

논문

주강품 압탕 설계에 체적 수축을 고려한 응고해석의 적용

김지준*, 김기영**, 최정길**, 홍준표*

Application of Solidification Analysis considering Volumetric Contraction to Riser Design of Steel Castings

Ji-Joon Kim*, Ki-Young Kim**, Jeong-Kil Choi** and Chun-Pyo Hong*

Abstract

Test castings in plate, disc, and cubic shaped castings for 0.2wt.% carbon and stainless steel have been poured to examine the effects of the riser dimensions including riser neck on the casting soundness. Three empirical methods were chosen in risering of steel castings. A computer program of solidification analysis considering liquid and solidification contraction was developed to apply for riser-design calculated by using their methods in plate, disc, and cubic shaped castings, and to calculate the position and dimension of shrinkage cavity in complex shaped casting. The potential of present method has been successfully demonstrated by comparing predicted cavity shapes with those obtained in a series of experimental castings. Three empirical methods can be used in a practical way to make a rapid estimation of the minimum riser diameter, but they can not provide a criterion of casting soundness with shape and material on all occasions. The shape and position of shrinkage cavity can be successfully predicted both using the present method and using risering calculated by their methods regardless of the shape and cast material. (Received August 29, 1995)

1. 서론

상용금속은 응고시 체적 수축이 일어나므로 이를 보상해 줄 수 있는 적당한 크기의 압탕이 필요하다. 기본적인 주물의 형상에 관한 압탕 크기의 계산방법은 여러 연구자들에 의해 보고[1~4]되었으나 동일한 제품이라도 계산방법에 따라서 압탕 크기에 차이가 생겨서 결과적으로 제품의 건전성뿐만 아니라 제품 회수율에도 영향을 끼치게 된다. 특히 주강품의 경우에는 압탕의 설치가 필수 불가결하고, 또한 압탕이 비교적 크므로 후처리시 압탕의 제거에 소요되는 비용이 제조원가에서 차지하는 비중이 작지 않으며, 압탕 절단시 발생하는 섬광 및 소음으로 인하여 작업

인원의 확보에도 어려움이 많은 실정이다. 따라서 건전하고 주조 회수율이 높은 주강품의 제조를 위해서는 압탕 크기 및 형상이 최적화 되어야 한다.

응고 해석의 목적의 하나는 수축결함의 발생 위치와 그 정도를 정확하게 추정하여 주므로서 적절한 압탕 방안 설계에 의한 경비절감 및 생산성 향상에 있다. 기존의 수축공 결함 예측을 위하여 고상선 온도법[5], 급탕 거리법[6], 온도구배법[7], G/\sqrt{R} [8] 법이 이용되어져 왔다. 수축공 발생위치와 그 정도를 추정하는 방법은 널리 연구되어 왔지만, 수축공 발생의 근본적 원인인 응고 수축을 고려한 해석은 그다지 보고되고 있지 않다.

*연세대학교 금속공학과(Dept. of Metallurgical Engr., Yonsei University)

**생산기술연구원(Korea Academy of Industrial Technology)

본 연구에서는 기본 형상인 판, 원판 및 입방체 시험편을 택하여 Johns[1], Pellini[2] 및 Obata등[3]이 제안한 건전한 주물을 얻을 수 있는 최소 압탕 크기에 관한 계산식에 따라 압탕을 설계하여 주강 시험편의 주입 시험 후 건전성 여부를 판정하고, 기존의 수축공 예측법과는 다른 EasyCast를 개량하여 응고시의 체적 수축을 고려한 새로운 해석방법[9]을 이용한 계산 결과와의 비교를 통하여 주강품의 압탕 설계에의 적용성을 검토하였다.

2. 실험방법

2.1 시험편

시험편은 모듈이 1cm인 13.5×18×2.7cm의 판, 20×2.5cm의 원판 및 6×6×6cm의 입방체를 택하여 Johns[1], Pellini[2] 및 Obata등[3]이 제안한 최소 압탕 크기에 관한 계산식에 의하여 4가지로 압탕을 설계였다. 압탕 형상은 직경과 높이가 동일한 치수를 갖는 상부 개방 압탕으로 하였고 주입 후 압탕 상부에 보온재를 도포하였다. 또한 주입은 탕도, 주입구를 설치, 가압식으로 하였으며 압탕에 최후로 탕이 들어가도록 하였다. 일례로 판상 시험편의 구조방안은 Fig. 1과 같다.

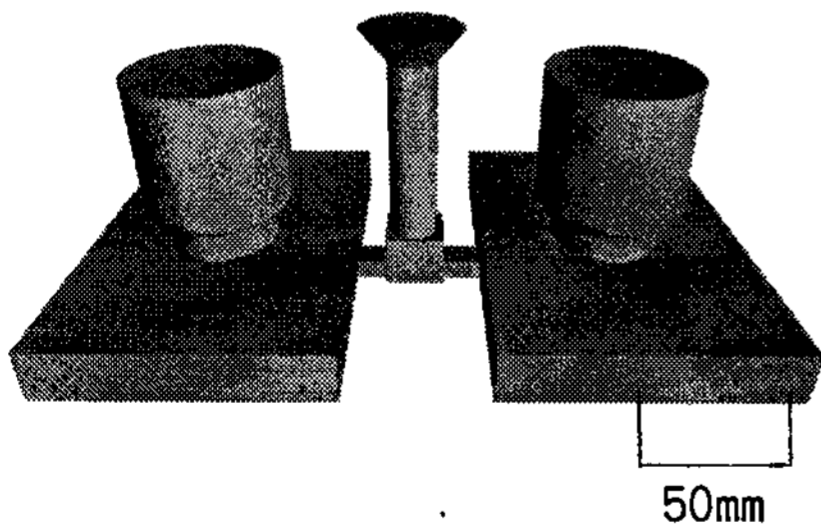


Fig. 1. Riser and gating of plate shaped casting.

주입 재질은 0.2% 탄소강 및 304 스테인레스강을 택하였고, 주입온도는 각각 1570℃, 1530℃로 하였다. 주형은 CO₂주형(인조규사 6호, 물유리 6%)을 사용하였으며, 주입 냉각후의 압탕의 수축량은 물을 이용하여 측정하였다.

2.2 압탕 크기의 계산

2.2.1 Johns의 방법[1]

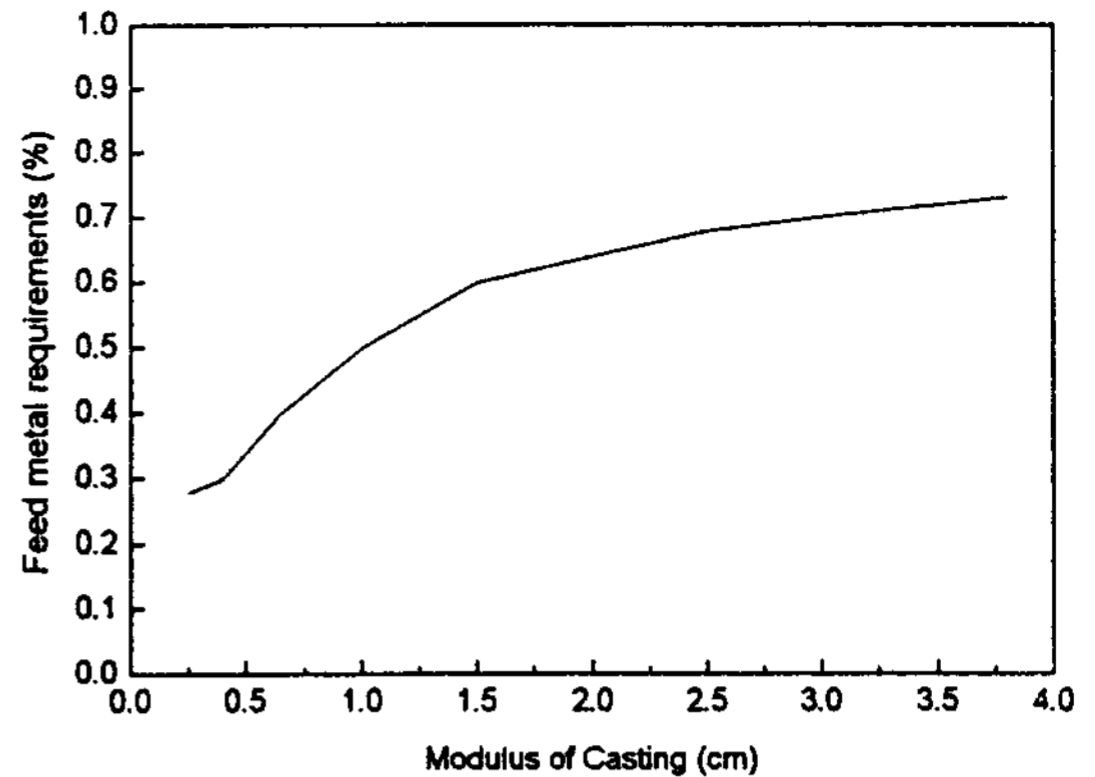


Fig. 2. Relation between feed metal requirements and casting modulus[1].

Johns방법은 상부 개방 압탕의 급탕율을 16.7%로 두고 압탕 직경의 $\frac{1}{4}$ 높이의 목부 설치와 주형의 팽창 및 제품의 모듈(체적/표면적)에 따르는 인자(F)를 고려하여 건전한 주물을 얻을 수 있는 최소 압탕의 직경 및 높이를 계산하였는데 그 계산식은 다음과 같이 주어진다[1].

$$D_R = \sqrt[3]{\frac{24FW_c}{\pi\rho}} \quad (1)$$

여기서, D_R : 압탕의 직경

$$F: \frac{V_R}{V_C} \text{ (Fig. 2)}$$

V_R, V_C : 압탕 및 주물의 체적(cm)

W_c : 주물의 중량(kg)

ρ : 강의 밀도 (kg/cm^3)

이다.

Johns의 계산식은 두가지 방법으로 나눌 수 있다. 첫번째는(Johns ①) 단순하게 판, 원판의 경우 모듈러스를 $\frac{t}{2}$ (여기서 t: 두께)로 하면 각각 1.35cm, 1.25cm로 모듈러스가 커지므로 이에 따라 압탕을 크게 하였고 압탕 목부도 교차부임을 고려하여 제품 모듈러스의 1.1배에서 1.2배를 더 고려해 주었다. 두번째는(Johns ②) 제품의 실제 표면적과 체적을 계산하여 모듈을 1cm로 보고 급탕 인자 F를 구하여 압탕 크기를 정한 것이다. 그러나 입방체의 경우는 단순법에 의하

여서도 $\frac{a}{6}$ (여기서 a: 한 변의 길이)이어서 마찬가지로

가지로 모듈러스가 1cm이므로 압탕 크기에는 변동이 없었고 압탕 목부직경만 크게 하였다.

