

가 黑鉛球狀化에는 큰 역할을 못하며, 용해된 水素量도 적기 때문에 基地組織을 白銹化시키지 못한 것으로 생각된다.

Fig.5-b)는 MmH 0.25%, MmH₂ 0.25와 0.5%를 첨가한 경우의 冷却曲線으로서 여기에서 알 수 있는 바와 같이 炭化物共晶溫度이하로 심한 過冷을 일으킨 후 큰 再熱에 의해 다시 炭化物共晶溫度이상으로 上昇되어 공정반응을 일으킨다음 응고가 종료된다. 이 경우 共晶最低溫度가 炭化物共晶溫度이하이기 때문에 그 溫度에서는 炭化物가 생성될 것이다. 전술한 바와같이 黑鉛先端이 통상 용탕에 접하면서 炭素가 직접 흑연에 공급되는 편상흑연에 비하여 비평형반응에 의하여 생성되는 球狀黑鉛은 성장속도가 느리다. 그러나 黑鉛球의 성장은 炭素의 확산과 함수관계¹¹⁻¹³⁾이므로 용탕 단위체적중의 水素氣泡數에 따라 黑鉛粒數가 많아지면 단위시간당 黑鉛成長量이 크게되고 따라서 응고에 따른 잠열방출량이 많게되어 再熱정도가 크게 된다. 그러므로 용탕이 炭化物共晶溫度이하로 過冷되어 탄화물이 생성되더라도 Fig. 5-b)와 같이 큰 잠열과 未凝固된 잔류 용탕의 열에 의하여 생성된 탄화물이 分解하여 黑鉛化¹⁸⁾하고 炭化物共晶溫度이상에서 共晶凝固가 완료되기때문에 최종적으로는 球狀과 CV黑鉛이 混在하여 平均黑鉛面積率이 11.8~14.6%인 bull's eye 조직으로 된다고 생각되며 이경우 基地組織에 미치는 용해 水素와 잔류 Mm의 영향은 나타나지 않았다.

Fig.5-c)는 Mm 0.5와 1.0%, MmH 0.5와 1.0% 및 MmH₂ 1.0%를 첨가한 경우의 冷却曲線을 나타낸다. 이 경우는 큰 再熱없이 炭化物共晶溫度이하에서 共晶凝固가 진행되기 때문에 徐冷組織을 보여주는 Photo. 1에 나타낸 바와같이 비교적 소수의 球狀과 不完全球狀黑鉛이 混在하고 기지조직은 ledeburite로 된 것을 알 수 있다. 이러한 결과는 Ce, La 및 Y등이 다량 첨가되었을 때는 이들의 잔류량이 상대적으로 많아지기 때문에 나온것이다. 이러한 경우에는 첫째로 용탕이 冷却될때 이들이 심한 응고편석을 일으켜 黑鉛共晶溫度와 炭化物共晶溫度의 간격을 좁히고¹⁹⁾ ledeburite를 安定化시키며, 둘째로 冷却될 때 이들이 水素氣泡中の 水素를 재흡수 용해하여 有效水素氣泡數를 감소시키므로 생성되는 黑鉛粒數가 자연히 적어지게 된다. 따라서 黑鉛成長이 늦어져 단위시간당 응고량이 줄고 잠열발생량이 적어 再熱에 의하여 상승되는 溫度도 낮기 때문에 炭化物共

晶溫度이하에서 共晶凝固가 완료되며 상대적으로 많은 용해수소가 ledeburite를 安定化시키기 때문에 비교적 소수의 球狀과 不完全球狀黑鉛이 混在하고 平均共晶炭化物이 22.6~30.4%인 ledeburite조직으로 된다고 생각된다. 따라서 구상흑연주철의 기지조직은 水素溶解量, 잔류구상화원소량 및 水素氣泡數(黑鉛粒數)의 상호관계에 의하여 결정되나 특히 黑鉛粒數의 多少가 제일 큰 영향을 미치는 因子로 생각된다.

4. 結 論

3.9%C-2.0% Si-Fe組成의 壓粉體를 1350°C, Ar가스 분위기에서 50분간 용해한 共晶組成의 용탕에 시판 mischmetal과 이를 hydride화한 MmH와 MmH₂를 각각 여러비율로 첨가한 후 徐冷한 시편의 기지조직에 대한 mischmetal hydride의 첨가효과와 黑鉛球狀化劑로서의 이의 실용가능성을 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

Mischmetal의 경우는 이를 0.5%이상 첨가한 때 비로소 球狀黑鉛으로 되나 그때의 기지는 ledeburite로 되며 bull's eye 조직은 전혀 나타나지 않는다. 그러나 mischmetal hydride를 첨가한 때는 MmH 0.25%, MmH₂ 0.25와 0.5%에서 전형적인 球狀黑鉛鑄鐵組織인 bull's eye조직이 나타나고, 그 이상 첨가한 때는 基地組織은 ledeburite 조직이 된다. 그리고 MmH에서 MmH₂로 hydride화 정도가 커질수록 bull's eye 조직을 얻기위한 첨가량의 허용범위가 넓어지는 것으로 보아 hydride의 첨가효과가 크다는 것을 알 수 있어 mischmetal hydride 처리제로서의 實用可能性이 있다고 생각된다.

參 考 文 獻

- 1) 張博, 山本 悟, 川野 豊, 尾崎良平: 日本金屬學會誌, 41(1977), pp.464~471
- 2) 張博, 山本 悟, 川野 豊, 尾崎良平: 日本金屬學會誌, 41(1977), pp. 471~478
- 3) 鈴木 鼎, 郭 曙勸, 今林 守: 鐵物, 57(1985), pp. 232~237
- 4) A.F.Spengler & H.K. Briggs: "The Ductile Iron Process", Vol. 1 Miller & Co., Chicago (1972), pp. 5
- 5) I. Minkoff: "The Physical Metallurgy of Cast Iron",

- Vol.1, John Wiley & Sons Ltd., Chichester (1983), pp.155
- 6) 堀江 皓: 鑄鐵造と處理, (1980)8, pp.9~22
- 7) 川野 豊, 山本 悟, 創井 和彦: 鑄物, 47(1975), pp.394~401
- 8) 今村 正人, 堤 信久: 綜合鑄物, (1983)5, pp.8~18
- 9) V.M Popov: Liteinoe Proizvodstvo, (1974)9, pp.18~21
- 10) K.A.Didenko, A.P.Lyubchenko, S.P.Sakharov, G.P. Umanskii and Yu.S.Uritskii: Liteinoe Proizvodstvo, (1975)8, pp.5~7
- 11) 大井 利繼, 藤岡 稔: 鑄物, 54(1982), pp.21~26
- 12) 後藤 明弘, 相決 達志, 岡田千里: 鑄物, 48(1976), pp.23~28
- 13) 大和田野利郎, 山田 恒二, 鳥越 清: 鑄物, 48(1-976), pp.23~28
- 14) 張博, 明智 清明, 健 三: “球狀黑鉛鑄鐵”, 第1版, マグネ, 東京 (1983), pp. 14
- 15) R.W. Heine, C.R. Loper, Jr. and M.O. Chaudhari: AFS Transactions, 79(1971), pp. 399~410
- 16) P.K. Bautkan, R.W. Heine & C.R. Loper, Jr.: AFS Transaction, 81(1973), pp. 336~ 340
- 17) R. Elliot: “Eutectic Solidification Processing”, Vol. 1 Butter worths & Co. Ltd., London (1983), pp. 90
- 18) 今村 正人, 堤 信久: 綜合鑄物, 1983, 3, pp.9~16
- 19) J.F. Janowak & R.B. Gundlach: AFS Transactions, 90(1982), pp.847~863

이 논문은 1987년도 문교부 자유공모과제 학술연구조성비에 의하여 연구되었음

論 文

스테인리스강-주철 이중복합관의 제조 개발에 관한 연구

崔相鎬*, 姜春植**

Fabrication Development of Stainless Steel - cast Iron Dual Tube

Sang-Ho Choi*, Choon-Sik Kang**

Abstract

The influences of some casting conditions on bonding ratio and state at bonding zone of stainless steel-cast iron dual tube produced by centrifugal casting process were investigated to estimate fabrication technics.

- 1) Bonding ratio is increasing such as increasing of inner surface temperature of outer metal(stainless steel STS 304), if pouring temperature of inner metal (cast iron) is constant.
2) The more pouring temperature of inner metal (cast iron) increase, the more bonding ratio increase when inner surface temperature of outer metal (cast iron) is constant.
3) As the mold rotary speed is increase, the hatching area of bonding map (perfect bonding area) goes down to the low pouring temperature of inner metal.
4) In order to predict bonding state of two different metal, we are able to make and use the bonding map about casting conditions such as inner surface temperature of outer metal, pouring temperature of inner metal and mold rotary speed.

1. 서 론

두가지 이상의 금속소재를 접합하는 기술에는 용접법, 크래딩법, 주조법 등이 있으며 주조법에 의한 접합에는 원심주조법이 주로 이용되고 있다. 원심주조법은 1809년 이태리의 Anthony Eckhardt 11-13)에 의한 특허로 시작되어 그동안 많은 연구들을8-13) 통하여 실용화 되었다.

이 주조법은 금속산화물과 비금속개재물을 비중차에 의하여 분리시키며 방향성 응고시킬 수 있어 실린더 라이나와 같은 원통상의 제품 또는 볼러 등을 제조하는 데에 이용된다. 특히 최근에는 솔바

(Sole bar), 복합롤, 구조용 강관, 복합재료 등도 원심주조법으로 제조하고 있다. 7-9)

서로 다른 이종금속을 원심주조법으로 접합하는 경우에는 두가지 방법이 있다. 즉, 첫째로 한쪽 금속은 고체상태에서 다른 금속은 용융상태에서 접합시키는 방법이고, 둘째 방법은 이종금속 모두 용융상태에서 접합시키는 방법이다.

