

레이저 빔을 이용한 공구강의 표면 경화

南基錫 · 李九鉉

한국기계연구원 재료공정연구부

Surface Hardening of Tool Steels Using Laser Beam

K. S. Nam, K. H. Lee

Division of Materials Processing,

Korea Institute of Machinery and Materials.

66 Sangnam-dong, Changwon, Kyungnam, Korea 640-010

ABSTRACT

This work was to investigate suitable tool steels for hardening using laser beam, and was studied on carbon tool steels and alloyed tool steels such as STC3 steel, STS3 steel, STD11 steel and SKH51 steel. The surface hardness of HV700-1000 and the hardening depth of 2-2.5mm were obtained on STC3 steel and STS3 steel, and HV800-1000 was obtained on SKH51 steel, but STD11 steel was not enough. Except STD11 steel, all steels used in this study can be hardened by laser quenching or laser rapid melting.

1. 서 론

레이저 빔을 이용한 표면 경화 기술은 80년대에 접어들어 안정된 성능을 가진 고효율 CO₂ 레이저의 출현으로 크게 진전되고 있다. 종래의 방법보다 처리 시간이 빠르고 독특한 조직을 얻을 수 있으며, 내부 열에 기인한 응력, 뒤틀림, 균열 등을 최소화할 수 있고 복잡한 부품의 가공이 가능하다. 또한 질량이 없는 에너지원으로 부품을 오염시키지 않으며, 투명한 물체를 통해 전달됨으로서 진공관 내부 등 밀폐되어 있거나 접근이 곤란한 부분도 가공이 가능하다는 등 수 많은 장점을 가지고 있다.⁽¹⁾

그 중 레이저 켈칭은 펄라이트 가단주철의 스티어링 기어하우징, 디젤 엔진의 실린더 라이너, 피스톤 링, 밸브 시트 및 가이드를 비롯하여 스프라인 형태

의 모-터축, 주차 브레이크 라쳇, 클러치 판 리벳은 물론 전단기 날의 경화에 광범위하게 이용되고 있다. 또한 SKH4, STD11 및 STS440 등의 고탄소 합금강을 표면 경화시키기 위한 급냉 응고에 관한 연구가 이루어지고 있다.⁽²⁻⁵⁾

본 연구에서는 탄소 공구강, 합금 공구강의 레이저 표면 경화 방법을 도출하기 위해, 켈칭 및 급속 용융 응고시켜 경화 거동 및 마모 특성을 조사하였다.

2. 실험 방법

본 연구에서 사용된 공구강은 STC3, STS3, STD11 및 SKH51이었으며, 레이저 빔의 흡수능을 증가시키기 위해 표면 조도 $R_p=8.314$, $R_v=11.151$ 그리고 $R_t=19.466$ 로 샌드브라스팅하였다. 그 다음

흑색 페인트로 도포하였다. 레이저 빔의 조사는 한국 기계연구원이 보유하고 있는 최대 출력 4.5kW, 다중 모드, 8×8mm 크기의 Rofin Sinar사의 고풍력 CO₂ 레이저를 사용하였다. 레이저 빔의 에너지 밀도는 켈칭 경화의 경우 2777W/cm², 그리고 급속 용융 용고의 경우 5468W/cm²이었으며, 빔의 주사 속도는 500-900mm/min로 하였다.

표면 경화층 단면을 연마 및 폴리싱한 다음 비커스 경도기로 처리 조건에 따른 경도 변화를 측정하였다. 급속 현미경으로 표면 경화층의 미세 조직을 관찰하였으며, X-선 회절시험기로 경화층의 상을 분석하였다. 독일 GEORG WAZAU사에서 제작된 Pin on Disk 형식의 마모 시험기를 이용하여 마모 특성을 조사하였다. 마모 시험 조건은 STC3 및 STS3 강재의 경우 하중 200N, 120rpm으로 300분 동안 36000회, 그리고 SKH51강재의 경우 하중 200N, 250rpm으로 80분 동안 20000회 회전시켜 무게 감소량을 측정하여 마모량을 결정하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