2.2.2 Pellini의 방법[2]

Pellini의 방법은 형상계수 즉, $\frac{(L+W)}{T}$ (L, W, T는 각각 제품의 길이, 폭, 두께)에 의하여 압탕 크기를 결정하는 방법인데, 각각의 경우 Fig. 3의 상부쪽의 곡선을 택하여서 판, 원판 및 입방체의 경우에 F를 0.4, 0.35, 1.1로 하여 압탕크기를 계산하였다.

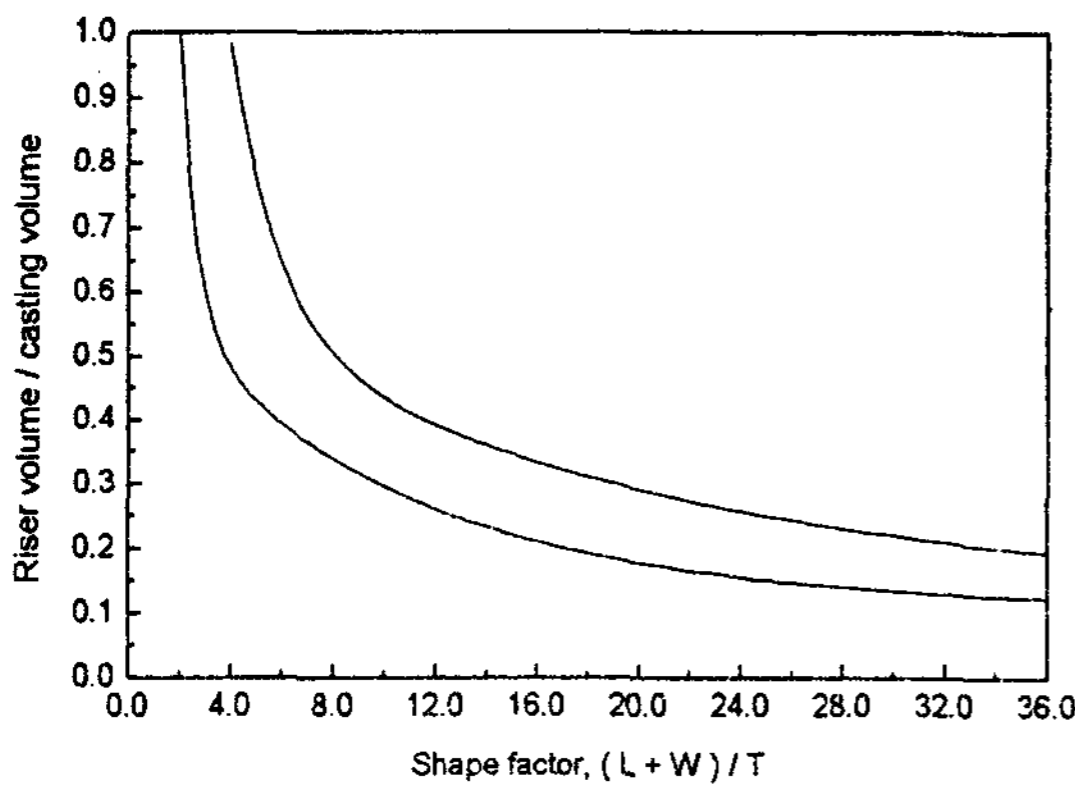


Fig. 3. Relation of casting shape factor to minimum effective riser volume as a function of casting volume[2].

2.2.3 Obata의 방법[3]

Obata의 방법은 Adams-Taylor식[4]을 발전시킨 것인데 이 방법의 특징은 재질에 따른 수축률을 고려해준 것이나, 식이 복잡한 결점이 있다. 계산식은 다음과 같고, Fig. 4에 Obata식에 따른 주물의 형상인자와 제품의 모듈러스와의 관계(K=1, β=0.05)를 나타내었다.

$$F_{ct} = \frac{A_{ct}}{V_c^{2/3}} = \frac{\frac{\pi}{4} + \pi K}{\left(\frac{\pi K}{4}\right)^{2/3}} \frac{F^{2/3}}{(1-\beta)F - \beta} + \frac{\pi^{1/3}}{4} \left(\frac{F}{K}\right)^{2/3} \quad (2)$$

- 여기서, F_{ct} : 주물의 형상인자
- A_{ct} : 압탕 제품 접촉면을 포함하는 주물의 총 표면적(cm)
- K : 압탕의 직경 높이 비

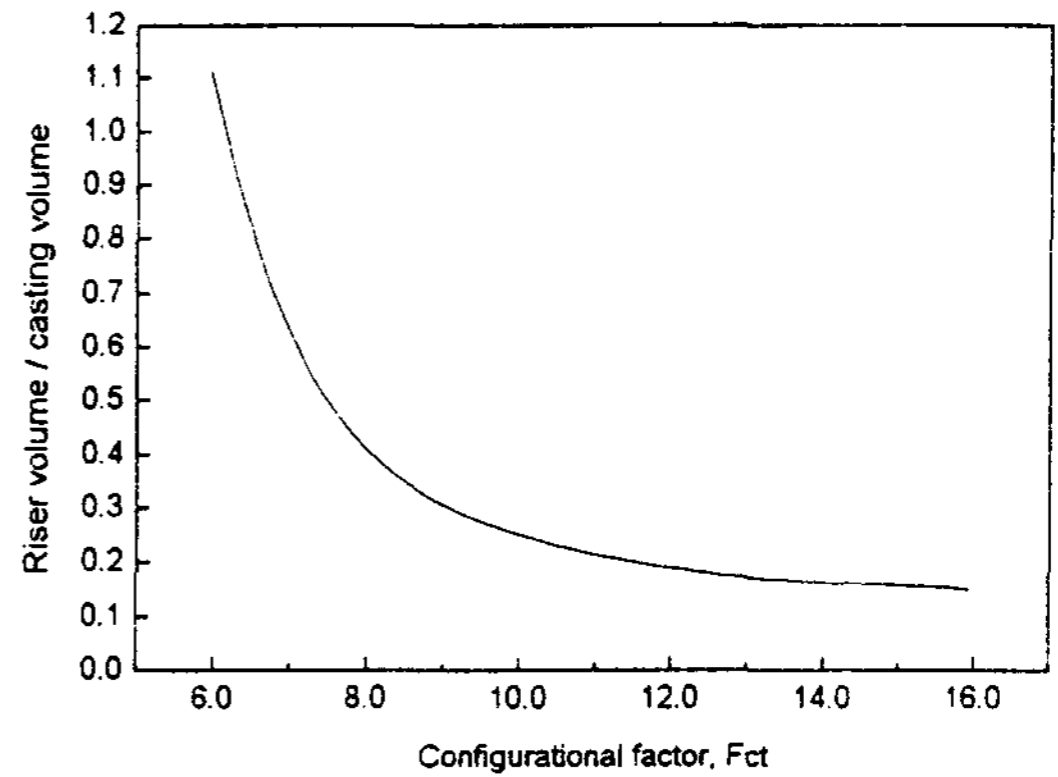


Fig. 4. Relation between configurational factors and casting modulus(K=1 and β=0.05)[3].

β: 응고 수축률(탄소강의 경우 0.05, 스테인레스강의 경우 0.06)

이다.

위와 같은 압탕의 계산식에 의하여 구한 판, 원판 및 입방체에 대한 압탕의 직경, 높이, 목부의 직경 및 높이, 압탕의 체적 및 회수율은 Table 1에 정리하여 나타내었다.

3. 해석방법

에너지 보존법칙으로 부터 내절점법에 의한 전진 개량 차분식을 유도하여 직교 좌표계에서 임의의 요소의 Δt 이후의 요소내의 온도를 양적 해법으로 계산하였다. 전진차분법을 사용하여 시간 스텝의 안정 조건을 고려하였다. 응고잠열의 평가를 위해서 온도 계산시 고상율의 증가에 따라 응고잠열의 방출량을 계산하여 온도를 회복시키는 온도회복법[10]을 채택하였다. 열전달 해석 프로그램에 응고 수축 알고리즘[9]을 도입하였으며 각 시간에서의 물질 보존의 법칙으로 보정하였다. 각 요소는 크기에 차이가 있기 때문에 제어체적법이 사용되어 졌다. 해석에 사용되어진 열물성치는 Table 2에 나타내었다.

4. 결과 및 고찰

4. 1 판상형 시험편의 주입시험 및 계산결과
판상형 주강 시험편(크기 : 13.5×18×2.7cm)에 압탕을 Johns[1], Pellini[2] 및 Obata등[3]

의 계산식에 의하여 설치하여 주입한 후 건전성 여부를 판정하고, 응고시의 체적 수축을 고려한 해석결과와 비교하였다. Fig. 5와 6에는 탄소강 및 스테인레스강 판상형 시험편의 중심으로 수직 절단한 결과를 각각 나타내었다. 또한 주입결과와 응고시 체적 팽창을 고려하여 해석한 결과를 Table 3에 나타내었고 판상형 시험편의 응고시간

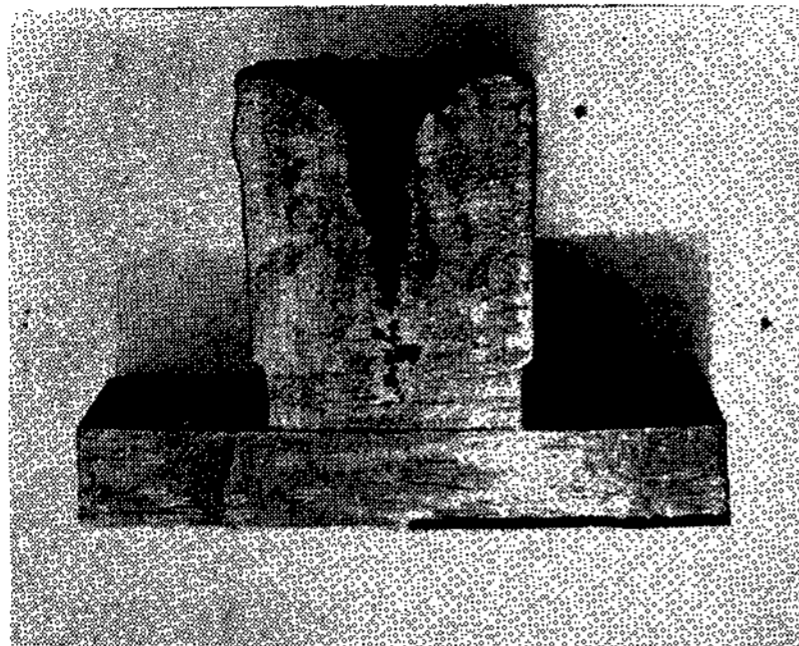
과 수축공 분포를 Fig. 7과 8에 나타내었다.본 해석에서는 shrinkage potential[11]은 탄소강 5%, 스테인레스강 6%를 각각 사용하였고 $f_{shrinkage}$ [9]는 탄소강 0.7, 스테인레스강 0.1로 하였다. 탄소강판 시험편의 경우, 스테인레스강판에 비하여 주물 수축량이 작기 때문에 4가지 방안 모두 제품에 결함이 없는 건전한 주물을 얻을 수 있었

