

〈論 文〉

주형의 전산기 원용 설계(Ⅱ)

—탕구계와 주형 캐비티의 설계—

박 종 천* · 이 건 우**

(1989년 11월 29일 접수)

Computer Aided Design of a Mold Cavity with Proper Rigging System for Casting Processes (II)

Jong Cheon Park and Kunwoo Lee

Key Words : CAD(전산기 원용 설계), Gating System(탕구계), Mold Cavity(주형 공동부), Mold Design(주형 설계)

Abstract

An interactive computer program to design a mold cavity with the proper rigging system has been developed. In addition to the pattern and the risers generated in part 1 of this work, the various components of the gating system are generated in complete three dimensional models by a rational approach. Then they are laid interactively by the user, and united together with the pattern and the risers to result in the three dimensional model of the mold assembly. Finally, the vents and the mold box are constructed following the user's interactive specification and then the mold cavity is completed in a three dimensional geometric model by subtracting the mold assembly and the vents from the mold box. The three dimensional model of a mold cavity is useful for many related applications such as the solidification simulation for mold evaluation and the NC tool path generation for mold production.

1. 서 론

본 논문의 1편에서 논의된 바와 같이 주형 설계 CAD 시스템을 완성하기 위해서는 궁극적으로 적당한 탕구계를 갖는 주형 캐비티의 생성이 필수적이다. 따라서 본 논문의 2편에서는 이미 최종 제품의 기하학적 형상으로부터 생성된 목형과 압탕을 근간으로 하여 적절한 탕구계를 설계하고 최종적으로 완전한 삼차원적 형상을 갖는 주형 및 주형 캐비티를 생성하는 데 그 목적을 두고 있다.

*서울대학교 대학원

**정회원, 서울대학교 공과대학 기계설계학과

먼저 탕구계 설계 시스템을 개발하기 위해서는 (1) 탕도(runner)와 주입구(ingate)의 자동 설계, (2) 탕구(sprue)의 자동 설계, (3) 탕구저(sprue base)의 자동 설계, (4) 쇠물 받이(pouring base)의 자동 설계, (5) 탕구계의 배치 등의 설계 기능들이 개발되어야 한다. 일단 탕구계가 생성되면 이미 생성된 바 있는 목형과 압탕을 탕구계와 결합하여 삼차원적 모델의 주형을 얻는다. 최종적으로 주형 캐비티를 생성하기 위해서는 배기공(vent)과 주형 상자(mold box)의 자동 설계 기능이 우선적으로 개발되어야 하는데, 설계자가 본 시스템과 대화식으로 배기공과 주형 상자를 설계하면 주형 캐비티는 주형 상자로부터 주형과 배기공을 빼냄으로써

생성된다. 결국 본 주형 설계 CAD 시스템은 목형과 압탕의 설계, 탕구계의 설계, 주형 및 주형 캐비티의 설계 시스템 등을 결합하여 연속적으로 수행함으로써 설계자에 의해 주어지는 최종 제품의 기하학적 모델로부터 완전한 삼차원 모델의 주형과 주형 캐비티를 생성한다.

본 시스템에 의해 생성된 삼차원 모델의 주형은 본 논문의 1편에서도 기술된 바와 같이 응고 해석을 위한 시뮬레이션^(1,2), NC 가공을 위한 공구 경로 계산 등의 응용 프로그램과 직접적으로 연결될 수 있는 장점을 갖는다.

2. 탕구계 설계의 선결 과제

탕구계를 설계하기 위해서는 다음의 설계 인자들이 우선적으로 결정되어야 한다.

(1) 주입시간(pouring time)을 결정한다. 여기서 주입시간은 용탕이 주물과 압탕 및 부가적으로 탕구계를 채우는 데 소요되는 시간으로 이중 주물과 압탕을 채우는데 걸리는 시간은 총 주입 중량(주물과 압탕 중량의 합)에 의해 대략적으로 다음과 같이 표현된다⁽³⁾. 즉

$$\text{Pouring Time(sec)} = \sqrt{\text{casting \& riser weight (kgf)}} \quad (1)$$

또 탕구계를 채우는 시간은 식 (1)에서 계산된 시간의 10%로 간주하여 이 두 시간의 합을 전체 주입 시간으로 결정한다.

