

공구강에 형성된 복합(B+C+N) 확산층의 특성 연구

이종훈* · 유위도** · 임영목*** · 권기현****

Characterization of the Complex(B+C+N) Diffusion Layers Formed on Tool Steels

Jong-Hoon Lee · Wee-Do Yoo** · Young-Mok Rhyim*** · Gi-Hyoun Gwon*****

ABSTRACT

In this study, the wear resistance of the complex powder diffusion treated KS STD 61 has been investigated. KS STD 61 tool steel was pretreated in quenching and tempering processes to obtain the tempered martensitic microstructure. The samples were packed with complex powder in steel pot($\Phi 90 \times 60$ mm) and heated in a box furnace. the complex powder diffusion treatment are carried out at 540°C, 520°C, 500°C for 40min, 1.5hr and 2.5hr. The microstructure, microhardness, wear resistance, and coating layer thickness of the complex powder diffusion treated samples were investigation. The weight loss of as heat treated sample was 0.4mg and that of the complex powder treated at 540°C for 2.5hr was 0.17mg. These result means that the wear resistance of tool steels can be easily improved by the powder diffusion process at conventional tempering treatment temperature.

* 표면연구부 책임연구원

** 표면 연구부 재료특성평가그룹 주임기술기원

*** 표면연구부 재료특성평가그룹 선임연구원

**** 표면연구부 재료특성평가그룹 위촉연구원

1. 서 론

금형 및 공구강의 내마모성 향상을 위한 표면 경화 기술로 현재 많은 종류의 표면 경화법이 소개되고 있으나 대부분이 고가의 첨단 설비를 필요로 하는 것으로 중소기업에서 선택 도입하기에는 투자 위험부담이 매우 높다. 그러나 선진국에서는 기존의 설비를 이용한 확산 코팅 방법이 많이 소개되고 있고 일부에서는 현장 활용이 이루어지고 있다. 금형 및 공구강의 내마모 향상은 현재 수요 업체로부터 계속 요구를 받고 있다. 그러나 이 요구에 부응하기 위해서는 고가의 첨단 코팅 시설을 도입하여야 하는데 국내 중소기업의 현실은 거리가 먼 실정이다. 그러나 선진국에서는 고가의 첨단 코팅 시설을 도입하지 않고 다소 생산성이나 노동력 면에서 불리한 점이 있으나 다품종 소량 생산의 경우 기존의 열처리로를 이용하여 표면 확산 코팅기술을 응용시켜 많은 효과를 보고 있다.

이에 본 논문에서는 이러한 표면 확산 코팅 기술중에 하나인 고체분말을 이용한 확산제 합성 기술을 적용하여 기존 템퍼링온도에서 표면처리를 실시하고 내마모특성에 미치는 영향을 고찰하였다.

2. 실험 방법

2.1 표면경화 대상 소재 및 시험편 제작

표면 경화 대상 소재는 열간 금형재료로 널리 쓰이고 있는 KS STD 61종을 사용하였다. 표면 경화 대상 소재의 화학조성과 미세조직은 표 1, 그림 1과 같다. 그림 2와 그림 3은 미세조직관찰 시편과 마모시편을 나타내고 있다.

표 1. 시험대상 강종 화학성분(wt.%)

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V
KS	0.32	0.80					1.00	0.80
STD	-	-	≤0.50	≤0.030	≤0.030	4.5	-	-
61	0.42	1.20				1.50	1.20	

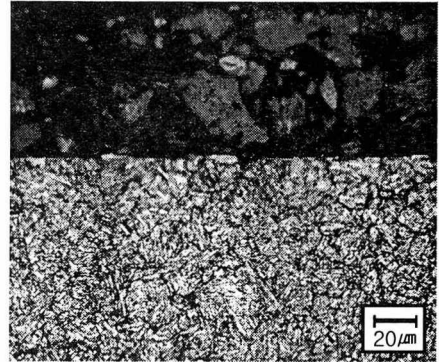


그림 1 KS STD 61종의 미세조직

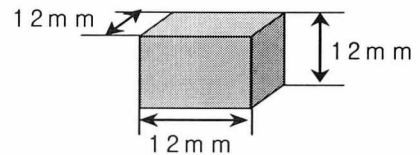


그림 2 미세조직, 경도시험편

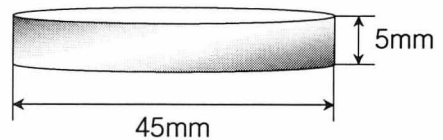


그림 3 마모 시험편

2.2 복합 확산 분말

복합 분말 확산에 사용된 분말의 성분은 Boron carbide, Boron Nitride, Fe scale, SiO₂, Al₂O₃, Activator이다.

