

技術資料

“鑄造工程의 複合加工技術 利用”

崔相鎬

“Use of Complex fabrication technique in Casting Process”

S.H.Choi

1. 序 論

금속가공법이란 金屬素材를 造形함과 동시에 소재에 금속조직적 변화를 부여하는 가공방법을 말한다. 素形材란 금속소재를 조형함은 물론 소재에 금속조직적인 변화를 주는 가공법으로 제조된 재료를 지칭한다. 여기서 말하려는 주조법이란 切削, 研削 등의 기계가공법을 제외한 용접, 소성가공, 분말야금등을 포함하는 소위 素形材 가공법의 하나로서의 주조를 의미한다.

각종 機械裝置의 대부분 部品, 部材는 素形材이므로 이것들을 어떻게 잘 조형하여 제품으로 만드느냐 하는 것이 중요하다. 즉 最適加工法의 選擇이다. 각종 가공법에는 각각 장점과 단점이 있으며 주조에서도 형상, 치수, 재질상의 제약이 작은 장점과 신뢰성에 문제가 있는 제품중량이 커지게 되는 단점이 있다. 이러한 것들은 용접, 소성가공, 분말야금에서도 같다. 따라서 각종 가공법의 장점을 취한 새로운 복합가공기술의 개발에 흥미와 기대가 모아지고 있다.

특히 이러한 기술개발에는 지금까지의 관심 이외의 공해, 위험작업의 회피, 에너지의 절약, 자원의 절약, 공정의 단순화 등을 목표로 하는 가공기술과 다량 소량생산 기술등을 고려하지 않으면 안된다. 이런면에서 주조법을 이용한 복합가공 기술의 현상과 장래에 대해서 생각해 보고자 한다.

2. 鑄造工程의 複合加工 技術

현재 실용되고 있는 복합가공 기술의 주요한 것들을 살펴보면 앞으로도 많은 발전이 기대되는 것들이라고 생각된다.

2-1 熔湯鍛造法

용탕단조법은 금형내에 유압프레스를 이용한 용탕을 기계적방법으로 고압력을 직접 가하여 成形, 凝固시키는 가공법으로써 高壓凝固鑄造法, 펀칭 캐스트법, 半融鍛造法이라고도 하며 가압방식에 따라서 다음과 같은 세가지 방식으로 분류된다.

첫째는 플란저(plunger) 가압 응고법으로써 그림 1에 이의 원리를 나타내고 있으며 이것은 용탕면에 직접 정수압을 가하여 성형, 응고시키는 방법이다.

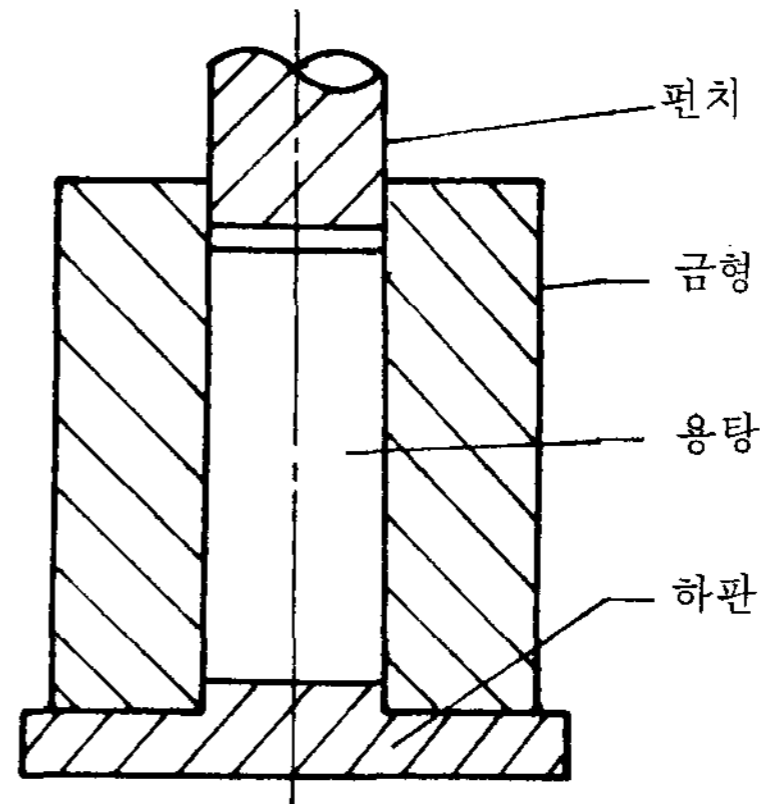


그림 1. 플란저 가압 응고법

이것은 주괴상(ingot) 또는 비교적 단순한 형상의 두꺼운 제품에 적당하다. 여기서 용탕의 外周部는 금형에 강제적으로 눌린 상태에서 급냉, 응고하며 응고완료까지의 시간은 重力鑄造法의 1/3 정도로 짧으며 주조품 표면도 매우 매끄럽다. 이 방법으로 주조결함의 제거, 고밀도화, 응고조직의 미세화등이 얻어져 성질이 우수한 가공품이 만들어진다.

그림 2는 위의 방법을 이용하여 금속기지 복합재료 (etal Composite)를 만드는 예를 나타내고 있다. 그림에서 B는 heater I와 흑연도가니 C를 갖고 있는 hot chamber 이다. D는 steel container로서 하

부 램(ram) K 위에 놓여 있다. 복합재료 제조용 분말 H는 steel container 하부에 놓여 있어 hot chamber 와 떨어져 설치되어 있다. 이것은 heater J에 의하여 독립적으로 예열시킬 수 있도록 하기 위함이다. 용탕 E가 hot chamber 속에 부어지면 상부 램(ram)에 달려있는 펀치 A가 서서히 내려와 압력을 가하게 된다. 스텐레스강의 스크린 G와 석면절연체 F가 용탕과 container 사이에 놓여 있다. 용탕이 분말속으로 침투하여 응고하면 금속기지 복합재료가 얻어진다.

