

論 文

용체화처리 및 시효처리가 17-4 석출경화형 스테인레스강 정밀주조품의 미세조직 및 기계적 성질에 미치는 영향

유 성 곤, 이 경 환*, 나 태 엽*

Effect of the Solution Treatment & Aging Treatment on the Microstructure & Mechanical Property of 17-4 PH Stainless Steel

Sung-Kon Yu, Kyong-Whoan Lee*, Tae-Yeob Ra*

Abstract

The effect of the solution & aging treatment on the tensile strength, yield strength, elongation, reduction of area, hardness was studied in the 17-4 PH stainless steel. SEM pictures were also taken in order to examine the fracture surfaces and precipitated particles.

X-ray diffraction patterns for the heat treated samples were also observed. Mechanical properties of the heat treated samples were superior to those of as cast samples. Tensile strength, yield strength, hardeness decreased with the increase of aging temperature. On the other hand, elongation and reduction of area increased as the aging temperature increased.

1. 서 론

17-4 석출경화형 스테인레스강은 헬리콥터 엔진의 compressor wheel의 소재로 정밀주조되어 net shape로 많이 쓰이고 있다.

이 wheel은 400℃, 30,000 RPM의 가혹한 조건하에서 작동하므로 충분한 강도 및 부식저항이 필요하다.¹⁻³⁾

따라서 충분한 강도 및 부식저항을 얻기 위해 주방상태의 정밀주조품에 용체화처리 및 시효처리를 행한다.

본 실험은 여러 다른 온도에서 시효처리를 행했을 때 기계적 성질과 현미경 조직의 변화를 고찰하여 열처리 mechanism을 확립하기 위함인 연구 목적이 있다.

2. 실험방법

2.1 Ceramic sheel 주형제작

Wax사출기로 몇 종류의 wax pattern을 만든 후 이것을 Fig.1과 같이 전면에 3개, 후면에 3개의 원형시편이 달린 wax tree를 만들었다.

이 wax tree를 ceramic slurry에 담근 후 다시 stucco재를 뿌리는 작업을 5회 반복하였다. Primary slurry는 zircon sand(AFS 100-110 grain size)와 점결제인 colloidal silica를 사용하여 PH 5농도로 만들었으며 backup slurry는 fused silica와 colloidal silica를 사용하여 역시 PH 5농도로 만들었다.

Stucco는 1차 coating에 zircon sand, 2차 및 3차 coating에 chamotte sand 5호, 4차 및 5차

계명대학교 재료공학과(Dept. of Materials Eng., Kei Myung University)

* 생산기술연구원 주물기술사업부(Dept. of Casting Technolgy, Korea Academy of Industrial Technology)

Table 1. Chemical analysis of 17-4 PH stainless steel ingot

Element	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Al	Cu	Co	Fe
Content(%)	0.0166	0.63	0.72	16.7	3.68	0.1	0.001	2.8	0.003	Bal

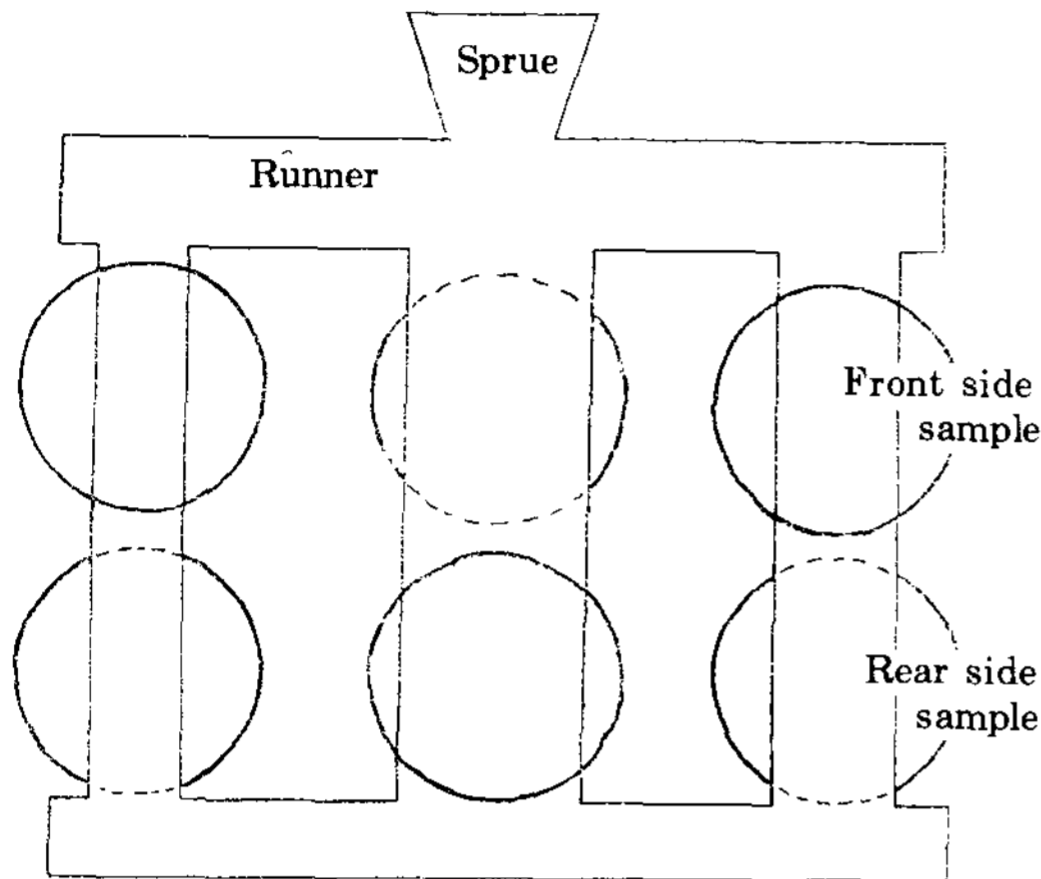


Fig. 1. Wax tree pattern with six samples
(Three front side, three rear side)

