

논문

구상흑연주철의 구름마찰에 대한 강도해석

이한영

Analysis of Flaking Strength by Rolling Friction of ADI

Han-Young Lee

Abstract

The structure of austempered ductile cast iron, called ADI, consists of graphite, retained austenite, and bainite. The bainite component of them is considered a useful structure for exirting materials for roll of rolling mill. Therefore, the ADI can be considered applicable to material for rolling contact element.

The diverse tests, such as rolling contact friction test, impact test, and X-ray reflection test, were carried out to investigate the possibility of it's application.

The result of this study showed that the expected fact was confirmed. The specimen showed that the best performance had the structure of the low bainite containing the stable retained austenite of about 20%.
(Received March 16, 1994)

1. 서론

최근 압연기술에 있어 자동차용 강판 및 각종 강재의 수요가 급증함에 따라 그들의 에너지절약, 저cost화 및 품질향상이 더욱 요구되고 있고 또한 특수강 및 스텐레스 등의 압연량의 증가에 따른 압연용 roll의 사용조건은 더욱 가혹해 지고 있는 실정이다[1]. 따라서 업계등에서는 이에 대응해 압연roll의 재질개발 및 압연roll의 수명평가기술에 대한 연구[2,5]가 활발히 진행되고 있다.

최근의 이러한 추세에 따라 근년에 고Cr주철이 개발[6,8]되어 FW-roll등에 사용되는 기존의 indefinite chilled roll 및 adamite roll 등의 대체재료로 주목받고 있고 최근은 그 재료에 흑연을 정출시킨 흑연정출고Cr주철[9]등도 새로이 개발된 이들의 조직은 M_7C_3 형공정탄화물과 마르텐사이트, 베이나이트, 잔류오스테나이트 등으로 구성되어 있고 또한 기존 roll의 소재의 표면층만을

베이나이트화 시키려는 연구[3-4]가 다수 행해지고 있는 점으로 보아 베이나이트조직이 구름마찰을 하는 압연roll의 유효조직임을 추측할 수 있다.

현재 오스템퍼처리한 구상흑연주철은 높은 인성과 강도를 겸비하는 재료로 밝혀져 단강, 주강 등의 대체재료로써 크게 주목받고 있는 재료중 하나이다. 또한 조직중 흑연도 존재하므로 내마찰부재로서도 크게 기대되어 현재 그 변태기구 및 특성 등에 대해 다방면으로 많은 연구[10-12]가 행해지고 있으며 벌써 일부품목에서는 실용화도 시도되고 있다. 이러한 구상흑연주철의 주된 조직은 베이나이트와 잔류오스테나이트인 것은 주지된 사실이다. 따라서 이들 조직은 압연roll의 유효조직과도 상응되므로 구상흑연주철은 압연roll의 소재로써도 충분한 가능성을 기대할 수 있을 것이다.

따라서 이러한 사실에 입각할 때 오스템퍼처리재의 특성에 따른 구름마찰강도의 평가는 매우

계명대학교 재료공학과(Dept. of Materials Eng., Keimyung University)

중요한 의미를 가지므로 본 연구에서는 여러 조건에서 오스템퍼처리한 구상흑연주철을 X선회절에 의해 그 특성을 해석함과 동시에 압연roll의 성능평가에 필요한 내충격성과 내구름마찰강도를 조사하였다.

2. 시료 및 시험방법

시편제작을 위해 구상흑연주철용탕(C: 3.61wt%, Si 2.88wt%, Mn 0.48wt%, P 0.061wt%, S 0.008wt%, val.)에서 25mm두께의 Y-Block과 직경 40mm의 환봉으로 주조하였다. 그리고 그것을 페라이트화 어닐링(900°C × 20시간, 720°C × 20시간 후 공냉)한 후 전자로부터 충격시험편, 후자로부터 구름마찰시험편을 각각 제작하였다. 오스템퍼처리하는 시편을 900°C의 오스테나이트화 온도로 유지된 염욕[13](BaCl₂ : KCl를 몰비 2 : 3으로 배합)속에서 1시간 유지시킨 후, 온도가 300°C 및 400°C로 유지된 염욕[13](NaNO₂ : NaNO₃를 중량비 44.5 : 55.5으로 배합)속으로 이동시켜 일정시간 유지한 후 공냉하였다. 이때의 항온변태유지시간은 1분, 10분, 30분, 1시간, 2시간 및 5시간의 6종류로 하였다. 또한 오스템퍼재와 비교하기 위하여 오스테나이트화한 후 공냉한 퍼얼라이트재 및 페라이트화 어닐링한 상태 그대로의 페라이트재의 시편도 동시에 준비하였다.

구름마찰시험은 니시하라식구름마찰시험기[14]를 사용해 윤활상태에서 행했다. 이때 slide ratio는 10%를 부여하였고, 접촉압력은 Hertz의 최대접촉압력(이후 접촉압력)으로 1200MPa 및 1350MPa이 되는 조건을 택했다. 상대재는 퀘칭 및 템퍼링한 SUJ2(JIS규격)을 사용하였고 이들의 형상 및 접촉상태를 Fig. 1에 나타내었다. 구름마찰시험의 수명판단은 표면에 pitting에 의해 박리된 부분이 소정의 면적으로 된 시점으로 하였다.

충격시험은 JIS규격 3호 시편[15]을 제작해 실온에서 Charpy충격시험기에서 행하였다. 이때 각 조건의 충격치는 동일조건의 시편을 3~4개를 시험한 후 그들의 평균치를 취했다.