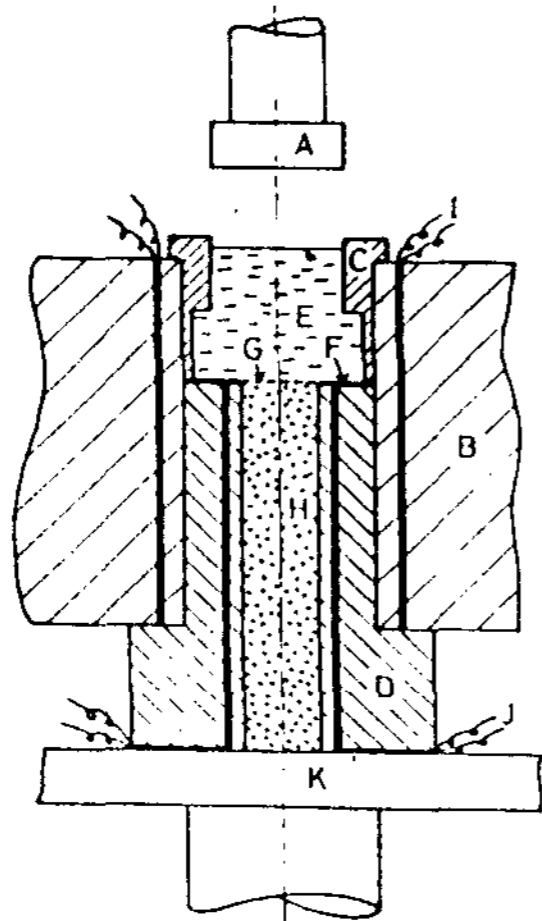
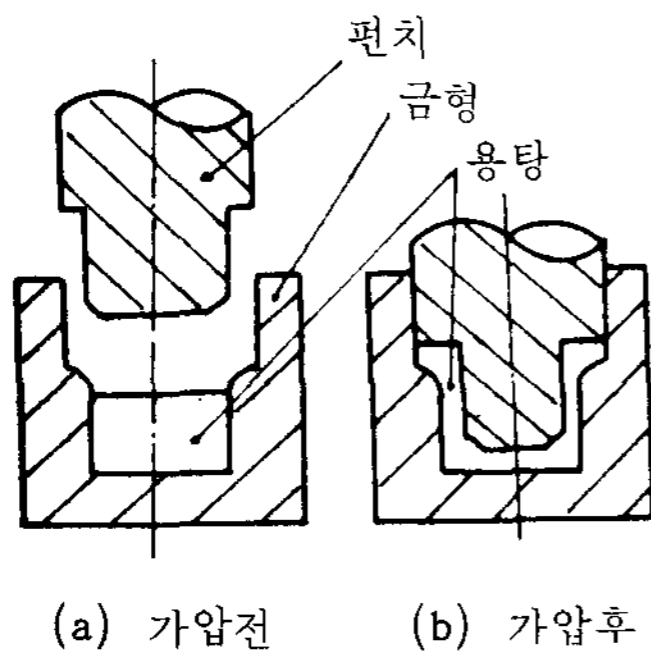


그림 2. 금속기지 복합재료 제조(가압주조)

둘째는 直接押込熔湯 鍛造法으로써 그림 3에 이 방식을 나타낸다.

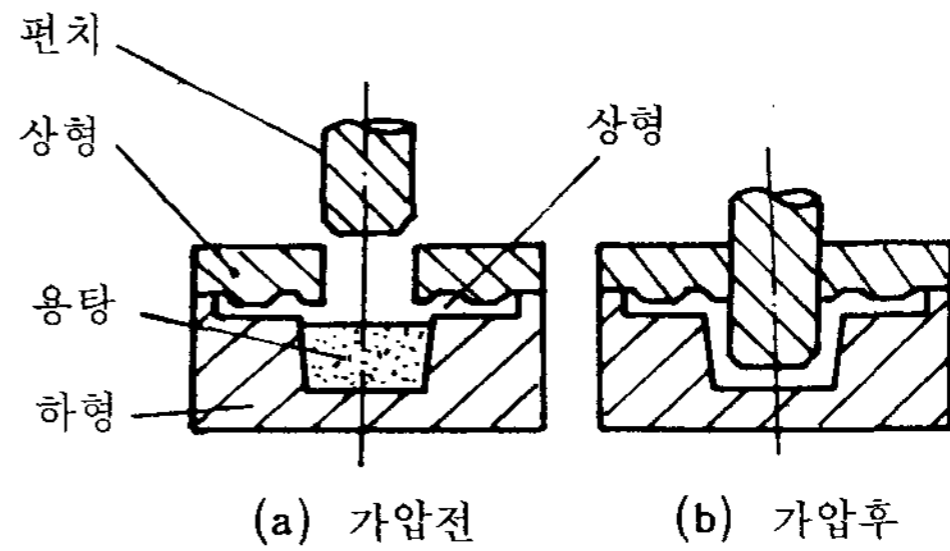


(a) 가압전 (b) 가압후

그림 3. 직접 압입 용탕 단조법

상형펀치와 금형으로 다이스 공간을 구성하기 때문에 펀치의 최종위치는 용탕량의 대소에 따라서 상하로 이동하므로 하부의 두께는 금탕량에 따라서 변동한다. 셋째는 간접압입 용탕단조법으로 그림 4에 이를 나

타내고 있다.



