

SM45C 강의 변형제어를 위한 열처리기술에 관한 연구

류성기*, 남태현**, 박준철***

A Study on the Heat-treatment Technique for Deformation Control of SM45C Steel

S.K. Lyu*, T.H. Nam** and J.C. Park***

ABSTRACT

This study deals with the heat-treatment technique of SM45C steel with respect to less of deformation in control. The whole process for the production of landing gear must go through with uniformly controlled heat treatment, where as most deformation usually occur in nonuniform cooling environment. When a heated metal is submerged into a certain quenchant, the rate of cooling rapidity can be measured rather slow during the early stage of the procedure due to an occurrence of a vapor blanked.

As the additional course of cooling action is applied and the vapor from a vapor blanked is destroyed simultaneously, the speed of cooling promptness can be considered rather swift. The object of this study is to control the certain deformations as in the procedure of a heat treatment for landing gear by analyzing and improving the conditions of different substance of quenching liquids. Several noticeable curves indicating the temperature variation on the applied metals during the cooling procedures, along with detectable rates of water verses oil and that of different polymer solutions are illustrated.

Key Words : Heat-treatment Technique(열처리기술), Quencht(퀸칭냉매), Conditions of Quenching(퀸칭조건), Nonuniform Cooling(불균일냉각)

1. 서 론

항공기용 랜딩기어는 항공기의 핵심부품이며 고부가가치 제품이다. 선진국에서는 S&L Metal, B.F. Goodrich 등의 몇몇 전문제조회사가 있으며, 우리나라에서는 K 중공업에서 소재를 수입, 기계 가공 후에 열처리 및 표면처리를 수행하여 제품을 생산하고 있다. 현재, 랜딩기어의 소재 외 많은 생산공정이 외국으로부터 기술도입에 의한 방법으로

수행되고 있기 때문에 앞으로 랜딩기어 제조기술의 국산화가 시급한 실정이다.

특히 랜딩기어의 제조과정 중 열처리 및 표면처리에 관하여 많은 연구가 필요하다. Lisic¹⁾은 퀸칭매질을 체계적으로 평가할 수 있는 장치를 고안하였으며, Beck²⁾은 은과 강으로 만든 시험편에 대한 냉각곡선을 그려 여러 가지 경화용 기름의 냉각능을 조사하였다. 그리고 Ueym³⁾ & Kim⁴⁾은 유한요소법을 사용하여 열변형을 해석한 바 있지만 열

* 경상대학교 수송기계공학부, 항공기부품기술연구센터

** 경상대학교 재료공학부, 항공기부품기술연구센터

*** 경상대학교 대학원

처리 변형에 대한 원인은 규명되지 않았다. 현재 열처리 변형이 생산 가공부품의 불량 원인 중 가장 많이 차지하고 있다. 따라서 부품 가공 산업체들의 가장 큰 현장어로 기술로 도출되고 있는 열처리변형제어에 관한 연구가 요구되고 있다.

항공기의 랜딩기어에 주로 사용되고 있는 재료로서 4340 강과 300M 강을 들 수 있다. 이들 재료는 모두 퀴칭에 의하여 마르텐사이트를 형성시키고 템퍼링하는 열처리를 통하여 고강도를 얻는 대표적인 고장력강에 속한다. 따라서 보통의 탄소강에 비하여 합금원소 첨가에 의하여 경화능이 매우 향상된 강으로 보통 오일퀴칭을 이용한다. 그러나 랜딩기어와 같이 부품의 크기가 큰 경우 크기효과 및 불균일냉각에 의하여 열처리 변형이 발생할 수 있다. 랜딩기어의 경우 열처리 변형을 기계적으로 조정하는 공정이 금지되어 있으므로 공정의 마지막 단계에 속하는 열처리 공정에서 열처리 변형의 발생은 곧 부품의 사용가능 여부를 결정하는 중요한 인자가 된다. 따라서 열처리 변형의 정확한 제어는 랜딩기어의 제조공정에서 반드시 필요하다고 말할 수 있다.