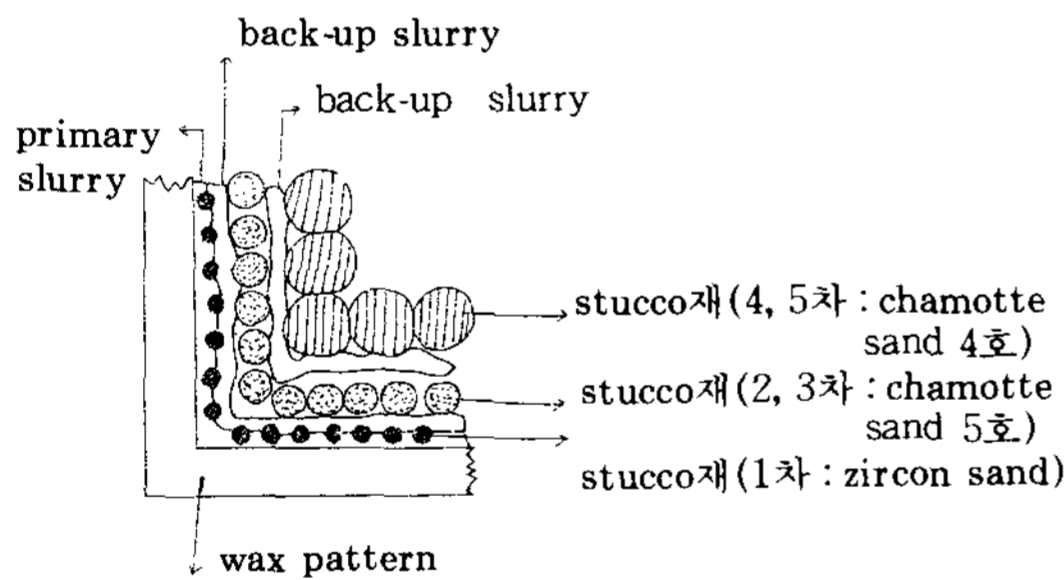


Fig. 2. Ceramic shell with five coating layers

coating에 chamotte sand 4호를 사용하여 5차 coating을 실시하였으며 이 wax tree 위에 피복된 ceramic shell의 단면도는 Fig. 2와 같다. 또한 각 coating 간의 건조시간은 3시간으로 하였다.

5차 coating과 건조가 끝난 ceramic shell을 250℃로 유지된 autoclave에 1시간동안 두어 충분한 탈 wax를 행하였다.

탈 wax 후 ceramic shell을 단열재로 감싸고 소성로에서 1000℃의 온도로 1시간 예열시켰다.

2.2 용해 및 주입

30kg 용해용량의 rolover로를 사용하였으며 용

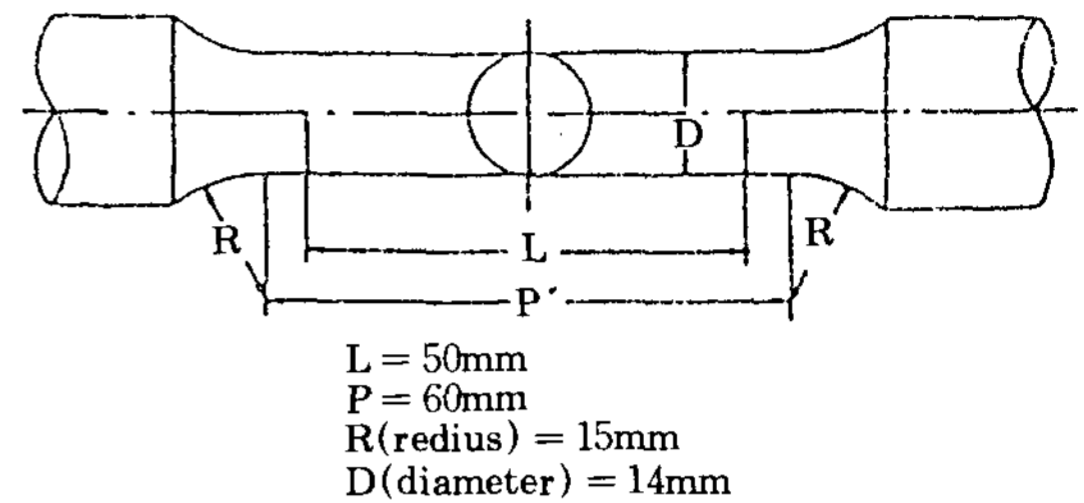


Fig. 3. Specification of KS No. 4 tensile test specimen

해중 용탕이 공기중의 산소와 접촉하여 산화하는 것을 방지하기 위하여 Ar을 rolover로의 상단에 흐르게 하였다. 장입원료는 미국 Cannon Muskegon社의 ingot를 사용하였는바 그 화학조성은 Table 1과 같다. 위의 장입원료를 완전히 용해시켜 슬래그를 제거한 후 1550℃의 용탕을 1000℃로 예열된 ceramic shell에 주입을 행하였다.

2.3 인장시험 및 경도시험

KS 4호 인장시편을 만든 후 인장강도, 항복강도, 신율, 단면수축률을 측정하였다. 인장시편의 규격은 Fig. 3과 같다. 인장시험 후 인장시편으로부터 직경 10mm, 높이 10mm 크기의 원통형 시편을 만든 후 Rockwell C경도를 측정하였다.