각각 다른 금속소재가 완전히 혼합 또는 합금되지 않은 상태에서 완전하게 접합시키려면 처음에 주입한 금속이 용융온도로 냉각되거나, 또는 약간 낮은 온도에 도달되면 다음에 주입하는 금속은 충분히 높은 온도에서 주입되어야 한다. 즉, 처음에 주입한 용융금속의 내면에 편석된 불순물을 다음에

*동양공업전문대학(Dept. of Mechanical Eng. Dong Yang Tech. Jr. College)

**서울대학교 공과대학(Dept. of Metallurgical Eng. Seoul National University)

주입한 용융금속을 통하여 내면으로 이동시키는 한편, 양방의 금속접합이 잘 이루어지도록 할 필요가 있기 때문이다.⁵⁾

한편 본 연구에서 택한 스테인리스강 - 주철의 이중복합관은 스테인리스강이 외층, 주철이 내층인 경우로써, 섬유공업용롤 및 롤러, 내열관, 가열로 복사관, 해수용 내식관 및 건축용 지주 등에 사용될 수 있으며, 주철이 외층, 스테인리스강이 내층재료로 만들어진 경우에는 화학공업의 반응관, 화공약품 수송관, 섬유공업의 펠레트 (pellet) 수송용 리프트관 (lift pipe), 스팀터빈 베어링 셸 (steam turbine bearing shell), 원자력용 플란트재, 제분용의 분쇄용롤, 제지 염색용 롤러 등에 이용될 수 있다.³⁵⁾⁷⁾¹⁴⁾⁻¹⁷⁾

따라서 본 연구에서는 원심주조법으로 스테인리스강과 주철의 이중복합관을 완전하게 제조할 수 있는 기초자료와 적절한 주조조건을 제시하며 이제까지 연구, 보고된 바 없는 스테인리스강 - 주철의 이중복합관의 주조접합에 관한 문제를 학문적으로 연구, 검토하고자 한다.

2. 실험방법

1) 실험장치 및 시편제작

본 연구에 사용된 원심주조기는 저자 등⁶⁾의 연구보고¹⁸⁾에 이미 발표하였으며, 주형의 회전속도를 임의로 조절할 수 있도록 콘트롤 박스를 원심주조기 상단부에 부착하였다.

그리고 스테인리스강 2.5kg 과 일반 회주철 2.5kg 을 50VA의 고주파유도로에서 각기 다른 도가니에 용해시킨 다음 탈산, 탈가스, 슬래그 제거처리를 하고 금형의 회전속도를 변화시키면서 스테인리스강 및 주철의 용탕을 Fig 1과 같이 원심주조기에 주입하였다.

표 1은 주조하여 만든 시편의 화학성분을 나타낸 것이다.

금형은 resin coated sand로써 (AFS, FN 65)1mm 두께로 라이닝한 후 규사계통의 실리코트를 알콜에 희석시켜 붓으로 0.1mm 정도의 두께로 칠하였다. 금형의 내부표면온도는 300℃가 되도록 예열하였다.

2) 용탕의 온도측정

용탕의 주입온도는 도가니에서 복사고온계 (pyrometer) 로 측정 한 다음, 원심주조기의 주형에 주입하고 회전주형의 내부 표면의 온도는 two color radiation pyrometer (CHINO Co. IR-QH 2000 Model)

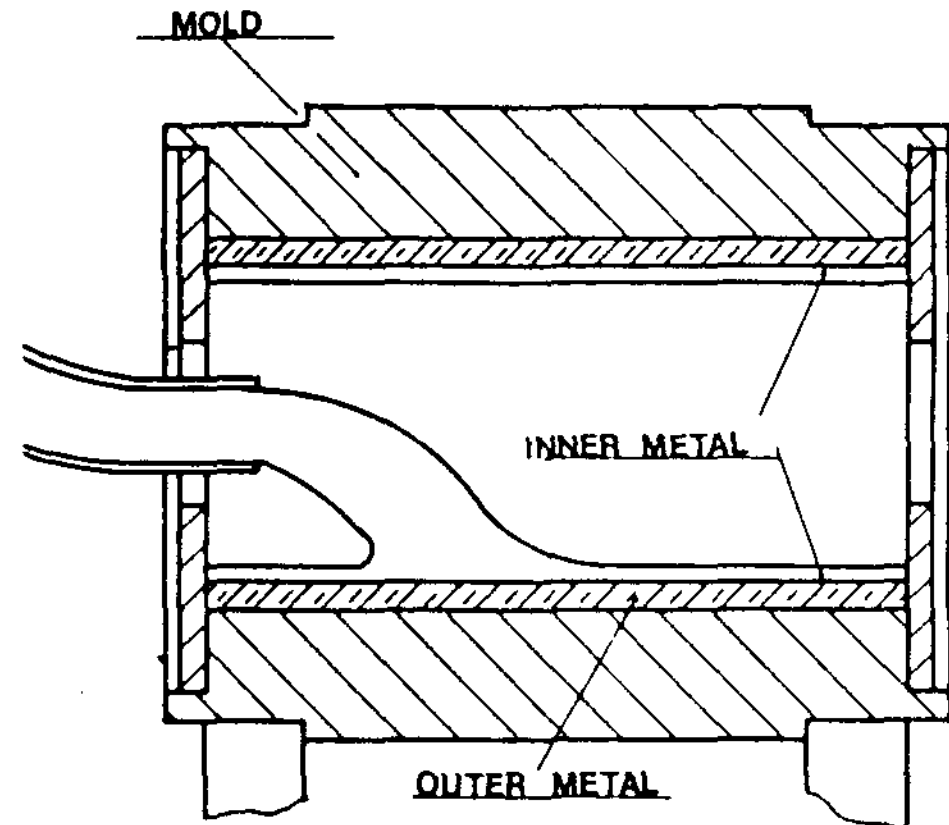


Fig. 1. Schematic diagram of duplex casting process

Table 1. Chemical composition of specimens (Wt. %)

composition	C	Si	Mn	P	S	Mg	Ni	Cr	Fe
cast iron	3.55	1.9	0.97	0.81	0.07	-	-	-	Bal.
SUS 304	0.07	0.085	1.90	0.04	0.03	-	8.85	17.95	Bal.

	density (g/cm ³)	specific heat (cal/g°C)	thermal conductivity (cal/cm s°C)
SUS 304	7.9	0.1212	0.036
cast iron	6.9	0.2	0.089 (1200°C)

를 Fig 2와 같이 설치하여 연속적으로 측정하여 Fig3 과 같은 냉각곡선을 얻었다.

