

캠 샤프트 재용융 처리시 재흑연화 현상에 관한 연구

오영근 · 김광수* · 고진현**

기아자동차 (주) 생기연구팀

*순천향대학교 재료공학과

**한국기술교육대학교 재료공학과

Investigation of Regraphitization during Cam Shaft Remelting

Young-Kun Oh, Gwang-Soo Kim* and Jin-Hyun Koh**

Kia Motors Corp., Production Eng. R/D Dept., Kwang Myung Shi, KyungKiDo 423-701

*SoonChunHyang University, Onyang, Choongnam 330-600

**Korea Institute of Technology and Education, Choan, Choongnam 330-600

(1998년 4월 6일 받음, 1998년 5월 25일 최종수정본 받음)

초 록 자동차용 캠 샤프트의 표면경화를 위해 TIG 용접공정에 의한 재용융처리가 실시되었다. 재용융처리는 캠축에 평행한 방향으로 행하여졌다. 캠 샤프트 소재의 조직은 편상의 흑연과 퍼얼라이트의 회주철 조직으로 구성되어 있으나 재용융 처리후 미세한 퍼얼라이트 및 세멘타이트와 구상 오스테나이트의 레테브라이트 조직으로 변화하였다. 캠 샤프트 소재의 경도는 HRc 25~28에서 재용융 처리후에는 HRc 53~55 정도로 증가하였다. 다층 용융 처리시 비드가 겹치는 경계에서 검은띠가 관찰되었는데 이 검은띠는 흑연으로 판명되었다. 이 검은띠는 전층의 레테브라이트 조직이 변태된 것으로 주로 세멘타이트와 기지조직의 경계에서 생성되었다. 고밀도 에너지 레이저 용융처리시에도 재흑연화 현상은 TIG의 경우처럼 관찰되었다. 재흑연화 현상의 확인을 위해서 Gleeble 1500을 이용하여 1100℃와 1000℃에서 0.5, 1, 3, 5 및 10초동안 유지한 모의실험을 하였다. 1000℃에서 0.5초 유지했을때도 흑연이 발견된 것으로 보아 재흑연화 현상은 어떠한 재용융 처리 공정을 사용하더라도 피할 수 없는 현상임을 확인할 수 있다.

Abstract TIG remelting was performed to harden the surface of automobile cam shaft. Multipass remelting was conducted in longitudinal direction under argon gas atmosphere. The microstructure of as-cast cam shaft was gray iron which consisted of flake graphite and pearlitic matrix. The remelted area had microstructure of both fine pearlite and ledeburite structure that consisted of globular austenite and Fe₃C. Hardness for as-cast cam shaft had HRc 25~28, however it increased at remelted area to HRc 53~55. Black line was found at heat affected zone next to the fusion line, that is remelt area of previous pass, during multipass remelting. Black line was identified as graphite, which was transformed from Fe₃C in the ledeburite structure. It is observed that all graphites were nucleated at Fe₃C and matrix interface. High density energy laser remelting process was also applied to verify whether black line could be eliminated. However, black line was still existed as observed in TIG remelting process. Regraphitization was simulated on the ledeburitic structure specimen using Gleeble 1500 with conditions of 1100 and 1000℃ for 0.5, 1, 3, 5 and 10sec. From the fact that graphite was formed even at the simulation condition of 1000℃ for 0.5sec, it is seen that regraphitization is an inevitable phenomenon generated whatever processes used during multipass overlap remelting.

1. 서 론

자동차의 캠 샤프트는 밸브에 개폐운동을 부여하므로서 엔진을 동작시키는 것으로 표면의 내마모성 및 내충격성을 향상시키기 위해서 표면처리를 행하고 있다. 캠 샤프트의 표면처리 방법은 많은 연구가 이루어졌으며 냉금법,¹⁾ 티그 재용융처리,²⁾ 플라즈마 재용융처리,³⁾ 레이저 재용융처리,⁴⁾ ADI(Austempered Ductile Iron),⁵⁾ 및 고주파 경화처리⁶⁾가 현재 사용되고 있다. 냉금과 재용융처리법은 레테브라이트(백주철) 조직을 만드는 방법으로 내마모성을 증진시켜서 직접 접촉식 캠 샤프트에 사용된다. ADI와 고주파 경화처리법은 흑연 및 모재를 베이나이트 또는 마르텐사이트로

각각 만들어 내충격성 및 내마모성을 향상시켜서 톨러 형태의 간접 접촉식 캠 샤프트에 적용되고 있다.