2.4 열처리시험

균질화처리(Homogenization treatment)의 경우 인장시편을 관상형 silicatube 열처리로에 장입한 후 순도 99.99% Ar을 약 5분간 5kg/cm² 압력으로 purging 시킨후 25ℓ/min되게 Ar을 공급하였다. 1150℃에서 90분간 유지후 공냉시켰다.

용체화처리(Solution treatment)시 Ar공급방법은 균질화처리 때와 같다. 1040℃에서 60분간 유지후 공냉시켰다. 또한 시효처리(Aging treatment)의 경우 Ar공급방법은 위의 두 처리와 같다. Table 2에 나타난 4종류의 온도에서 90분간 유지후 공냉시켰다.

Table 2. Various aging temperatures employed in this experiment

Specimen No.	Aging Temp. (°C)	Aging Temp. (min)
A	480	90
B	495	90
C	540	90
D	595	90

2.5 현미경 조직 검사

인장시험후 파단면을 500 및 1000 배율로 SEM을 통해 관찰하였다.

2.6 X-ray 회절시험

Cu를 target로하고 40kV, 30mA의 용량으로 scanning speed는 4°/min로하여 파단면의 회절 시험을 행하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 기계적 성질에 미치는 3단계 열처리 효과

As-cast 시편과 균질화처리(1150°C) + 용체화 처리(1040°C) + 시효처리(480, 495, 540, 595°C)의 3단계를 열처리를 한 시편의 성질을 Table 3에 나타내었다.

시효온도와 인장강도, 항복강도, 신율, 단면수

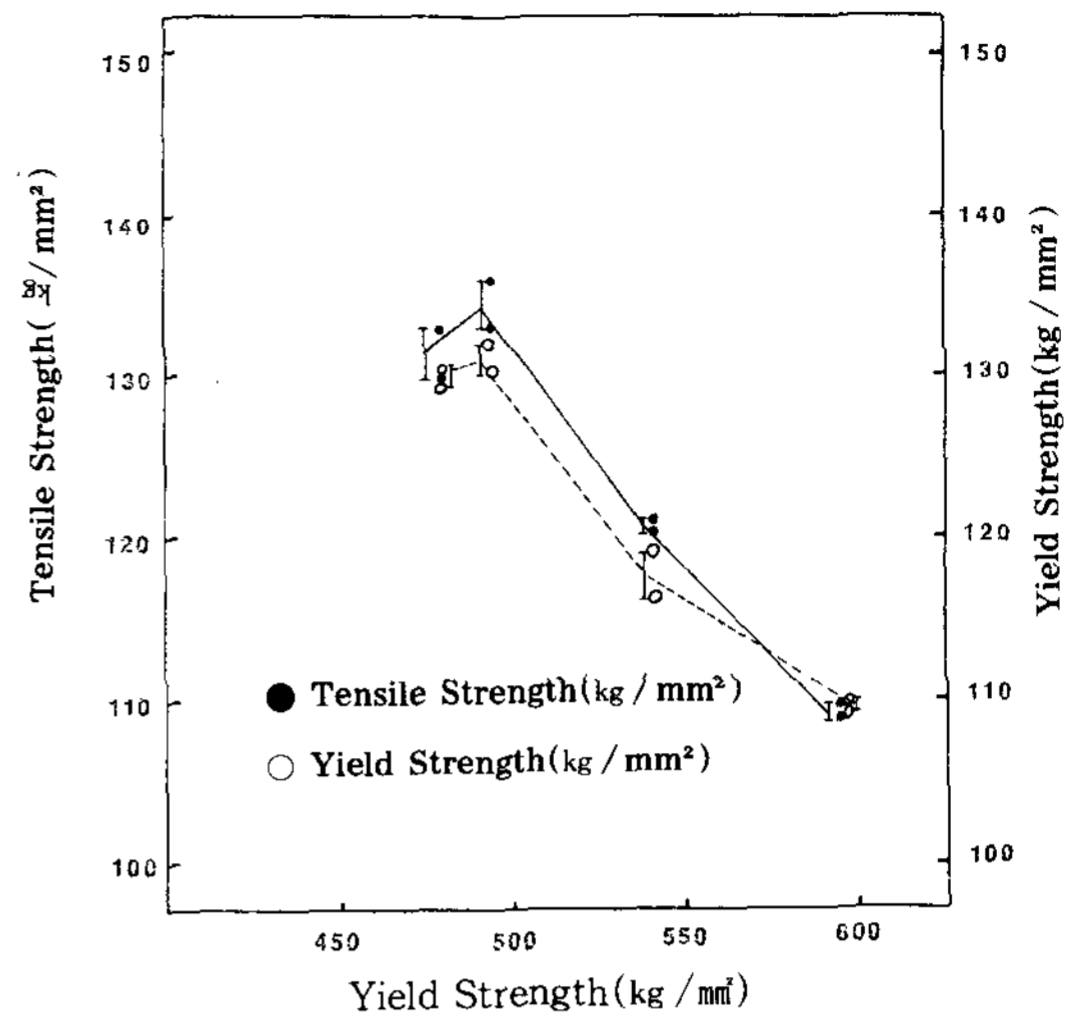


Fig. 4. Effect of the aging temperature on the tensile strength and yield strength of 17-4 PH stainless steel

축률, 경도와의 관계를 Fig. 4, Fig. 5, Fig. 6에 각각 나타내었다.

Fig. 4에서 보듯이 인장강도, 항복강도는 as-cast에 비해 3단계 열처리후 증가하였음을 알수 있다. 시효처리온도가 480°C, 495°C, 540°C, 595°C 일때 as-cast에 비해 인장강도가 각각 28%, 29%, 17%, 6%씩, 항복강도가 각각 32%, 33%, 19%, 11%씩 증가하였음을 알수 있다.

