

技術資料

열간압연용 Work Roll의 특성 및 기술동향(I)

-열간압연용 Work Roll의 재질 및 특성-

최진원*, 김동규**, 장삼규*, 정병일***, 한희승***

Characteristics and Development of Work Rolls for Hot Strip Mill(I)

J.W. Choi*, D.G. Kim**, S.K. Chang**, P.I. Jung*** and H.S. Han***

1. 서론

철강압연기술의 발전방향은 열간압연 강판의 고품질화, 고생산성 그리고 에너지 절약에 따른 조업원가의 절감을 지향하고 있다. 강판의 표면에 대한 품질요구가 엄격화됨에 따라 사상전단압연기 work roll의 내표면거침성의 향상이 요구되고 있으며, 강판 제조공정에 있어서도 생산성 향상과 에너지 절약을 위해 전공정이 연주기와 직결되는 등 압연설비가 대형화, 고속화 및 고부하화 됨에 따라 work roll의 내사고성 향상에 의한 안정 조업이 절실히 요청된다고 하겠다.

압연용 roll이 일반적으로 구비하여야 할 조건으로는 내마모성 및 내표면거침성, 내열피로성, 내박리성, 강인성, 내절손성 등이 요구되지만 이들 구비조건을 모두 만족시키는 것은 동일한 재질을 가진 roll로서는 어렵다. Barrel표면부에 요구되는 성질과 roll내부나 neck부가 구비해야 할 재료특성은 서로 상반된다고 할 수 있으며 이들 조건을 충족시키기 위하여 단체 roll로 부터 점차 복합 roll로 그 제조방법이 변하고 있다. 이러한 roll의 수요에 대응하기 위해서 외각재는 내마멸성이 우수한 고 Cr주철 및 고합금 Grain주철 등의 기존 재질을 개선시키거나 공구강계(이하 HSS라 약함)등을 개발하여 사용하고 있으며 내각재도 강인성을 가지는 구상흑연주철 및 Cr-Mo 첨가강 등을 개선 혹은 개발하여 사용하고 있다. 또한 제조법에 있어서도 종래의 원심주조법 외에도 연속주괴법(continuous pouring process for clad-

ding) 및 열간등압 press법(hot isostatic pressing) 등의 특수한 주조법이 채용되고 있다.

전술한 roll의 구비조건 중 내절손성을 제외한 나머지 특성은 외각재로부터 얻어지며 외각재의 주방상태 및 오스테나이트 불안정화처리 등의 열처리에 의한 초정상의 량 및 분포, 공정 carbide의 량 및 형태, 열처리에 따른 2차 carbide의 석출정도, 합금원소 함량에 따른 탄화물의 형성여부 등의 미세조직학적 인자가 외각재의 재료특성에 큰 영향을 미친다. 내각재는 압연하중을 수용할 수 있는 강도와 압연시의 순간적인 충격이나 과부하 등에 의한 crack의 생성 및 그 전파에 따른 절손을 방지할 수 있는 인성을 제공한다고 할 수 있다. 그러나 roll의 직경이 800mm를 상회하고 있으며 내각재 만의 직경도 600mm를 상회함을 고려해 볼때 원재료의 순도, 제조방법, 용해온도, 구상화처리제, 점종시기 그리고 용탕의 주입온도 등의 공정변수가 흑연의 형태, 석출물 분포, 미세조직 및 경계층의 특성에 미치는 영향이 매우 민감하다고 생각된다.

그러므로 본 내용에서는 열간압연용 work roll의 종류 및 특성의 변천사항 및 신 roll의 개발동향 그리고 work roll 사용시 발생될 수 있는 roll 표면손상 및 절손의 실제와 이론적 기구 등을 분석, 검토함으로써 최근의 압연기술 변화에 대응하기 위한 열간압연용 work roll의 제특성 개선 및 개발의 기본방향을 제시하고자 하며 제1편에서는 열간압연용 work roll의 종류 및 재질, 복합원심주조 roll의 shell-core 경계층, banding현상 그

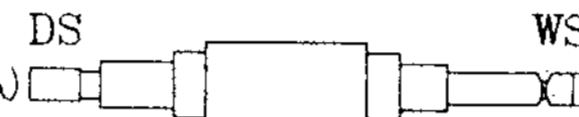
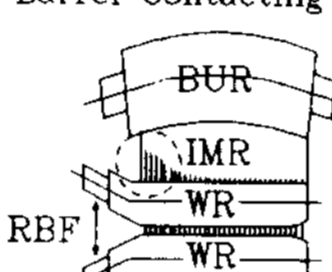
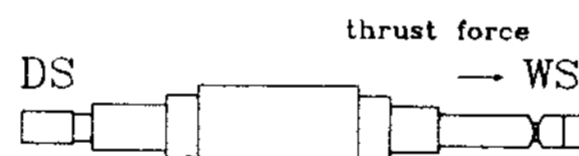
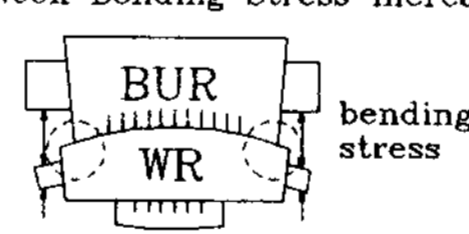
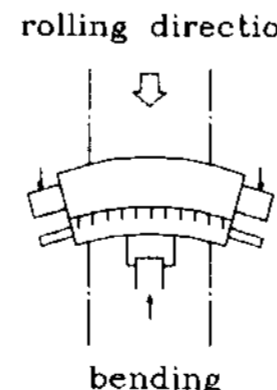
*산업과학기술연구소 박판연구실
**동아대학교 금속공학과
***강원산업주식회사

리고 Hi-Cr roll의 오스테나이트 불안정화열처리에 관한 내용을 다루며 제2편에서는 최근의 신 roll개발동향과 work roll의 절손 및 spalling 발생 기구에 대하여 상술하고자 한다.