Table 1. Geometric data of risering in simple shaped castings

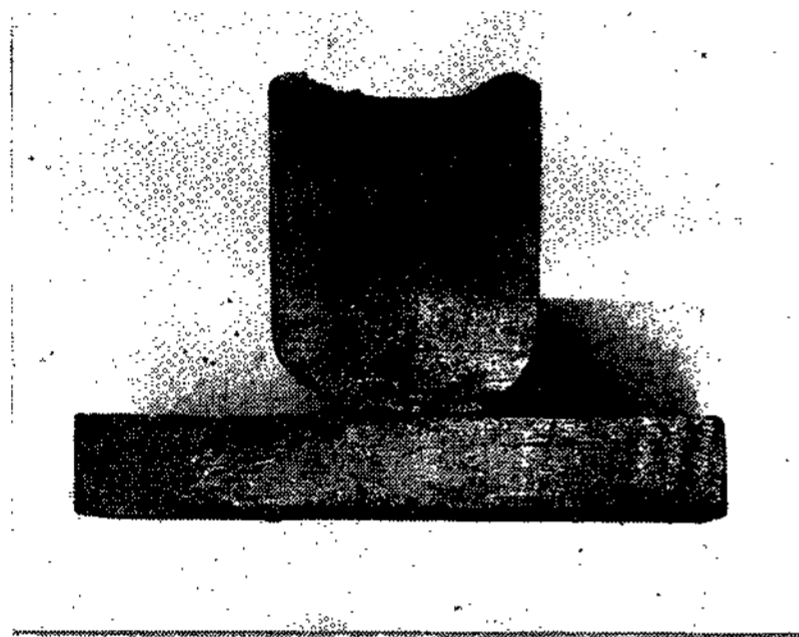
Shape	Material	Method	No	Riser Diameter & Riser Height (cm)	Neck Diameter / Neck Height (cm)	Riser Volume (cm ³)	Recovery (%)
Plate	0.2%C Steel	Johns①	PC1	7.8	7.1/1.9	372.0	63.8
		Johns②	PC2	7.5	4.4/1.9	331.0	66.5
		Pellini	PC3	6.9	—	258.0	71.8
		Obata	PC4	6.6	—	226.0	77.4
	AISI 304	Johns①	PC1	7.8	7.1/1.9	372.0	63.8
		Johns②	PC2	7.5	4.4/1.9	331.0	66.5
		Pellini	PC3	6.9	—	258.0	71.8
		Obata	PC4	6.8	—	247.0	72.6
Disc	0.2%C Steel	Johns①	PC1	8.2	6.6/2.0	433.0	64.4
		Johns②	PC2	7.9	4.4/2.0	387.0	67.0
		Pellini	PC3	7.0	—	269.0	74.5
		Obata	PC4	6.7	—	238.0	76.7
	AISI 304	Johns①	PC1	8.2	6.6/1.9	433.0	64.4
		Johns②	PC2	7.9	4.4/1.9	387.0	67.0
		Pellini	PC3	7.0	—	269.0	74.5
		Obata	PC4	6.9	—	258.0	75.3
Cubic	0.2%C Steel	Johns①	PC1	5.2	5.2/1.3	110.0	66.3
		Johns②	PC2	5.2	4.4/1.3	110.0	66.3
		Pellini	PC3	6.7	—	238.0	47.8
		Obata	PC4	6.7	—	238.0	47.8
	AISI 304	Johns①	PC1	5.2	5.2/1.3	110.0	66.3
		Johns②	PC2	5.2	4.4/1.3	110.0	66.3
		Pellini	PC3	6.7	—	238.0	47.8
		Obata	PC4	6.8	—	247.0	46.9

Table 2. Thermophysical properties of 0.2wt.% carbon steel, stainless steel and sand mold[12]

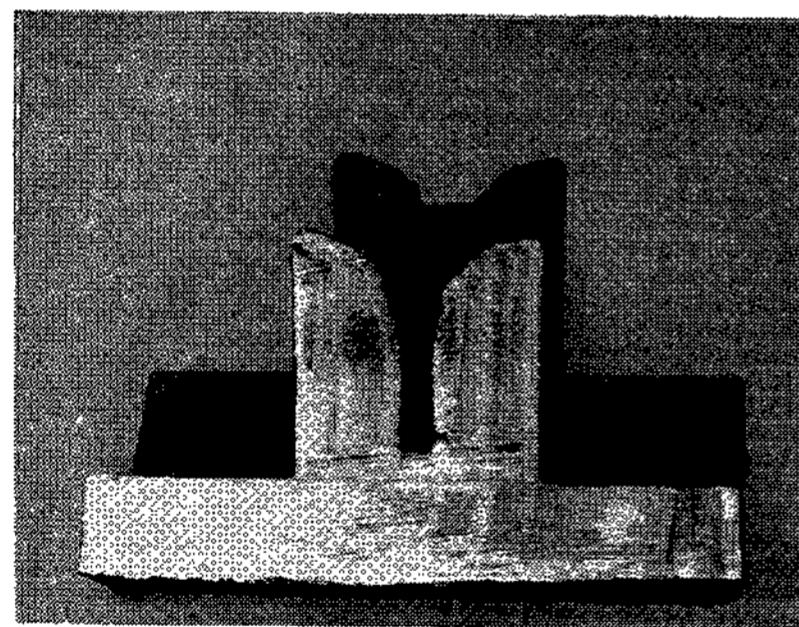
	ρ (g/cm ³)	C_p (cal/g°C)	k (cal/cm°C)	L (cal/g)	T_L (°C)	T_s (°C)
0.2% carbon steel	7.5	0.15	0.080	65	1483	1460
AISI 304	7.75	0.16	0.076	64	1454	1399
sand mold	1.65	0.20	0.003	0.01	—	—