Table 3. Mechanical properties of the three-heat treated samples

Specimen No.	Tensile strength (kg/mm²)	Yield strength (kg/mm²)	Elongation (%)	Reduction of Area(%)	Hardness (Hrc)
A-1	133.6	129.9	9.6	23.8	39.7
A-2	130.5	129.7	7.6	23.8	39.3
B-1	133.7	130.5	7.2	26.5	38.2
B-2	134.5	132.2	9.2	29.2	36.9
C-1	121.2	115.9	12.8	49.0	35.8
C-2	120.9	118.6	14.8	55.6	36.0
D-1	109.7	109.3	14.4	57.7	32.7
D-2	110.2	109.6	14.0	51.2	33.6
E-1	105.3	99.4	5.2	6.3	29.8
E-2	101.6	97.5	3.2	6.5	31.2

* E-1, E-2 : cast sample

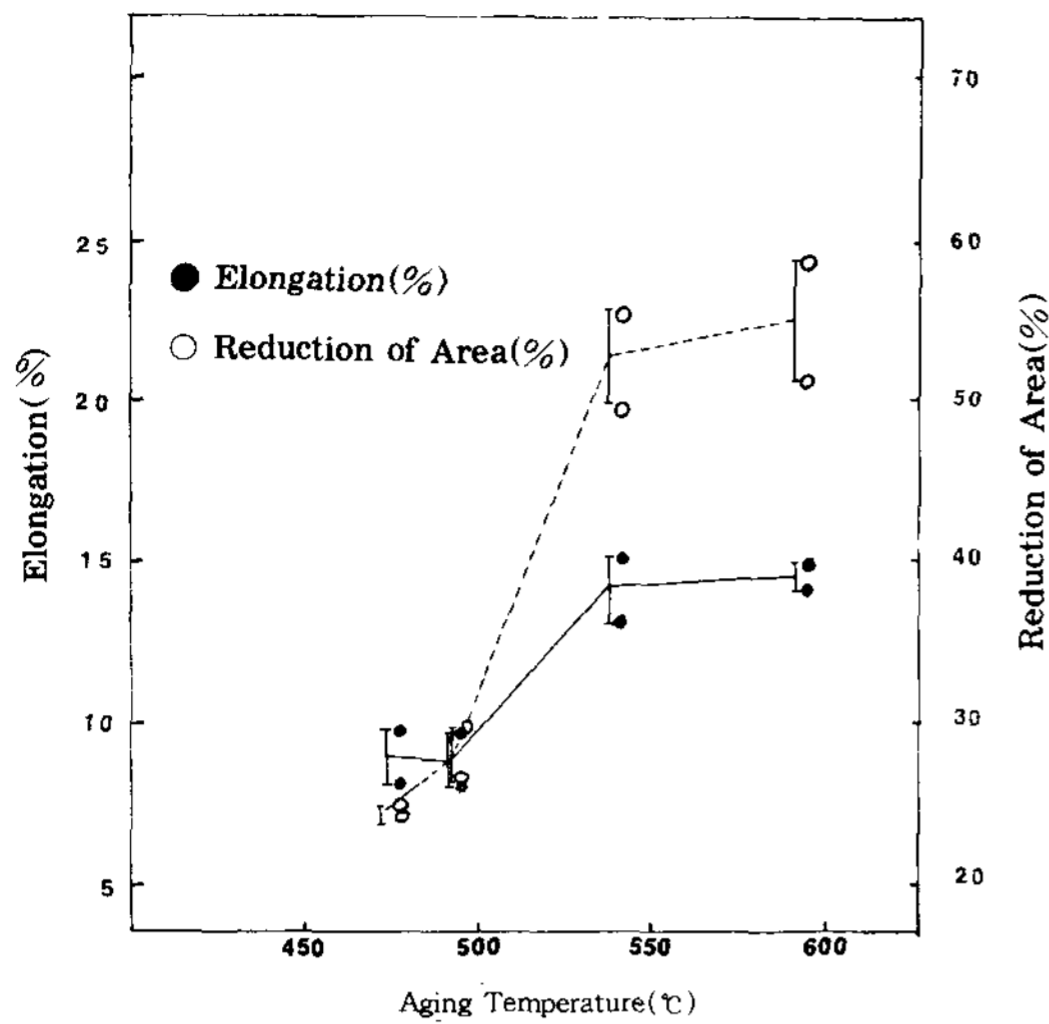


Fig. 5. Effect of the aging temperature on the elongation and reduction of area of 17-4 PH stainless steel