(2) 총 초크 단면적(total choke area, A_c)을 계산한다. 여기서 초크란 주입시간내에 용탕이 주형을 채울 수 있도록 용탕의 총만 속도를 결정하는 부분을 말한다. 본 연구에서는 Karsay에 의한 초크 단면적과 총 주입 중량과의 관계 곡선⁽⁴⁾으로부터 얻어진 다음의 관계식에 의해 계산한다.

$$\begin{aligned} \text{총 중량이 } 0.5\text{kgf미만} : A_c(\text{cm}^2) &= 1 \\ \text{총 중량이 } 0.5\text{kgf이상} : A_c(\text{cm}^2) &= 1.265(\text{총 중량})^{0.375} \end{aligned}$$

(3) 탕구계의 종류를 결정한다. 탕구계는 초크의 위치에 따라 크게 압력계와 비압력계로 분류된다. Fig. 1에서 보듯이 압력계에서는 초크가 주입구(ingate)와 탕도(runner)의 연결 부분에 위치하여 실제로 주입구가 초크의 역할을 하며 탕도와 주입구는 주형의 상형에 위치한다. 반면 비압력계에서는 초크가 경사진 탕구(sprue)의 하부에 위치할 수도 있으나 현재 본 시스템은 Fig. 2와 같이 탕구와

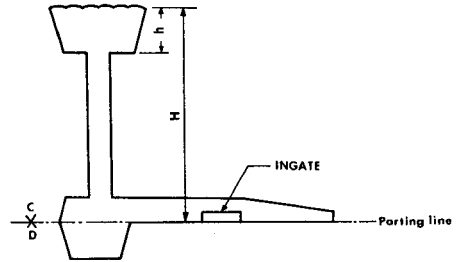


Fig. 1 Pressurized system

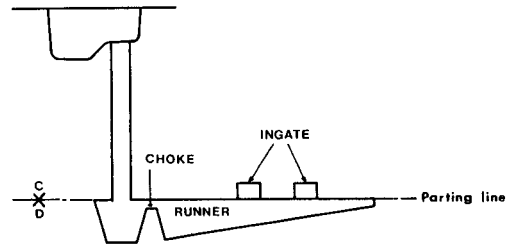


Fig. 2 Non-pressurized system

탕도 사이에 위치하는 경우만을 채택하고 있다. 비압력계에서 주입구는 상형에, 탕도는 하형에 위치한다.

3. 탕도와 주입구의 설계

3.1 탕도와 주입구의 치수 계산

압력계에서 탕도와 주입구의 단면 치수를 결정하기 위한 기본 생각은 다음 단계들로 설명될 수 있다.

(1) 설계자가 적절한 탕도의 수를 입력한다. 현재 탕도는 단일 탕도와 이중 탕도로 제한하였다.

(2) 탕도의 단면적과 단면 형상에 따라 각 탕도의 단면 치수를 계산한다. 먼저 총 초크 단면적을 탕도의 수로 나누어 탕도 당 초크 단면적을 계산하고 여기에 탕구비를 곱하여 각 탕도의 단면적을 얻는다. 탕구비는 Karsay⁽⁶⁾에 의해 제안된 2.5~3의 값 중에서 설계자가 선택한다. 현재 탕도의 단면은 Karsay⁽⁶⁾가 추천한 폭과 높이의 비가 1:2인 직사각형 단면으로 제한된다. 이것은 슬래그를 탕도 상면으로 부상하기 쉽게 하여 깨끗한 용탕이 주입구를 통해 유입되게 하기 위함이다.

(3) 설계자가 각 탕도에 설치할 주입구의 수를 결정한다.

(4) 주입구의 단면적과 단면 형상에 따라 주입구

의 단면 치수를 계산한다. 주입구가 초크의 역할을 하는 압력계에서는 각 탕도의 주입구들의 단면적의 합이 각 탕도의 초크 단면적과 같아야 하므로 각 주입구의 단면적은 본 절의 단계 (2)에서 결정된 탕도 당 초크 단면적을 단계 (3)의 주입구의 수로 나눈으로써 계산된다. 주입구 단면은 Karsay⁽⁶⁾가 추천한 폭(W_g)과 높이(H_g)의 비가 4 : 1인 직사각형으로 제한된다. 주입구를 넓게 설계하는 것은 탕도에서 슬래그의 제거를 보다 용이하게 하고, 또한 주입구의 모듈러스를 최대한 작게하여 용탕 주입 직후 주입구가 응고함으로써 응고시 팽창압이 주입구로 전달됨이 없이 압탕이 제 역할을 할 수 있도록 하기 위함이다.

