

범용 엔진 연료탱크에서 칼라강판 적용기술 개발

深井 直樹¹· 本村 靜雄¹· 神山 史朗¹· 條田 明久²· 金井 洋³· 植田 浩平³

Development of Application Technology of Pre-Coated Metal for Fuel Tank of Versatile Engine

N. Fukai, S. Kimura, S. Kamiyama, A. Shinoda, H. Kanai, K Ueda

1. 서 론

1.1 칼라 강판의 현황

칼라강판(PCM: Pre-Coated Metal)은 냉연강판이나 도금강판 등 박강판에 미리 도장을 한 강판이다. 칼라강판의 구성을 Fig. 1에 나타냈다. 일반 칼라강판은 도금강판에 화성처리를 하여 표면에 프라이머리도막과 톱도막을 2번, 도장 표면에 서비스코팅이라 불리는 도막층을 1번 도장한 것으로 구성된다. 각 도막은 폴리에스테르계 수지, 에폭시계 수지, 불소계 수지 등이 사용되며 가공 용도에서는 가공성이 뛰어난 폴리에스테르계 수지가 널리 쓰이고 있다. 칼라강판은 건축재료 분야, 가전분야에서 널리 쓰이며 주로 구부림 가공이나 얇은 드로잉 가공을 한 후에 사용되고 있다. 디프드로잉 가공을 해도 도막의 박리와 손상이 발생하기 어려운 칼라강판도 개발되고 있으나 이것들은 디프드로잉 성형 후에 성형가공부에서 광택이 저하하기 쉽고, 내 오염성이 뒤떨어지는 문제를 갖고 있다. 본 논문에서는 연료탱크와 같은 디프드로잉 성형가공을 시행해도 도막의 박리와 손상이 발생하지 않고 또 가공부에서 광택이 저하하지 않고 내 오염성에도 뛰어난 칼라강판의 개발에 착수하여 완성시켰다.

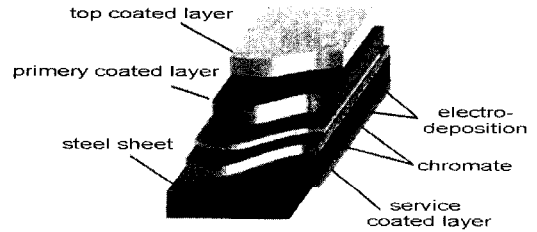


Fig. 1 Structure of color steel sheet

1.2 범용엔진의 현황

범용엔진은 전 세계에서 3000만대 / 년의 수요가 있다(Fig. 2). 본전기연공업(株)에서는 업무용의 GX 시리즈와 일반용의 GC 시리즈를 시장에 투입하여 440만대 / 년 생산하고 있다. 이번에 개발한 iGX 시리즈는 그 상위기종에 해당되며 고성능과 환경대응을 목표로 하여 개발되었다. 현행의 GX 시리즈의 가솔린 탱크는 기본구조가 접착구조이며 이미 20년 이상의 양산 실적이 있다. 이번에는 이 구조를 베이스로 하여 칼라강판화에 필요한 말단처리를 위한 안으로 감아 접는 코킹 기술을 완성시켰다.

1.3 범용 칼라강판의 기술 문제

시판의 칼라강판 제품 특히 디프드로잉 가공품에 대하여는 반가공품이 주류이지만 금번의 가솔린 탱

1. Honda Engineering(株) 〒321-3395 板木県芳賀郡芳賀町芳賀台6-1, Japan
2. (株)本田技術研究所汎用開發センター 〒351-0024 朝霞市泉水3-15-1
3. 新日本製鐵(株) 〒293-8851 富津市新富 20-1
- 技術解説: 塑性加工(日本 塑性加工 學會誌) 第48卷 第 563号 pp. 1064-1070(2007.12)
- 번역자: 박정서(자유번역가), 김인수(금오공과대학교 신소재시스템공학부, 교수)

