

순철분말과 인(P)이 피복된 철분말 소결강의 기계적 성질

정재우 · 임태환* · 이완재
한양대학교 금속재료공학과
*선문대학교 금속공학과

Mechanical Properties of Sintered Steel of Pure Iron Powder and Iron Powder Coated with Phosphorus

Jae-Woo Jung, Tae-Hwan Lim* and Wan-Jae Lee

Department of Metallurgy & Materials Science, Hanyang University, Ansan 425-791, Korea

*Department of Metallurgical Engineering, Sun Moon University, Asan 337-840, Korea

(Received August 10, 1994)

ABSTRACT The compacts of pure and phosphorus-coated iron powder with 0~0.8%C were sintered at 1180°C for 40 min. in cracked ammonia gas atmosphere. The tensile and impact strengths were measured and the relationship of the results with carbon content, phosphorus, quenching and tempering was investigated. The results obtained can be summarized as follows : (1) The tensile strength of sintered compacts increased slowly with carbon content. Increase in tensile strength by heat treatment was evident especially in the low carbon specimen. The specimen with phosphorus showed higher strength compared to pure iron compacts value. (2) No inflection point of elastic-plastic deformation on stress-strain curve was observed in sintered steel. The elastic modulus of sintered steel had the same tendency as tensile strength. But the elongation showed the opposite tendency. (3) The impact absorption energy of sintered steel without addition of phosphorus decreased successively with carbon content and by quenching and tempering. On the contrary, addition of phosphorus resulted in an increase of the impact absorption energy. Quenching and tempering did not affect the impact energy especially in high carbon content. (4) The main fracture source was pore in specimen and the propagation of crack occurred mostly along the grain boundaries. But the intragranular fracture was also observed in high carbon, quenched and tempered specimen, and especially in the specimen with phosphorus.

1. 서 론

저자 등은 순철분말과 인(P)이 피복된 철분말의 탄소량을 변화시켜 각각의 소결제조조건과 열처리조건을 조사한 결과, 탄소량에 비례한 퍼얼라이트 조직이 얻어지고, 인에 의하여 기공의 형상이 구형화되며, 결정입자의 미세화와 열처리에 의한 조직의 제어가 가능하다는 것을 이미 보고한 바 있다.^{1,2)}

소결강은 일반강과는 달리 내부에 기공을 약 7% 정도 함유하고 있으며, 미세조직 또한 제조 과정에서 철분말과 흑연분말의 균일혼합이 이루어지고, 소결 중 탄소원자의 균질확산이 이루어진다 하더라

도 일반강과는 다르다고 생각된다.^{3,4)} 따라서, 이와 같은 요인은 소결강의 기계적 성질에 크게 영향을 미칠 것으로 생각되는데,⁵⁾ 실제로 소결강의 인장강도는 기공의 크기보다 기공률에 크게 의존한다고 알려졌으며,⁶⁻⁸⁾ 충격강도에 관하여 Kuroki 등은 소결체 밀도가 높을수록 유리하다고 보고한 바 있다.⁹⁾

소결강의 기계적 성질을 향상시키기 위한 열처리 시에는 소결체내에 존재하는 기공 때문에 열전도율이 저하하여 소입성이 나쁘므로 냉매로서 오일보다는 물, 그리고 더욱 냉각속도가 빠른 소금물이 적당하지만, 개기공(open pore)으로 물 또는 소금물이 침투 잔류하면 부식을 일으켜, 치수변형을 조장하며

로, 주로 오일을 사용한다.¹⁰⁾ 또한, 퀴칭(quenching) 시 소결체 내의 기공은 내부응력을 완화시켜 주기 때문에 반드시 템퍼링(tempering)할 필요는 없으나 잔류 오스테나이트 생성 가능성이 있는 경우는 템퍼링을 행한다.^{11,12)}

본 연구는 前報¹⁾에 발표한 소결강의 탄소량, 인 첨가유무 및 열처리가 기계적 성질 중 특히 인장강도와 충격강도에 미치는 영향을 조사 검토하였다.

2. 실험방법

원료 분말과 배합조성은 前報¹⁾와 동일하게 하였다. 즉 순철 분말(ABC100.30), 인(phosphorus)이 0.45 wt% 피복된 철분말(PASC45)과 흑연분말(graphite)을 사용하여 탄소량이 0.0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 wt%가 되도록 하고, 윤활제로 아연 스테아린산(Zn-stearic acid)을 0.8 wt% 첨가하여 30분간 건식혼합하였다. 각 혼합분말의 성형은 인장시험편과 충격시험편으로 사용하고자 13(W)×64(L) mm의 장방형 금형에서 510 MPa로 양단압 성형하여 높이가 각각 약 5.5 mm와 11 mm가 되도록 제조하였다.

소결은 1180°C에서 이슬점 온도 -15°C인 분해 암모니아가스 분위기내에서 40분간 행하였다. 인장시험용 시편은 소결 후 밀링가공에 의하여 ASTM E8의 규격으로 제조하였고, 충격시험용 시편은 연삭가공하여 10×10×60(mm)로 하고, 노치(notch)가공은 하지 않았다. 일부시편의 열처리는 탄소량을 고려하여 아르곤가스분위기중 Ac₃선상 50°C의 온도에서 20분간 유지한 후 오일 퀴칭을 하였고, 또 일부 시험편은 다시 450°C에서 60분간 템퍼링을 행하였다.

