치는 영향을 고찰하고 그 원인을 분석하여 향후 고밀도 및 저산소량의 스테인레스 소결 부품의 제조에 응용할 수 있도록 하는 것을 연구 목적으로 하였다.

## 2. 실험방법

원료분말로는 시판의 304 (평균 입도:  $-44 \mu\text{m}$ , O: 0.558%, C: 0.0285%) 및 316 (평균 입도:  $150 \mu\text{m}$ , O: 2.37%, C: 0.0207%) 스테인레스 물분무 합금 분말을 사용하였다. 또한 304, 316합금 분말에 탄소분말 (평균 입도:  $5 \mu\text{m}$ )을 0.1~0.6%첨가한 혼합분말도 사용하였다. 성형은 상온에서와 온간에서 실시하였으 분위기 중에서 403~553 K로 온도를 변화시켜 1.8 ks 동안 가열하여 성형하였으며, 금형은 423~573 K의 온도범위에서 1.8 ks동안 가열한 후 사용하였다. 이때 성형압력은  $98(1 \text{ ton/cm}^2) \sim 686 \text{MPa}$  ( $7 \text{ ton/cm}^2$ )로 변화시켰다. 소결 분위기는 수소 ( $\text{H}_2$ , 노점 228 K) 및 진공 ( $\sim 10^{-5} \text{ torr}$ )으로 하여 승온 속도는  $0.17 \text{ Ks}^{-1}$ 로 하였다. 소결온도 ( $T_s$ )는 1273~1573 K의 범위에서 변화시켜 소결시간 ( $t_s$ )은 일반적으로 3.6 ks로 하였다. 제조된 소결체에 대하여는 소결체의 상대밀도 ( $D_s$ ) 측정, 조직관찰, 산소·탄소량 측정 등을 하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

그림 1에는 304 분말을 상온 성형한 성형체의 상대밀도 ( $D_g$ ) 및 분말을 Ar분위기 중 453~553 K 범위에서 가열한 후 473~573 K로 된 금형에 분말을 투입하여 성형한 온간 성형체의  $D_g$ 를 성형압력과의 관계로 나타내었다. 낮은 성형 압력 (294 MPa이하)에서는 상온 성형체와 온간 성형체와의 밀도 변화 차

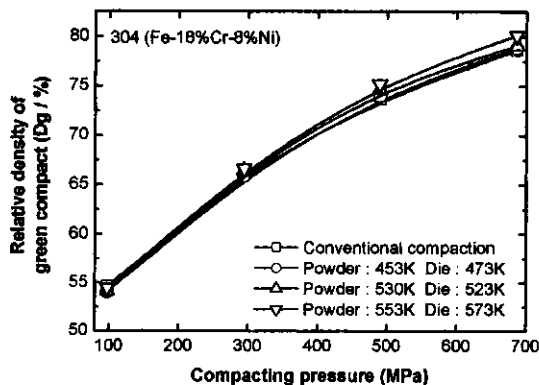


Fig. 1. Effect of compaction pressure on relative density of green compact ( $D_g$ ) of conventional and warm compactions for the Fe-18%Cr-8%Ni prealloyed powder(304 stainless steel).

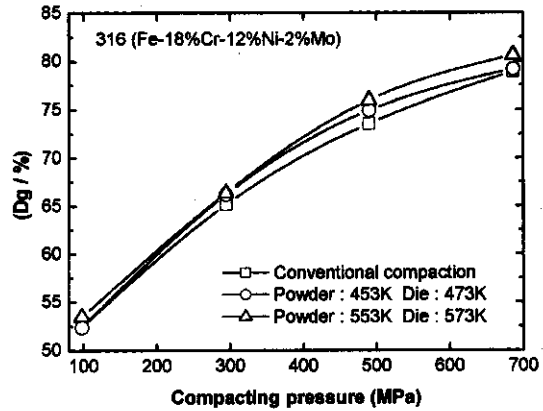


Fig. 2. Effect of compaction pressure on  $D_g$  of conventional and warm compactions for the Fe-18%Cr-12%Ni-2%Mo prealloyed powder(316 stainless steel).

는 거의 나타나지 않았으나, 500 MPa이상의 성형압력에서는 가열에 따른 성형체의  $D_g$  차가 약 1~2% 나타났었다. 예를 들어 일반적인 소결 기계부품 제작에 이용하는 686 MPa의 성형 압력<sup>9)</sup>에서 보면, 분말을 553 K로 가열하여, 573 K에서 온간 성형한 성형체의  $D_g$ 는 80%로 나타나 상온 성형체에 비하여 2%정도 높은 성형체의 밀도를 얻을 수 있었다.