Fig. 1은 켈칭 경화된 STC3, STS3, STD11 및 SKH51 강재의 주사 속도별 경화 변화를 보인 것이다. 그 경도값은 HV700-1000 범위이며, STC3가 STS3보다 다소 높은 경도값을 갖는다. 한편 STD11의 경우, 표면쪽에서 HV550-700의 낮은 경도값을 보인 다음 내부로 들어갈수록 경도가 증가한 후 다시 점차 낮아지는 현상을 보인다. 이와 달리 SKH51은 표면쪽의 경도값이 HV800-1000을 나타낸 다음 모든 주사 속도에서 점차 감소하는 경향을 보이고 있다. 그리고 STC3, STS3의 탄소 공구강이 합금 공구강 STD11, SKH51보다 경도가 높고 경화 깊이도 깊게 나타났으며, 그 원인은 다음과 같이 설명할 수 있다.

레이저 켈칭시 가열 특성상 유지 시간이 극히 짧아 따라서 탄화물을 고용시키기 위한 충분한 시간을 갖지 못한다. 합금 공구강의 경우, 고온에서 안정한 탄화물들을 다량 함유함으로써 고용 탄소 농도가 크지

않으며, 따라서 충분한 경도를 얻기 어렵다.⁽⁶⁻⁷⁾ 또한 STD11과 같이 마르텐사이트 변태점을 낮출 수 있는 합금 원소 즉, 탄소를 다량 함유하고 있는 경우 완전히 고용되면 변태점이 낮아짐으로서 잔류오스테나이트량을 크게 증가시켜 경도를 저하시키며, SKH51의 경우 고용화 온도가 1200-1250℃로 높아 충분한 경화깊이를 얻기 어려울 것으로 사료된다.

Fig. 2는 켈칭경화된 STC3 및 STS3의 미세조직을 보인 것으로, 판상의 마르텐사이트 및 잔류오스테나이트로 구성되어 있음을 볼 수 있으며, STC3보다 STS3가 조직이 미세하다. 즉 탄소 공구강의 경우 충분한 고용 탄소 농도를 얻을 수 있으며, 따라서 레이저 켈칭은 합금강보다는 탄소의 고용이 용이한 탄소강에 적합함을 알 수 있다.⁽²⁾

Fig. 3은 강제별 주사 속도 변화에 따른 용융 용고층의 경도를 나타낸 것으로 STC3, STS3의 경우 HV800의 높은 표면 경도를 나타냄과 동시에 주사 속도 500mm/min에서 2mm의 경화 깊이를 얻을 수 있다. 한편 STD11의 경우 모든 주사 속도에서 표면 경도가 HV400 정도로 매우 낮았으며, 내부로 들어갈수록 다소 증가한 다음 감소하였다. 그 원인은 합금 원소 즉 C의 고용도가 커짐으로써 마르텐사이트 변태점이 매우 낮아져 오스테나이트 상태로 존재함에 기인하는 것으로 생각된다. 그러나 SKH51의 경우 약 HV800의 경도값을 나타내고 켈칭한 경우보다 깊은 경화 깊이를 나타내었다.

Fig. 4(a),(b)는 STC3, STS3 용융층의 미세 조직을 나타낸 것으로, 조대한 판상 마르텐사이트와 소량의 잔류오스테나이트로 구성되어 있음을 볼 수 있으며, STC3와 STS3는 큰 차이가 없다. 또한 (c), (d)는 STD11, SKH51의 용고 조직으로 셀 및 수지상정의 혼합 조직으로 되어 있다. 한편 SKH51의 경우 900mm/min의 주사 속도에서 SKH51의 켈칭 조직과는 다른 마르텐사이트 조직이 얻어졌으며, 1차 탄화물은 전혀 찾아 볼 수 없었다.