2. 최근의 압연동향

열간 사상압연기는 통상 4단압연기로서 압연

재와 접촉하는 work roll과 back-up roll의 4중(4-Hi)구조로 되어있다. Back-up roll에 가해지는 압연력이 work roll을 통하여 압연재에 가해지게 되는데 work roll은 압연재와 접촉하는 동시에 back-up roll과도 접촉하게되므로 압축응력을 받게된다. 압연시 strip과의 접촉면에서의 최대압축응력은 판폭이 충분히 넓고, 압하율 및 마찰계수가

Rolling Pattern	Rolling Load	Loading Stress	
		Conventional	Furture
Energy saving <ul style="list-style-type: none"> LT Rolling Heavy Reduction Rolling Roll Daimeter Minimizing 	Neck Stress Increase 	50-100MPa	100-200MPa
Shape Control <ul style="list-style-type: none"> 6Hi Mill <ul style="list-style-type: none"> BUR IMR WR WR bending, side shift Cross Mill <ul style="list-style-type: none"> BUR WR WR BUR WR Bending <ul style="list-style-type: none"> BUR WR WR BUR bending MR Rolling 	Barrel Contacting Stress Increase  Thrust Force Increase  Neck Bending Stress Increase  rolling direction 	1000-2000MPa	2000-2500MPa
		-50MPa	150-350MPa
		-50MPa	100-150MPa
		-50MPa	300MPa-

DS : Drive Side, WS : Work Side, BUR : Back-Up Roll, IMR : Intermediate Roll
 WR : Work Roll, RBF : Roll Bending Force, LT : Low Temperature
 MR : Minimized Roll Diameter Rolling

그림 1. 압연기술동향과 roll부하조건외 변화

크지않으므로 back-up roll과의 접촉응력보다 훨씬 적다. 압연 roll의 측면에서 압연기술 진보는 근래에 급변하였다. 수요가의 수요증대와 엄격한 품질요구에 따라 열간압연설비는 pair cross mill과 work roll shift mill 등의 신압연방식의 판형상제어 압연기가 도입되고 있다. 이에따른 열간압연분야에서의 압연기술 발전동향과 roll사용 및 부하조건 주요변화¹⁾를 그림 1에 나타내었다. work roll 및 back-up roll의 bender력이 증가됨에 따라 roll의 동부(barrel) 및 축부의 부하응력이 증대되고 있을 뿐아니라 최근에는 roll경의 극소경화, stand의 소형화, 연주열연 직결화 및 schedule-free압연 등으로 인하여 이상압연비율이 증가됨에 따라 표면균열, 마모 및 roll절손위험이 가중되는 등 roll의 사용조건이 점점 가혹화되고 있다. 특히 roll의 극소경화는 구동 torque의 감소에 의한 energy saving 및 edge drop의 저감에 매우 유효하다.

극소경화에 의한 roll의 부하는 굽힘응력, Hertz stress, 전동수가 증대하여 기존의 roll제조법으로써는 대응이 곤란하게 되어 새로운 roll재질 및 제조법개발이 촉진되어야 할 것이다.

3. 열간압연용 Work Roll의 특성

3.1 열간압연용 Roll의 종류 및 재질

열간압연공정의 기술혁신은²⁾ 판형상 제어를 목적으로 6Hi-stand압연기, pair cross(PC) mill 등의 새로운 압연방식이 채용되고 있다.³⁾ 또 다품종 소 lot주문으로 인하여 특수강, 박물 및 냉간압연 대체품이 증가되고 있다. 이에 따라 roll에 대한 품질요구도 대단히 고급화됨으로써 각종 roll의 재질 및 제조법의 개선이 이루어졌다. 열간압연기의 stand별 roll재질변화를 표 1에 나타내었다. Roll재질 자체보다는 roll제조법 등에 의한 질적 개선이 주를 이루고 있으나 1980년대 초반부터 개발된 HSS(high speed steel)계 roll이 현재 사상 압연기 전단 및 후단용 work roll로 적용되는 등 roll재질의 변화도 함께 이루어지고 있다.

대표적인 열간압연용 roll의 화학성분을 표 2에, 그리고 주요압연용 roll의 특성 및 기계적 성질을 표 3에 나타내었다. Ni-Grain roll의 파괴인성치가 Adamite roll보다 약 40kg/mm^{3/2} 낮으나 표면내마모성 및 내거칠음성이 우수하며 특히 소착

표 1. 열간압연기의 stand별 roll재질

Stand		Roll 재 질	
		종래 재질(Hs)	현재 재질(Hs)
조 압 연	Scale Breaker	Ductile주철(50~60) Cr-Mo주강(30~40)	Ductile주철(50~60) 육성용접roll(60~70)
	Edger Roll	Ductile주철(50~60) Cr-Mo주강(30~40)	Ductile주철(50~60) Cr-Mo주강(30~40) 육성용접roll(60~65) Adamite(40~50)
	2Hi work roll	Ductile주철(55~65) Cr-Mo주강(35~40) 흑연주강(35~40) 복합주강(50~65)	복합주강(50~60) Ni-Cr-Mo주강(50~55) Cr-Mo주강(35~45) Hi-Cr주강(70~75)
	4Hi work roll	Adamite(40~50) 흑연주강(40~45) Cr-Mo주강(40~50)	Adamite(45~55) Hi-Cr주강(70~75)
사 상 압 연	전단용 roll	Adamite(48~54)	Adamite(50~55) 원심주조고경도 Adamite(60≤) Hi-Cr주철(70~75) HSS(80~85)
	후단용 roll	고합금 Grain(79~83)	고합금 Grain(79~83) HSS(80~85)

표 2. 열연 work roll의 화학성분의 예

Roll재질	Chemical Composition(wt.%)							
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	V	
저합금주강	0.4/0.7	0.2/0.8	0.3/1.5	0.5/3.5	0/1.5	0.2/1.5	(0.1)	
Adamite	저C	0.8/1.5	0.2/0.8	0.3/1.0	0.5/2.0	0/1.5	0.4/1.0	-
	고C	1.5/2.0	0.2/0.8	0.3/1.0	0.5/2.0	0/1.5	0.4/1.0	-
Ni-Grain	3.0/3.4	0.5/2.0	0.2/1.0	0.4/1.5	2.0/5.0	0.2/1.0	-	
Hi-Cr주철	2.0/3.2	0.5/1.5	0.3/1.0	12/20	(0/1.0)	0.3/1.5	(0/1.0)	

표 3. 열연 work roll의 기계적 성질

구 분	Adamite	Hi-Cr주강	Hi-Cr주철	Ni-Grain
경 도(Hs)	54~58	65~70	72~76	70~80
잔 류 응 력(kg/mm ²)	-10~-15	-15~-20	-20~-25	-20~-25
인장강도(kg/mm ²)	상 온	75~85	100~105	65~75
	600°C	45~50	55~60	55~60
압 축 강 도(kg/mm ²)	180~200	210~220	230~250	260~270
파 괴 인 성(kg/mm ^{1.5})	100~120	85~90	70~80	60~80

