

論文

Sursulf 처리후 고주파 표면경화된 저탄소강의 경도 및 마모특성에 미치는 Sursulf 처리시간 및 고주파 경화 이송속도의 영향

노 응 식* · 김 영 회* · 이 평 호** · 신 호 강*** · 이 상 윤*

*동아대학교 공과대학 금속공학과

**현대정공

***삼락산업

The Effect of Sursulf Treating Time and Traveling Speed during Induction Hardening on Hardness and Wear Characteristics of Low Carbon Steel Combined-Heat-Treated

Y. S. No*, Y. H. Kim*, P. H. Lee**, H. K. Shin*** and S. Y. Lee*

*Department of Metallurgical Engineering, Dong-A University Pusan 604-714

**Hyundae Precision & IND. CO., LTD.

***Sam Rack San Eup.

ABSTRACT

This study has been performed to investigate into some effects of the Sursulf treatment time and the traveling speed of surface hardening treatment on the hardness and the wear characteristics by applying the combined heat treating techniques of Sursulf process followed by induction hardening treatment to mild steel. It has been shown that increasing the Sursulf treatment time increases the case depth, but both hardness and wear resistance are not considerably improved. When the combined heat treating technique of high frequency induction heating after Sursulf treatment is applied, an improvement in case depth as well as wear resistance is obtained. In particular, the hardness in diffusion zone is greatly increased due mainly to the formation of martensite and possibly lower bainite. Iron oxides formed during induction heating and subsequent water spray cooling in the outermost part of compound layer may be considered to cause some increases in hardness and wear resistance.

1. 서 론

최근 기계부품으로 사용되는 각종 강재에 있어서 표면의 중요성이 널리 대두되고 있다. 이것은 소재의 특성과 아울러 그 적용영역을 검토할 때 표면의 성질을 최대한 이용하려는 목적에서 비롯된 것이다. 각종 공학적 부품에서 요구되는 성질은 내마모성, 높은 굽힘 및 비틀림 강도, 내마멸성, 높은 굽힘 및 비틀림 강도, 내마멸성, 표면접촉 피로강도, 표면이탈 저항성 및 내식

성등이다.

Sursulf 처리법은 질탄성 혼합염에 소량의 황을 첨가하여 질화를 가속시키는 효과를 지닌 처리법으로서 565℃의 저온에서 강재의 표면부에 질화물 및 황화물을 형성하고 그 내부로 질소의 확산을 유도하여 기지예의 질소 및 탄소고용을 촉진시키는 표면처리법으로서 강재의 표면경도, 내마모성, 내식성 및 내피로 강도의 향상을 목적으로 한다.¹⁻⁴⁾ 한편, 고주파 표면경화법은 표면층의 화학조성을 변화시키지 않으면서 단시간의 가열과

냉각으로 처리시간이 가장 적게 소요되는 방법으로서 강재 표면부의 경화를 유도하여 내마모성 및 내피로성의 향상을 꾀하는 열처리법이다.⁴⁻⁹⁾ 그러나 Sursulf 처리법을 연강에 적용시킬 때는 처리시간의 증가만으로 높은 경도값을 얻기가 용이하지 않으며 또 고주파 표면경화 처리법은 처리재가 연강인 경우 그 열처리 효과가 극히 적다. 따라서 최근에는 기계부품의 사용용도에 따라 두 세가지의 표면경화 열처리를 중복 실시하는 복합 열처리법이 다양하게 개발되어 활용되고 있다.^{2,10,12)}

본 연구에서는 연강을 Sursulf 처리 후 고주파 표면경화 처리할 때 표면경도 및 내마모성 향상에 미치는 Sursulf 처리시간 및 고주파 경화 이송속도의 영향을 조사하였다.

2. 실험방법

2-1. 시료

본 연구에 사용된 시료는 연강으로서 발광분광분석기(Lab Test社, model V25)로 분석한 화학조성은 Table 1 과 같았다.

2-2. 마모시험편

마모시험에 사용된 시험편은 지름 35 mm 인 압연강봉을 Fig.1 과 같은 형상 및 칫수로 가공하였으며, 가공시 형성된 잔류응력을 제거하기 위해서 600°C에서 30 분간 가열한 후 노냉하였다.

2-3. 열처리

가. Sursulf 처리

Sursulf 처리를 위해 지름 600 mm, 길이 2200 mm 의 염욕포트(pot)를 사용하여 565°C에서 1 시간, 2 시간 및 3 시간동안 유지한 후 공냉하였으며, 사용한 염은 하우톤(Houghton)사의 SURSULF CR 2 P, SURSULF CR 4 및 K₂S 였다.

Sursulf 처리시 분석된 염욕조성은 아래와 같았다.

CNO⁻ : 37.3%

CO₃²⁻ : 17.7%

CN⁻ : 0.53%

나. 고주파표면경화처리

진공관식 고주파가열장치(일본 Fuji 사, model FIH-10)를 사용하여 Sursulf 처리 후 공냉한 시험편을 고주파 표면경화처리하였다. 이때 사용된 work coil 은 내경이

Table 1. Chemical composition of specimen (wt %)

C	Mn	P	Si	Ni	Cr	Mo
0.18	0.55	0.018	0.16	0.03	0.03	0.03

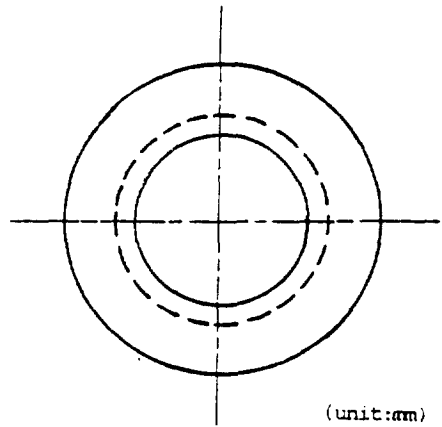
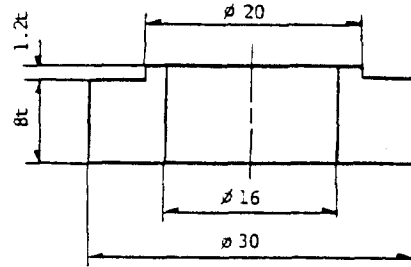


Fig. 1. Wear test specimen

36 mm 이고 가열면적이 565 mm²인 것이었으며, 가열후 4.8 l/min.의 유량으로 분사식 수냉을 하였다.