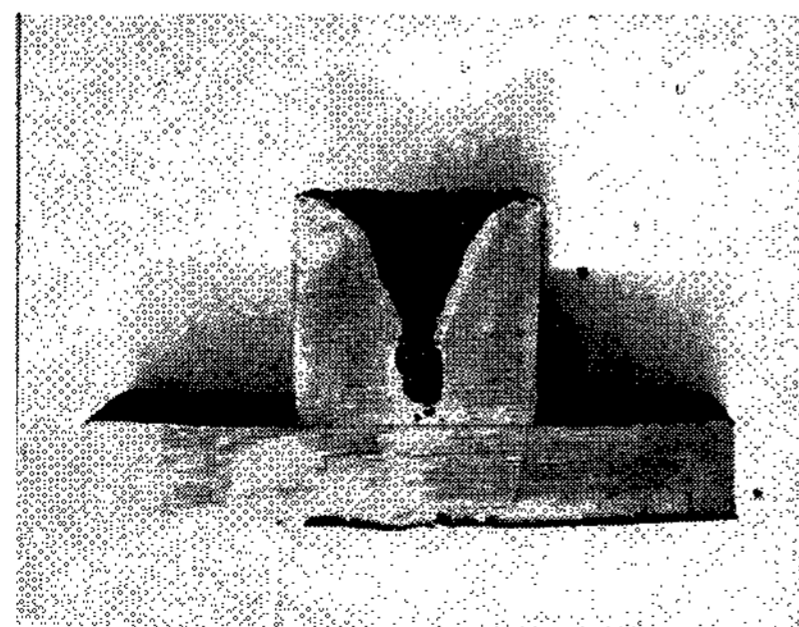
a



b

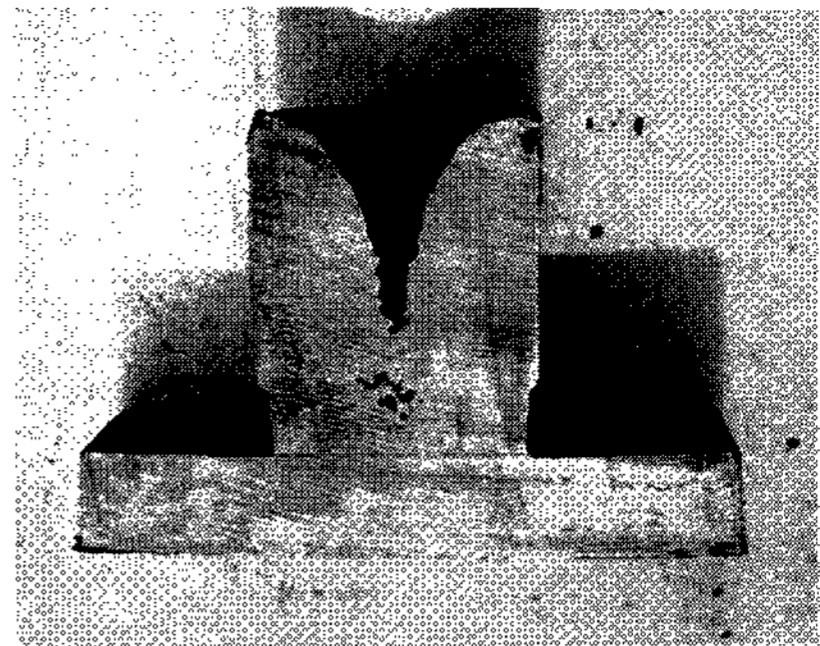


c

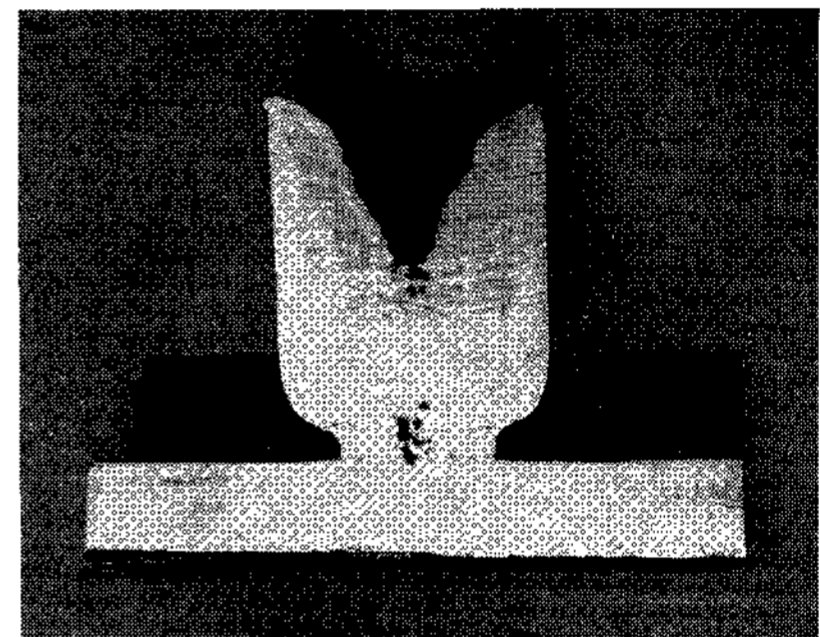


d

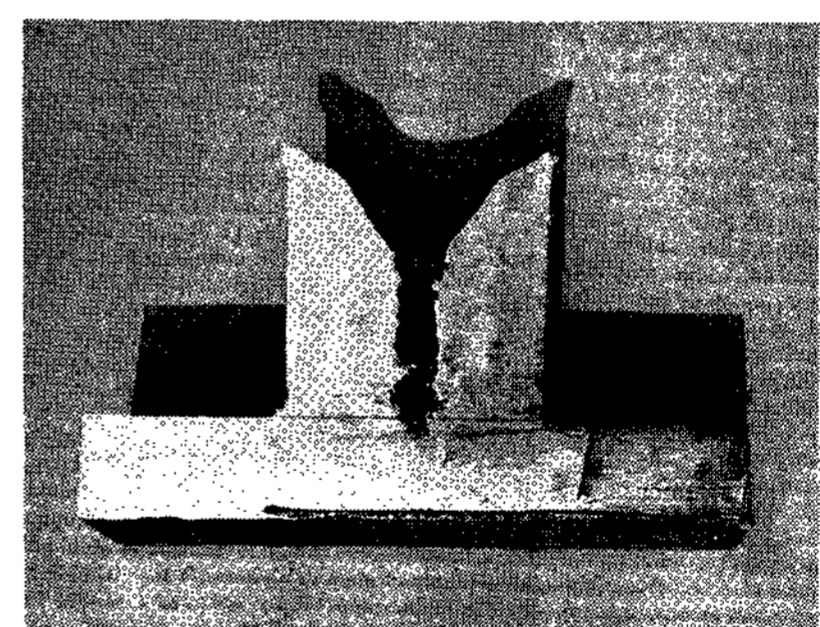
Fig. 5. Formation of shrinkage cavities in plate shaped 0.2wt.% C steel castings solidified in a sand mold; (a) Johns ①, (b) Johns ②, (c) Pellini, and (d) Obata method.



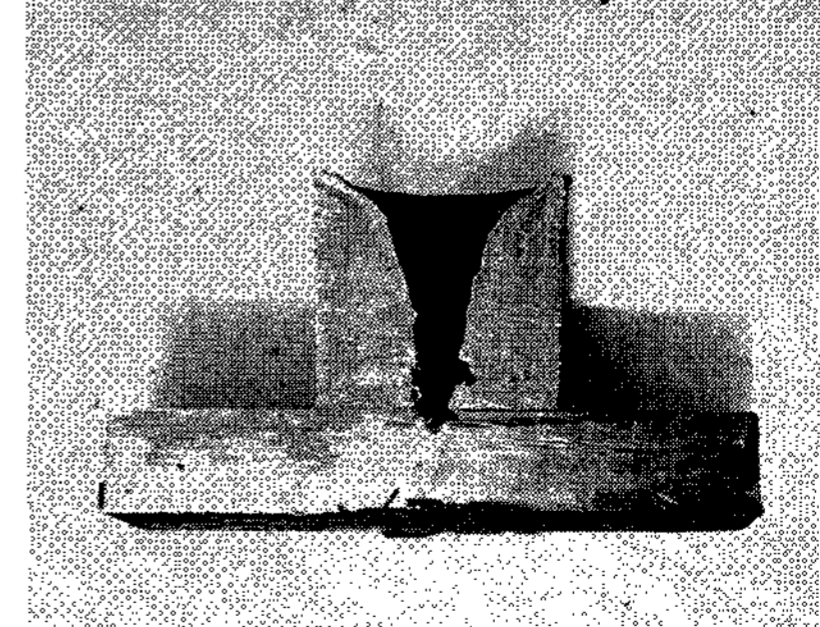
a



b



c



d

Fig. 6. Formation of shrinkage cavities in plate shaped stainless steel castings solidified in a sand mold; (a) Johns ①, (b) Johns ②, (c) Pellini, and (d) Obata method.

Table 3. Experimental and calculated results of plate shaped castings

No	Riser Diameter (cm)	Riser Volume (cm ³)	Recovery (%)	Riser Contraction (%)	Soundness of Experimental Specimen	Calculated Final Solidification Time(sec)	Soundness of Calculated Result
PC1	7.8	372.0	63.8	5.3	sound	328.40	sound
PC2	7.5	331.0	66.5	5.3	sound	265.04	sound
PC3	6.9	258.0	71.8	5.8	sound	292.52	sound
PC4	6.6	226.0	77.4	9.7	sound	273.67	sound
PS1	7.8	372.0	63.8	9.9	sound	329.23	sound
PS2	7.5	331.0	66.5	8.9	poor	240.16	poor
PS3	6.9	258.0	71.8	18.3	poor	285.08	poor
PS4	6.8	247.0	72.6	17.2	poor	263.11	poor

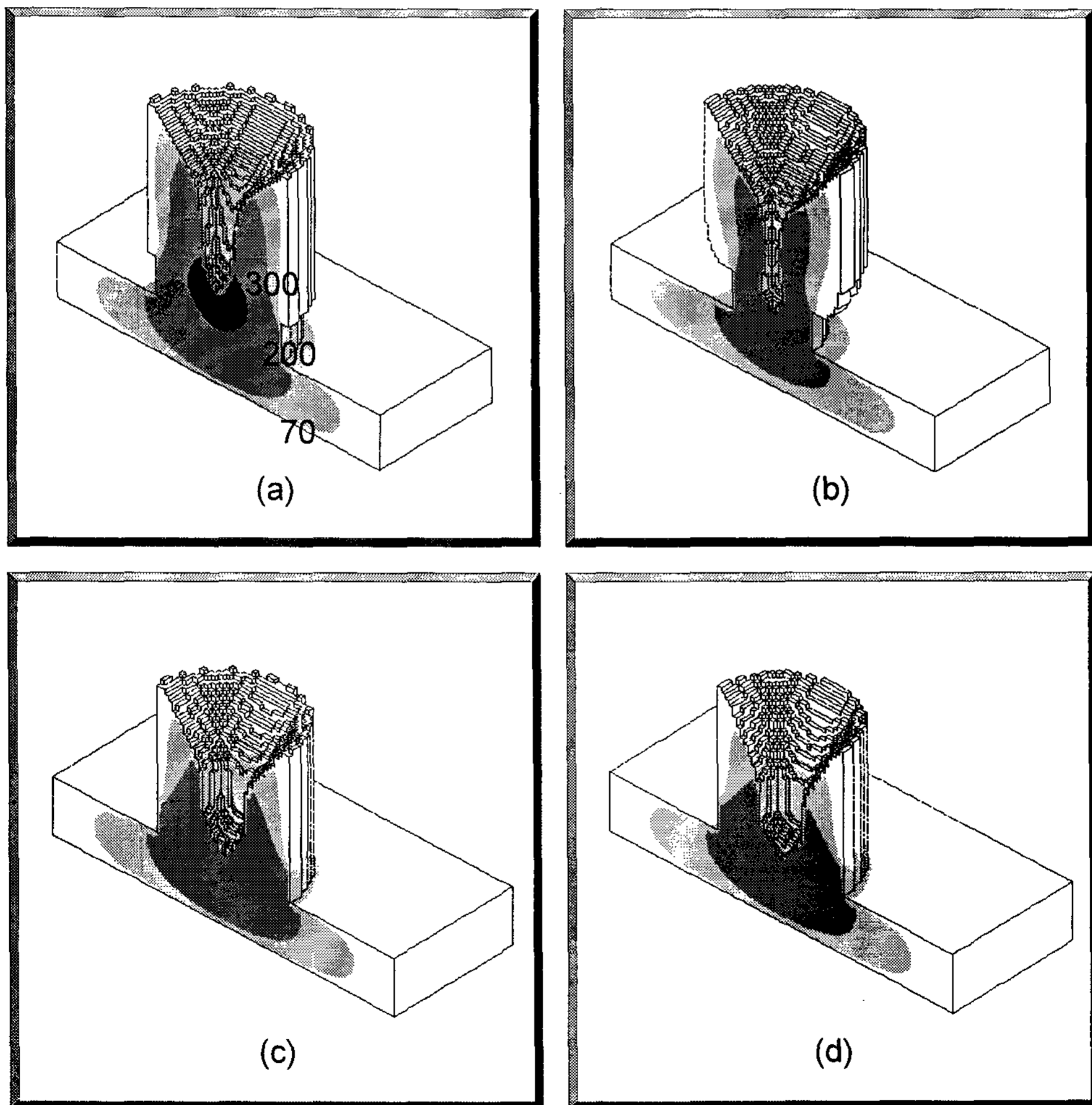


Fig. 7. Prediction of shrinkage cavities and contour of solidification time in plate shaped 0.2wt.% C steel castings solidified in a sand mold; (a) Johns ①, (b) Johns ②, (c) Pellini, and (d) Obata method.

