

초대형 알루미늄 형주조: 기회와 과제

*왕치구이, 앤디 왕, 제이슨 코리엘
첨단소재기술 및 가상화, GM 글로벌 기술 센터, 워렌, 미시간주, 미국

저작권 © 2024 Foundry Journal Agency

초록: 초대형 알루미늄 형체 주조물은 자동차, 특히 전기 자동차에서 경량화와 자동차 제조 비용 절감을 위해 점점 더 많이 사용되고 있습니다. 대부분이 준정적, 동적 및 순환적 하중을 모두 받는 구조적 구성 요소이기 때문에 초대형 알루미늄 형체 주조물의 품질과 정량화 가능한 성능은 설계와 제조 모두에서 성공하는 데 중요합니다. 이 논문에서는 초대형의 몇 가지 적용 사례를 간략히 검토합니다.

자동차 산업에서의 알루미늄 주조물을 살펴보고 그 장점과 이점을 간략하게 설명합니다.

초대형 제품의 품질, 미세조직 및 기계적 성질에 영향을 미치는 요인 알루미늄 주조물은 알루미늄 형 주조 가공이 매우 복잡하고 종종 많은 경쟁 메카니즘, 다중 물리 현상 및 주조 품질과 성능에 상당한 영향을 미치는 잠재적으로 큰 불확실성을 포함하기 때문에 평가되고 논의됩니다. 초대형 알루미늄 형 주조물의 야금 분석 및 기계적 특성 평가가 제시됩니다. 과제가 강조되고 초대형 알루미늄 주조물의 견고한 설계 및 제조에 대한 제안이 이루어집니다.

키워드: 초대형 주조물; 알루미늄; 경량성; 품질; 미세 구조; 재료 특성

CLC 번호: TG146.21; 문서 코드: A; 문서 ID: 1672-6421(2024)05-397-12

1 서론

내연 기관의 연료 효율을 개선하기 위한 자동차 중량 감소 요구와 전기 자동차의 배터리 에너지 사용에 대한 요구로 인해 경량 알루미늄 형 주조의 적용이 증가하고 있습니다 [1]. Ducker[2]에 따르면,

자동차 부문에서 알루미늄 사용은 지난 40년 동안 연간 성장률이 최소 3.5%로 엄청나게 증가했습니다. 1975년 차량당 84파운드에서 2020년 459파운드, 2030년 556파운드로 예측되며, 알루미늄 사용의 대부분(>50%)이 주조입니다. 이는 알루미늄 형상 주조가 거의 순수한 형상과



*왕치구이
ASM International의 박사 펠로우, 제너럴 모터스 글로벌 파워트레인 엔지니어링의 수석 기술 전문가. 그는 1987년에 석사 학위를 받았습니다. 중국 동남대학교에서 박사 학위를 받았고, 1997년 호주 브리즈번의 퀸즐랜드 대학교에서 재료 공학으로 박사 학위를 받았습니다. 지난 30년 동안 왕 박사는 금속 주조와 관련된 여러 분야에서 강력한 전문 지식을 개발했습니다.

그는 또한 주조물의 파괴 및 피로에 대한 응용 및 이론적 이해에 탁월하고 지속적인 기여를 했으며, 알루미늄 자동차 파워트레인 구성 요소의 처리, 미세 구조 및 특성을 연결하는 계산 모델 개발을 개척했습니다. 왕 박사는 120개 이상의 기술 논문과 60개의 특허 및 특허 출원의 저자입니다.

이메일: qigui.wang@gm.com
수신: 2024-06-11
수락: 2024-06-28

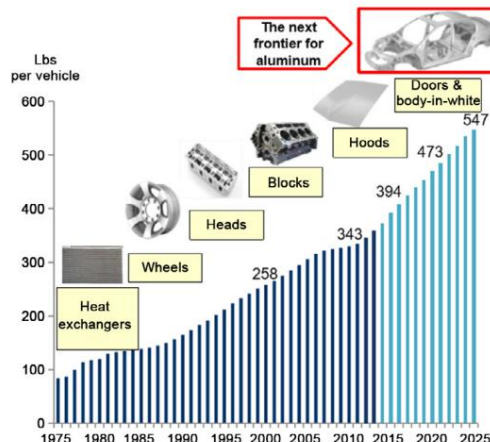


그림 1: 북미 경차의 알루미늄 성장

[2]

높은 강도 대 중량 비율, 기하학적 복잡성과 통합을 위한 뛰어난 설계 유연성, 낮은 제조 비용 등이 특징입니다.

자동차 전기화가 진전되고 가속화됨에 따라 알루미늄, 특히 알루미늄 형상 주조에 대한 수요가 계속 증가하고 있습니다. 이러한 추세는 차량의 주행 범위를 확장하기 위해 대형 배터리 팩의 무게를 상쇄해야 할 필요성에 의해 주도됩니다. 수년에 걸쳐 알루미늄 형상 주조는 주로 엔진 블록, 실린더 헤드, 변속기 하우징 및 케이스 등과 같은 엔진 및 변속기 구성 요소의 파워트레인에 사용되었으며, 주로 2차 319 및 A380 합금을 사용했습니다. 이제 알루미늄 주조 성장은 차량 본체 및 새시로 이동하고 있으며, 특히 배터리 전기 자동차(BEV)의 경우 배터리 트레이 및 전기 구동 장치 구성 요소에 사용되고 연료 전지 추진 시스템에서 알루미늄 주조는 프레임, 전자 선반 및 브래킷 등의 구성 요소에 사용되어 질량과 제조 비용을 모두 줄이는 것을 목표로 합니다. 이러한 응용 분야의 경우, 연성 요구 사항이 높기 때문에 지속 가능성이 낮은 1차 알루미늄 합금이 주로 사용됩니다.

알루미늄 형 주조는 사실상 모든 종류의 주조 공정과 알루미늄 합금으로 생산할 수 있습니다. 그럼에도 불구하고 고압 다이캐스팅(HPDC)은 대량 생산을 위한 선호되는 생산 공정입니다. 소량 생산의 경우 저압 다이캐스팅, 영구 금형 주조 및 모래 주조가 종종 사용됩니다. 초대형 알루미늄 형 주조의 경우 HPDC 및 저압 모래 주조(LPSC) 공정이 모두 사용됩니다. 알루미늄 형 주조의 최신 발전 및 개발은 참고 문헌 [1, 3-4]에서 검토되었습니다.

모든 주조 알루미늄 합금 중에서 Al-Si-Mg 및 그 변형 합금은 뛰어난 주조성, 높은 내식성 및 열처리 조건에서 높은 강도 대 중량 비율로 인해 널리 사용됩니다. 주조 및 열처리

이들 합금의 처리된 미세 구조는 화학적 조성 및 주조 조건에 크게 의존하며, 이는 주조 결함의 크기와 분포, 합금의 기계적 특성에 영향을 미칩니다. 이 주제에 대한 자세한 검토 및 보고서는 Wang et al.의 작업에서 찾을 수 있습니다. [5]

Cáceres et al. [6], Taylor [7], Wang 등 [8].

현대 자동차, 특히 하이브리드 및 전기 자동차는 차량 차체의 하중 지지 구조 역할을 하는 초대형 일체형 패널 및 구성 요소를 주조하여 보다 단순한 차량 차체 설계로 이동하고 있습니다. 이러한 초대형 일체형 주조물은 이러한 주조물을 만드는 데 사용되는 다이캐스팅 기계의 크기가 매우 크기 때문에 종종 메가캐스팅 또는 기가캐스팅이라고 합니다. 초대형 주조물은 차량 차체를 형성하는 데 필요한 많은 수의 스탬핑 패널 및 용접 부품을 일체형 주조물로 대체하여 차량 차체를 더 가볍고 제조가 덜 복잡하게 만들어줍니다 [9].

더욱이 초대형 일체형 주조물은 주조물 전체에 걸쳐 다양한 벽 두께를 가진 복잡한 설계 세부 사항을 특징으로 하는 경우가 많으며, 주조물의 인접한 벽의 단면적보다 더 두꺼운 두꺼운 림 및 무거운 보스와 같은 증가된 국소적 "핫 스팟"이 있습니다. 주조 공정 중에 더 두꺼운 "핫 스팟" 섹션은 자연스럽게 냉각되고 응고됩니다.

주변보다 훨씬 느립니다. 두꺼운 부분이 응고 및 수축을 시작하면 주변 부분은 이미 응고되어 두꺼운 부분에 금속을 공급할 수 없습니다. 결과적으로 초대형 주조물에 더 많은 수축 기공이 형성됩니다. 더욱이 초대형 주조물의 거대한 크기는 금속 흐름 거리를 더 길게 만듭니다. 이로 인해 기가 주조물에서 갇힌 공기, 산화물, 콜드 섯, 미련과 같은 결함이 더 많아집니다.

따라서 자동차에서 초대형 알루미늄 형체 주조의 사용이 증가함에 따라 품질 관리 및 성능 예측에 더 많은 과제가 발생할 수 있습니다. 이 논문의 목적은 품질, 미세 구조 및 재료 특성에 영향을 미치는 주요 요인에 대한 중요한 검토를 제공하여 주조 품질과 성능을 개선하는 몇 가지 고급 기술을 제시하고 가상 주조 도구를 사용하여 고내구성 주조를 견고하게 설계하고 개발할 수 있는 방법을 보여 주는 것입니다.

2 초대형을 활용할 수 있는 기회 알루미늄 주조물

최근 몇 년 동안 알루미늄 형체 주조에서 새로운 추세가 시작되었습니다. OEM은 중요 구조에 초대형 경금속 알루미늄 주조를 도입하여 여러 다른 부품을 단일 조각 주조로 통합하여 차량 구조 구성 요소의 설계 유연성을 크게 높였습니다. 예를 들어, Tesla는 그림 2와 같이 Model Y 차량에 전면 및 후면 알루미늄 기가 주조를 사용합니다 [10]. Model 3과 비교하여 이 두 주조는 171개 부품(대부분은 일부 작은 주조와 함께 시트 스탬핑)을 대체하고 1,600개의 용접을 제거했으며 조립 라인에서 300대의 로봇을 제거하여 필요한 자본 투자와 바닥 공간을 크게 줄였습니다 [11]. 전면 및 후면 기가 주조는 모두 기가 프레스라고 알려진 대형 고압 다이캐스팅(HPDC) 기계에서 제조되며, 이는 6,000톤의 잠금력을 달성할 수 있습니다 [12].