고주파처리 조건은 다음과 같았다.

처리조건 1 : 출력 7.5 kw, 이송속도 1.93 mm/sec

처리조건 2 : 출력 7.5 kw, 이송속도 1.45 mm/sec

처리조건 3 : 출력 7.5 kw, 이송속도 0.921 mm/sec

2-4. 현미경조직시험

Sursulf 처리 및 복합열처리된 시험편을 프레스(미국 Buehler 사제)로 마운팅한 후 일반적인 현미경조직시험 용시편준비과정에 따라 정마하여 3% nital로 부식시킨 후, 광학현미경(일본 Union 사, model UN 20 N, MEC-5)을 사용하여 조직을 관찰하였다.

2-5. X-선 회절시험

3 시간동안 Sursulf 처리한 시편의 화합물층에 대해서 X-ray diffractometer(일본 Rigaku 사, model Geigerflex D/MAX-II A)를 사용하여 회절시험을 실시하였다.

2-6. 경도시험

마이크로비커스 경도시험기(일본 Akashi 사, model MVK-C)를 사용하여 처리된 시편은 처리시간별로, 복합열처리된 시편은 Sursulf 처리시간 및 고주파 표면경화처리 조건별로 분류하여 표면에서의 깊이에 따른 경도변화를 측정하였다.

2-7. 마모시험

Amsler type 마모시험기(일본 Shimadzu Seisakusho 사, type 2)를 사용하여 마모시험을 하였으며 한쌍의 시험편을 시험기의 상하축에 고정킨후 20 kg의 하중하에서 회전수 800 r.p.m., 슬립비(slip ratio) 9.09%를 유지하면서 건식로링시험을 하였다. 그리고 마모 회전수에 대한 마모량은 화학천칭(스위스 Mettler 사, model H-80)을 사용하여 마모시험 전후의 시편의 무게의 차로써 나타내었다.

3. 실험결과 및 고찰

3-1. 현미경 조직

Fig.2는 565°C의 Sursulf 염욕에서 각각 60분, 120분 및 180분 유지 후 공냉한 시편의 현미경 조직이다. 표면의 백색 화합물층(compound layer)은 대략 7.7% N을 함유한 Fe_3N 으로 구성되어 있음을 Fig.3의 X-선 회절시험 결과로부터 알 수 있고, 이 화합물층의 최표면층에는 소량의 황화합물, 즉 FeS가 존재한다는 것이 알려져 있으나¹³⁾, Sursulf 염욕중의 S량이 극히 낮은 관계로 X-선 회절시험시 FeS의 존재가 검출되지 않았다. 또한 현미경 조직에서 관찰할 수 있는 바와같이 최표면층의 검은 점들은 다공성을 나타내는 것으로 이 다공층에 황화합물이 분산 고착되어 있고, 보유성이 있어서 내마모성에 기여한다고 보고되어 있다.¹⁻³⁾

한편, 화합물층의 바로 아래 영역은 주로 질소원자가 페라이트 기지조직에 고용된 확산층(diffusion layer)으로서 대략 5.9% N을 함유한 침상질화물인 Fe_4N 이 석출되어 있고, 시편 내부로 들어갈수록 Fe_4N 의 양이 줄어들고 그 크기도 작아지는 특성으로 미루어 Sursulf 처리시 질소의 농도구배가 최표면층에서 내부로 형성되어 확산이 일어났음을 추정할 수 있다.

여기서 시편의 화합물층 및 확산층은 X-선 회절시험 결과에 의해 Fe_3N 및 Fe_4N 으로 규명할 수 있지만 실제로 Sursulf 염욕내서의 탄소의 존재때문에 이들 화합물은 $Fe_3(C, N)$ 과 $Fe_4(C, N)$ 으로도 생각할 수 있고, 화합물층과 확산층은 어느 열처리 실험점을 고려할 때 Fe

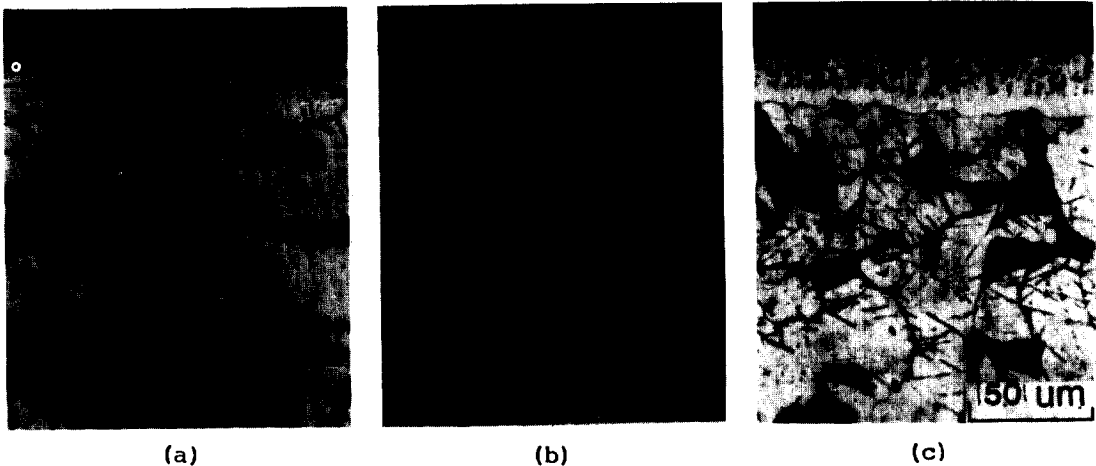


Fig. 2. Microstructure of mild steel Sursulf-treated at 565°C for various treatment times, and then air-cooled.

