

철강재 개발동향

이 중 섭

Trends in Development of Steels

Jong-sub Lee

1. 서 론

철강재라 함은 철(Fe)를 기본으로 한 합금으로서 탄소강과 스테인리스강을 총칭하고 있다. 철강재는 현재 제반 산업분야에서 이용되고 있는 각종 금속소재 중에서 가장 빈번하게, 양적으로도 가장 많이 사용되고 있는 공업적인 근간을 이루는 금속재료이다. 이 같은 철강재는 1400년 이전까지는 주로 단철로 제조되어 사용되었으며 그 후 지속적인 철강재 제조기술의 발전으로 1400년대에 개발된 선철, 주철을 거쳐 1856년에 이르러 강철(steel)이 개발되어 현재까지 매우 유용하고 다양하게 이용되고 있다. 한편 Fe계로서 Cr이 12% 이상 첨가되어 있어 내식성이 우수한 스테인리스강은 그보다 훨씬 뒤인 1912년에 개발되어 20세기에 상업화되어 판매되기 시작하였다.

이 같은 철강재료는 사용환경 변화에 맞추어 끊임없이 진화해 왔으며 지구 환경보호, energy 문제, 인류 life style의 변화 등의 요구에 대응하고 비철금속 등의 경합 소재와의 경쟁을 극복하기 위하여 고강도화와 고기능화가 지속적으로 추진되고 있다. 이 같은 노력에 힘입어 철강재의 활용범위와 수요는 지금도 증가하고 있는 추세이다.

본 특집호에서는 철강재의 제품개발 동향 및 신기술 개발 동향에 대해서 소개하고 신 철강소재 개발에 대응한 용접기술의 연구방향에 대해서도 간단히 고찰하였다.

2. 제품 개발동향

2.1 열연재

열연재는 자동차용 강판, 강관류, 자동차 부품 및 기계 부품류로 사용되는 중/고탄소강 등으로 크게 구분하여 검토하였다. 먼저 자동차용 강재의 경우, 다양한 제품의 실용화가 추진되고 있는데 그 중에서도 근래에 와

서 환경문제가 중요한 issue로 대두되고 고강도 Al 합금과 같은 소재가 강재의 강력한 경쟁상대로 부각됨에 따라 자동차의 연비 향상을 위한 고강도-고성형성 강재의 개발이 중요한 과제로 대두되고 있다. 최근 일본에서는 780 MPa급 강재를 일반용과 저항복비로 구분하여 규격에 포함시켰으며 POSCO에서는 780 MPa급 열연 변태유기소성강(Transformation Induced Plasticity, TRIP강)의 상업화를 추진하고 있다. 그 외에도 일반 구조용으로 ATOS 80강이 개발되어 있으며 구조용 강재의 경우에는 비교적 가공도가 적은 제품에 적용되고 있다. 그 밖에 hydroforming용 강재는 290 MPa급은 상용화되어 있으며 370 ~ 440 MPa 급은 현재 일부 부품에 시험적용하고 있거나 개발이 진행중이다. 따라서 자동차 강판에 있어서 강재 개발방향은 차량 경량화를 위한 고강도-고성형성 강재 개발과 신성형기술과 접목이 가능한 기능성 강재의 개발로 요약할 수 있다.

근래에 와서 석유, 천연가스 등의 자원 고갈이 가속화되어 이들의 채굴지가 극지, 심해 등으로 확대됨에 따라 강관재의 사용환경이 점차 가혹화되고 있으며 이 같은 사용환경에 적응하기 위한 고강도, 고기능, 고내식성 강재의 개발에 대한 필요성이 증대하고 있다. 강관용 강재는 용도에 따라 유정관용과 라인 파이프용으로 나누어지는데 유정관용은 석유 및 천연가스를 채굴하는데 사용되는 강재로 drilling pipe, casing 및 tubing 용으로 사용되며 라인 파이프용은 채굴된 석유 및 가스를 수송하는 파이프용으로 사용된다. 유정관용 강재의 경우, 최근 채굴 깊이가 깊어짐에 따라 고강도, 고내식성 소재의 사용이 증대하고 있으며 사용환경에 따라 다양한 강재가 사용되고 있다. 한 예로서 저 CO₂, 저 H₂S 분위기에서는 N80, P110 등의 탄소강이 사용되며 저 CO₂와 고 H₂S 환경에서는 내 sour용 저합금강이, 고 CO₂, 저 H₂S 분위기에서는 13Cr강, 고온이

며 고 CO₂, 고 H₂S 환경에서는 고 Ni 합금 등의 고탄금강이 주로 사용된다. 강관재는 지금까지는 주로 seamless pipe가 주종을 이루며 사용되어 왔으나 최근에는 전기저항용접, ERW로 제조한 강관의 사용도 증가하고 있다. 현재 강관간 연결은 용접보다는 기계적인 체결방법을 주로 적용하고 있기 때문에 탄소 함량이 다소 높더라도 별 문제는 없다.