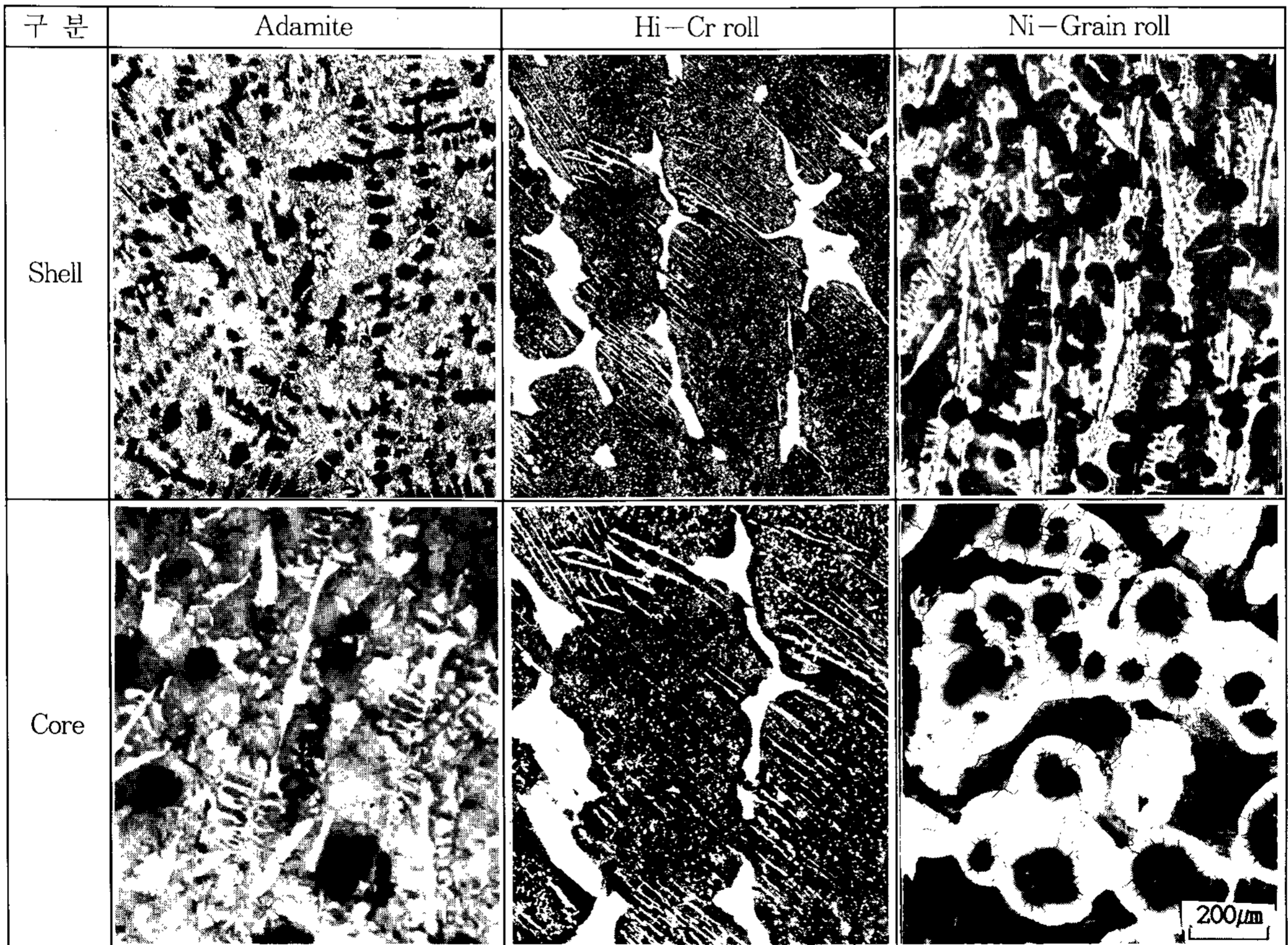


사진 1. 열연용 work roll의 미세조직

(sticking)현상이 방지될수 있으므로 열연후단용 roll로 널리 사용되고 있다. 이러한 roll의 미세조직은 사진 1과 같다. Roll의 표면거칠음은 제품의 표면품질에 치명적인 영향을 미치므로 shell층은 내마모성이 우수한 재질을 사용하며 core재는 우수한 내사고성이 부여되도록 주로 ductile cast iron이 사용된다. Adamite roll은 일체 roll로서 탄화물 및 pearlite 기지조직으로 구성되며, Hi-Cr roll의 shell층은 primary Cr복합탄화물, 공정탄화물 및 martensite 기지조직이며 core층은 구상흑연 및 pearlite기지조직으로 구성된다. 그리고 Ni-Grain roll은 roll표면의 윤활성을 증대시켜 내소착성(proof-sticking)을 향상시키기 위해 편상 graphite를 정출시키며, bainite 혹은 martensite기 지조직과 공정탄화물로 구성되어 있다.

3.1.1 Scale Breaker 및 Edger Roll

종래에는 ductile주철 roll 혹은 Cr-Mo주강 roll이 일반적으로 사용되었으나 폭압연 기능이 추가됨으로써 내마모성과 내소착성이 중시되어 Adamite 흑연주강 또는 개량형 Grain주철이 사용되고 있다. 흑연주강은 내마모성을 가지는 Adamite 재질을 기본으로 하고 흑연의 윤활작용을 이용하여 소착현상을 방지하기 위하여 주조응고시에 흑연을 정출시킨 roll이다. 한편으로는 roll 원단위를 저감시키기 위해 sleeve식 조립 roll도 일부 사용되고 있다.

3.1.2 조압연 Work Roll

2단압연기에서는 열 및 기계적 부하가 높고 강인성이 우수한 저탄소계 합금주강이 주로 사용되었으나 내마모성과 내 crack성을 개선시키기 위해서 고합금화 및 고경도화가 추진되었다. 특히, 고온강도를 높인 roll이 개량되어 적용되고 있다. 4단압연기에서는 Adamite roll이 주로 사용되어 왔으나 최근에는 사상압연용 roll과 동등의 품질을 요구하고 있다. 그래서 조압연용 Hi-Cr steel roll이 개발되어 내마모성, 내표면거칠음성 및 내 crack성 등이 우수한 것으로 판명되었으므로 향후 사용이 확대될 것으로 예상된다.

3.1.3 사상압연 Work Roll

3.1.3.1 전단용 Roll

약 30년 전부터 Adamite roll이 주로 사용되어 왔으나 그림 2에 나타난 바와 같이 탄화물의 size와 표면거칠음성에는 밀접한 관계가 있으며 탄화

물 크기가 미세할 수록 재질은 개선될 수 있음을 알 수 있다.⁴⁾ 고부하 사상압연기의 Hertz응력분포를 각 stand별로 조사한 예를 그림 3에 나타내었다.²⁾ Adamite roll의 재질한계에 비해서 Hertz응력은 높으므로 소성변형을 유발시킬 수 있을 뿐 아니라 roll 표면온도가 높아지고 열응력도 증대되기 때문에 고경도, 고강인성 및 열피로특성이 우수한 재질이 요구된다. 현재 전단용 work roll로 사용되는 Hi-Cr 주철roll에 대해서는 별항에서 상술하겠으나, "banding"이라는 표면거칠음 문제가 큰 과제이다.⁵⁾ 한편 stainless강 압연 등에 있