GM은 전체를 형성하기 위해 6개(6)의 메가 알루미늄 주조물을 사용했습니다(그 캐딜락 셀레스틱 차량의 하부 차체 구조 각 메가 캐스팅은 30개 이^[13] 림 3). 상의 개별 부품을 대체했습니다. 메가 캐스팅은 300 시리즈 합금의 저실리콘 변형 및 저압 사형 주조(LPSC) 공정을 사용하여 만들어졌습니다 [14].

토요타는 기가 캐스팅을 구현하여 전면 및 후면 차체 프레임에 사용되는 부품 수를 크게 줄일 계획입니다. 그들의 목표는 각각 전면 및 후면 차체 프레임에 175개의 다른 부품을 통합하는 것입니다.



그림 2: 테슬라 모델 Y 기가캐스팅

[10]

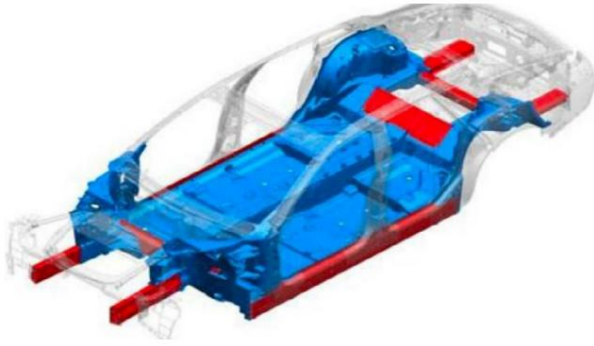


그림 3. Cadillac Celestiq의 전체 하부 차체 구조를 형성하는 6개의 메가 알루미늄 형체 주조물 [13]

차량

기가 캐스팅 [15]. 볼보와 그 EV 브랜드인 폴스타도 같은 길을 따르기로 결정하고 기가 프레스 [9]에 투자했습니다.

볼보는 차체 내부(BIW) 요소에 동일한 메가 캐스팅을 활용할 수 있는 여러 차량 모델을 개발하고자 합니다. 캐스팅은 서스펜션 암 및 전기 모터와 같은 구성 요소에 대한 균일한 장착 지점을 통합합니다 [16].

Mercedes-Benz, Volkswagen, Ford, Hyundai 및 중국 전기 자동차 신생 기업 Nio와 Xpeng [17]은 이러한 추세를 따르고 있는 것으로 공개적으로 알려져 있습니다. 다른 많은 OEM은 최소한 기가캐스팅을 고려하고 있거나 이미 비밀리에 작업하고 있습니다 [9].

표 1에 표시된 것처럼 초대형 알루미늄 형주물을 사용하면 여러 가지 이점이 발생합니다. 예를 들어,

초대형 주조물은 차량의 구성 요소 수를 줄입니다. 일반적으로 프레임 또는 차체 하부(일반적으로 여러 개의 스템핑 시트 구성 요소와 일부 작은 주조물로 구성됨)를 하나의 대형 주조물로 통합할 수 있으며, 이를 통해 자동차의 전체 무게를 줄일 수 있습니다. 이는 특히 BEV에 중요하며, 범위를 늘리고 자동차의 효율성을 높이기 때문입니다.

자동차 제조에서 초대형 주조물을 활용하면 자재 목록과 제조 공정이 모두 간소화되어 [9], 보다 효율적이고 가속화된 생산 및 조립 워크플로가 가능해집니다. 또한 공구 및 장비에 필요한 자본 투자도 줄어듭니다 [9,18]. 이는 특히 새로운 시설에 해당하고 유익합니다. 기존 시설의 경우 장비와 공구를 일부 재설계하고 재배치해야 할 수 있습니다. 그럼에도 불구하고, 더 큰 주조물은 여러 개의 작은 조각을 조립하고 접합할 필요가 없으므로 조립 라인의 길이와 차량 조립 시간을 상당히 줄여야 합니다. 표 1에서 볼 수 있듯이 기가캐스팅을 사용하면 비용을 최대 40%까지 절감할 수 있습니다.

초대형 알루미늄 형체 주조물을 사용하면 노동 집약적이지 않은 방식으로 부품을 조립하여 비용을 더욱 절감할 수 있으며, 비용이 많이 드는 국가에서도 차량을 경제적으로 제조하고 조립할 수 있습니다.

또한, 초대형 주물을 사용하면 공급업체 수와 물류도 줄어들어 비용과 환경에 긍정적인 영향을 미칠 수 있습니다 [9].

표 1: 자동차에 초대형 알루미늄 형주물을 사용하는 이점

(1)	부품수 감소 (60+)
	이전에는 개별적으로 스템핑, 압출, 주조 및 원하는 차체 하위 시스템으로 하위 조립해야 했던 60개 이상의 별도 구성품을 교체합니다.
(2)	공구 비용 절감(40%)
	a. 툴링 투자의 약 40%를 절약합니다. b. 전체 전면 또는 후면 플랫폼의 개별 부품을 조립하는 데 일반적으로 필요한 일련의 도구와 최대 650피트의 로봇 용접 라인을 대체할 수 있기 때문에 기존 주조 작업보다 고객이 비용을 약 40% 절감할 수 있습니다.
(3)	에너지 절약 (30%)
	a. 에너지 소모량이 약 30% 감소합니다. b. 업계 관계자들은 이로 인해 최대 300대의 로봇이 사라질 수 있다고 믿고 있으며, 이는 자동차 제조업체가 에너지 소비.
(4)	질량 절약 (30%)
	전체 강철 솔루션보다 30% 가벼우며, 여러 부품에 알루미늄을 사용한 솔루션보다 약 10% 가볍습니다.
(5)	리트타임 단축
	최대 60개의 조각을 용접하여 동일한 부품을 생산하는 것보다 단일 주조물을 만드는 것이 더 빠르기 때문에 생산 시간이 단축됩니다.
(6)	더 광범위한 응용 프로그램
	a. 기가 프레스는 순수 전기 자동차용 대형 배터리 케이스를 만드는 데 사용됩니다. 다음 단계는 배터리 케이스를 중앙 플랫폼에 포함하여 차량의 구조적 부분으로 만드는 것입니다. b. 기가 프레스는 또한 소형 배터리 전기 자동차를 위한 전체 플랫폼을 주도할 수 있습니다.

초대형 알루미늄 주조의 3가지 과제

언급된 기회와 이점에도 불구하고 초대형 알루미늄 형 주조와 관련된 과제도 있다는 점에 유의해야 합니다. 그 중 일부는 초대형 형 주조 사용과 관련이 있고 다른 일부는 고품질 대형 주조물 생산과 관련이 있습니다.

3.1 고품질 초대형 제작의 어려움 알루미늄 주조물

고품질의 초대형 알루미늄 형주물을 만드는 과정은 초대형 알루미늄 형주물이라는 이유만으로 매우 어렵습니다.

기가 캐스팅의 크기(~1m×1.5m×0.5m)뿐만 아니라 기가 캐스팅을 만드는 거대한 다이 또는 금형도 중요합니다. 예를 들어, HPDC에서 일반적인 잠금력은 양호한 캐스팅을 만들기 위해 약 80MPa로 유지됩니다. 투사 면적이 1.5m²인 기가 캐스팅 (게이팅 시스템 포함)의 경우 80MPa 잠금 압력을 생성하려면 12,000t가 프레스가 필요합니다. 이러한 거대한 캐스팅을 위한 다이도 거대합니다(최대 100t) [9]. 크기 때문에 취급을 위해 크레인과 같은 대형 장비를 사용해야 합니다. 또한 이 크기로 인해 다이 설계와 특히 열 관리가 어려워집니다. 게다가 다이캐스팅 다이는 특히 초대형 캐스팅의 경우 매우 비싸고 구조적 구성 요소의 경우 일반적으로 다이 수명이 약 100,000샷으로 오래 가지 못합니다. 다이가 600°C 이상의 용융 온도를 가진 액체 알루미늄과 직접 접촉하기 때문입니다.

이와 대조적으로, 스탬핑 프레스(시트 기반 구성 요소용)용 다이는 작업 온도가 600°C보다 훨씬 낮기 때문에 다이 수명 동안 최대 600만 개의 부품을 생산할 수 있습니다.

다이 수명이 해결되지 않으면 이로 인해 초대형 주조물이 대량 차량에 덜 적합해 집니다 [9]. 이는 어떤 종류의 성형 방법을 사용하든 모래 주조에도 해당됩니다. 메가/기가 주조물을 만들려면 대형 모래 성형기 또는 3D 인쇄기가 필요합니다. 모래 주조 공정은 HPDC보다 더 유연하지만 생산성 저하를 포함한 공정에 제한이 있습니다.

최소 벽 두께가 더 두껍고, 치수 정확도와 허용 오차가 더 낮고, 냉각 속도가 훨씬 느리며, 코어 가스 기공이 형성될 가능성이 더 높습니다.