본 연구에서는 퀴칭조건을 개선하여 항공기 랜딩기어의 열처리 변형을 제어하는 기술을 개발하는데 목적이 있다. 퀴칭조건을 개선하기 위하여 물, 오일, 폴리머 솔루션의 퀴칭냉매의 냉각곡선과 냉각속도를 고찰하여 퀴칭냉매의 특성을 밝히고, 각종 열처리법이 열처리 변형에 미치는 영향에 대하여 고찰하고자 한다.

2. 시험편의 제작

2.1 시험편의 제원

본 연구에서 사용한 재료는 KSD 규격의 SM45C를 사용하였으며 화학적 조성비를 Table 1에 나타냈다. 랜딩기어는 형상이 복잡하므로 본 연구에서는 봉상 시험편을 사용하였으며, 봉상 시험편의 형상을 Fig. 1에 나타냈다.

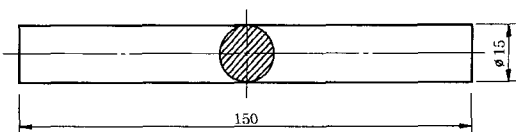


Fig. 1 Shape of cylinder test piece

Table 1 Chemical composition of S45C [wt %]

SM45C	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Cu
Range	0.42~0.48	0.15~0.35	0.60~0.90	≤0.03	≤0.035	≤0.25	≤0.25	≤0.20
Measured	0.44	0.28	0.73	0.026	0.019	0.12	0.20	0.16

2.2 시험편의 가공공정 및 열처리방법

직경 18 mm의 SM45C 환봉을 절단하여 선반으로 센터구멍(center hole)을 만들어 CNC 선반을 사용하여 프로그래밍 후 시험편을 제작하였다. 그리고 시험편의 표면은 원통연삭기를 사용하여 진원도와 진직도가 0이 되도록 연삭하였다.

본 연구에서는 폴리머 솔루션 중 PAG(polyalkylene glycols)를 사용하였으며, 비교시험을 위한 다른 냉매로서는 물과 상온용 오일을 사용하였다. 냉각속도 측정기는 Fig. 2에 나타낸 냉각속도 측정장비(IVF Corp. Quenchtotest)를 사용하였다. 원리는 probe를 노에서 850℃로 가열한 후에 bath에 퀴칭하게 되면 probe 내에 있는 thermal couple이 온도를 감지하여 그 신호를 기록장치에 보내게 된다. 그리고 이것을 컴퓨터로 전송함으로써 냉각속도 데이터를 얻을 수 있게 된다.

폴리머 솔루션의 경우 교반속도를 1.78 m/s로 고정하고 각각 농도를 5, 10, 15, 20%, 온도를 20, 30, 40, 60℃ 변화시키면서 냉각속도를 측정하였고, 물의 경우는 농도의 변수가 없기 때문에 교반속도를 1.78 m/s로 고정하고 온도는 20, 30, 40, 60℃로 변화시키면서 냉각속도를 측정하였다. 오일의 경우는 온도를 20, 40, 60, 80℃로 변화시켰다.

위의 실험에서 결정된 열처리 조건을 바탕으로 SM45C 강을 열처리하여 변형량을 측정하였는데 SM45C를 열처리 한 후 원통연삭기에 물려 회전시키면서 다이얼 인디케이터(dial indicator)를 이용하여 진원도를 측정하였으며, 테이블을 이송시켜 진직도를 측정하였다. 열처리과정은 Fig. 3에 나타낸 바와 같이 845℃에서 1시간 오스테나이트화(austenitizing) 후 퀴칭(quenching)을 하였으며, 다시 425℃에서 1시간동안 템퍼링(tempering) 처리를 하였다. 모든 열처리 공정은 산화방지를 위하여 아르곤가스분위기에서 실시하였다.