Total 30,000,000 EA

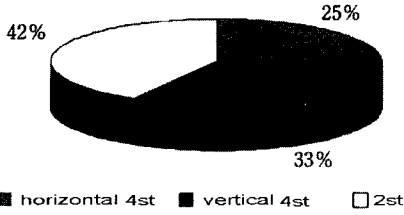


Fig. 2 Market share of general engine

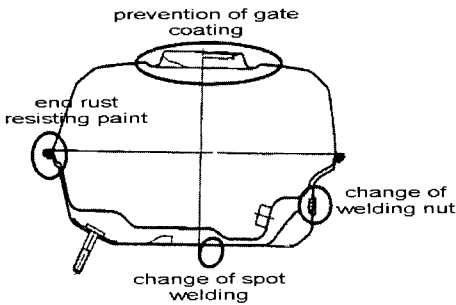


Fig. 3 Change of draft

크에서는 현장의 도장 못지 않은 광택이 성형 후에도 얻어 지게 된다. 또 상하분할구조 특성상 칼라강판 말단의 방청을 위한 말단의 감아 접기가 필요하며 작은 물건 결합에 쓰이고 있는 스폿 용접의 대체수단으로도 필요한 방법이다. Fig. 3 에 도면의 변경을 나타내었다. 도면 변경 항목으로서 는 다음과 같은 것이 있다.

- (1) 입구 부분은 마스킹 지시를 위해서 별도로 코킹 결합
- (2) 용접 너트는 용접이 안되기 때문에 코킹 너트(규격품)으로 변경.

다음으로 재료 성형 코킹, 작은 물건의 접합에 대하여 언급하였다.

2. 도막재료의 개발

2.1 모재의 선정

모재의 강판의 대하여는 디프드로잉 가공을 고려하여 디프드로잉 그레이드를 도금한 종과 연료 탱크 내부의 방청의 관점에서 실적이 있는 현행 Zn-Ni 도금을 선정하였다. 화성처리는 6 가 크롬을 함유하지 않은 크로메이트 후리처리를 채용했다. 모재에 대하여 종래 제품과 비교한 것을 Table 1 에 나타내었다.

Table 1 Applied materials and treatment

	Fuel tank / hitherto	Fuel tank / PCM
Materials	SPCE	SPCE
Electrodeposition	Zn-Ni alloy electrodeposition (20g/m ² : one side)	Zn-Ni alloy electrodeposition (20g/m ² : one side)
Treatment	Chromate	Chromate free

2.2 성형성이 뛰어난 칼라강판용 도막의 개발

디프드로잉 성형성을 다시 향상 시킬 수 있도록 칼라강판 도막을 고체 레올로지의 관점에서 조사하여 도막의 고무상 탄성영역에서 평형 탄성률(E'_{eq})이 낮은 도막이 디프드로잉 성형성에 뛰어나다는 것을 찾아 냈다. Fig. 4 에 동적 점탄성 시험에 의하여 얻어진 각종 도막에 레올로지 곡선을 Fig. 5 에는 도막을 디프드로잉 성형했을 때의 외관 사진을 나타내었다. E'_{eq} 가 낮은 Paint-B 쪽이 Paint-A 보다 디프드로잉 성형부에서의 도막 손상이 적어 졌고 그 뒤에는 고온으로 유동영역이 발생하는 Paint-C 가 도막 손상이 전혀 없었다. 디프드로잉 성형성이 대단히 좋은 것을 알았다. 점탄성 재료는 시간-온도 변환 축이 성립되기 때문에 Fig. 4 의 횡축은 시간으로 변환하고 종축은 완화 탄성률로 하여 변환하여 볼 수가 있다. Fig. 4 는 도막이 변형되었을 때의 낮은 탄성률에 완화하는 도막 일수록 디프드로잉 성형성이 뛰어나다는 것을 암시하고 있다. 이상의 결과로서 고무탄 성영역에서의 평형탄성률이 작아지는 도막을 개발하여 강판에 도장하는 것으로 연료탱크의 형상에 성형해도 도막이 손상하지 않는 칼라강판의 개발에 성공했다.

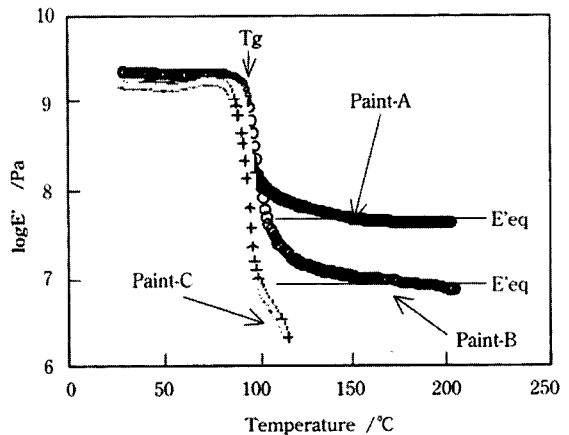
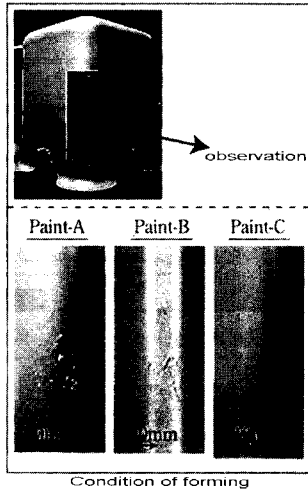