일반적으로 간헐 공기와 표면 산화물이 있는 극도로 난류적인 금형 충전으로 인해 고품질 HPDC 부품을 만드는 것이 매우 어렵다는 것이 받아들여집니다. 일반적인 HPDC 구조 부품과 비교할 때, 메가/기가 주조는 대형 통합 보스, 깊은 리브 등과 같은 매우 복잡한 기하학적 디자인으로 몇 배 더 큼니다. 벽 두께의 변화와 광범위한 금속 흐름으로 인해

메가/기가 주조 다이의 전체 캐비티를 채우는 데 필요한 길이가 길어질수록 수축 및 콜드 셉이 발생하기 쉬운 핫스팟이 상당히 증가합니다. 이는 특히 충전 공정의 끝부분을 다공성 및 산화물 형성과 같은 주조 결함에 더 취약하게 만듭니다. 그림 4는 기가 주조에서 볼 수 있는 국소적 거시적 수축 다공성의 예를 보여줍니다. 또한, 각 샷에 대해 샷 슬리브에 약 100kg의 액체 금속을 붓는 데 더 오랜 시간이 걸리므로 외부 응고 결정(ESC) 및 콜드 플레이크가 형성될 가능성이 극적으로 증가합니다.

주조물의 크기가 메가/기기로 커질수록 다른 여러 공정 측면(예: 진공, 금형 윤활, 금형 열 관리, 부품 배출 등)도 더욱 복잡해집니다.

따라서 전면/후면 전체를 만드는 것은 매우 어려운 일입니다.

차량 하부나 배터리 트레이를 하나의 거대한 고품질 주조물로 만들었습니다. 적절한 합금과 올바른 제조 공정을 사용하지 않으면 주조 폐기물 발생률이 매우 높아질 수 있습니다.

또한, 일체형 초대형 알루미늄 형체 주조의 거대한 크기는 부품 내에서 주조 재료 특성을 더욱 불균일하게 만듭니다. 예를 들어, 그림 5는 알루미늄 기가 주조의 다양한 위치에서 시험한 인장 특성을 보여줍니다. 볼 수 있듯이, 인장 특성은 기가 주조 내에서 한 위치에서 다른 위치로 크게 다릅니다. 공극 인장 강도(UTS)는 175에서 280MPa로 변하고 연성(E)은 약 1%에서 8% 범위에 있습니다. 큰 특성 변화와 특히 낮은 강도와 연성은 주조의 품질이 좋지 않고, 특히 기공 및 산화물과 같은 큰 주조 결함이 존재하기 때문입니다.

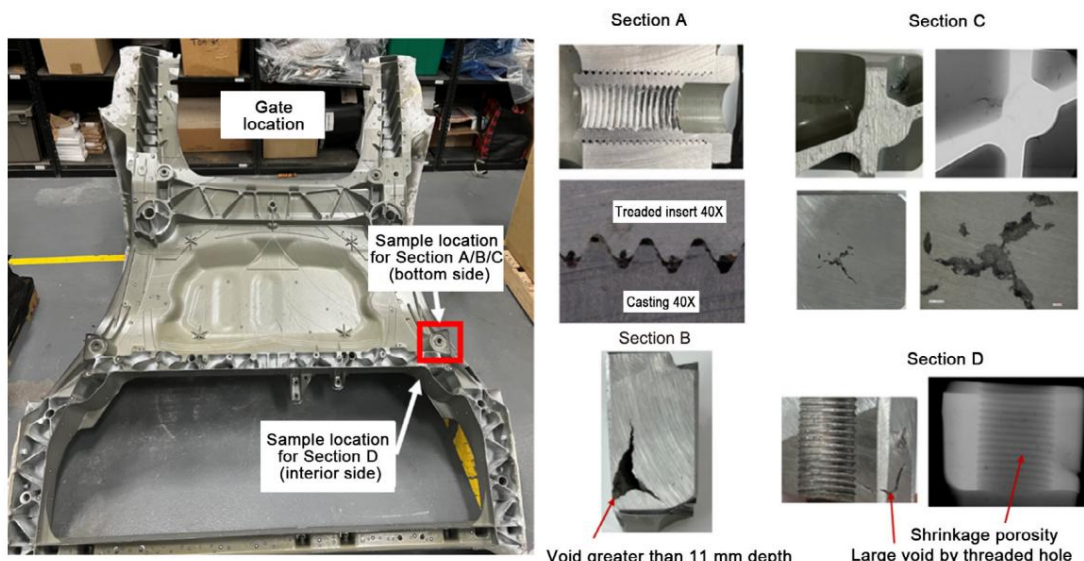


그림 4: 기가 알루미늄 주조물에서 관찰된 큰 거시 수축 기공

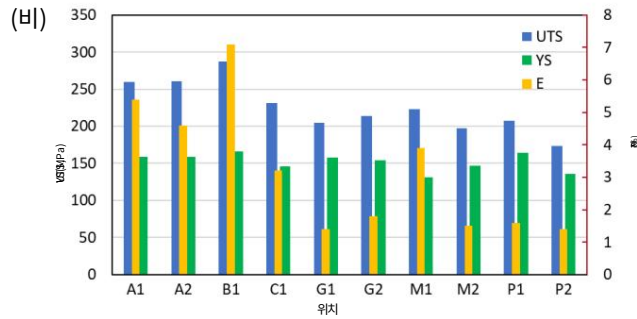
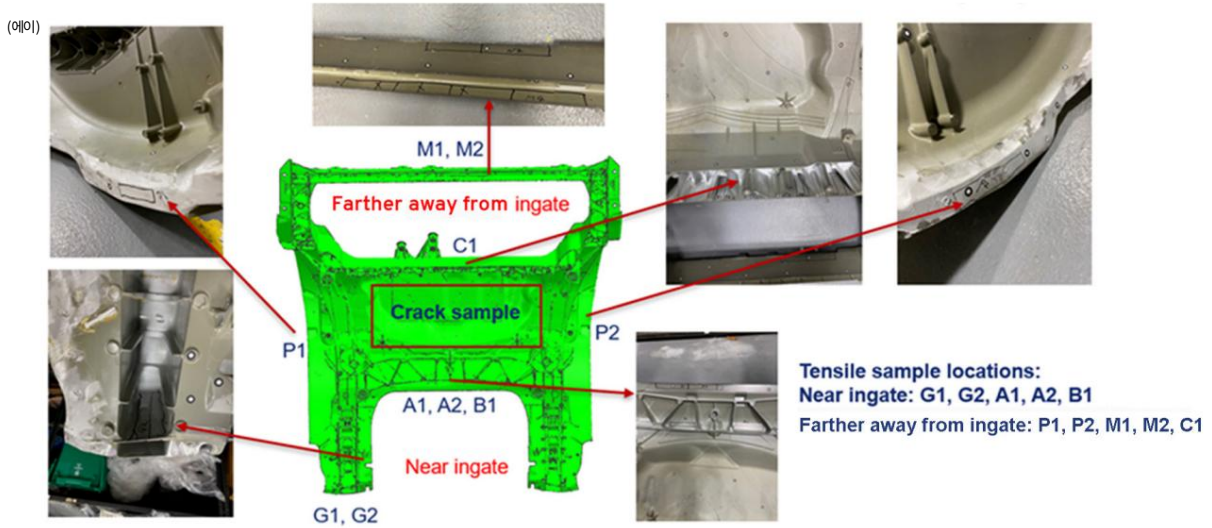


그림 5: 다양한 위치에서의 알루미늄 기가캐스팅의 샘플링 위치(a) 및 인장 특성(b)

3.2 치수 안정성

초대형 주조물은 부품 전체에 걸쳐 벽 두께가 다르며, 각각 HPDC 공정과 이후 냉각 및 담금질 단계에서 다이 내에서 다르게 냉각됩니다. 이로 인해 종종 처리하기 어려운 상당한 양의 잔류 응력과 변형이 발생할 수 있습니다. 일반적으로 HPDC 부품은 물질 문제로 인해 용액 처리를 거치지 않습니다. 초대형 HPDC 알루미늄 주조물의 경우 과노화 공정은 예상되지 않습니다. 페인트 베이킹 공정은 단지 과소노화 처리로 간주될 수 있습니다. 결과적으로 후속 제조 공정 및 조립 중에 지속적인 노화와 치수 성장이 상당히

주조는 매우 클 수 있습니다. 표 2는 0K에서 부품 길이가 2,000mm일 때 온도에 따른 기가 주조의 계산된 선형 치수 변화를 보여줍니다. 조립 중 약간의 온도 변화가 큰 치수 변화와 조립의 어려움을 초래할 수 있습니다. 또한, 초대형 주조는 표준 점용접 절차를 사용하여 다른 부품에 접합되지 않고 예상치 못한 또는 [9, 17]을 일으킬 수 있는 다른 방법을 사용합니다. 따라서 부품에 대한 모든 정보를 얻고 편차를 이해하기 위해 훨씬 더 알려지지 않은 기하학적 변화에 대한 노력이 필요합니다. 그렇지 않으면 올바른 치수 공차로 고품질의 초대형 주조물을 생산하는 것이 매우 어렵습니다. 열처리가 필요(음)만 필요한 합금을 사용하더라도 올바른 공 없거나 경미한 인공 노화(예: 담금질 없)를 달성하기 위해 복잡한 교정이 필요한 경우가 많습니다. [9]

초고온에서의 허용오차의 편차 및 변화에 기여합니다.

판금 조립 공정에 비해 대형 주조물이 적합합니다.