채굴용 강재의 경우에는 사용환경이 온도가 높기 때문에 저온 인성이 상대적으로 그렇게 중요하지는 않으나 채굴된 가스나 석유를 수송하는 라인 파이프는 저온 환경에서 사용되는 경우가 많기 때문에 저온인성이 매우 중요하다. 또한 라인 파이프의 경우에는 파이프간의 연결도 용접을 적용하기 때문에 용접성을 확보하기 위해서 저탄소강을 적용하여야만 한다. 통상 채굴된 가스나 석유에 함유된 수분과 H₂S는 채굴 후의 처리공정에서 제거하지만 만약의 경우를 대비하여 응력이 낮은 조건에서 사용되는 강재는 내 HIC(Hydrogen Induced Cracking)성을 갖는 강재를, 높은 응력에서 사용되는 강재는 내 SCC(Stress Corrosion Cracking)성을 갖는 강재가 사용되고 있다. 또한 근래에는 이들 연료를 효율적으로 수송하기 위하여 수송 양을 증가시키고 있기 때문에 파이프 내부의 압력이 고압화되고 있으며 이에 대응하기 위한 소재의 고강도화가 진행되고 있다. 따라서 사용강재의 강도수준이 점차 증가해 현재는 API-X70 grade가 주종을 이루고 있으며 최근에는 API-X80 grade의 적용사례도 점차 증가하고 있다.

중/고탄소강 및 합금강은 각종 설비나 기계의 부품용으로 주로 사용되고 있는데 소재의 국산화 및 고기능화에 관한 연구가 지속적으로 추진되어 왔다. 중탄소강인 S45C급 강, 고탄소 공구강인 SK-3, SK-5강 등은 이미 상용화 되었으며 최근에는 Cr-Mo강인 SCM강, Ni-Cr-Mo계인 SNCM강, 스프링강(Cr-V), SAE1541강(1.5% Mn강)도 개발이 완료되어 상업생산 중에 있다.

2.2 후판재

후판재가 가장 많이 사용되는 분야의 하나인 조선분야에서는 선박 경량화를 위한 고강도화, 용접 작업성 및 생산성 향상을 위한 저탄소 당량화, 저온 및 내식환경에 대응한 강재개발이 진행되고 있다. 최근에는 container 선에 적용하기 위한 탄소함량을 0.06%까지 저감시킨 490 MPa급 극저탄소 TMCP강이 개발되고 있으며 TMCP강 절단 시 문제시되는 판 변형현상을 억제하기 위하여 새로운 방식의 압연방식과 냉각방식도 개발되고 있다. 일본의 경우, 저온용강의 파괴인성 극대화를 위하여 표층초세립강을 개발하였으며 유화물 부

식피로 저항성이 우수한 강재도 개발하고 있는 것으로 알려져 있다. 그 외에도 용접 및 가공 원가를 절감하기 위하여 길이방향으로 두께가 연속적으로 변하는 tapered plate도 개발되었다. Tapered plate를 사용하게 되면 두께가 서로 다른 강판을 용접하여 사용할 필요가 없어 용접공정의 생략이 가능하고 구조물의 설계효율 향상이 가능하다.

건설분야에 있어서는 지진 발생시 건축 구조물 철골조에서 취성과파괴 현상이 나타남에 따라 일본을 중심으로 내지진성의 중요성이 강조되고 있으며 국토의 효율적 이용이란 측면에서 건축물의 초고층화가 진행되고 있고 내식성 측면에서는 maintenance free화 등의 요구가 증가하고 있어 이에 대응하는 강재개발이 활발히 진행되고 있다. 일본에서는 인장강도 780 MPa급까지의 내진성이 우수한 고장력 저항복비강, 내화피복 절감형 내화강 및 무도장 내후성강의 사용이 확대되고 있으며 극저 항복점 강도 개발되고 있다. 또한 전술한 초고층화, maintenance free화 요구에 부응하고 건축물의 제조원가를 절감하기 위하여 한, 중, 일 삼국에서는 초미세립강 개발연구에 박차를 가하고 있다.

석유 채굴용의 해양 구조물에는 열연재와 마찬가지로 저온 인성이 우수한 후물 고강도강의 개발이 추진되고 있다. 특히 합금성분 첨가 뿐만 아니라 열처리를 적용함으로써 소재의 성능을 향상시킬 수 있는 모재와는 달리 용접부는 급속가열 및 냉각에 의해서 조직 및 성능이 열화되기 때문에 용접부의 취화를 방지 또는 억제할 수 있는 강재의 개발이 매우 중요하다. 따라서 후물 용접부에서의 파괴인성을 개선시키는 강재에 대한 개발이 추진되고 있으며 근래에는 LBZ(Local Brittle Zone) 형성을 억제할 수 있는 Ti oxide강이 개발되었으며 강도 측면에서도 종전까지는 항복강도 350 MPa 급의 강재가 주로 적용되었으나 최근에는 두께 100mm의 420 MPa 급 강재가 개발되어 적용되고 있다. 또한 후판재에서도 열연재에서와 마찬가지로 API X65~70급보다는 API X80급 이상의 고강도 linepipe용 강의 수요가 증가하고 있다.