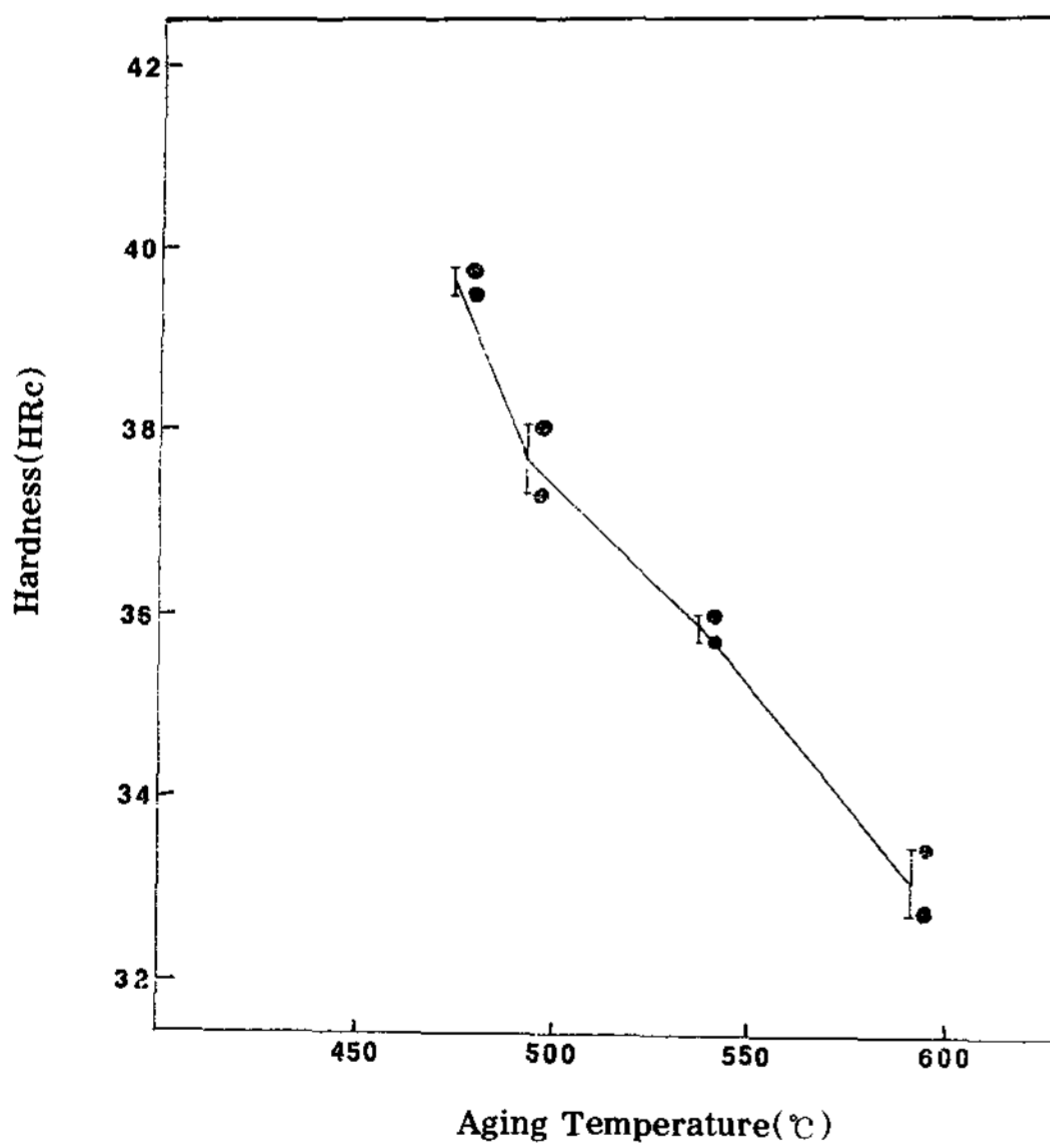


Fig. 6. Effect of the aging temperature on the hardness of 17-4 PH stainless steel

비록 시효온도가 480°C 일때의 인장강도, 항복강도가 495°C 때의 그것에 비해 1%씩 낮으나 대체로 시효온도가 낮아짐에 따라 인장강도, 항복강도가 증가하는 경향을 보이고 있다.

신율, 단면수축률의 경우 Fig. 5에서 나타난 바

와 같이 수직증가세를 보이고 있다. 즉 시효처리 온도가 480°C, 495°C, 540°C, 595°C 일때 as-cast에 비해 신율이 각각 105%, 95%, 229%, 238%씩, 단면수축률이 각각 272%, 336%, 717%, 751%씩 증가하였음을 알 수 있다.

인장강도, 항복강도의 경우처럼 시효온도 480°C, 495°C에서는 약간의 상반된 경향을 보이나 대체로 시효온도가 높아짐에 따라 신율, 단면수축률이 증가하는 경향을 보이고 있다. 경도의 경우 Fig. 6에서 나타난 바와 같이 as-cast에 비해 위의 시효처리온도에서 각각 29.5%, 23.3%, 17.7%, 8.9%씩 증가하였음을 알 수 있다.

즉 3단계 열처리로 인하여 기지조직인 martensite가 시효처리를 실시함으로 stress relief가 일어나 신율, 단면수축률이 증가되었고 시효처리에 의한 금속간화화물의 석출로 인장강도, 항복강도, 경도가 증가되었음을 추정할 수 있다.⁴⁾

3.2 시효처리가 기계적 성질에 미치는 영향

Fig. 4-Fig. 6에서 보듯이 인장강도, 항복강도, 경도는 시효온도가 낮을수록 증가하였음을 알 수 있다. 즉 석출경화로 인해 기지조직인 martensite의 stress relief가 일어났으며 Photo 1, 2, 3, 4에 나타난 기지조직의 veining 현상이 이를 뒷받침하고 있다.⁴⁻⁵⁾

또한 시효온도증가에 따른 인장강도, 항복강도, 경도의 감소는 과시효(overaging)의 영향이라 추정된다. 본 실험에서 각 시효온도마다 동일하게 90분의 시효시간을 적용하였는 바 고온으로 갈수록