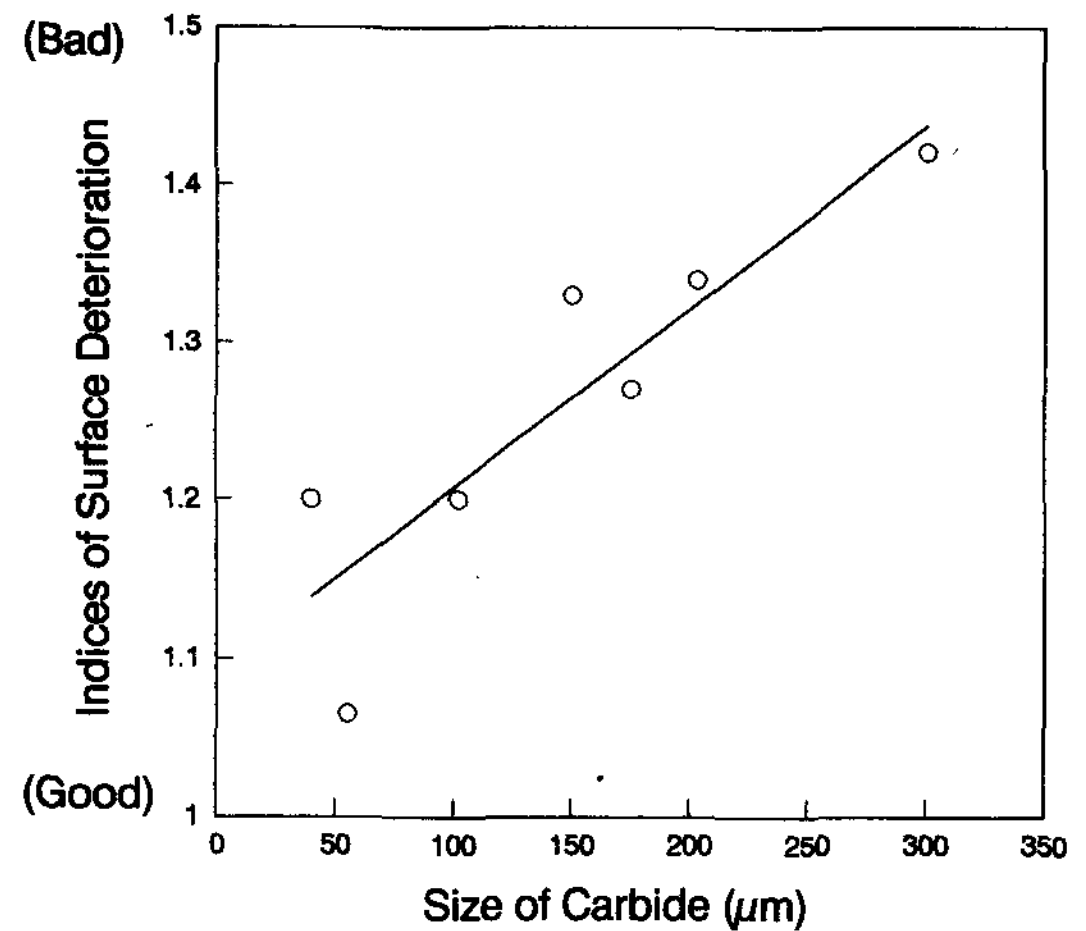


그림 2. 탄화물 size와 roll 표면거칠음의 상관성

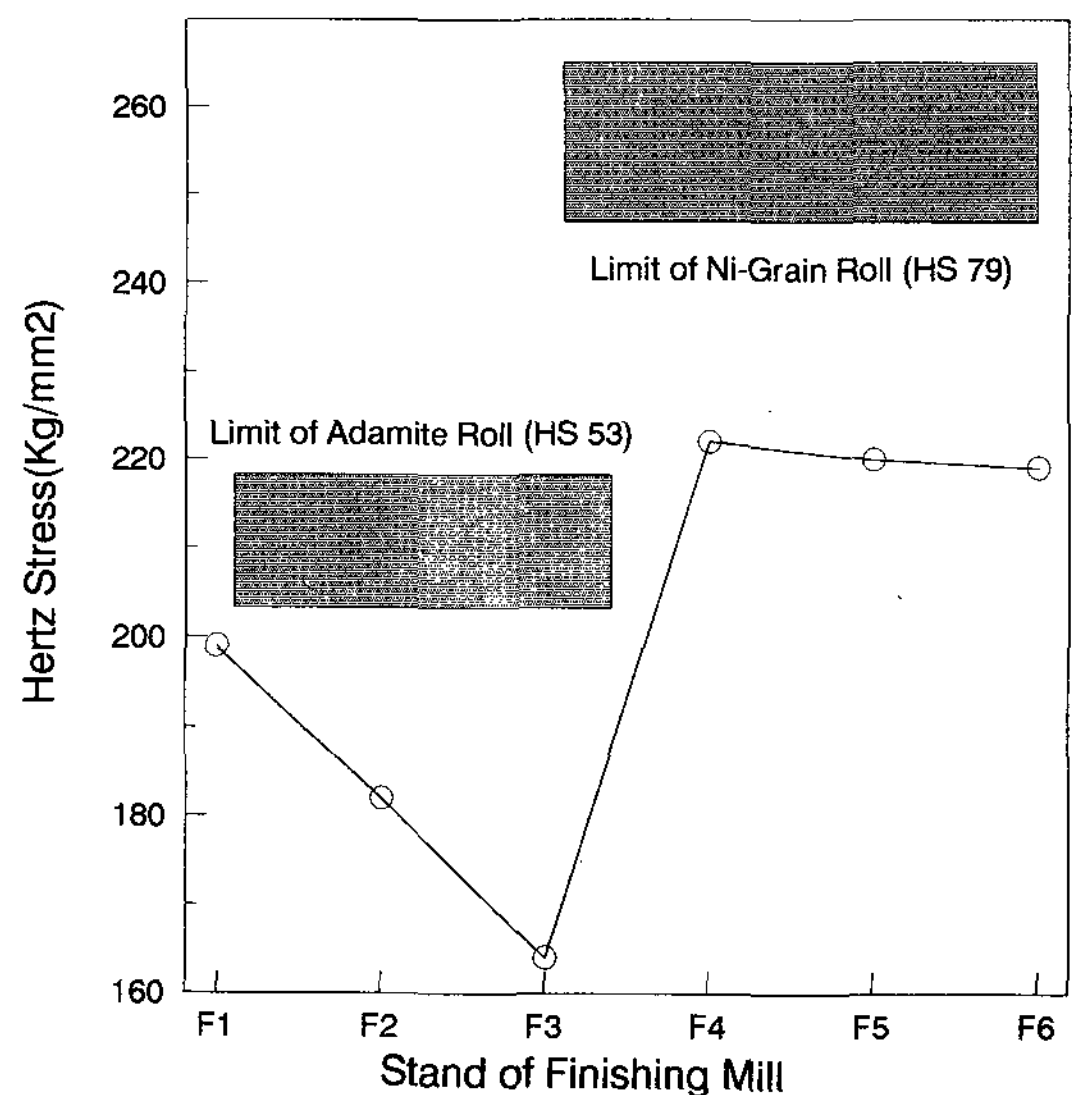


그림 3. 사상압연 stand별 Hertz응력 분포

어서 소착방지를 위해서 roll 표면층에 다량의 graphite를 정출시킨 주철계 roll과 roll 표면거칠음을 방지하기 위한 흑피생성능을 향상시킨 특수 Adamite roll등이 개발되었으며 최근에는 HSS roll이 개발, 적용시험 중에 있다.