또한, 일체형의 열팽창이 매우 크다

표 2: 알루미늄 기가 주조물의 온도에 따른 계산된 선형 치수 변화

온도 및 치수 변화			
* 온도	55	85	120
* C (°C)	12.8	29.4	48.9
계미	285.9	302.6	322.0
CTE (10 ⁻⁶ · K ⁻¹)	20.93	21.10	21.29
절대선형팽창(mm)	11.97	12.77	13.71
라이너 치수 변화(mm)	0	0.80	1.74
참고사항: 합금 C611			

3.3 지속 가능성

지속 가능성은 자동차 산업에서 상당한 주목을 받았습니다. 차량의 무게를 줄이기 위해 더 많은 알루미늄 구성 요소를 통합하면 운영 수명 주기 동안 CO2 배출을 줄이는 데 도움이 될 수 있습니다. 그러나 이 접근 방식은 초대형 주조물에 대한 1차 알루미늄 합금 제조가 증가함에 따라 GHG(온실 가스)를 상당히 증가시킬 수도 있습니다. 그림 6은 지속 가능성 측면에서 알루미늄 역설을 간략하게 보여줍니다 [17]. 재활용은 알루미늄 역설을 해결하는 솔루션입니다. 1차 알루미늄 대신 재활용 알루미늄을 사용하면 그림 7에서 볼 수 있듯이 CO2 배출을 최소 ~90% 줄일 수 있습니다. 현재 알루미늄 자동차 차체 시트는 일반적으로 재활용 함량이 높은 것으로 알려져 있지만 [9] 구조용 알루미늄 주조물은 이러한 응용 분야에서 연성과 충돌 안전성이 필요하기 때문에 주로 C611, Aural 합금, Silafont 합금과 같은 1차 합금을 사용했습니다. 1차 알루미늄

합금은 일반적으로 엄격한 철 함량 제한(<0.2%)과 재활용 알루미늄을 사용하지 않기 때문에 탄소 발자국이 높습니다. 따라서 구조용 알루미늄 다이캐스팅의 재활용 함량을 늘릴 필요가 있습니다. 다행히 이러한 변화는 이미 일어나고 있으며 구조용 알루미늄 다이캐스팅은 이제 높은 재활용 함량으로 만들 수 있습니다. 예를 들어, 볼보의 자사의 대규모 캐스팅 프로젝트가 생산 전반에서 환경적 발자국을 줄이고, 높은 재활용 함량을 허용하며, 단일 합금으로 만들어지기 때문에(따라서 재활용이 쉬움) 2040년까지 탄소 중립이라는 회사의 지속 가능성 목표를 달성하는 데 도움이 된다고 말합니다. 무게 감소(특히 강철 스탬핑을 대체했기 때문에)는 또한 사용 단계에서 자동차의 에너지 소비를 줄이는 데 도움이 됩니다 [9]. GM UniCAST 알루미늄 합금은 Fe 함량에 대한 허용 범위가 더 높아 합금을 만드는 데 100% 재활용 알루미늄 합금과 스크랩을 사용할 수 있습니다 [19].

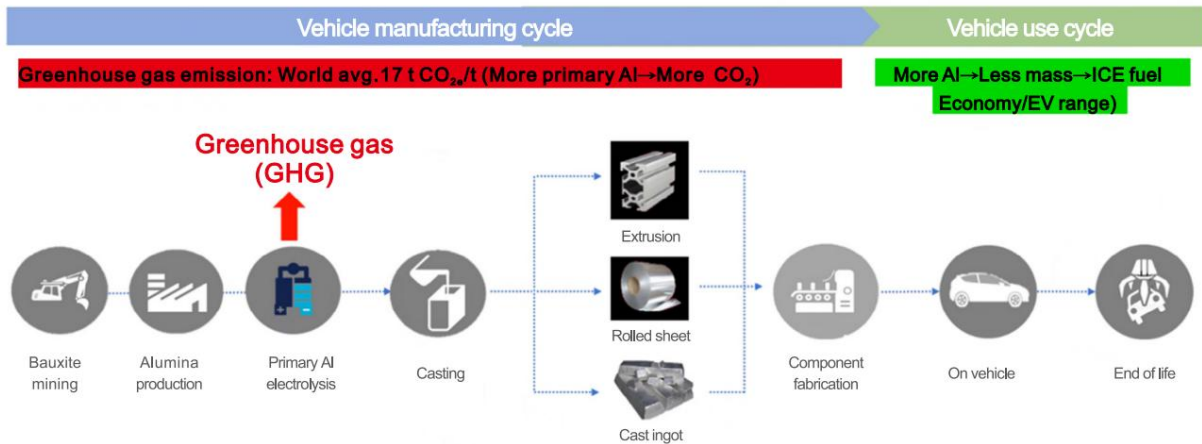


그림 6: 지속 가능성 측면에서의 알루미늄 역설 [19]

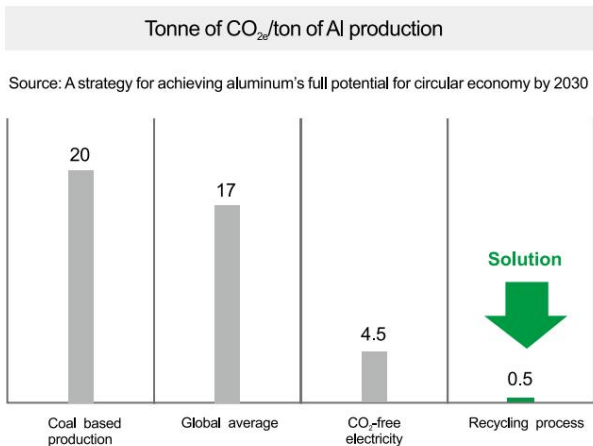


그림 7: 다양한 알루미늄 제조 공정 중 CO2 생성 비교 [19]

3.4 수리성 및 서비스성 Hartlieb [9] 이 언급한 대로 초

대형 주조물로 조립된 차량은 사소한 수리를 거의 불가능하게 만듭니다. 이는 초대형 주조물이 수십, 수백 개의 작은 부품을 대체했으며 다른 구성 요소와 결합하여 전체 차체 구조를 형성했기 때문입니다. 전체 메가/기가

주조물은 주조물에 작은 손상이 있을 경우 교체해야 합니다. 이러한 서비스와 수리를 수행하는 데는 많은 비용과 시간이 소요됩니다. 메가/기가 주조물이 없는 조립 및 차량과 달리 정비사는 손상되거나 결함이 있는 부품을 간단히 제거하고 교체할 수 있습니다 [9,16].

도전을 극복하려면 수리를 위해 초대형 주조물을 설계해야 합니다. 예를 들어, GM 엔지니어는 주요 본체 부분과 일체로 주조된 적어도 하나의 사전 정의된 교체 가능 부분과 주요 부분과 사전 정의된 교체 가능 부분을 구분하는 절단 가이드를 포함하는 쉬운 수리 기능이 있는 초대형 일체형 주조물의 설계를 제안했습니다 [20, 21]. 절단 가이드에는 일체형 주조물의 외부 표면에 정의된 연속 채널 본체 부분이 포함됩니다. 절단 가이드에는 또한 주요 본체 부분의 채널 벽에서 뻗어 있는 리브가 포함됩니다. 손상 부분은 절단 가이드를 따라 일체형 주조물을 절단하여 주요 본체 부분에서 절제할 수 있습니다. 절제된 손상된 교체 가능 부분은 손상되지 않은 교체 가능 부분과 실질적으로 동일한 형상, 치수 및 기계적 특성을 갖는 교체 부품으로 교체할 수 있습니다.

교체 부품은 기계적 수단(예: 볼트)이나 용접을 통해 본체 부분에 결합될 수 있습니다.

품질에 영향을 미치는 4가지 요소 초대형 알루미늄 주조물

4.1 주조 알루미늄 합금

초대형 주조 캐비티에서 긴 금속 유동 길이를 사용하면 주조 알루미늄 합금은 높은 유동성과 낮은 수축률, 낮은 고온 인열 경향을 포함하여 훨씬 더 나은 주조성을 갖게 됩니다. 유동성은 주조 알루미늄 합금의 중요한 주조성 특성으로, 주조 제품의 유동성과 건전성에 영향을 미칩니다. 합금의 유동성이 만족스럽다면, 즉 합금이 양호한 금형 충전 능력을 가지고 있다면 정확한 치수, 완전한 모양 및 날카로운 윤곽을 가진 주조물을 쉽게 얻을 수 있습니다 [9].

유동성이 좋지 않으면 금형 충전성이 나쁘고 주조 결함이 주조물에 쉽게 형성됩니다. 주조 알루미늄 합금의 유동성은 조성, 주입 온도, 금형 특성 및 [22, 23]과 같은 여러 요인의 영향을 받습니다. Al-Si 기반 주조 알루미늄 합금에서 Si 함량 구성은 유동성뿐만 아니라 수축에도 영향을 미치는 중요한 요소입니다. 거의 공용 (10%-12% Si) 조성은 유동성과 수축 감소에 도움이 되지만 Sr 개질 소시킵니다. 일반적으로 및 전체 용액 및 과시호 열처리(T7)를 사용하더라도 인장 연성을 크게 감소 HPDC 부품은 특히 메가/기가 주조물의 경우 전체 T7 열처리를 거치지 않습니다. 타협하기 위해 현재 HPDC 메가/기가 주조물에 ~7% Si(예: C611, Aural 5 등)가 포함된 주조 알루미늄 합금이 주조성의 균형을 맞추기 위해 사용됩니다.

영어: 필요에 따라 인장 신장. 초대형 주조 부품의 모래 주조의 경우 연성을 달성하기 위해 더 낮은 Si 함량(~5% Si)을 사용해야 합니다. 표 3은 현재 HPDC 메가/기가 구성 요소에 사용되는 대표적인 주조 알루미늄 합금의 조성을 보여줍니다. Si 외에도 소량의 Mg가 자연 노화 및 가능한 T5 인공 노화(예: 페인트 베이킹 공정을 통한)를 통한 강화에 사용됩니다. Mn을 첨가하는 것은 주로 다이 솔더링을 최소화하고 동시에 Fe를 중화하기 위한 것입니다. 마찬가지로 Sr을 첨가하는 것은 Si를 개질하고 동시에 다이 솔더링 저항을 개선하기 위한 것입니다. 테슬라가 사용하는 AA386 합금의 경우 소량의 Cu(최대 0.8%)가 주조성과 주조 내식성에 상당한 부정적인 영향을 미칩니다. Cu를 첨가하면 낮은 용점의 Cu 함유 상이 생성되어 그림 8 및 표 4에 표시된 대로 합금 동결 범위와 수축 기공 경향이 증가합니다. Cáceres et al. 그림 9에 나타난 바와 같이 Cu 함량이 0.5%-1% 범위에 있을 때 기공률이 상당히 증가한다고 보고했습니다.