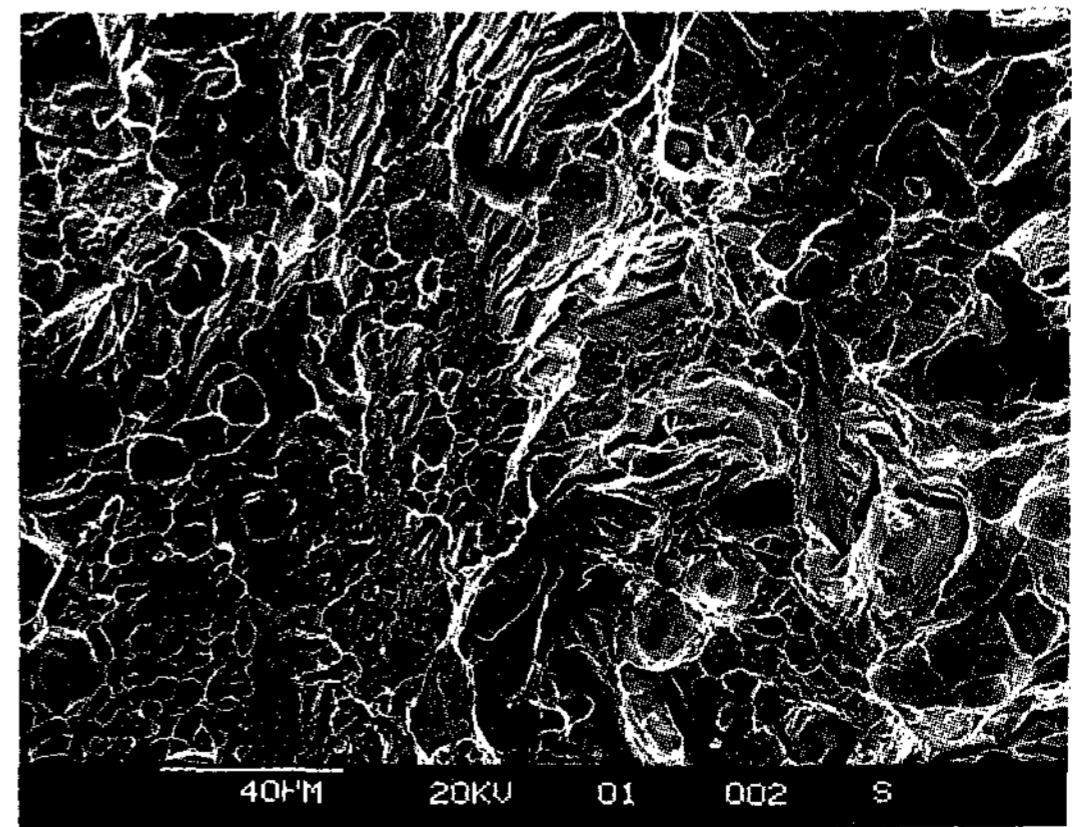


Photo 1. SEM micrography of the fracture surface of the 480°C age treated sample(500 ×)

록 시효시간을 감소시키면 보다 높은 기계적 성질을 얻을 것으로 사려된다.

Photo 1, 2, 3, 4에서 나타난 석출물은 Cu/Ni compound로 사려되며 X-ray pattern은 Fig. 7

에 나타나 있다. Fig. 7에서 알수 있듯이 Fe가 화학 주성분을 이루고 있기 때문에 1, 2, 3, 4, 5가 α Fe의 diffraction angle을 나타내 compound의 확인은 용이하지 못하였다.

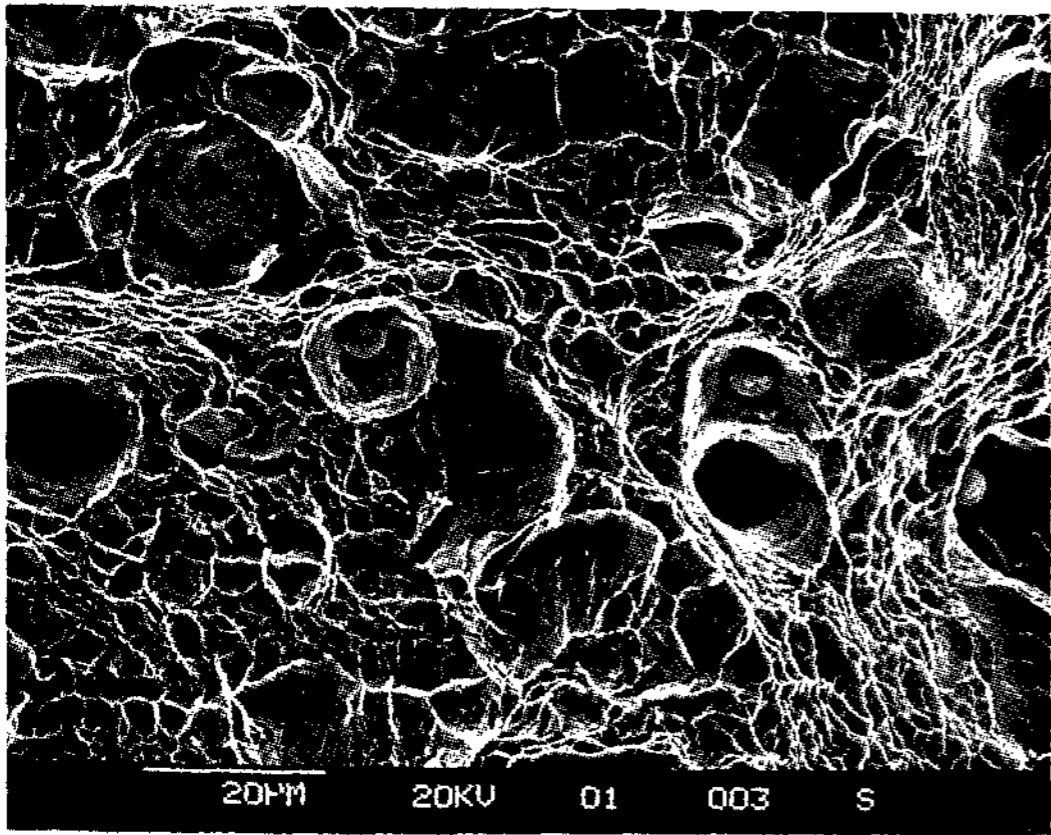


Photo 2. SEM micrography of the fracture surface of the 480°C age treated sample(1000×)