(a) 60 min. (b) 120 min. (c) 180 min.

(C, N), Fe₂(C, N), Fe₃(C, N) 및 Fe₄(C, N)으로 구분되는 영역이 존재한다는 가정을 할 수 있다. 이들 질소와 탄소로 구성된 화합물은 (C, N)의 양에 따라 철격자를 심하게 변형시키는 결과가 되고, 또한 시료 표면부를 압축응력 상태로 만들므로서 내마모성 및 내피로강도에 기여한다고 생각된다.

이러한 화합물층과 확산층은 동일처리 온도에서 처리시간의 증가에 따라 그 두께가 증가하며 60분, 120분

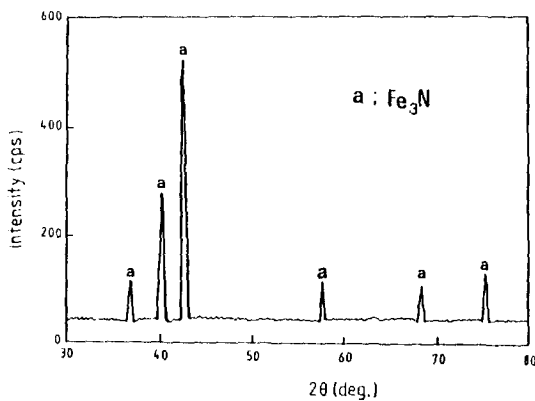


Fig. 3. X-ray diffraction patterns obtained from compound layer of mild steel Sursulf-treated for 3 hours at 565°C, and then air cooled.

및 180분 동안 Sursulf 처리한 시편의 경우 화합물층의 두께가 각각 8μm, 14μm 및 18μm로 나타났다. 특히 Sursulf 염욕층의 활성황의 양의 증가에 따라 화합물층 및 확산층의 두께가 증가하지만, 과도한 황의 첨가시 화합물층에 다공이 너무 많이 형성되어 박리현상을 보이기 때문에 소재의 기계적 특성을 고려하여 황의 첨가량을 적절히 조절해야 하는 것^{1,2)}으로 알려져 있다.

Fig. 4는 565°C에서 3시간 Sursulf 처리 후 출력 7.5 Kw의 고주파 표면경화 장치를 사용하여 시편의 이송속도를 각각 1.93 mm/sec, 1.45 mm/sec 및 0.921 mm/sec로 변화했을 때 나타난 현미경 조직사진이다. 동일출력하에서 이송속도가 1.93 mm/sec인 경우 표면 화합물층이 열적영향을 받았으며, 내부의 확산층에서는 Fe₄(C, N)이 분해되어 없어졌으며, 이송속도가 1.45 mm/sec인 경우 화합물층과 확산층 모두 열적영향을 받아 Sursulf 처리만 실시한 조직과는 다른 조직을 보여준다. 여기서 순간적인 고온가열에 의해 화합물층의 질소농도가 낮아지고 내부 확산층의 질소농도가 다소 높아지는 특성을 예상할 수 있으며, 초기조직인 퍼얼라이트-페라이트 조직의 분해가 일어났음을 알 수 있다. 그러나 이송속도가 0.921 mm/sec일 때 가열온도의 상승에 의한 지지조직이 오스테나이트화가 일어나서 수냉시에 Fe-C-N 마르텐사이트가 형성되어 있음을 알 수 있다. 또한

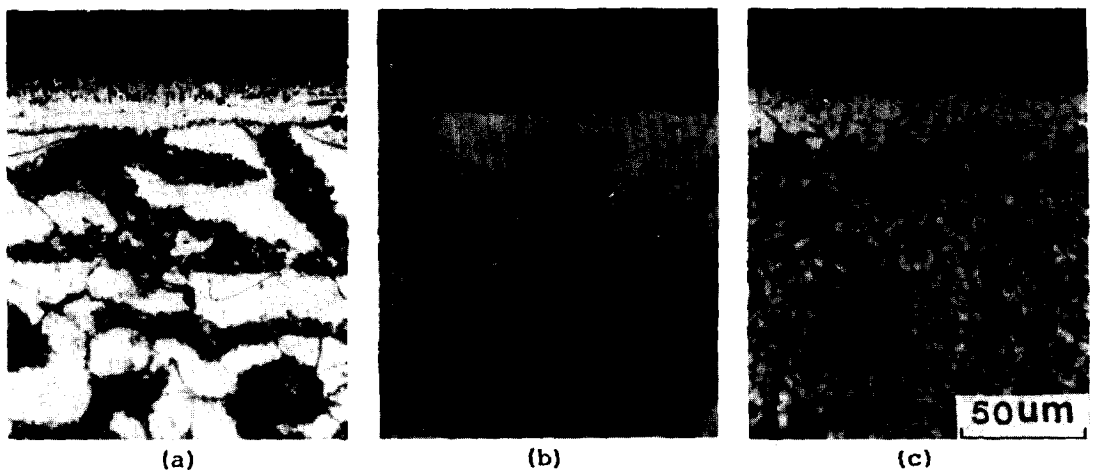


Fig. 4. Microstructure of mild steel Sursulf-treated for 3 hours at 565°C, and then induction-hardened at the output power of 7.5 kw for three different types ;
 (a) travel speed : 19.3 mm/sec.
 (b) travel speed : 1.45 mm/sec.
 (c) travel speed : 0.921 mm/sec.