[24]

Al-Si 기반 합금에 Cu를 첨가하면 균열 감수성 계수(CSC)가 높아지고 따라서 열간 인열 저항이 낮아집니다(그림 10 참조 [26]). 또한 알루미늄 합금에 Cu가 존재하면 재료 내식성이 크게 감소합니다. 그림 11과 같이 Cu가 합금 내식성에 미치는 해로운 영향은 Mg, Fe, Sr과 같은 다른 합금 원소보다 훨씬 큼니다. 따라서 차체 구조용 주조 알루미늄 합금에 Cu를 첨가하는 것은 권장되지 않습니다.

표 3: 현재 초대형 주조물에 사용되는 합금의 조성 비교

합금(중량%)	규소	망간	마그네슘	철	인	의	다섯	사이어
오렐 5(마그나)	6.0-8.0	<0.03	0.1-0.6	최대 0.2	0.3-0.6	<0.08		0.014-0.017
C611 (이자캐스트, 알코아)	6.0-9.0	<0.05	0.15-0.3	최대 0.15	0.4-0.8	<0.1		0.01-0.03
AA386 (테슬라 증고)	6.0-11.0	0.3-0.8	0.1-0.4	최대 0.5	0.3-0.8	0.15 최대 0.05-0.15		0.01-0.03

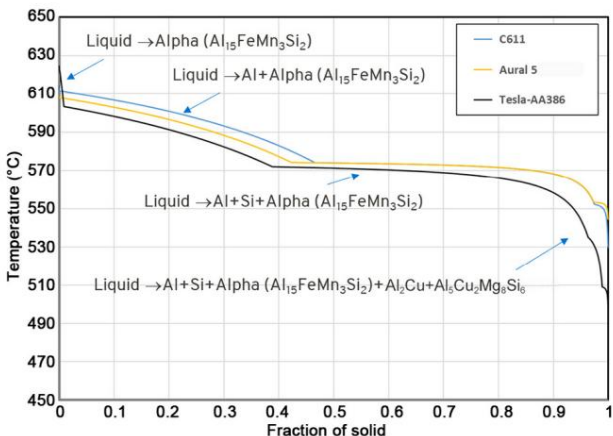


그림 8: 현재 초대형 알루미늄 주조에 사용되는 합금의 고체 및 응고 순서에 대한 계산된 마찰력

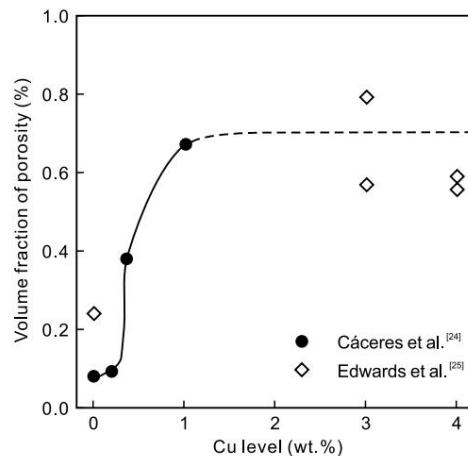


그림 9: 주조 Al-Si-Mg 합금의 Cu 함량에 따른 기공의 부피 분율 [24]

표 4: 합금 동결 범위 및 응고 단계의 비교

HPDC 합금(중량%)	동결 범위(°C)	총 공용인자(vol.%)	Si(부피%)	베타-철(부피%)	알파-철(vol.%)	공용인자(HPDC)(부피%)	공용인자(일반)(부피%)	Q-단계(부피%)
오렐 5(마그나)	87	8.2	6.2		1.8		0.2	
C611(이자캐스트, 알코아)	87	7.9	5.8		1.84		0.2	
AA386(테슬라 기기)	124	9.7	6.4	0.002	2.4	0.42		0.48

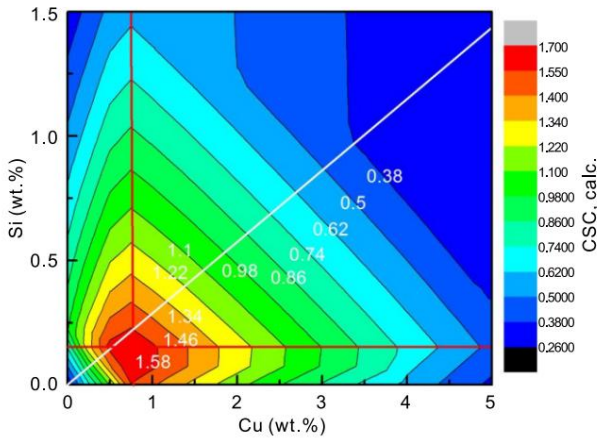


그림 10: Cu 및 Si 함량의 함수로서 예측된 균열 감수성 계수(CSC)

[25]

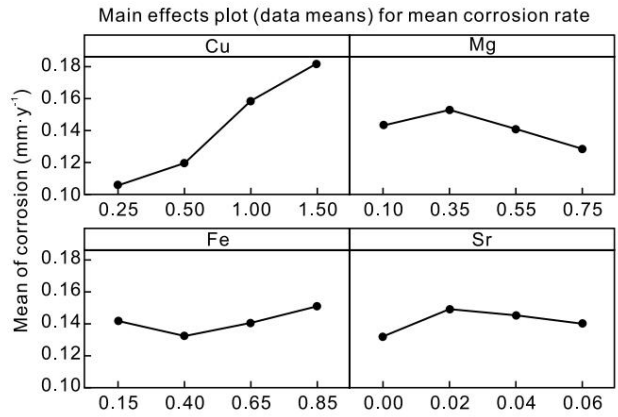


그림 11: Al-Si-Mg 합금의 내식성에 미치는 Cu, Mg, Fe 및 Sr 함량의 영향

4.2 용융 청결도 제어

액체 알루미늄의 청결도는 대부분의 최종 주조 결함이 일반적으로 액체 금속에서 나오는 내포물과 가스 관련이 있기 때문에 고품질 주조물을 생산하는 데 필수적입니다 [27-29]. 액체 금속은 금형 캐비티에 주입하기 전에 가능한 가장 높은 수준으로 세척해야 합니다. 액체 금속의 최고 수준의 품질은 산화물 내포물과 용해된 가스가 응고 중에 주조 결함을 일으키지 않을 정도로 최소화된다는 것을 의미합니다. 액체 금속의 최고 품질을 보장하기 위해 시작점은 1차 잉곳, 2차(재활용) 잉곳, 구매한

폐기물 충전 표면에서 자연적으로 발생하는 산화막을 형성할 뿐만 아니라 용융 욕조를 산화로 부터 보호하기 위한 커버 플럭스를 제공합니다.

산화막 제거 메커니즘은 용융 알루미늄과 산화막 사이의 계면장력에 의해 설명될 수 있습니다.

산화막, 산화막 제거가 일어나기 위해서는 용융 Al/용융염과 산화막/의 계면 장력의 합이 필요합니다.

용융염은 계면장력보다 작아야 합니다.

용융 Al 및 산화막은 다음 방정식에 주어진 바와 같습니다.

$$\gamma_{Al/염} + c \frac{\gamma_{산화물/스금}}{\gamma_{Al/산화물}} < \gamma_{Al/산화물} \tag{1}$$

여기서 $\gamma_{Al/산화물}$, $\gamma_{Al/염}$, $\gamma_{산화물/스금}$ 계면은 알루미늄-산화물, 알루미늄-염, 염-산화물 계면에서의 계면 장력입니다.

열역학적으로 이 기준은 결코 충족되지 않습니다. 그러나 계면 난류 현상에 근거하여 산화물 분리의 초기 단계에서 용융염이 먼저 산화막의 작은 균열을 통해 신선한 알루미늄 표면으로 침투한다고 제안할 수 있습니다. 이러한 작은 균열은 밑에 있는 알루미늄이 산화막보다 더 많이 팽창하기 때문에 가열하는 동안 발생했습니다. 산화막이 더 이상 압축되지 않는 한, 액체 알루미늄은 구형이 되는 경향이 있으며 그 사이에 용융염은 그림 12에서 볼 수 있듯이 많은 작은 틈새에서 신선한 알루미늄과 화학적으로 반응하기 시작합니다 [29].

스크랩, 게이밍 시스템 및 스크랩 부품에서 사내 반품. 일반적으로 스크랩 부품 및 특히 반품 충전물은 1차 잉곳, 특히 연속 주조 빌렛에서 공급되는 잉곳에 비해 불순물 함량이 높고 산화물 및 용해 가스 수준이 더 높은 경향이 있습니다. 많은 양의 스크랩 반품을 사용하는 경우 모든 스크랩 반품 표면이 산화물로 가득 차 있고 습기 및 기타 오염 물질이 포함되어 있을 수 있으므로 액체 금속 오염을 피하기 위해 특별한 주의를 기울여야 합니다. GM에서 스크랩 및 반품 충전물로 인한 액체 금속 오염을 줄이기 위한 한 가지 기술을 보고했습니다 [30]. 이 방법은 스크랩 충전물을 예열하여 습기와 오염 물질을 제거하는 것을 포함합니다. 그런 다음 스크랩 충전물을 모든 자유 표면에 플럭스 층으로 코팅합니다. 그런 다음 스크랩 충전물을 용광로에서 녹여 주조에 적합한 액체 알루미늄 용융 욕조를 형성합니다. 플럭스 층은 다음을 제거합니다.

용융염이 신선한 알루미늄과 반응하면 나트륨 및 칼륨과 같은 표면 활성 원소가 생성될 수 있습니다.