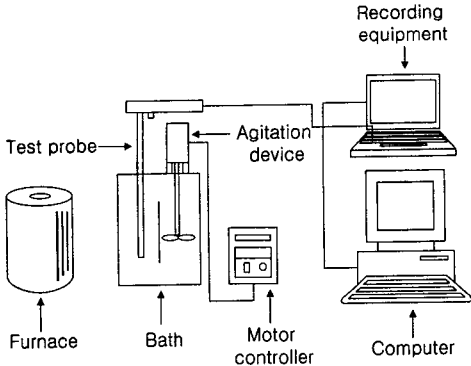


Fig. 2 Apparatus for measuring of cooling rate

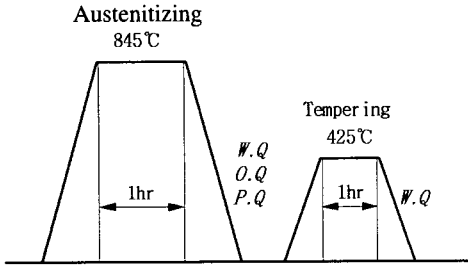


Fig. 3 Quenching and tempering process

2.3 냉매의 특성

2.3.1 폴리머 솔루션

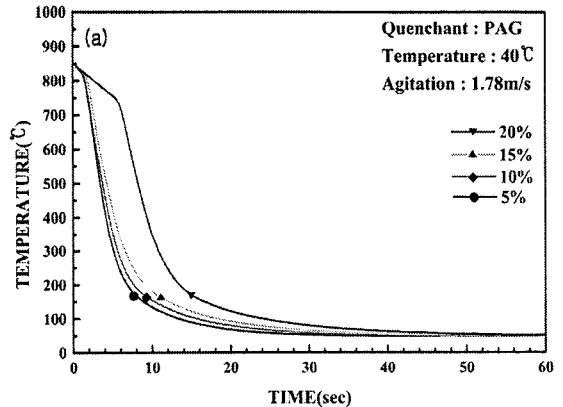
1) 농도의 영향

일반적으로 재료의 열처리변형에 영향을 미치는 인자는 크게 냉매의 농도, 온도, 그리고 교반속도가 있다. Fig. 4는 냉각속도에 미치는 농도의 영향을 조사하기 위해서 온도를 40°C로 고정하고 농도를 변화시키면서 냉각속도를 측정된 결과이다.

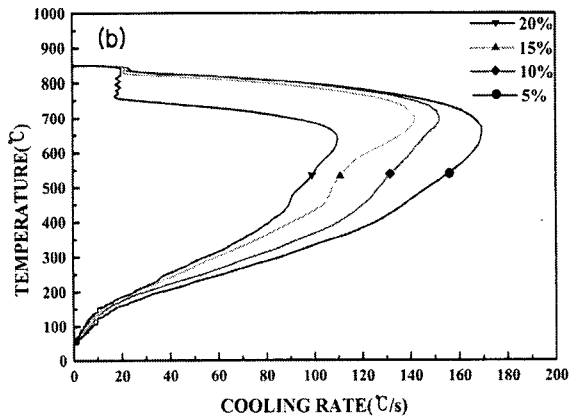
15% polymer solution에서 얻은 냉각곡선을 이용하여 설명하면 킨칭 후 약 2초까지는 냉각속도가 느리다가 시간이 경과함에 따라 냉각속도가 급격하게 증가한다. 그 후 약 10초가 경과하게 되면 냉각속도는 크게 저하한다. 냉각초기에 냉각속도가 느린 이유는 피냉각물 주위에 증기막이 형성되기 때문으로 알려져 있고 이 온도구간을 증기막 단계라 한다. 그 후 냉각속도가 급격히 증가하는 것은 증기막이 파손되기 때문이고, 이 구간을 끓음단계(boiling stage)라 한다. 한편 10초 이후에는 냉각속도가 다시 크게 감소하는 것은 더 이상 끓

음이 발생하지 않고 냉각이 냉매의 대류에 의해서만 발생하기 때문인데 이 구간을 대류단계라 한다.