정적인 기계적 성질인 인장시험은 각 조성과 열처리 조건에 따라 각각 5개의 시편에 대하여 Instron기를 사용하여 인장속도를 0.5 mm/min으로 시험을 행한 후 각 시편의 인장강도, 탄성계수 그리고 신율을 계산하여 그 평균값을 구하였다.¹³⁾ 동적인 기계적 성질인 충격시험도 각각 5개의 시편을 계장화된 샬피 충격 시험기(Torrse제 Charpy impact tester, 30 kg·m)를 사용하여 충격파단시 흡수에너지를 $E=WR(\cos\beta-\cos\alpha)$ 식에 의하여 구하고, 충격시의 하중-변위 곡선으로부터 시편의 변형과 파괴 방식을 구하였다.¹⁴⁻¹⁶⁾ 인장시험과 충격시험 파면을 SEM으

로 관찰하여 탄소량 변화, 인 첨가 유무 및 열처리에 따른 파단 과정을 조사하였다.

3. 실험결과

그림 1은 0.4%C 소결강의 인(P) 첨가유무 및 열처리에 따른 응력-변형곡선(stress-strain curve)를 표시한 것으로 타 조성의 경우에도 비슷한 형태를 보여 대표적인 응력-변형곡선으로 제시하였다. 그림에서 보는 바와 같이 일반강과는 달리 항복점과 소성변형 영역이 나타나지 않았으며, 취성재료의 경우와 같은 곡선형태를 하고 있다. 따라서 소결강의 인장강도는 파단시의 강도를 취하였다. 그림 2는 순철분말과 인 피복 철분말 소결체의 탄소량변화와 열처리에 따른 평균인장강도를 나타내었다. 먼저 순철분말의 소결체의 경우 인장강도는 비교적 낮아 약 200 MPa 이하였고, 탄소량이 증가함에 따라 약간 증가하였다. 이들 소결체를 퀴칭한 경우의 인장강도는 0%C에서 200 MPa로 약간의 증가를 보였고, 0.2%C에서 275 MPa, 0.4%C에서 290 MPa로 급격히 증가하였으며 그 이상의 탄소량에서는 감소하였지만, 소결체보다는 높은 값을 보였다. 이들을 다시

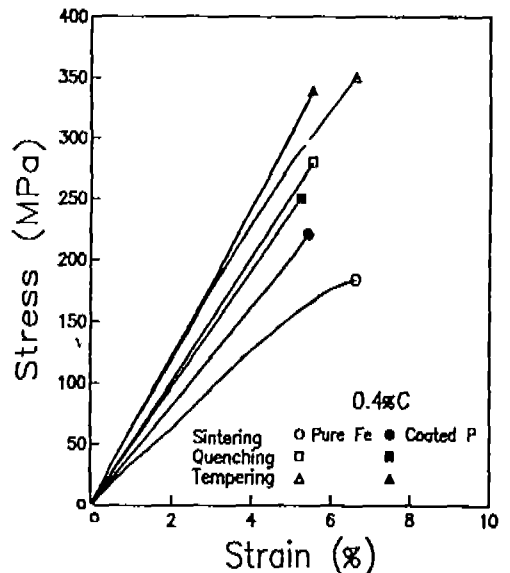


Fig. 1. Stress and strain curve on the sintered Fe-0.4%C specimens of pure iron powder and iron powder coated with phosphorus.

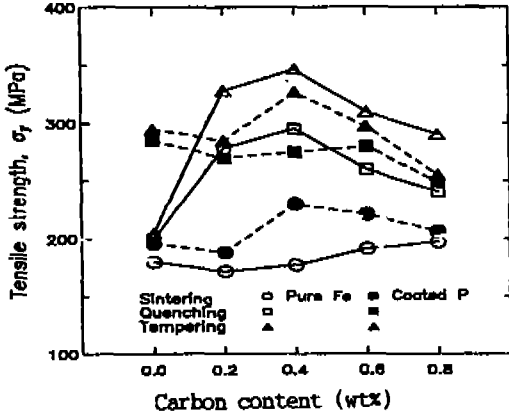


Fig. 2. Tensile strength as a function of carbon content on the sintered specimens of pure iron powder and iron powder coated with phosphorus.

템퍼링한 경우 인장강도는 더욱 증가하여 0.4%C에서 최대 350 MPa를 나타내었고, 탄소량에 따른 강도의 변화는 퀴칭한 경우와 같은 경향을 보였다. 동일한 탄소량인 0.4%C에서 인장강도는 템퍼링, 퀴칭, 소결체가 각각 350, 295, 180 MPa 순서로 낮아졌으며, 퀴칭과 템퍼링을 행하면 소결체의 약 2배의 강도를 얻을 수 있다는 것을 알 수 있었다.