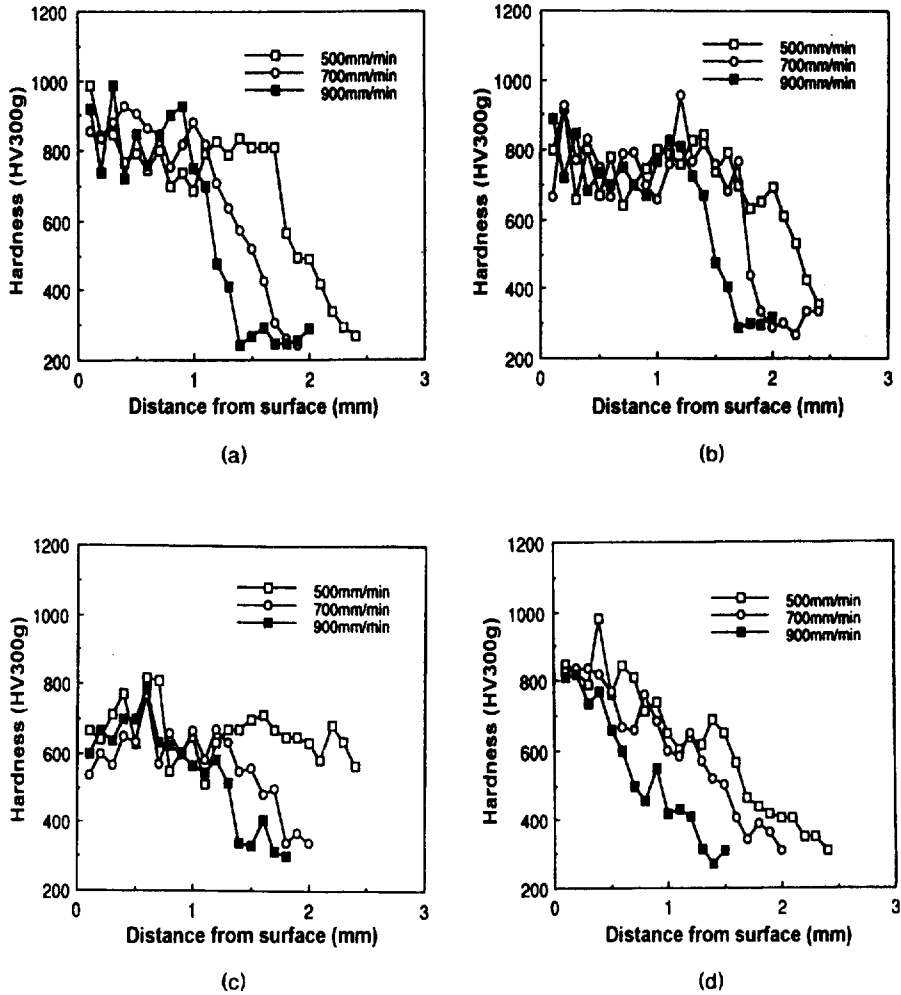


Fig. 1 Hardness distributions of the hardened layers according to the scanning speed, which were quenched after rapid heating. (a) STC3 steel, (b) STS3 steel, (c) STD11 steel, (d) SKH51 steel.