Fig. 4(a)에서 polymer solution의 농도가 5%에서 15%로 증가하여도 증기막단계 구간은 거의 변화하지 않지만 20%가 되면 증기막단계 구간은 크게 증가한다. Fig. 4(b)에서 최대냉각속도가 5%의 농도일 때 가장 큰 것을 알 수 있다. 그러나 철강재료의 마르텐사이트변태개시온도 부근인 400°C에서도 5% polymer solution의 냉각속도가 가장 빠르다. 경화효과는 극대화시키면서 열처리변형은 극소화시키기 위해서는 증기막단계 구간이 짧아야 하고 끓음 단계의 냉각속도가 빠르고 대류단계의 냉각속도가 느린 냉매를 선택하여야 한다. 따라서 본 연구에서는 15% polymer solution을 최적농도로 결정하였다.



(a) Cooling curve of polymer solution

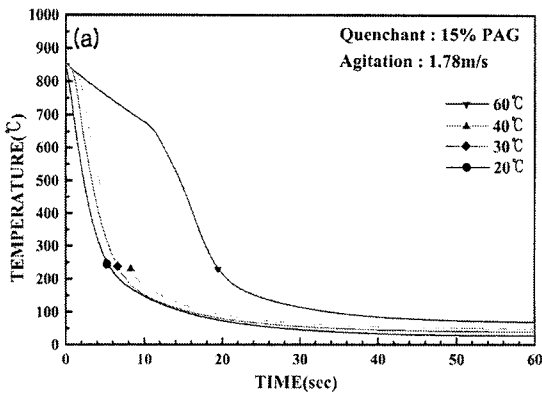


(b) Cooling rate curve of polymer solution

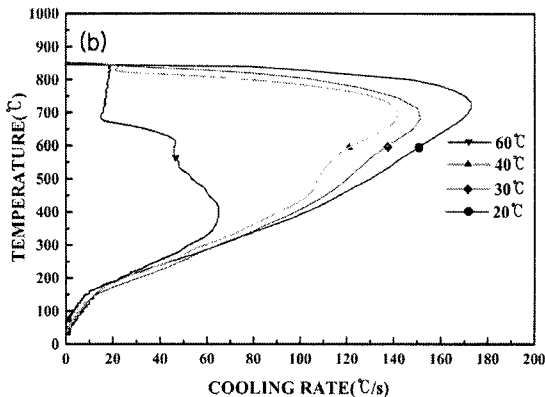
Fig. 4 The quenching characteristics of polymer solution (Temp.=40°C)

2) 온도의 영향

Fig. 5(a)는 polymer solution 의 농도를 15%로 고정 한 후 온도를 변화시키면서 냉각속도를 측정 한 결과이다. 온도가 20℃에서 40℃까지 증가하면 증기막단계 구간이 약간 증가하다가 60℃가 되면 크게 증가한다. 그 이유는 사용하는 polymer solution 을 60℃이상 가열하게 되면 물에서 polymer 의 분리가 일어나서 냉각능이 떨어지게 된다. 한편 Fig. 5(b)로부터 알 수 있듯이 polymer solution 의 온도가 증가함에 따라 최대냉각속도는 저하되고 400℃ 근처의 냉각속도로 저하함을 알 수 있다. 본 연구에서는 최대냉각속도가 151℃/s 이고 400℃에서의 냉각속도가 100℃/s 이하는 냉매 온도인 30℃를 최적온도로 선택하였다.