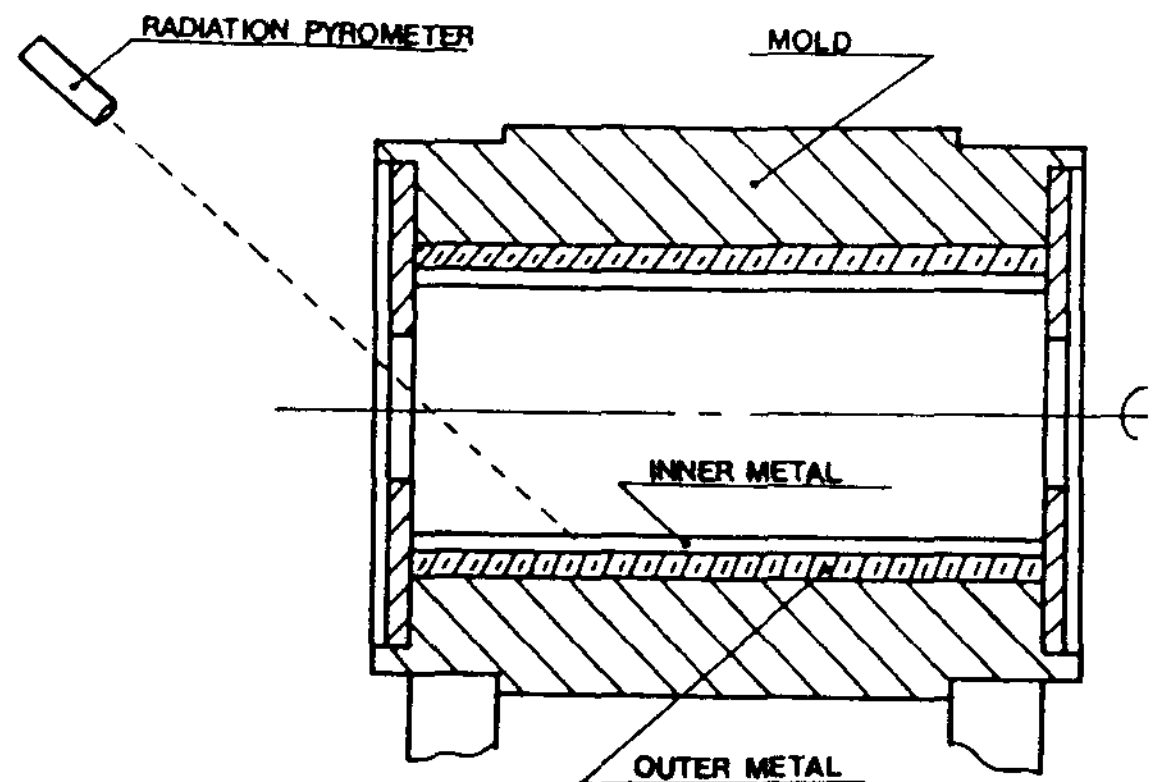


Fig. 2. Schematic illustration of temperature measurement of melt in rotary mold

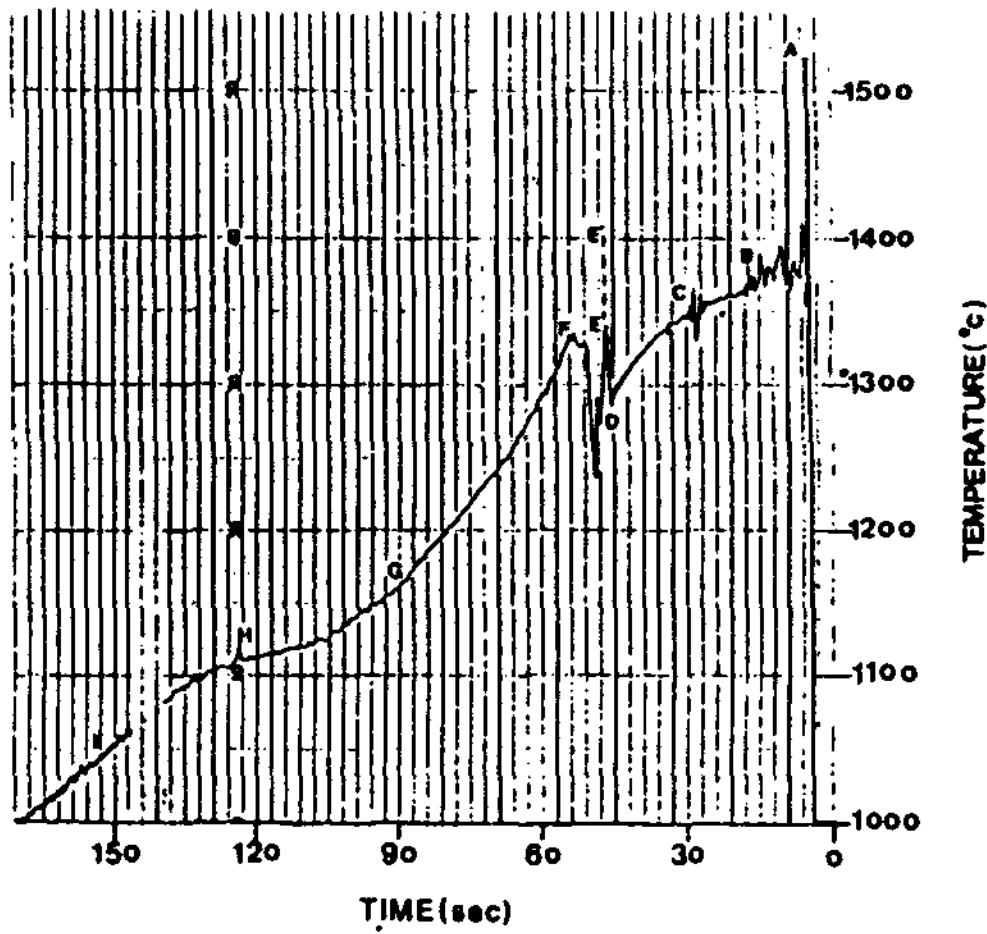


Fig. 3. Cooling curve in duplex casting of STS304-cast iron

3) 접합상태의 관찰

원심주조한 이중복합관에서 내외층의 접합상태는 용탕의 주입온도, 주형의 회전속도 및 용제의 사용여부 등에 영향을 받는다. 따라서 이와 같은 요인들이 내외층의 접합상태에 어떠한 영향을 미치는가를 조사하기 위하여 접합상태의 정량적 평가방법인 접합율을 도입하고, 시편 양단면 접합부의 접합율을 다음식으로 구하였다.

$$\text{접합율(Br)} = \frac{\text{완전 접합된 부분의 길이}}{\text{내·외층 경계부의 길이}} \times 100(\%) \dots\dots(1)$$

접합부는 기계가공한 후 육안으로 관찰하고 균열 발생 여부를 0.1mm까지 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3-1 접합상태에 미치는 주조조건 영향

(1) 외층의 내면온도와 내층용탕의 주입온도

Fig 2 와 같은 원심주조기에서 주형 내부의 용탕 온도를 측정 한 결과, Fig 3과 같은 냉각곡선을 얻었다.

Fig.3의 냉각곡선은 외층에 스테인리스강을, 내층에 주철을 주입한 경우로써 A는 외층용탕의 주입온도를 나타내며 주형과 접촉되면서 B 까지 온도가 내려가고 일시 온도강하가 지연된다. 이는 용탕이 주입되는 시간으로 일정한 온도를 유지하다가 주입이 끝나면 온도가 내려가기 시작하고 C 에서 응고가 끝난다. 그리고 D 까지 냉각되는 순간 내층재를

주입한 경우이다. 내층재의 주입온도는 E 온도이지만 D 온도의 외층재와 접촉되는 순간 E 의 온도로 되고 F 까지 주입이 끝나면 G 까지 냉각되다가 응고가 시작되어 H 에서 끝나게 된다. F 에서 G 까지 용탕이 냉각되고 H 까지 응고가 완료되는 사이에 회전하는 주형의 원심력에 의하여 비금속 개재물, 용제 등이 비중차에 따라 내면쪽으로 원심분리 된다. 이것들은 불균일하게 응집하여 내면에 산재해 있게 되고 회전할 때마다 발하는 빛의 파장이 달라지게 되므로 냉각곡선에 톱니모양이 나타나게 된다.

이것은 주형의 회전속도를 증가시키면 톱니모양의 간격이 좁아지는 것을 보아 확인할 수 있다.

내층재의 주입온도는 외층의 내면온도보다 충분히 높은 경우에 외층재의 고상선온도보다 같거나 높게 되어 계면에 고액공존역이 형성되므로 완전접합을 이룰 수 있게 된다고 생각된다. 그러나 내층재 주입온도가 접촉전의 외층내면온도보다 충분히 높지 않은 경우에는 외층재 고상선 온도보다 낮게 되어 계면에 고액공존역이 형성되지 못하며 외층재 내면에 응집되어 있는 비금속 개재물을 내층재 속으로 통과시키지 못하게 되므로 완전한 접합을 이룰수 없게 된다.

고액공존역 δ 는 경도값을 측정하여 두께를 실측할 수 있으며 이미 보고한 결과에서¹⁸⁾ 정리하면 Fig 4, Fig 5와 같다.