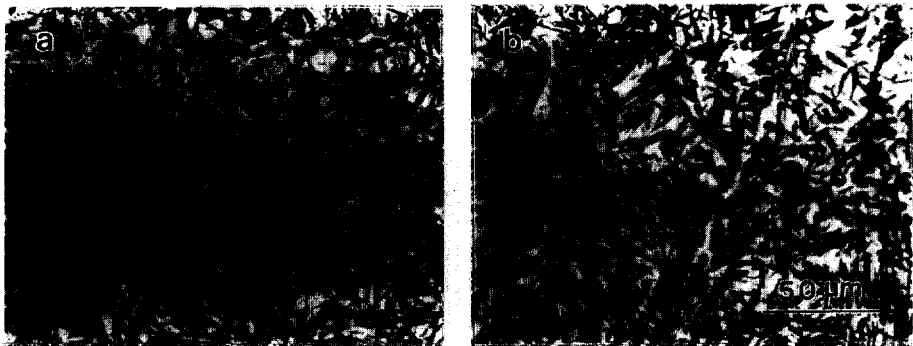
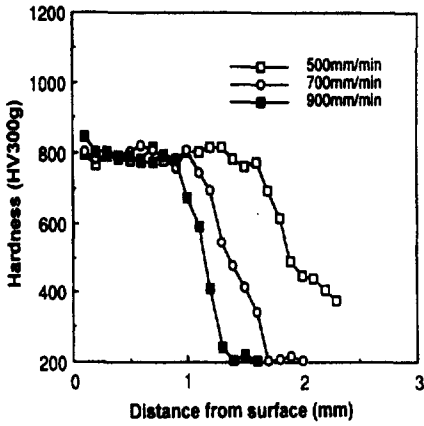
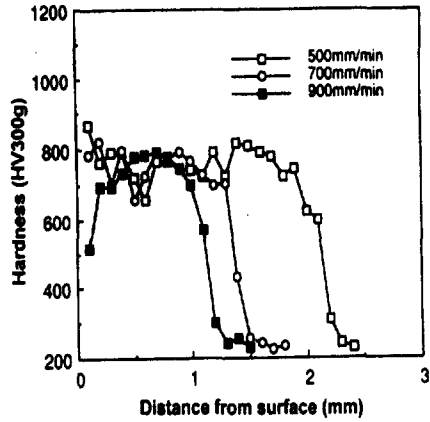


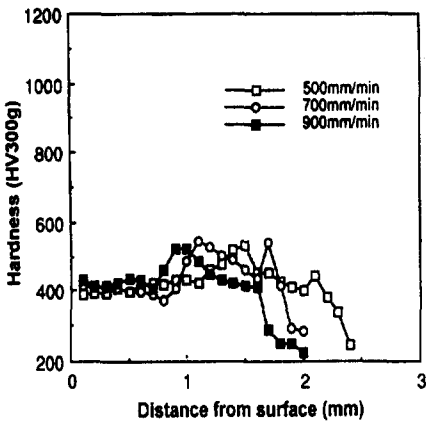
Fig. 2 Microstructures of the hardened layers which were quenched after rapid heating with scanning speed of 500mm/min. (a) STC3 steel, (b) STS3 steel.



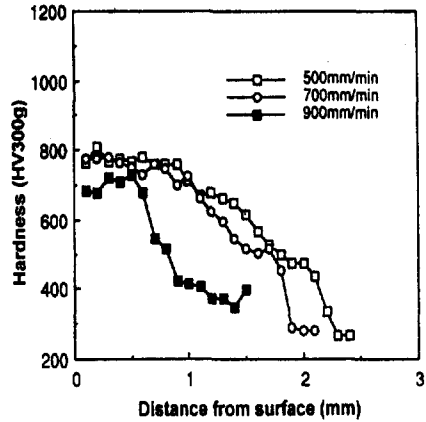
(a)



(b)



(c)



(d)

Fig. 3 Hardness distributions of the hardened layers according to the scanning speed, which were solidified after rapid melting. (a) STC3 steel, (b) STS3 steel, (c) STD11 steel, (d) SKH51 steel.