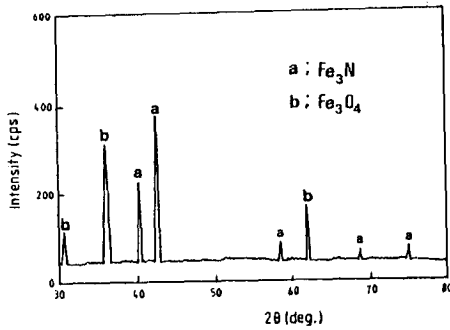


Fig.5. X-ray diffraction patterns obtained from compound layer of mild steel Sursulf-treated for 3 hours at 565°C, and then induction-hardened at traveling speed of 1.45 mm/sec. and the output power of 7.5 kw.

표면화합물층의 두께는 이송속도가 느려짐에 따라 점차 작아지고 있는데 이것은 화합물층의 열적분해에 기인한 것이라 믿어지며, Fig.5의 X-선 회절시험 자료로부터 최표면부에는 Fe₃O₄산화물이 형성되어 있음을 알 수 있다.

이상에서 살펴볼 때 Sursulf 처리 후 고주파 표면경화 처리시 이송속도의 지연은 결국 시편의 가열시간의 증가를 의미하며, 가열시간이 증가되면 화합물층의 Fe₃(C,N) 및 확산층의 Fe₄(C,N) 탄질화물과 페라이트-퍼얼라이트의 분해가 촉진되므로 기지조직 특히 확산층의 Fe-C-N 마르텐사이트의 형성이 용이하게 되어, 확산층의 두께가 더욱 크게되는 결과를 가져온다. 이것으로 미루어 화합물층의 경도가 다소 감소할 것으로 예상되고 오히려 확산층에서는 마르텐사이트의 형성에 의한 경도상승이 예측되며, 특히 확산층의 탄소 및 질소의 농도증가에 의한 경도상승을 기대할 수 있다.

3-2. 경도특성

Fig.6은 565°C에서 각각 60분, 120분 및 180분 동안 Sursulf 처리후 공냉한 시편의 경도특성곡선을 나타낸 것이다. Sursulf 처리시간의 증가에 따라 표면으로부터 대략 10 μm 깊이에서 최대 경도값이 나타나며, 60분 처리한 경우 확산층은 250 μm, 120분의 경우는 330 μm 이고, 180분 처리한 경우는 420 μm로 나타났으며, 이것은 저탄소저합금강의 경우 경도의 최대치는 낮으나 확산층의 깊이는 깊고, 고탄소강 및 고합금강의 경우 경도의 최대치는 높으나 확산층의 깊이는 얇은 경우와 동일한 경향을 보인다. 또한 표면으로부터 100-200 μm

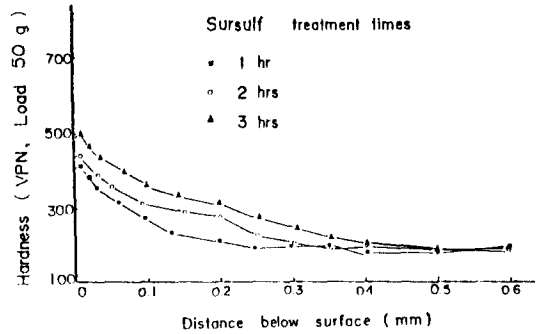


Fig.6. Hardness profiles mild steel Sursulf-treated for three different times at 565°C, followed by air-cooling.

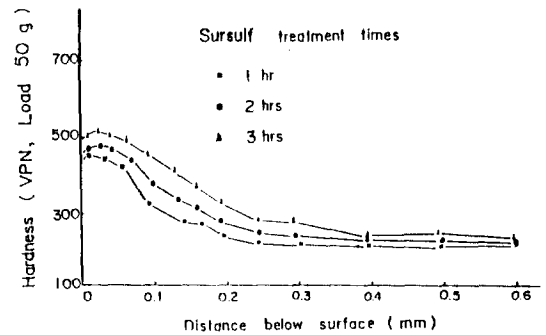


Fig.7. Hardness profiles of mild steel Sursulf-treated at 565°C for various treated times, and then induction-hardened at traveling speed of 1.93 mm/sec, and the output power of 7.5 kw.

깊이에서 처리시간에 따른 경도값의 차이는 60분 처리한 것에 비해 120분 처리했을 때 70-80 Hv, 180분 처리한 경우는 100-120 Hv가 증가했음을 나타낸다.

한편, 565°C에서 Sursulf 처리후 고주파 표면경화처리했을 때 일정 이송속도에서 Sursulf 처리시간의 영향을 Fig.7, 8 및 9에 나타내었다.

1.93 mm/sec의 속도로 고주파 표면경화처리한 경우 (Fig.7) Sursulf 처리시간의 증가에 따라 화합물층의 경도 및 확산층의 경도는 고주파처리하지 않은 경우보다 각각 표면으로부터 10 μm 및 100 μm에서 20-80 Hv와 60-80 Hv씩 증가한 것으로 나타났고 Sursulf 처리시간이 60분인 경우에는 화합물층에서의 경도값의 증가가 크고 처리시간이 180분인 경우 확산층(100 μm에서)의 경도값의 증가가 더 크다. 또, 이송속도 1.45 mm/sec에서

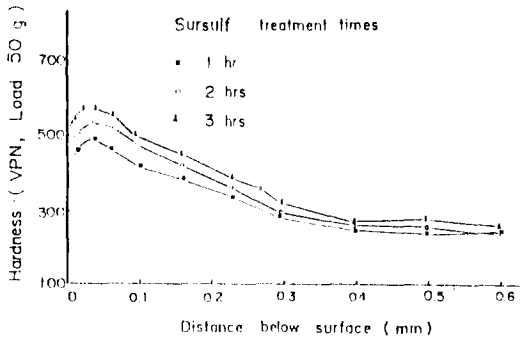


Fig. 8. Hardness profiles of mild steel Sursulf-treated at 565°C for various treatment times, and then induction-hardened at traveling speed of 1.45 mm/sec. and the output power of 7.5 kw.