그림 2에는 304 분말과 동일 성형조건으로 상온 및 온간성형한 316 성형체의  $D_g$ 를 성형압력과의 관계로 나타내었다. 어느 경우의 성형압력에서나 온간 성형체의  $D_g$ 가 상온 성형체의  $D_g$ 에 비하여 높게 나타났다. 예를 들어 분말을 553 K로 가열하여, 573 K에서 686 MPa로 온간 성형한 성형체의  $D_g$ 는 81%로 나타나 상온 성형체에 비하여 약 3%정도 높게 나타났다.

다음은 상온 및 온간 성형체에 대하여 수소 ( $\text{H}_2$ ) 중 분위기에서 소결하였다. 그림 3에는 304 분말을 상온에서 성형압력을 98~686 MPa까지 변화시켜 제작한 성형체에 대하여 소결체의 상대밀도 ( $D_s$ )에 미치는 소결온도 ( $T_s$ )의 영향을 나타내었다. 어느 경우에서나 소결체의  $D_s$ 는 1473 K에서 최대가 되어 성형 압력 686 MPa에서 최대 84%로 나타났다. 그림 4에는 304 분말을 553 K, 금형을 573 K로 가열한 후 성형압력을 변화시켜 제작한 온간 성형체에 대하여 소결체의  $D_s$ 에 미치는  $T_s$ 의 영향을 나타내나, 어느 경우의 소결체에 있어서나  $D_s$ 는 1373 K에서 포화하여 성형 압력 686 MPa에서 최대 84%로 나타났

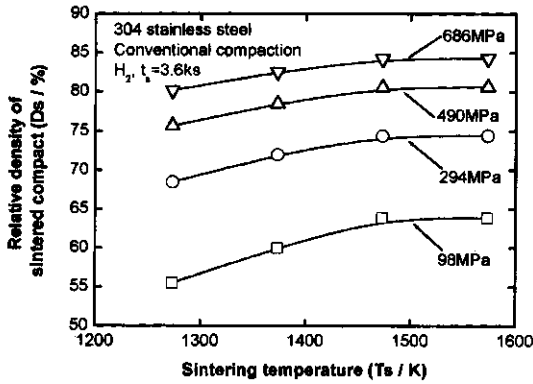


Fig. 3. Effect of sintering temperature (Ts) and conventional compaction pressure on relative density of sintered compact (Ds) for the 304 stainless steel. Sintering atmosphere is H<sub>2</sub> gas (dew point; 228 K) and sintering time (ts) is 3.6 ks.

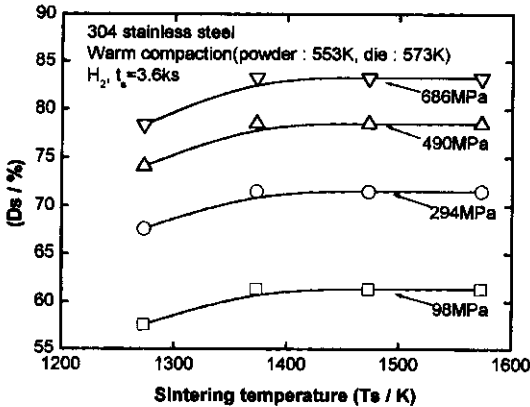


Fig. 4. Effect of Ts and warm compaction pressure on Ds for the 304 stainless steel.

다.

그림 5에는 316 분말을 상온에서 성형압력을 98~686 MPa까지 변화시켜 제작한 성형체에 대하여 소결체의 Ds에 미치는 Ts의 영향을 나타내었다. 어느 경우의 성형체에 있어서나, Ts를 1573 K까지 상승시켜도 소결체의 밀도 상승은 거의 없었다. 예를 들어, 686 MPa의 성형압력에서 소결체의 Ds는 최대 80%로 되었다. 그림 6에는 316분말을 553 K, 금형을 573 K로 가열한 후 성형압력을 변화시켜 온간 성형한 성형체에 대하여 소결체의 Ds에 미치는 Ts의 영향을 나타내었다. 98~490 MPa의 성형 압력으로 성형하여 제작한 소결체의 Ds는 Ts가 1373 K에서 1573 K로 상승함에 따라 2~3% 상승되었으나, 686 MPa의

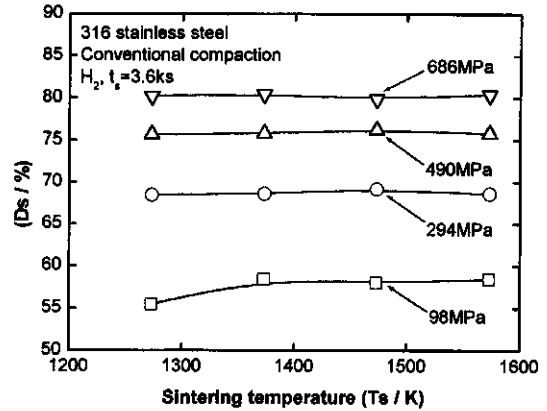


Fig. 5. Effect of Ts and conventional compaction pressure on Ds for the 316 stainless steel.