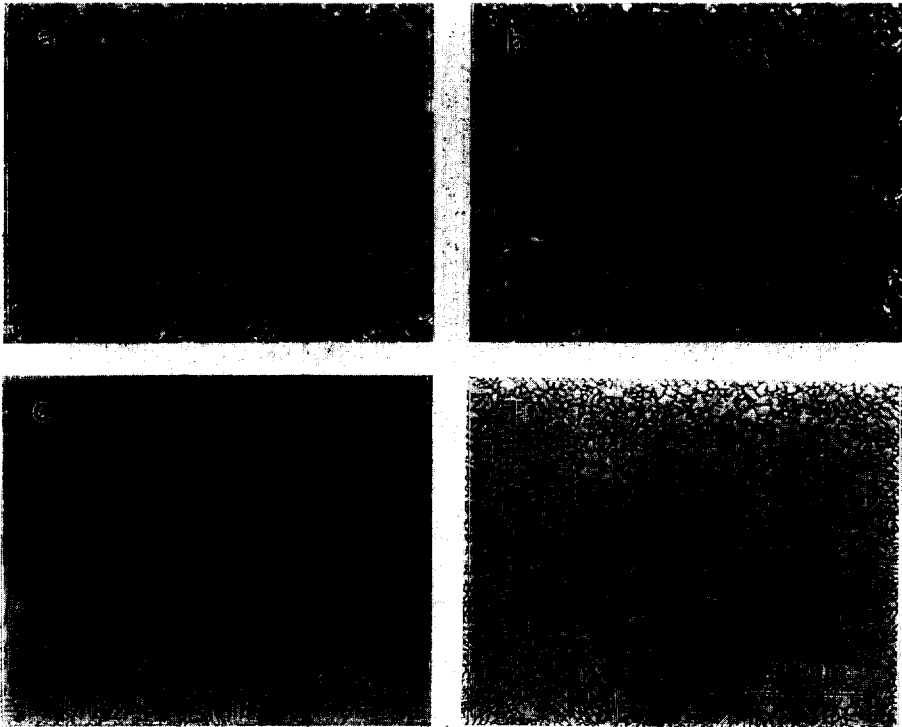


Fig. 4 Microstructures of the hardened layers which were solidified after rapid melting with scanning speed of 500mm/min. (a) STC3 steel, (b) STS3 steel, (c) STD11 steel, (d) SKH51 steel.

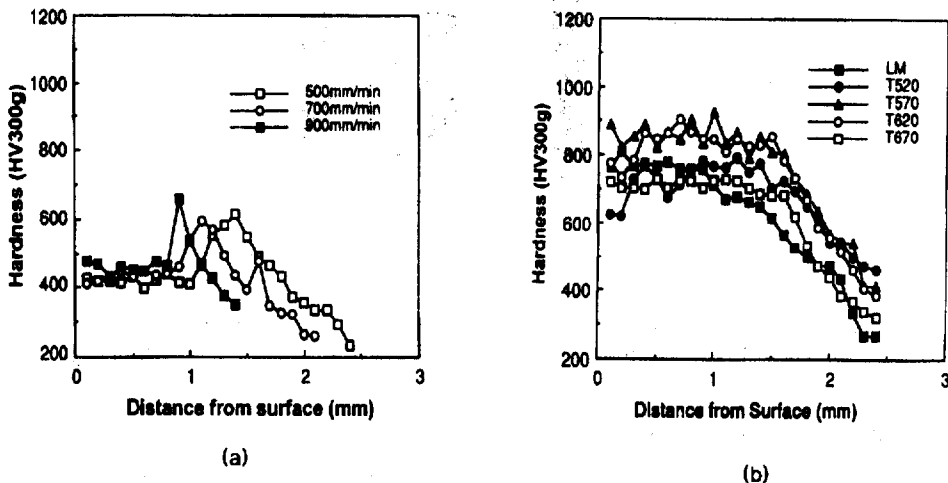


Fig. 5 Hardness distribution of the hardened layers which were solidified after rapid melting and tempered. (a) STD11 steel was tempered for 1hr at 570°C, (b) SKH51 steel was tempered for 1hr at various temperatures.

Fig. 5(a) 및 (b)는 급속 용융 용고된 STD11 및 SKH51의 템퍼링 경도를 나타낸것으로, STD11의 경우, 570°C에서 표면부는 경도가 증가하지 않았으

나 내부에서는 경도가 향상되었다. 그리고 SKH51은 템퍼링 온도가 증가함에 따라 증가하다가 570°C 및 620°C에서 최고값을 나타낸 다음 감소하였다.