한편 최근 수요가 급격히 증가하고 있는 LNG(Liquefied Natural Gas)를 저장하기 위한 LNG 저장 tank의 건설이 활발히 진행되고 있는데 이 tank에 적용되던 스테인리스강의 상당 부분이 이미 9% Ni강으로 대체되어 가고 있는데 이 강의 기계적 성질은 극저온 생산기술과 QLT기술을 적용하여 얻고 있다. 그러나 9% Ni강을 적용하는 경우 동일 성분계의 용접재료를 적용한 용접부에서는 기계적 성질이 열화하기 때문에 Ni기 또는 Ni-Fe기 용접재료가 주로 적용되고 있

으며 이를 개발하기 위한 연구도 국내에서 활발히 진행되어 국산화 기술이 이미 확보된 상태이다.

또한 최근에는 구조물의 안전성 향상과 수명연장을 목적으로 차세대구조용강재의 개발이 활발히 진행되고 있다. 보다 구체적으로는 일반적으로 사용되는 구조용강재의 강도를 400 MPa급에서 800 MPa급으로 향상시켜 구조물의 안전성을 향상시키고 강재의 사용량을 줄여 경제적으로 구조물을 건설하는 것을 목표로 하고 있다. 이 강을 개발하는 방법으로는 강재에 합금원소를 첨가하는 대신 입도를 수 μm 정도로 초세립화하여 강도를 향상시키고자 하기 때문에 개발된 강은 인성도 대폭 향상될 것으로 기대하고 있다.

2.3 냉연재

냉연재가 가장 많이 적용되고 있는 자동차용 강판의 경우, 최근 지구 온난화를 포함한 환경문제가 중요한 issue로 등장함에 따라 연비개선을 위한 자동차의 경량화가 가장 중요한 화두로 등장하고 있다. 이 같은 경향에 대응하여 최근에는 극저탄소 IF(Interstitial Free) 강에 합금원소를 첨가하여 가공성이 우수한 450 MPa 이상의 고장력강, 강판을 도장처리한 후 baking하면 강도가 증가하는 bake hardening강 등을 개발하여 적용함으로써 자동차 경량화에 기여하고 있다. 최근에는 Cu를 첨가하여 590 MPa급 고성형용 고강도 냉연강판의 실용화 연구가 진행되고 있으며 TRIP (Transformation Induced Plasticity)강, DP강의 실용화도 크게 진전된 상태이다. TRIP현상을 이용한 강도-연성 balance가 우수한 잔류 오스테나이트형 590 ~ 980 MPa급 고장력강을 개발하였으며 용융아연도금 라인의 특성을 이용하여 제조원가가 비교적 낮은 590 MPa급 용융아연도금 DP강도 개발되어 TRIP강과 경쟁하면서 적용되고 있다.

또한 자동차의 충격 안전성 보장에 대한 사회적 요구가 증대함에 따라 범프 보강재와 도어 가드용으로 1,000 MPa이상의 강판이 개발되었고 최근에는 1,470 MPa급까지 실용화되고 있다. 이 같은 소재 개발과 함께 tube hydroforming법, sheet hydroforming법의 강판 성형법과 두께가 서로 다른 강판을 laser, seam welding 등의 방법으로 용접하여 사용하는 TWB(Tailor Welded Blanking)와 같은 성형공정들도 개발되어 자동차 제조원가 절감에 기여하고 있다.

식품 용기인 can용 소재로 사용되는 석도강판은 원가를 절감하기 위하여 소재의 고강도화 함으로서 사용소재의 두께를 감소시키려는 노력이 진행되고 있다. D & I용 소재는 0.23mm재의 상용화에 이어 0.20 ~

0.18mm재를 적용하기 위한 연구가 추진 중이며 또한 3 piece can용 소재로서 1차 압연법에 의한 0.15mm 재가 상용 생산 중이고 DCR mill의 가동에 대비한 극박 고강도 소재의 개발 및 용도확대를 위한 연구도 수행되고 있다. 그 외에도 환경 친화성을 높이기 위하여 도금량을 줄이거나 수지 coated can을 적용함으로써 steel의 적용도를 높이려는 시도도 진행 중이다. 또한 용기용 소재의 fashion화 및 기능화 요구에 부응하여 shaded can, 냉각 can 등 다양한 기능과 형태를 가지는 steel can의 수요가 증가함에 따라 고가공이 가능한 소재에 대한 연구도 활발히 진행되고 있다.

