

# 점용접 아연도금판의 강도특성에 대한 온도 및 침수의 영향

서도원\* · 윤호철\* · 최준용\* · 임재규†

## Effect of Temperature and Water Assumption on Strength of Spot Welded Zinc Steel Plates

Do Won Seo, Ho Chel Yoon, Jun Yong Choi and Jae Kyoo Lim

**Key Words:** Clearance(간극), Distilled Water(증류수), Synthetic Sea Water(인공해수), Water Immersion(침지), Strength(강도), Zinc Steel Plate(아연도금강판)

### Abstract

Spot welded structure is operated in diverse climatic situation because of temperature, humidity and precipitation. In addition factors of environmental pollution such as acid rain, that courses corrosion, have the tendency to increase. But spot welded structure strength is affected by dampness and environment temperature. Therefore, it is important to evaluate effect of temperature of spot welded part. In this study, the strength distribution of spot welded plates is evaluated about the environmental temperature of zinc coated steel plates and test is conducted with welded part immersed in distilled and synthetic sea water. Specimens are immersed into water for 10, 100, 500 and 1000hours to evaluate the effects of water immersion time on tensile-shear strength under the conditions of -40, 0, 20 and 50°C. Strength is evaluated by tensile-shear test. The conditions of spot welding are 240kgf electrode force, 10kA welding current with 0 and 5mm clearance. From this study, spot welded specimens with clearance have lower tensile-shear strength in the distilled water or synthetic sea water comparing with spot welded specimens without clearance. And they have lower tensile-shear strength under -40°C and over 50°C.

### 1. 서론

점용접은 용접(fusion welding)과 납접(brazing and soldering) 및 리벳팅(riveting) 등의 접합방법에 비하여 작업성, 신뢰성, 안정성 및 생산성이 우수한 전기저항용접 방법으로 강재의 용접 특히 자동차 산업에 널리 쓰이고 있다[1]. 자동차는 다양한 부품들로 구성되어 있으며 많은 요소의 부

품들을 프레스에 의해 성형하거나, 점용접에 의해 결합한다. 그리고 자동차는 온도, 습도, 강수량 등 다양한 기후 조건에서 운행하게 된다. 특히 대한민국은 사계절이 뚜렷하여 계절에 따라 극심한 온도와 강수량 및 습도의 변화를 보인다.

여름 최고온도는 지난 2000년 경우 37.2°C였으며 최저온도는 -20.2°C였다. 여기에 포함되어있는 도로의 복사열이나 차체에 가해지는 태양 복사열에 의한 효과까지 감안한다면 더욱 높은 온도가 될 것이다. 이처럼 자동차는 폭넓은 온도대에서 작동하게 된다. 또한 여름엔 일년 강수량의 50~60%가 집중되고 습도도 7월에 80~90% 이상을 보이고 있으며 환경오염으로 인해 산성비처럼 화학적 부식을 일으키는 요소가 점차 증가하고 있

† 전북대학교 기계항공시스템공학부, 공학연구원 공업기술연구소

E-mail : jklim@moak.chonbuk.ac.kr

TEL : (063)270-2321 FAX : (063)270-2460

\* 전북대학교 공대 기계설계학과 재료 및 파괴역학 연구실

는 추세이다. 따라서 자동차 생산에 폭넓게 사용되고 있는 점용접부의 온도와 물리적, 화학적 부식에 대한 평가는 매우 중요하다.

따라서 본 연구에서는 자동차용 연료탱크의 용접부를 모의한 단일 겹침 점용접 시험편에 대한 주변온도에 대한 점용접성의 변화와 증류수와 인공해수에 의해 침수된 점용접부의 강도평가를 실시하여 파괴된 용접 시험편의 파면관찰을 통하여 용접 이음부의 간극과 용접 구조물의 강도 성능의 관계를 규명해 프레스 금형 설계 치수와 정밀도 등의 설계에 기초자료로 활용할 수 있도록 하고자 한다.

## 2. 실험방법

### 2.1 시험재료

본 연구에 사용된 시편은 자동차 부품에서 많이 사용되는 아연도금강판으로서 화학적 조성과 기계적 성질을 Table 1과 Table 2에 나타내었다.