(a) 가압전 (b) 가압후

그림 4. 간접 압입 용탕 단조법

이것은 각각 설계하여 만든 다이의 공간에 용탕을 압입하는 방식으로 입형 다이 캐스트법에 가깝지만 여기서 탕도가 매우 크고 짧다. 용탕을 저속으로 연속하여 이동시키기 때문에 다이캐스트에서 발생하는 분류 또는 creep flow 등이 발생하지 않으며 다이의 공간에 있는 공기의 추출도 용이하다. 이 방법은 비교적 단순형상의 제품에 적용되지만 상당한 가압효과가 있어 치수정밀도가 높고 표면이 우수하며 열처리 가능한 제품이 얻어진다. 하부에서 가압하는 방식도 개발되고 있으며 소형제품의 여러개를 장치한 다이도 있어 다이캐스트의 Acurad 법과 유사하다.

용탕단조법의 응용예로서 자동차용 알미늄 호일, 대형보빈의 플랜지등이 있다.

용탕단조는 실용화된 역사가 길지 않아 생산기술에 대한 Know-how가 거의 발표되고 있지 않은 현재 이것에 대한 결정적 평가를 내리기는 어렵다. 이 기술의 문제점으로는 다음과 같은 점을 지적할 수 있다.

- ① 적당한 합금의 선정과 편석의 방지
- ② 치수, 형상의 제약
- ③ 정량주탕 기술의 확립
- ④ 금형재료의 적당한 선정
- ⑤ 원가상승의 문제점

2-2 鑄造品の 溶接

주조품의 용접은 현재 많이 이용되고 있으며 많은 발전이 기대되고 있어 몇가지 예를 소개한다.

2-2-1 특수주강 정밀주조품의 전자빔 용접에의 적용

정밀주조품은 넓은 분야에서 이용되고 있는데 고성능 재질이 부분적으로 요구되는 경우가 있다. 이때 전체를 고성능 재질로서 주조하는 것은 무모한 일이다. 따라서 필요최소한의 부분을 고성능재질의 정밀주조품

으로 만들고 다른 부분은 필요한도의 재질로 하여서 전체로서는 정밀한 치수와 성능이 좋은 부품으로 만드는 것이 고안되고 있다. 이와 같은 경우에 전자빔 용접(electron beam welding)이 적용되고 있다. 예를 들면 디젤엔진의 예비연소실도 이의 한 예이다.

차량용 디젤엔진은 점점 고속화, 고출력화되어 예비연소실의 손상이 다른 부품에 비하여 현저하여 수명연장이 요구된다. 지금까지의 예비연소실은 그림 5의 일체형 정밀주조품으로 표 1의 재질 A이지만 선단의 일부분만이 1000°C 부근의 고온으로 접촉되므로 고가의 내열합금을 고온가열후 일부에 이용하고 다른 부분은 값싼 탄소강으로 만든다.

이때 합금 B와 탄소강과의 접합에는 치수오차, 용접성을 고려하여 열변형이 작은 전자빔 용접법을 이용하고 있다.

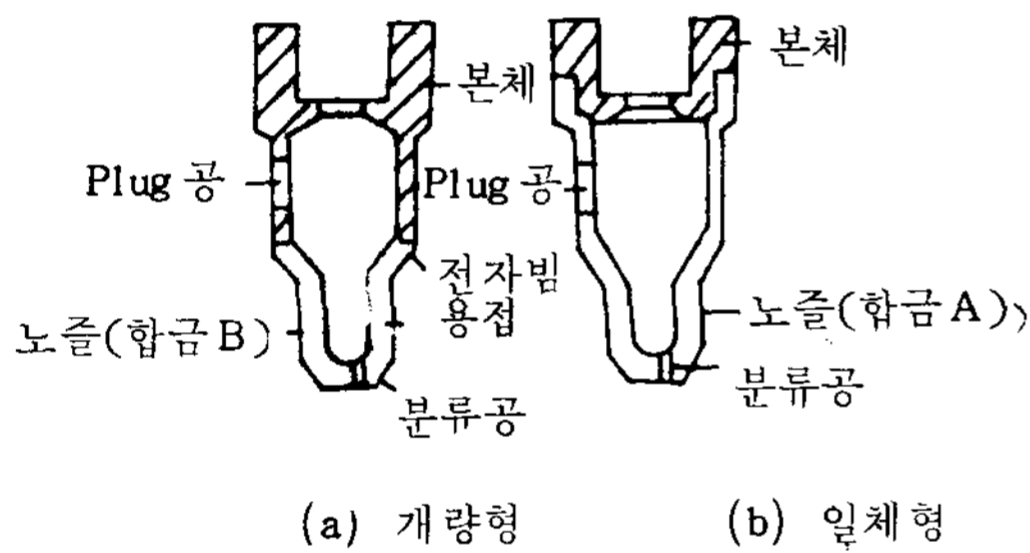


그림 5. 예비 연소실의 모양

표 1. 예비연소실용 내열합금의 화학성분

재질	C	Si	Mn	P	S	Ni
A	0.29	0.87	1.30	0.016	0.012	10.45
B	0.28	0.74	1.28	0.020	0.005	14.90
재질	Cr	Mo	N	Cu	Fe	
A	28.29	0.20	-	-	Baℓ	
B	29.30	-	0.33	0.07	Baℓ	

재질 B는 Ni이 재질 A보다 4.5% 많아 분류공의 내식성이 개량되고 있다. 재질 B의 정밀주조품과 탄소강과의 전자빔 용접에 의한 개량형 예비연소실은 9.50시간 운전에서도 분류공의 내경변화가 재질 A의 일체형 정밀주조품보다 거의 변하지 않고 강도, 용접성도 개량되었다. 그러나 전자빔용접은 진공중에서 행하므로 장치등에 특별한 배려를 하지 않으면 안된다. 용접 변형이 매우 작고 용접부의 폭이 좁아지고 정밀한 용

접이 되며 용접봉을 사용하지 않으므로 이종재질의 접합이 가능한 이점이 있다.