전자 산업분야에 있어서는 최근의 디지털 방송에 따른 평면 브라운 관의 등장은 곡면 브라운관에 적용 중인 냉연강판과는 또 다른 소재 특성을 요구하고 있다. 평면 브라운관에 사용되는 shadow mask는 장력이 부가된 상태로 mask frame에 장착되기 때문에 초극박이면서 고강도 특성이 요구되고 있다. 곡면 브라운 관에서 0.8mm ~ 1.6mm의 냉연강판으로 사용되던 mask frame재는 브라운 관의 평면화에 따라 6.0mm 두께의 SCM 415열연강판이 사용되고 있다. 브라운 관에 사용되는 기능형 극박 냉연강판인 shadow mask, inner shield용 소재는 90년대 말에 개발되어 상용화되어 있다. Shadow mask와 inner shield를 지지하는 목적으로 장착되는 mask frame용 냉연강판도 자성을 향상시킨 자성 보증용 mask frame용 강판이 개발되었다.

2.4 표면처리 강판

스테인리스강에 비해 내식성이 떨어지는 탄소강판은 내식성을 증가시키기 위하여 아연, 알루미늄, 주석 등을 도금하여 사용하거나 아연도금 위에 여러 종류의 수지를 피복하여 사용하기도 한다. 최근에는 자동차의 품질보증기간이 장기화함에 따라 단순 도금재보다는 내식성이 뛰어난 유기피복강판의 적용이 증가하고 있는 추

Table 1 세계 주요 제철소의 유기피복강판 생산설비 및 특징

제철소	설비내역	설비 type	수지종류	Capacity	시작년도
NSC	EGL/ in-line	유도가열	수용성	12-14만톤	'90
NKK	Off-line	유도가열	용제형	6-8만톤	'87
SMI	Off-line	열풍	수용성	7-8만톤	'88
Bethlehem	EGL/ In-line	유도가열	?	128만톤	'89
British	"	열풍	?	8만톤	'90
Sollac	"	열풍	용제형	10만톤	'91
POSCO	"	유도가열	수용성	10만톤	'94

세이다. Table 1에 세계 주요 제철소의 유기피복강판 생산설비 및 특징을 정리하였다. 가전용 강판으로는 사용용도별로 적합한 기능을 부여한 내지문 강판 및 윤활 강판 등의 기능성 강판이 개발되었다.

그 외에도 식음료용 can의 제조원가를 절감하기 위하여 TFS(Tin Free Steel)을 개발하여 음식용 캔으로 사용하고 있으며 TFS 강판에 박막 film을 입힌 lamination 강판도 개발되어 여러 가지 식품용 can으로 이용되고 있다.

강판 표면에 도금을 하는 기술로서는 전기도금, 용융도금, 수지피복기술, 주석도금 기술, 기상도금 등 다양하다. 전기도금은 산성 및 알칼리 용액을 이용하며 Table 2에 자동차에 주로 적용되는 아연계 내식도금의

Table 2 아연계 내식 전기합금

Alloy type	Composition (%)
Zn-Co	0.3-3%Co + 0.1-0.5Mo or 0.05Cr
Zn-Ni	10-15Ni
Zn-Fe	10-20Fe
Zn-Fe(이층)	1 st layer: 10-20Fe, 2 nd layer: 50Fe or Fe-P
Zn-Mn	30-80Mn
Zn-Cr	Under development
Zn-Cr-Fe	Under development
Zn-Fe-Mn	Under development

성분계를 나타내었다.

용융도금은 주로 아연계의 도금에 적용되는데 제조원가가 저렴해 용융아연도금 강판은 철강재의 방청소재로서 건축용, 가전제품, 자동차 등에 널리 사용되고 있다. 수지피복은 도금층 상부에 수지를 피복하는 기술로서 통상 표면 층은 2 ~ 20 μ m의 박막으로 피복되어 있으며 사용용도에 따라 고내식성과 용접성을 요하는 자동차용 유기피복강판, 가전제품의 프레스 가공시 가공유가 필요없는 윤활강판, 내지문강판 등의 수지피복재가 있다. 그림 1에 수지피복강판의 구성도를 나타내었다. 주석도금공정의 경우에는 사용하는 전해질이 환경공해를 유발하기 때문에 이를 대체하여 실용화 위한 연구가 진행 중에 있고 고가인 주석의 사용량을 줄이거나 아예 주석이 함유되지 않은 도금강판을 이용하는 기술이 개발되어 있다.

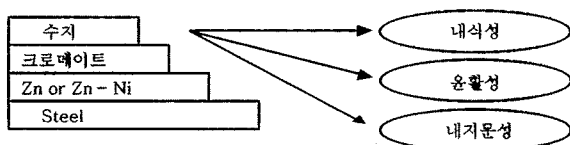


Fig. 1 수지피복강판의 구성도

3. 신 철강제조기술의 연구개발 동향

철강제조기술의 혁신을 위해서 제철기술, 연주 및 주조기술, 압연기술 등 전 공정에서의 신기술 개발이 활발히 진행되고 있다. 신 제철기술로는 기존의 고로법에서는 용선을 제조하기 위해서 철광석을 소결 또는 펠릿 공정을 거쳐 피상화하는 단계, 석탄을 화성공정을 통하여 코크스로 만드는 단계를 거쳐야 하지만 이를 생략하여 분광석과 일반탄을 직접 사용하여 용선을 제조함으로써 원료, 환경 및 에너지 문제를 극복할 수 있는 용융환원제철법의 개발이 활발히 진행되고 있다. 이 외에도 최근들어 강재 축적량이 증가함에 따라 고철을 철원으로 사용하는 전기로 제강의 규모가 급속히 증가하고 있으며 이에 대응하여 고철 수급부족 시 고철을 대체할 수 있는 직접 환원철과 탄화 철 등을 제조하는 대체철원제조 기술의 개발도 진행되고 있다.