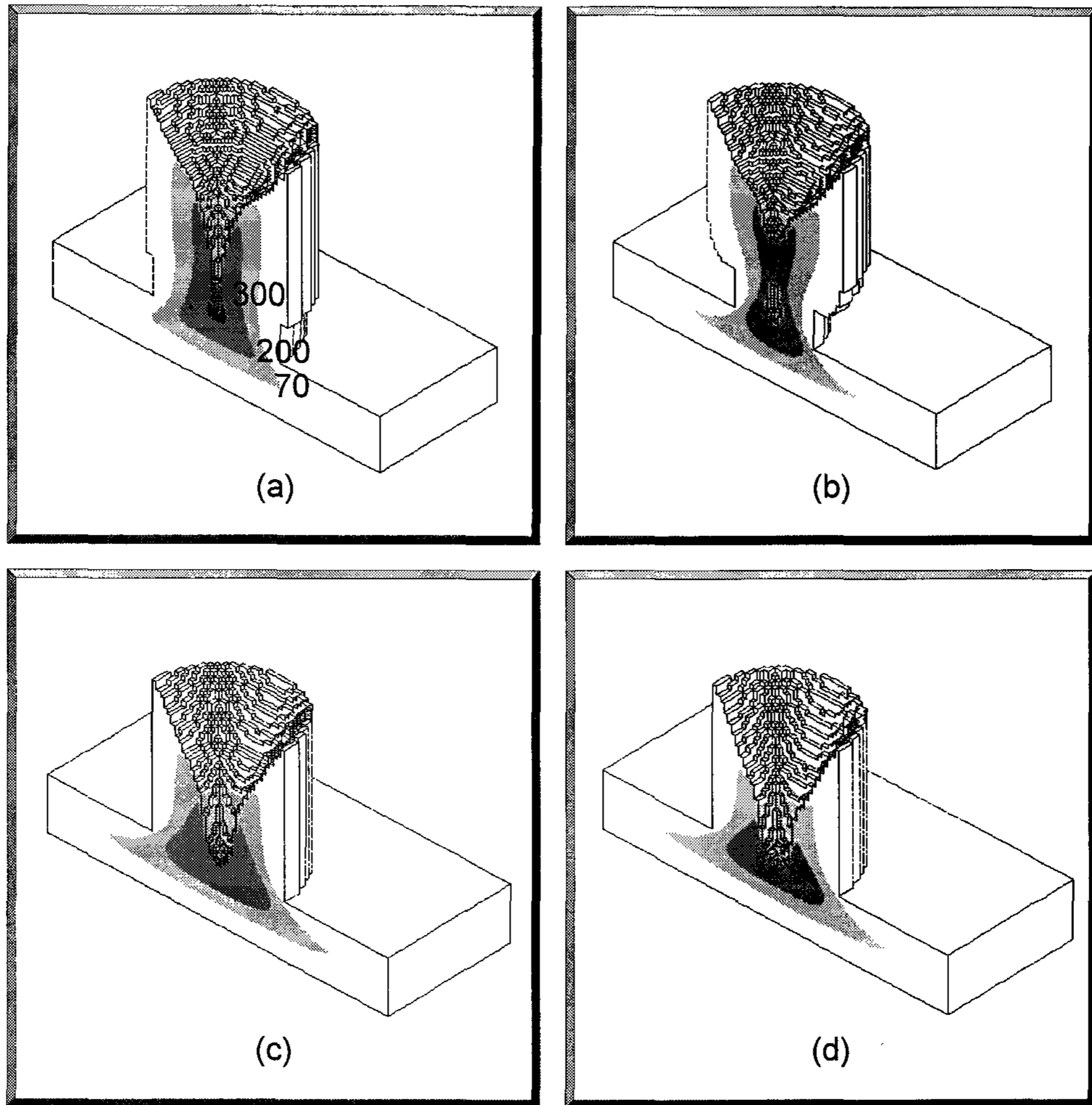


Fig. 8. Prediction of shrinkage cavities and contour of solidification time in plate shaped stainless steel castings solidified in a sand mold; (a) Johns ①, (b) Johns ②, (c) Pellini, and (d) Obata method.

으며 그 중에서도 회수율이 74.4%인 Obata 방안(PC4)이 가장 좋은 방안이었다. 탄소강판 시험편의 경우 주조시험 및 해석결과를 비교하여 보면 Fig. 5와 7에서처럼 $f_{shrinkage}$ 는 탄소강 0.7일 때 서로 잘 일치하며, Johns ②방안에서는 주조 시험에서는 내부 수축공이 발생하였지만 응고 해석 결과에서는 외부수축공의 크기가 목부의 영향에 의해 단절되어지지 않은 차이가 있었다.

스테인레스강판 시험편의 경우 Johns ①방안(PS1)만이 건전한 주물을 얻을 수 있었으며, 이때의 회수율은 63.8%이었다. 이는 스테인레스강판의 수축율은 탄소강판의 수축율보다 상대적으로 크므로 탄소강판의 경우보다 큰 압탕이 필요

로 하여 Johns ②, Pellini, Obata 방안(PS2~PS4)은 건전한 주물을 얻을 수 없었다. 수축율은 Johns나 Pellini의 식에서는 고려해 줄 수가 없으나 Obata의 식(PS4)에서는 이를 고려해 줄 수 있어서 수축율을 6%로 계산하여 압탕크기를 구한 결과 탄소강의 경우에는 압탕의 체적은 226.0cm³보다 약간 큰 247.0cm³였으나 역시 부적당하였다. 해석 결과에서도 Johns의 ①방안만이 건전한 결과를 나타내고 있으며, 이는 주물재질의 영향을 고려해준 $f_{shrinkage}$ 와 shrinkage potential을 적절히 고려해 주었기 때문이다.

Johns방안의 탄소강 및 스테인레스강 해석결과(PC1, PC2, PS1 및 PS2)는 Pellini 및 Obata

방안에 비해 압탕 및 주물의 체적이 크지만 최종 응고시간이 상대적으로 더 빠르며 목부의 설치로 인하여 압탕 절단시에 소요되는 비용이 절감되어 효과적이다.

4.2 원판 시험편의 주입시험 및 계산결과

원판 시험편(크기 : 직경 20×2.5cm)의 압탕 크기 및 목부설치에 따른 주조제품의 건전성 여부를 판정하고, 응고시의 체적 수축을 고려한 해석결과와 비교하였다. 원판형 시험편의 주입시험 결과와 계산결과를 Table 4에 나타내었고 Fig. 9 와 10에는 탄소강 및 스테인레스강 판상형 시험편의 중심으로 수직 절단한 결과를 각각 나타내었다. 또한 응고시 체적 팽창을 고려하여 해석한 원판 시험편의 온도 및 수축공 분포를 Fig. 11과 12에 나타내었다. 탄소강 원판 시험편(DC1~DC4)은 판상형 시험편과 같이 4가지 방안 모두 건전한 주물을 얻을 수 있었으며 회수율은 Obata의 방안이 76.7%로 가장 좋았다. 그러나 스테인레스강의 경우는 Johns방안 ①방안만이 건전한 주물을 얻을 수 있었으며 이때의 회수율은 64.4%이었다. Johns의 방안 ①의 경우에는 수축공이 위와 연결되어 압탕 설치가 적절하였으나, 방안②의 경우에는 수축공이 상부에서 계속 연결되지 않고 압탕 목부에 2차 수축공이 생겼으며 이는 압탕 목부 주위가 축열의 영향으로 압탕 하부 쪽보다 응고가 지연되었기 때문이다. 주조시험 및 해석결과를 비교하여 보면 서로 잘 일치하며, 해석 결과에서도 탄소강 원판의 경우 4가지 방안 모두 압탕이 주물의 수축을 충분한 보

상할 수 있었지만 스테인레스강 원판의 경우는 Johns ① 방안만이 건전한 주물을 얻을 수 있었다.

4.3 입방체 시험편의 주입시험 및 계산 결과

입방체 시험편(크기 : 6×6×6cm)의 압탕 계산방법에 따른 주조제품의 건전성여부를 판정하고, 응고시의 체적 수축을 고려한 해석결과와 비교하였다. 입방체 시험편의 주입 시험한 결과와 해석 결과를 Table 5 에 나타내었고 Fig. 13과 14에는 탄소강 및 스테인레스강 입방체 시험편의 중심으로 수직 절단한 결과를 각각 나타내었다. 또한 응고시 체적 팽창을 고려하여 해석한 입방체 시험편의 응고시간 및 수축공 분포를 Fig. 15와 16에 나타내었다. 해석 및 시험 결과는 잘 일치하였으며, 입방체 시험편은 판상형 및 원판형 결과와는 달리 탄소강과 스테인레스강 모두 Johns의 ①, ②방안은 부적절하였고 Obata와 Pellini의 식으로는 건전한 주물을 얻을 수 있는데 입방체는 단부 효과가 매우 작으므로 압탕의 급탕 효과가 작아서 회수율은 모두 50%미만이었다.

압탕의 급탕율은 건전한 주물이 얻어진 경우 탄소강 재질에서는 판 시험편이 6.5%, 원판 시험편이 7.1%, 입방체 시험편이 5.0%이었고, 스테인레스강 재질에서는 판 시험편이 9.9%, 원판 시험편이 13.2%, 입방체 시험편이 8.5%으로 응고 수축율이 큰 스테인레스강이 탄소강보다 급탕율이 좋으며, 시험편 형상에서는 단부 효과가 가장 큰 원판 시험편이 가장 좋았다. 단순 형상 뿐

Table 4. Experimental and calculated results of disc shaped castings

No	Riser Diameter (cm)	Riser Volume (cm ³)	Recovery (%)	Riser Contraction (%)	Soundness of Experimental Specimen	Calculated Final Solidification Time(sec)	Soundness of Calculated Result
DC1	8.2	433.0	64.4	5.9	sound	330.47	sound
DC2	7.9	387.0	67.0	6.3	sound	262.51	sound
DC3	7.0	269.0	74.5	8.3	sound	291.95	sound
DC4	6.7	238.0	76.7	7.7	sound	273.21	sound
DS1	8.2	433.0	64.4	13.2	sound	330.21	sound
DS2	7.9	387.0	67.0	10.8	poor	229.50	poor
DS3	7.0	269.0	74.5	11.6	poor	277.46	poor
DS4	6.7	258.0	75.3	16.5	poor	252.01	poor

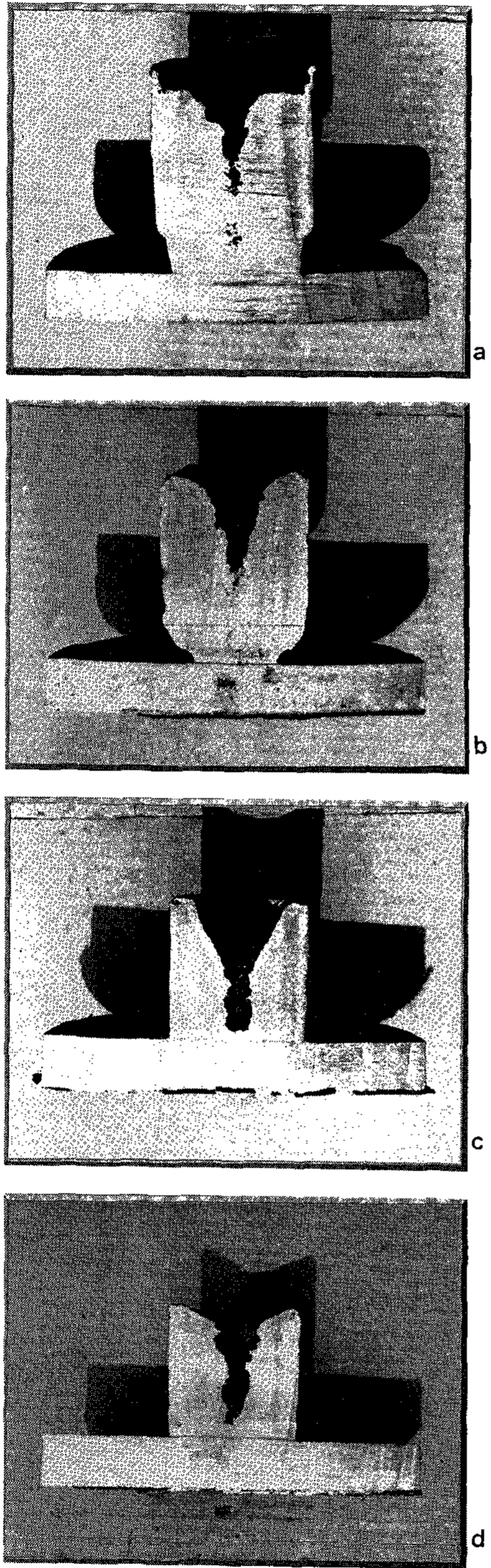


Fig. 9. Formation of shrinkage cavities in disc shaped 0.2wt.% C steel castings solidified in a sand mold; (a) Johns ①, (b) Johns ②, (c) Pellini, and (d) Obata method.