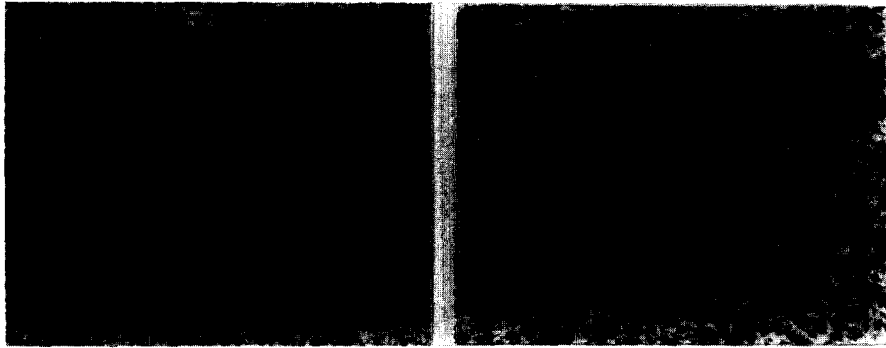


Fig. 6 Microstructures of the hardened layers of SKH51 steel which were solidified after rapid melting and were tempered for 1hr at (a) 520°C, (b) 670°C.

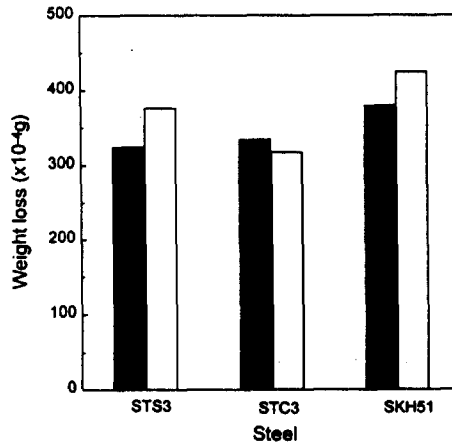


Fig. 7 Comparison of the weight loss caused by wear according hardening methods. Solid bars show hardening by laser beam and slashed bars show hardening by quenching and tempering.

Fig. 6은 SKH51의 템퍼링 온도별 조직을 보인 것으로 X-선 분석결과 α 상으로 나타났으며, 따라서 마르텐사이트로 추정된다.

Fig. 7은 STC3 및 STS3을 HV600, 그리고 SKH51을 HV900의 동일 경도로 하여, 처리 방법에 따른 마모량을 나타낸 것으로 STC3의 경우는, 레이저 켈칭한 것이, 그리고 STS3는 켈칭 경화된 것이 마

모량이 적음을 볼 수 있다. 한편 SKH51의 경우 켈칭 템퍼링한 것보다 급속 용융 용고한 다음 템퍼링 처리한 것이 마모량이 적다. 즉 고주파 경화된 STS3의 경우만 마모 저항이 큼을 알 수 있다.

Fig. 8은 강재별 경화 방법에 따른 wear scar을 나타낸 것이며, 켈칭 경화된 STS3강재의 경우 넓은 폭의 심한 요부와 돌출부로 이루어져 있음을 볼 수 있