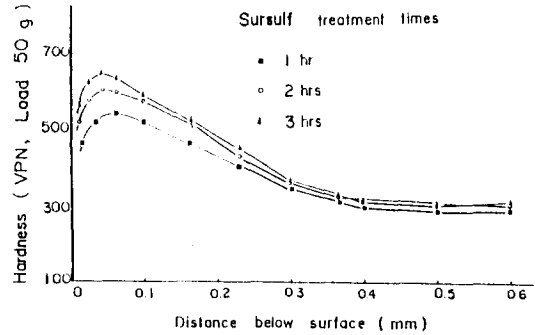


Fig. 9. Hardness profiles of mild steel Sursulf-treated at 565°C for various treatment times, and then induction-hardened at traveling speed of 0.921 mm/sec. and the output power of 7.5 kw.

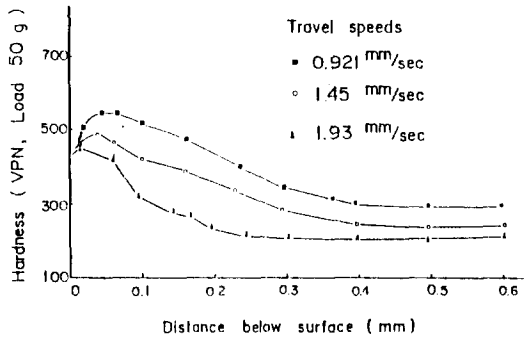


Fig. 10. Hardness profiles of mild steel Sursulf-treated for 1 hour at 565°C, and then induction-hardened at the output power of 7.5 kw for various traveling speeds.

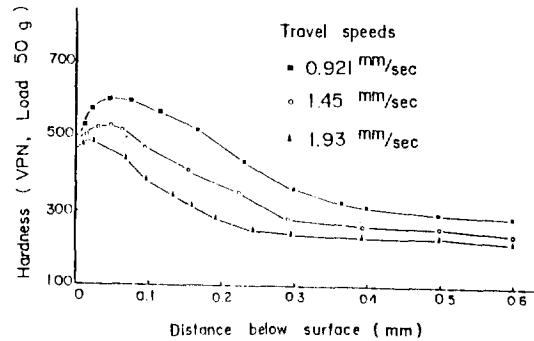


Fig. 11. Hardness profiles of mild steel Sursulf-treated for 2 hours at 565°C, and then induction-hardened at the output power of 7.5 kw for various traveling speeds.

고주파 표면경화처리한 경우 표면으로부터 10 μm 및 100 μm 에서의 경도값이 Sursulf 처리만 실시한 경우보다 50-80 Hv와 150-180 Hv 만큼 증가한 것으로 나타났으며 특히 표면으로부터 40-50 μm 깊이에서 최대 경도값이 나타났다. 이송속도가 더욱 느린 0.921 mm/sec에서 고주파 표면경화처리를 했을때, Sursulf 처리만 한 경우에 비해서 표면경화처리를 했을때, Sursulf 처리만 한 경우에 비해서 표면으로부터 10 μm 및 100 μm 에서 경도값이 각각 60-100 Hv와 250-300 Hv만큼 증가한 것으로 나타났으며 500 μm 깊이에서는 20 Hv의 경도상승효과가 나타났다.

한편, 일정 Sursulf 처리시간에서 고주파 표면경화처

리시 이송속도의 변화에 따른 경도특성곡선을 Fig. 10, 11 및 12에 나타내었다. 60분간 Sursulf 처리 후 고주파 표면경화처리했을 때 이송속도를 0.921, 1.45 및 1.93 mm/sec로 변화시키면 표면으로부터 100 μm 떨어진 거리에서의 경도값은 각각 520, 425 및 310 Hv이었으며, 이송속도에 따른 최대 경도차는 100-220 μm 범위에서 대략 200 Hv의 차가 나타났다. 또 120분간 Sursulf 처리한 시편의 경우 3가지 이송속도에 따른 표면으로부터의 100 μm 거리에서의 경도값은 각각 560, 470 및 380 Hv로 나타났고 이송속도에 따른 최대경도차이는 80-190 μm 거리에서 180 Hv이었다.

Sursulf 처리시간이 180분인 경우 3가지 이송속도에

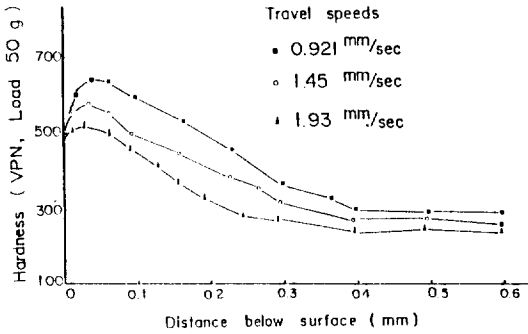


Fig. 12. Hardness profiles of mild steel Sursulf-treated for 3 hour at 565°C, and then induction-hardened at the output power of 7.5 kw for various traveling speeds.

따른 경도값은 표면으로부터 100 μm 떨어진 거리에서 각각 590, 495 및 450 Hv 이었으며, 이송속도에 따른 최대 경도값의 차는 100-250 μm 거리에서 대략 140 Hv 이었다. 또한 일정 처리시간에서 이송속도가 느릴수록 최대 경도값은 높아졌고, 처리시간의 증가에 따라 최대 경도값이 나타나는 위치는 표면으로부터 먼거리로 이동하였다. 이상의 관점에서 Sursulf 처리만 한 경우에 비해 고주파 표면경화처리를 한 경우의 경도값은 전반적으로 더 높았고, 또한 이송속도가 느릴수록, Sursulf 처리시간이 길수록 확산층에서의 경도값은 더 커졌다.