2-2-2 대형 용접구조 주강품의 제조

각종 플란트(plant)의 대용량화, 고효율화에 따라서 이들을 구성하는 기계구조물은 대형화, 중량화가 점점 증가하는 경향이 있기 때문에 이제까지 일체로 주조제작된 구조물은 주조능력상 또는 주조품의 품질확보상 분할제조되며 조립용접하는 경향이 뚜렷하다.

① 증기 터빈, 대형펌프의 케이싱(casing) 제조.

증기터빈 임펠러 챔버(Impeller chamber)는 그림 6과 같이 복잡한 형상을 한 일종의 고온압력 용기로서 상하로 이분하여 제조하고 볼트로 접합시켜 제조한다.

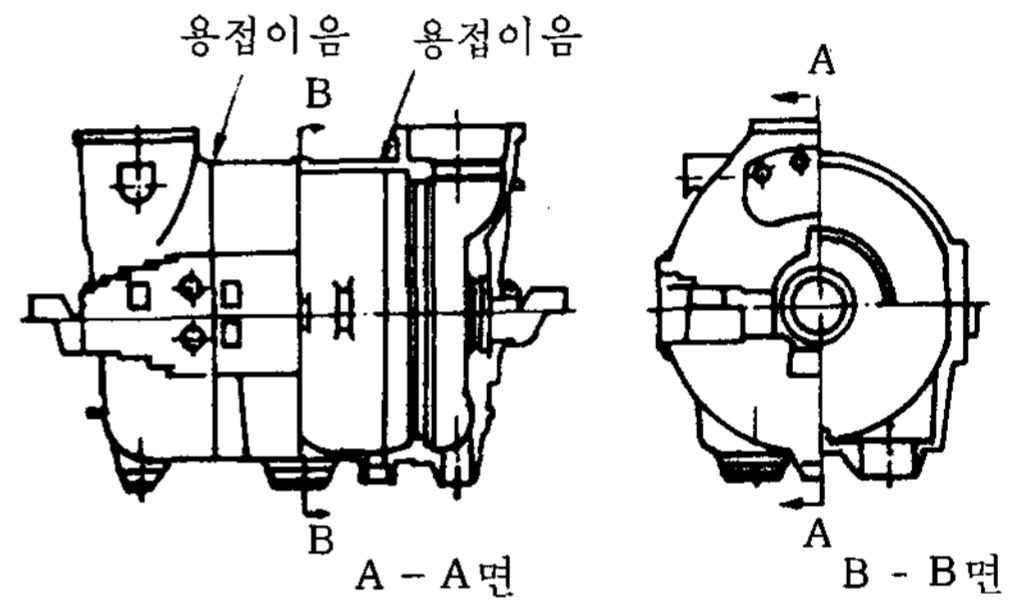


그림 6. 증기터빈의 임펠러 챔버

대형펌프의 케이싱도 일체로 주조하여 만들기 어려우므로 상하로 분할하여 제조하고 볼트로 접합시켜 제조하는 것이 보통이다. 구성재료는 그 사용조건에 따라 탄소강 또는 내열 저합금강이 사용되고 있으며 저압증기 터빈의 임펠러 챔버(impeller chamber)의 일부를 제외하고는 주조품이 많이 사용되고 있다.

증기터빈의 임펠러 챔버의 제작상 중요한 점들을 살펴보면 다음과 같다.

(a) 이음설계

증기 터빈은 임펠러 챔버가 위에 말한 바와 같이 고온 압력용기이므로 이음설계에 있어서 용접부의 파괴응력 및 파단연률이 모재와 다른 것을 고려하여 응력 집중부를 피하도록 분할위치를 설정한다. 또한 고온에 대한 특성을 충분히 고려하여 크리프거동, 피로특성 등을 확인할 필요가 있다.

(b) 주조방안

주조품의 결함(blow hole, pin hole, 편석등)이 존재하면 용접에 의하여 균열로 발전할 위험성이 있어서 용접부는 청정한 금속으로부터 시작할 필요가 있다. 이를 위하여 이 부분에는 적당한 냉금을 사용하고 압탕

을 피하여 양호한 품질이 얻어지도록 노력하여야 한다. 또 분할 주조품의 조립에 있어 용접부는 주조 변형에 주의가 필요하다.

(c) 용접변형 및 용접균열

증기 터빈 임펠러 챔버(impeller chamber)는 동체부와 플랜지(Flange)부의 두께가 크게 변화하기 때문에 용접변형과 용접균열의 발생에 충분한 주의가 필요하다. 또한 소둔(annealing)에 의한 변형 및 균열방지에도 유의하여야 한다.

② 제철기계 롤 스탠드(roll stand)의 제작

제철기계 롤 스탠드(roll stand)는 그림 7에 보인 바와 같이 그 중량은 140ton에 이르며 D자형의 후레임 구조물이다. 이것은 네부분으로 나누어 주조되어 용접하여 일체로 만든다. 재질은 보통주강을 사용하며 제철기계 롤 스탠드 제작상 중요한 문제점은 다음과 같다.