3.1.3.2 후단용 Work Roll

오래전부터 고풍금 Grain 주철 roll이 사용되어 왔으나 1970년대 이후로는 원심주조법에 의해 제조되고있다. 그러나 일부 압연기에서 Hi-Cr roll이 시험적용될 뿐아니라 최근에는 HSS roll이 적용되고 있다.

고합금 Grain주철 roll은 기본적 재질의 변화없이 품질의 고급화 및 각 압연기에서의 최적화에 대처하기 위해서 흑연량, 탄화물분포, 크기 및 기지조직 등의 미세조직을 개선하였다. 한편, roll 강도측면에서는 신형압연기의 도입 및 고부하압연에 대처하기 위해서 core재로 구상흑연주철을 채용하고, 경계층의 강도를 향상시켰다. 또, 신일본제철 광전제철소에서 최초로 도입한 pair cross mill(현재 POSCO 광양제철소 적용중)은 압연기의 특성인 큰 thrust를 야기시키므로 매우 높은 축부강도(인장강도 550MPa, 연신율 1.5% 이상)의 요구에 부응하는 새로운 재질의 roll이 개발되었다.¹⁾

사상압연용 work roll의 주요 문제로는, 1) 절손, 2) spalling(외층박리) 3) 표면거칠음 등이 있으며 절손은 주로 압연시에 수반되는 열응력에 기인하여 발생하나 roll의 재질, 결합의 형태 및 크기, 잔류응력을 고려하여 품질보증법이 확립되었다. Spalling은 주로 경계층의 불건전조직, 구체적으로는 Hi-Cr 주철 roll에서의 탄화물편석 그리고 고풍금 Grain roll에서의 graphite 응집 등이 주요인으로 작용한다. 또 압연 trouble 등에 의해 roll표면에 형성된 잔존결함이 내부로 진전하여 spalling까지 이르게 되는 사례⁶⁾가 있으나 와류탐상법 및 초음파탐상법에 의한 탐상기술의 진보로 크게 감소되었다.

3.2 Shell-Core 경계층

Shell-core경계층의 미세조직을 사진 2에 나타내었다. 사진 2(a)에서 관찰할 수 있듯이 외각과 내각은 잘 용융접합되어 있으며 내각재의 경계부 쪽에는 편상흑연이 정출되어 있다. 내부 쪽으로 형성된 구상흑연 주위에는 ferrite가 형성되어 있지 않은데, 이는 내각 최초응고부의 빠른

냉각속도에 기인하는 것으로 판단된다. 사진 2(b)에서 관찰되는 구형의 큰 조직은 흑연으로 오인되기 쉬운 상으로 외각재 쪽으로 존재하고 있다. 사진 3의 회색의 괴상조직도 사진 2(b)에 나타난 구상과 동일한 물질로 생각되며 이는 내각재의 slag inclusion이나 외각재 내면의 산화방지를 위해 첨가한 형석이 내각재 주입시 혼입되