재용융처리법은 흑연을 녹이므로서 Fe₃C와 구상 잔류 오스테나이트의 레테브라이트로 바꾸는 공정으로서 가단주철⁷⁾과 비슷한 원리이다. 레테브라이트 조직은 급냉시에만 형성이 가능한데 재용융처리시 캠 샤프트의 표면만 용융되어 열영향을 받지않은 나머지 부분이 냉금역할을 하게된다. 재용융처리시에는 크게 두가지를 유의하여야 하는데 첫째, CO 가스에 의해 블로우 홀이 생성되기 쉬우므로 모재의 가스양을 100ppm 이하 특히, O₂는 50ppm 이하로 유지되어야 하며⁸⁾ 둘째, 재흑연화 현상에 의하여 레테브라이트내 Fe₃C가 흑연으로 바뀔수도 있으므로 Si와 C의 양 및 냉각

속도를 조절해야한다.

재흑연화 현상은 다층 재용융 처리시 겹치는 부위에서 전층의 열영향부에서 발생되는데 엔진의 동작시 흑연부에 의해서 캠 샤프트 표면부에 핏팅 (pitting)을 발생시킬 수 있다. 이러한 재흑연화층의 생성은 억제하기가 어려우며 단지 기지조직의 형상이나 재용융처리 조건에 따라 조절이 가능하다.⁹⁾ 이와같은 흑연의 핵생성은 백주철내의 세멘타이트¹⁰⁾가 변태되거나 중, 고탄소강의 마르텐사이트 입자 경계¹¹⁾에서 발생한다. 본 연구에서는 캠 샤프트의 재용융처리시 생성되는 재흑연화의 발생기구와 용융처리 방법에 따른 생성여부를 밝히고자 한다.

2. 실험 방법

본 실험에 사용된 캠 샤프트의 소재는 냉금법 표면경화에 사용되고 있는 회주철로서 표 1은 성분을 요약하였다. 캠 샤프트 주조는 양산라인과 동일한 용탕을 이용하여 목형으로 주형을 만든후 제작하였다. 캠 샤프트 표면부의 재용융 처리는 TIG (Tungsten Inert Gas)와 CO₂레이저 (1.9kw)를 이용하였으며 표 2에 용접조건을 요약하였다. 재흑연화 현상은 Gleeble 1500를 이용하여 모의실험을 하였다. 모의 실험은 시편의 중심부만 재용융시켜 레테브라이트 조직을 만든후 열전대를 시편의 중심부에 설치하여 프로그램에 따라 실시하였다. 모의실험 조건은 1000, 1100℃에서 0.5, 1, 3, 5, 10초 동안 유지하였다.

Table 1. Chemical Composition of As-cast Gray Cast Iron (wt-%)

C	Si	Mn	Cr	Fe
3.40	1.75	0.80	0.23	Bal.

Table 2. Process Parameters for TIG and Laser Remelting.

TIG	Laser
current : 100A	travel speed : 2m/min
voltage : 12V	beam dia. : 4.2mm
travel speed : 6in/min	mode : TEM 01
preheat temp. : 400℃	
interpass temp. : 250℃	

3. 결과 및 고찰

흑연띠의 형성

주조 상태의 캠 샤프트는 그림 1과 같이 편상의 흑연과 퍼얼라이트의 회주철 조직을 갖는다. 회주철은 주조성과 특히 진동 흡수능이 우수하여 널리 사용되고 있으나 강도가 떨어지는 결점을 지니고 있다. 특히 캠 샤프트의 표면부는 벨브나 타펫 (tapet)에 직접 접촉을 하므로 높은 강도를 요구한다. 따라서 회주철의 강도를 증가시키기 위해서는 마르텐사이트나 레테브라이트와 같은 조직을 갖도록 하여야 한다. 한편 마르텐사이트는 350℃ 부근에서 소려취성이 발생되며 레테브라이트 조직은 내 진동성이 떨어지는 단점을 지