(5) 설계된 주입구의 치수가 Gerhardt⁽³⁾에 의해 제안된 다음 두 조건을 만족하는지를 판단한다. 첫째, 주입구의 기하학적 모듈러스는 주물의 가장 두꺼운 부분의 이동 모듈러스의 0.33배보다 작아야 한다. 비방열면을 제외한 주입구의 모듈러스는 다음 식에 의해 계산된다.

$$\text{Modulus of Ingate} = \frac{H_g \cdot W_g}{2(H_g + W_g)} \quad (2)$$

둘째, 압력조절 압탕 방안에서 용탕의 주입온도가 Karsay⁽⁶⁾가 제안한 1371~1427°C 범위내에서 유지된다고 가정할 경우 주입구의 높이, 즉 두께의 허용 범위는 최소 4.8mm, 최대 7.9mm이다. 단일 설계된 주입구가 이 두 조건을 만족시키지 못할 경우 본 시스템은 위 두 조건에 의해 계산된 주입구의 수와 단면 치수를 설계자에게 제시한다. 이때 설계자는 제시된 결과를 따르거나 비압력계 탕구계로 전환할 것인지를 결정한다.

비압력계에 대해서도 위와 유사한 단계에 의해 초크부, 탕도, 주입구를 설계한다.

3.2 탕구계의 배치

탕도와 주입구를 모델링하기 위해서는 단면 치수 이외에도 길이와 위치 등이 결정되어야 하는데 이것들은 시스템의 탕구계 배치 과정을 통해 해결할 수 있다.

탕구계를 배치하기 위한 과정은 Fig. 3과 관련하여 다음 단계들로 설명될 수 있다.

(1) 화면상에 주물을 평면도로 나타내고 화면 치수에 대한 실제 주물 치수의 비례 척도(scaling factor)를 계산한다. 이 비례 척도는 이하 단계에서 설계자에 의해 지정된 화면상의 좌표 값을 실제

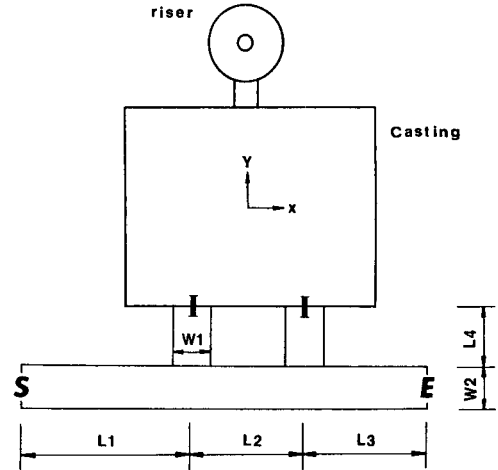


Fig. 3 Layout of a gating system

물체상의 좌표 값으로 변환하는데 사용된다.

(2) 설계자가 화면상에 탕구의 위치(S)를 지정한다. 이때 시스템은 탕구와 첫 주입구 사이의 최소 길이(L1)를 10cm, 이웃하는 주입구 사이의 최소 길이(L2)를 2.54cm, 주입구의 최소 길이(L4)를 주입구의 폭(W1)으로 하는 Karsay⁽⁶⁾의 설계 조건을 제시하여 설계자가 탕구, 탕도, 주입구의 위치를 선정하는데 참고가 되게 한다.

(3) 탕구를 중심으로 +X, -X, -Y, +Y 방향 중 한 방향을 탕도의 방향으로 선정한다.

(4) 주입구들의 위치(I)를 선정한다. 이때 시스템은 주입구들의 배치 결과가 단계 (2)의 설계 조건을 만족시킬 경우에만 그 위치를 허용한다.

(5) 탕도말의 위치(E)를 지정한다. 이때 마지막 주입구에서 탕도말까지의 길이(L3)가 최소한 탕구와 첫 주입구 사이의 길이(L1)와 같게 선정하도록 하고 여의치 못한 경우에는 시스템이 탕도저(runner well)를 자동으로 설계한다.