이상에서 설명한 바와같이 Sursulf 처리만 한 경우에 비해서 고주파 표면경화처리를 추가로 한 경우, 특히 이송속도가 느릴수록 확산층의 깊이 및 확산층의 경도값이 증가하는 요인은 다음의 사항으로 설명할 수 있다.

첫째, Sursulf 처리후 공냉을 실시한 경우는 $\text{Fe}_4(\text{C}, \text{N})$ 의 확산층내 석출로 인해 페라이트-퍼얼라이트 내의 C 및 N의 고용도가 낮다.

둘째, 고주파 표면경화처리시 확산층에 존재하는 $\text{Fe}_4(\text{C}, \text{N})$ 은 페라이트-퍼얼라이트 기지에 쉽게 고용된다.

셋째, Sursulf 처리시간이 증가하면 화합물층 및 확산층의 N 및 C 농도가 높아진다.

넷째, 고주파 표면경화처리시 이송속도가 느리지면 화합물층의 N 및 C 원자가 인접한 확산층으로 확산하여 페라이트-퍼얼라이트 기지의 C, N 농도를 높인다.

상술한 4가지 사항 중 첫째 및 두번째의 경우 Sursulf 처리 후 공냉한 상태와 이를 고주파 표면경화처

리했을 때, 냉각방법의 차에 의한 경도상승 및 확산층의 두께의 변화가 기대된다. Sursulf 처리 후 공냉하면 확산층에 $\text{Fe}_4(\text{C}, \text{N})$ 이 석출하여 기지조직의 N 및 C의 농도가 낮아지게 되고, 이를 고주파 표면경화처리하면 본 연구에서 실시한 3가지의 이송속도의 범주내에서 공냉시 석출된 $\text{Fe}_4(\text{C}, \text{N})$ 이 쉽게 고용되어 확산층의 경도 및 확산층의 두께가 증가를 가져온다.

세번째 및 네번째의 경우 Sursulf 처리시간이 증가하면 화합물층의 두께 및 확산층의 두께의 증가가 일어나고, 또한 각층에서 N 및 C의 농도가 높을 것으로 예상되며, 이를 고주파 표면경화처리할 때의 이송속도가 느릴수록 가열시간의 증가에 의해 화합물층에서 확산층으로 C 및 N의 확산이 기대되며, 따라서 지지조직의 고용도가 크게되어 특히 화합물층에서의 경도값이 크게 나타난다. 이같은 경도증가는 C 및 N이 마르텐사이트에 과포화될 때 격자의 심한 변형을 유도하고, 이에 의해 마르텐사이트의 경도가 증가하기 때문이다.

따라서, Sursulf 처리후 고주파 표면경화처리할 때 나타나는 경도값의 상승효과 및 고주파 표면경화처리 효과의 탁월성만으로 설명하는 것은 무의미한 것이기는 하지만 이송속도의 변화 및 가열효과에 의한 확산층의 경도상승 및 확산층의 두께증가에는 Sursulf 처리 후 고주파처리를 복합적으로 실시할 때 매우 효과적임을 알 수 있다.

3-3. 마모특성

Fig. 13은 565°C에서 Sursulf 처리 후 공냉한 시편에

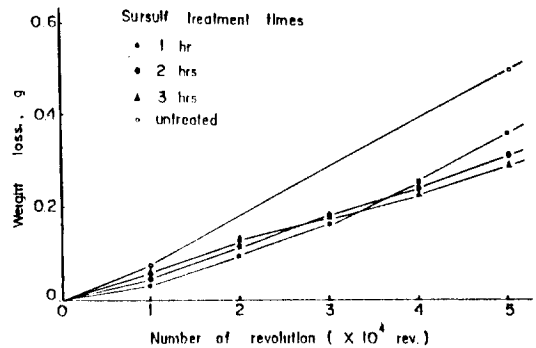


Fig. 13. Relation between weight loss and the number of revolution for mild steel specimens Sursulf-treated at 565°C for various treatment times, and then air-cooled.

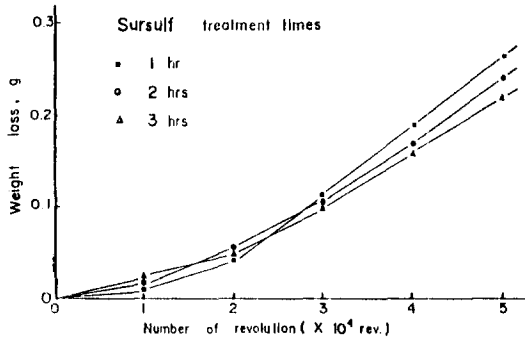


Fig. 14. Relation between weight loss and the number of revolution for mild steel specimens Sursulf-treated at 565°C for various treatment times, and then induction-hardened at traveling speed of 1.93 mm/sec. and the output power of 7.5 kw.

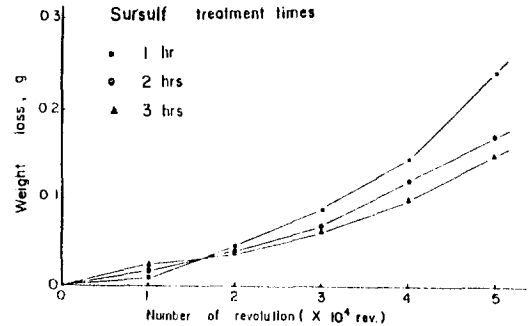


Fig. 15. Relation between weight loss and number of revolution for mild steel specimens Sursulf-treated at 565°C for various treatment times, and then induction-hardened at traveling speed of 1.45 mm/sec., and the output power of 7.5 kw.