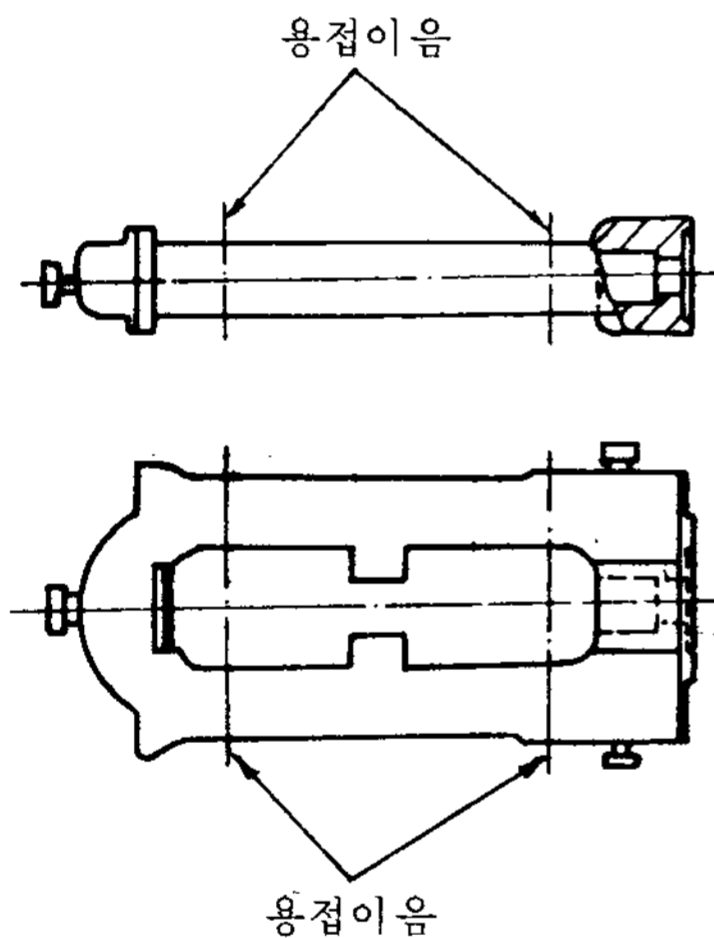


그림 7. 롤 스탠드(roll stand)

(a) 대단면 이음매 용접시공법의 확립

대단면 이음매 용접에는 일렉트로-스래그용접(electroslag welding)이 적용되고 있다. 일반적으로 일렉트로-스래그 용접법을 대단면 이음매에 이용하는 경우의 문제점으로는 용접고온균열과 용합불량의 발생이 있다. 고온균열은 용융금속의 응고형상, 결정입도, 유황, 인 등의 불순물 원소의 편석, 이음매 구속방법등이 영향을 준다. 한편 용합불량은 �래그 욕(浴)의 깊이, �래그(slag) 욕(浴)의 전기전도도의 영향이 크다. 용접용의 후락스(flux)는 �래그(slag)의 유동성, 용접금속의 기계적 성질에 미치는 영향등을 고려하여 결정할 필요가 있다. 이점에서 SiO₂-MnO-CaF₂계의 것이 요망된다. 용접부의 정적강도는 표2에 나타난 것

처럼 모재와 동등 이상의 성능을 갖고 있다.

표 2. 일렉트로-스래그 용접부의 기계적 성질

	인장강도 (kg/mm ²)	항복점 (kg/mm ²)	신율 (%)
용접금속	43 ~ 49	22 ~ 28	33 ~ 40
모재(sc42)	> 42	> 21	> 24

(b) 용접 변형거동

용접부에는 횡수축과 함께 회전변형이 생기지만 용접단면적이 크기 때문에 변형거동을 완전히 억제하는 것은 비용면에서 생각할 때 좋은 방법이 아니다. 따라서 용접부의 변형량을 정량적으로 평가하여 이에 따라서 제품의 조립 치수를 설정하고 여유 두께를 주어 변형양을 흡수하는 대책이 필요하다.

(c) 용접부의 비파괴검사 기술의 확립

제품의 건전성은 두꺼운 재료에서는 방사선 검사법 대신 초음파 탐상법으로 확인한다. 그렇지만 초음파는 일렉트로-스래그(electro slag) 용접금속중의 큰 덴드라이트(dendrite) 때문에 감쇠가 현저하여 검사불능이 되므로 열처리에 의하여 미세화시킬 필요가 있다. 또한 두꺼운 재료인 경우 결함위치에 따라서 검출감도가 매우 다르므로 결함의 검출에 만전을 기해야 한다.

이상으로 대형 용접구조 주강품을 예로들고 제작상 문제점을 소개하였지만 구조물의 대형화, 대단면화에 대응하여 품질 및 비용면에서 일종 개선, 합리화가 요망되고 있다.

2-3 直接 熔解 造型法

직접용해 조형법 또는 용조(溶造)라고도 하며 일렉트로-스래그 용접(ESW)에서 발전된 것이다. ESW는 1951년 소련에서 발명한 두꺼운 판의 고능률 용접법으로 많은 중구조물(重構造物)의 이음용접에 사용되고 있다. 그후 ESW는 발전하여 특수강의 채용해, 정련에 의한 중실(中實) 또는 중공(中空) 인곳트(ingot) 제작에 사용되는 일렉트로-스래그-리멜팅(electro-slag-remelting)이 실용화 되었으며. 특히 진일보하여 복잡한 형상의 제품을 만드는 일렉트로-스래그-캐스팅(electro-slag-casting)으로 발전되었다. 이들의 기술을 총칭하여 일렉트로-스래그 기술(EST)라고 부른다.