### 2.2 시험편과 용접조건

점용접에 의한 시편제조 방법은 두께가 1.2mm 인 일반 아연도금강판을 길이 90mm, 폭 25mm로

절단한 후 인장강도 시험편의 표면을 용접하기 전에 아세톤과 에틸 알코올로 깨끗하게 세척하였다. 그런 다음 두 시험편을 24mm 겹친 후 특별하게 제작한 지그를 이용하여 시험편 사이의 간극을 0mm, 5mm로 벌린 후 점용접을 실시하였으며, 용접전류와 전극가압력은 10KA, 240kgf로 고정하고 냉각수의 유속은 6 l/min로 일정하게 유지하고 가압시간 30cycles, 용접시간 12 cycles, 그리고 유지시간은 10cycles를 일정하게 유지하고 실험하였다. Table 3은 용접조건을 나타낸다.

### 2.3 실험방법

점용접부의 환경평가를 위해 ASTM-D1141에 따라 제조된 표준해수(pH 8.2)를 중심으로 인공해수(synthetic sea water)를 제작해 실험을 실시하였다. 실험에 사용된 인공해수 구성은 Table 4와 같다 그리고 인공해수의 pH를 수시로 점검해 pH가 항상 8.2를 유지 할 수 있도록 했으며 증류수와 인공해수에 부식 생성물이 발생하여 침적하지 않도록 2~3일마다 새로운 용액으로 교환했다. 용액의 온도는 약 20℃에서 ±2℃ 의 오차범위를 유지하도록 하였으며 시험편의 인장전단하중에 영향을 미치는 노출 시간의 영향을 측정하기 위해 2개의 수조를 준비하고 각각의 수조에 증류수

Table 1 Chemical composition of zinc sheet used

Chemical composition(Wt %)						Coating weight( $g/m^2$ )	
C	Si	Mn	P	S	Fe	outer side	inner side
0.0035	0.005	0.08	0.012	0.007	bal.	18.5	18.2

Table 2 Mechanical properties and thickness of steel sheet

Mechanical property			Thickness(mm)
Tensile strength( $kg/m^2$ )	Yield strength( $kg/m^2$ )	Elongation(%)	
31.0	18.5	50	1.2

Table 3 Spot welding conditions

Electrode	Welding current (kA)	Clearance(mm)	Electrode force(kgf)	Common condition
Cr-Cu	10kA	0mm 3mm 5mm	240kgf	Squeeze time:30cycles Welding time:12cycles Holding time:10cycles Cooling water:6 l/min

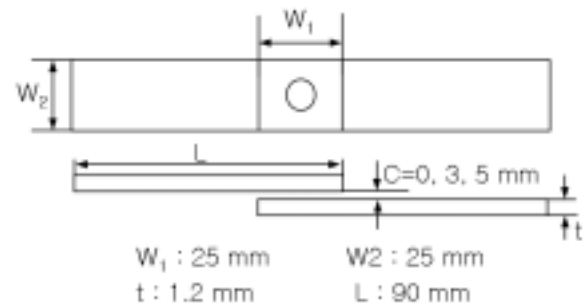
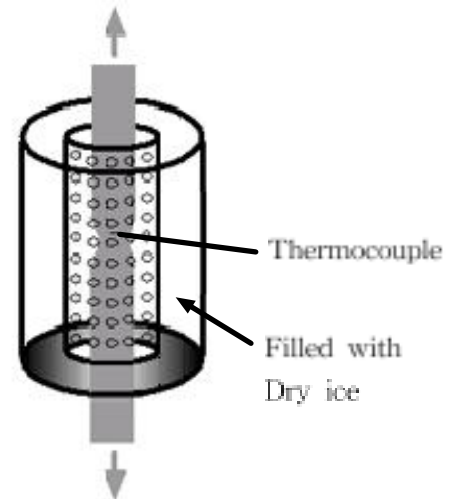
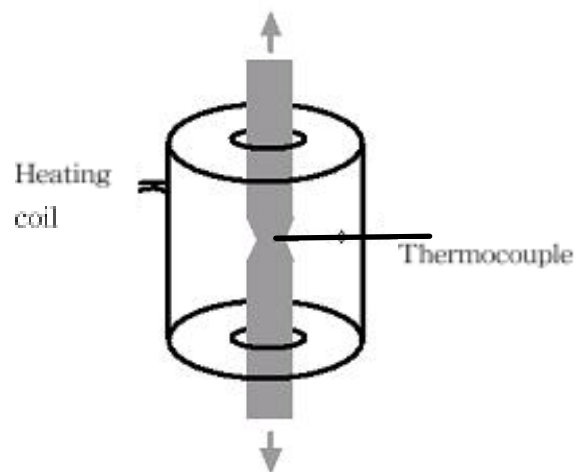
**Table 4** The composition of synthetic sea water