대한 마모시험 결과이다. Sursulf 처리하지 않은 시편은 마모회전수의 증가에 따라 거의 직선적으로 증가하며 특히 회전수가 많을수록 Sursulf 처리한 시편과 비교할 때 마모량이 많아지는 것을 알 수 있다.

초기 마모거리(3×10^4 회전수)에서는 1시간 Sursulf 처리한 시편의 마모량이 3시간 Sursulf 처리한 시편보다 오히려 낮게 나타난다. 이것은 현미경조직에서 관찰한 바와같이 Sursulf 처리시간의 증가에 따라 다공이 존재하는 영역이 증가하기 시작한 것으로 생각된다. 회전수가 3×10^4 회를 넘을 경우에는 1시간 Sursulf 처리한 시편과 3시간 처리한 시편을 비교할 때 3시간 처리한 시편의 확산층의 경도가 낮기 때문에 마모가 가속된다고 여겨진다. Fig. 13에서 관찰한 바와같이 경화층(화합물층과 확산층)의 두께와 특히 최표면의 다공질 영역의 두께가 초기 마모에 영향을 주며, 화합물층의 두께에 따라 정상적인 마모거리가 달라지고, 또한 마모가속영역도 달라짐을 알 수 있다.

Fig. 14, 15 및 16은 일정 이송속도에서 Sursulf 처리시간에 따른 마모특성을 나타낸다. 1.93 mm/sec의 이송속도에서(Fig. 14) 1×10^4 회전수까지는 Sursulf 처리한 경우보다 마모량이 감소하지만 2×10^4 회전수 영역 이상에서 급격한 마모의 가속화가 일어난다. 또 3시간 Sursulf 처리한 경우는 1시간 처리한 경우에 비해 1×10^4 회전수까지는 마모량이 증가하다가 이 이상의 회전수에서는 마모율이 줄어들면서 2×10^4 회전수 이상에

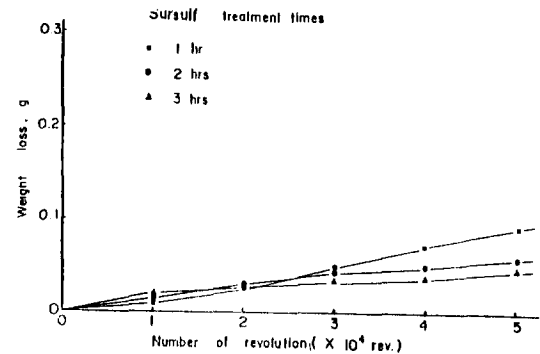


Fig. 16. Relation between weight loss and the number of revolution for mild steel specimens Sursulf-treated at 565°C for various treatment times, and then induction-hardened at traveling speed of 0.921 mm/sec. and the output power of 7.5 kw.

서는 마모량이 가장 낮음을 알 수 있다. 이와같은 사실은 Sursulf 처리한 한 경우와 비교할 때 고주파 표면경화처리시 최표면 영역에 산화물(Fe_3O_4)이 형성되어 윤활성이 좋아지고 또한 급가열에 의한 표면 다공도가 줄어들어 치밀화가 일어났기 때문이라 생각된다.

1.45 mm/sec의 이송속도에서(Fig. 15) 1×10^4 회전수까지는 1.93 mm/sec의 이송속도에서 고주파 표면경화 처리한 경우와 마모특성이 동일하지만 이 회전수 이상에서는 마모량이 전반적으로 적다. 특히 2시간 및 3시

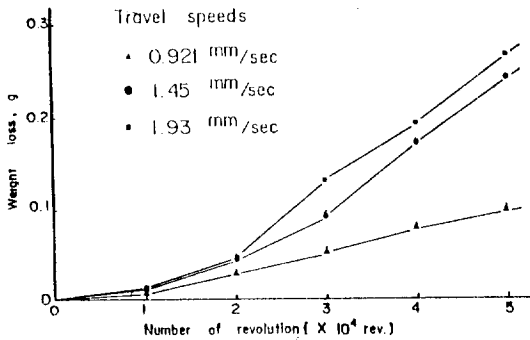


Fig. 17. Relation between weight loss and the number of revolution for mild steel specimens Sursulf-treated for 1 hour at 565°C and then induction-hardened at the output power of 7.5 kw for various traveling speeds.

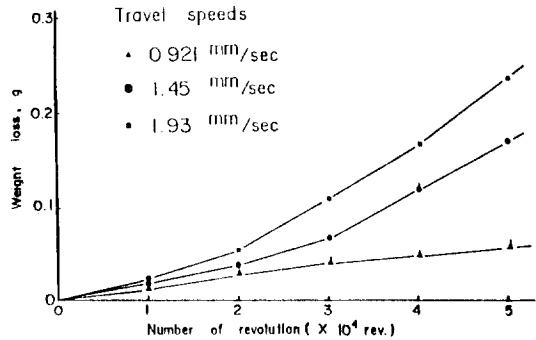


Fig. 18. Relation between weight loss and the number of revolution for mild steel specimens Sursulf-treated for 2 hours at 565°C and then induction-hardened at the output power of 7.5 kw for various traveling speeds.

간 Sursulf 처리한 시편의 마모량이 1 시간 처리한 경우와 비교할 때 마모거리가 증가할수록 적어짐을 알 수 있다.