인 피복 철분말 소결체의 경우, 인장강도는 순철분말의 경우보다 약간 높은 것으로 나타나 0.4%C에서 동일탄소량의 순철분말 소결체에 비해 약 50 MPa이 더 높은 최대치 약 230 MPa를 얻었다. 이들 시편을 퀴칭한 경우 인장강도는 0%C에서 약 280 MPa로 열처리 전보다 약 80 MPa 정도 향상되었으며, 탄소량의 증가와 함께 약간 감소하는 경향이 있지만 0.6%C까지는 약 260 MPa로 유지되고, 0.8%C에서 약 250 MPa로 감소하였다. 이러한 인장강도는 0%C의 경우를 제외하면 인이 함유되지 않은 순철분말의 퀴칭의 경우와 거의 유사한 값이었다. 따라서 0%C에서 퀴칭에 의하여 증가된 인장강도는 0.45%P의 영향이라고 생각할 수 있다. 그리고 템퍼링을 행하면 인장강도는 퀴칭한 경우보다 약간 증가하며, 0.4%C에서 최대 약 310 MPa이 얻어졌다. 그러나 0.2%C 이상에서는 인 피복 철분말 시편보다 순철분말시편이 더 높은 인장강도를 나타내었다. 0.4%C 첨가 순철분말시편을 템퍼링하였을 때 최대값 350 MPa를 얻었다.

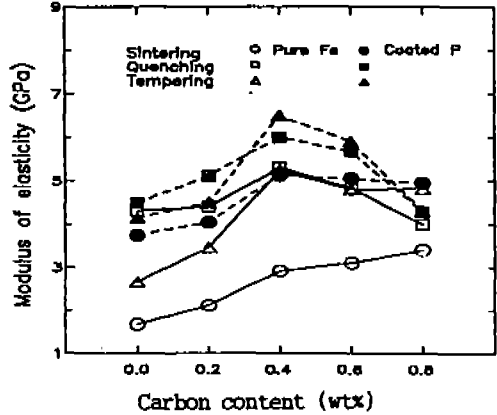


Fig. 3. Modulus of elasticity as a function of carbon content on the sintered specimens of pure iron powder and iron powder coated with phosphorus.

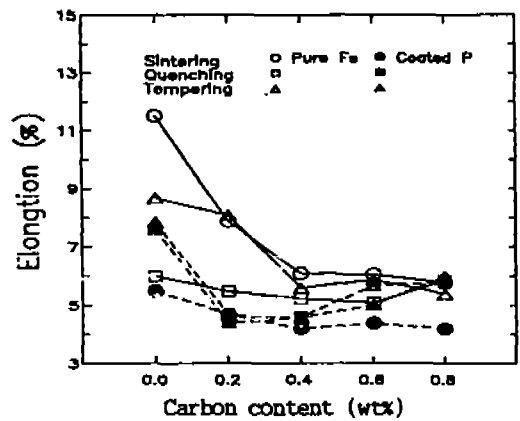


Fig. 4. Elongation as a function of carbon content on the sintered specimens of pure iron powder and iron powder coated with phosphorus.

그림 3은 하중-변위 곡선을 그림 1과 같은 응력-변형곡선(stress-strain curve)로 변환시켜 그 기울기로부터 구한 탄성계수를 탄소량 및 열처리, 그리고 인 함유와의 관계로 도시한 것이다. 순철분말 소결체의 탄성계수는 0%C에서 1.5 GPa로부터 탄소량과 함께 증가하여 0.8%C에서 약 3.0 GPa로 약 2배까지 증가하였다. 이것들을 오스테나이트 영역에서 퀴칭하면 탄성계수는 급격히 증가하여 0%C에서 4.2 GPa로부터 0.4%C에서 최대 5.0 GPa이 된 후에 점차 감소하였다. 다시 템퍼링하면 탄성계수는 0.4%C 이하에서는 낮아져서 소결체와 퀴칭의 중간에 위치하