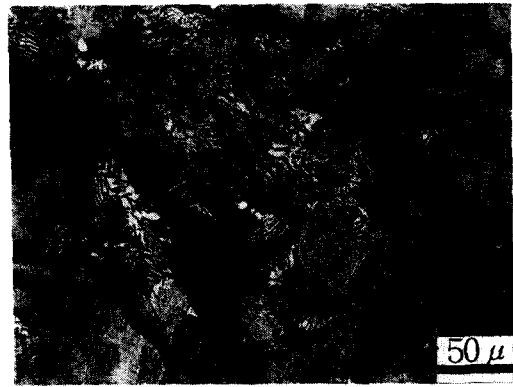


Fig. 1. Microstructure of as-cast gray iron.

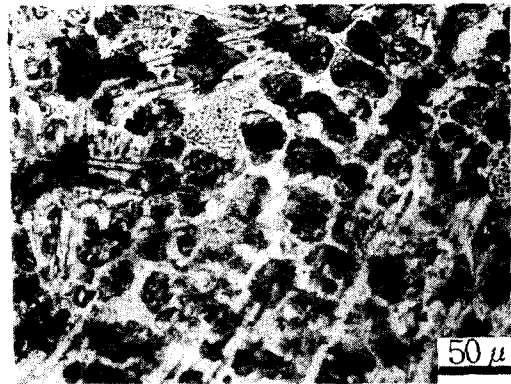


Fig. 2. Microstructure of TIG remelted area.

니고 있다. 특히 캠 샤프트 표면부의 온도가 높아서 소려취성의 문제가 발생하는 엔진 구동방식의 캠 샤프트는 기지조직을 퍼얼라이트나 베이나이트로 만들고 흑연 대신에 레테브라이트 조직으로 만들어 사용한다.

그림 2는 TIG 방법을 이용하여 캠 샤프트 표면부를 재용융 처리한 부위로서 퍼얼라이트 기지조직과 레테브라이트 조직 (Fe₃C+구상 잔류 오스테나이트)를 보여주고 있다. 수직상 형태의 초정 오스테나이트 (검은색) 사이에 레테브라이트 (흰색)이 형성되었다. 레테브라이트는 용고시 탄소의 확산을 위한 시간이 충분하지 않아서 흑연조직의 발생이 억제되므로서 형성된 급냉조직이다. 재용융 처리는 단지 1~2mm의 표면부만 녹이므로 열영향을 받지 않은 나머지 캠 샤프트가 냉금 역할을하여 용융부를 급냉조직으로 만드는 것이다. 한편 냉각속도는 마르텐사이트나 베이나이트와 같은 고강도 조직을 형성할 정도로 높지는 않아서 기지조직은 퍼얼라이트를 형성하였다. 그러나 주조시 보다도 냉각속도가 빠르므로 퍼얼라이트 조직은 재용융 처리 되지않은 소재부 보다 미세한 형태를 나타내었다.

그림 3은 재용융 처리된 캠 샤프트의 외관을 나타내고 있는데 캠 샤프트와 평행으로 지그재그 형태로 재용융처리 되었음을 보여주고 있다. 이때 각 비드간에는 중복 현상이 발생되는데 그림 4에서 보여주듯이 2nd 비드 (후 비드)와 1st 비드 (전 비드)의 겹치는 부위에서 검은띠가 관찰되었다. 검은띠는 2nd 비드에 의해 1st 비드에 형성된 열영향부에 해

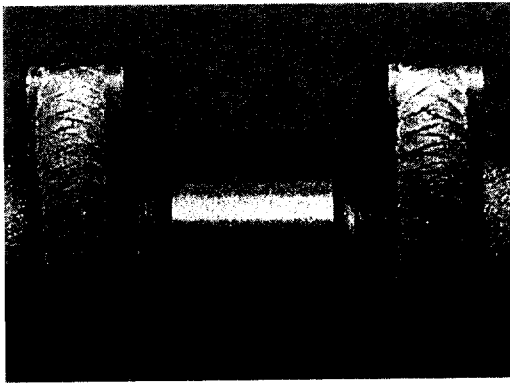
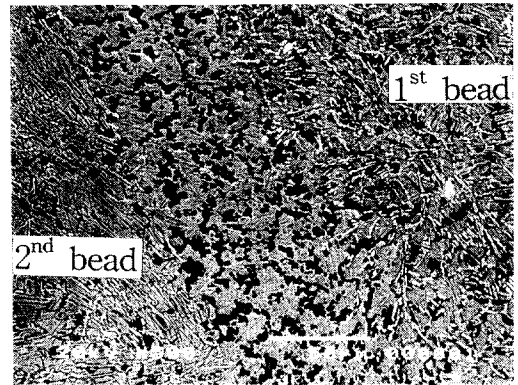


Fig. 3. Surface appearance of cam shaft after TIG remelting.