Fig. 4 Characteristics of rheology of color steel sheet [1]



Flank size : $\phi 110\text{mm}$
 Punch size : $40\text{mm} \times 40\text{mm}$
 Die, Punch : $R5\text{mm}$
 BHF : $9.8 \times 103\text{N}$
 Height of forming : 60mm
 Sample : SGCD2

Fig. 5 Outer surface of color steel sheet after deep drawing

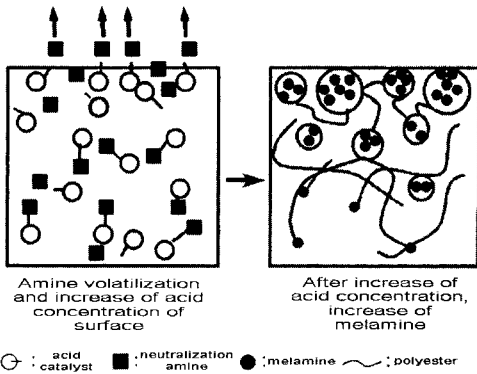
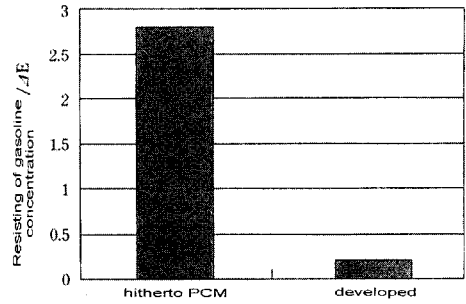


Fig. 6 Concept of change of melamine concentration in PCM coated layer [2]

2.3 내 칼라강판의 오염성의 개량

칼라강판의 디프드로잉 성형성을 높이기 위해서는 막의 가교 밀도를 낮출 필요가 있지만 이와 같은 도막에 가솔린이 부착하여 가솔린의 착색염료가 도막에 옮겨져서 착색이 일어나는 부조화가 개발과정에서 발생하였다. 칼라강판도막의 내오염성과 가공성과는 양립하는 수법으로서 아민중화한 촉매를 써서 경화제인 멜라민을 표면에 농화시키는 것으로 도막표면층을 경화시켜 하여 도막 내부는 유연하게 하는 기술이 알려지고 있다(Fig. 6).



[Experimental]

gasoline 0.1ml drop on the coated surface
 natural dry and 5 times repeated and ΔE analysis

Fig. 7 Results of gasoline drop test

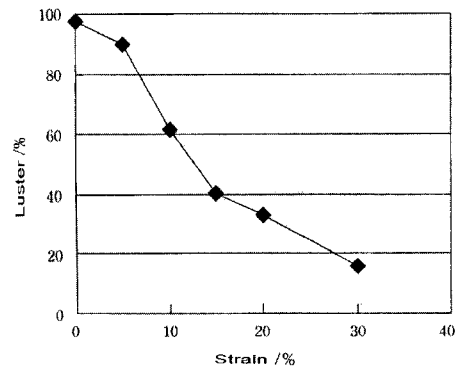


Fig. 8 Relationship between strain and luster of hitherto PCM

본 기술을 응용하여 멜라민의 반응속도, 중화 아민의 해리 특성을 제어하여 가솔린의 착색염료가 옮겨지지 않는 정도까지 도막표면층의 멜라민 농도를 높이고 또 도막 벌크가 고무상 영역에서 평형탄성률을 작게 하는 것으로 디프드로잉 성형성과 내가솔린 오염성을 양립한 칼라강판을 개발하였다. Fig. 7 에 종래의 칼라강판과 개발한 칼라강판과의 가솔린 적화시험 결과를 나타내었다. 개발품은 종래의 칼라강판보다 시험후의 색조변화(ΔE)가 작고 가솔린으로 착색되기 어려운 것이 확인되었다.