3.3 탕도와 주입구의 모델링

본 시스템이 제공하는 기본 형상간의 집합 작업을 사용하여 압력계의 탕도와 주입구를 모델링하는 과정은 Fig. 4와 관련하여 다음 순서로 설명된다.

(1) 단순 직육면체 형상의 탕도를 생성한다. Fig. 4(a)에서 P0와 P1은 각각 탕구와 탕도말의 위치를 나타낸다. 탕도의 폭(W1)은 탕도의 구배를 고려하여 3.1절의 단계 (2)에서 계산된 탕도 폭의 2/3가

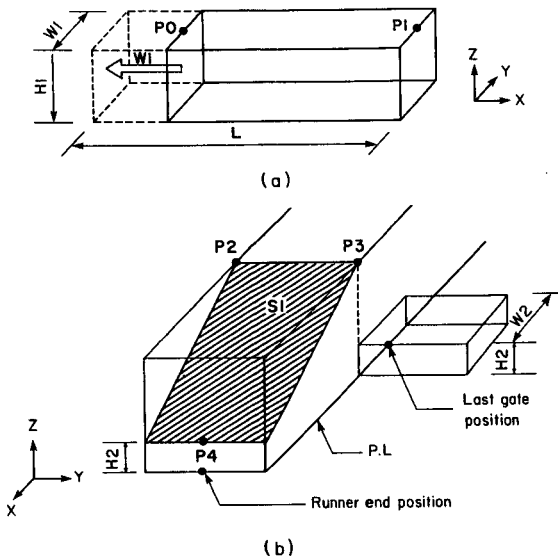


Fig. 4 Modeling of a runner in pressurized system

되게 하고, 길이(L)는 탕구와 탕도의 부착을 위해 탕도의 끝(PO)을 탕도 폭만큼 연장한 길이로 한다.

(2) 탕도의 선단부가 쐐기 모양이 되게 탕도의 형상을 변형시킨다. 이를 위해 Fig. 4(b)에서와 같은 점 P2, P3, P4로 정의되는 평면형 절단 곡면(S1)과 탕도 곡면들과의 교차 작업을 수행한다.

(3) 탕도 단면이 위로 경사지게 탕도에 구배 작업을 수행한다. 이때 구배각으로 10°가 선택되는데 이는 구배 결과 변형된 탕도의 단면적이 계산된 원래 단면적과 같게 하기 위함이다.

(4) 탕도저를 설계한다. 탕구계의 배치 결과 탕도 말의 길이가 탕구와 첫 주입구 사이의 길이보다 짧은 경우 탕도저는 설계자와 대화 방식으로 탕도 끝에 생성된다.

(5) 계산된 단면 치수와 배치 과정에서 얻어진 길이와 위치 정보를 사용하여 주입구를 모델링한다. 비압력계에 대해서도 위와 유사한 단계를 거쳐 탕도와 주입구를 모델링한다.

4. 탕구의 설계

탕구는 용탕이 주형 안으로 흘러들어 가는 최초의 통로로 이를 설계하기 위해 먼저 설계자는 탕구의 형상과 Fig. 1에서도 보여진 주형 상형의 높이

(H)와 쇳물 받이내 용탕의 높이(h)를 입력한다. 본 시스템에서는 탕구의 형상으로 직선형, 위로 경사진 형, 아래로 경사진 형 등 3가지 형상을 제공하고 있으며 단면은 원형으로 제한된다. 또 주형 상형의 높이(H)는 압탕 높이의 1.33배보다는 커야 한다⁽³⁾는 제한 조건이 적용된다. 일단 설계 인자들이 결정되면 탕구의 치수를 계산한다. 직선형이나 위로 경사진 형의 탕구의 상부 단면적(A_s)은 총 쇼크 단면적(A_c)으로부터 다음 식에 의해 계산된다.

$$A_s = A_c \cdot \sqrt{H/h} \quad (3)$$

아래로 경사진 탕구의 경우 하부 단면적은 총 쇼크 단면적보다 10% 만큼 더 크게 잡고, 상부 단면 직경은 하부 단면 직경의 2배로 한다⁽⁴⁾. 탕구의 치수가 계산되면 마지막으로 시스템은 이미 배치된 위치에 대해 자동으로 탕구를 모델링한다.