(a) around overlap region

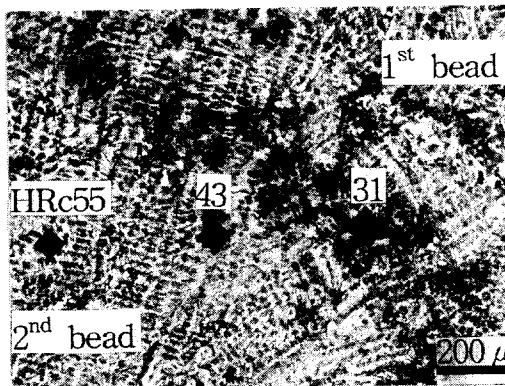
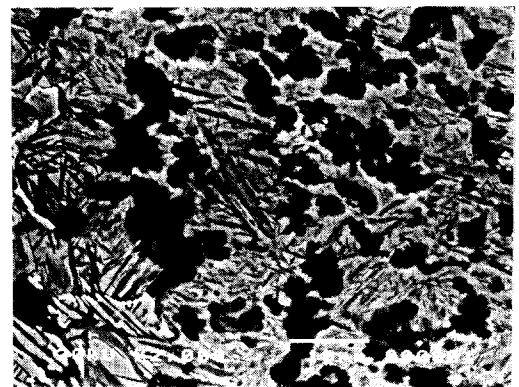


Fig. 4. Microhardness across interface between 1st and 2nd pass overlap boundary.



(b) fully graphitized zone

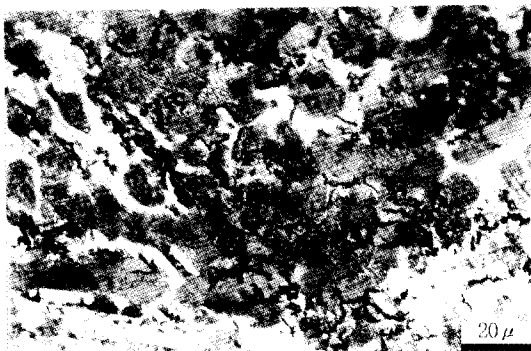


Fig. 5. Black line consisted of acicular graphite.



(c) partially graphitized zone

당되는 부위이다. 검은띠 부근에서 경도를 측정할 결과 재 용융 부위에서는 HRC 53~55이나 검은띠 부위는 HRC 31로 떨어짐을 보여주고 있다. 한편 주조 상태의 경도는 HRC 25정도이므로 재용융 처리시 형성된 레데브라이트가 흑연조직으로 일부 변태되었음을 알 수 있다. 검은띠 부위를 고배율로 관찰한 결과 그림 5에서 보여주듯이 퍼얼라이트와 편상 형태의 흑연이 형성되었음을 알 수 있는데 이를 재흑연화 현상이라 한다. 재흑연화부의 경도가 소재보다 약간 높은 것은 레데브라이트 조직이 잔존하며 또한 퍼얼라이트의 조직이 미세하기 때문이다.

Fig. 6. Development of microstructure (a) around the overlap region (b) fully graphitized zone and (c) partially graphitized zone.