2.4 가공부의 광택 확보와 소재의 은폐

칼라강판을 디프드로잉 가공한 경우 변형률이 크게 되는 데에 따라서 광택이 저하하는 것이 문제이다. Fig. 8 에는 종래의 칼라강판을 단축인장시험 했을 때의 변형률과 광택 값과의 관계를 나타내었다. 종래의 제품에는 30% 변형률에서 광택이 20%이하까지 저하하고 있다. 이번의 칼라강판

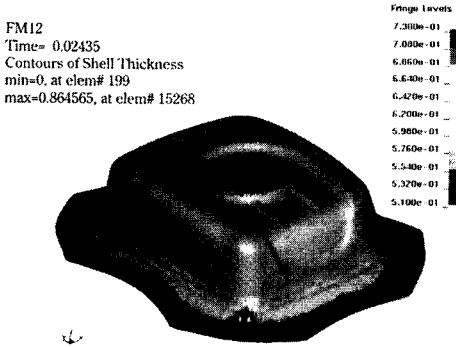


Fig. 9 Strain distribution by CAE

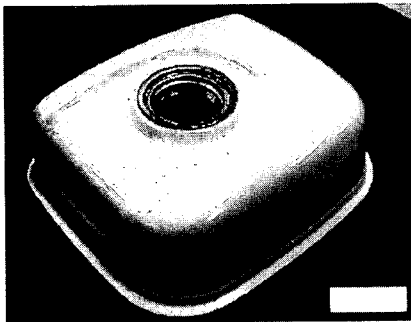


Fig.10 Appearance of developed fuel tank

을 연료탱크 형상으로 성형 가공 했을 때에 고외관부에 대하여 현행의 후 도장 도면과 동등한 광택이 얻어 질 수 있게 개발하였다. 그 방법으로는 제품에 변형량의 설정과 도막의 개량으로 대응하였다. 고외관부에 대하여는 제품의 변형량에 대하여 10%이하로 되게 CAE 를 이용하여 사전 예측을 행하였다(Fig. 9). 도막의 개량에 대하여는 원판인 도금강판의 표면 조도를 조절하여 도막의 두께를 두껍게 하는 것으로 성형전의 칼라강판 광택을 높게 하여 성형가공후의 광택값을 확보 가능한 사양으로 하였다. 나아가서 도막의 수지골격을 변경하는 것으로 변형이 생겨도 광택이 저하하기 어려운 도막을 개발하여 성형후의 변형률이 다른 부위와의 광택차를 감소 하였다. 또 변형량이 많은 고가공부의 있어서도 소재 손해를 하도록 안료배합을 조정했다. 이와 같이 하여 개발한 칼라강판을 쓰는 것으로 연료탱크의 형상에 프레스 가공 해도 현행 후 도장품과 동등의 광택 레벨로 되었다(Fig. 10).

2.5 내식성의 확인

탱크 성형재로 실시한 염수분무시험(SST)의결과

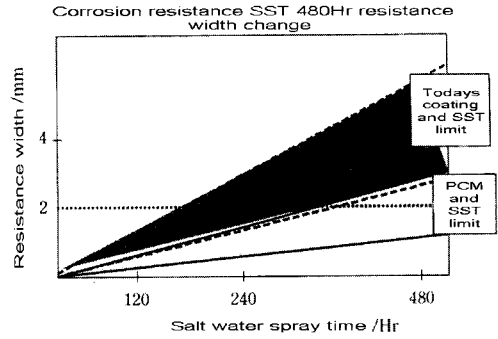


Fig.11 Comparison of color steel sheet and post painting

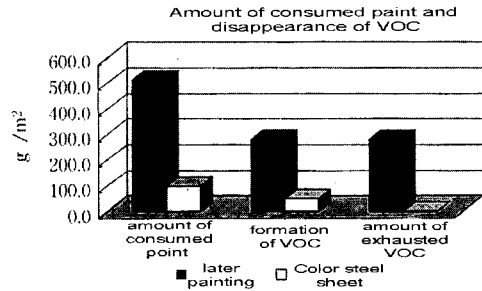


Fig.12 Prediction of amount of consumed paint and disappearance of VOC

를 Fig. 11 에 나타내었다. 현행 아크릴 멜라민도료 1 코팅 1 비율의 사양(후 도장사양)과 칼라강판과의 비교에는 도장사양의 차이와 후 도장에서 불가피한 형상부에 의한 막 두께가 달라져서 일어난 원인으로 Fig. 11 과 같이 차이가 있었다. 칼라강판은 현행의 후 도장보다 내식성이 달라지는 성질이 적은 것을 확인 하였다.