Composition	Quantity(g)
NaCl	254.34
$Mg Cl_2 \cdot 6 H_2O$	111.11
$Na_2SO_4$	40.94
$CaCl_2$	11.58
KCl	6.95
$NaHCO_3$	2.01
KBr	1.01
$SrCl_2 \cdot 6H_2O$	0.42
$H_3BO_3$	0.27
NaF	0.03

와 인공해수를 채우고 물의 온도가 일정하게 유지되도록 하였으며 설정한 조건에 만족하도록 하기 위해 각 10시간, 100시간, 500시간, 1000시간 동안 시험편을 수조 내의 증류수와 인공해수에 침수시킨 후 점 용접 시험편은 전극 가압력 240kgf, 용접전류 10KA 그리고 시험편 사이의 간극 5mm와 0mm의 조건에서 점용접을 실시하였으며 시험편의 침수시간이 완료되면 꺼내어 즉시 인장시험을 실시하여 인장전단하중을 측정하였으며 파괴면을 관찰하였다.

온도에 따른 점용접부의 온도 효과를 보기 위해  $-40^{\circ}C$ ,  $0^{\circ}C$ ,  $20^{\circ}C$  (상온),  $50^{\circ}C$  이렇게 네가지 온도 조건으로 나누어서 실험하였다.  $-40^{\circ}C$  와  $0^{\circ}C$  는 드라이 아이스 (dry ice)를 사용하여 온도를 낮추었고  $50^{\circ}C$  는 히팅 코일(heating coil)을 사용하여 온도를 조절하였고 이때 크로스헤드 스피드(crosshead speed)는 2mm/min로 일정하게 했다. Fig. 1은 인장-전단 시험편의 형상을 나타내었고, Fig. 2는 저온실험, Fig. 3은 고온실험의 간략도를 나타내고 있다.

시험편 제작에 사용한 용접기는 단상 교류식 single point형 정치식 공압식 용접기이다. 용접시간, 가압시간 및 유지시간은 용접기에 부착된 계기를 통하여 설정하였다. 가압력은 점용접용 가압력 측정계를 사용하여 측정하였고 전극 팁은 Cr-Cu를 사용하였다. 이때 용접조건의 정확성을 높이기 위해 가압력은 점 용접기용 압력계를 사용하여 측정, 보정하였다.

**Fig. 1** Tensile shear test specimens and cross sectional specimens**Fig. 2** An apparatus for estimating fracture characteristics at low temperature ( $-40^{\circ}C$  and  $0^{\circ}C$ )**Fig. 3** An apparatus for estimating fracture characteristics at high temperature ( $50^{\circ}C$ )

3. 실험결과 및 고찰

3.1 온도변화에 따른 인장전단하중의 변화

시험편 사이의 간극(clearance)과 온도 효과에 의한 점용접 시험편의 인장전단하중의 변화는 Fig. 4와 같다. 온도가 낮을 때에는 인장전단하중이 작지만 온도가 상승함에 따라 점차로 인장전단하중도 증가하게 되고 0℃와 20℃사이일 때 최고값을 나타내고 이후로 계속 온도가 상승함에 따라 인장전단하중 값이 감소하게 된다. 간극이 존재하지 않는 상황에서 온도가 -40℃일 때와 0℃일 때를 비교해보면 인장전단하중은 588kgf과 631kgf로 약 7.3 % 증가했고 20℃일 때와 비교해보면 636kgf로 7.6% 증가했음을 확인할 수 있다. -40℃와 20℃일 때에 인장전단하중은 대체로 증가하다가 50℃로 증가하게 되면 636kgf에서 629kgf로 약간 감소하고 있다. 그리고 이러한 경향은 간극이 3, 5mm일 때도 마찬가지로임을 확인할 수 있다. 이는 온도가 아주 낮은 경우(-40℃) 시험편은 취성재료의 성질을 띄게 되고 인장전단하중 값은 감소하게 된다. 그렇지만 온도가 증가(0℃, 20℃)함에 따라 취성은 점차 사라지게 되며 이로 인해 인장전단하중 값은 증가하게 된다. 그리고 시편 사이의 간극과 인장전단하중과의 관계를 보면 간극이 5, 3, 0mm일 때로 점차로 감소하면 온도와 관계없이 점용접 시험편의 인장전단하중은 점차 증가하고 있는 것을 확인할 수 있다. 이것은 온도변화와는 상관없이 시험편 사이의 간극이 시험편의 인장전단하중 값에 영향을 끼치는 한 요소임을 나타내고 있다.