한편 연주기술에 있어서는 연속주조공정과 열간압연 공정을 직결화한 HDR(Hot Direct Rolling)기술, 박슬라브 연주법 등이 개발되고 있으며 이들 기술의 실용화를 위해서 tramp element 제거기술, 개재물을 저감할 수 있는 청정화 기술, 고속주조기술 등과 같은 요소 기술의 개발에 집중하고 있다. 또한 열간압연 공정의 대부분을 생략하고 용강으로부터 두께 1 ~ 6mm의 열연 coil을 직접 제조하는 Strip casting 기술에 대한 연구도 활발히 진행 중이며 일부 상업화 생산이 개시된 상태이다. 그 외에도 금속의 용해, 정련 및 응고, 가공 공정에 전자기장을 활용하여 궁극적으로 제품의 질을 향상시키고자 하는 전자기 야금기술에 대한 연구도 진행되고 있다.

압연 분야에 있어서는 조압연이 끝난 판재를 서로 접합하여 연속적으로 사상압연함으로써 생산성 및 품질을 향상시키고자 하는 연연속 압연기술이 활발히 개발되어 현재 일본의 가와사키 제철 및 신일본 제철에서 실용화되어 있으며 POSCO도 기술개발을 완료, 실용화를 목전에 두고 있는 상태이다.

또한 구조용 강재의 성능을 획기적으로 향상시킬 수 있는 차세대구조용강재의 개발연구도 한국과 일본에서 활발히 진행되고 있으며 중국에서도 최근에 이와 유사한 연구를 개시하였다.

본 고에서는 지금까지 기술한 여러 기술 중에서 연연속압연과 차세대 구조용강재 개발 연구의 동향에 대해서 보다 상세히 기술하고자 한다.

3.1 연연속 압연기술

연연속 압연(Endless Rolling)이란 조압연이 끝난 판재(sheet bar로 부름)를 접합하여 연속적으로 사상

압연하는 방법으로서 20세기 마지막 열연기술의 혁명
으로까지 불리고 있는 기술이다. Fig. 2에 연연속 압연
layout의 모식도를 나타내었다. 이 기술의 개념은 열간
압연에서의 생산성 및 제품 품질향상, 제품의 고부가가
치화 목표에 부응하기 위하여 도입되었다. 기존의 슬라
브 1매씩을 따로 압연하던 batch 방식과 대비, 연연속
압연의 장점은 다음과 같다.

1. Idle time 저감에 의한 생산성 향상(~20%)
2. 박물재, 광폭재, 고강도강 및 난압연성 소재 압연에
의한 생산제품의 다양화
3. 제품의 두께, 폭, 크라운 편차 감소에 의한 품질의
균일화와 실수율 향상
4. 연속화 및 동기화(同期化)에 의한 신 압연공정 적용 및
이에 따른 신제품 제조 및 신기능 부여
5. Mill 감속, 가속 저감에 의한 에너지 절약

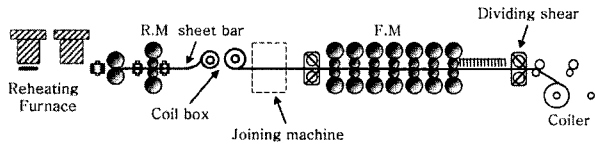


Fig. 2 연연속 압연 layout 모식도

연연속 압연을 적용하기 위해서는 여러 가지 요소 기
술의 개발이 필수적인데 요소기술로는 coil box 운용기
술, sheet bar 접합기술, 롤 냉각 및 크라운 제어기술,
고속 shear 기술 등 다양한 기술이 있으나 그 중에서
가장 핵심적인 기술이 이동하고 있는 sheet bar를 고
온에서 접합하는 기술이다. 이 같은 sheet bar 접합기
술 개발의 key는 이동 중인 두께 20 ~ 40mm 정도의
두꺼운 sheet bar를 여하히 이음부의 성능을 확보하면
서 빠른 속도로 접합하는가에 달려있다.