재흑연화 형성 기구

그림 6(a)는 1st 비드의 열영향부에 형성된 흑연띠를 보여주고 있다. 재흑연화 부위는 크게 완전 및 부분 흑연화 부위로 나눌 수 있다. 완전 흑연화 부위는 비드가 겹치는 경계의 바로 아래부위로서 세멘타이트가 완전히 흑연으로 변태되는 부위로서 그림 6(b)에 나타내고 있다. 부분 흑연화는 완전흑연화 부위의 다음 부위로서 세멘타이트의 일부가 흑연으로 변태된 것으로 그림 6(c)에 보여주고 있다. 흑연의 분포는 균일하며 크기는 완전 흑연화 부위가 부분

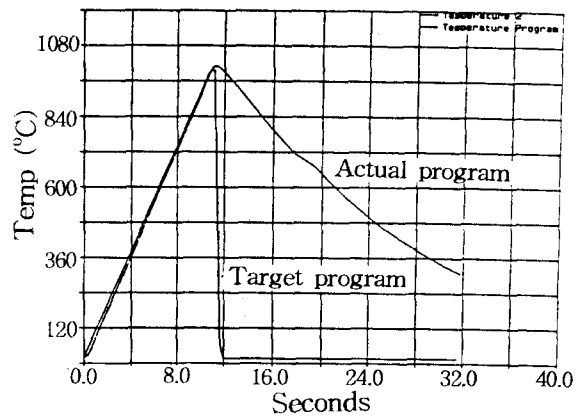
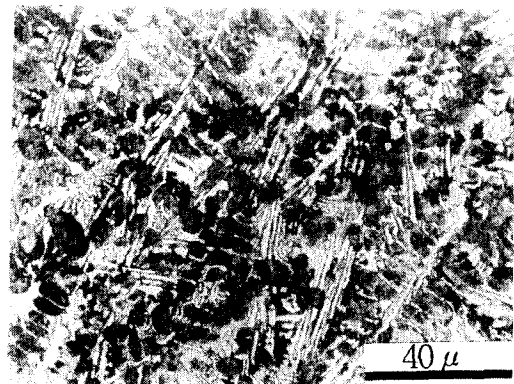


Fig. 7. Graphite nucleation at Fe₃C and ferrite interface by decomposition of Fe₃C. (a) simulation diagram (b) microstructure

(a) simulation diagram

흑연화 부위보다 크을 알 수 있다. 한편 그림 6(b)에서 보여주듯이 비드의 경계 부위에서의 흑연의 크기가 큰 것은 용융 상태와 접촉하여 온도가 높아서 세멘타이트의 분해가 빨리되어 탄소원자의 확산이 잘 일어나기 때문이다. 흑연 입자는 그림 6(b)에서 보여주듯이 2nd 비드에서도 관찰되었는데 H.M.Wang¹²⁾에 의하면 용융부와 접하고 있는 일부 흑연 입자가 용융부의 급속 냉각에 의해서 용융부에 포획된 것이다. 또한 공정온도와 액상선 사이에 해당되는 머쉬(mushy) 영역에서 1st 비드의 세멘타이트 일부가 흑연으로 변태한다.



(b) microstructure

그림 7은 부분 흑연화 부위를 확대한 조직이다. 흑연입자가 미분해된 세멘타이트의 경계에서 형성되었는데 다음과 같은 반응에 의해서 흑연의 핵이 생성되었음을 알 수 있다.

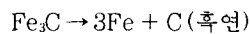


Fig. 8. (a) Simulation diagram at 1000°C for 0.5sec using Gleeble 1500 and (b) the resulting microstructure.

Askeland¹³⁾에 의하면 고 탄소의 마르텐사이트가 흑연 핵생성의 원인을 제공하지만 본 실험에서는 발견되지 않았다.

하다.

세멘타이트의 흑연으로의 변태 구동력은 탄소 활동도와 연관이 있다.¹⁴⁾ 탄소 활동도는 성분 원소에 따라 달라지는데 C와 Si는 흑연화를 촉진시키고 Mn과 Cr은 흑연화를 억제시킨다.¹⁵⁾ 특히 Si는 강한 흑연화 촉진 원소로서 Si의 양을 줄이므로서 재용융 처리시 재흑연화 현상을 억제할 수 있으나 주조시 백주철 조직의 형성 경향이 커진다. 그러므로 주조시 흑연이 정출되고 재용융 처리시 재흑연화 현상을 방지할 수 있는 C와 Si양을 설정하여야 한다. 본 실험에 사용된 소재는 3.4wt%C와 1.75wt%Si로서 흑연화 경향을 지니고 있음을 알 수 있다.