잔류오스테나이트체적율(이후 잔류r량)의 측정은 X-ray회절법으로 하였다. X-ray의 종류는

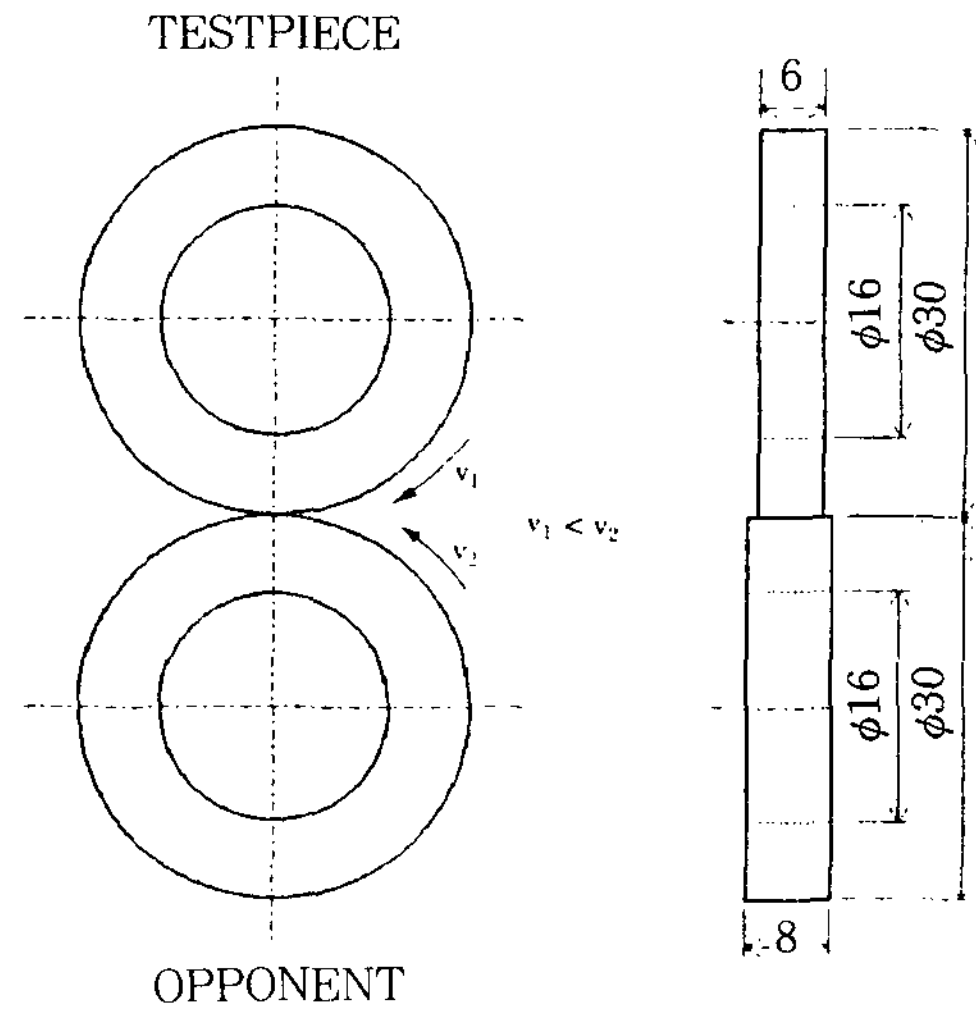


Fig. 1 Configuration of testpiece and opponent.

CoK α 선으로 페라이트상에 대해 2면((200) 및 (211)), 오스테나이트상에 대해 3면((200), (220) 및 (311))을 측정계산하였다[16].

3. 실험결과 및 고찰

3.1 오스템퍼처리조건에 따른 특성변화

Fig. 2은 오스템퍼처리항온유지온도 및 시간에 따라 조직중에 잔존하고 있는 잔류r량을 나타낸 것이다. 이들의 변화는 종래의 보고[17,18]와 같

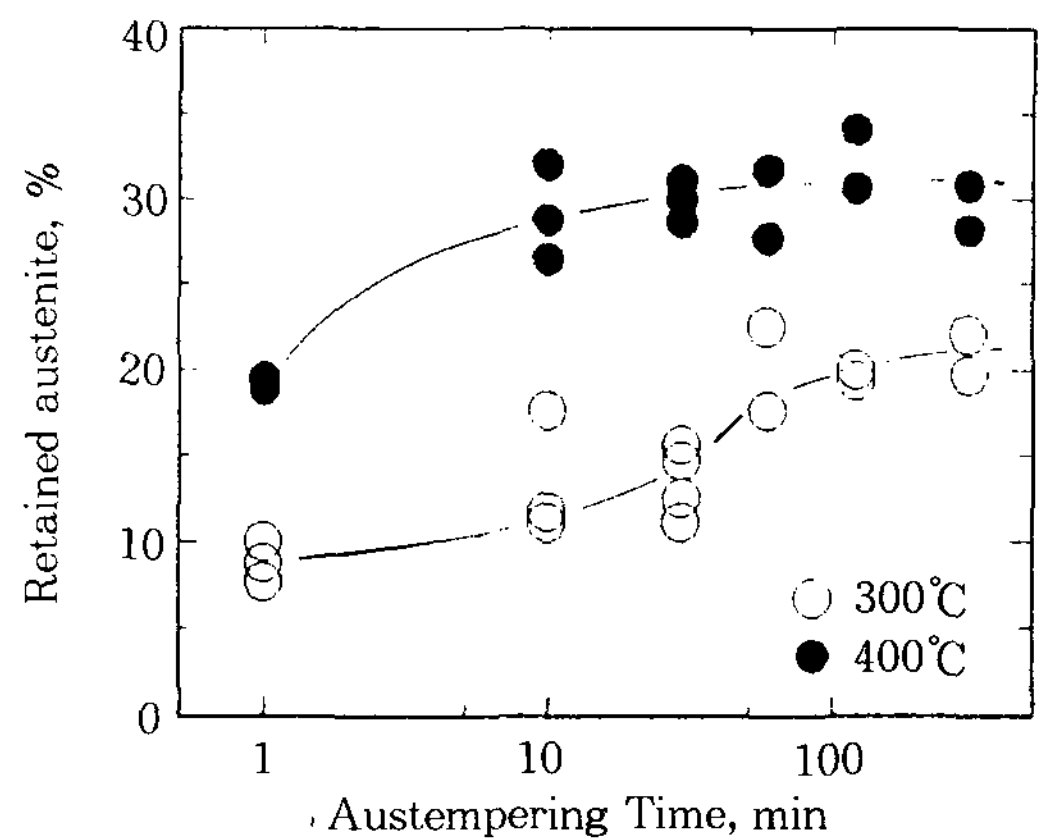


Fig. 2 Relationship between the amount of retained austenite and austempering time at 300°C and 400°C.

은 경향으로 400°C의 온도에서는 10분이후에 약 30%, 300°C의 온도에서는 1시간이후에 약 20%로 처리시간과 관계없이 일정해 지고 있다는 것을 알 수 있다. 또한 이들의 현미경적 조직도 종래보고[17,18]와 같은 경향으로 400°C의 온도에서는 10분이후에 약 30%, 300°C의 온도에서는 1시간이후에 약 20%로 처리시간과 관계없이 일정해 지고 있다는 것을 알 수 있다. 또한 이들의 현미경적 조직도 종래보고[17,18]와 동일하였다.