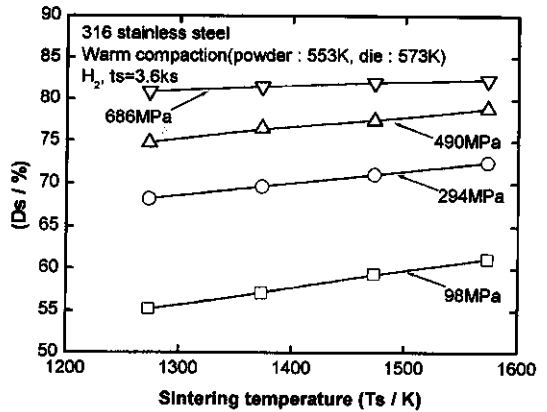


Fig. 6. Effect of Ts and warm compaction pressure on Ds for the 316 stainless steel.

성형압력에서는 1573 K에서 소결한 소결체의 경우가 1373 K에서 소결한 소결체에 비하여 Ds가 약 1%정도 상승되어 최대 83%로 나타났다.

그림 7에는 304, 316 분말을 686 MPa의 성형압력으로 제작한 상온 성형체 및 온간 성형체를 소결한 소결체의 광학 현미경 조직 예를 나타내었다. 그 결과 어느 경우에 있어서나 소결체의 Ds에 상응한 기공이 잔류하고 있는 것을 알 수 있다. 또한 소결체를 고배율로 조직 관찰한 결과, 어느 경우에서나 다량의 산화물 존재를 확인하였다. 여기서, 소결체의 Ds를 상승시킬 목적으로 소결체의 Ds에 미치는 소결 시간 (ts)의 영향을 28.8 ks까지 연장하여 조사하였으나, 어느 경우에서나 ts증가에 따른 Ds의 상승 효과는 거의 없는 것을 확인하였다.

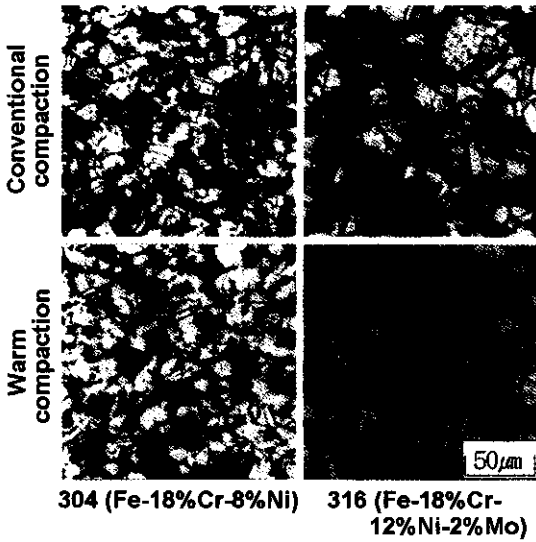


Fig. 7. Examples of optical microstructure of the 304 and 316 compacts sintered at 1573K for 3.6ks in H<sub>2</sub> gas (etched, ×200). Conventional and warm (powder : 553 K, die : 573 K) compaction pressure : 686 MPa.

이와 같은 D<sub>s</sub>의 미상승 이유를 확인하기 위하여 304, 316 분말을 상온 및 온간 성형하여 H<sub>2</sub>분위기에서 소결한 소결체의 산소량을 조사하였다. 먼저 온간 성형체의 산소량은 304 및 316 성형체에서 각각 0.365, 0.189%로 나타나, 304 온간 성형체의 경우는 원료분에 비하여 0.193% 감소하였고, 316 온간 성형체의 경우는 원료분에 비하여 2.18% 감소한 것을 알 수 있다. 이와 같이 온간 성형체의 산소량이 원료분에 비하여 감소한 것은 분말 표면에 약하게 부착되어 있던 O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>등<sup>9)</sup>의 불순물이 Ar 가스 중에서의 가열에 의해 휘발되었기 때문이라고 생각한다. 다음으로 소결체(T<sub>s</sub>=1573 K)의 산소량을 보면, 304 소결체는 상온 및 온간 성형에서 각각 3.50, 1.79%로 나타났고, 316 소결체는 상온 및 온간 성형에서 각각 2.36, 1.11%로 나타났다. 특히 주목할 것은 304 소결체 (상온 및 온간 성형)의 산소량은 원료분, 온간 성형체에 비하여 1.43~2.94% 증가하였고, 316 소결체 (상온 및 온간 성형)의 산소량은 원료분, 온간 성형체에 비하여 0.010~0.921% 증가한 것이 특징적이다.