ESC에 의하여 크랭크(crank) 축을 조형하는 경우를 그림 8에 보인것 같이 저널(journal)과 허브(hurb)를 개별적으로 ESC로 접합시킨 것이다. ESC에서는

이외에 밸브(valve), 대형 파이프(pipe), 등을 조형한다.

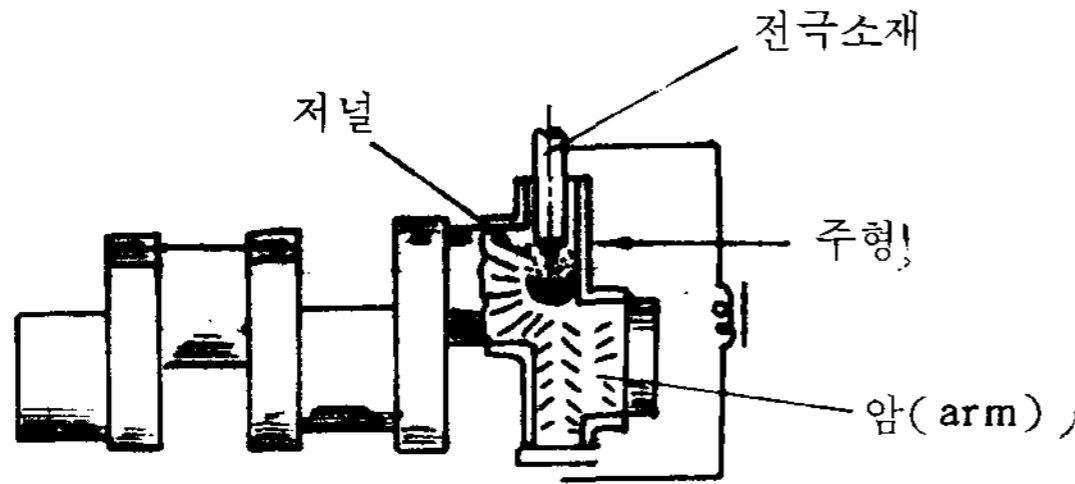


그림 8 . 크랭크축의 ESC 원리도

용조(溶造)는 일본에서 개발된 것으로 그림 9에 나타낸 것같이 부분 몰드(part-mould)에 의한 용해원리를 이용한 것이다. 여기에는 세가지 기본조형방식이 있는데 하나는 그자형의 box-type mould에 의한 회전식 용조법이며 또 하나는 그림 10에서 보는 바와 같은 장방형 box-type mould에 의한 single 회전식 용조법이고 나머지 하나는 ring-type mould에 의한 인발식 용조법(引拔式 溶造法)이다.

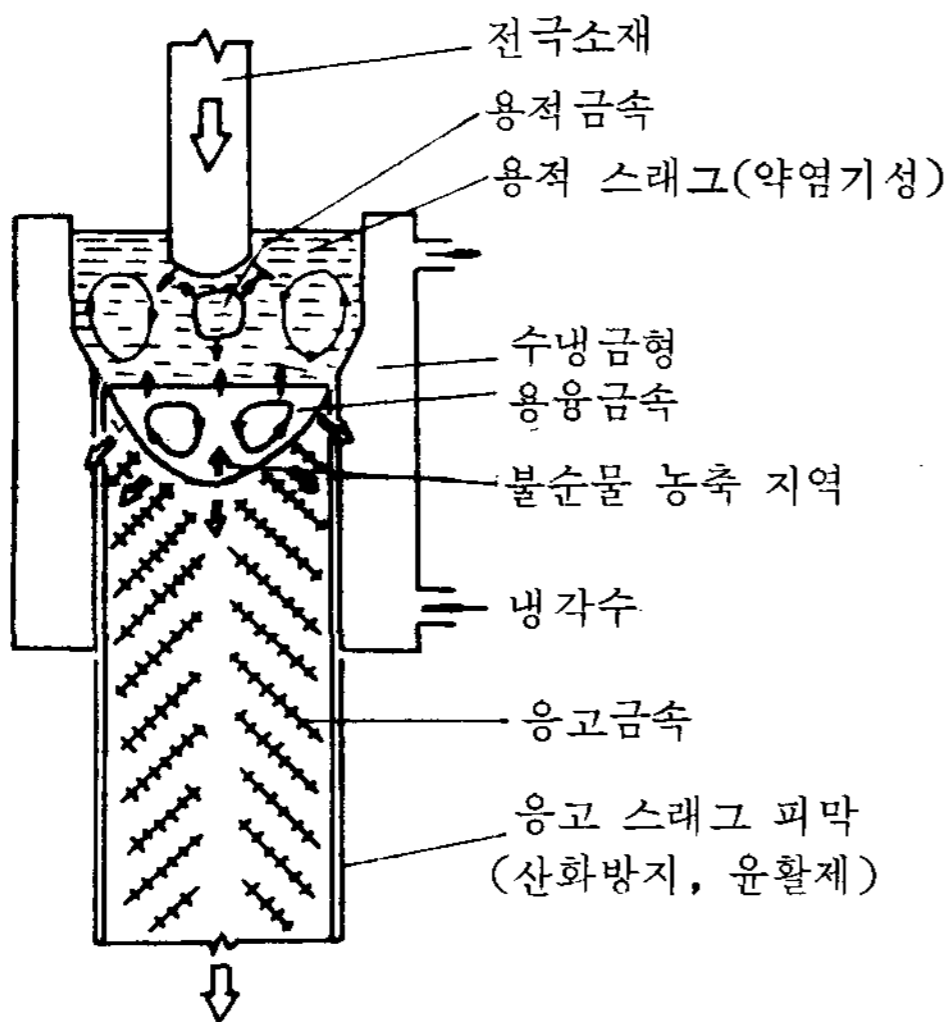


그림 9 . 용조법의 정련작용

ESR 및 ESC와 용조(溶造)를 비교하면 ESC는 static casting 즉 주형(mould) 내부에서 ESR 현상을 일으키므로 주형(mould)속에서 용융금속을 생성, 조형, 응고시켜 중실(中實) 또는 중공(中空) 인곳트(ingot)를 제작하는 방법이다. 이에 대하여 용조는 dynamic casting 즉 주형(mould)은 부분금형을 쓰고 그속에서 ESR현상이 일어나므로 용융금속을 생성 조형, 응고시킨 바로 직후에, 연속하여 기계적으로 주