0.92 mm/sec 의 이송속도로 고주파 표면경화처리한 시편의 (Fig. 16) 마모특성곡선은 앞 두 이송속도에서 처리한 시편과 다른 경향을 보여준다. 2×10⁴회전수에서 5×10⁴회전수까지는 2 시간 및 3 시간 Sursulf 처리한 경우에 대해 큰 마모량의 변화가 나타나지 않으며, 초기 마모거리에서의 마모특성은 앞의 두 이송속도와 동일하다. 이상에서 시편의 최대경도가 높을수록 마모의 가속화는 느리게 일어남을 알 수 있다.

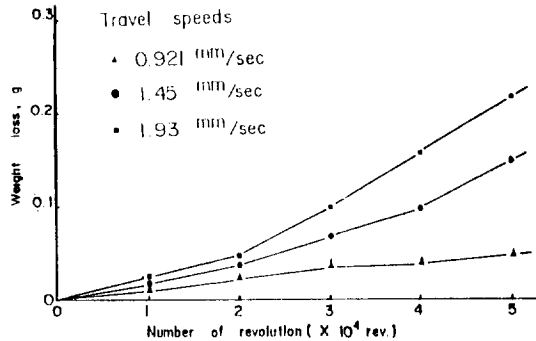


Fig. 19. Relation between weight loss and the number of revolution for mild steel specimens Sursulf-treated for 3 hour at 565°C and then induction-hardened at the output power of 7.5 kw for various traveling speeds.

Fig. 17, 18, 19 는 주어진 Sursulf 처리시간에서 고주파 표면경화처리할 때의 이송속도 변화에 따른 마모특성곡선을 보여준다. 1 시간 Sursulf 처리한 경우 (Fig. 17) 는 2×10⁴회전수 이상으로 시험할 때 1.45 및 1.93 mm/sec 의 이송속도의 경우가 0.92 mm/sec 에 비해 마모의 가속화는 둔화되는 양상을 보인다. 그러나 전반적인 이송속도의 범주내에서 구분되는 영역이 뚜렷이 나타나는데 그것은 대체로 초기 마모거리에서 마모량은 낮고 마모거리가 클수록 마모의 가속화가 점진적으로 나타난다는 점이다. 이같은 사실은 초기마모에 작용하는 인자가 표면의 다공성과 관계된 것으로 생각되고 1-3×10⁴회전수 영역에서는 화합물층에 의한 마모가 일어나고 그 이상의 회전수에서는 마모의 가속화가 확산층과 관계되는

것으로 추론할 수 있다. 그러므로 Sursulf 처리만 한 경우보다 Sursulf 처리 후 고주파 표면경화, 즉 복합열처리를 할 때 이송속도의 느림에 의한 가열시간의 증가에 의해 확산층의 경도값이 상승하여 내마모성이 개선되고, 또한 표면의 다공영역을 치밀화하여 마모특성을 향상시키는데 효과적인 열처리방법임을 알 수 있다.

4. 결 론

Sursulf 처리후 고주파 표면경화처리한 저탄소강의 경도 및 마모특성에 관한 실험결과로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. Sursulf 처리시 형성된 화합물층은 주로 $Fe_3(C, N)$ 으로 구성되어 있으며 고주파 표면경화에 의해 복합열처리된 화합물층의 최표면부에는 Fe_3O_4 산화물이 형성되었다.

2. Sursulf 처리시간의 증가에 따라 화합물층 및 확산층의 두께는 증가하였으며 확산층의 경도도 증가하였다.

3. Sursulf 처리 후 고주파 표면경화시 시편의 표면조각은 이송속도가 느릴수록 $Fe_3(C, N)$ 의 고용 및 $Fe_3(C, N)$ 층으로부터 C와 N의 확산에 의해 확산층의 Fe-C-N 마르텐사이트의 형성량이 증가하고, 경도값도 상승하였다.

4. Sursulf 처리 후 고주파 표면경화한 복합열처리의 경우 표면경도는 일정출력 및 이송속도하에서 Sursulf 처리시간이 길수록 증가하였으며, Sursulf 처리시간이 일정할 때 이송속도가 느릴수록 증가하였다.

5. Sursulf 처리 후 고주파 표면경화한 복합열처리에 마모량은 일정출력 및 이송속도하에서 Sursulf 처리시간이 길수록 감소하였으며, Sursulf 처리시간이 일정한 경우 이송속도가 느릴수록 감소하였다.

참고문헌

1. B.Grellet, "Manual for licence of the Sursulf P.", Exprohef Co, France, 1970.

2. E.Mitchell and C.Dawews : Metal Treatment and Drop Forging, 1964, vol.31, Jan. p.3.
3. H.C.F.Rozendaal, P.F.Colijn and E.J.Mittmeijer, "Morphology, Composition and Residual Stresses of Compound Layers of Nitrocarburized Iron and Steels", Delft Univ. of Technology, Netherland, 1984.
4. C.H.White and R.W.K.Honeycombe : J.I.S.I., 1961, vol.197, p.21.
5. R.F.Kern : Metal Progress, 1968, vol.94, no.5, p.60.
6. V.P.Lobozov and K.Z.Spebelyakovskii : Metal Science and Heat Treatment, 1978, vol.20, no.6, p.563.
7. K.Z.Spebelyakovskii : Metal Science and Heat Treatment, 1978, vol.21, no.7, p.909.
8. 佐川充考 : 熱處理, 1976, vol.16, no.3, p.177.
9. N.Stevens : Metals Handbook, 9th edition, 1981, vol.4, p.469.
10. S.A.Levy, K.E.Barnes and J.F.Libsh : Metal Progress, 1968, vol.94, no.7, p.108.
11. 高瀬孝夫, 嵯峨敏郎, 池永勝 : 熱處理, 1977, vol.17, no.3, p.163.
12. 池永勝, 嵯峨敏郎, 龜井清, 高瀬孝夫 : 熱處理, 1979, vol.19, no.1, p.8.
13. 百瀬治, 内田莊祐 : 熱處理, 1985, vol.25, no.1, p.89.