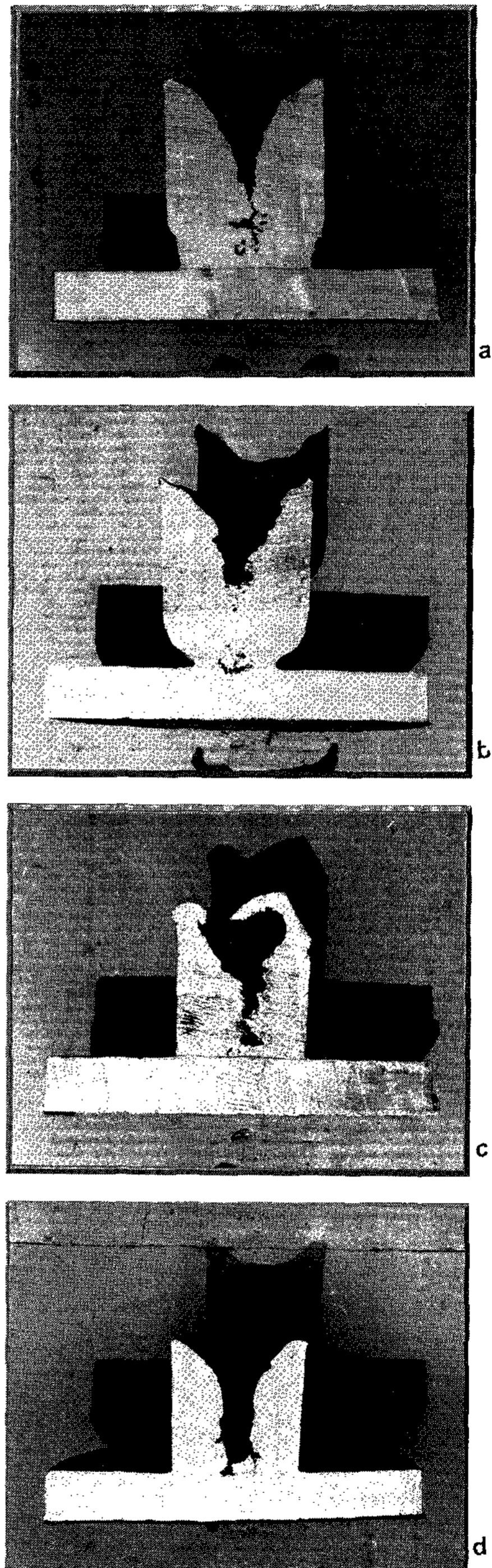


Fig. 10. Formation of shrinkage cavities in disc shaped stainless steel castings solidified in a sand mold; (a) Johns ①, (b) Johns ②, (c) Pellini, and (d) Obata method.

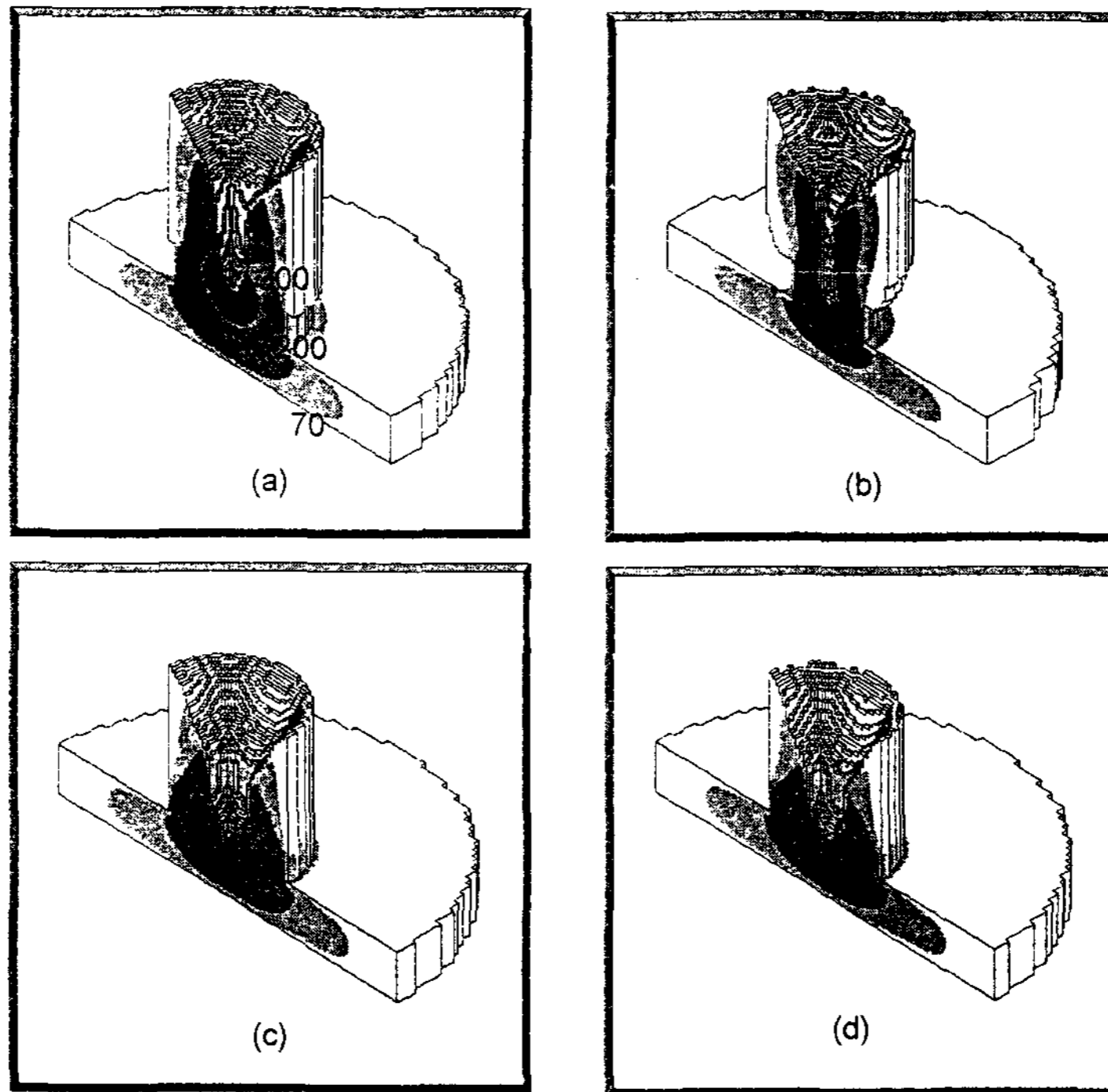


Fig. 11. Prediction of shrinkage cavities and contour of solidification time in disc shaped 0.2wt.% C steel castings solidified in a sand mold; (a) Johns ①, (b) Johns ②, (c) Pellini, and (d) Obata method.

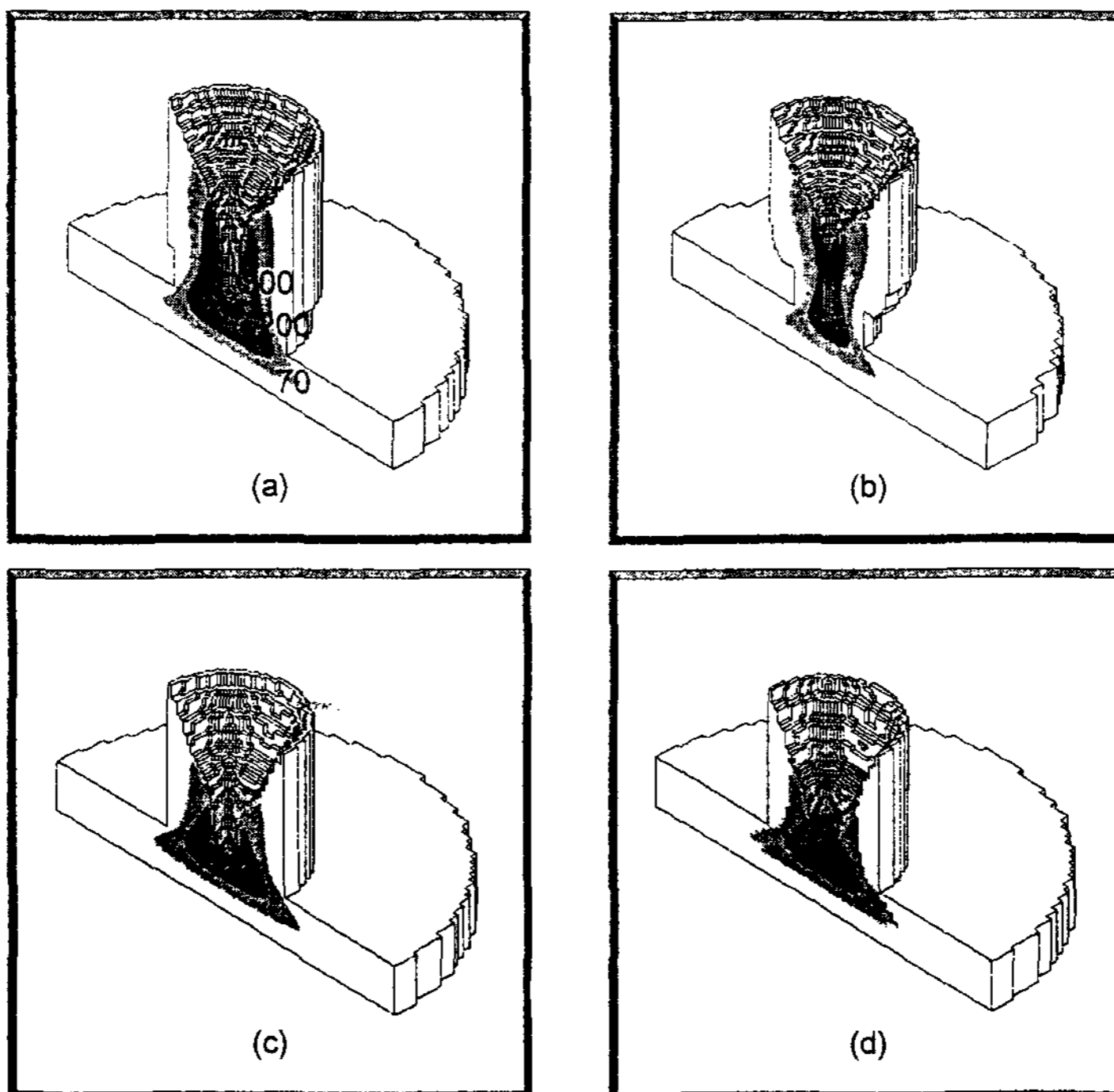


Fig. 12. Prediction of shrinkage cavities and contour of solidification time in disc shaped stainless steel castings solidified in a sand mold; (a) Johns ①, (b) Johns ②, (c) Pellini, and (d) Obata method.