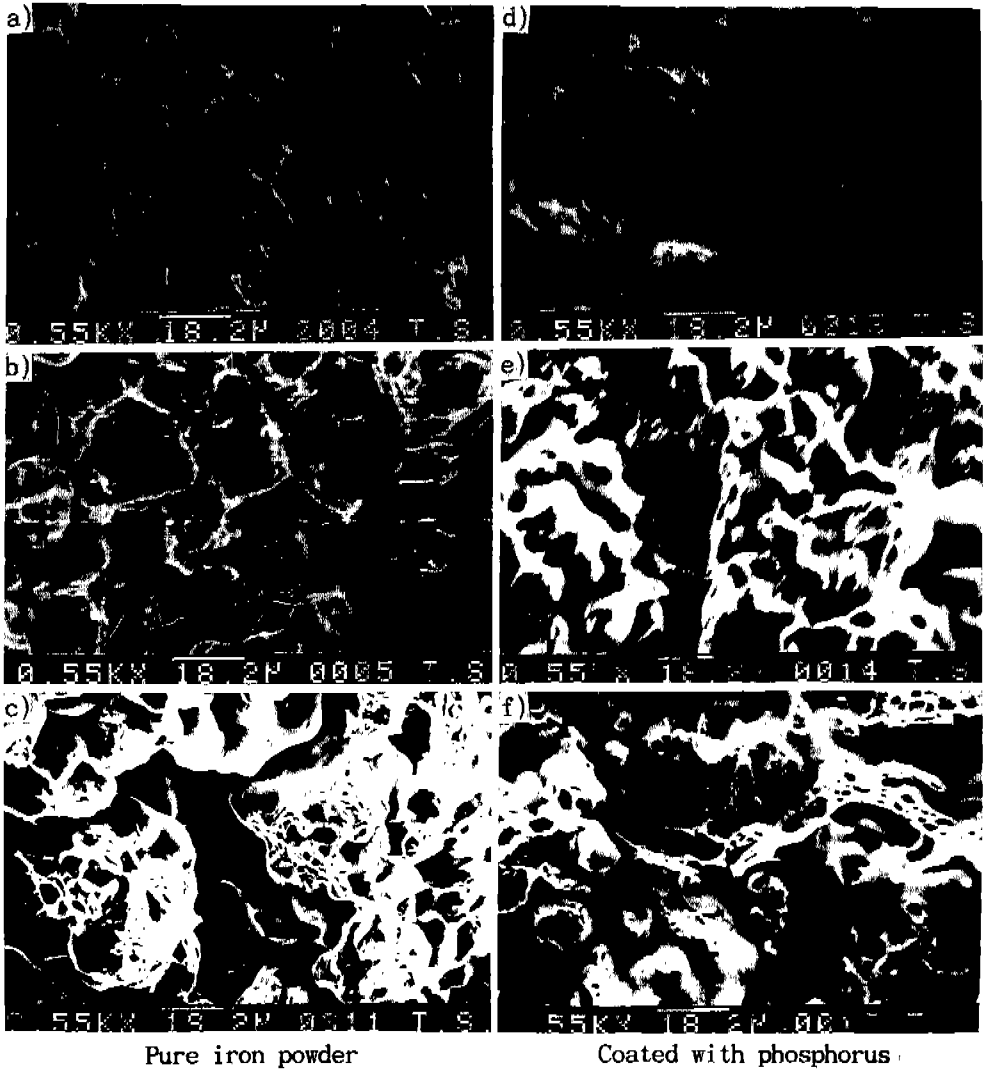


Fig. 5. Tensile fractographs on the sintered specimens of pure iron powder and iron powder coated with phosphorus. (a), (d) sintering, (b), (e) quenching, (c), (f) tempering.

나 그 이상에서는 퀴칭과 템퍼링시편이 거의 같은가 약간 높았다. 그러나 인이 함유된 소결체의 경우, 탄성계수는 순철분말의 경우에 비해 높아 0%C에서 3.7 GPa이었으며 탄소량과 함께 증가하여 0.4%C에서 5 GPa에 도달하여 그 이상 탄소량이 증가하여도 거의 같은 값을 나타내었다. 동일 탄소량에서는 열처리에 의하여 탄성계수가 증가하여, 템퍼링에 의해 0.4%C에서 최고 6.2 GPa까지 도달하였다. 이상과 같이 탄성계수에 미치는 효과는 인 함유의 영향이 가장 크고, 다음으로 탄소량 그리고 열처리 순으로

나타났다.

인장시험 후 신율(elongation)을 탄소량 및 열처리와의 관계로 그림 4에 표시하였다. 순철분말 소결체의 신율은 0%C에서 11.5%이었으며, 0.4%C까지 탄소량을 증가시키기에 따라 급격히 감소하여 약 6.5%가 되고 그 이상에서는 거의 같았다. 이것을 퀴칭하면 어느 탄소량에서나 6% 근방으로 낮아지고, 다시 템퍼링을 하면 0%C에서 8.8%로 다시 향상되어 소결체와 같은 신율을 나타내었다. 인이 함유된 경우에는 소결체에 있어서도 낮은 신율을 나타내며,

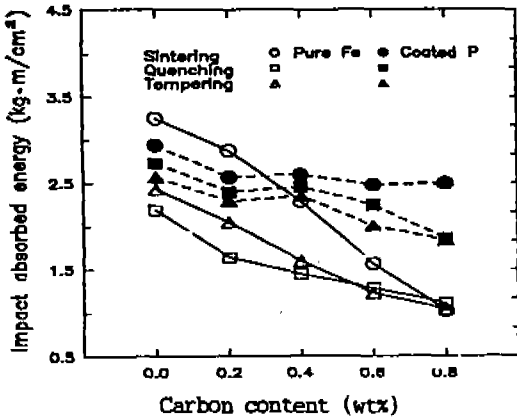


Fig. 6. Impact absorbed energy as a function of carbon content on the sintered specimens of pure iron powder and iron powder coated with phosphorus.

0%C인 경우 5.2%에서 열처리로 7.5%까지 향상되나 탄소가 첨가되면 5.0% 미만의 낮은 값을 나타내었다.

인장시험 후 파단면을 SEM으로 관찰하여 파괴 과정을 조사하였다. 대표적으로 그림 5에 0.4%C의 경우를 표시하였다. 순철분말을 사용한 경우의 파면에서는 기공이 관찰되며 저탄소측에서는 입계파괴가 나타나고, 고탄소측, 그리고 열처리에 의하여 점차 입내파괴로 변화되는 파단방식이 관찰되었다. 인이 피복된 경우도 기공이 많이 존재하고 있으며, 탄소량이 증가하고 열처리를 하면 입계파괴에서 입내파괴로 천이되고 있다.