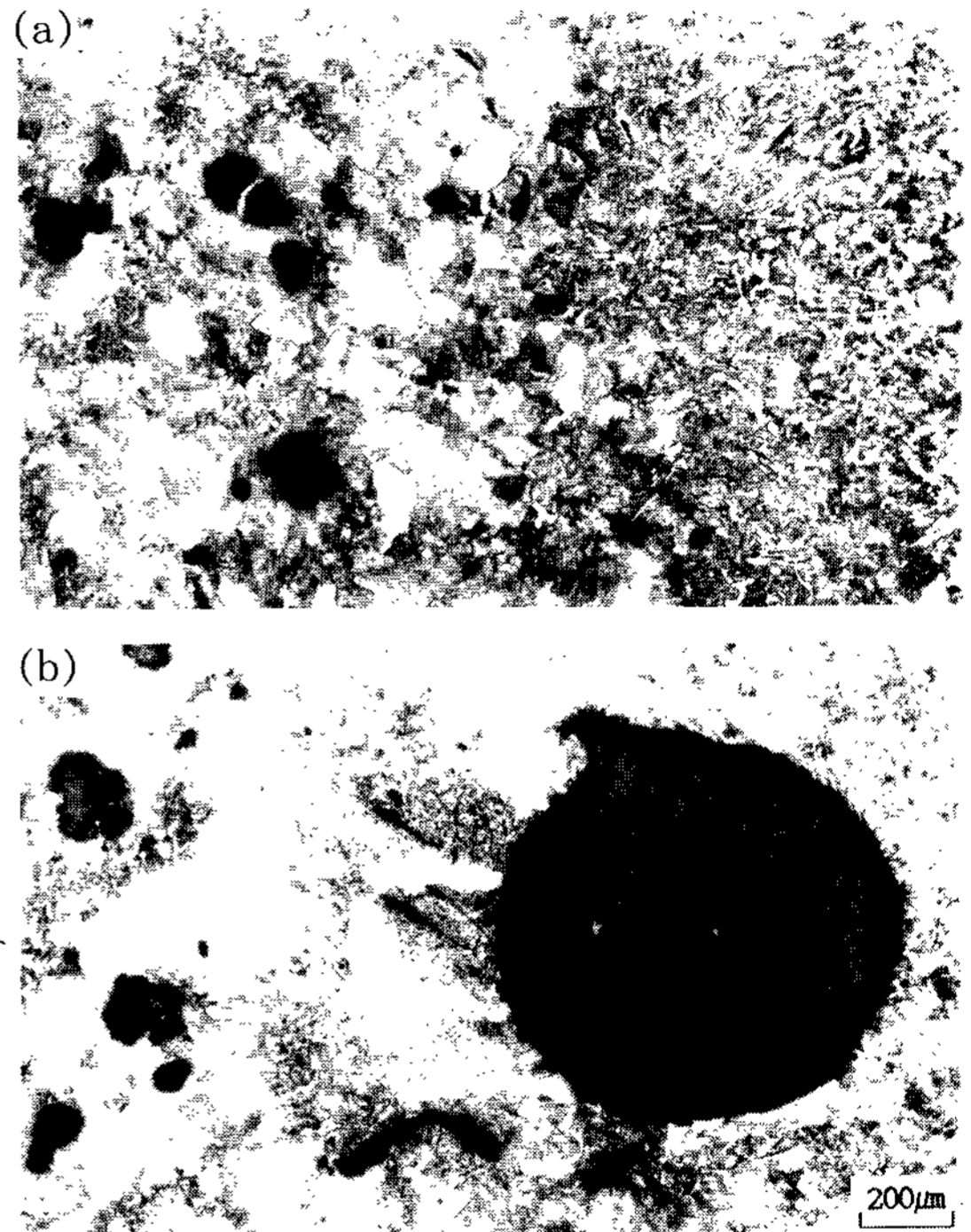


사진 2. Hi-Cr 주철 roll의 미세조직
(a) 경계층의 접합상태
(b) 경계층의 비금속개재물

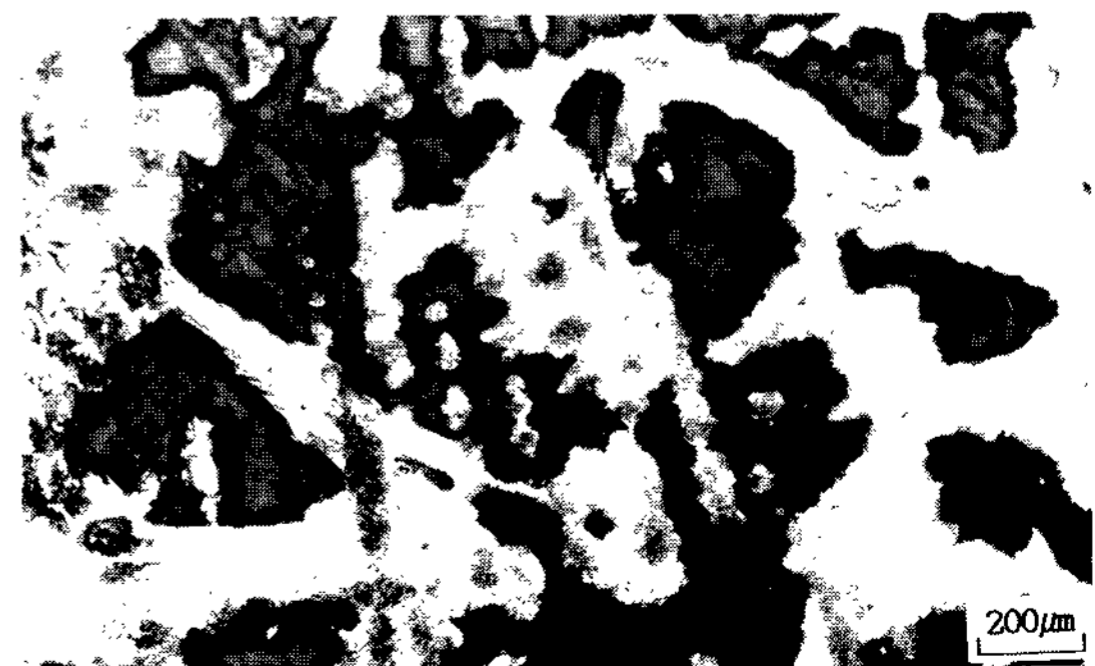


사진 3. Hi-Cr 주철 roll 경계층의 비금속개재물

어 개재된 것으로 판단된다.⁷⁾ 이러한 개재물은 외각-내각 경계층의 외각재 쪽에 상당히 넓은 부분에 분포되고 있으며 사진 3과 같이 50% 이상의 면적률을 차지하고 있는 부분도 존재한다. 이 개재물들은 종래의 열연용 work roll에서 기계적 성질, 특히 강도와 인성, 내박리성 등을 치명적으로 저하시켰으나 내각재의 주입온도 및 주입시의 외각재 표면온도 관리 등의 요소기술 향상으로 현재는 완전히 해결되었다.

3.3 Hi-Cr Roll의 경계층 형성 Mechanism

열연 Hi-Cr roll의 제조는 원심주조법으로 외층을 주조한 후 core층을 주입하는 2중주조법을 이용하여 서로 다른 성분의 재료를 접합시킨다.

사진 4는 shell층과 core층의 경계층의 일부를 나타낸 것으로 크게 'a' layer와 'b' layer로 분류될 수 있다. 여기서 'a' layer는 탄화물이 직선적으로 방향성을 가지며 배열되어 있고 'b' layer에는 판상 탄화물이 석출되어 있다. 이러한 두 종류의 석출물의 형성 mechanism은 우선 'a' layer의 경우 이미 주입된 shell층에 C성분이 높은 core재가 주입될 때 C이 shell층으로 확산되어 shell층의 Cr성분과 결합하여 M_7C_3 형 탄화물을 형성하고 'b' layer에서는 shell층 성분의 Cr이 일부 core층으로 확산되어 백선화를 유발시키기 때문에 M_3C 형의 탄화물이 석출되는 것이다.

이러한 mechanism에 의해 형성되는 경계층에서 C 및 Cr의 확산을 억제시킬 수 있다면 경계층의 두께는 감소될 것이며 불명확한 경계층을

형성시킬 수 있으므로 경계층 강도를 증가시킬 수 있을 것이다. 그러므로 core층의 응고개시온도를 상승시켜 C의 확산유출과 Cr의 확산유입을 억제시키거나, shell층의 응고완료 온도를 저하시켜 core층 응고 개시온도와 shell층 응고완료 온도차이를 크게 함으로써 해결가능할 것이다. Shell층의 Mo 합금원소는 ferrite 안정화원소로서 r 영역을 패쇄시킴으로써 shell층의 응고완료온도를 저하시킬 수 있다. 그러므로 현재의 1.4wt% Mo의 성분범위를 약 3wt% Mo로 상승시키는 것이 유리하며, 또한 Mo_2C 를 형성시켜 내마모성도 향상될 것이다.⁸⁾

3.4 소성유동이 Banding에 미치는 영향

열간압연용 Hi-Cr roll 표면은 산화에 의해 magnetite, wüstite 및 hematite로 구성된 표면흑피가 형성되며 압연중 가열 및 roll 냉각수에 의한 냉각 등의 반복열응력에 의해 표면 heat crack이 발생되어 흑피가 탈락되는 banding 현상뿐 아니라 표면 spalling까지도 유발시킬 수 있다.

사진 5에 표면층에 형성된 소성유동 현상과 표면에 평행하게 진전된 microcrack 및 초정 carbide와 기지조직 경계부를 따라 진전된 종 crack을 관찰할 수 있다.