2.6 환경부하의 저감

일반적인 스프레이 도장에서 형상물의도장은 도착효율이 저하하는 경향이 있으며 용제형 도료 VOC(Volatile Organic Compounds = 휘발성유기화합물)가 문제로 되어 있다. 칼라강판에서 평판시에 도장하기 위해서 도착효율이 100%에 가깝고, 건조로도 컴팩트하여 인슐레이터와 같기 때문에 VOC 를 거의 발생하지 않았다. 이것 때문에 재료의 제조공정에서 제품의 가공까지를 통하여 대폭적으로 VOC 가 소멸되었다(Fig. 12).

2.7 그 외의 항목

칼라강판은 그 표면 긁힘과 표면손상 방지를 위해서 무윤활 가공이 원칙으로 되어 있다. 이것

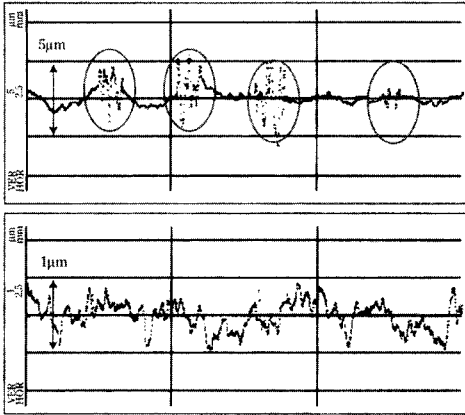


Fig.13 Surface change before and after heat treatment of pencil hardness tested parts

때문에 윤활성 확보를 위하여 도막위에 왁스를 첨가하여 윤활성을 부여 하였으나 왁스 첨가에 의하여 광택이 저하하기 때문에 급유 타르강판을 목표로 첨가량을 조절하였고 마찰계수를 0.09~0.12 로 하였다. 같은 모양으로 부상대책으로서 도막의 유연성을 살려서 접착제의 경화가열을 이용하여 자기 수복 현상을 확인 하였다. Fig. 13 은 표면 경도 측정용 연필로 부상을 낸 도막의 표면조도 프로파일로 가열 후의 변화를 표시 하였다. 가열하는 것으로 연필 급힘 부위의 조도가 작아지며 굽어낸 자국이 평활하게 되어 있는 것을 확인 하였다.

3. 프레스 성형기술

3.1 시작형

기능품질은 물론이고 외관품질에서도 만족한 제품을 만드는 것을 시작품에서도 요구되고 있다. 이 원고에 Table 2 에 보이는 방법으로 시작품을 개발하여 제품을 성형하였다. 드로잉공정에서는 펀치 및 다이에 의한 다이 R 부 및 다이부를 경면과 같이 마무리하는 것에 의하여 ZAS(Zinc Alloy for Stamping)형에 있어서도 고풍택의 바렐 연마로 가공 할 수가 있다. 트림공정에서는 다음의 공정에서 도료의 박피를 방지하기 위하여 도로스 제거가 필요하게 된다. 밴딩공정에서는 SS 재(일반구조용 압연강재)에 의한 간이형을 사용한다. 제품을 압출하는 공정은 없어도 성형이 가능하다. 단상형 인서트에 있어서는 경면 연마(#1000 까지)가 필요할 수 있다. 특히 압축프레스 성형으로 되는 볼 부에 있어서는 충분한 연마가 필요하게 된다.

Table 2 Conditions of samples

Process	Parts	Color steel sheet	Common steel sheet
Drawing	Upper case	ZAS (mirror grinding)	ZAS
	Blank holder	SS polish	SS polish
	Lower case	ZAS (mirror grinding)	ZAS
Trim	-	Laser trim Draws removal	Laser trim
Bending	Upper case	SS polish	Bended tool Hand work
	Lower case	SS polish	

Table 3 Conditions of mass production by deep drawing

Parts	Color steel sheet	Common steel sheet
Upper case	SKD11 + perfect quenching + surface treatment	FS300
Blank holder	SKD11 + perfect quenching	FS300
Lower case	SKD11 + perfect quenching + surface treatment	FS300+electrodeposition

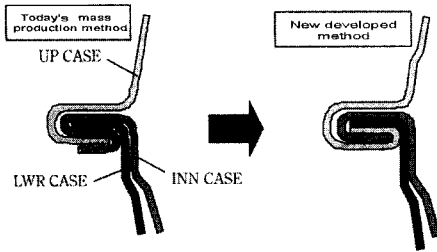


Fig.14 Comparison of today's and new developed method of outer cocking

3.2 양산형

양산형은 제작소의 기존 양산설비 활용을 전제로 방법을 결정하였다(Table 3).