3.2 물과 해수환경에서 인장전단하중의 변화

재료의 환경 파손은 넓은 의미에서 순수한 화학적 작용에 의해서만 진행되는 파손과 화학적 작용과 기계적 작용의 상호작용에 의해 진행되는 파손으로 크게 나눌 수 있다. 이런 파손 현상은 사용상 불가피하게 접촉하는 다양한 환경의 영향을 받음과 동시에 여러 가지 형태의 하중 및 외력 등을 받게 됨에 따라 발생하게 된다. 대부분의 금속은 침식·부식에 민감하다. 금속성분은 용해된 이온이 형태로서 금속표면으로부터 제거되어지거나, 고체 생성물로서 금속표면에서부터 기

계적으로 흘러 나간다[2]. 부식성 용액 환경에 놓여진 금속이 대단히 빠른 속도로 부식되어 가는 현상은 익히 잘 알려져 있으며 그의 손상 기구 및 지배인자는 환경조건에 따라 다양하게 다르다고 생각된다.

이번 실험에서는 증류수와 인공해수에 점용접 시험편을 침수시킨 후 부식되어 가는 과정을 확인했다. 해수의 pH값은 수심에 따라 7.5 ~8.2까지 변화하지만 산업폐수로 인하여 공단 연안지역에서의 pH값은 다소 변동이 있을 것으로 예상되어 표준해수(pH 8.2)를 중심으로 인공해수를 제작해 실험을 실시하였다. 증류수와 인공해수의 각 침수시간에 따른 인장 전단하중의 관계는 Fig. 5와 같다 시간이 증가할수록 인장전단하중은 감소하고 있고 인공해수의 경우 일반 증류수에 침수시켰을 때보다 훨씬 인장전단하중의 감소가 컸다

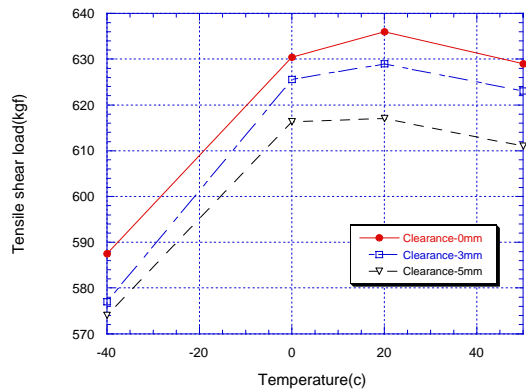


Fig. 4 Effect of testing temperature on the tensile shearing load

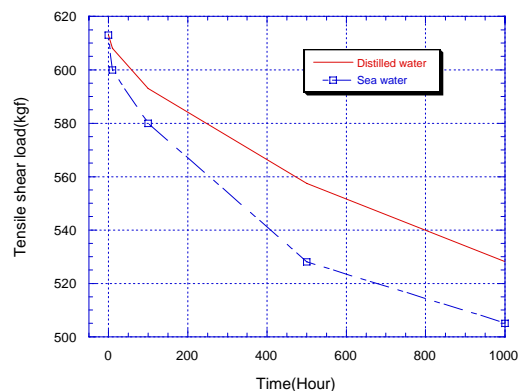


Fig. 5 Tensile shearing load change when immersion time increase

는 것을 확인할 수 있다. 이는 인공해수가 증류수에 비해 훨씬 부식속도가 빠르기 때문이다.

Fig. 6은 증류수에 침수시킨 점용접 시험편의 인장시험 결과를 나타내고 있으며, Fig. 7은 x축의 시간을 로그(log)처리하여 나타낸 것이다. 침수시간이 길어짐에 따라 인장전단하중의 감소가 일어나는 것을 확인할 수 있었으며 침전시간이 증가할수록 그 부식되는 속도가 빨라짐을 확인할 수 있다. 또한 간극이 존재하는 시험편의 인장전단하중은 간극이 존재하지 않는 시험편의 인장전단하중에 비해서 낮게 나타났다.