5. 탕구저의 설계

탕구저는 탕구에서 흘러 나온 용탕을 일시 저장하여 탕도로 조용히 유입시키기 위한 곳이다. 현재 본 시스템에서 탕구저는 아래로 경사진 정육면체 형상으로 제한되는데 이는 둥근형보다 난류에 대한 방지 효과가 더 크기 때문이다. 시스템은 탕구 하부에 각 변의 길이가 탕구 하부 직경의 2배가 되는 정육면체를 생성시키고 아래로 경사지게 구배 작업을 수행함으로써 탕구저를 모델링한다.

6. 쇳물 받이의 설계

탕구계를 완성하기 위한 마지막 단계는 쇳물 받

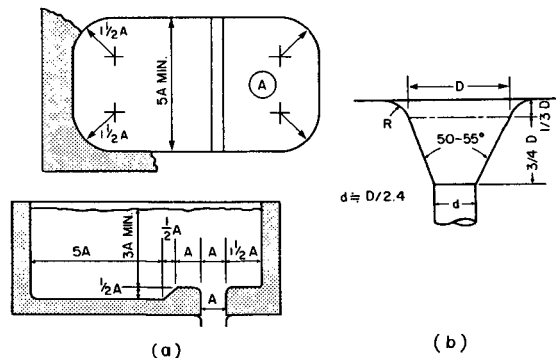


Fig. 5 (a) Pouring basin, (b) Pouring cup

이를 설계하는 일이다. 쇳물 받이는 Fig. 5⁽⁷⁾에 나타낸 바와 같이 그 형상에 따라 크게 수저 (pouring basin)와 수구 (pouring cup)로 분류된다. 일단 설계자가 선택한 형상에 대해 시스템은 Fig. 5의 설계 치수들을 계산하고 기본 형상간의 집합 작업에 의해 모델링한다.

7. 주형 캐비티의 완성

탕구계가 모델링되면 본 시스템은 앞서 생성된 목형과 압탕부를 탕구계와 결합시켜 주형을 얻고 이를 주형 상자로부터 빼냄으로써 주형 캐비티를 완성한다.

주형 캐비티를 생성하기 위한 과정은 다음 단계에 의해 설명될 수 있다.

(1) 배기공 (vent)을 모델링한다. 이를 위해서는 설계자로부터 설치 위치, 갯수, 직경 등의 입력이 필요한데 이 배기공은 주형의 상형을 관통하여 용탕 주입시 주형 내부에 발생하는 가스압을 감소시킴으로써 용탕의 주입을 용이하게 한다.

(2) 주형 상자를 모델링한다. 주형 상자의 폭과 길이는 전체 주물의 평면도가 표시된 화면상에서 주물을 충분히 포함할 직사각형에 의해 결정될 수 있는데 이 직사각형은 설계자가 화면상에 지정하는 대각선 방향의 두 점에 의해 정의된다. 주형 상자의 높이도 주물의 평면도로부터 유사하게 결정된다.

(3) 주형 상자의 상형과 하형을 생성한다. 이를 위해 시스템은 목형의 분할면상에 정의되는 평면과 주형 상자의 구성 곡면들과의 교차 작업을 수행한다.

(4) 주형 상자의 상형과 하형으로부터 주형을 빼냄으로써 주형 캐비티를 완성한다.

8. 설계 적용 예

본 논문의 1편에서 설계된 기어 블랭크에 대한 목형과 압탕부를 근간으로 하여 탕구계와 주형을 설계하고 최종적으로 주형 캐비티를 완성하였다. 먼저 총 초크 단면적이 계산되면 이것과 설계자의 배치 과정에 따라 탕도, 주입구, 탕구, 탕구저, 쇳물 받이 등의 치수가 체계적으로 결정된다. 일단 치수가 결정되면 시스템은 각각을 모델링하고 결합하여 탕구계를 완성한다. Fig. 6은 완성된 탕구계를 나타낸다. Fig. 7은 탕구계와 앞서 설계된 목형과 압탕부가 배기공과 함께 결합되어 완성된 주형