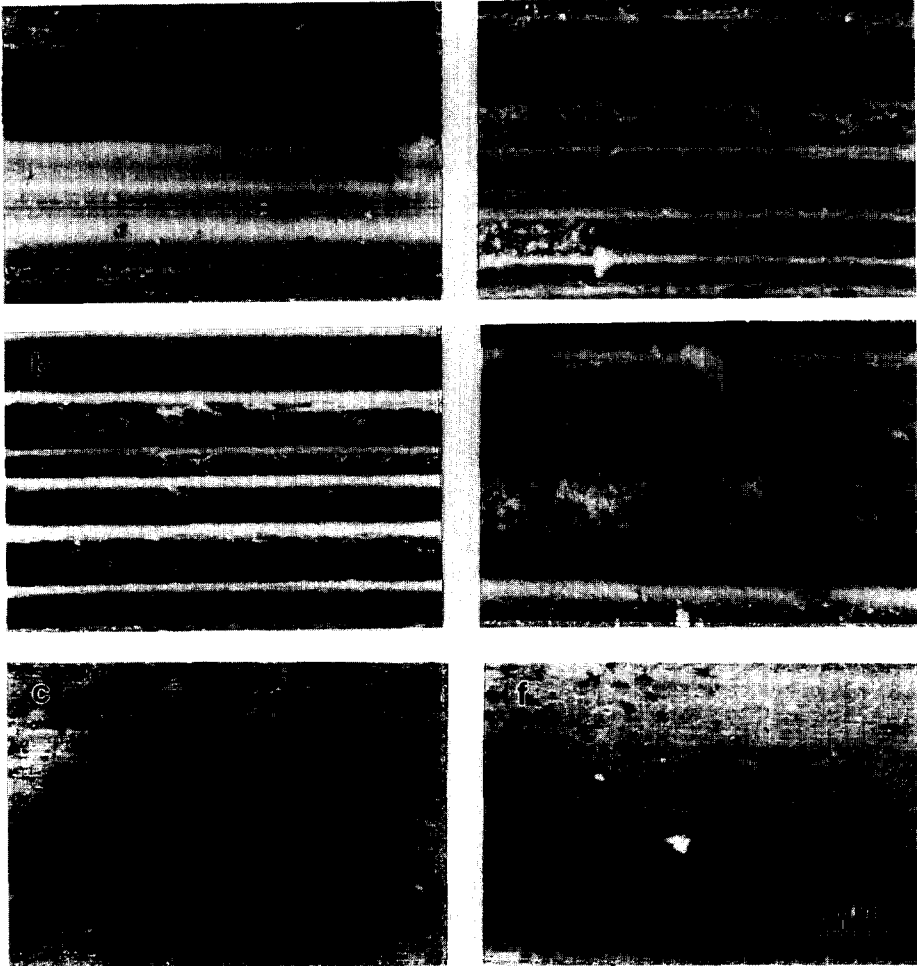


Fig. 8 Wear scars of (a), (b) and (c) conventional heat treating, and (d), (e) and (f) laser hardening.
 Fig. (a) and (d) show STC3 steel. Fig. (b) and (e) show STS3 steel. Fig. (c) and (f) show SKH51 steel.

다. 그러나 켄칭 및 레이저 경화된 STC3강재는 평탄하였다. 또한 SKH51의 경우 레이저 용융 응고 경화된 것은 매우 평탄한 wear scar을 보이는 반면, 켄칭 템퍼링한 것은 회전 방향으로 굽힌 자국과 함께 1차 탄화물로 추정되는 미세한 입자들이 존재하거나 그들이 빠져나간 흔적을 볼 수 있다.

4. 결 론

레이저 빔을 이용하여 STC3, STS3, STD11 및 SKH51 공구강을 켄칭한 결과, STC3 및 STS3은

HV700-1000의 경도와 2-2.5mm의 경화 깊이를 얻을 수 있었다. 그리고 STD11은 HV550-700의 낮은 경도값을 보였으며, SKH51은 HV800-1000의 경도값을 나타내었으나 경화 깊이가 낮았다. 또한 급속 용융 경화 처리하여 STC3 및 STS3는 HV800의 경도값과 2.5mm의 경화 깊이를 얻을 수 있었다. 그러나 STD11은 켄칭한 경우보다 훨씬 낮은 HV400의 경도를 얻은 반면, SKH51은 HV800의 경도값을 얻고 템퍼링 온도 570 및 620℃에서 HV900-950의 경도값과 500mm/min의 주사 속도에서 2mm 이상의 경화 깊이를 얻을 수 있었다. 처리 조건에 따른 마모 특성

을 조사한 결과 레이저 빔을 이용하여 표면 경화한 공구강이 동등 이상의 마모 저항 특성을 나타내었으며, 본 연구에 사용된 공구강중 STD11을 제외한 강재의 경우, 레이저 빔을 이용한 표면 경화가 가능하다.

참고문헌

1. P. R. Strutt, Materials Science and Engineering, 36 (1987) 217.
2. Fred. D. Saeman, J. of Heat Treating, Aug. (1975) 67.
3. J. Bach, EELAT, 90 (1990) 265.
4. Lief Ahman, Met. Trans. 15A(1984) 1829.
5. Narendra B., J. of Materials Science, 22 (1987) 403.
6. P. R. Strutt, Met. Trans. 10A (1979) 881.
7. Michael Bass, Laser Materials Processing, (1983) 237.