Fig. 8은 인공해수에 침수시킨 점용접 시험편의 인장시험 결과를 나타내고 있으며 Fig. 9는 x축의 시간을 로그(log)처리하여 나타낸 것이다. 침수시간이 증가함에 따라 인장전단하중은 감소하고 있으며 그와 더불어 부식속도는 증류수와 마찬가지로

로 침수시간이 증가함에 따라 점차 증가하고 있음을 확인할 수 있으며 간극이 존재하는 시험편은 그렇지 않은 시험편보다 인장전단하중이 낮게 나타남을 확인할 수 있다.

### 3.3 파면관찰

Fig. 10은 증류수에서 침수시간 (10시간, 100시간, 500시간, 1000시간)에 따른 시험편의 부식 모습과 인장시험시 파괴된 시험편의 모습을 나타내고 있으며 Fig. 11은 인공해수에서의 침수시간에 따른 시험편의 부식 모습과 인장시험 후 점용접 시험편의 모습을 나타내고 있다. 침수시간이 길어질수록 부식이 더욱 심하게 일어났으며 증류수보다는 인공해수에서 침수된 점용접 시험편이 더욱 심하게 부식되었음을 확인할 수 있다. 이는

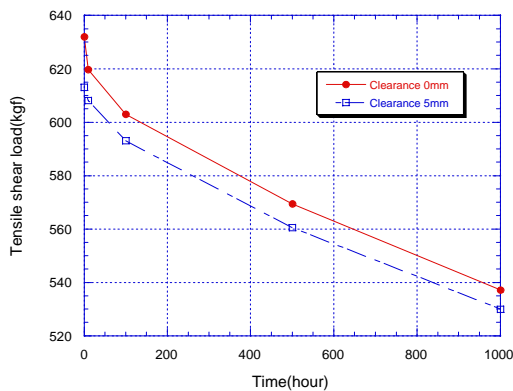


Fig. 6 Relationship between tensile shearing load and immersion time in the distilled water

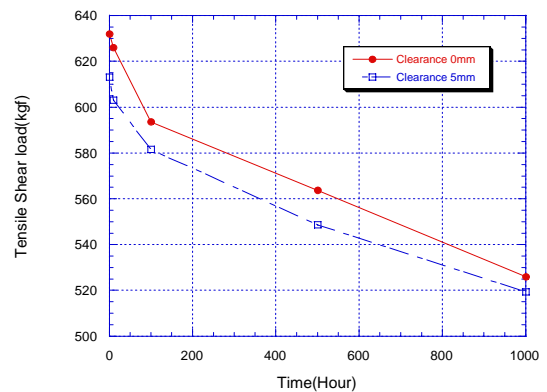


Fig. 8 Relationship between tensile shear load and immersion time in the synthetic sea water

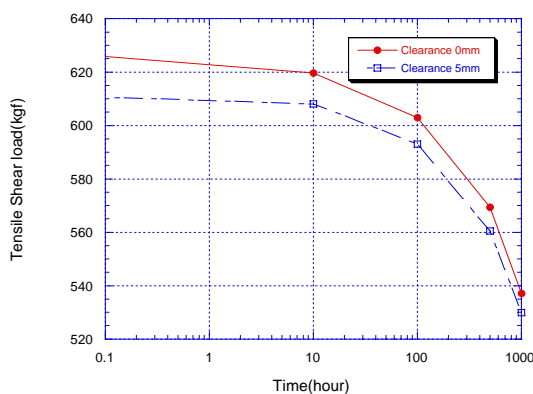


Fig. 7 Relation between tensile shearing load and immersion time in the distilled water

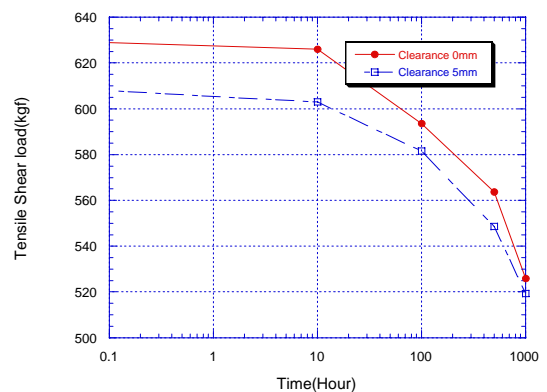


Fig. 9 Relation between tensile shear load and immersion time in the synthetic sea water