충격강도는 샤피충격시험기에 의하여 노치없이 시험을 행하여 각 시편의 충격흡수에너지를 $E = WR(\cos\beta - \cos\alpha)$ 식으로 구하여 우선 충격흡수에너지를 탄소량 및 열처리 조건과의 관계로 그림 6에 표시하였다. 순철분말을 사용한 경우의 충격흡수에너지는 소결체의 경우 0%C에서 $3.3 \text{ kg}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$ 이며 탄소량이 증가할수록 감소하여 0.8%C에서 $2.6 \text{ kg}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$ 이었으며, 동일 탄소량에서는 소결체, 템퍼링, 퀴칭 시편 순으로 낮아졌다. 인이 피복된 철분말의 경우의 충격흡수에너지는 소결체의 경우 0%C에서 $3.0 \text{ kg}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$ 로부터 탄소량이 증가함에 따라 약간 감소하여 0.8%C에서 $2.6 \text{ kg}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$ 이 되고, 열처리한 시편의 경우는 약간 낮았으나 거의 유사한 경향을 나타내었다.

그림 7은 충격시험시 해머 튕 (hammer tup)에 부

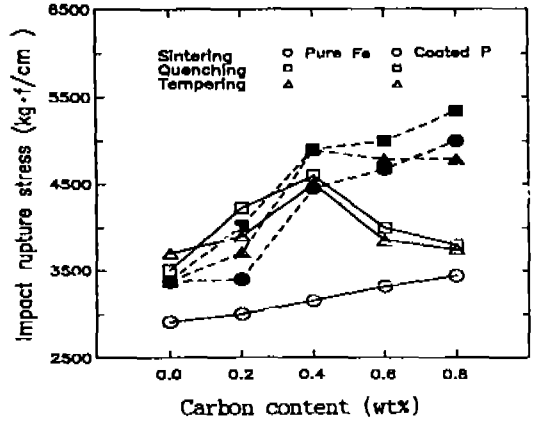


Fig. 7. Impact rupture stress as a function of carbon content on the sintered specimens of pure iron powder and iron powder coated with phosphorus.

착된 부하계이지(load gauge)와 변위(deflection)을 증폭하여 오실로스코프상에 나타난 그림 8의 하중-변위 곡선(load-deflection curve)으로부터 충격파단시의 파단응력을 구하여 파단응력과 탄소량 및 열처리와의 관계로 표시한 것이다. 순철분말을 사용한 경우, 소결체의 파단응력은 0%C에서 $2900 \text{ kg}\cdot\text{f}/\text{cm}^2$ 에서 탄소량이 증가할수록 증가하였으나, 열처리를 하면 0.4%C까지는 증가하여 최고 $4500 \text{ kg}\cdot\text{f}/\text{cm}^2$ 이 되고 그 이상에서는 감소하였다. 인 피복 철분말을 사용한 경우, 충격파단응력은 탄소량이 증가할수록 증가하였으며, 0.4%C까지 급격히 증가하고, 그 이상의 탄소량에서는 완만하게 증가하였다. 그리고 동일 탄소량에서는 열처리에 의하여 충격파단응력은 증가하며 퀴칭한 시편이 최고값을 나타내었다. 예로서 0.8%C에서 퀴칭으로 최고 $5300 \text{ kg}\cdot\text{f}/\text{cm}^2$ 이 얻어졌다.

그림 8은 0.4%C 경우의 하중-변위 곡선을 대표적으로 나타낸 것이다. 충격 파괴과정은 시편에서 탄성변형, 소성변형, 균열발생과 전파에 의하여 파단되며, 이때 흡수되는 에너지는 하중-변위곡선의 면적과 일치한다고 생각된다. 탄소량이 증가함에 따라 하중-변위 곡선의 면적은 감소하며, 이것은 충격흡수에너지와 비례한다.^{14,15)} 탄소량이 증가하면 최대강도는 증가하나 변위량은 감소하였으며, 또한 탄성변형중에 나타나는 '불연속 피크(peak)'는 더욱 명료하고 크게 나타났다. 이들 시편을 퀴칭하면 충격

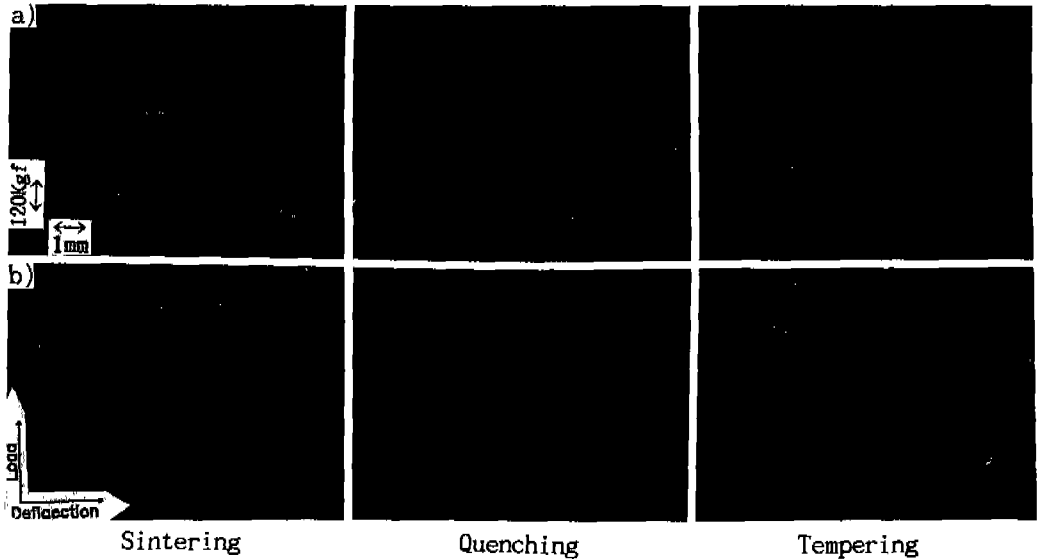


Fig. 8. Photograph of dynamic load and deflection curves on the sintered Fe-0.4%C specimens. (a) pure iron powder, (b) coated with phosphorus.