현재 연연속 압연을 열연라인에 적용하고 있는 제철
소는 가와사키 제철과 신일본 제철 두 곳이며 POSCO
는 기술개발 완료단계에 와 있다. Sheet bar를 접합하
는 방식은 그림 3에서와 같이 각 사에서 서로 다른 방
식을 채택하여 적용하고 있다. 연연속 압연을 가장 먼
저 현장 적용하기 시작한 가와사키 제철은 ('96. 3.
Chiba 3열연) 유도가열법을 이용하여 sheet bar를 접
합하고 있는데 용량 2,500kW의 inductor 2기를 이용
하여 bar를 가열한 상태에서 upsetting함으로서 접합
하는 방식을 채택하고 있다. 신일본 제철은 45kW
CO₂ laser 2기를 이용하여 bar를 용접하는 방식을 채
택하고 있으며 '98년 4월부터 Oita 열연공장에 적용하
기 시작하였다. Laser 방식은 용접 와이어를 사용하고

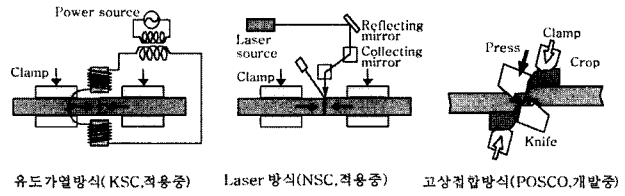


Fig. 3 Sheet bar 접합방식

있으며 전 두께를 용접하지 않고 두께의 30% 정도만
을 용접하는 것으로 알려져 있다.

이들 용융접합법과는 달리 POSCO에서는 고상접합
에 의한 sheet bar 접합방법을 개발하고 있다. 이 방
법에서는 선행 판재의 후단부와 후행판재의 선단부를
중첩한 후 두 판재를 그림에서와 같이 절단하면서 절단
시에 생긴 scale-free 신생면끼리를 접합하게 된다.

각 공정별 장단점을 비교해 보면 고상접합법은 접합
전에 접합면의 scale 제거가 필요하고 접합부 강도가
용융접합에 비해 상대적으로 낮으며 접합후에 crop 제
거공정이 필요한 단점이 있으나 접합장치가 고정식이고
접합에 소요되는 시간이 짧아(1초) 소요되는 공간이
작은 점과 장치가 비교적 simple하여 장치의 유지, 보
수가 용이한 점을 장점으로 들 수 있다. 유도가열방식
과 laser 방식은 접합 시 접합장치가 sheet bar와 함
계 움직이는 이동식으로 접합시간이 길어서(약 10초)
고상접합 방식에 비해 긴 공간이 소요된다는 점과 설비
의 maintenance가 어려운 점이 단점이며 접합강도가
고상접합방식에 비해 우수한 점을 장점으로 들 수 있
다. 그 외에도 유도가열 방식은 접합 후 용접 bead를
제거하는 공정이 필요하며 열영향부가 넓어서 접합부
주위에서 품질편차가 넓은 영역에 걸쳐서 발생하는 단
점이 있으며 laser 방식은 접합부의 alignment가 매우
중요하기 때문에 고정도의 shearing 기술이 필요한 단
점도 있는 반면 타 공정에 비해 이폭, 이두께재 용접이
용이한 장점도 있다.

연연속 압연을 현장 적용하기 시작한 제철소들의 연
연속 압연 도입의 목적에는 다소 차이가 있는데 가와사
키 제철은 생산강종의 고부가가치화 및 다양화이며 스
테인리스강을 생산하지 않는 신일본제철 Oita 열연공
장은 생산성 향상을 위하여 대량 생산시의 품질 안정
화, 조업성 개선 및 제품 다양화를 목표로 하고 있다.
공장별 연연속 압연 가동율은 가와사키 제철 Chiba 3
열연이 약 15%정도이며, 신일본제철 Oita는 가동율이
약 20% 정도이다. 한편 유도가열을 채용하고 있는 가
와사키 제철은 페라이트계 스테인리스강인 STS 430은
소량 생산하고 있으나 고탄소강과 오스테나이트계 스테
인리스강의 접합은 어려운 것으로 알려져 있다.

그 외에도 선재분야에서는 이미 연연속 압연이 이탈리아의 다니엘리, 일본의 NKK 등 상당수의 공장에서 적용되고 있으며 접합은 Flash butt 용접을 이용하고 있다. 선재에서 연연속 압연이 활발하게 적용되고 있는 것은 선재의 경우에는 접합할 부위의 면적이 열연판재보다 훨씬 적어서 접합과 전, 후방 작업들이 용이하기 때문이다.

3.2 차세대강 제조기술

차세대강 제조의 접근방법은 근본적으로 합금원소의 사용은 최대한 억제하되 결정립 크기를 수 micron order로 제어함으로써 강도와 인성을 동시에 향상시키고자 하는 것이다. 현재 구조용 강재의 수요는 전체 철강재 수요의 약 50%에 육박하고 있으며 이들의 대부분은 건축 구조용으로 사용되고 있다. 근래에 와서 국토의 효율적인 이용을 위한 각종 건축물의 초고층화 및 구조물의 초대형화가 추진되고 있으며 이에 대응하기 위해서는 구조물의 성능 및 안전성을 확보할 수 있는 고강도 구조용강재의 개발이 필수적이다. 이 같은 강재가 개발된다면 구조물의 경량화에 따른 자원 및 에너지 절약, infrastructure의 안전성 확보 등 산업사회에 미치는 사회적, 경제적 효과가 매우 클 것으로 예상된다.