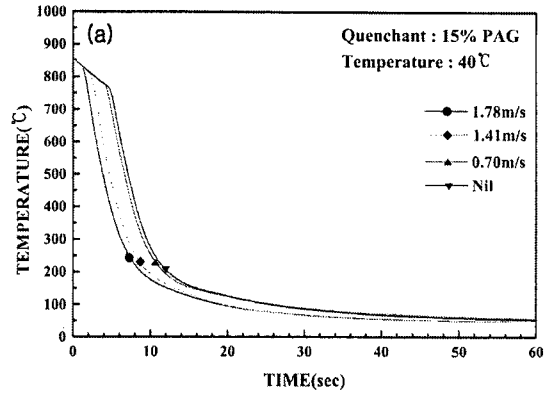


(a) Cooling curve of polymer solution

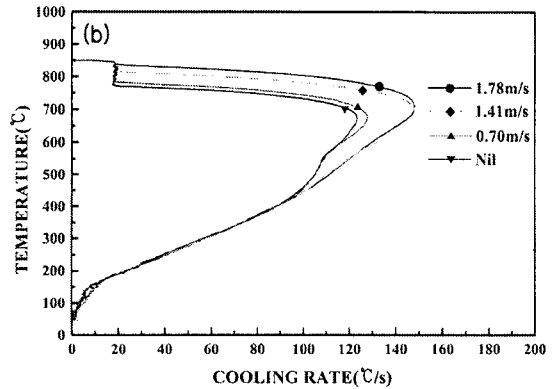


(b) Cooling rate curve of polymer solution

Fig. 5 The quenching characteristics of polymer solution (Concentration=15%)



(a) Cooling curve of polymer solution



(b) Cooling rate curve of polymer solution

Fig. 6 The quenching characteristics of polymer solution

3) 교반의 영향

Fig. 6(a)는 polymer solution 의 농도를 15%, 온도를 40℃로 고정 한 후 교반속도를 변화시키면서 시간에 따른 온도변화를 측정 한 것이다. 교반속도가 증가함에 따라 증기막단계가 감소하는 것을 알 수 있으며, Fig. 6(b)에서 마르텐사이트변태개시온도 부근인 400℃에서는 냉각속도가 교반속도에 상관 없이 비슷하지만 최대냉각속도는 교반속도가 증가할수록 증가하는 경향을 보였다. 따라서 본 연구에서는 최적 교반속도를 1.78m/s 로 하였다.

2.3.2 물

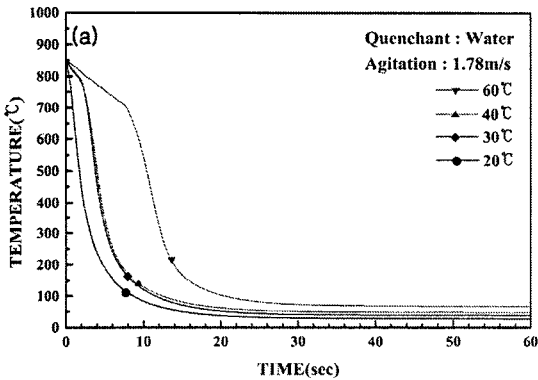
Fig. 7(a)는 쿨링냉매로써 물을 사용한 경우로써 앞서 최적 교반조건인 1.78m/s 의 교반속도로 고정

한 후 온도를 변화시키면서 냉각속도를 측정한 결과이다. 냉매의 온도가 20℃ 일 때는 거의 증기막 단계가 보이지 않지만 온도가 40℃에서 60℃로 증가함에 따라 증기막단계가 증가하였다.

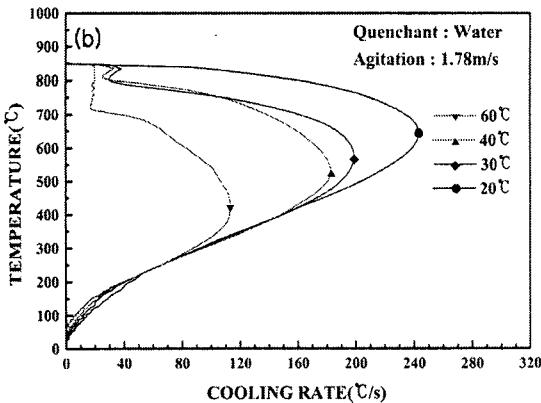
Fig. 7(b)를 보면 온도가 증가할수록 최대 냉각 속도는 polymer solution의 경우와 같이 감소하였고, 최대냉각속도를 보이는 온도도 감소하였다. 이것은 polymer solution의 경우와 다른 경향을 보이는 데 그 이유는 냉각속도가 가장 빠른 단계는 끓음 단계이지만 냉매온도가 증가할수록 물의 경우 증기막이 오랫동안 유지되어 최대냉각속도를 보이는 온도가 감소하였다. 또한 최대냉각속도가 40℃ 물보다 빠르지만 400℃ 부근에서는 비슷한 냉각속도를 나타내기 때문에 가장 적합한 조건은 물의 온도가 30℃일 때이다.