흡수에너지는 낮아지며, 0% C 시편을 제외한 탄소량 증가에 따른 차이는 거의 없었고, 변위량도 0.2% C 이상에서 거의 같았다. 템퍼링한 시편의 경우는 탄소량과는 거의 관계없이 유사한 충격흡수에너지를 나타냈다. 탄소량이 많을수록 열처리에 따른 하중-변위 곡선의 변화가 뚜렷하게 나타나고 있다. 인 피복 철분말을 사용한 경우에도 충격흡수에너지는 탄소량이 증가할수록 감소하였다. 변위량 역시 탄소량이 증가할수록 감소하였다. 켄칭한 시편과 템퍼링한 시편에서도 같은 경향이 나타났으며, 충격 흡수에너지는 열처리로 감소하였다. 인이 첨가되면 탄소량 증가에 따른 하중-변위 곡선의 변화가 더 뚜렷하게 나타났다. 충격시험 후 파단면을 대표적으로 0.4% C의 경우를 그림 9에 표시하였다. 순철분말을 사용한 경우, 인장 시편의 경우와 같이 충격파단면에서도 기공이 관찰되었고 균열은 입계를 따라 전파되었으며, 탄소량이 증가할수록 입내파괴가 늘어나는 경향을 보였다. 열처리를 하였을 경우, 탄소가 첨가되지 않은 경우에는 입계파괴만이 관찰되었으나 탄소량 증가에 따라 입내파괴로 천이되는 양상이 뚜렷하게 나타났다. 인 피복 철분말의 경우에는 구형의 기공들이 어느 경우에서나 관찰되었으며, 탄소량이 많은 시편일수록 그리고 템퍼링보다는 켄칭을 한 경우에 더 많은 입내파괴가 관찰되었다.

4. 고 찰

우선 순철분말 사용의 경우 인장강도가 소결체의 경우는 탄소량 증가와 함께 약간 증가하였으며, 열처리에 의해서 0.4% C까지는 급격히 증가하나 그 이상에서는 일정하게 나타난 것에 대하여 고찰하자. 소결체의 인장강도는 기공률에 의하여 크게 영향을 받으므로,⁵⁾ 각 시편의 상대밀도로부터 예측할 수 있다. 前報¹⁾에 의하면 소결체의 상대밀도는 0.4% C까지는 92.8%로 거의 같았으나 그 이상의 탄소량에서는 낮아져 0.8% C에서 92.0%가 되었다. 따라서, 본 연구에서도 기공률에 따른 인장강도는 탄소량이 증가할수록 낮아져야 할 것이다. 그러나 인장강도가 탄소량 증가에 의하여 증가한 것은 그림 5의 인장시험 파면에서 볼 수 있는 바와 같이 대부분의 파단이 입계파단이었음에 비추어 입계의 결합강도, 즉 분말입자 접촉부의 결합력이 일정 소결온도에서 탄소량이 증가할수록 보다 강하게 되어졌기 때문이라고 생각된다. 즉 고상소결에서 철원자와 탄소원자가 입계확산을 할 때, 탄소량이 많을수록 입계의 탄소원자 농도가 높아짐에 따라 입계근방에서의 탄소용량이 증가하고 T_s/T_m (T_m : 용점, T_s : 소결온도)의 비가 높아져, 소결이 더 촉진될 것이며, 탄소원자가 입자내부로 확산해 들어가 고용되어 퍼얼라이