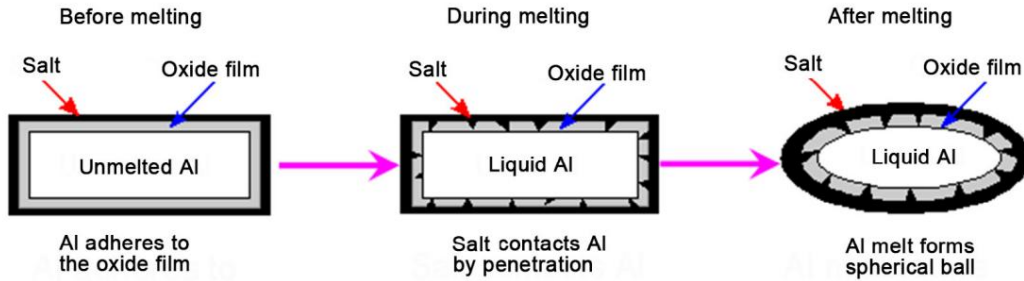


그림 12: 알루미늄 산화물 분리 공정을 설명하는 개략도

[29]

알루미늄 표면에 흡수되어 알루미늄과 용융염 사이의 계면 장력이 감소합니다.

나트륨 및 칼륨과 같은 염 이온의 흡착은 작은 틈새(균열)의 불균일한 분포로 인해 알루미늄 물방울의 전체 표면을 따라 균일하지 않으며, 표면을 따라 농도 구배가 존재합니다. 결과적으로 알루미늄 액체는 회전하는 경향이 있습니다(계면 이동). 이는 산화물 층을 액체 알루미늄에서 분리하는 스트리핑 힘을 생성합니다. 예를 들어, 등물 NaCl-KCl

소금 시스템에서 알루미늄과 소금 사이의 계면 장력은 $710 \text{ mN} \cdot \text{m}^{-1}$ 입니다. 이 시스템에 NaF를 추가하면 이 값은 $450 \text{ mN} \cdot \text{m}^{-1}$ 로 감소합니다. 액체 알루미늄은 알루미늄과 소금 사이의 계면 장력이 더 높은 영역($710 \text{ mN} \cdot \text{m}^{-1}$)으로 회전하고, 이는 전체 시스템의 전반적인 에너지를 낮춥니다.

용융염에서 평평한 산화막 위에 알루미늄 액체 방울이 놓여 있다고 가정하면, 세 가지 계면 장력이 젖은 알루미늄 방울에 작용할 것입니다(그림 13). 이 세 가지 계면 장력은 평형 조건이 얻어지면 다음과 같은 관계를 가질 것입니다.

$$\gamma_{\text{Al/산화물}} = \gamma_{\text{산화물/염}} \gamma_{\text{Al/염}} \times \cos \theta \quad (2)$$

여기서 접촉각 (θ)은 젖음성의 척도이며, 3상 접촉선의 접선과 고체 산화물 계면 사이의 각도입니다. 면적 (S)의 얇은 산화물 필름이 알루미늄 물방울에서 벗겨져 물방울이 소금과 접촉하는 면적 (S)을 갖게 되었다고 가정하면, 시스템의 자유 에너지 변화 (ΔG)는 다음과 같습니다.

$$\Delta G = S(\gamma_{\text{oxide/salt}} + \gamma_{\text{Al/salt}} - \gamma_{\text{Al/oxide}}) \quad (3)$$

$\gamma_{\text{Al/oxide}}$ 를 Eq. (2)로 대체하면 위 방정식은 다음과 같습니다.

다음과 같이 다시 쓰면 됩니다:

$$\Delta G = S \gamma_{\text{Al/salt}} (1 + \cos \theta) \quad (4)$$

알루미늄 물방울이나 산화막을 분리하려면

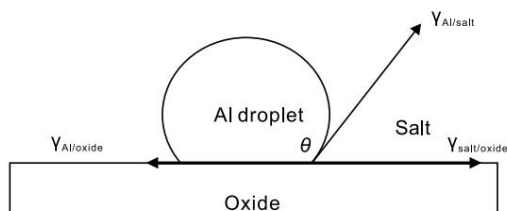


그림 13: 알루미늄에 작용하는 계면장력 액체 방울과 산화 알루미늄 기질

[29]

다른 말로, 산화막에서 알루미늄 물방울을 적시지 않으려면 시스템의 자유 에너지를 줄여야 합니다. 이는 알루미늄/소금 또는 산화물/소금 계면 장력을 낮추거나 알루미늄/산화물 계면 장력을 높여서 수행할 수 있습니다. 산화물과 알루미늄 사이의 계면 장력이

증가하면 자유에너지의 변화가 음수가 되고 산화막 제거가 더 자발적으로 이루어진다. Eq. (4)에 따르면,

그러나 산화막 제거는 알루미늄과 소금 사이의 계면장력이 음수가 될 수 없기 때문에 자발적으로 이루어지지 않습니다. 따라서 할 수 있는 일은 산화막을 줄이는 것입니다.

$\gamma_{\text{Al/염}}$ 값을 가능한 한 낮추고 접촉각 θ 를 가능한 한 크게 증가시킵니다.

알루미늄 액체에 용해된 수소는 용융물이 적절하게 탈기되지 않으면 많은 가스 기공을 생성할 수 있습니다. 이는 액체와 고체 사이의 수소 용해도 차이가 크기 때문입니다. 고내구성 알루미늄 주조물을 만들려면 액체 알루미늄의 수소 수준을 100g 알루미늄당 0.15mL 이하, 바람직하게는 0.1mL 이하로 제어해야 합니다.

100g 알루미늄당. 자세한 탈기 원리와 실행은 참고문헌 [4]에서 검토 및 보고되었습니다.

4.3 게이팅 시스템 설계

게이팅 시스템의 설계는 이후의 설계 절차에 영향을 미치고 주요 제품의 전반적인 품질에 영향을 미치기 때문에 주조에 매우 중요합니다. 주물의 모양과 관계없이 주요 품질은 항상 게이팅 시스템에 의해 결정됩니다 [31]. 게이팅 시스템의 최적 설계는 용융 금속의 난류 흐름을 크게 줄여 가스 및 고체 불순물의 양을 최소화할 수 있습니다. 양질의 알루미늄 주조물을 생산하려면 어떤 종류의 주조 공정이든 자연 가압 게이팅 시스템을 설계해야 합니다. 게이팅 시스템의 개별 부품의 단면 치수는 주조물의 치수와 무게에서 계산할 수 있습니다.

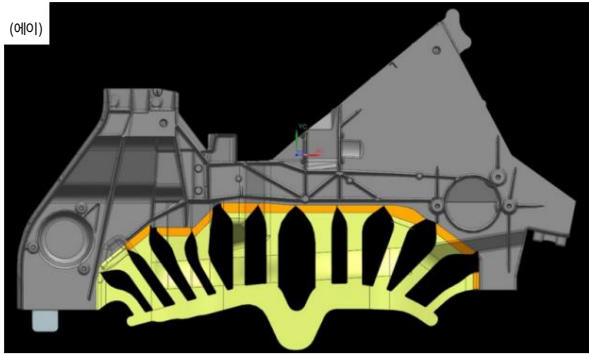
일반적으로 금형 충전 중 언제든지 용융 속도는 용융 전면 난류 및 산화막 유입을 방지하기 위해 임계 속도 $0.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ [4, 32] 이하로 유지되어야 합니다.

그러나 HPDC의 경우 얇은 벽을 채우려면 100~200 밀리초 이내에 금형 충전을 완료해야 하며, 콜드 셋이나 오렌 결함이 발생하지 않아야 합니다. 인게이트에서의 최소 용융 속도는 일반적으로 임계 속도보다 80배 더 빠른 $40 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 로 제어됩니다.

따라서 용융 전선이 수렴되는 것을 방지하고 용융 흐름을 가능한 한 원활하게 유지하기 위해 HPDC 게이팅 시스템과 특히 게이트 위치 및 크기를 올바르게 설계하는 것이 중요합니다.

그림 14는 대형 HPDC 구조 주조를 위한 두 개의 게이팅 설계의 예를 보여줍니다. 설계 1과 2 사이의 러너와 인게이트의 작은 변경은 그림 15에 표시된 것처럼 금형 충전 중에 다른 양의 공기 유입으로 이어질 수 있습니다.

공기 유입은 계산 유체 역학을 기반으로 한 주조 금형 충전 공정 시뮬레이션을 통해 계산됩니다. 설계 2는 넓고 얇은 러너와 연결된 인게이트를 사용하여 충전 단계에서 갇힌 공기를 줄이는 것으로 보입니다.



(비)

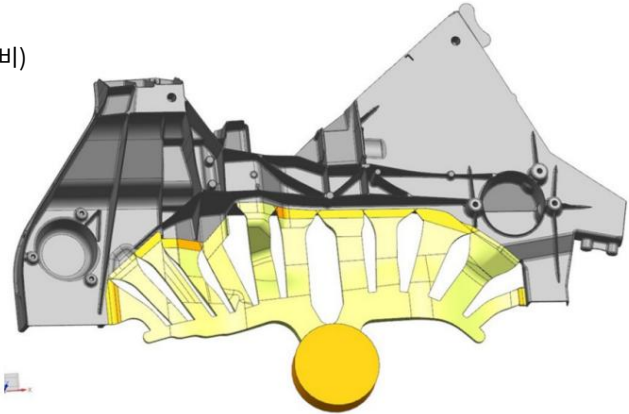


그림 14: 대형 HPDC 구조 부품에 대한 두 가지 게이팅 설계: (a) 설계 1; (b) 설계 2

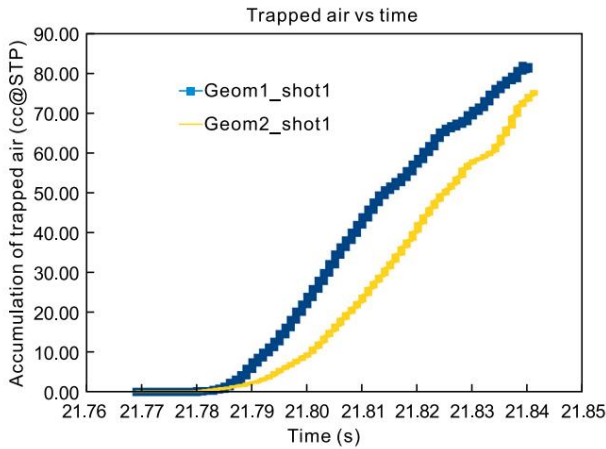


그림 15: 두 게이팅 설계 간의 갇힌 공기 적분 비교(주조에만 해당)

외관. 화학적 에칭 방법 또는 대체 표면 처리 접근 방식을 금속 다이 표면에 적용하여 거친 패턴이나 질감을 만들어 금형 충전 중에 금속 전면의 산화막을 벗겨 표면 외관 및 품질 문제를 해결할 수 있습니다. 그림 16은 적절한 다이 표면 처리로 제거된 주조 표면 결함의 예를 보여줍니다 [33].