초세립강 개발의 구체적인 목표는 합금원소 첨가없이 페라이트 결정립의 크기를 현재의 1~10 μ m 수준으로 초미세화시켜 모재의 강도를 2배 이상 개선시키면서 인성도 확보하는 것이다. 일반적으로 강재의 냉간가공이나 마르텐사이트 변태 그리고 제 2상의 석출을 통한 강도의 상승은 인성의 저하를 수반하는데 반하여 결정립 미세화를 통한 강도 상승은 연성-취성 천이온도를 저온 측으로 이동시킴으로서 인성도 상승한다고 알려져 있다. 이 같은 차세대강 개발을 위한 연구는 한국, 일본, 중국에서 모두 진행되고 있으며 한국에서는 3종류의 강재를 선정하여 연구를 진행 중이며 3차년도 연구가 종료되고 4차년도 연구가 진행되고 있다. 개발 대상재는 다음과 같다.

- 1) 현재 사용중인 인장강도 400 MPa급 일반 구조용 강재의 합금 성분계에 추사 합금원소의 첨가없이 결정립을 미세화시킴으로서 인장강도를 800 MPa급으로 고강도화한 강재
- 2) 개발된 고강도강을 건축구조용으로 사용 시 이들을 접합하는데 필요한 1,500 MPa급 고강도 볼트
- 3) 부식성 분위기에서 사용되는 건축물, 교량 등의 구조물에 도장없이 사용할 수 있는 내후성강

초세립강의 개발은 상변태온도 직상에서 압하율 50% 이상의 압연을 가함으로써 가공유기변태에 의한 입자 미세화를 달성하였으며 볼트용강의 경우, 조직을 ferrite + bainite 복합화 조직으로 함으로써 파괴인성이 우수하면서도 강도가 높은 강재를 제조하였다. 내후성강은 내식 coating재 개발과 모재의 내식성 향상 두 가지 측면에서 연구개발을 진행하고 있다.

이들 강재 개발과 함께 강재의 제조공정에서 필수적인 제강기술, 미세 개재물 분포기술, 세립강재의 절단 및 가공, 용접성을 확보하기 위한 용접 process 개발연구, 개발강재 적용시에 대비한 각종 성능평가 및 구조물 적용을 위한 설계기술의 개발에 관한 연구들도 동시에 추진되고 있다.

4. 용접기술의 개발

앞 절에서 기술한 바와 같이 수요 및 사용환경의 변화에 적극적으로 대응하여 다양한 용도의 고기능, 고성능 철강재가 개발되고 있으며 이에 따라 이들 재료를 보다 효율적으로, 건전하게 용접할 수 있는 용접기술의 개발 또는 공정 개선에 대한 요구도 증가하고 있다. 용접은 산업현장에서 구조물을 제작할 때, 복잡한 형상의 부품, 다양한 종류의 철강재를 접합하는데 있어서 매우 유용하며 적용이 용이한 접합기술이며 경제적으로도 구조물의 제조원가를 다른 방법에 비해 현저히 감소시킬 수 있고 설계시의 자유도도 매우 높은 기술이다.

신기능, 고강도강을 이용한 각종 조물 제작 시에도 용접기술의 적용은 필수적이며 구조물의 사용성능 및 수명은 상대적으로 취약한 용접부의 수명에 의해 결정되기 때문에 철강재 제조기술의 진보에 맞추어 용접부가 소재와 동등 또는 그 이상의 성능을 가질 수 있는 용접, 접합기술의 개발도 반드시 동반되어야 한다. 21세기에 접어들면서 레이저 용접이 산업의 각 분야 특히, 자동차 분야에서 기존의 아크 용접과 필적할 정도로 중요한 용접기술로 등장하였으며 따라서 레이저 용접의 특성을 고려한 소재의 개발도 검토되고 있다. 또한 최근 국소진공 EBW 또는 대기 EBW 공법이 개발되면서 speed gear, carrier 부품 tank의 용접, torque converter 부품 등 많은 부품이 EBW에 의해 용접되고 있으며 근래의 전기제어기술 발달과 함께 적정 용접조건 범위의 폭도 증가하여 향후 자동차 산업으로의 적용이 활발히 진행될 것으로 판단된다.

조선 및 중공업 분야에서는 용접생산성을 향상시키기 위하여 용접의 고속화와 대입열 용접화가 오래 전부터 진행되어 왔으며 최근에 개발된 4전극 FCB는 용접속도를 1.5~2.0 배까지 증가시켰다. 500~1,000kJ/mm

의 초대입열 용접의 적용도 추진되고 있는데 이를 위해서는 용접부 성능이 열화되지 않는 소재 및 용접재료의 개발이 필수적이라 할 수 있다. 또한 용접의 기계화 및 로봇화가 지속적으로 추진되고 있으며 형상적으로나 위치적으로 자동화를 할 수 없는 부위에 대해서는 기존의 수동공법의 적용이 불가피하기 때문에 이들 공정에 대한 개선 또는 성능향상에 대한 노력도 지속되어야 하겠다.