2.3.3 오일

Fig. 8(a)는 상온용 열처리 오일을 이용하여 온도를 변화시키면서 교반은 거의 없는 상태에서 시간에 따른 온도변화를 측정한 결과이다. 그림에서 나타나듯이 냉각초기에는 모든 온도의 오일이 비슷한 냉각특성을 나타내었지만 80℃의 오일이 미소하지만 약간 더 양호하다. 그 이유는 이 오일이 상온보다 더 높은 온도에서 우수한 유동성을 가지므로 좀더 빨리 냉각되었기 때문이다. 특히 80℃ 오일은 300℃이하의 온도에서 다른 것들보다 천천히 냉각되는 것을 알 수 있다. 이것은 재료의 열처리변형을 억제하는 데 더 효율적이라 할 수 있다. 특히 Fig. 8(b)를 보면 최대냉각속도 또한 가장 빠르기 때문에 오일 온도가 80℃일 때가 가장 적합한 조건이라 할 수 있다.

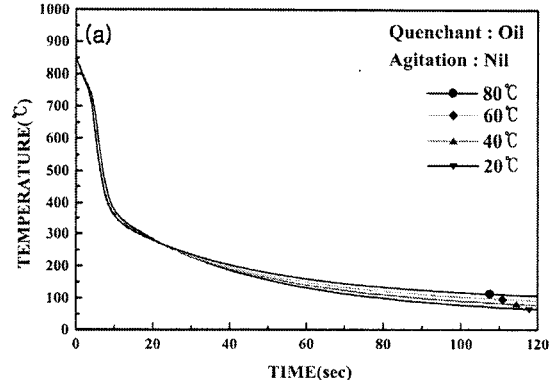


(a) Cooling curve of water

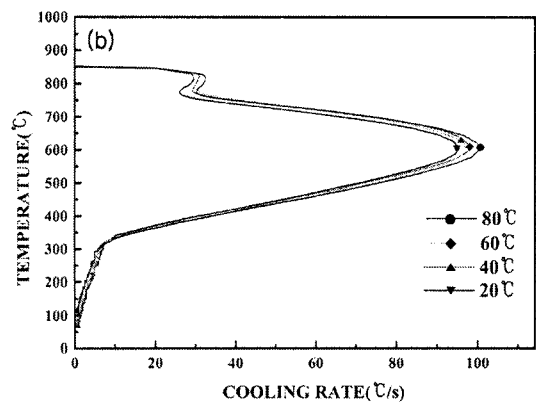


(b) Cooling rate curve of water

Fig. 7 The quenching characteristics of water



(a) Cooling curve of oil



(b) Cooling rate curve of oil

Fig. 8 The quenching characteristics of oil

냉각 속도는 물이 가장 빠르고, 오일이 가장 느리게 나타났다. 그리고 수냉의 경우에는 680℃, 폴리머 솔루션과 유냉의 경우에는 590℃부근에서 냉각속도가 가장 빠르게 나타났다. 또한 냉각과정을 고속카메라로 관찰해본 결과 폴리머 솔루션의 경우 증기막이 한꺼번에 제거 되기 때문에 최대 냉각속도에 도달하는 시간이 빠르게 나타나는 것을 알 수 있었다.

3. 열처리변형 측정결과 및 고찰

열처리변형 측정은 열처리를 하기 전에 진원도와 진직도를 0(zero)으로 연삭하여 맞춘다음 열처리를 실시한 후, 열처리전과 동일한 조건 하에서 다이얼 인디케이터를 설치하여 시험편을 회전시키면서 진원도를 측정하고⁹⁾ 테이블을 이동하면서 진직도를¹⁰⁾ 측정하였다.