3.3 AMS(Aerospace Material Specification)와 본실험과의 관계

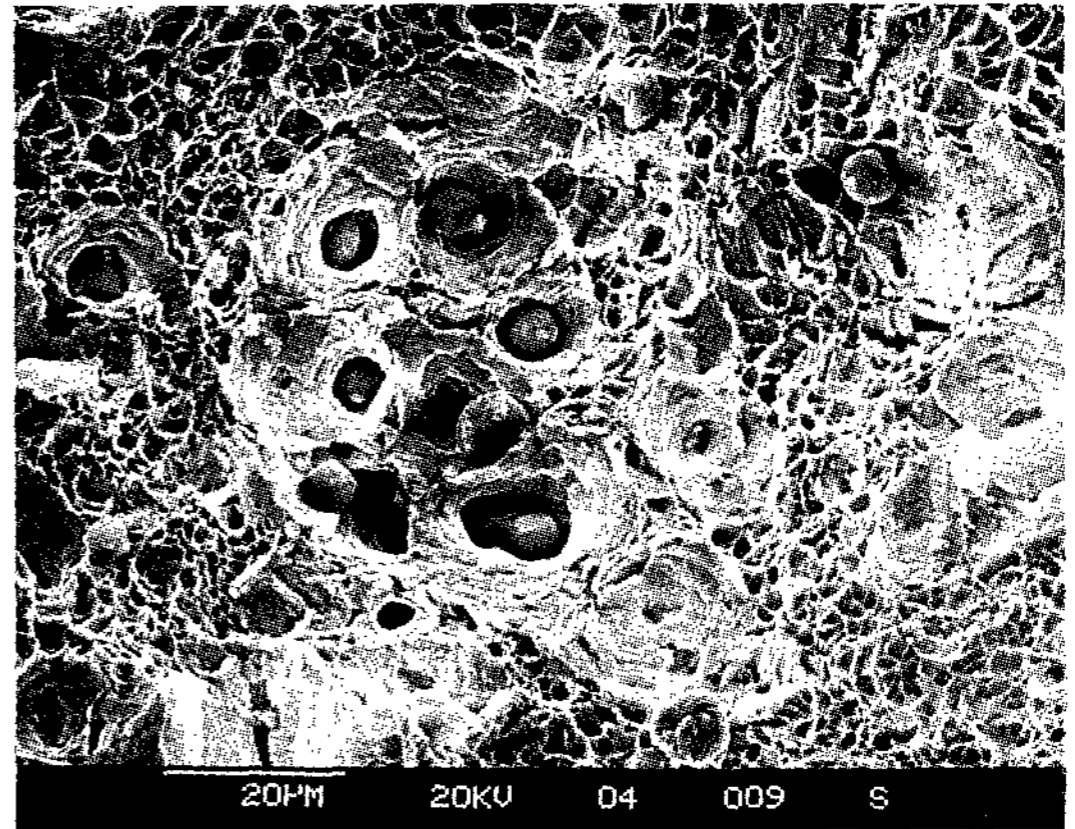


Photo 3. SEM micrography of the fracture surface of the 595°C age treated sample(1000×)

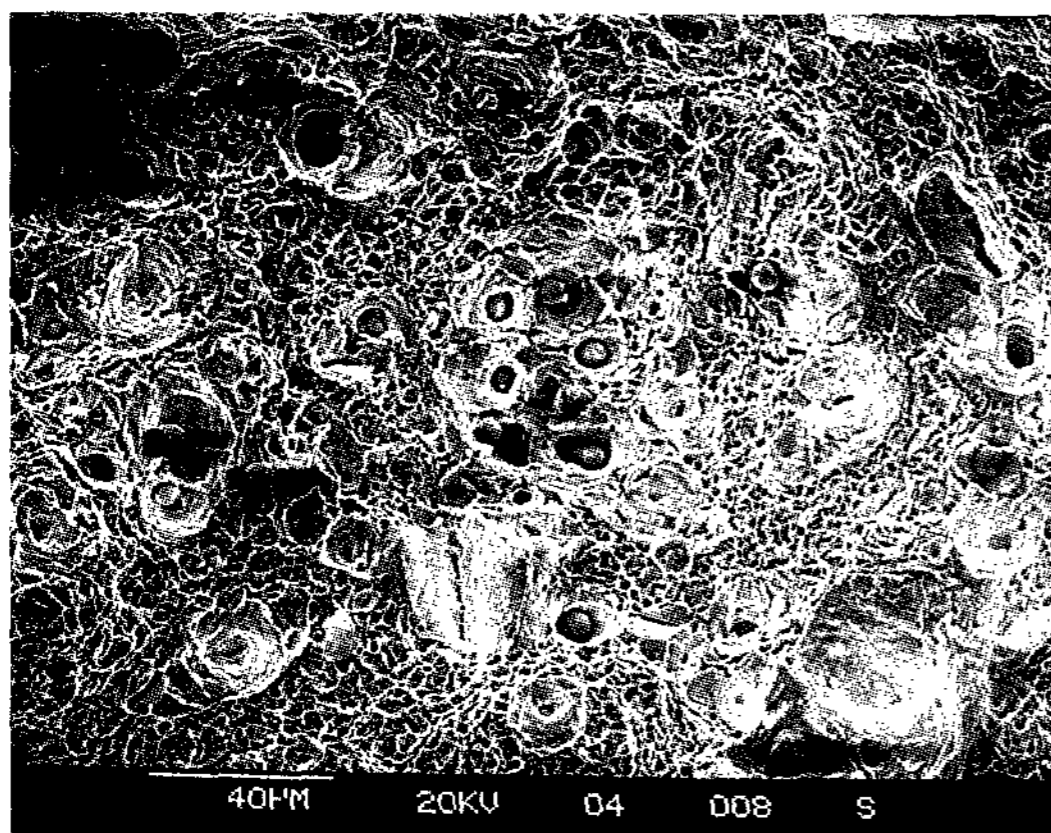


Photo 3. SEM micrography of the fracture surface of the 595°C age treated sample(500×)