Fig. 3는 잔류 γ 량을 측정할 때 얻은 각상의 회절선의 peak각도에서 환산한 격자정수의 변화를 보인 것이다. 잔류오스테나이트의 격자정수는 항온처리유지시간이 길어 질수록 커지고 있어 오스테나이트에서 페라이트의 석출에 따라 오스테나이트중의 고용탄소가 미변태된 오스테나이트로 배출되고 있다는 것을 알 수 있다. 그러나 30~60분이상 유지하면 격자정수는 처리온도 및 시간에 관계없이 거의 일정(3.634 Å)해 지고 있음이 확인되므로 이 일정치에서 오스테나이트중에 함유탄소량을 계산[19]하여 보면 약 1.76%로 이상태가 잔류오스테나이트중에 탄소가 최대한 고용된 상태임을 알 수 있다.

페라이트의 격자정수는 탄소고용한도가 매우 적기 때문에 처리온도 및 시간에 따라 거의 변화가 없을 것으로 판단되므로 Fig. 3에 보이는 이들 변화는 측정오차내로 생각되어 진다.

Fig. 4는 일반적으로 재료의 미세조직을 반영

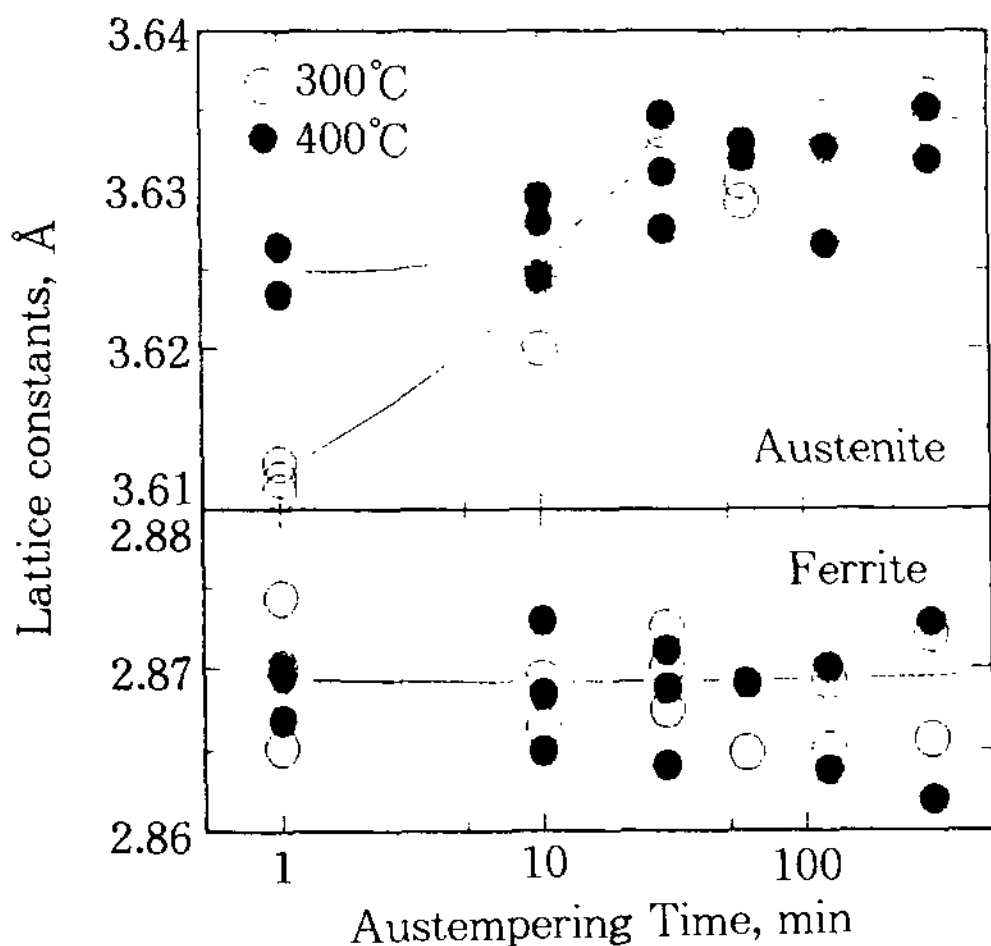


Fig. 3. Variation of lattice constants with austempering time at 300°C and 400°C.

하는 것으로 알려진 X-ray회절선의 적분폭의 변화를 $\alpha(211)$ 과 $\gamma(311)$ 에 대해 나타낸 것이다. 그 결과 미세조직이 오스템퍼처리온도 및 유지시간에 따라 변화하고 있음을 알 수 있다. 400°C에서는 30분이상 처리하면 잔류 γ 량이 일정해 지고 있는 것과 동일하게 거의 일정해 지는 경향이나 300°C의 경우는 5시간이 되어도 계속 감소하는 경향을 나타내어 잔류 γ 량 및 격자정수가 일정해 지더라도 미세조직이 달라 처리시간에 따라 제성질이 변화할 가능성을 시사하는 것으로 판단되어 진다. 이러한 경향은 다른 회절면에 있어서도 동일하였다.