Table 5. Experimental and calculated results of cubic shaped castings

No	Riser Diameter (cm)	Riser Volume (cm ³)	Recovery (%)	Riser Contraction (%)	Soundness of Experimental Specimen	Calculated Final Solidification Time(sec)	Soundness of Calculated Result
CC1	5.2	110.0	66.3	7.3	poor	175.23	poor
CC2	5.2	110.0	66.3	7.3	poor	167.02	poor
CC3	6.7	238.0	47.8	5.3	sound	226.29	sound
CC4	6.7	238.0	47.8	4.8	sound	226.29	sound
CS1	5.2	110.0	66.3	6.3	poor	174.46	poor
CS2	5.2	110.0	66.3	6.8	poor	167.72	poor
CS3	6.7	238.0	47.8	8.6	sound	213.18	sound
CS4	6.8	247.0	46.9	8.5	sound	213.18	sound

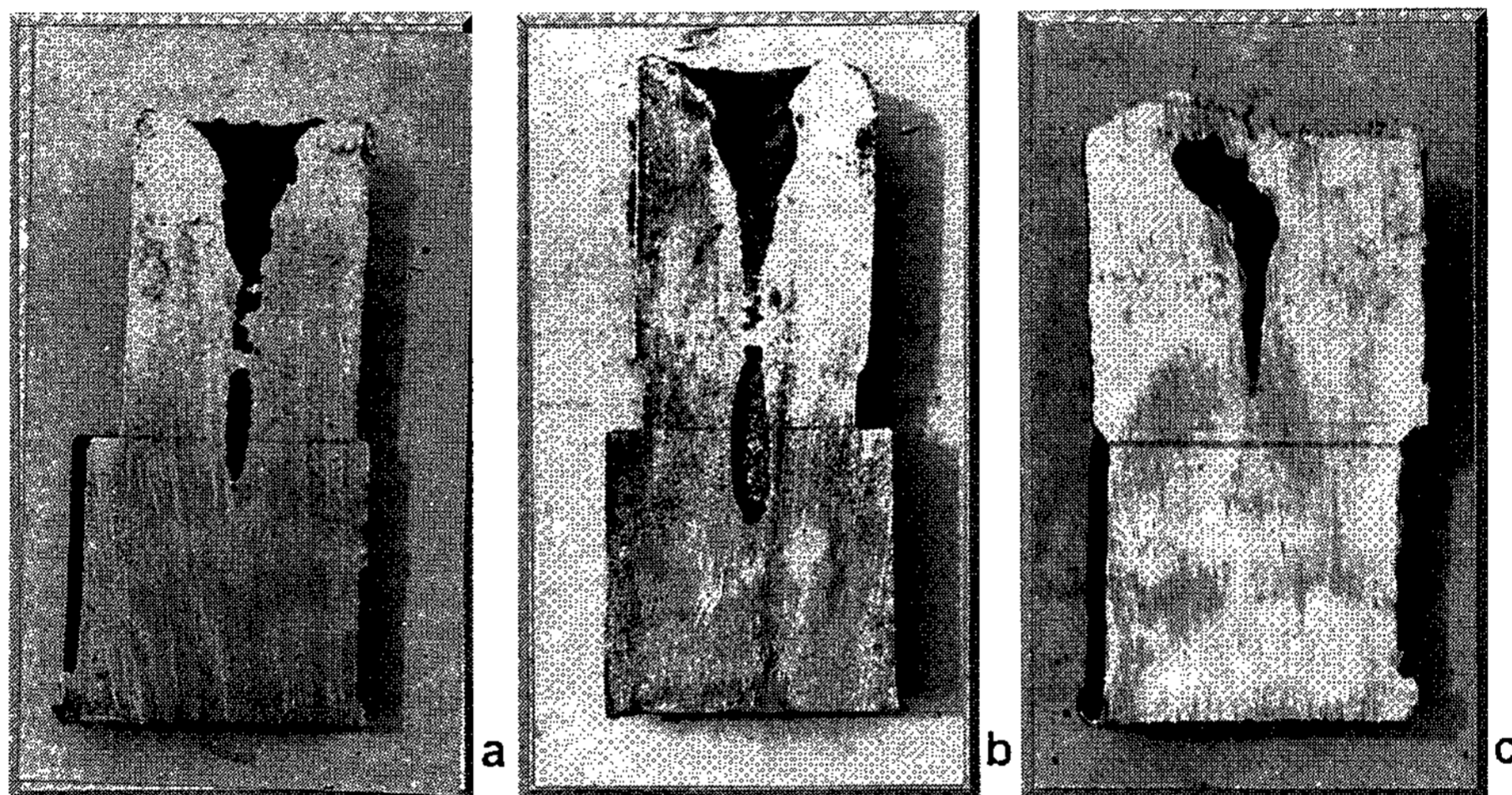


Fig. 13. Formation of shrinkage cavities in cubic shaped 0.2wt.% C steel castings solidified in a sand mold; (a) Johns ①, (b) Johns ②, and (c) Pellini and Obata method.

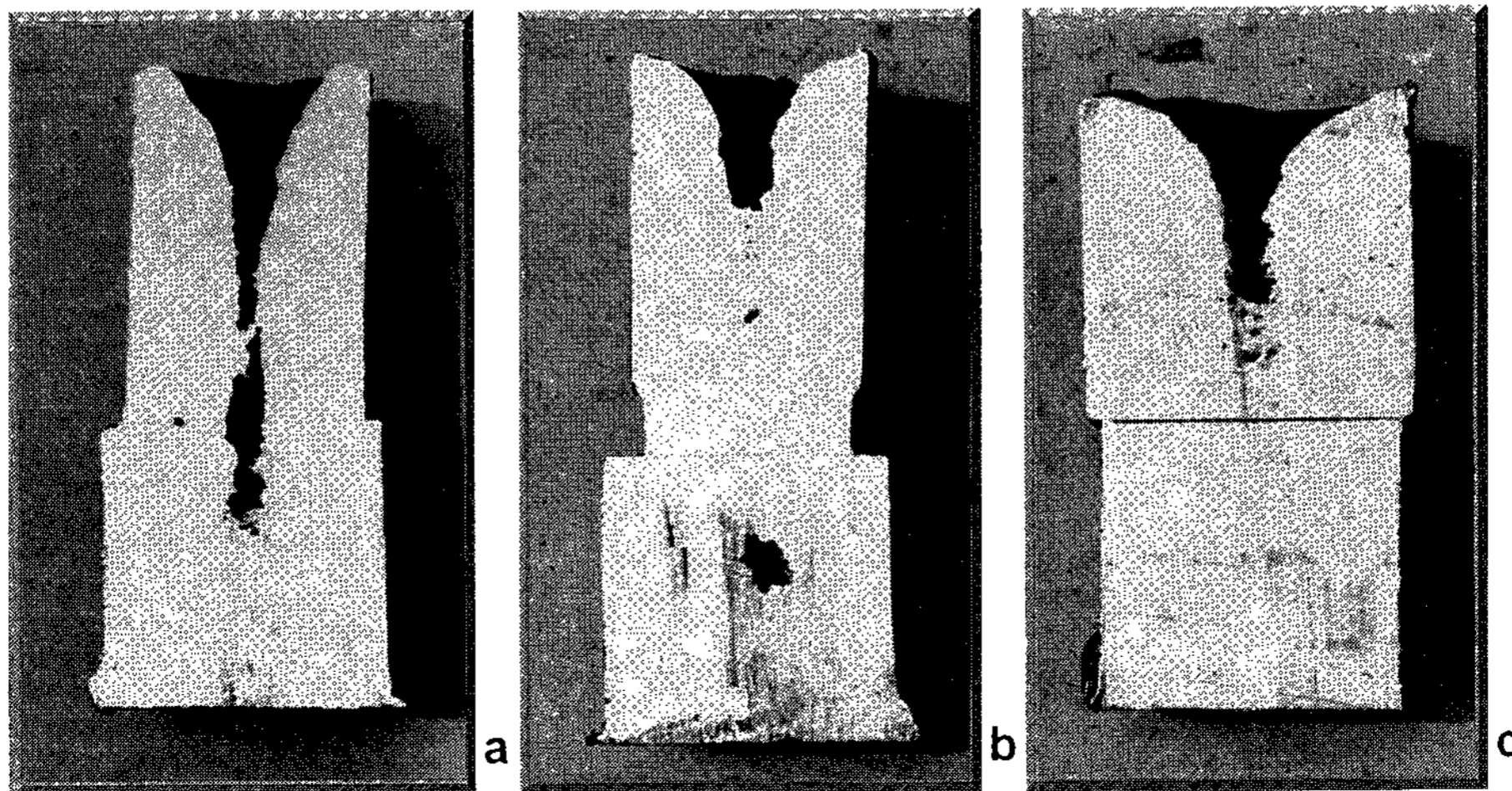


Fig. 14. Formation of shrinkage cavities in cubic shaped stainless steel castings solidified in a sand mold; (a) Johns ①, (b) Johns ②, and (c) Pellini and Obata method.