재흑연화 현상은 확산 의존형 변태이므로 냉각 속도가 빠르면 재흑연화 현상을 억제하리라 생각된다. 그러나 레이저에 의한 재용융 처리시에도 재흑연화 현상은 발견되었다. TIG와 레이저 재용융 처리의 다른점은 단지 재흑연화층의 폭이 다르다는 것이다. TIG에 비해서 레이저의 경우 재흑연화 층의 폭이 작게 나타났다.

공정변수의 영향

재흑연화층은 열영향부에서 발생하므로 입열량이 증가할수록 열영향부가 커지듯이 재흑연화층의 폭이 커진다. 입열량이 0.47kJ/mm에서 1.18kJ/mm로 증가할 때 재흑연화층의 폭은 100µm에서 140µm로 증가된다.¹⁶⁾ 한편 입열량이 0.79kJ/mm 이상이 되면 용융부가 너무 커지므로 표면이 심하게 손상되어서 실제 사용하기 위한 조건으로 부적절

재흑연화층의 형성을 억제하기 위한 임계냉각속도를 구하기 위해서 Gleeble에 의한 열영향부 모의실험을 하였다. 열영향부가 공정온도 이하부터 해당되므로 공정 온도인 1148°C 이하에서 냉각속도를 달리하여 실시하였다. 재용융 처리에 의해서 형성된 레데브라이트의 조직에 1000°C 및 1100°C에서 0.5, 1, 3, 5 및 10초동안 유지한 후 공냉시켰다. 그림 8(a)는 1000°C에서 0.5초 동안 유지한 모의실험 모식도이며 그림 8(b)는 조직사진을 보여주고 있다. 모의 실험은 흑연의 형성 여부만을 관찰하기 위한 것이므로 예열 처리는 행하지 않았다. 한편 레이저의 냉각속도인 1000°C에서 약 0.8초¹²⁾ 보다도 빠른 냉각속도이지만 그림 8(b)에서 보여주듯이 흑연이 형성되었음을 알 수 있다. 결론적으로 재흑연화 현상은 레이저나 전자빔 용접과 같은 빠른 냉각속도를 가진 공정을 적용하더라도 피할 수 없는 현상임을 알 수 있다.

4. 결 론

1) 캠 샤프트의 표면부의 경도를 증가시키기 위해서 TIG 및 Laser 재용융처리하였을 때 재용융 부위는 퍼얼라이트와 레테브라이트의 조직을 갖는다.

2) 다단 경화처리시 1st 비드 (전비드)와 2nd 비드 (후비드)의 겹치는 부위에서 검은띠가 발생되었다. 검은띠는 1st 비드의 레테브라이트 조직이 흑연으로 바뀌는 현상으로 재흑연화 현상이라한다.

3) 재흑연화는 재용융 방법과 관계없이 1st 비드의 열영향부에서 항상 생성된다.

참 고 문 헌

1. H. Sheng : Conference on The Third Asian Foundrymens Society, Seoul, Korea, 336-342, (1995)
2. F. H. Reinke: Heat Treatment of Metals, **8** (1), 17, (1981)
3. T. Ishida : J. of Mat. Sci., **18**, 1773, (1983)
4. H. W. Bergmann: Surf. Eng., **1**, 137, (1985)
5. S. I. Lee et al. : J. of the Korean Foundrymens Society, **17** (3), 57, (1997)
6. S. N. Bagchi : Trans. Indian Inst. Met., **29** (3), 199, (1976)
7. A. Koursaris : International Foundry and Heat Treatment Conference, Vol.2, Johannesburg, South Africa Nov., 33, (1982)
8. T. Hiraoka et al. : 鑄物, **67** (2), 82, (1995)
9. E. F. Nippes et al. : Welding J., **39** (11), 465-s, (1960)
10. G. R. Pease : Welding J., **39** (1), 1-s, (1960)
11. F. Faronez : M.S. Thesis, University of Missouri-Rolla, MO, (1976)
12. H. M. Wang : Met. And Mat. Trans.A, **26A**, 793, (1995)
13. D. R. Askeland et al. : Welding J. Nov., 337-s, (1979)
14. E. Elliott : Mat. Sci. and Tech., VCH, Weinheim, **7**, 724, (1992)
15. Solv'ev V.P. et al : Soviet Casting Tech., **7**, 10, (1991)
16. Y.K. Oh et al : IPC-9 on Automotive Engineering, Bali, Indonesia, 301, (1997)