다음은 소결체에 다량의 산소 (산화물)가 존재하는 것에 대하여 고찰하였다. 소결 분위기를 H<sub>2</sub>로 하였을 경우 산화물의 환원은 H<sub>2</sub>가스의 환원 반응에 있어서 H<sub>2</sub>O/H<sub>2</sub>평형 가스분압비와 분위기 H<sub>2</sub>가스의

H<sub>2</sub>O/H<sub>2</sub>평형 가스분압비 (로점)와의 대소 관계에 의해 좌우된다. 여기서 소결 온도에서 주로 생성되는 산화물을 생각해 보면 FeO, NiO, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 이외에 복산화물<sup>10)</sup>도 있으나, 복산화물의 gibbs free energy 값이 불분명<sup>11)</sup>하므로 단산화물 FeO, NiO, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>와 H<sub>2</sub>와의 환원 반응 (FeO+H<sub>2</sub>→Fe+H<sub>2</sub>O, NiO+H<sub>2</sub>→Ni+H<sub>2</sub>O, 1/3Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+H<sub>2</sub>→2/3Cr+H<sub>2</sub>O)에 의해 생성되는 H<sub>2</sub>O/H<sub>2</sub>평형 가스분압비를 소결 온도 1573 K에서 계산해보면, 각각 0.93, 2.2×10<sup>2</sup>, 2.7×10<sup>-3</sup>로 된다. 여기서 사용 가스의 노점(순도)으로부터 H<sub>2</sub>O/H<sub>2</sub>평형 가스분압비를 보면 1.1×10<sup>-4</sup>이 된다.<sup>12)</sup> 따라서 위의 3종류의 산화물은 소결 과정에서 H<sub>2</sub>에 의해 환원되어 H<sub>2</sub>O를 생성하고, 생성된 H<sub>2</sub>O는 소결 분위기 H<sub>2</sub>가스의 로점 상승으로 작용한다. 여기서 환원에 있어서 문제가 되는 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 경우, 어느 일정 T<sub>s</sub>에서 H<sub>2</sub>가스의 로점이 2.7×10<sup>-3</sup> 이상이 되면 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 환원 반응은 중단되고 역반응의 산화반응이 발생한다. 따라서 1573 K에서 소결한 소결체에서 다량의 산소 및 산화물이 존재하였다고 생각하였다. FeO, NiO의 H<sub>2</sub>O/H<sub>2</sub>평형 가스분압비는 매우 높으므로 H<sub>2</sub>가스의 로점이 2.7×10<sup>-3</sup> 이상되어도 충분히 환원된다. 또한 어느 경우에 있어서나 304 소결체의 산소량이 316 소결체에 비하여 0.680~1.14% 많은 것은 사용한 분말의 크기 (비표면적 크기)차이에 의한 것으로 생각된다. 이상 소결체의 산소량 관점으로 부터 보면, 본 소결에서 사용한 H<sub>2</sub>가스의 노점(순도)으로는 양호한 스테인레스 소결체 제작이 곤란하다고 판정하였다.

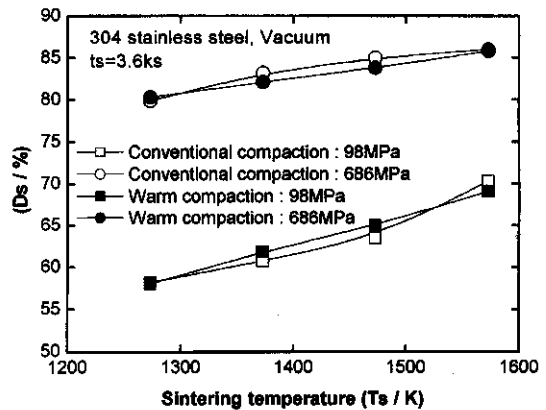


Fig. 8. Effect of T<sub>s</sub> and conventional and warm compaction pressure on D<sub>s</sub> for the 304 stainless steel. In this case, the sintering atmosphere is vacuum (~10<sup>-5</sup> torr).