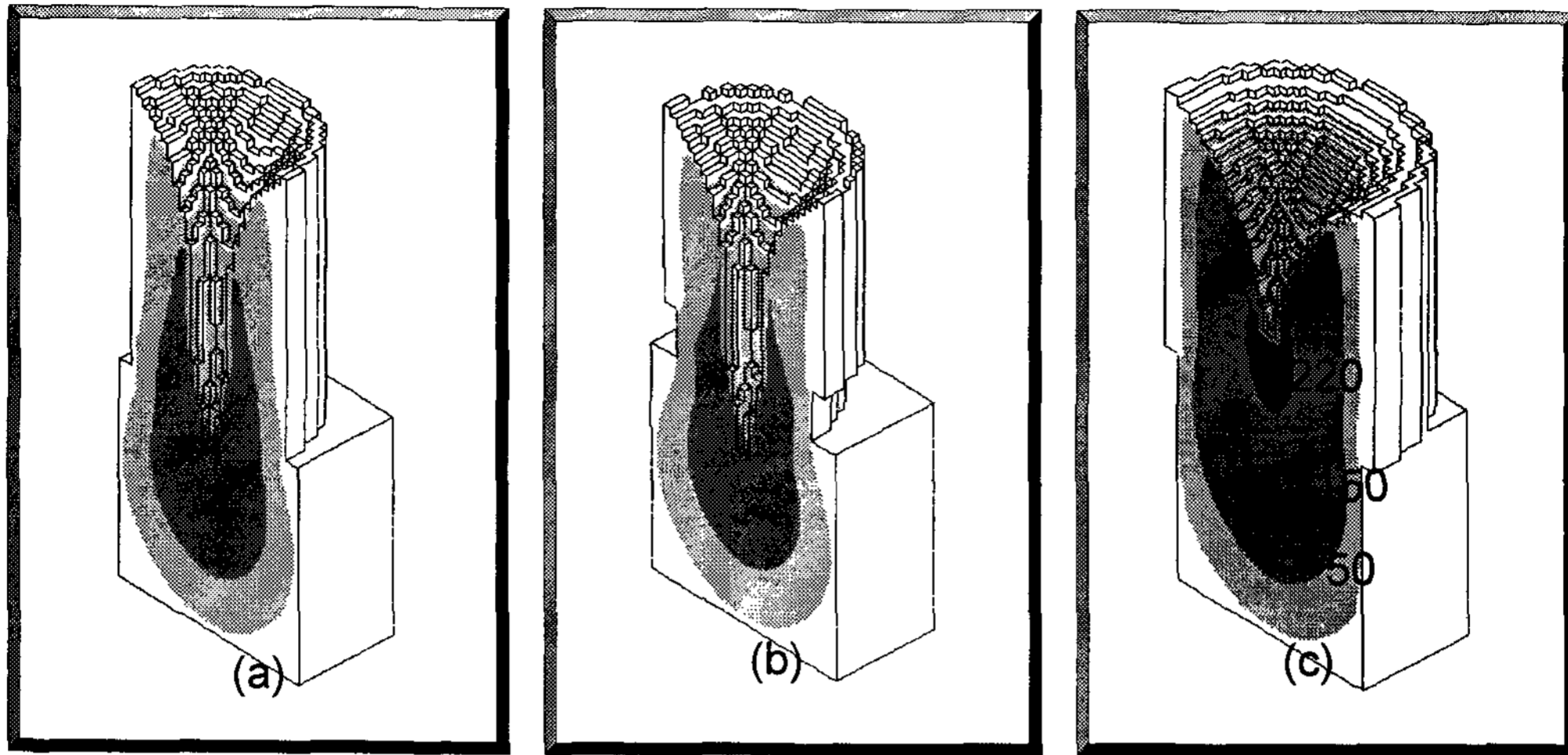


Fig. 15. Prediction of shrinkage cavities and contour of solidification time in cubic shaped 0.2wt.% C steel castings solidified in a sand mold; (a) Johns ①, (b) Johns ②, and (c) Pellini and Obata method.

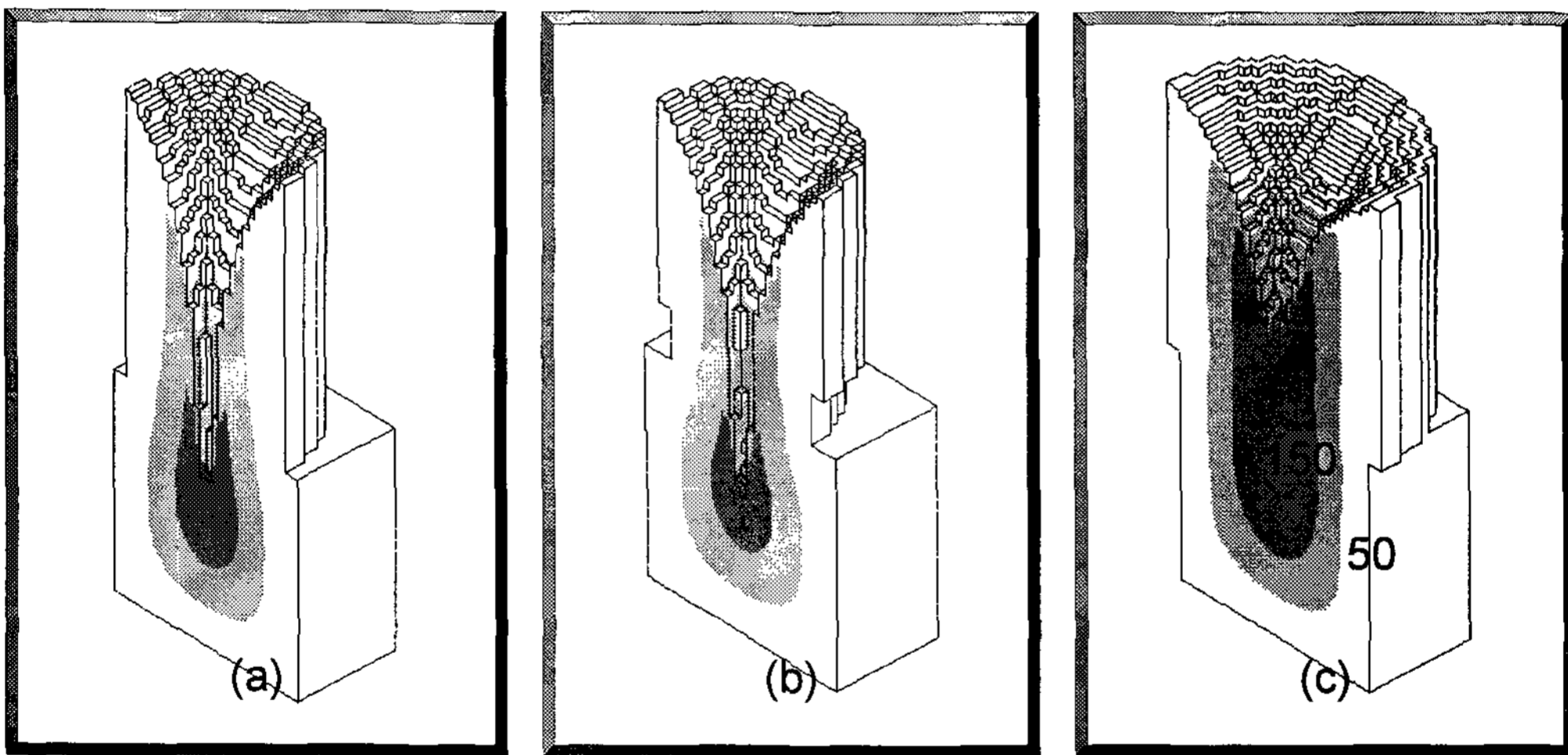


Fig. 16. Prediction of shrinkage cavities and contour of solidification time in cubic shaped stainless steel castings solidified in a sand mold; (a) Johns ①, (b) Johns ② and, (c) Pellini and Obata method.

만 아니라, 형상 및 재질에 관계없이 체적 수축을 고려한 응고 해석을 수행하면 적절한 압탕 설계 방안을 제시할 수 있었다.

4. 결 론

본 연구에서는 판, 원판 및 입방체 시험편을 택하여 압탕 크기 및 형상을 달리한 주강 시험편의 주입 시험 후 건전성 여부를 판정하고, 기존의 수축공 예측법과는 달리 EasyCast를 개량하여 응고시의 체적 수축을 고려한 새로운 해석방

법을 이용한 계산 결과와의 비교를 통하여 이의 압탕 설계에의 적용성을 검토하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 판 및 원판 탄소강 주물의 경우 급탕율이 6.5에서 7.1% 정도의 건전한 주물을 얻을 수 있었고 이때 Pellini와 Obata방법에 의한 압탕 계산이 회수율면에서 유리하다. 판 및 원판 스테인레스강 주물에서는 Pellini나 Obata의 식을 적용할 수 없었고 Johns의 식②는 적당하였다. 입방체 주물의 경우 재질에 관계없이 Johns의 방법에 의한 압탕 계산은 부적당하며 Pellini나

Obata의 방법이 적당하였다. 각각의 경우의 응고해석결과는 시험 결과와 일치하는 경향을 나타내었다.

2) 판, 원판, 및 입방체 시험편 등의 기본적인 형상에 대하여 탄소강 및 스테인레스강을 주입하여 건전성 여부를 판정한 결과와 응고시 체적 수축을 고려한 응고해석 결과와 비교하여 응고시에 체적 수축을 고려한 응고해석결과의 타당성을 검증하였다. 이로부터 복잡한 형상의 주강품에 있어서 여러 연구자가 제시한 압탕 크기의 계산식으로부터 압탕 크기를 계산하여 응고 해석을 수행하면 주조품의 건전성 여부를 쉽게 판단할 수 있으며 생산성을 향상시킬 수가 있다.

참 고 문 헌

[1] R. A. Johns : Trans. AFS, 88 (1980) 77.
 [2] H. F. Bishop, E. T. Myskowski and W. S. Pellini : Trans. AFS, 63 (1955) 271.
 [3] 小幡 鍊 : 鑄物, 45 (1973) 37.
 [4] C. M. Adams and H. F. Taylor : Trans. AFS, 61 (1953) 656.
 [5] J. G. Henzel, Jr, and J. Keverian : J. Metals, 17 (1963) 561.
 [6] V. de L. Davies : AFS Cast Met. Res. J., 11 (1975) 33.
 [7] 新山英輔, 内田敏夫, 森川 穰, 齊藤茂樹 : 鑄物, 54 (1982) 384.
 [8] E. Niyama, T. Uchida, M. Morikawa, S. Saito : 49th Int. Foundry Congress, (1982) Paper No. 10.
 [9] 김지준, 최정길, 홍준표 : 주조, 15 (1995) 83.
 [10] C. P. Hong, T. Umeda, and Y. Kimura : Metall. Trans. B, 15B (1984) 91.
 [11] 洪俊杓, 梅田高照, 木村康夫 : 鑄物, 56 (1984) 758.
 [12] Smithells, C. J.(ed.) : Metals Reference Book, 51th ed. Butterworths (1976).