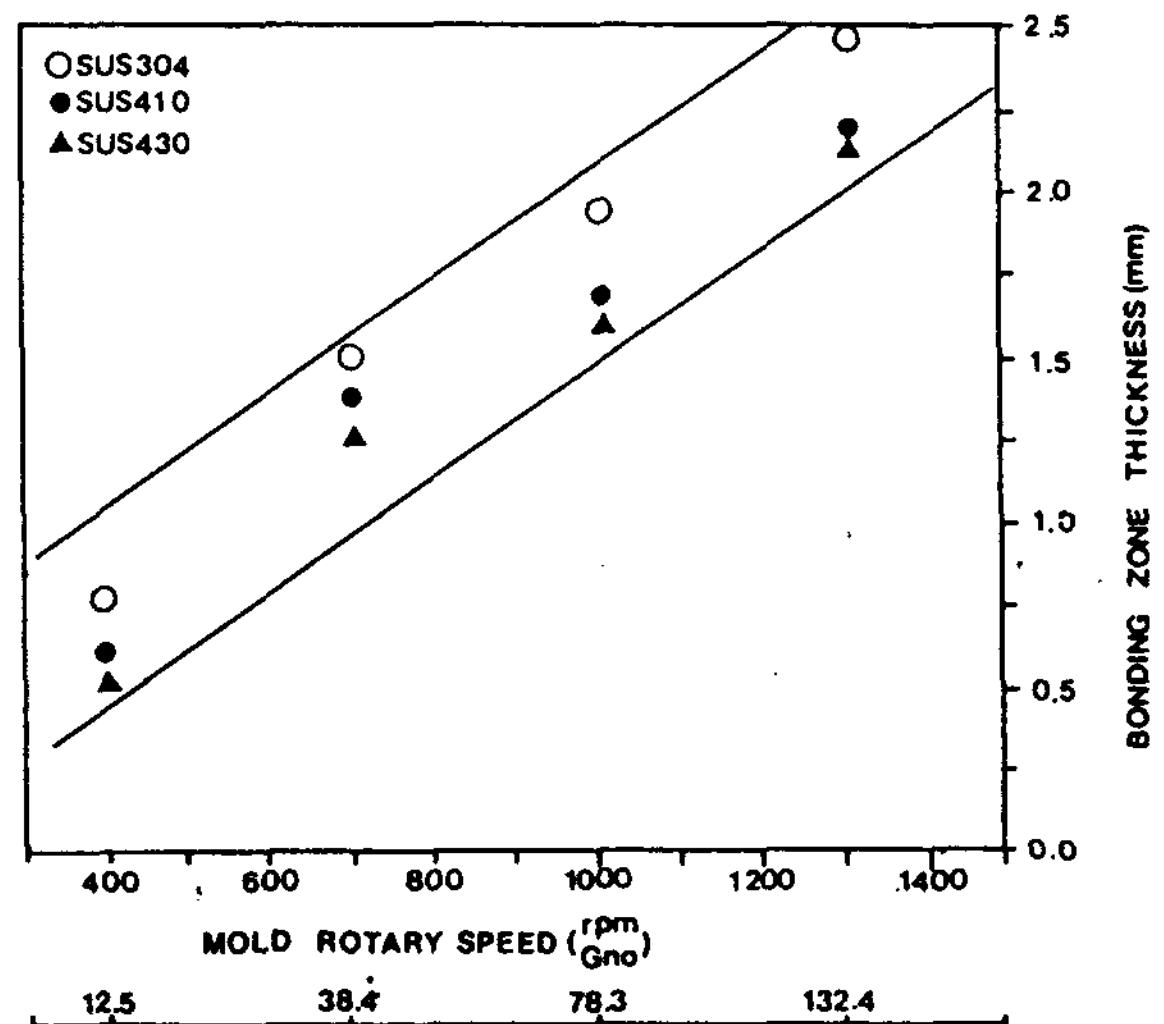


Fig. 4. Relation between bonding zone and mold rotary speed

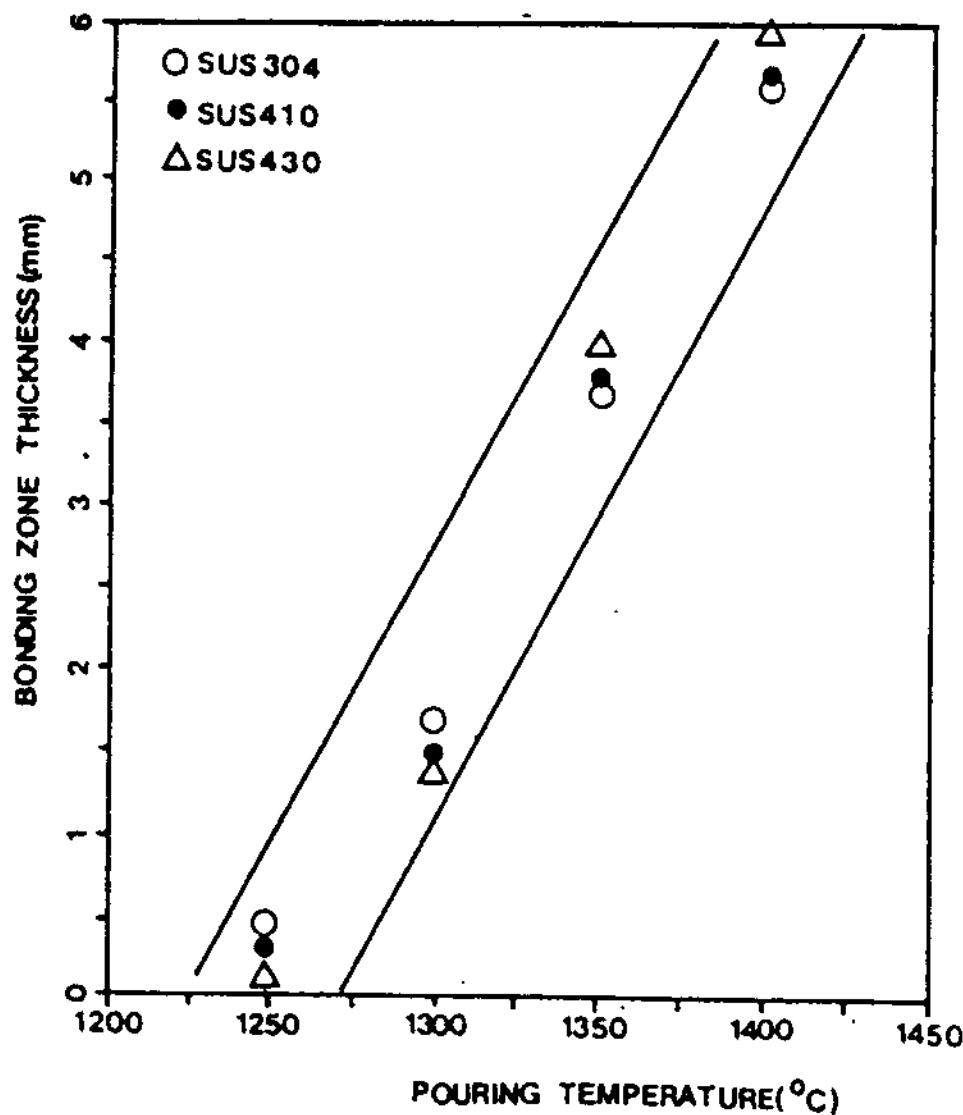


Fig. 5. Relation between bonding zone and pouring temperature of cast iron

주형의 회전속도와 내층재의 주입온도가 증가할수록 접합구역은 넓어지고 있으며 내층재 주입온도의 영향이 더 큰 것으로 나타나고 있다.

내층재의 주입온도와 외층재의 내면온도를 변화시켰을 때 주형의 회전속도 1000rpm 에서 접합상태를 나타내면 Fig.6 과 같으며 Photo. 1 은 내외층의 접합상태를 보여주고 있다.

내층재의 용탕을 주입할 때 외층재 내면온도가 접합율에 미치는 영향은 뚜렷하여 STS 304인 경우 (외층재) homologous temp. 로 0.98 에서 0.95까지의 구간에서 완전접합 (접합률 95% 이상)과 불완전접합(접합률 95% 이하)의 경계가 있으며 이는 고상선 (T_s) 아래 -20°C 에서 -70°C 까지의 구간이다.

내층재의 주입온도는 외층재의 내면온도보다도 민감하지는 않지만 주입온도가 높을수록 접합률이 높아지며 주철의 주입온도는 1235°C 정도에서도 완전접합을 얻을 수 있다.

(2) 주형의 회전속도

오늘에 이르기까지 주형의 회전속도가 원심주조 주물의 기계적 성질 또는 조직 등에 미치는 영향에 관한 보고들은¹⁹⁻²¹⁾ 많지만, 이중금속의 주조접합에서의 접합상태에 미치는 영향에 대해서는 보고된바가 없다. 따라서 본절에서는 주조조건으로써 주형 회전속도를 설정하고 접합상태에 미치는 영향을 고찰하고자 한다.

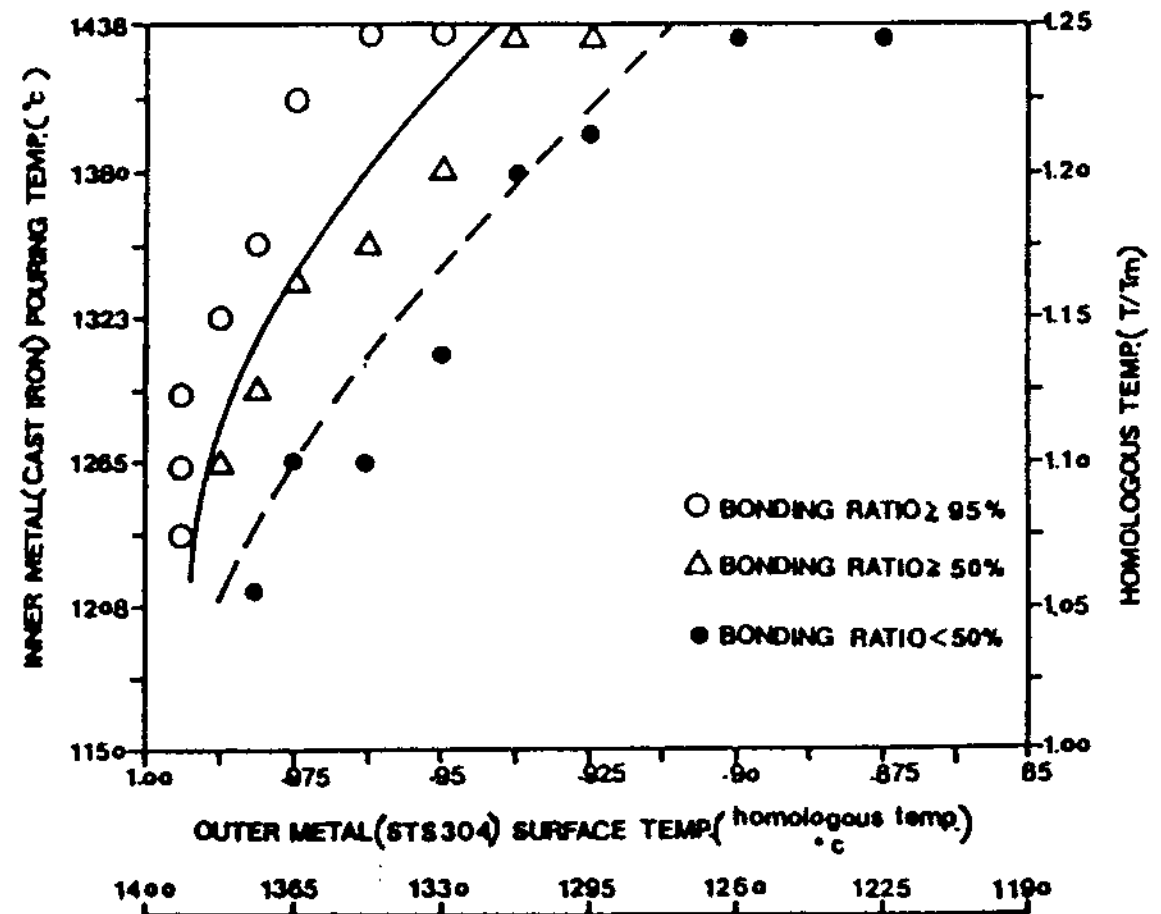


Fig. 6. Effect of temperature on bonding ratio of outer (STS 304) and inner (Cast iron) metal.

내층재의 주입온도를 일정하게 유지한 후 외층재의 내면온도에 따라서 주형의 회전속도를 변화시킨 결과 STS 304 - 주철이중 복합관의 접합율에 미치는 영향은 Fig. 7과 같다.