천연가스 저장용 tank는 100,000 리터 이상으로 대형화되어 가는 추세를 보일 것으로 예상되기 때문에 용접시공상의 과제는 용접 이음부의 성능확보와 함께 고능률화 및 고효율화를 위한 연구가 지속적으로 추진되어야 한다. 특히 용접부 품질이 가장 양호한 GTAW를 효율화 할 수 있는 방향과 성기능화, 성인력화가 가능하게끔 자동용접장치의 개선 또는 개발이 가속되어야 하며 다수의 용접장치를 동시에 감시, 조작하고 자기 진단기능에 의한 용접부 품질의 유지 관리가 가능한 용접시공기술을 개발하기 위한 노력이 필요하다.

건축, 토목 구조물의 용접에 있어서는 내지진성 확보가 중요한 issue 중의 하나이며 이를 해결하기 위하여 적절한 용접재료를 선정하고 용접시공조건 설정함으로써 용접부의 파괴인성을 확보하는 방안과 적절한 용접 이음부 설계에 의해 용접부에 걸리는 인장응력을 저감시키는 방안에 대한 연구가 추진되고 있다. 또한 소성 변형을 받는 부위를 용접부보다는 모재측으로 이동시킬 수 있는 설계와 외부로부터 가해지는 에너지를 흡수할 수 있는 damper 기능을 도입한 손상제어설계도 연구되고 있다. 이와 함께 각종 신개발 강재 및 관련 용접재료의 규격화, 용접부 취성과의 평가방법의 재검토, 파괴방지 설계, 용접부의 성능 규격화 등의 일련의 노력이 병행되어야만 할 것으로 생각된다.

또한 초세립강과 향후 전개될 나노 스케일의 조직 제어 기술이 완성되기 위해서는 소재 뿐만 아니라 집합에 있어서도 계면설계, 계면구조제어에 기초한 기술개발이 필요할 것으로 판단된다. 현재 초세립강의 경우, 용접 문제 해결을 위해서 다전극 고속용접장치가 개발되어 이를 적용하기 위한 연구가 진행되고 있으며 소재 측면에서는 oxide metallurgy와 성분계에 Al, N을 첨가하

여 oxide 대신 nitride를 활용하여 HAZ의 인성을 향상시키려는 시도도 병행되고 있다. 이 같은 접근 방법과 함께 800 MPa급 강재에 적합한 용접재료를 개발하는 연구도 수행되고 있다.

성에너지 측면에서 용접을 보면 전기 에너지를 열에너지와 광에너지로 효율적으로 변환하는 기술이 필요한데 레이저, 전자 빔과 같은 에너지의 고밀도화, friction stir welding 등의 고효율 저변형 용접시공법의 지속적인 개발과 적용확대가 필요하다. 또한 소재 및 용접재료의 recycling 즉, 제조-사용-회수-재생의 순으로 이들을 재 사용할 수 있는 기술도 검토가 필요할 것인데 역설적으로 사용 후 분리가 용이한 접합기술이란 관점에서의 연구도 필요하다고 판단된다.

참 고 문 헌

1. 한국철강협회: 철강연감 2001
2. 안종명: "철강산업과 용접기술", 국내 용접기술의 현황과 발전방향, RIST, 1999, A
3. Erich Folkhard: "Welding metallurgy of stainless steels", Springer-Verlag/Wienn New York, 1984
4. S. Torizuka et al: 第3回 超鐵鋼 Workshop, NRIM (1998), 36
5. 대한용접학회: 용접.집합판람
6. 주용용 외: "Hypers-21 Project 진행현황 및 연구방향", 차세대 구조용 강재개발 workshop, POSCO, 1999, A-1
7. 小溝 裕一: "21世紀の鐵鋼材料と熔接.接合技術", 熔接技術, 1, 2000, 91
8. 정홍철: "용접성 보증을 위한 강종개발 전략", 용접기술의 산업적용(기술강습회), 대한금속, 재료학회, 2001, 37
9. 이종섭 외: "A New On-Line Bar Joining Technology for Endless Rolling", Intelligent Technology in Welding and joining for the 21st century, Proceedings of IWC-Korea 2002, 282
10. 鈴木 孝彦: "最近の鐵骨熔接事情", 熔接技術, 1, 2000, 149
11. 池邊 卓: "最近の鐵骨熔接事情", 熔接技術, 2, 2000, 150
12. 豊原 力: "造船の熔接", 熔接技術, 2, 2000, 83
13. 中川 一行 外: "LNG 貯槽の熔接施工", 熔接技術, 1, 2000, 135
14. 山本茂昭: "自動車工業におけるEBWの活躍", 熔接技術, 6, 2000, 105



• 이종섭 (李種燮)
 • 1956년생
 • 포항산업과학연구원
 • 철강 및 비철금속의 용접야금현상, 이종재료 집합
 • e-mail : jonglee@rist.re.kr