따라서 소결체의 산소량을 감소시키기 위하여  $H_2O$ 의 영향을 전혀 받지 않는 진공을 소결 분위기로 하여 소결체의 치밀화 특성을 조사하였다. 그림 8에는 304 분말을 상온 및 온간 성형한 성형체에 대하여 소결체의  $D_s$ 에 미치는  $T_s$ 의 영향을 나타내었다. 어느 경우에 있어서나 소결체의  $D_s$ 는  $T_s$ 의 상승과 더불어 상승하는 경향을 나타내고 있다. 상온 및 온간 소결체의 최대  $D_s$ 는  $T_s=1573$  K에서 거의 동일하게 86%를 나타내어  $H_2$ 중 소결체에서 얻은 최대  $D_s=84\%$ 에 비하여 2%정도 높게 나타난 것을 알 수 있다.

그림 9에는 316 분말을 상온 및 온간 성형한 성형체에 대하여 소결체의  $D_s$ 에 미치는  $T_s$ 의 영향을 조사하여 나타내었다.  $T_s$ 가 상승함에 따라 소결체의  $D_s$ 는 약간 증가하는 경향을 나타내고 있다. 상온 및 온간 소결체의  $D_s$ 를 보면,  $T_s=1573$  K에서 각각 최대 83, 86%가 얻어져  $H_2$ 중 소결체의 최대  $D_s$ 에 비하여 어느 경우에 있어서나 3%정도 높게 나타났다. 그림 10에는 304, 316소결체의 광학 현미경 조직 예를 나타내나, 조직적으로도  $D_s$ 에 상응한 결과를 나타내고 있는 것을 알 수 있다. 또한 고 배율로 조직 관찰한 결과, 소결체에 잔류하는 산화물량은  $H_2$ 중 소결체에 비하여 적은 것을 확인하였다. 다음은 304 및 316 소결체 (상온 및 온간 성형,  $T_s=1573$  K)의 잔류 산소량을 조사하였다. 304 소결체의 산소량은 상온 및 온간 성형에서 각각 0.321, 0.360%로 나타나  $H_2$ 중 소결체 (상온 및 온간 성형)에 비하여 1.43~3.18% 감소하였고, 316 소결체의 산소량은 상온 및 온간 성형에서 각각 0.149, 0.182%로 나타나,  $H_2$ 중 소결체 (상

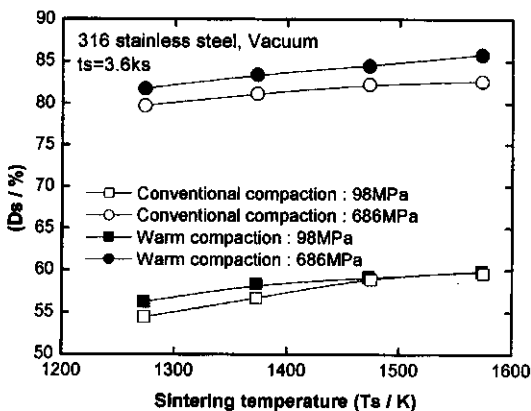


Fig. 9. Effects of  $T_s$  and conventional and warm compaction pressure on  $D_s$  for the 316 stainless steel.

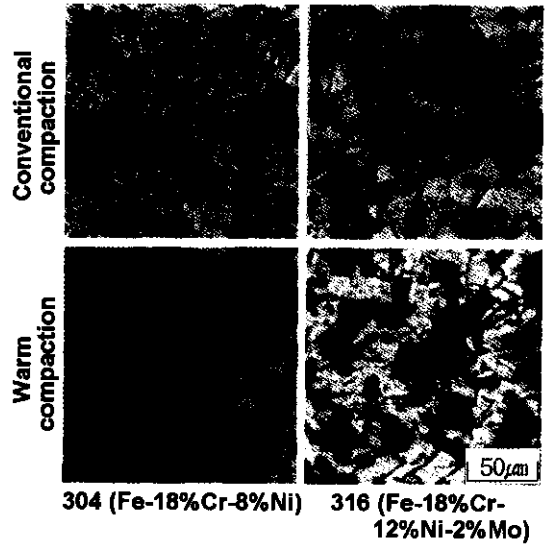


Fig. 10. Examples of optical microstructure of the 304 and 316 compacts sintered at 1573K for 3.6 ks in vacuum (etched,  $\times 200$ ). Conventional and warm (powder : 553 K, die : 573 K) compaction pressure : 686 MPa.