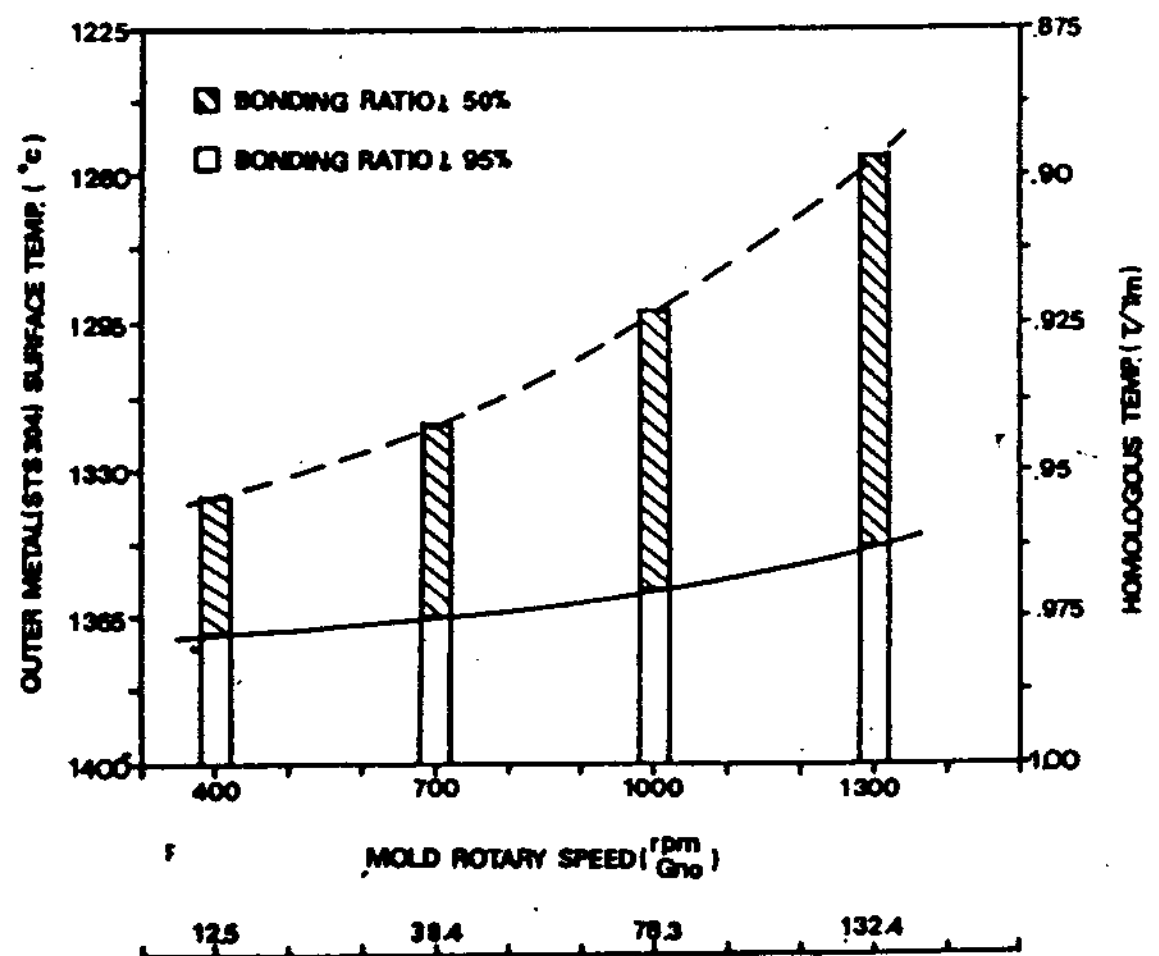
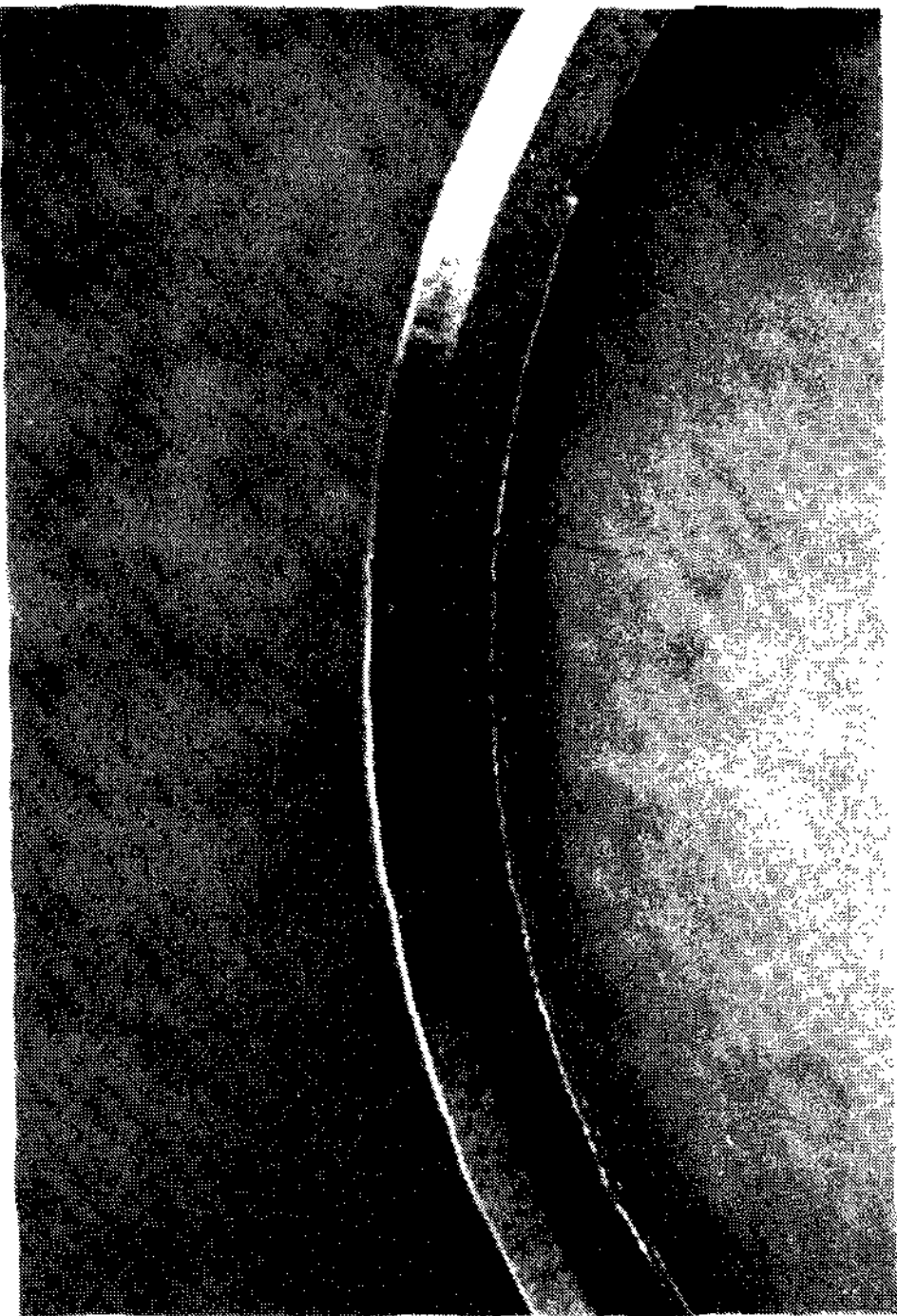
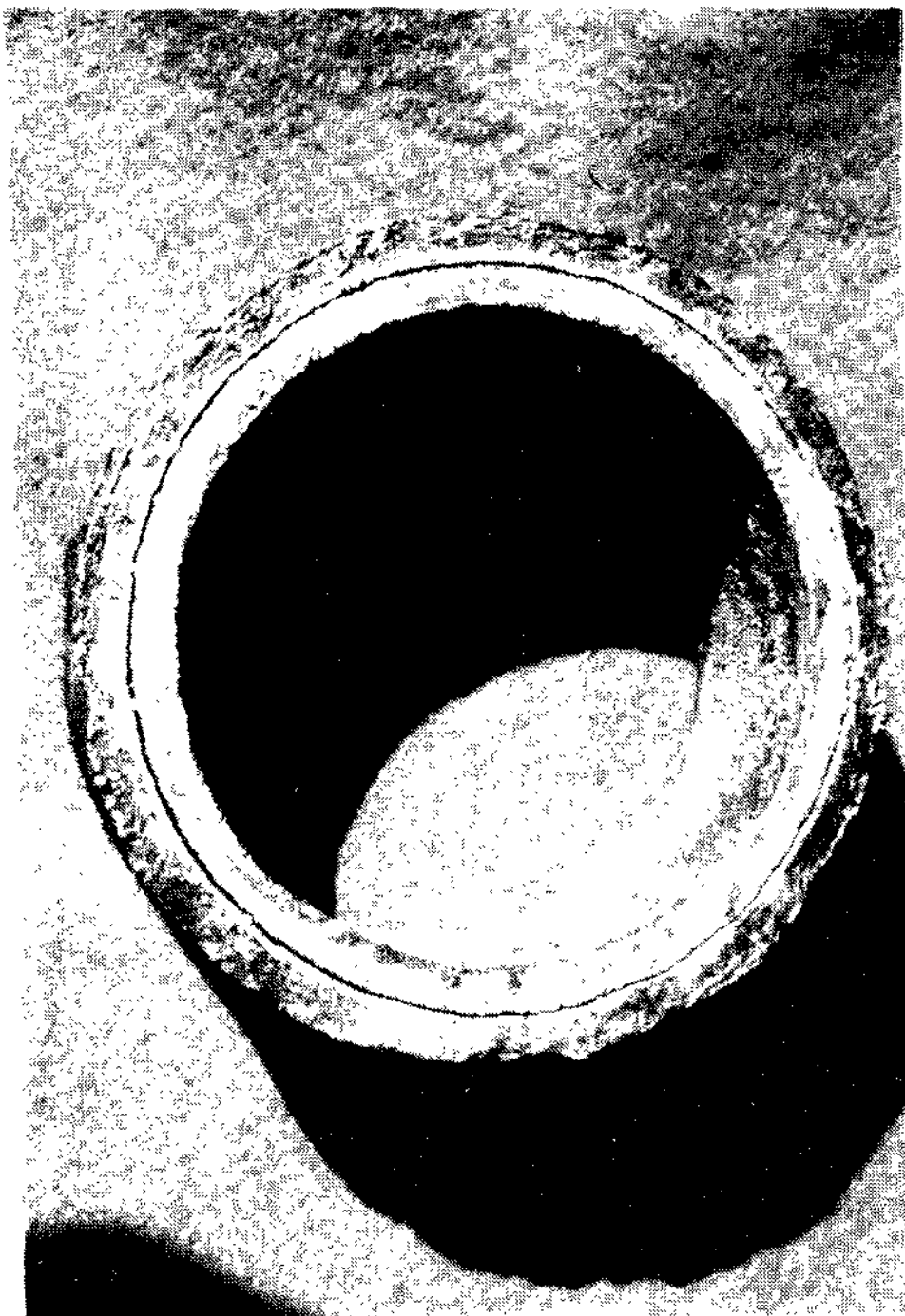


Fig. 7. Effect of mold rotary speed on bonding ratio of outer (STS 304) and inner (cast iron : pouring temp. 1350°C) metal.