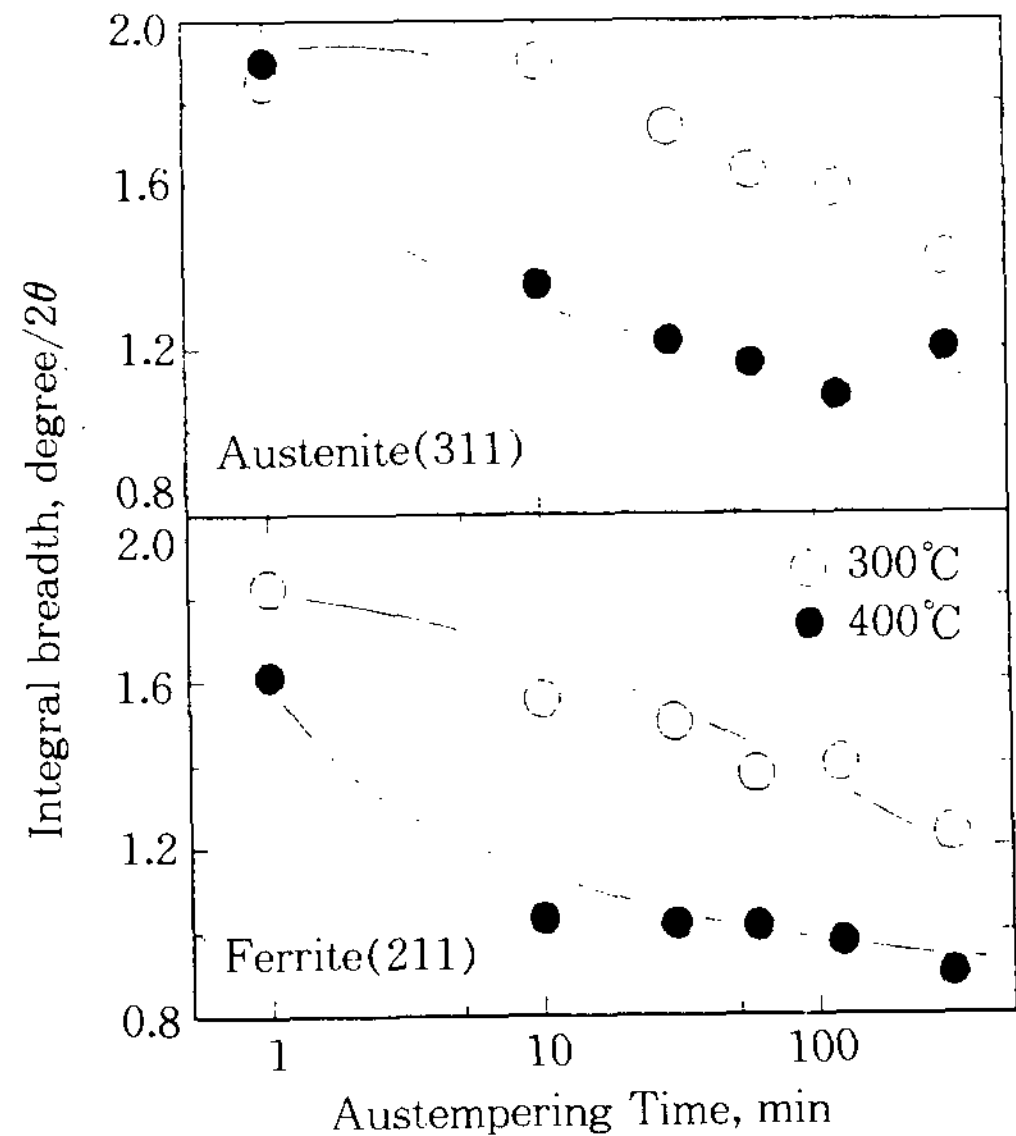


Fig. 4. Effect of austempering time on integral breadth of X-ray diffraction profile

Fig. 5는 오스템퍼처리항온유지온도 및 시간에 따른 정도의 변화를 나타낸 것이다.

어느 것도 항온유지시간이 짧을 때에는 오스테나이트 중에 탄소농축이 적으므로(Fig. 3) 일정해 지고 있어 이들 재료는 마르텐사이트변태가 일어나지 않았음을 추측할 수 있다. 또한 상부베이 나이트가 생성되는 400°C시의 정도는 기지조직이 퍼얼라이트의 정도와 거의 같으나 하부베이 나이트가 생성되는 300°C의 경우는 잔류 γ 량이 적은 관계로 상당히 경한 것을 알 수 있다.

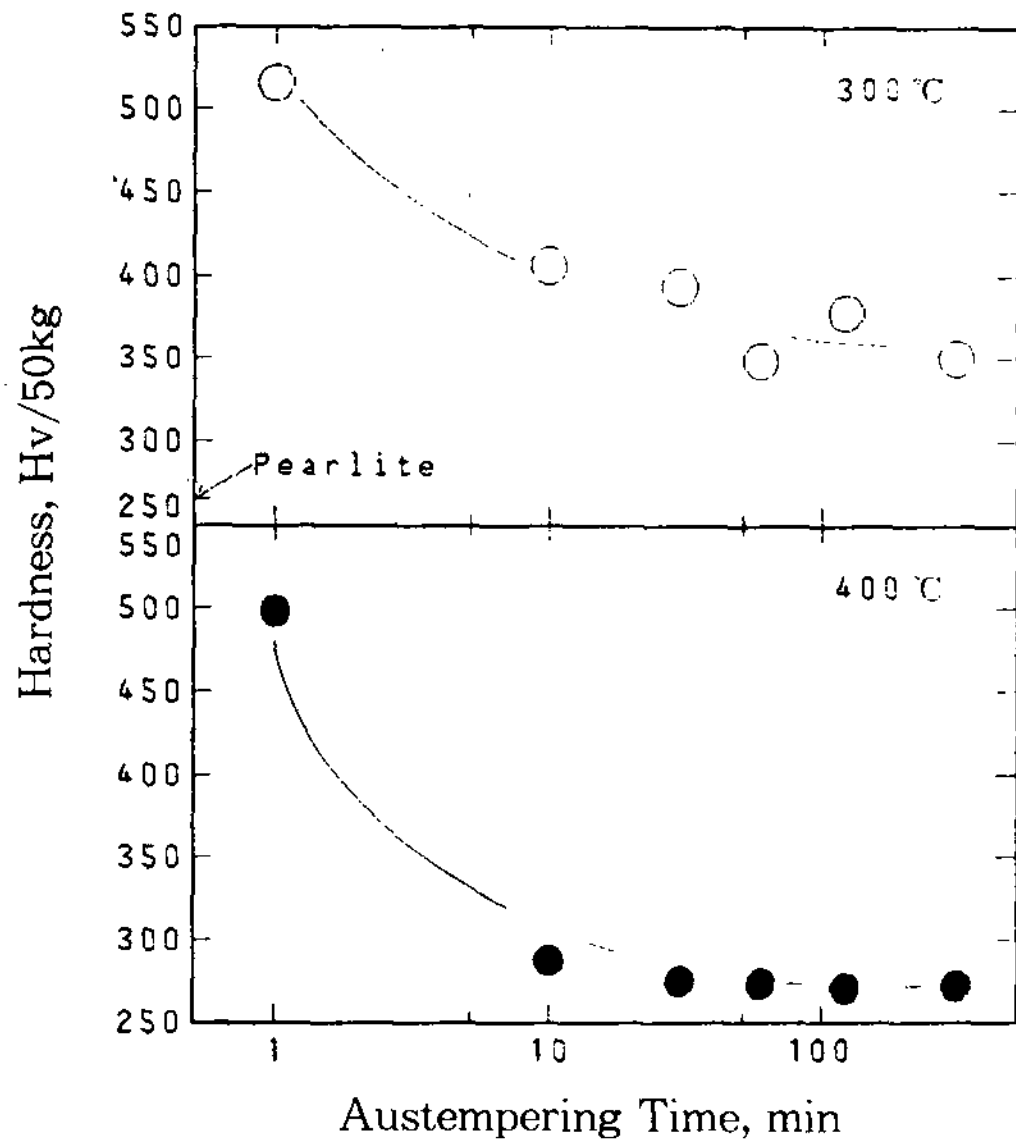


Fig. 5. Effect of austempering time on hardness.