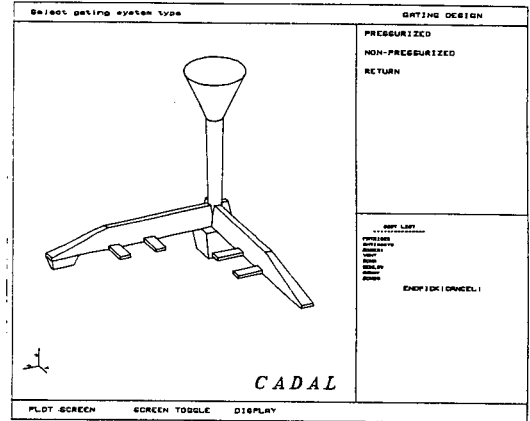


Fig. 6 Case study

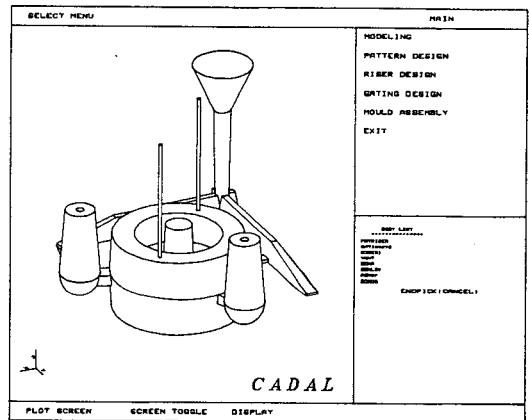


Fig. 7 Case study

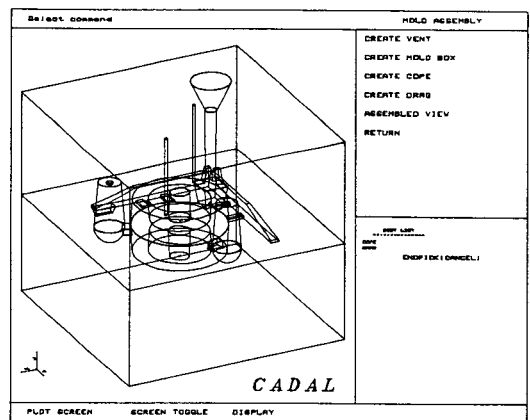


Fig. 8 Case study

을 나타낸다. 주형이 완성되면 설계자와 대화 방식으로 주형 상자를 생성하고 주형 상자는 다시 상형과 하형으로 분리 생성된다. Fig. 8은 주형 상자

부터 주형을 빼내어 완성된 주형 캐비티를 나타낸다.

9. 결 론

탕구계 설계 시스템을 목형과 압탕부의 설계 시스템과 연결함으로써 주형을 자동으로 설계할 수 있는 CAD 시스템을 개발하였다. 본 논문의 1편에서도 설명된 바와 같이 본 시스템에 의해 생성되는 주형의 완전한 삼차원적 모델은 응축 시뮬레이션 프로그램과 직접적으로 연결될 수 있으며 또 NC 가공 프로그램과 연결된다면 주형을 설계, 생산할 수 있는 통합 CAD/CAM 시스템으로 발전될 수 있다. 또한 본 CAD 시스템에 숙련 설계자의 지식을 바탕으로 한 전문가 시스템(expert system)을 도입한다면 더욱 강력한 주형 설계 시스템이 될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- (1) Pehlke, R.D., 1989, "CAD for Shaped Castings", Proceedings of the Advances in Manufacturing Systems Integration and Processes, SME, Jan., pp. 387~399.
- (2) Berry, J.T., Hill, J.L., and Stefanescu, D.M., 1989, "Computer Aided Design for Casting and Solidification Technology", Proceedings of the Advances in Manufacturing Systems Integration and Processes, SME, Jan., pp. 401~406.
- (3) P.C. Gerhardt, Jr., 1983, "Computer Applications in Gating and Riser Design for Ductile Iron Castings", AFS Transactions, Des Plaines, IL., Vol. 91, pp. 475~486.
- (4) Karsay, S.I., 1984, Encyclopaedia of Design Logic, Ferrous Casting Centre(Pty) Ltd., Sandton.
- (5) Karsay, S.I., 1975, "Gating and Riser Design for Ductile Iron Castings", Proceedings of Joint AFS-DIS Conference, Rosemont, IL., Oct., pp. 186~224.
- (6) Karsay, S.I., 1982, Ductile Iron III Gating and Riser Design, QIT-Fer et Titane, Inc., Quebec.
- (7) Nippon Imono Kogyokai, 1975, Mold Design Practice for Gray Iron Castings, Corona Publishing Co., Ltd., Tokyo, p. 48.

(1) Pehlke, R.D., 1989, "CAD for Shaped Castings",