4.5 주조 공정

게이팅 시스템 설계와 마찬가지로 최적의 주조 공정 제어는 특히 초대형 알루미늄 주조의 주조 품질에 매우 중요합니다. 주조 공정 매개변수는 주어진 게이팅 설계가 문자 그대로 공정 매개변수를 결정하기 때문에 최적의 결과를 위해 계산된 게이팅 분석과 긴밀히 제어되고 정렬되어야 합니다.

4.4 금형 표면처리

금형 표면 상태는 표면 마감의 품질뿐만 아니라 주조 내구성 성능에 상당한 영향을 미칠 수 있는 주조 스킨 층의 품질도 결정합니다. 피로 균열은 일반적으로 주조 표면에서 형성되기 때문입니다. 예를 들어, 다이 표면에 적용된 코팅 재료의 품질이 좋지 않으면 주조물의 표면 마감이 매끄럽지 않습니다. 또한 코팅을 너무 많이 적용하면 치수 정확도에 영향을 줄 수 있는 과도한 빌드업으로 이어질 수 있습니다.

세라믹 기반 소재의 코팅을 사용해야 하는 경우, 주조 치수 정확성을 보장하고 동시에 금형에서 주조물을 쉽게 제거할 수 있도록 코팅 두께를 0.15~0.3mm 사이로 유지해야 합니다.

비교적 큰 평평한 표면을 가진 주조물은 금형 충전 중에 용융 전선에 접은 산화물이 형성되고 얇고 과도한 표면 모양과 품질 문제를 겪을 수 있습니다. 최종 제품에서 표면 아래 또는 근처의 산화물은 나쁜 표면 외에도 기계적 특성과 특히 피로 성능을 크게 감소시킬 수 있습니다.

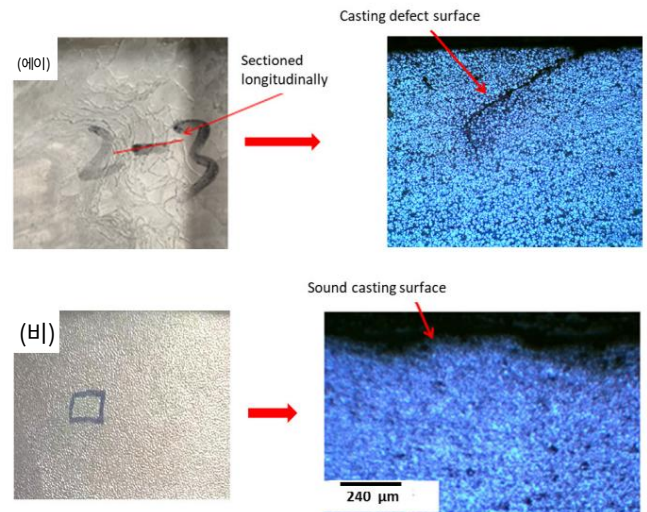


그림 16: 적절한 다이 표면 처리로 제거된 주조 표면 결함을 보여주는 예 [32]: (a) 주조 표면 결함; (b) 다이 표면 처리로 제거된 표면 결함

4.5.1 금형 온도

주입 시 금형 온도는 금형 충전, 응고, 잔류 응력, 변형, 주조 치수 정확도 및 금형 수명에 상당한 영향을 미칩니다. 금형 온도가 너무 낮으면 주조물이 콜드 셋, 유동 마크 및 오렌 결함으로 잘 채워지지 않습니다. 그러나 금형 온도가 너무 높으면 표면 기포, 용접 및 수축과 같은 결함이 형성될 수 있습니다. 주어진 크기의 주조에 대해 최상의 주조 품질과 연장된 금형 수명의 좋은 조합을 달성하기 위한 이상적/최적의 금형 온도가 있지만 일반적으로 이상적인 금형 온도는 선택한 합금의 용융 주입 온도의 약 1/3로 유지해야 한다는 것이 인정됩니다. 실제 이상적인 금형 온도는 주조 전후의 금형 캐비티 표면 온도를 측정하기 위해 열 화상 기술을 통한 주조 공정 시뮬레이션 코드를 사용하여 결정하고 최적화해야 합니다. 주조 형상의 복잡성과 부품 전체의 다양한 벽 두께로 인해 이상적인 금형 온도는 전체 금형 캐비티에서 균일하지 않아야 합니다. 따라서 이상적인 금형 온도 분포를 달성하기 위해 적응형 가열/냉각 시스템이 필요합니다.

초대형 메가/기가 주조의 경우, 국소 열 관리 인서트를 사용하여 금형 온도와 주조 품질을 제어할 수 있습니다.

4.5.2 주입 온도

금속 주조에서 주입 온도는 금속 유동성과 점도에 영향을 미칠 뿐만 아니라 냉각 속도, 미세 구조 미세도, 합금 원소 분포를 결정하기 때문에 중요한 공정 매개변수입니다. 따라서 주입 온도는 금속 흐름과 주조 품질 및 기계적 특성에 영향을 미칩니다. 주입 온도가 낮으면 불안정한 주조, 콜드 셋, 오렌 및 표면 결함이 발생합니다.

높은 주입 온도는 거친 미세 구조, 높은 응고 수축 및 다공성, 더 많은 찌꺼기 형성 및 낮은 기계적 특성을 초래합니다. 높은 주입 온도는 또한 금형을 손상시켜 다른 결함으로 이어질 수 있습니다.

HPDC에서 최적의 주조 품질과 기계적 특성을 달성하려면 올바른 주입 온도를 선택하는 것이 중요합니다. 일반적인 주입 온도는 합금의 액상선 온도보다 약 50~100°C 더 높게 조정되지만, 특히 초대형 메가/기가 주조의 경우 최적의 주입 온도를 결정하기 위해 포괄적인 주조 공정 시뮬레이션이 필요합니다. 이는 초대형 주조는 일반 주조에 비해 잉게이트에서 금속 흐름 거리가 훨씬 더 길기 때문에 최적의 주입 온도를 결정하는 것이 다이에 손상을 입히지 않고도 금형 캐비티로 원활하고 완전한 금속 흐름을 보장하는 데 훨씬 더 중요해지기 때문입니다.

4.5.3 주입 속도 및 시간

주입 속도는 HPDC에서 용융 금속이 다이에 주입되는 속도입니다. 주입 시간은 용융 금속이 채워질 때까지 다이캐스팅 금형에 주입되는 데 필요한 시간입니다. 둘 다 상호 의존적입니다. 주어진 크기의 주조에 대해 높은 주입 속도는 짧은 주입을 초래합니다.

시간. 충전 속도는 주로 주입 온도의 영향을 받습니다. 주입 온도가 높으면 용탕의 점도가 낮아지고 유동성이 증가합니다. 유동성이 증가하면 충전 속도도 증가합니다. 충전 속도는 또한 주조 품질을 결정하는 요소입니다.

충전 속도가 낮으면 주조물이 불분명하고 성형할 수 없습니다. 충전 속도가 적절하면 사출 압력이 낮아도 표면 품질이 높은 주조물을 얻을 수 있습니다. 금형 충전 속도가 너무 높으면 공기 및 산화물 유입 주조 결함이 많아지는 등 바람직하지 않은 결과가 발생할 수 있습니다. 따라서 최적의 주입 속도와 시간은 실험적 검증과 결합된 주조 공정 시뮬레이션 도구를 사용하여 결정해야 합니다.

HPDC에서 주입 속도와 주입 시간은 사출 프로파일을 구성합니다. 즉, 사출 프로파일은 금형 충전 속도와 시간을 결정합니다. 따라서 사출 프로파일은 강한 공기 및 산화물 유입과 같은 주조 품질을 제어하는 가장 중요한 공정 매개변수 중 하나이므로 고품질 주조를 달성하기 위해 최적화되고 잘 제어되어야 합니다.

예를 들어, 두 개의 샷 프로파일(그림 17에 표시)은 그림 14에 나와 있는 것처럼 두 게이팅 시스템 설계로 계산적으로 분석되었습니다. 네 가지 조합(두 개의 게이팅 설계와 두 개의 샷 프로파일)에 대해 계산된 강한 공기의 축적은 그림 18에 나와 있습니다. 자연 플러저 고속 단계와 가압(샷 프로파일 2)은 게이팅 시스템의 설계 2와 결합될 때 강한 공기를 크게 줄입니다. 분명히 HPDC의 샷 프로파일은 주조 품질과 기계적 특성을 결정하는 데 중요한 역할을 합니다.