프레스라인에서 시도한 표면처리는 CVD(Chemical Vapor Deposition)-TiC 처리를 채용하였다. 후공정에 있어서 양산금형 방법으로 트림공정은 후 도장제품과 동일한 방법이다. 수공정에 있어서는 도막 박리를 막기 위하여 두 가지 기술과제가 있다. 하나는 핸드의 조정이다. 특히 코너부에 있어서는 재료 나머지가 생겨 주름이 발생하기 때문에 이 주름이 겹치지 않는 간격 조정이 필요하게 된다. 두 번째는 제품으로서 외관이 되는 도장면에 접하는 상형 케이스 내부의 표면처리이다. 드로잉과 같은 CVD-TiC 처리를 채용하였다.

4. 외관 기술

현행의 연료탱크는 내부 관벌이 외측에 노출되는 바깥 감아 접기 방법이 채용되어 있다. 이것은 칼라강판화한 경우 도장 되지 않는 도금 강판의 내부가 노출되기 때문에 외관이 나쁠 뿐만 아

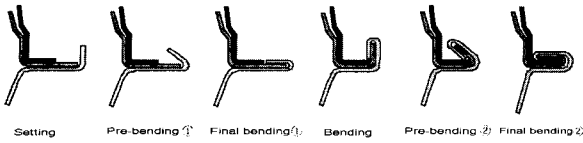


Fig.15 Cocking of 5 steps

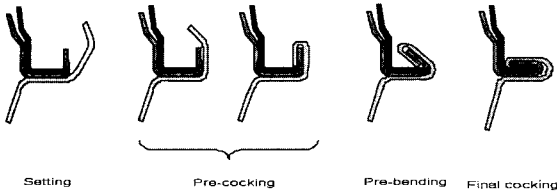


Fig.16 Cocking of 4 steps

나라 내식성에도 영향이 있다. 이번의 양산화에 있어서는 내부 판넬과 칼라강판의 단면도 노출이 안 되는 안쪽으로 감아 접기 방법으로 말아 넣는 방안을 보완 하였다(Fig. 14).

4.1 안으로 감아 접기의 성형방법 비교

일반적으로 안으로 감아 접는 단면을 만드는 것은 4-5 공정(Fig. 15,16)이 필요하게 된다. 본 개발에서는 기존의 후 도장이 탱크와 동일한 라인에서 생산하기 때문에 외관은 3 공정 이내로 제약이 생긴다. 본 개발에서는 다음 항 아래에 보이는 기술을 개발하여 이것을 실현 하였다.

4.2 Curl 성형 방안

벗겨짐 없이 성형하는 기술을 성립시키기 위해서는 아래 3 개의 기술과제가 있다.

(1) 긴 후렌지(10-15mm)를 벗겨짐 없이 성형하는 기술

(2) 벤딩 후 스프링백이 없는 후렌지의 수정기술

(3) 최적의 칼라 형상.

이들의 과제에 대하여 개발기술을 이하에서 설명하였다.

4.3 헤드라이트 가공

칼라강판의 도막 변형을 크게 하면 압축(재료 나머지)에 의하여 극단적으로 약해 지기 때문에 압축성형으로 되는 외관 후렌지부의 벤딩 가공에는 한계가 있다. 본 원고에는 10~15mm 의 긴 후렌지를 성형하기 위해서는 Fig. 17 에 보이는 조립 방안을 개발하였다.