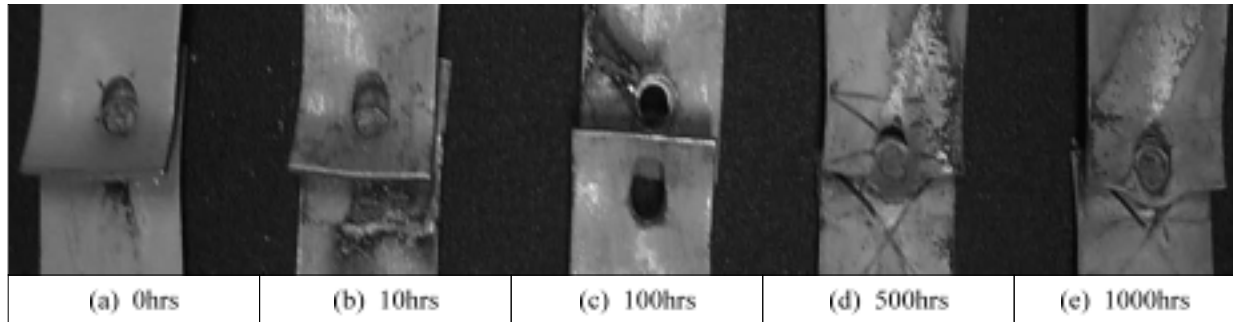


Fig. 10 Photographs of fractured specimens with various immersion time in synthetic sea water

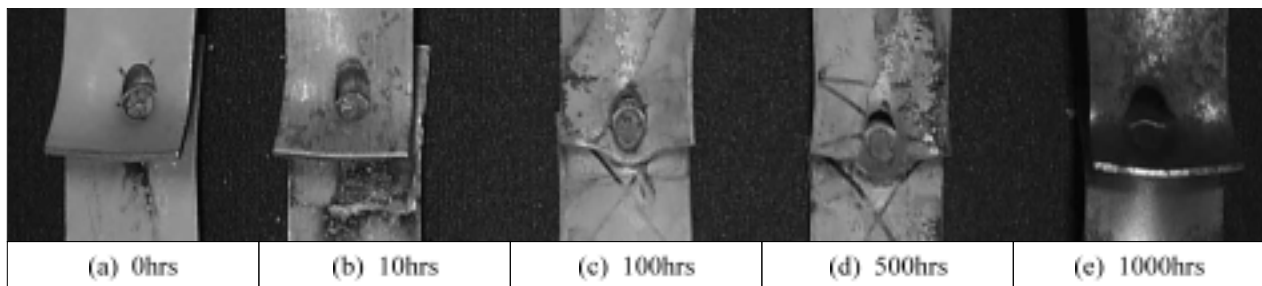


Fig. 11 Photographs of fractured specimens with various immersion time in synthetic sea water

침수시 주로 용접부보다는 열영향부(HAZ)로 많은 부식이 발생하여 인장시험시 열영향부에서 더욱 빨리 균열이 발생하여 시험편이 파괴에 이르고 있음을 확인할 수 있었다.

#### 4. 결 론

자동차용 연료탱크의 용접부를 모의한 단일 접침 접용접 시험편의 강도에 미치는 환경온도와 증류수 및 인공해수에 의한 침수의 영향을 살펴본 결과 다음과 같은 결과를 얻어내었다.

간극이 존재하는 접용접 시험편은 간극이 존재하지 않는 시험편에 비해 저온이나 상온 이상의

환경에서 인장전당하중이 낮았다. 또한 간극이 존재하는 접 용접 시험편은 간극이 존재하지 않는 시험편에 비해 증류수나 인공해수 침수 환경에서 인장전당하중이 낮게 나타났다.

#### 참고문헌

- (1) S.A. Gedeon and T.W. Eagar, Metall. Mater. Trans. B, 17 (1986), 890
- (2) S.A. Gedeon, D. Schrock, J. Lapointe and T.W. Eagar, SAE Technical Paper 840113, Warrendale, PA, 1984