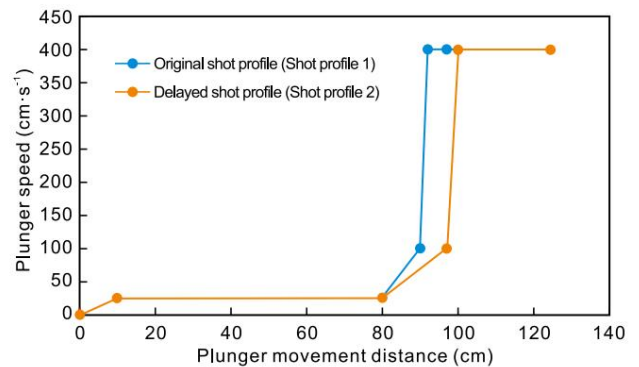


그림 17: 대형 HPDC 구조 주조를 위한 두 개의 샷 프로파일

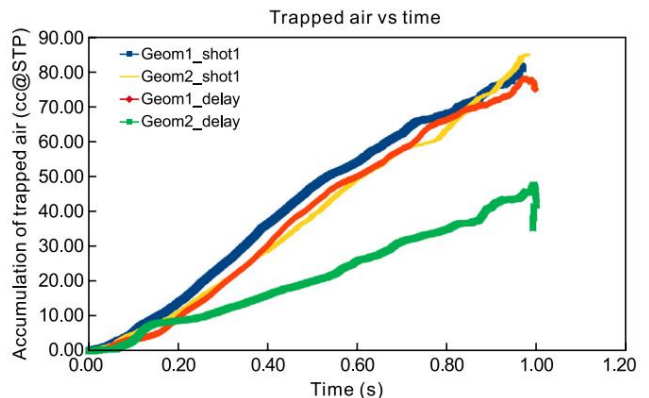


그림 18: 두 개의 게이팅 디자인과 두 개의 샷 프로파일의 네 가지 조합에 대해 계산된 강한 공기의 축적

5 요약

초대형 메가/기가 알루미늄 형상 주조는 자동차 차체 구조 설계 및 제조에 혁명을 일으킬 수 있기 때문에 자동차 산업에서 큰 주목을 받고 있습니다. 현재 초대형 알루미늄 주조는 주로 수십, 수백 개의 스탬프, 압출, 소형 주조 및 용접 부품을 대체하여 차체 하부 구조에 사용되어 구조 설계 및 제조를 간소화하고 질량을 줄이며 비용과 리드 타임을 절약합니다. 많은 매력적인 장점에도 불구하고 초대형 주조의 적용은 주조 품질 및 치수 허용 오차, 부품 서비스성 및 재료 지속 가능성을 달성하기 어려운 것과 같은 몇 가지 과제를 안고 있습니다. 초대형 알루미늄 주조의 수리 가능성과 지속 가능성은 수리 설계 개념을 채택하고 지속 가능한 주조 알루미늄 합금을 사용하여 향상될 수 있습니다. 주조 품질과 기계적 특성은 주조 가능한 알루미늄 합금, 깨끗한 용융 금속, 최적의 게이팅 시스템 설계 및 가상 주조 도구를 사용한 주조 공정 최적화를 사용하여 향상될 수 있습니다. 초대형 주조의 치수 허용 오차와 안정성은 견고한 제조 및 조립 공정 제어를 통해 잔류 응력 및 변형 최소화를 통해 보장될 수 있습니다.

이해 상충

Qi-gui Wang 박사는 CHINA FOUNDRY의 EBM입니다. 그는 원고의 심사나 처리에 관여하지 않았습니다.

저자들은 공개할 만한 다른 이해관계가 없습니다.

참고문헌

- [1] Luo AA, Sachdev A, Apelian D. 경금속 주조를 위한 합금 개발 및 공정 혁신. 재료 가공 기술 저널, 2022, 306: 117606.
- [2] Ducker Frontier, 2020. 2020년 북미 경차 알루미늄 합량 및 전망. 최종 보고서 요약: 2020년 7월.
- [3] Wang QG, Apelian D 및 Griffiths J R. 알루미늄 주조 기술의 발전에 따른 알루미늄 주조의 피로 특성에 대한 미세 구조적 효과. 편집자: M. Tirrykioglu 및 J. Campbell, ASM International, Materials Park, OH, 1998: 217-224.
- [4] Wang Q G. 알루미늄 형 주조의 최신 발전 및 개발. China Foundry, 2013, 10(1): 43-49.
- [5] Wang L, Makhlof M 및 Apelian D. 알루미늄 다이캐스팅 합금-합금 조성, 미세 구조 및 특성/성능 관계. Int. Materials Reviews, 1995, 40: 221-238.
- [6] Cáceres CH, Davidson CJ, Griffiths JR, et al. 아공정 Al-Si-Mg 주조 합금. Materials Forum, 1997, 21: 27-43.
- [7] Taylor J. 알루미늄 주조에서의 금속 관련 주조성 효과. 주조 금속, 1996, 8: 225-252.
- [8] Wang Q G. 알루미늄 주조물의 피로 파괴 메커니즘 및 피로 수명 평가. PK Liaw, RA 편집, Materials Lifetime Science & Engineering 논문집에서
뷰캐년, DL Klarstrom, RP Wei, DG Harlow 및 PF Tortorelli, TMS(광물, 금속, 재료 학회), 2003, 워렌데일, 펜실베이니아: 211-222.
- [9] Hartlieb A 및 Hartlieb M. 기가캐스팅이 자동차 제조 및 알루미늄 합량에 미치는 영향. <https://www.lightmetale.com/news/industry-news/automotive/the-impact-of-giga-castings-on-car-manufacturing-and-aluminum-content>, 2023년 7월 10일.
- [10] Hardigree M. 테슬라가 자동차 산업에서 가장 중요한 단어인 '기가캐스팅'을 만든 방법. <https://www.theautopian.com/how-tesla-made-gigacasting-the-most-important-word-in-the-car-industry>, 2023년 9월 14일.

- [11] Hart C, Afseth A 및 Zuidema B. 배터리 전기 자동차의 알루미늄 가치. 알루미늄 협회, 2022년.
- [12] Abraham A K. 변화하는 환경 속의 자동차 소재. 더커 칼라일, 2023년 1월 24일.
- [13] Mihalascu D. Cadillac은 Tesla의 사례에서 한 페이지를 따서 Celestiq에 메가 캐스팅을 사용합니다. <https://insideevs.com/news/617108/cadillac-takes-page-from-tesla-book-uses-mega-castings-on-celestiq>, 2022년 10월 18일.
- [14] Phelan K. 올해의 캐스팅: 클린시트 캐스팅 캐스팅 디자인을 위한 행성 정렬. Modern Casting, 2023년 5월: 24-31.
- [15] Panday A. Toyota의 배터리 기술 및 기가 캐스팅에 대한 발표는 무엇을 의미합니까? 2023년 8월 2일. <https://www.linkedin.com/pulse/what-do-toyotas-announcements-battery-technologies-giga-castings/>
- [16] Schuh G, Bergweiler G, Dworog L, 외. 자동차 생산에서 대형 주조의 기회와 위험 - 흰색 알루미늄 다이캐스트 차체. 뒤셀도르프: VDI Fachmedien, www.researchgate.net/publication/363880399, 2022년 9월.
- [17] Wärmefjord K, Hansen J 및 Söderberg R. 기하학의 과제 자동차 산업에서 메가캐스팅의 보증. ASME, Journal Computing and Information Science in Engineering, 2023, 23(6). <https://doi.org/10.1115/1.4062269>.
- [18] Giga Presses. 자동차 제조를 재편하고 있는 거대한 다이캐스트. Reuters/Automotive News Europe, 2023년 2월 10일.
- [19] Zhan H, Zeng G, Wang Q 외. 통합 주조(UniCast) 알루미늄 합금 - 차량 경량화를 위한 지속 가능성 역할 재료 솔루션 해결. 재료 과학 및 기술 저널, 2023, 154: 251-268.
- [20] Wilson DJ, Wang L, Wang Q, et al. 초대형 주조물 수리. 미국 특허출원번호: 20230356293.
- [21] Wilson DJ, Wang L, Wang Q, et al. 초대형 일체형 주조물의 현상 수리 방법. 미국 특허 출원 번호: 20230339052.
- [22] Ravi K R. 알루미늄 합금 및 복합재의 유동성: 검토. 합금 및 화합물 저널, 2008, 456(1-2): 201-210.
- [23] Gao Y, Liao H, Suo X 등. 인공신경망을 이용한 주조용 알루미늄 합금의 유동성 예측. In: Proceedings of Materials Science & Technology(MS&T2019), 9월. 10월 29일 2019년 3월 3일, 미국 포틀랜드.
- [24] Cáceres CH, Djurdjevic MB, Stockwell TJ 외. Al-Si-Cu-Mg 주조 합금의 미세 기공 수준에 대한 Cu 함량의 영향. Scripta Materials, 1999, 40(5): 631-637.
- [25] Edwards GA, Sigworth GK, Cáceres CH, et al. Al-Si-Cu-Mg 주조 합금의 미세 기공 형성. AFS Transaction, 1997: 809-818.
- [26] Liao H, Wang Q, Suo X, et al. 전도성 알루미늄 합금의 용질 의존성 유동성 및 고온 인열 감도 모델링. TMS 2018, 제147회 연례 회의 및 전시회 보증 회의록, 2018년 2월, https://doi.org/10.1007/978-3-319-72526-0_34.
- [27] Lei Z, Liao H, Wang Q, et al. Al-Si 주조 합금의 방향성 응고 중 기공 형성의 현상 관찰. China Foundry, 2011, 8(1): 14-18.
- [28] Liao H, Wu Y, Fan R 외. 방향성 응고 Al-12.3wt.%Si 합금의 기공 형성에 대한 Sr 함량의 영향. China Foundry, 2014, 11(5): 435-439.
- [29] Liao H, Zhao L, Wu Y, et al. X-선 실시간 관찰을 통한 아공정 알루미늄 합금의 불규칙한 모양 기공 형성 메커니즘 연구. Metall. Mater. Trans., 2012, 43A: 2587-2590.
- [30] Wang Q, Gerard D. 알루미늄 주조물의 오래된 산화물을 줄이는 방법. 미국 특허 번호 9574252(2017년 2월 21일).
- [31] 이병덕, 백우현, 한재원. 얇은 마그네슘 합금 기반 다중 캐비티 LCD 하우징의 다이캐스팅을 위한 게이팅 시스템 설계 최적화. 재료공학 및 성능 저널, 2012, 21: 1893-1903.
- [32] Campbell J. Castings, 2판. Butterworth-Heinemann, 6월 2003년 12월 12일.
- [33] Wang Q, Xu Y, Rubin A 외. 고압 다이캐스팅 및 영구 금형 주조의 표면 외관 및 품질을 개선하는 방법. 연구 공개, 2023.