3.2 내충격성 및 구름마찰강도의 평가

Fig. 6은 오스템처리항온유지온도 및 시간에 따른 Charpy충격치의 변화를 나타낸 것이다.

마르텐사이트가 생성되었다고 생각되어 지는 단시간처리의 것을 제외하고 잔류 γ 량의 변화 (Fig. 2)와 좋은 대응을 보이고 있어 잔류오스테나이트가 인성을 향상시킨다는 사실과 일치하고 있음을 알 수 있다. 특히 400°C에서 1분처리한 재료는 고경도이나 잔류 γ 량이 약 20% 존재하므로 경도가 낮은 퍼얼라이트와 거의 같은 값을 나타내고 있으며 그 이상의 시간을 처리하면 경도는 비슷하나 충격치가 크고 고인성을 나타냄을 알 수 있다. 그러나 5시간처리한 경우는 잔류 γ 량이 30%임에도 불구하고 감소하고 있는 경향으로 고온장시간처리에 따른 탄화물석출에 의한 것으로 판단되어 진다.

Fig. 7은 구름마찰시험에 의한 수명을 비교한 것이다. 그림상에는 어느 온도에서나 1분처리의 것이 가장 긴 수명을 나타내고 있다는 것을 알 수 있다. 이 경우는 기지조직에 마르텐사이트의 존재에 의해 그 강도가 커졌다고 생각되어 진다. 그러나 그 이후의 결과에서는 400°C의 결과가 300°C의 결과에 비해 저경도(Fig. 5)임에도 불구하고 수명이 다소 연장되었거나 같은 정도를 보이고 있어 다량으로 존재하는 잔류오스테나이트가

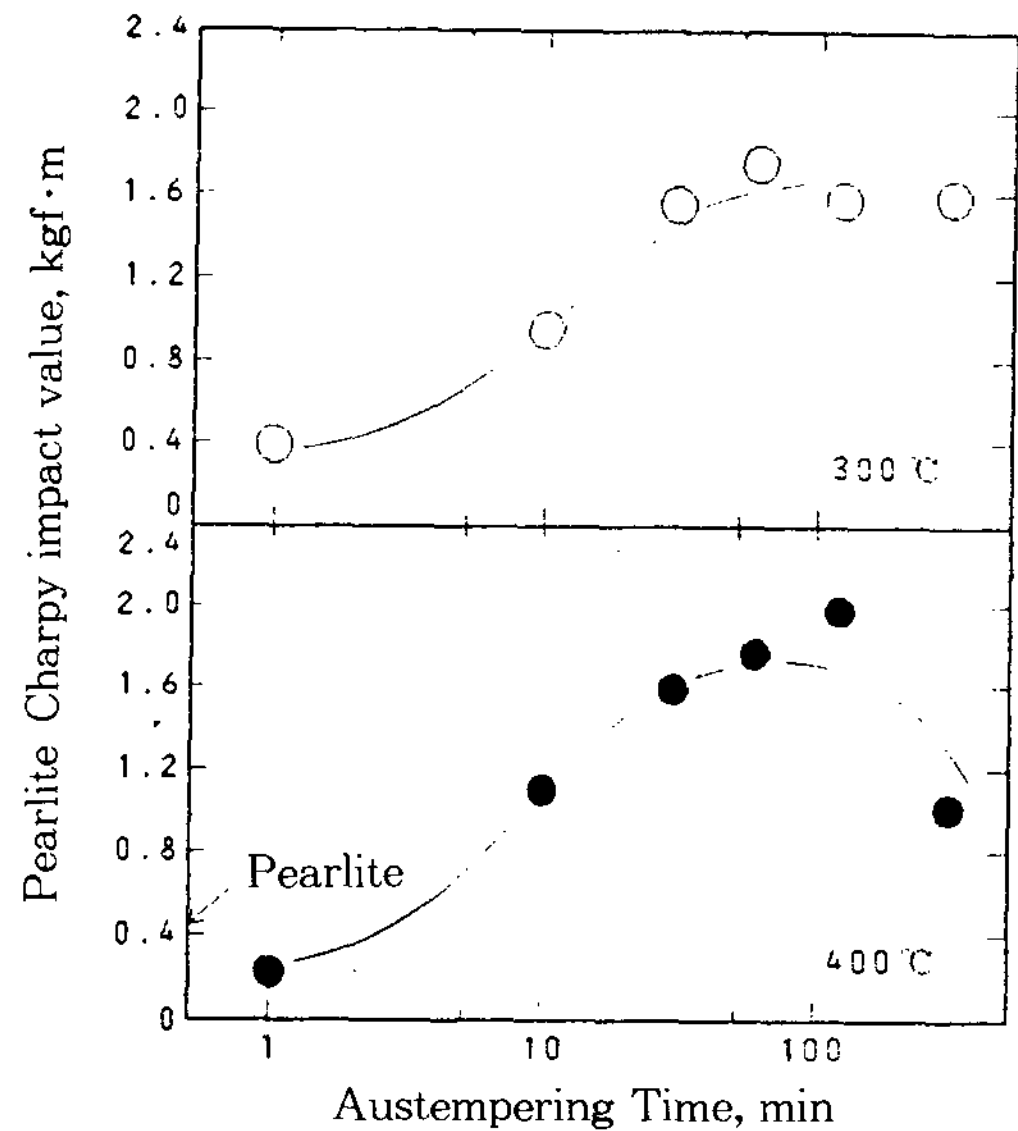


Fig. 6. Relationship between Charpy impact value and austempering time.