온 및 온간 성형)에 비하여 0.928~2.21% 감소한 것을 알 수 있다. 어느 경우에 있어서 상온 소결체의 산소량은 원료분말에 비하여 0.237~2.22%로 큰 폭 감소하였으나, 온간 소결체의 산소량은 온간 성형체의 산소량에 비하여 0.005~0.007%로 약간 감소한 것을 알 수 있다.

여기서 진공 ( $\sim 10^{-5}$  torr) 중 소결체의 산소량 대하여 고찰하여 보면, 소결체의 주된 산화물 FeO, NiO,  $Cr_2O_3$ 의 해리 ( $FeO \rightarrow Fe + 1/2O_2$ ,  $NiO \rightarrow Ni + 1/2O_2$ ,  $Cr_2O_3 + C \rightarrow 2Cr + 3/2O_2$ )<sup>11)</sup> 가능한 온도는 열학적으로 각각 1463, 1146, 2989K로 계산된다. 따라서  $T_s=1573$  K에서 FeO 및 NiO의 해리는 일어나나,  $Cr_2O_3$  산화물의 산소 (O) 해리는 전혀 되지 않는 것을 알 수 있다. 따라서 진공중 소결체의 산소량은 분말 표면에 약하게 부착되었던 흡착 분자 및 FeO, NiO의 O가 제거된 결과라고 생각한다.

다음으로 소결체의  $D_s$ 를 상승시키고, 소결체의 산소량을 0.1%이하로 감소시킬 수 있는 방법을 생각하여 보았다. 일반적으로 분말 입자 표면에 산화물(산화피막)이 존재하면 원소의 확산을 방해하여 소결 치밀화를 억제시킨다.<sup>13)</sup> 따라서 진공 중 소결에서 소결체를 치밀화시키고, 산소량을 감소시키기 위하여는 소결체에 주로 존재하는 FeO, NiO,  $Cr_2O_3$ 를 제거시

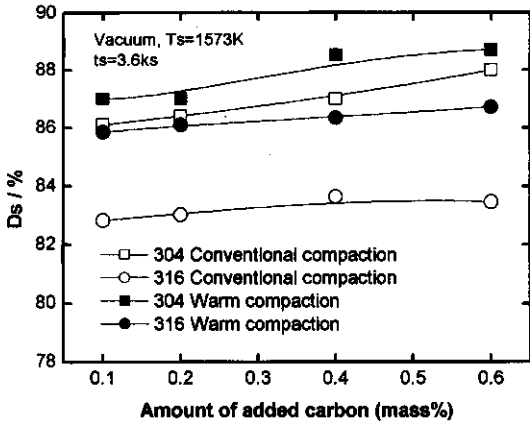


Fig. 11. Effects of the amount of added carbon on Ds for the 304 and 316 stainless steel. Conventional and warm (powder : 553 K, die : 573 K) compaction pressure : 686 MPa.

켜야한다. 열역학적으로 진공 분위기 하에서 탄소 (C)에 의해 FeO, NiO, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>를 환원 (FeO+C→Fe+CO, NiO+C→Ni+CO, 1/3Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+C→2/3Cr+CO)<sup>11</sup>시키는 것이 가능하다. 환원 가능한 온도를 열역학적으로 계산해 보면 각각 986, 713, 1501 K로 된다. 따라서 분말에 탄소를 소량 첨가하여 진공 중 소결하면 치밀화를 저하시키는 산화피막은 제거되어, 소결체의

산소량 감소에 의해 소결체의 Ds는 상승되리라 기대된다.

그림 11에는 304, 316 분말에 탄소를 0.1~0.6% 첨가하여 686 MPa의 성형 압력으로 상온 및 온간 성형한 성형체에 대하여 소결 분위기를 진공으로 하여 소결체의 Ds에 미치는 Ts의 영향을 조사하여 나타내었다. 먼저, 0.1, 0.2, 0.4, 0.6% C첨가에서 304소결체의 Ds를 보면, 상온 성형에서는 각각 86, 86, 87, 88% 온간 성형에서 각각 87, 87, 89, 89%로 나타났다. 이와 같은 결과는 탄소 무첨가 진공 소결체의 최대 Ds에 비하여 상온 성형에서는 최대 약 2%, 온간 성형에서는 최대 약 3%상승한 것을 알 수 있다. 316소결체의 Ds는 0.1, 0.2, 0.4, 0.6% C첨가에서 상온 성형에서는 각각 82, 83, 84, 84% 온간 성형에서는 각각 85, 86, 86, 87%로 나타나, 탄소 무첨가 진공 소결체의 최대 Ds에 비하여 어느 경우에 있어서나 약 1%정도 밀도가 상승된 것을 알 수 있다. 그림 12에는 탄소 첨가 304, 316 온간 소결체의 광학 현미경 조직 사진을 나타내었다. 조직적으로 Ds에 상응한 결과를 나타내고 있고, 탄소첨가량이 증가함에 따라 결정립은 성장되어 있는 것을 알 수 있다.