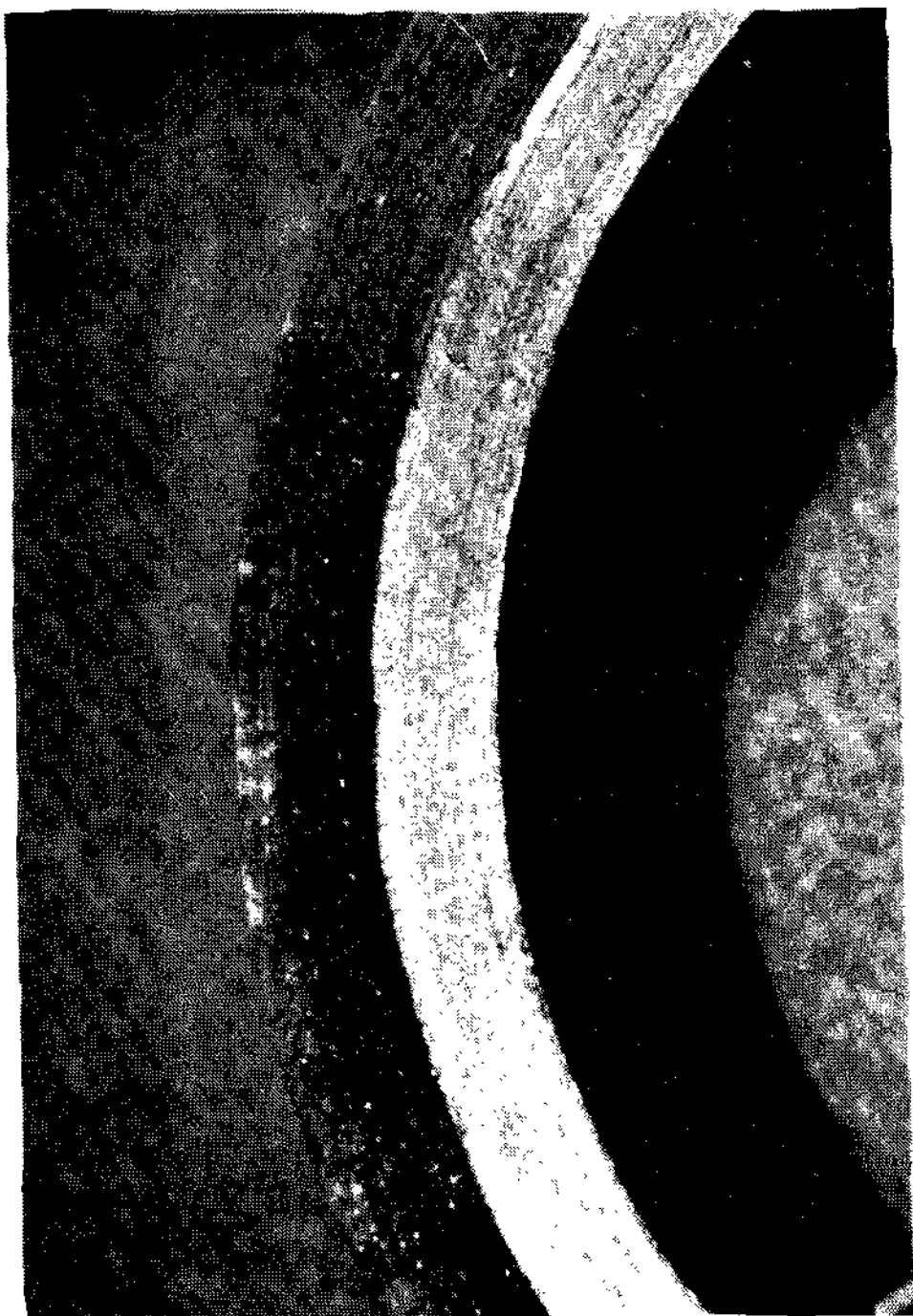
Fig. 7은 STS 304를 외층재로, 일반 회주철을 내층재로 사용한 경우이며 내층재의 주입온도는 1350°C 이었다. 주형의 회전속도를 $G_{No. 12.5}$ (400rpm)에서 $G_{No. 132.4}$ (1300rpm) 까지 증가시킬 때 외층재 내



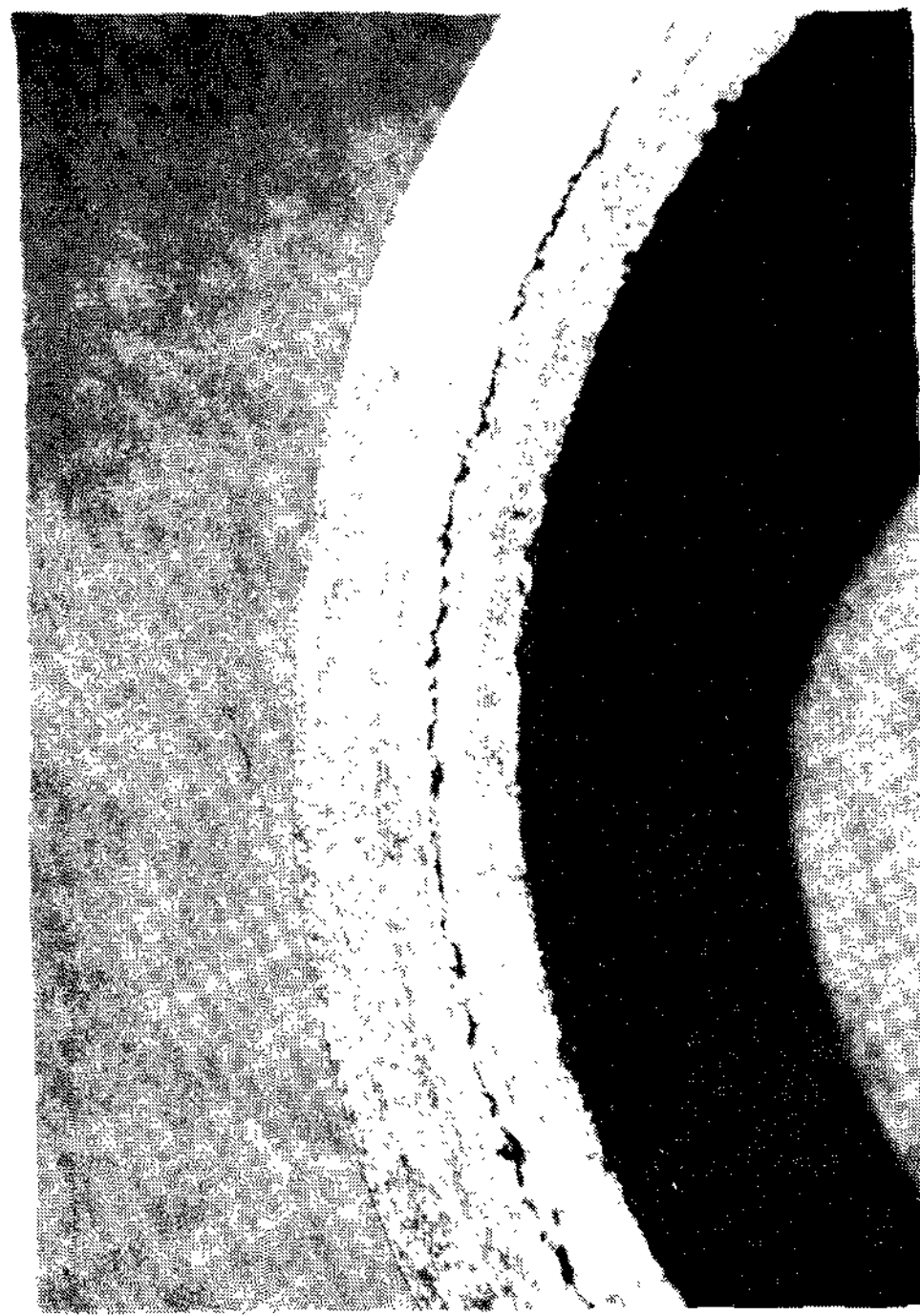
(a) Bonding ratio 100%



(b) Bonding ratio 0% of as-cast specimen



(c) Bonding ratio 100%



(d) Bonding ratio 0%

Photo.1. Typical examples of bonding macrostructure.

면온도는 homologous temp.로 0.96 (1344℃)까지 내려가도 완전접합을 얻을 수 있으며 불완전 접합의 범위는 0.90 (1260℃) 까지 되었다. 주형의 회전속도 증가에 따라서 완전접합의 증가는 완만하나 불완전 접합의 범위가 크게 증가하고 있는 것은 외층재의 냉각속도 증가와 수축률이 큰 외층재의 압축 효과에 기인하는 것으로 생각되며 완전접합의 증가가 완만한 것은 외층재의 내면에 부유하여 있던 비금속개재물 등이 내층재를 통해서 원심분리될 때에 신속히 제거되어 내외층의 용착접합이 용이해지기 때문으로 추측된다.