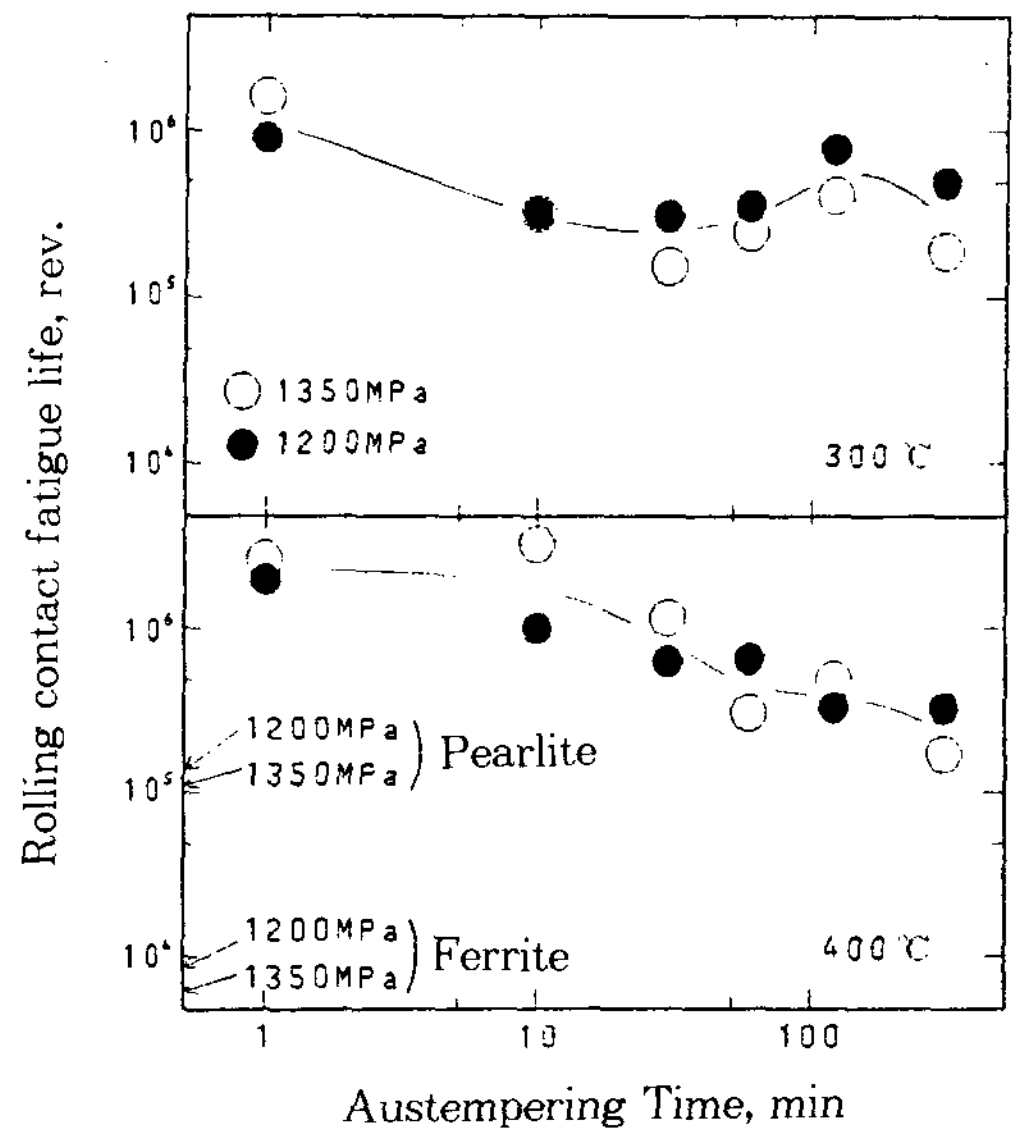


Fig. 7. Variation of rolling contact fatigue life with austempering time at 300°C and 400°C.

트가 유효하게 작용하는 것으로 생각되어 진다.

300°C의 경우, 1시간처리재까지는 경도가 급격히 감소하나 잔류 γ 량의 증대는 그다지 크지 않으므로(Fig. 2) 같이 수명도 짧아지는 경향을 보이고 있다. 그러나 그 이후의 경도변화는 다소 감소하나 잔류 γ 량은 크게 증가하므로 따라서 수