그림 13에는 탄소 첨가 진공 중 소결체의 잔류 산

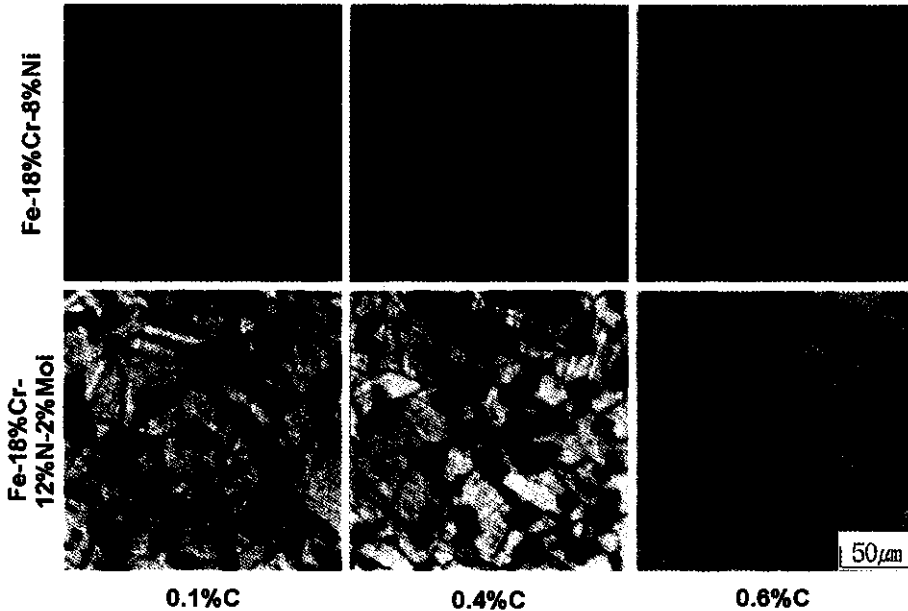


Fig. 12. Examples of optical microstructure of the 304 and 316 compacts with added carbon content which sintered at 1573 K for 3.6 ks in vacuum(etched, ×200). Warm compaction (powder : 553 K, die : 573 K) pressure : 686 MPa.

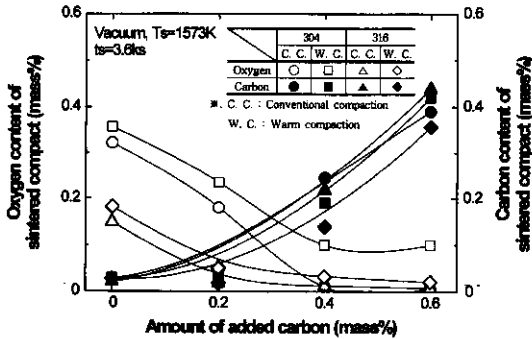


Fig. 13. Effects of amount of added carbon on oxygen and carbon contents of vacuum sintered compacts for the 304 and 316 stainless steels.

소 및 탄소량을 첨가 C량과의 관계로 나타내었다. 어느 경우에 있어서나 소결체에 잔류하는 산소량은 첨가 탄소량의 증가와 더불어 감소하는 경향을 나타내고 있고, 304 및 316 소결체 (상온 및 온간 성형)의 산소량은 탄소 무첨가 소결체에 비하여 각각 0.110~0.313%, 0~0.142% 감소하여 탄소 첨가에 의한 산화물 (산소)의 환원 효과는 304 소결체에서 크게 나타난 것을 알 수 있다. 예를 들어 0.4% C첨가 304, 316 소결체 (상온 및 온간)의 잔류 산소량 및 탄소량을 보면, 산소량은 각각 0.015~0.098, 0.014~0.043%로 나타났고, 탄소량은 각각 0.194~0.250, 0.131~0.225%로 나타났다. 따라서 목적하는 저산소량의 소결체를 얻을 수 있었다.