Stokes의 법칙²⁴⁾²⁵⁾에 의하면 비금속 개재물이 용탕에서 이동하는 속도는 다음식으로 표시된다.

$$V_o = \frac{9}{2} r^2(\sigma - \rho) \cdot \frac{1}{\eta} \cdot \alpha \dots\dots\dots(2)$$

여기서

V_o : 비금속 개재물의 이동속도
(원심력에 의하여)

r : 비금속 개재물의 반지름

η : 용탕의 점성계수

σ : 용탕의 밀도

ρ : 비금속 개재물의 밀도

α : 원심가속도(ωr^2)

ω : 주형의 회전각속도

윗식에서 알 수 있듯이 주형의 회전속도가 커지면 α 가 커지므로 비금속 개재물의 이동속도가 증가하여 내외층의 용착접합을 용이하게 할 수 있다.

따라서 완전접합을 얻기 위해서는 외층재의 내면 온도, 내층재의 주입온도, 주형 회전속도 등의 주조 조건들을 알맞게 조절해야 한다.

2) 완전접합을 위한 주조조건

이종금속을 원심주조법으로 접합할 때 접합상태에 크게 영향을 미치는 인자로 외층금속의 내면 온도, 내층금속의 주입온도, 주형의 회전속도 등이 있다. 이와 같은 주조조건들이 완전접합을 이룰 수 있도록 하나의 그래프상에 표현될 수 있으면 제작현장에서 쉽게 이용할 수 있을 것으로 생각된다. 이 그래프를 접합도 (Bonding Map)라 명명하고 이를 작성하기 위한 완전접합상태의 기준을 정하면 다음과 같다.

①접합율은 95% 이상이어야 한다. 완전한 접합상태로 접합율 95%를 택했으며 이것은 Saburo등이¹⁵⁾ 양호한 상태의 접합율로 추천한 것과 일치한다.

②접합계면이 평면상이어야 한다.

③접합구역(Bonding Zone)은 관두께의 10%이내 이어야 한다.

접합구역이 크게 넓어지면 양층 재료의 기능을 충분히 발휘하지 못하며 서로 다른 특성을 가지는 이종금속을 접합하는 의미가 없어지기 때문이다.

Saburo 등은¹⁵⁾ 일률적으로 접합구역이 1mm이하인 것을 추천하고 있으나 주물의 두께차를 고려하지 않는 것이므로 타당치 않다고 생각되어 주물두께의 10%를 접합구역의 두께로 규정하였다.

④기타 주조결함이 없어야 한다.

위의 네가지 기준에 맞는 주조조건을 표시하는 접합도를 STS 304 - 주철 복합관에 대하여 나타내면 Fig 8, Fig 9와 같다. 이것들은 Fig. 3 ~Fig. 7의 결과를 종합하여 만든 것으로 L.L.P.T.(low limit of pouring temperature)는 내층금속의 최저주입온도로써 주철의 homologous temperature로 1.075를 택하였다.

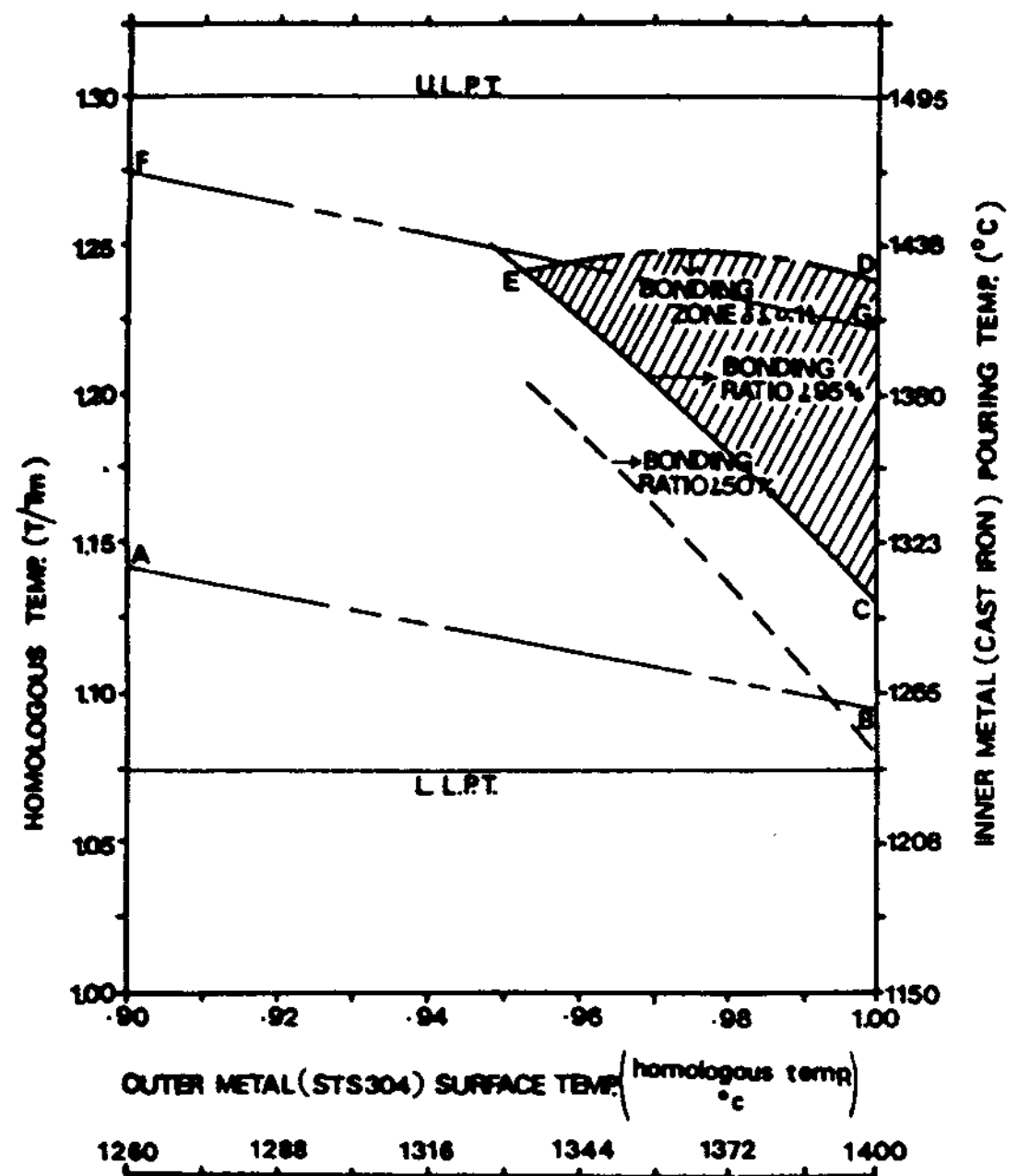


Fig. 8. Bonding map of STS 304 - Cast iron dual tube (400 rpm).

이 온도 이하로 강하되면 급격히 점성이 증가하고 유동성이 저하하여 실제 주조작업이 어려워진다. U.L.P.T(Upper Limit of Pouring Temperature)는 주입온도의 상한선으로 정한 온도이며 이 온도 이상

이 되면 금속의 심한 산화작용, 증발 및 각종 가스의 용해도 증가로 인하여 성분원소의 함량이 불완전한 주물이 되고 응고할 때 과포화 가스의 방출로 인한 주물결함이 생기므로 이 온도 이하로 주입하는 것이 일반적이다.²⁶⁾⁻²⁹⁾

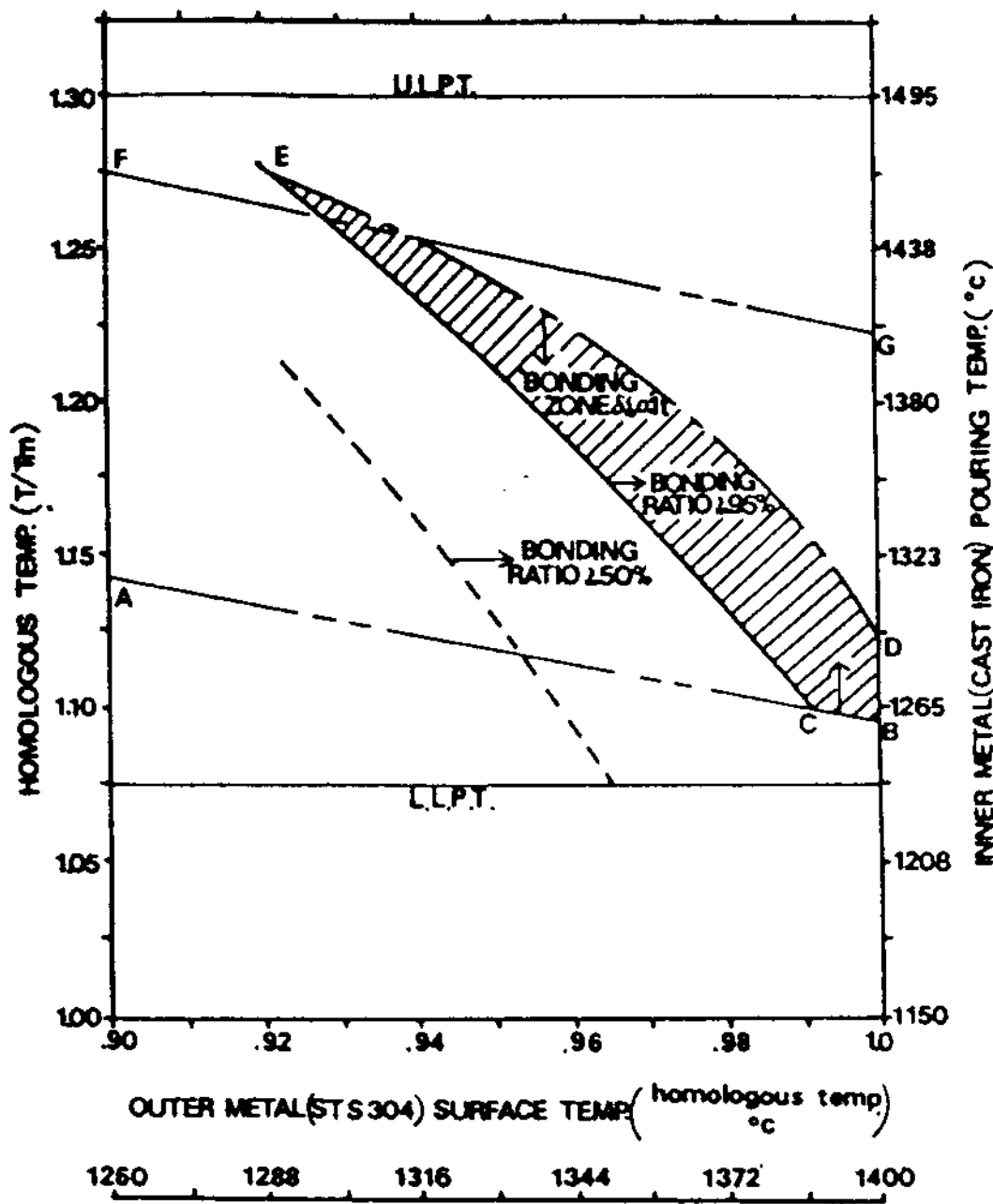


Fig. 9. Bonding map of STS 304 - cast iron dual tube (1300 rpm).