Banding과 소성유동과의 상관성의 개략도를 그림 4에 나타내었다. 우선 roll표면의 기지조직부위에 선택적으로 흑피가 형성되고, 소성유동(plastic flow)이 발생되며,⁹⁾ roll 표면층에서의 열전도차이에 의한 열팽창계수 차이로 인하여 표면

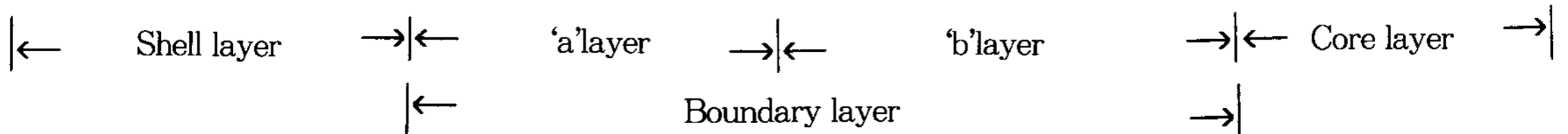
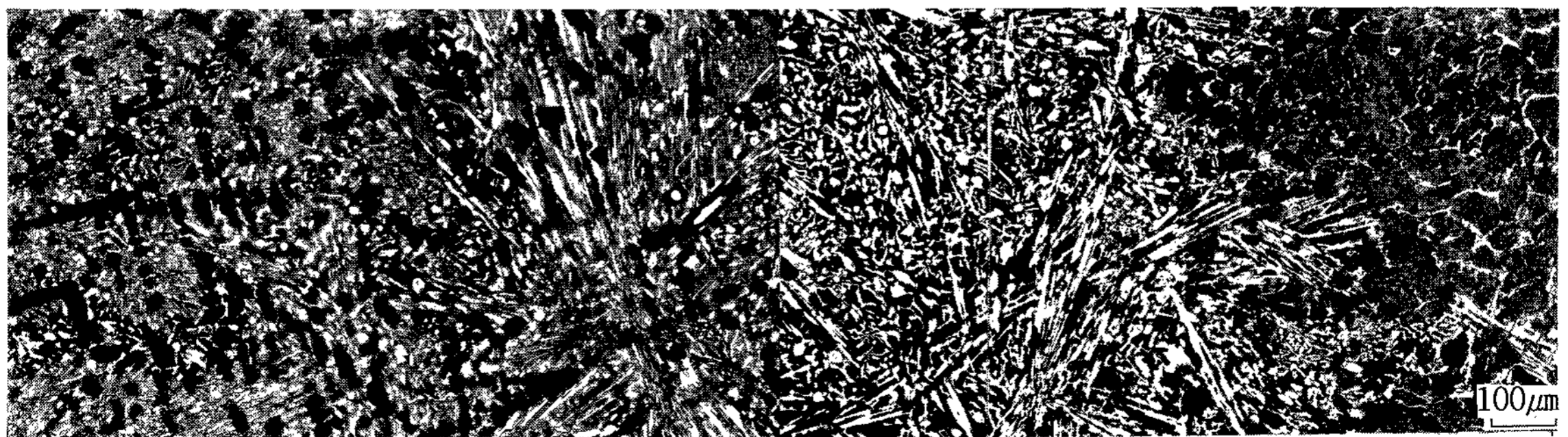


사진 4. Hi-Cr 주철roll 경계층의 미세조직

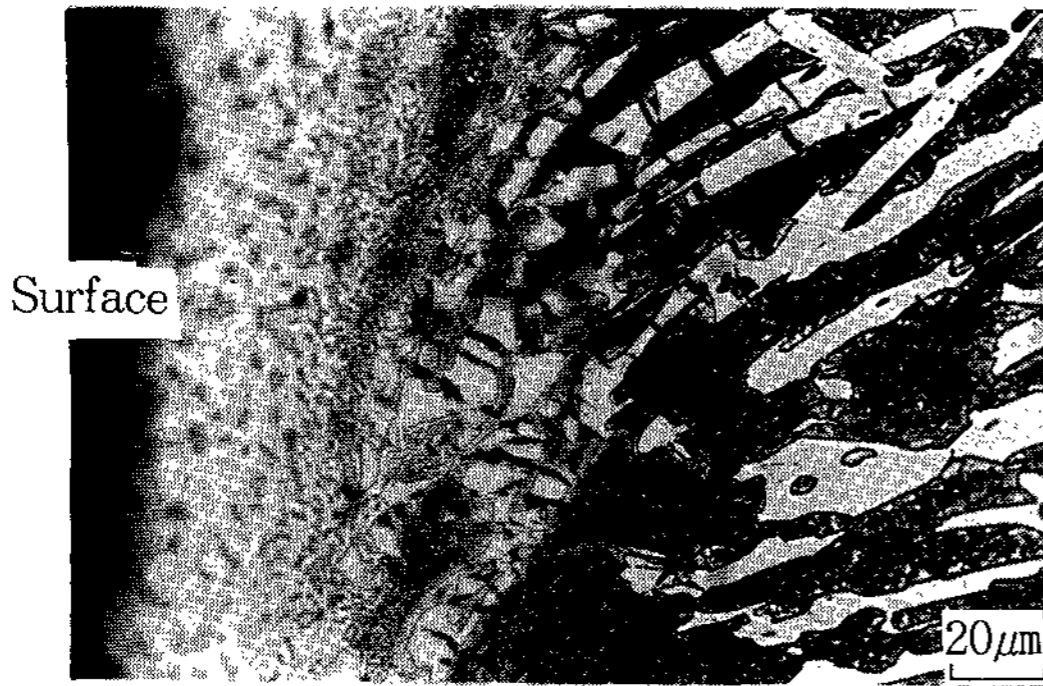


사진 5. Work roll 표면의 소성유동

층에 평행한 microcrack이 발생된다. 이에 계속되는 back-up roll과의 접촉응력에 의해 초정 carbide의 길이방향으로 crack이 진전하게 됨으로써 roll 표면탈락을 유발시키게 될 것이다. Hi-Cr roll 재에 잔류 austenite가 roll 표면층에 존재한다면 압연재로부터의 전열효과에 의해 안정상인 martensite로 변태하게 됨으로써 흑피와 기지조직간의 경계층을 취약화시켜 흑피박리를 용이하게 발생시킬 것이다. 그러므로 Hi-Cr roll재의 미세조직은 초정조직이 적고 잔류 austenite량이 적을수록 그리고 2차 탄화물과 열적으로 안정한 martensite기 지조직을 가지는 것이 가장 바람직하다. 그러므