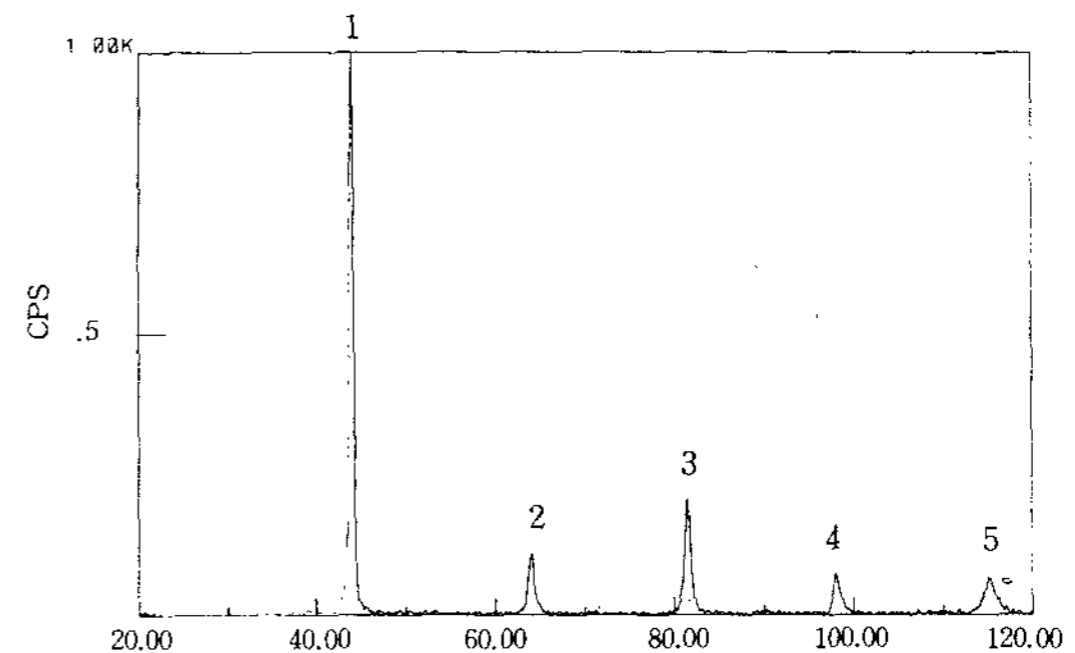


Fig. 7. X-ray diffraction pattern of the 480°C age treated sample

Table 4. AMS(Aerospace Material Specification) of 17-4 PH stainless steel

Aging Temp (°C)	Tensile strength Psi(kg/mm ²)	Yield strength Psi(kg/mm ²)	Elongation (%)	Reduction of Area(%)	Hardness HRc
480°C	180,000(127)	160,00(113)	6	15	40
495°C	180,000(127)	150,000(106)	6	15	40
540°C	150,000(106)	130,000 (92)	8	20	34
595°C	130,000 (92)	120,000 (85)	8	15	32

항공재료는 가혹한 조건에서 작동하므로 그 규격이 AMS를 만족시켜야 한다.⁶⁾ 17-4 PH stainless steel의 열처리에 관한 규격은 AMS 5355D에 규정되어 있으며 Table 4에 나타나 있다.

480°C, 495°C에서의 HRc를 제외하고는 Table 4에 나타난 본 실험의 기계적 성질이 AMS 5355D 규격에 명시된 기계적 성질을 훨씬 상회하고 있음을 알 수 있다.

균질화처리 및 용체화처리시 유냉 대신 공냉을 하였기 때문에 HRc가 AMS Spec.에 미달된 것으로 여겨진다.

따라서 본 실험에서 사용된 ceramic shell 주형 제작, 용해, 주입은 이상적이라 생각된다.

4. 결 론

본 실험을 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 주조용 17-4PH ingot, ceramic shell, roller로 등을 사용하여 결함없는 주방상태 시편을 얻을 수 있었다.
2. 용체화처리 및 시효처리를 통해 주방상태보다 우수한 기계적성질을 얻을 수 있었다.
3. 얻어진 모든 기계적 성질을 대체로 AMS 5355D에 명시된 최저 기계적 성질을 만족시켰다. HRc의 경우 480°C, 495°C에서 미달됐는 바, 이는 균질화처리, 용체화처리시 공냉에 기인한다.
4. 인장강도, 항복강도, 경도는 시효온도가 낮을

수록, 신율, 단면수축률은 시효온도가 높을수록 높은 값을 나타내는 경향을 보였다.

5. SEM 측정결과 파단면으로부터 veining현상, 석출물의 형상을 파악할 수 있었다.
6. Fe의 과량함유로 다른 원소 및 합금의 X-ray 회절 peak는 얻을 수 없었다.

후 기

본 연구는 1991년 교육부 학술연구조성비에 의해 수행된 연구결과의 일부로 이의 지원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. H.Cohen, "Gas Turbin Theory" pp. 1-21, (1972)
2. Allison Engineering Process Specification EPS 333
3. Allison Engineering Inspection Specification EIS 663M
4. D.Peckner "Handbook of Stainless Steel" Chap. 7(1977)
5. M.Woulds "29th Annual Meeting of the Investment Casting Institute" 14:01(1981)
6. Aerospace Material Specification 5355D, SAE