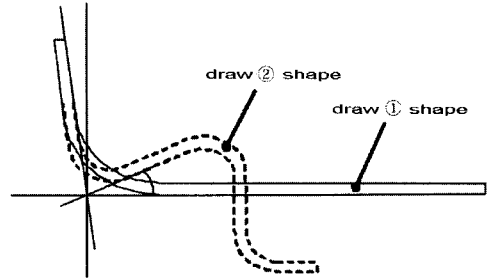


Fig.17 Shape of step drawing

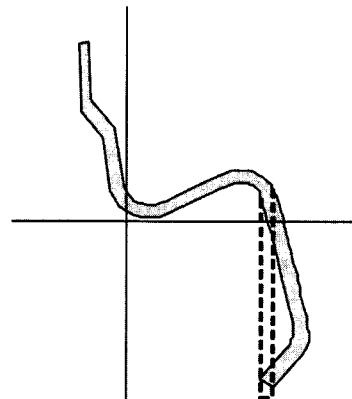


Fig.18 Free curl shape

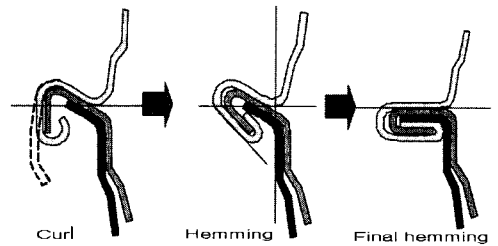


Fig.19 Cocking process

4.4 후렌지 가공

벤딩 후렌지부에 있어서 스프링백은 내측에 있는 칼라성형 할 때 좌굴 되기 때문에 기억자로 꺾이는 현상이 생기게 된다. 이 문제를 해결하기 위하여 미리 내측에 작은 굽은 형상을 두는 것을 개발하였다(Fig. 18). 또 소형 프레스기에 설치 할 수 있게 금형을 보완 하였다.

4.5 외관 코킹 성형

앞 항까지 설명한 긴 후렌지를 성형가능한 조립성형기술 후렌지의 스프링백을 수정하는 Free curl 성형기술 및 긴후렌지를 안으로 감아 넣는

것이 가능한 최적 curl 형상 성형기술을 바탕으로 3 공정에서 가공 가능한 성형방안을 개발 고강도의 6 매 접침 후렌지를 실현하였다(Fig. 19).

5. 용접 대체기계 접합

5.1 접합 원리

칼라강판 연료탱크의 작은 물체 결합에서 용접(용융접합)을 이용하지 않고 비용접감 목적으로 기계 접합기술을 적용했다. 버트접합에서는 스폿 용접을 대체하기 위하여 코킹 大王[6]이라는 기계적 방법을, 또 너트 접합에서는 용접 너트의 방법으로 코킹 너트(round piercing nut : 규격폼)를 채용하였다. 코킹 大王 프레스 등을 사용하여 2 매의 강판을 기계적으로(피결합체에 열을 가하는 일이 없이) 결합하는 것이다. 장치는 한 쌍의 펀치와 다이로 구성 된다. 다이 측에 플레이트를 붙여서 보다 강고한 코킹 구조를 형성한다. 가공은 Fig. 20 에 표시한 것과 같은 공정으로 행해진다. 펀치를 다이에 밀어 넣으면 원통상의 오목과인 것이 형성된다. 나아가서 펀치를 밀어 넣으면 펀치측의 판은 다이측에 깊숙히 들어가 빠지지 않게 되고 2 매의 판이 강고하게 결합된다. Fig. 21 은 코킹 大王으로 접합한 부분의 확대사진이다. 칼라강판(판 두께 1.0)과 아연도금 강판(두께 1.2)를 접합한 것이다. 펀치 측은 칼라강판을, 다이 측은 아연도금 강판을 설치하였다. 박판으로 그것보다 두꺼운 것을 때려 넣는 형태이다. 이접합의 특징은 소성변형에 의해 판 두께가 감소하여 그 가장 얇은 곳이 최대 경도로 되고 밀착도가 최대로 되는 것이다. 코킹 大王의 구조를 Fig. 22 에 나타냈다. 펀치와 다이는 조합하는 재료, 판 두께, 필요 접합 강도에 서로 맞는 사이즈의 것을 선택하여 먼저 AD(Anvil Depth)를 정하고, 다음으로 SH(Shut Height), BD(Button Dimension) 및 가공압에서 최적 접합강도를 도출했다. 이 최적 접합강도에 대응하는 SH, BD 를 관리하는 것으로 소정에 강도를 유지하였다.