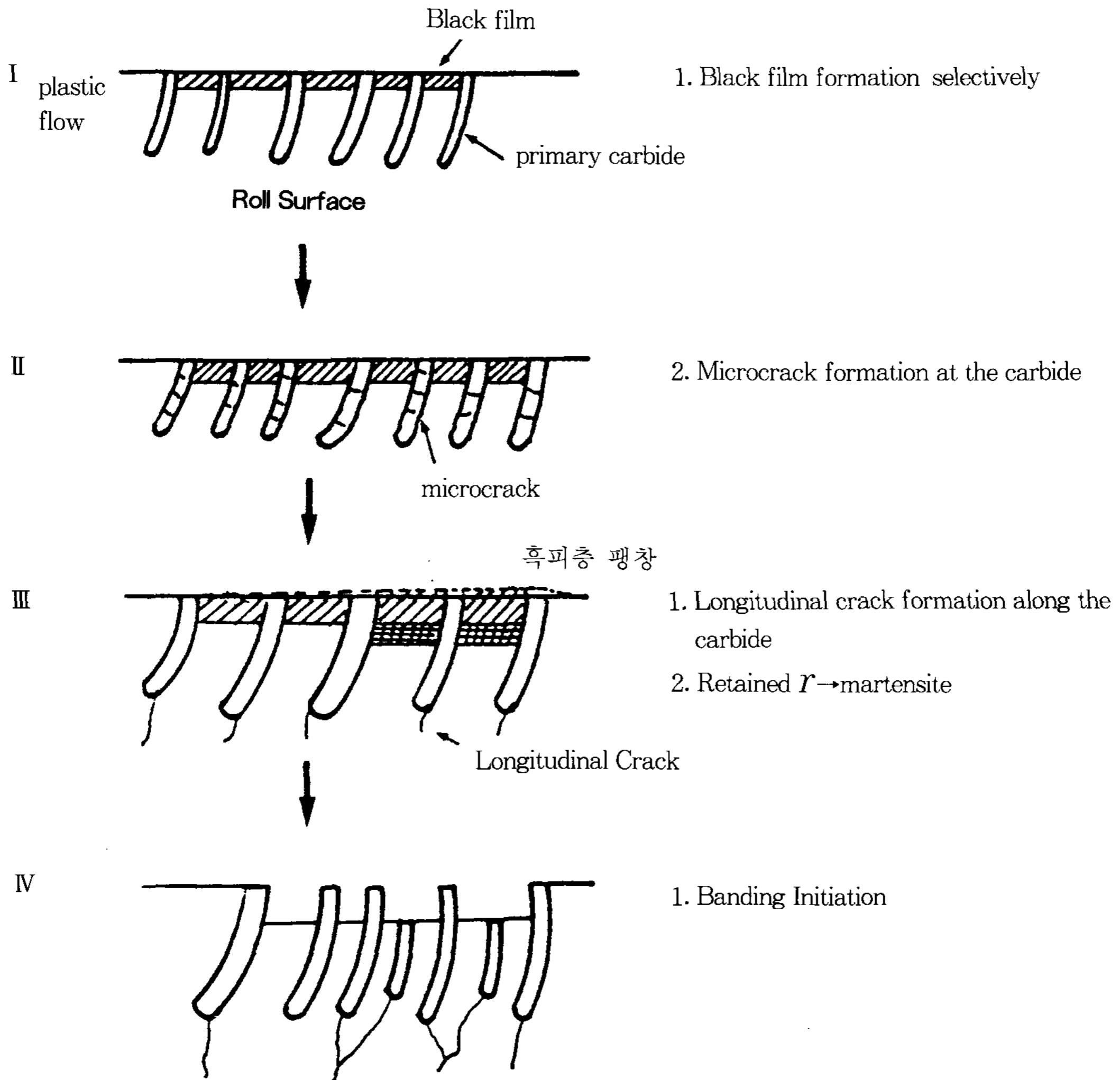


그림 4. 소성유동에 의한 banding의 모식도

로 기지조직을 2차 탄화물과 martensite조직으로 형성시키기 위해서는 약 1000°C 이상의 온도에서 오스테나이트 불안정화 열처리(austenite destabilization heat-treatment)를 행하는 것이 바람직하다.

3.5 Hi-Cr Roll의 불안정화 열처리

Hi-Cr roll의 내마찰 마멸성은 조직중에 정출되어 있는 탄화물의 량, 형태 및 종류에 영향을 받는 외에 기지조직에도 영향을 받으므로 기지경도가 높을수록 우수하다.¹⁰⁾ 기지조직을 형성하는 초정오스테나이트 및 공정오스테나이트에는 응고과정에서 Cr 및 C가 분배되며, Cr의 분배계수는 시료의 화학조성에 의해 변화하지만 0.6~0.85의 범위이다.¹¹⁾ 오스테나이트중의 Cr과 C 고용한도는 온도저하와 함께 감소하지만 냉각속도가 빠른 경우 Cr과 C의 석출이 억제되어 오스테나이트에는 이들 원소가 과포화된다. 따라서 응고후의 냉각과정에서 공석변태가 일어나지 않으며, M_s 점은 이하로 되어 주방상태에서 오스테나이트로 잔류한다. 이 오스테나이트를 martensite화 하기 위해서는 오스테나이트중에 과포화 고용되어 있는 Cr 및 C를 2차탄화물로 석출시키기 위한 불안정화 열처리가 필요하다. Maratray등¹²⁾은 고Cr 주철의 화학성분, 불안정화 열처리온도 및 유지시간에 따라 Cr 및 C의 확산 및 석출과정이 변화하며 열처리후의 냉각과정에 있어서 martensite변태에 영향을 미치는 것으로 보고하고 있다. 즉, M_s 점의 온도는 Cr/C비가 클수록 상승하고, 불안정화 열처리온도가 높을수록 저하하며, 유지시간이 길수록 상승한다.¹³⁾ M_s 점이 유지시간이 높을수록 저하하는 것은 오스테나이트중의 평형 Cr 및 C농도가 고온일수록 높기때문이다.¹⁴⁻¹⁵⁾

4. 결론

열간압연공정에서의 압연기술진보에 따른 열간압연용 roll의 종류별 특성개선의 변천과정을 살펴본 바, 표면열피로 및 고온피로에 강한 강인성재료 제조의 요구에 부응하기 위해서 열연 work roll은 조직이 치밀화, 고경도화되고 있으며,

energy 절약, 열연제품의 표면품질향상 및 roll원단위 저감을 위한 방향으로 개발되고 있다. 향후 열연용 work roll의 극소경화 및 고부하압연 그리고 열연공정의 compact화에 따른 새로운 압연법 도입가능성에 대처하기 위한 내구성이 우수한 열연용 roll의 개발을 위해서는 roll재질 개발 및 신제조방법 등에 대한 심도있는 연구가 이루어져야 할 것이며, 또한 roll의 내사고성 향상을 위해서는 윤활압연 및 압연부하조건 등을 고려한 적정 roll관리 기술을 정립하여야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. 橋本光生ほか: 製鐵研究, No.338(1990), p. 62
2. 笹田ほか: 製鐵研究, No.308(1982), p.4
3. 木村智明ほか: 日本鐵鋼協會 共同研究會 壓延理論部會30周年紀念 symposium資料 (1985), p.442
4. 矢中様二ほか: 製鐵研究, No.308(1982), p. 104
5. W.H.Betts: Iron and Steel Engineer(1977), p. 44
6. 佐野義一ほか: 鐵と鋼, Vol.73(1987), p.1154
7. R.L.Doelman: "The Ductile Iron Process", Miller & Company(1972), p.358
8. 장삼규, 최진원 外: 산업과학기술연구소 연구결과보고서, "Hi-Cr roll재의 재질 및 압연특성 연구"(1991)
9. 橋本隆ほか: クボタ技報, Vol.7(1982), p.21
10. R.Niwa: Imono, Vol.48(1976), p.79
11. K.Ogi et al: ibid, Vol.52(1980), p.629
12. F.Maratray et al: AFS Trans., Vol.79(1971), p.121
13. M.Kuano et al: Imono, Vol.54(1982), p.586
14. I.Minkoff: "The Physical Metallurgy of Cast Iron", John Wiley and Sons(1983), p.175
15. W.D.Forgeng: ASM.Metals handbook, Vol.8 (1973), p.402