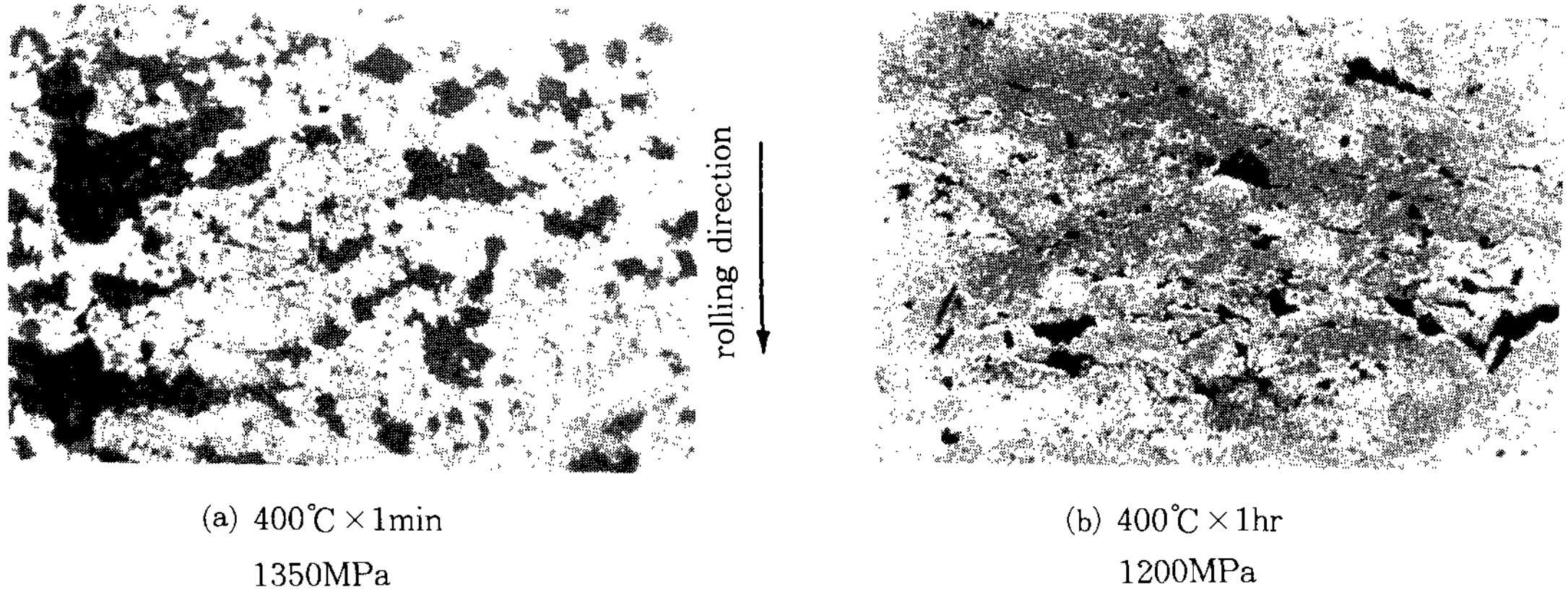


Fig. 8. Appearance of pitting on rolling contact surface(×70).

명도 증가하는 경향을 나타내어 2시간 부근에서 최대의 수명을 나타내고 있음을 알 수 있다. 그러나 5시간 처리에서는 다소 감소하고 있어 이것은 적분폭의 감소(Fig. 4)에 따른 미세조직의 변화와 밀접한 관계가 있는 현상으로 생각되어진다. 400°C의 경우는 경도가 급격히 감소하고 있으나 잔류 γ 량이 크므로 수명은 300°C의 경우와 같은 정도를 나타내고 있음을 알 수 있다.

일반적으로 수명은 접촉압력의 크기에 반비례한다. 본 연구에서는 마르텐사이트가 함유된 단시간처리의 시료는 고접촉압력에서 일반적 경향과 반대로 수명이 연장된 결과를 나타내었다. 그러나 장시간처리한 시료에서는 거의 같은 수명을 보이거나 고접촉압력에서 단수명을 나타내는 일반적인 경향을 보이고 있음을 알 수 있다. 이러한 경향은 잔류오스테나이트의 안정성과 밀접한 관계가 있는 것으로 판단되어진다. 단시간처리의 시료는 오스테나이트중에 탄소농도가 낮아 상당히 불안정하므로 고접촉압력에서 쉽게 가공유기된 마르텐사이트로 변태하므로 강도향상에 따른 수명증가로 생각되어진다. 그러나 장시간처리의 것은 탄소의 함량이 높아 잔류오스테나이트가 안정해지므로 쉽게 변태못하기 때문인 것으로 추측되어진다.

구름마찰면에 발생한 표면손상의 대표적인 예를 Fig. 8에 나타내었다. (a)의 손상은 구름마찰에 의해 표면이 부서져 내리는 형태임을 알 수 있다. 이것은 1분 처리한 시편에서만 관찰된 것으로 전술한 충격치의 크기와 대응하는 것으로 생각되어진다. 그러나 그 외의 시편에서는 전부

(b)의 형태가 관찰되었으며 이 손상은 강의 일반적인 구름마찰에 의한 손상형태인 부채형의 손상과 유사하나 정점의 각도가 커서 축방향으로 전파된 crack형태임을 알 수 있다. 또한 이들 crack의 대부분의 흑연을 관통하고 있는 점으로 보아 흑연이 crack의 발생과 전파에 중요한 역할을 한다는 것을 알 수 있다.

Fig. 9은 페라이트재와 베이나이트재의 시험후의 단면을 나타내고 있다. 페라이트재의 경우는 표면의 접선력과 내부의 전단응력에 의해 조직이 크게 소성변형하고 있으며 구상흑연도 변형되어 판상으로 되어 있음을 알 수 있다. 아울러 crack도 길게 판상으로 된 흑연의 단에서 연결되어 전파하고 있다는 것을 알 수 있다. 그러나 구상흑연주철의 경우는 본 실험하중하에서는 거시적인 소성변형이 없으나 crack은 흑연을 관통하고 있어 흑연이 결함으로 작용하고 있다는 것이 분명하다. 그러나 강인한 베이나이트조직을 생각하고 흑연의 변형이 없을 경우는 crack이 흑연에 도달하면 오히려 crack선단이 둔화하게 되므로 crack전파속도를 늦추는 것으로 생각되어진다. 결국 구상흑연주철에 있어서 흑연은 crack발생의 핵으로 추정되어 지나 전파에 있어서는 장애물로 작용할 것으로 추측되어진다. 이와같은 사실은 Fig. 8의 (b)와 같이 표면에 미세한 crack이 다수 존재함에도 불구하고 연결되어 박리현상이 일어나지 않고 있다는 것은 이를 반영하는 것으로 생각되어진다. 일반적으로 구름마찰강도는 crack발생까지의 수명과 전파과정에 의한 pitting발생까지의 수명의 합이고 그들의 과정평가