5.2 테스트 결과

접합강도(전단, 박리)는 펀치경을 크게하고 SH 가 작아짐에 따라서 증가한다. 급변에 칼라강판 탱크에서는 펀치를 코킹 大王으로 접합했지만 1 점당의 접합강도는 스폿용접의 60% 정도이기 때문에 본 제안에서는 스폿 1 점에 대하여 2 점 치는

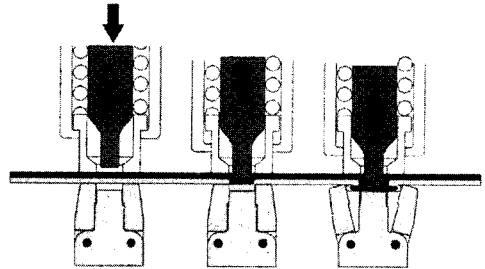


Fig.20 Cocking join process[6]

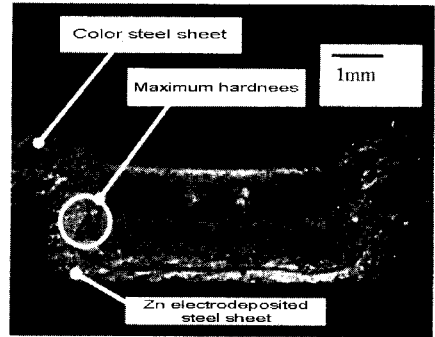


Fig.21 Sectional microstructure of cocking joined parts

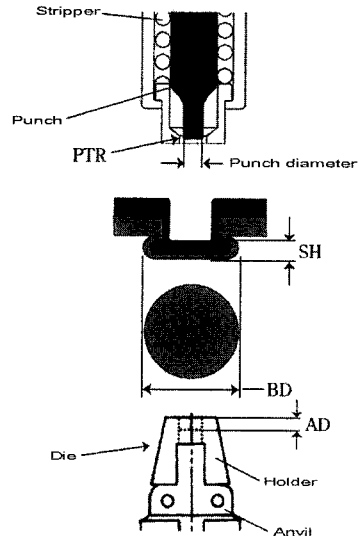


Fig.22 Cocking die structure [6]

것으로 동등 이상의 접합강도를 확인하였다. 실제 기계로 적용상태를 Fig. 23 에 나타냈다. 이번의 코킹 大王 접합과 너트 코킹에 대하여는 공정단축 및 코스트 다운을 피하게 하기 위해서 공통 다이 세트를 제작하여 본전기연공업(주) 용본제작소의 메가 헬즈 기계에 장착하여 동시 가공으로 하였다.

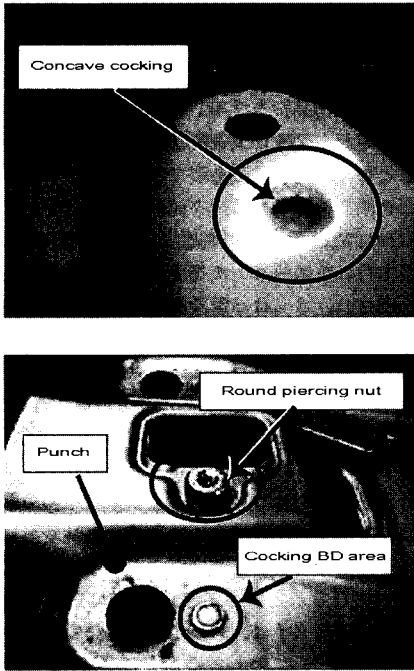


Fig.23 Cocking and cocking joined area

6. 결론

본 원고에서는 열간 및 냉간 금형용 강의 동향을 중심으로 서술하였다. 저비용, 고품질, 단납기

는 앞으로 더욱 중요하게 되는 과제이며 이것을 추구함에 있어서 금형용 강의 역할이 크다. 글로벌화가 진행 중에 있어 일본 내에 재료의 안정된 품질과 용도에 대응한 강종의 공급체계가 새로이 평가되고 있으나 앞으로 다시 제조 및 품질면에서 레벨업을 꾀해 나가는 것이 요구된다. 한편 표면처리 기술 등 주변 기술과의 융합, 상승효과에 의한 성능향상도 중요한 과제이다. 해석 기술의 진보도 금형 수명향상, 금형 제조 비용의 절감에 공헌하고 있으며 여러 가지 기술분야, 다양한 각도에서의 조합이 앞으로 필요하다고 생각된다.

본 논문은 한국소성가공학회와 일본소성가공학회의 번역 게재 협정에 의하여 저자의 허락을 생략하고 번역하여 게재합니다.

참고문헌

- [1] Ueda, K., Kanai, H & Amari, T. : Prog. In Org. Coat. 45(2002), 267-272.
- [2] H. Kanai et al : Materia , 33-6(1994), 802-804.
- [3] Japanese patent, 2004-202519.
- [4] Japanese patent, 2006-212680.
- [5] Japanese patent, 2006-110566.
- [6] <http://sanyo-machine.co.jp/PageCommon/Product-Ketsugou.htm>