#### 4. 결 론

304 (Fe-18%Cr-8%Ni) 및 316 (Fe-18%Cr-12%Ni-2%Mo) 합금의 조분에 대하여 성형압력과 성형체의 상대밀도 (Dg)와의 관계를 상온 성형 (conventional compaction) 및 온간성형법 (warm compaction)을 통하여 조사하고, 상온 및 온간 성형체의 소결 치밀화에 미치는 소결 분위기, 소결온도, 탄소첨가 등의 영향을 조사하여 이하의 결과를 얻었다.

1. 304, 316 분말을 686 MPa의 성형 압력에서 온간성형 (분말 및 금형 가열온도는 각각 553, 573 K)한 성형체의 Dg는 각각 80, 81%로 나타나 상온에서 성형한 상온 성형체에 비하여 각각 2, 3%정도 높게 나타났다.

2. 상온 및 온간 성형체를 H<sub>2</sub>분위기로 소결 하였

을 경우, 304 소결체의 상대밀도 (D<sub>s</sub>)는 어느 경우에 있어서나 최대 84%로 나타났고, 316 소결체의 D<sub>s</sub>는 상온 및 온간성형에서 각각 최대 80, 83%로 나타났다. 304 및 316 소결체 (상온 및 온간 성형)의 산소량은 원료분, 온간 성형체에 비하여 각각 1.43~2.94, 0.010~0.921% 증가하였다.

3. 상온 및 온간 성형체를 진공 분위기로 소결 하였을 경우, 304 상온 및 온간 소결체의 D<sub>s</sub>는 어느 경우에 있어서나 최대 86%로 나타났고, 316 소결체의 D<sub>s</sub>는 상온 및 온간 성형에서 각각 최대 83, 86%로 나타났다. 304 소결체의 산소량은 상온 및 온간 성형에서 각각 0.321, 0.365%로 나타나 H<sub>2</sub>중 소결체 (상온 및 온간 성형)에 비하여 1.43~3.18% 감소하였다. 316 소결체의 산소량은 상온 및 온간 성형에서 각각 0.149, 0.182%로 나타나, H<sub>2</sub>중 소결체 (상온 및 온간 성형)에 비하여 0.928~2.21% 감소하였다.

4. 0.1~0.6% C첨가에서 304 상온 소결체의 D<sub>s</sub>는 각각 86~88%로 나타났고, 304 온간 소결체의 D<sub>s</sub>는 각각 87~89%로 나타났다. 304와 동일 탄소 첨가량에서 316 상온 소결체의 D<sub>s</sub>는 각각 82~84%로 나타났고, 316 온간 소결체의 D<sub>s</sub>는 85~87%로 나타났다. 304 및 316 소결체 (상온 및 온간 성형)의 잔류 산소량은 탄소 무첨가 소결체에 비하여 각각 0.110~0.313%, 0~0.142% 감소하여 탄소첨가 0.2% 이상 소결체에서는 0.1% 이하의 산소량을 얻었다.

#### 감사의 글

이 논문은 1997년도 학술진흥 재단의 공모과제 연구비에 의하여 연구되었으며 이에 감사드립니다.

#### 참고 문헌

1. Catalog of Mitsubishi Steel Mfg. Co., Ltd: *Mitsubishi Alloy Powder* (1999).
2. Catalog of Scm Metal Products, Inc.: *Stainless Steel Powders for P/M Compacting* (1999).
3. 日本粉末冶金工業會: *燒結機械部品*, 技術書院 (1986) 364.
4. H. I. Sanderow: *New Perspectives in Powder Metallurgy Volume 9, High Temperature Sintering*, Metal Powder Industries Federation Princeton, New Jersey (1990) 39.
5. K. Schwerdtfeger and G. Naeser: *Int. J. Powder Met.*, 9

- (1973) 13.
6. 小豆島, 上野, 宮川: 鐵と鋼, **71** (1985) 1327.
  7. F. Benesovsky and W. Hotop: *Stahl u. Eisen*, **78** (1958) 149.
  8. 大黒, 池永: 粉體および粉末冶金, **18** (1972) 307.
  9. R. M. German: *Powder Metallurgy of Iron and Steel*, A Wiley-Interscience Publication, New York (1998).
  10. R. S. Roth, J. R. Dennis and H. F. McMurdie: *Phase Diagrams for Ceramists*, The American Ceramic Society, Ohio (1981) 2129-2131, 5058-5059.
  11. O. Kubaschewski and C. B. Alcock: *Metallurgical Thermochemistry*, 5th Edition, Pergamon Press, Oxford (1983) 378.
  12. R. M. German: *Powder Metallurgy Science*, 2nd edition, Metal Powder Industries Federation, New York (1994) 282.
  13. 林台煥, 林宏爾: 粉體および粉末冶金, **38** (1991) 114.