형에서 공기중으로 빼내어 여러가지 형태의 금속제품을 만드는 것이다.

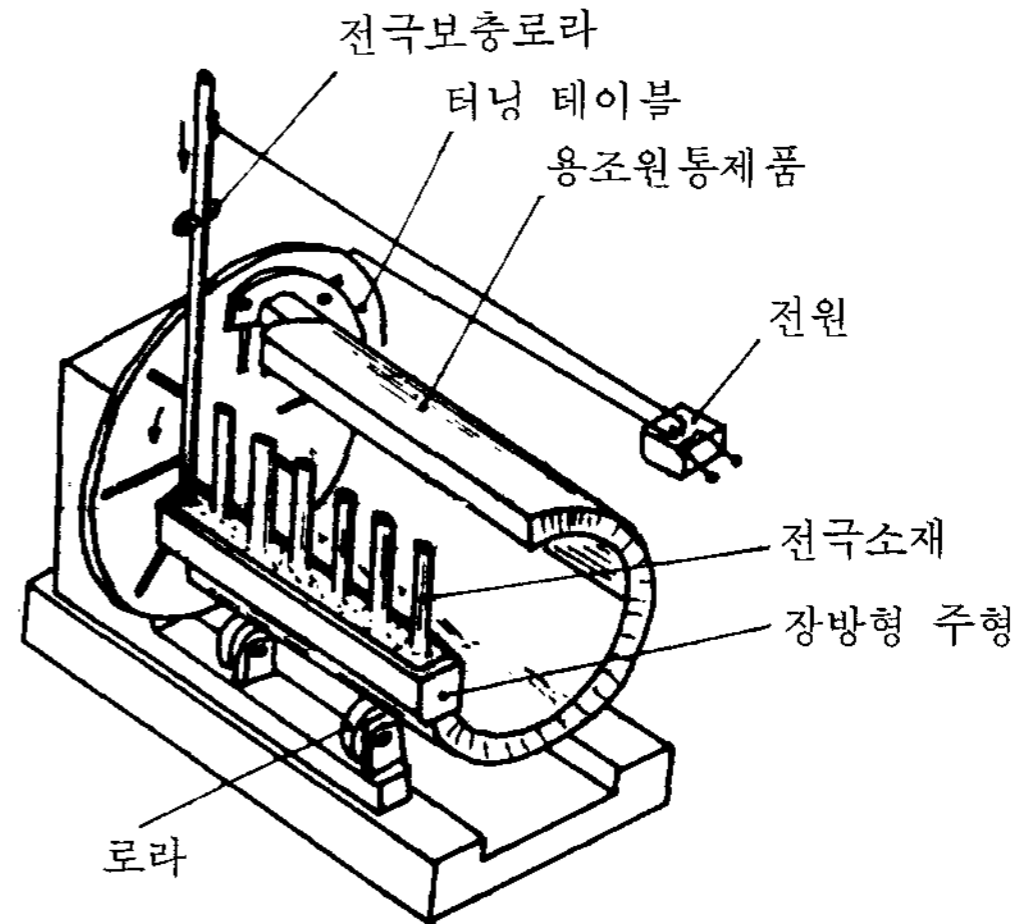


그림 10 . 장방형 상자형 주형에 의한 회전식 용조법

실용한 예로서는 석유화학공업의 에틸렌 제조용 분해로, 수소, 암모니아 제조용로의 크래킹-튜브(cracking tube) 및 리히마-튜브(reformer tube)를 대상으로 한 고합금 내열주강관과 이에 관련된 관류를 용조하여 제조한다.

ESR에서는 용착효율이 양호한 반면 용착금속의 조직이 주조조직으로 되어 이것을 900°C 전후의 열처리를 행한다.