외층금속이 STS 304인 경우 내층금속인 주철의 주입에 의하여 비금속 개재물이 내층금속을 통하여 원심분리될 수 있도록 충분한 온도에 달하지 않으면 안되는 양층금속의 접촉면 온도 T_c 를 1290°C로 정하였다. 비금속 개재물의 용융점 온도는 조성에 따라서 다르지만 Saburo 등¹⁵⁾은 $SiO_2-CaO-Al_2O_3$ ($CaO/SiO_2=0.83$)의 융점이 1080°C에 이른다고 하였으며 Iwai 등은³⁰⁾ MnO 54%, SiO_2 46%인 개재물의 융점이 1280°C, MnO 43%, SiO_2 36%, Al_2O_3 21%인때 1200°C라 보고하였다. 또한 다른 보고들은³¹⁾⁻³⁵⁾ 거의 1290°C이하를 나타낸다고 하였다. 따라서 위의 접촉면 온도 T_c 가 1290°C에 이르면 대부분의 비금속 개재물이 용융점에 달하여 내층금속을 통하여 원심분리될 수 있다고 여겨지므로 최소한 접촉면 온도가 1290°C에 도달하여야 한다. 접촉면 온도 T_c 는 다음식으로 주어진다.³⁶⁾

여기서

$$T_c = \frac{T_o + \sqrt{\frac{\lambda_2 \rho_2 c_2}{\lambda_1 \rho_1 c_1}} \cdot T_i}{1 + \sqrt{\frac{X_1 \rho_2 c_2}{\lambda_1 \rho_1 c_1}}} \dots\dots(3)$$

(3)식은 내외층의 접촉부에서 순간적으로 같은 부피의 금속이 열을 주고 받은 경우를 나타내고 있다.

1290°C를 (3)식에 대입하고 표 2.의 수치를 사용하면 외층내면 온도와 내층의 주입온도와 관계는 (4)식으로 되며

$$T_i = \frac{2.88 \times 1290 - T_o}{1.88} \dots\dots(4)$$

이것을 접합도 위에 나타내면 직선 AB가 된다.

한편 직선 FG는 접촉면 온도를 1400°C로 대입했을 때의 (4)식의 직선으로써 이 온도는 외층금속 STS 304의 고상선 온도이며 외층금속이 이 온도 이상이 되면 접합구역이 급격히 넓어지는 경계이다.

곡선 ED는 접합구역이 전체시편의 10%이하가 되는 경계를 나타내며 그 이상의 온도가 되면 접합구역이 넓어져 내외층 금속의 접합의미가 없게 된다.

곡선 EC는 접합율이 95% 이상인 완전접합상태의 한계를 표시한다.

접합도(bonding map)의 CBDE로 이루어진 빗금친 부분이 정해진 주형의 회전속도 하에서 외층금속과 내층금속의 완전접합을 이루는 구역이 된다.

외층금속 STS 304와 내층금속이 주철인 경우에 주형의 회전속도를 400rpm에서 1300rpm으로 변화시키면 접합도에서 보는바와 같이 내층금속의 주입 온도 최소점 C는 점 B까지 하강하며 D점도 1410°C에서 1290°C까지 내려간다. 이것은 주형의 회전속도가 증가할 수록 더 낮은 온도에서도 완전접합이 가능하다는 것을 의미하며 외층금속 내면에 있는 비금속 개재물이 원심력의 증가로 신속히 내면쪽으로 이동했기 때문이다.

또한 주형의 회전속도 증가에 따라서 내층금속의 주입온도 범위는 넓어지고 외층금속의 내면 온도 범위도 1400°C에서 1288°C까지 완전접합이 가능하지만 내층금속의 지정된 주입온도에서는 외층금속의 내면온도 범위는 점차 좁아지고 있다. 이것은 주형의 회전속도가 빠를 수록 외층내면 온도를 좁은

온도 범위에서 조절하지 않으면 완전접합을 얻기 어렵다는 것을 뜻한다. 합을 얻기 어렵다는 것을 뜻한다. 즉 주형의 회전속도가 증가하면 내외층 금속의 넓은 온도 범위에서 완전결합이 가능하지만 접합도의 빗금부분이 좁아지므로 어느 지정된 온도에서는 상대층의 선택온도범위가 좁아지게 되어 정확한 온도 관리를 하지 않으면 완전결합을 얻기 어렵게 된다.

접합도에 관한 도표를 처음으로 보고 하거니와 이의 작성에 영향을 주는 다른 구조조건에 관한 연구는 앞으로 더 많이 행해져야 할 과제라고 생각된다.

4. 결 론

스테인리스강 - 회주철 이중복합관을 제조 개발하기 위하여 원심주조한 시편의 접합상태를 관찰하여 얻은 결과는 다음과 같다.

1) 내층재인 주철의 주입온도가 일정하면 외층재인 스테인리스강의 내면온도가 높을수록 접합률은 증가한다.

2) 외층재인 스테인리스강의 내면온도가 일정하면 내층재인 주철의 주입온도가 높을 수록 접합률은 증가한다.

3) 주형의 회전속도가 증가할수록 완전접합을 얻는 접합도의 빗금부분이 낮은 온도쪽으로 하강한다.

4) 이중금속의 접합상태를 예측하기 위하여 외층재의 내면온도, 내층재의 주입온도, 주형의 회전속도 등의 구조조건을 나타내는 접합도를 작성, 이용할 수 있다.

참고문헌

- 1.A.G.Eckhart : Brit., Pat. No. 3197(1809)
- 2.T.Watmough and J. T. Berry : Foundry, 89(1961) 96
- 3.M.C. Jones : Foundry Trade Journal, 112(1970) 1003
- 4.Tadao Noda, Shitoshi Otani and Susumu Kaneko : IMONO, 32(1960)872
- 5.京藤和彦 : 特殊鑄造法, 日刊工業社 (1968) 231
- 6.尾山久藏 : 金屬材料(1965) 75
- 7.米田健參 : J. of JSME, 67(1964) 1496
- 8.H. F. Taylor and C. L. Register : Bibliography of Centrifugal Casting, A.F.S.(1949)
- 9.本田順太郎 : 綜合鑄物, 15 (1974) 14
- 10.G. Williams : Foundry, 48 (1920) 188
- 11.J.E. Hurst : Foundry, 55(1927) 649
- 12.J.F. Wallace : Trans. A.F.S., 61 (1953)701
- 13.C.W. Briggs : Foundry, 74(1946) 96
- 14.勝田忠南 : 金屬材料, 5 (1965) 118
- 15.Sabro sugiura, K. Yamano, S. Hayakawa and H. Yamazaki : 電氣製鋼, 52(1981) 36
- 16.E. D. Mccauley : Trans. A.F. S., 68 (1960) 660
- 17.T. Takenaka, J. Akiyama and T. Arakawa : IMONO, 38 (1966) 651
- 18.崔相鎬·姜春植 : 한국주조공학회지, 8 (1988) No.2. 202~212
- 19.E.D. Mccauley : Trans. A.F.S., 68 (1960) 660
- 20.宮田保教, 鈴木俊夫, 安富義幸 : 日本金屬學會誌, 47 (1983)1004
- 21.E.C. Duerdin and R. Scheffield : British Foundryman, 69 (1976)316
- 22.G.H. Geiger, and D.R. Poirier : Transport Phenomena in Metallurgy, Addison Wesley Co. (1973) 70
- 23.京藤和彦 : “特殊鑄造法” 日刊工業新聞社(1968) 240
- 24.Masahiro Uda and Satoru Ohno : Trans National Research Institute Met., 16 (1974) 67.
- 25.L. Northcott and O.R.J. Lee : J. Inst. of Metals, 71 (1945) 93.
- 26.I. Minkoff : The Physical Metallurgy of Cast Iron, John Wiley and Sons, New York, (1983) 134.
- 27.Ostberg, G. : Trans. AIME, 212 (1958) 678.
- 28.Bag shaw.T : J.Iron Steel Inst.London, 203 (1965)160
- 29.Weinstein. M. : Trans. AIME., 227 (1963) 382.
- 30.H. Iwai : Tetsu-to-Hagane, 5 (1969) 887.
- 31.S. Parent-Simonin : Giesserei-Praxis, (1984) 333
- 32.T. Malkiewicz and S. Rudnik : J. Iron Steel Inst. 201 (1963) 33.
- 33.P.J.H. Maunder and J. A. Charles : J. Iron Steel Inst., 206(1968)705.
- 34.S. Ekerot and B. I. Klevebring : Scand. J. Metall, 3 (1974) 151.
- 35.S. Ekerot : AIME Fall Meeting on Inclusions in Steel, Cleveland, Ohio, (1970) 281.
- 36.Detlev Fuchs, Hahs Preisendanz and Peter Schuler : Giesserei, 59 (1972) 78