봉상의 SM45C 강을 15% 30℃ 폴리머 솔루션, 80℃ 오일, 그리고 30℃의 물에 교반속도는 1.78 m/s로 하여 열처리한 후 진원도와 진직도를 측정하여 Fig. 9, 10에 나타났다. 냉매로써 물을 사용한 경우 초기에 피냉각물의 주위에 둘러싸인 증기막이 서서히 깨어지면서 불균일냉각을 초래하고, 마르텐사이트 변태개시온도 부근인 400℃에서도 냉각속도가 빠르기 때문에 열처리 변형량이 가장 큰 것으로 사료된다. Fig. 9, 10에서 알 수 있듯이 진원도와 진직도는 폴리머 솔루션, 오일, 물 순으로 나타났으며 15%, 30℃ 폴리머 솔루션의 경우가 가장 양호한 진원도와 진직도를 보였다.

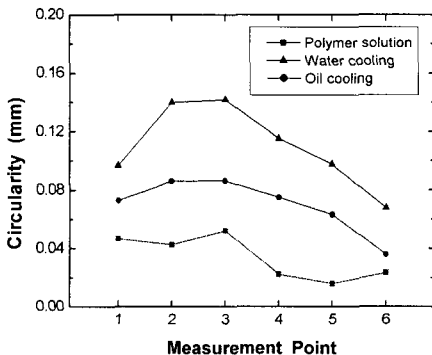


Fig. 9 Circularity of cylinder test piece

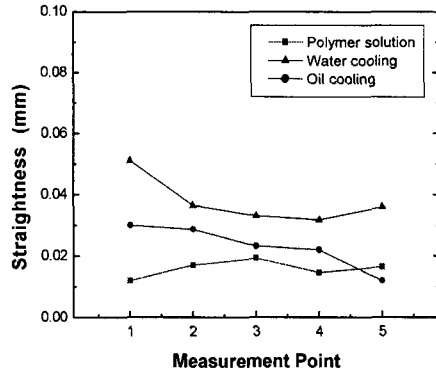


Fig. 10 Straightness of cylinder test piece

4. 각 열처리시험편의 경도 및 금속조직

물, 오일, 폴리머 솔루션의 냉매를 사용하여 SM45C 봉상시험편을 퀴칭 후 템퍼링을 실시한 각 시험편에 대하여 로크웰 경도를 측정하여 Fig. 11에 나타났다. 각각의 시험편의 로크웰 경도측정 결과, 로크웰 경도 차는 크게 나타나지 않았지만, 각각의 시험편에서 물을 냉매로한 시험편의 경도가 가장 높게 나타났다.

시험편의 금속조직 관찰은 금속현미경(Nikon EPIPHOT 200)을 사용하였으며, 금속조직의 관찰위치는 표면부근에서 관찰하였으며 금속현미경으로 관찰한 각 시험편의 금속조직 사진을 Fig. 12에 나타났다. 물을 냉매로한 열처리 시험편은 대부분 마르텐사이트조직이 관찰 되었으며, 평균경도는 HRC 55.04로 나타났다. 그리고 폴리머 솔루션을 냉매로 사용한 시험편은 베이나이트 분율이 다소 많이 나타났으며, 평균경도는 HRC 52.18로 나타났다. 오일을 냉매로 사용한 시험편은 퍼얼라이트 분율이 다소 많이 나타났으며, 평균경도는 HRC 49.44로 나타났다.