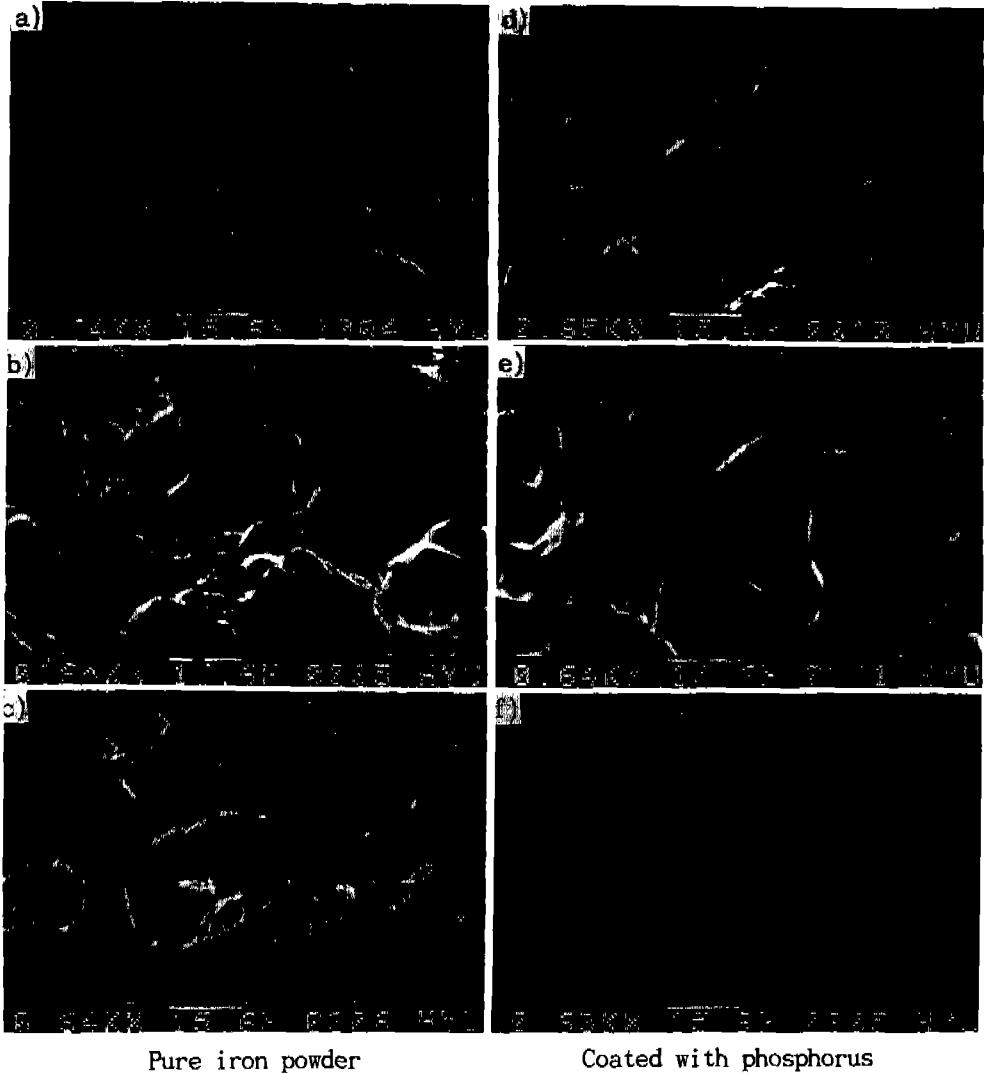


Fig. 9. Impact fractographs on the sintered specimens of pure iron powder and iron powder coated with phosphorus. (a), (d) sintering, (b), (e) quenching, (c), (f) tempering.

트조직이 증가하므로 경도가 높아져 인장강도를 증가시켜 주기 때문이다. 이상과 같이 인장강도는 탄소량의 증가로 기공률에 의한 감소와 입계강도와 조직의 강화에 의한 증가로 상호 가감되어, 탄소량 증가와 함께 완만히 증가되었다고 생각된다. 그리고 인장강도가 소결체의 열처리로 향상된 것은 일반강의 열처리 효과와 같은 현상이라고 생각하며, 단지 0.4% C 이상에서 거의 같은 값을 나타낸 것은 조직이 경화되어 인성이 낮아지므로 입계에 존재한 기공들에 응력집중이 생길 경우 용이하게 완화되지 못하고

균열을 발생시켜 노치로 작용하였기 때문이라고 생각된다.

다음으로 인 피복 철분말 사용의 경우 소결체의 인장강도가 순철분말에 비하여 상당히 높게 나타난 것은, Fe-P 상태도¹⁷⁾에서 소결온도 1180°C에서 철 중에 인이 약 3.0%까지 고용되므로 철분말에 피복된 0.45% 인은 모두 고용되었기 때문이라고 생각된다. 이들 0% C의 소결체를 XRD로 격자정수를 측정하여 조사 비교한 결과 순철분말의 경우 2.852 Å이나 인 피복 철분말의 경우는 2.834 Å으로 약간 증가하였

으므로 인에 의한 고용강화가 이루어졌으리라 생각된다. 또한, 인은 소결시 액상을 출현시켜³⁾ 기공을 구형화시키므로 기공율이 높다하더라도 응력집중을 완화시켰을 것으로 생각된다.^{18,19)} 그리고 열처리에 의하여 인장강도가 0.4%C까지 향상되고 그 이상에서 감소한 것은 인과 탄소의 고용에 의하여 조직이 경화되었기 때문에 위에서 기술한 순철분말의 경우와 같은 이유 때문이라 생각된다.