2-4 超高速 皮覆法

롤, 로라 등의 피복육성법(皮覆肉盛法)으로는 그림 11과 같은 초고속 육성법이 있다. 육성하고자 하는 재

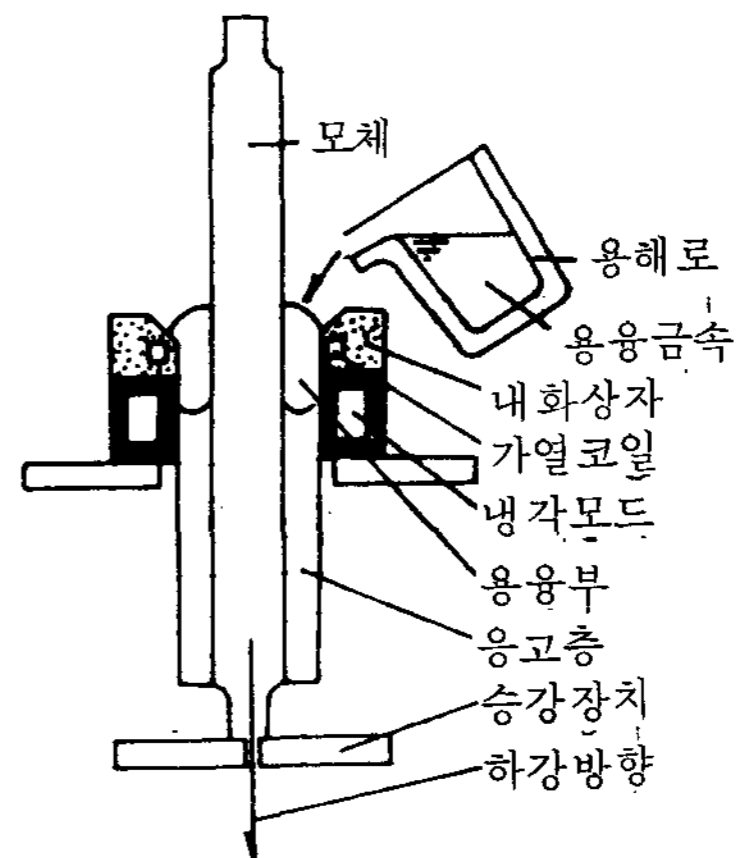


그림 11 . 초고속 피복 육성법

질을 용해로에서 용해하고 그 용탕을 고주파 가열 코일을 갖는 내화물 상자와 중앙에 승강장치를 설치한 모체와의 사이에 주입하여 고주파 유도열로 가열, 용접하는 방법이다. 용접시킴과 동시에 모체는 수직강하고 냉각 몰드(mould)내로 들어가 통과하는 사이에 응고, 육성층을 형성한다.

이 방법의 특징은 육성속도가 빠르고 육성재질은 주철에서 특수강까지 매우 광범위하고 육성부의 표면에서 심부까지 균일한 조직이 얻어진다. 대부분의 경우에 모체의 예열이 필요없고 특히 곤란한 경우에서도 시작부위만 예열하므로 경제적이다.

3. 鑄造工程中 複合加工技術의 未來

주조공정에서 복합가공기술을 도입하는 것을 예측하기는 어려우나 다음과 같은 기술등이 크게 실현될 가능성이 있다고 생각된다.

① 주조에 의한 복합재료의 제조와 용도의 개발

지금까지는 주조, 소성가공, 분말, 용접등이 독자적으로 그 기술을 발전시켜 왔다. 따라서 이들의 기술을 중첩해서 전문적으로 숙련된 기술자는 없는 형편이다. 재질면에서도 같은 경우가 일반적이다. 예를 들면 분말로 만들지 않으면 안되는 특성을 갖는 재질과 주조재와의 복합재료라든가, 압연재, 분말판과 주조재와의 복합재료, 이제까지의 방법으로는 얻지 못하는 특성을 갖는 새로운 재료의 개발이 기대된다. 항상 새로운 재료가 나오면 새로운 용도가 있기 마련이다. 예를 들면 500°C의 온도에서 장시간 사용하여도 변형 및 균열이 일어나지 않는 복합재료가 만들어지면 이것은 편상흑연 주철의 금형주조용 금형재료로써 쓸 수 있다.

② 연속주조품의 용접

연속주조품의 장점중의 하나는 제품을 주형에서 뽑아내는데 필요한 기울기를 주지 않아도 된다는 것이다. 일반적인 주조품은 모형을 주형에서 뽑아낼 때 기울기가 없으면 뽑히지 않는다. 이런 점을 이용한 기술이 발전되리라 생각된다.

4. 結 論

산업의 발달은 다양한 요구를 감당할 수 있는 재료를 찾을 것이다. 지금까지 주조에 의한 방법으로 많은 기초소재들을 제공하여 왔지만 앞으로는 주조방법으로는 만들 수 없는 재료의 요구가 점점 많아질 것으로 보아 주조공업에 종사하는 기술인들은 새로운 가공기술을 주조공정에 도입함으로써 이에 응할 뿐만 아니라 새로운 소재를 개발하는 데 일층의 노력을 경주해야 할 것이다.

參 考 文 獻

1. 菊地政郎 : 機械의 研究, Vol. 30, No. 10(1978) p. 1174 ~ 1178.
2. 日本機械學會誌 : Vol. 79(1976), p. 1183
3. 金屬材料 : 日刊工業新聞社, Vol. 17(1977), Apr.
4. S. Nagata 外 : AFS Trans. Vol. 93(1985), p. 49 ~ 54.
5. M. Rühle : "Dispersion Härtung werk stoffe I" Z. Metallkde. Vol. 71, p.1 ~ 6(1980)
6. C. Orr, Jr : Particulate Technology, p. 413. The Macmillan Company, NY(1966)
7. J. L. Maclaren : Diecast, 일본 다이캐스트 협회, 29(1967), p. 9.
8. 特殊鑄造法 : 梶山正孝, 日刊工業新聞社, p. 73 ~ 85.
9. 鈴木鎮夫 : 鑄物 Vol. 41(1969), No. 7. p. 524 ~ 538.
10. 日本機械學會誌 : Vol. 81(1978). p. 470.
11. Metals Handbook Vol. 6, ASM, p. 519 ~ 564.
12. 山本和平 外 : 鑄物 Vol. 48(1976) No. 11. p. 718 ~ 722.
13. 矢野巍 外 : 鑄物 Vol. 49(1977) No. 10. p. 618 ~ 623.
14. Church. E. F : Steam turbines, New York : McGraw-Hill(1928).
15. Stepanoff. A. I. : Centrifugal and axial flow pumps, New York : John wiley and sons(1948).