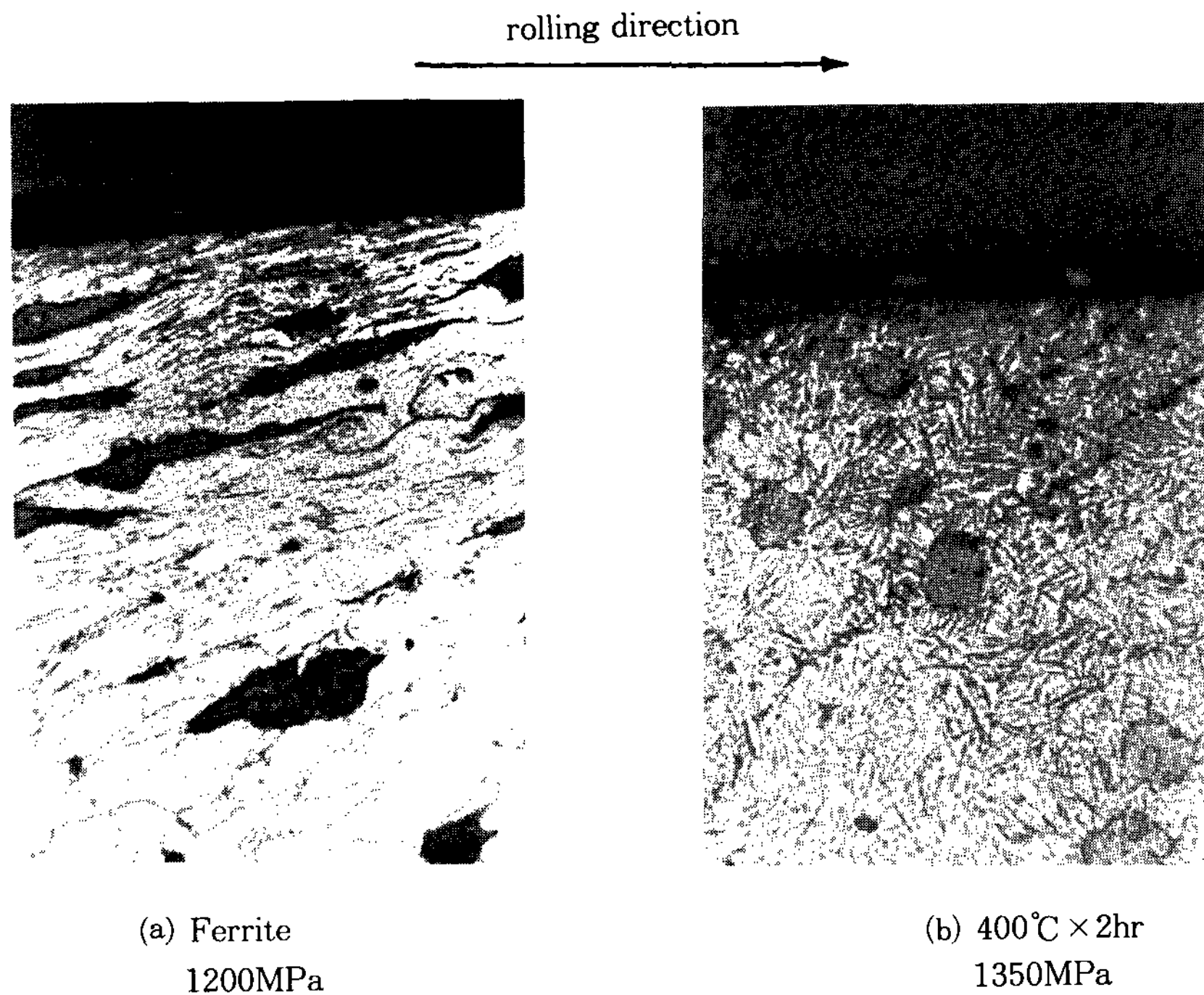


Fig. 9. Optical micrographs of parallel section to the rolling direction after test(×200)

는 별개의 것으로 인식되어 있는 점을 고려하면 안정한 잔류오스테나이트가 약 20% 존재하는 하부베이나이트가 유효하다는 것을 알 수 있다. 일반적으로 베어링 등의 재료설계에 잔류 γ 량이 10% 전후일 경우 최대의 수명을 보이는 것으로 알려져 있다. 구상흑연주철의 적용시에도 잔류오스테나이트는 유효하게 작용하나 최적의량은 그들보다 다소 많을 것으로 추측되어 진다. 이것은 기지조직의 경도차이와 잔류오스테나이트의 안정성에 기인하는 것으로 판단되어 진다.

4. 결 론

압연roll등의 구름마찰부품의 소재로써 구상흑연주철의 사용가능성을 조사하기 위하여 오스템퍼처리온도 및 그 시간을 변화시킨 시료를 작성, X-ray회절에 의한 각 조직의 특성조사와 충격시험 및 구름마찰시험을 행하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) 오스템퍼처리온도 및 처리시간에 따른 특

성변화는 각종 성질과 밀접한 관계가 있었다. 특히 하부베이나이트의 경우는 일정유지시간후 잔류오스테나이트량 및 격자정수의 변화는 일정해 지나 적분폭은 계속 감소하는 경향으로 처리시간에 따른 성질의 변화와 밀접한 관계가 있음이 관찰되었다.

2) 잔류오스테나이트의 존재는 구름마찰강도에 좋은 영향을 보였다.

3) 구상흑연주철의 구름마찰에 의한 crack의 발생과 전파는 흑연조직과 밀접한 관계를 보였다. 그러나 전파시에는 기지조직의 고인성에 의한 흑연주위의 변형구속으로 인해 오히려 흑연부분이 crack전파의 장애물로서 작용하는 것이 예상되어 구상흑연주철은 내구름마찰부재로서의 적용가능성은 높다고 생각된다.

4) 내충격성 및 내구름마찰강도를 겸비한 구름마찰부재로서 구상흑연주철을 적용할 경우는 상부베이나이트보다 하부베이나이트조직이 적절하며 또한 안정된 잔류오스테나이트가 약 20% 존재하는 경우가 최적으로 생각되었다.

참 고 문 헌

- [1] 山岡義典：金屬, 8 (1980年 臨時增刊號) 88
- [2] 武智 弘 外：鐵と鋼, 65, 14 (1979) 85
- [3] 武智 弘 外：日本鐵鋼協會講演誌, (1976) 355
- [4] 武智 弘 外：日本鐵鋼協會講演誌, (1977) 300
- [5] X線材料強度部門委員會 [塑性と破壊] 分科會：材料, 28, 312 (1979) 847
- [6] F. Maratray and R. Usseglio-Nanot : "Factors affecting of Structure of Cr and Cr-Mo White Iron", Climax Molybdenum S.A.
- [7] A. W. Durman and D. W. J. Elwell : The British Foundryman, 9 (1985) F1517
- [8] 橋本 隆 外：クボタ技報, 7, 1 (1982) 21
- [9] 橋本 隆 外：久保田鐵工(株)資料
- [10] 鑄物, 56 (1984) 362
- [11] 石原安興：鑄物, 57 (1985) 250
- [12] 山田叔完, 瀧田光晴, 生田浩之：鑄物, 57 (1985) 149
- [13] 日本金屬學會：“金屬デタブック”, 丸善, 日本 (1984) 149
- [14] 小川喜代一：“金屬の潤滑磨耗とその對策”, 養賢堂, 日本 (1981) 20
- [15] 日本規格協會：“JISハンドブック”, 技術評論社, 日本 (1976) 19
- [16] 川本 信, 李漢瑛, 岡林邦夫：鑄物, 60 (1988) 365
- [17] K. B. Rundman and R. C. Klug : Trans. AFS, 90 (1982) 499
- [18] 大出 卓, 井川克也：鑄物, 52 (1982) 522
- [19] 池田 實 外：日本鑄物協會 第106會 講演大會集, (1984) 18