다음으로 그림 6에서 충격흡수에너지가 일반적으로 순철분말 저탄소 소결체를 제외하고는 인 피복철분말의 경우가 탄소량 및 열처리에서 더 높게 나타나고, 그림 8에서 0.4%C 시편의 충격과단시 하중-변위 곡선에서 인 함유 및 열처리에 의하여 그 면적이 대응하고 있는 것에 대하여 고찰하자. 그림 8에서 인이 함유되면 충격시 항복강도와 변위량이 더 많아 흡수에너지가 크다는 것을 알 수 있으며, 그림 7의 충격시 항복 강도(동적강도)는 그림 1의 인장강도(정적강도)와 차이가 있고, 변위량도 그림 1의 변형량(strain)과 그림 4의 신율과 반비례로 나타났다. 이와 같이 정적파괴와 동적파괴에 차이가 있으며, 이는 파괴방식에 차이가 있기 때문이라고 생각된다. 어느 경우나 균열이 발생하고 전파되어 파단에 이르게 되는데, 하중부하속도가 빠를수록 균열이 더 높은 응력에서 발생되고, 균열전파속도도 빨라진다. 따라서 인이 함유되면 기공이 구형화되어 균열발생이 느려서 그림 7처럼 충격파괴응력이 높고, 입계강도가 높아져서 균열전파는 그림 9에서 알수 있듯이 입계뿐 아니라 입내에서도 일어나므로 느려진다. 그러므로 파단까지의 변위량이 증가하고, 에너지 흡수도 더 많아진 것으로 생각되지만, 금후 상세한 검토를 요한다.

5. 결 론

순철분말과 인이 피복된 철 분말에 탄소량을 0~0.8% 변화시킨 성형체를 분해 암모니아가스 분위기 중 1180°C 에서 소결한 후, 인장강도, 충격강도에 미치는 탄소량, 인 첨가의 유무 및 열처리의 영향을 조사하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 인장강도는 소결체의 경우 탄소량과 함께 완만하게 증가하였고, 열처리에 의하여 저탄소측일 때

효과가 크게 나타났으나 고탄소측에서는 거의 일정하였다. 또 인이 함유되면 고용강화에 의하여 인장강도는 증가하였다.

2) 일반강과는 달리 응력-변형곡선상에서 탄성-소성변형의 변곡점이 나타나지 않았으며, 탄성계수는 소결체의 경우 탄소량이 증가하면 증가하였으나, 열처리를 행하면 저탄소측에서는 향상되었으나 0.4%C 이상의 고탄소측에서는 낮은 냉각능으로 다시 감소하였다. 또 인이 함유되는 경우 탄성계수는 높아졌으나, 열처리에 따른 증가폭은 작았다.

3) 신율은 탄소량이 증가할수록 감소하였고, 열처리에 의하여 낮아졌다. 또 인이 함유된 경우 더욱 낮아지는 경향을 보였다.

4) 충격강도는 일반적으로 탄소량 증가와 템퍼링, 퀴칭에 의해 낮아졌고, 인이 함유된 경우는 탄소량, 열처리에 의하여 큰 영향을 받지 않았으며, 인이 함유되지 않은 경우에 비하여 높게 나타났다.

5) 충격시 하중-변위 곡선에 의한 흡수에너지는 탄소량이 증가할수록 낮아지고, 인이 함유된 경우는 탄소량이 증가해도 높은 충격흡수에너지를 나타내었다.

6) 균열은 인장, 충격시험시 기공에서 발생하여 입자 계면 또는 입내를 따라 전파되어 파단되었다. 탄소량의 증가, 열처리, 인의 함유에 따라 입계파괴에서 입내파괴로 천이되어 기계적 성질이 향상되었다.

7) 소결강에 인이 함유되면 인장강도와 충격강도는 향상되지만 신율은 낮아졌다.

감사의 글

본 연구는 교육부 첨단공학(신소재 분야) (Ministry of Education Research Fund for Advanced Materials) 학술연구조성비로 수행하였으며, 이에 감사드립니다. 그리고 원료분말 및 시편 소결에 협조해주신 한국분말야금 주식회사에 감사의 뜻을 표하는 바입니다.

참 고 문 헌

1. 정재우, 이완재 : 한국분말야금학회지, **1** (1994) 27
2. 김동욱, 이완재 : 한국재료학회지, **6** (1992) 428

3. H. Miura and Y. Tokunaga : Int. J. of Powder Met. & Powder Tech., **21** (1985) 269
4. J. A. Lund : Int. J. of Powder Met. & Powder Tech., **20** (1984) 141
5. T. O'D. Hanley, A. S. Krausz and N. Krishna : Int. J. of Powder Met. & Powder Tech., **13** (1977) 215
6. 紺田, 大北 : 粉體および粉末冶金, **18** (1972) 302
7. 紺田, 大北 : 粉體および粉末冶金, **21** (1974) 38
8. 紺田, 八木 : 粉體および粉末冶金, **23** (1976) 264
9. H. Kuroki and Y. Tokunaga : Int. J. of Powder Met. & Powder Tech., **21** (1985) 131
10. ASM : Metal Handbook 9th edition, (1985) Vol. 4
11. R. W. K. Honeycombe : Steels, Microstructure and Properties, Edward Arnold, London (1981) 121
12. George Krauss : Principles of Heat Treatment of Steel, ASM, Ohio (1980) 229
13. G. Pusch and W. Schatt : Powder Metallurgy Int., **3** (1971) 21
14. T. Kobayashi : Engineering Fracture Mechanics, **19** (1984) 49
15. T. Kobayashi : Engineering Fracture Mechanics, **19** (1984) 67
16. W. L. Server : J. of Testing and Evaluation, **6** (1979) 5
17. Thaddeus B. Massalski : Binary Alloy Phase Diagrams, ASM, Ohio (1986) 1090
18. Santanu Kr. Ray : Metall. Trans. A, **22A** (1991) 35
19. J. A. Lund : Int. J. of Powder Met. & Powder Tech., **21** (1985) 47