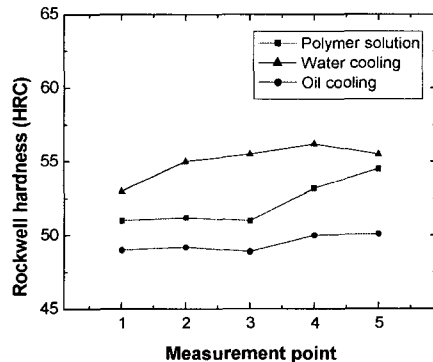
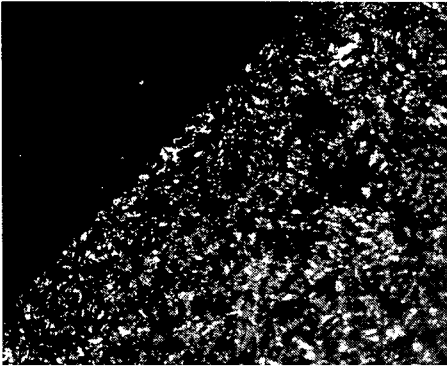
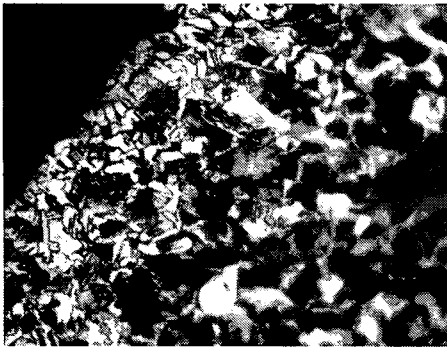


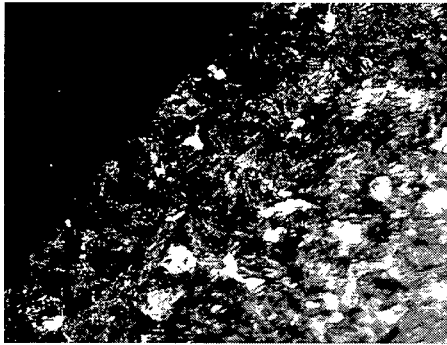
Fig. 11 Rockwell hardness distribution of cylinder test piece



(a) Water quenching(500×)



(b) Polymer solution(500×)



(c) Oil quenching(500×)

Fig. 12 Metallography of surface

5. 결 론

본 연구에서는 켄칭조건을 개선하여 항공기 랜딩기어의 열처리변형을 제어하는 기술을 개발하기 위하여 물, 오일, 폴리머 솔루션 켄칭냉매의 냉각곡선과 냉각속도를 고찰하였으며, 켄칭냉매의 특성을 밝혀, 각종 열처리법이 열처리 변형에 미

치는 영향에 대하여 고찰한 결과, 본 연구에서 얻은 결과는 다음과 같다.

1. 켄칭냉매 폴리머솔루션의 최적조건을 농도 15%, 온도 30℃, 교반속도 1.78m/s 로 나타냈다.
2. 켄칭냉매 물의 최적조건은 온도 30℃로 나타냈다.
3. 켄칭냉매 오일의 최적조건은 온도 80℃로 나타냈다.
4. 진원도와 진직도는 냉각매질이 폴리머 솔루션, 오일, 물 순으로 나타났으며, 농도가 15% 온도가 30℃인 폴리머 솔루션의 경우가 열변형이 가장 적게 나타났다.
5. 경도 측정결과 경도는 물, 폴리머 솔루션, 오일 순으로 나타났다.

후 기

본 연구는 과학기술부·한국과학재단 지정 지역연구협력센터인 경상대학교 항공기부품기술연구센터의 지원을 받아 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. Lisic, B., "Assessing the Absolute Quenching Capacity During Hardening from the Surface Temperature Gradient," Haterei-Techn, Mitt., Vol. 33. No. 4, pp. 179-191, 1978.
2. Beck, G., DUMONT. C., MOREAUX, F., and SIMON, A., "Guiding Principles in Choosing and Selection a Hardening Oil," Haterei-Techn, Mitt., Vol. 30. No. 6, pp. 346-358, 1975.
3. T. Ueyama etc., "Improved Computer simulation Method for Shadow Mask Thermal Deformation," Japan Display Vol. 89, pp. 558-561, 1989.
4. H. Kim and S. Im, "Analysis of Beam Landing Shifts due to Thermal Deformation of Shadow Mask," IEEE Transaction on Consumer Electronics, Vol. 40, No. 1, pp. 44-54, 1993.
5. 宋地復, 鄭泰煥 共譯, 精密機械設計製圖法, 聖安堂, pp. 46~48, 1999.
6. 鄭泰煥 共譯, 精密機械設計製圖法, 聖安堂, pp. 39~40, 1999.