2.3 표면 확산 코팅 열처리

KS STD 61종은 내마모성 향상을 위한 표면 경화 처리 전에 1025℃에서 1.5시간 유지 후 오일 퀘칭시키고, 615℃에서 2시간 동안 유지 후 공냉시키는 기본 열처리를 실시 하였다. 표면 경화 처리를 위한 시편들은 1 μ m까지 연마하여 표면 거칠기를 일정하게 유지한 후 분말 처리를 실시 하였다. 표면 확산 코팅 열처리는 steel pot(ϕ 90x60mm)의 바닥에 분말을 20mm정도 충전 시킨 후 그 위에 시편을 넣고 다시 25mm정도 분말을 넣은 후(그림 4) 500℃, 520℃, 540℃에서 40분, 1.5시간, 2.5시간, 3.5시간 유지 후 공냉시키는 방법으로 확산처리를 실시하였다.

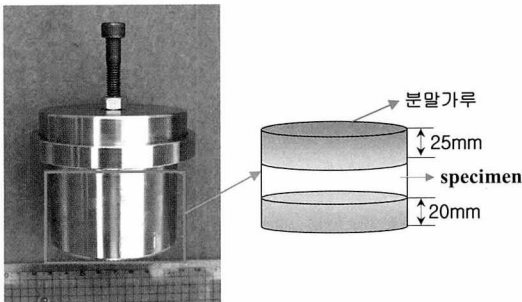


그림. 4 steel pot와 분말처리한 모식도

2.4 미세조직관찰

표면 처리된 시편의 단면은 sand paper #220, #600, #1200, 3 μ m, 1 μ m로 연마한 후 Nital 3%용액으로 5초간 부식 후 광학현미경과 SEM (JEOL사의JSM-5800)을 사용하여 미세조직을 관찰하였다.

2.5 표면경도 측정

마이크로 비커스경도기(Matsuzawa사의 MXT

70)를 이용하여 시험하중 50gf에서 각 표면 확산 코팅 열처리된 시편과 코팅 열처리 되지 않은 시편의 표면 경도를 측정하였다.

2.6 표면 코팅층 상분석

표면층에 형성되어진 코팅층의 상분석은 XRD (RIGAKU사의 D/Max 2200)를 이용하였으며 분석 조건은 전압 36KV, 전류 26mA에서 수행하였다.

Electron Probe Micro-Analysis (EPMA) 와 Glow Discharge Optical Emission Spectrometer (GDOS)를 이용하여 코팅층과 확산층의 원소를 분석하였다.

2.7 내마모 시험

각 시편의 내 마모 특성을 알아 보기 위해 상온 마모 시험을 실시 하였다. 마모 시험은 Ball-on-disk 타입의 마모시험기(그림 5)를 이용하여 시험을 실시하였다. 마모시험은 9.5 ϕ Al₂O₃볼을 상대재로 사용하였으며, 마모 시험 조건은 0.5kgf의 하중을 부과하여 200rpm의 회전 속도로 총거리 2000m까지 마모시험을 실시하였다. 마모 특성분석은 마모시험으로 형성된 마모부피 뿐만 아니라 마모 전후의 무게변화, 마모 트랙의 형태 등을 종합적으로 분석하여 마모흔적의 크기 및 형태와 마모 거동을 분석하였다. 따라서 마모시험 후 각 시편에 형성된 마모 트랙의 형상을 표면 조도 시험기를 이용하여 측정하였으며, 이를 이용하여 마모 깊이 및 마모된 트랙의 넓이를 측정한 후 Al₂O₃볼에 의해 마모된 부피를 계산하였다. 또한 마모 전후의 무게변화를 측정하였고, 마모 후의 마모흔적을 관찰하여 각 시편의 마모특성을 비교하였다.

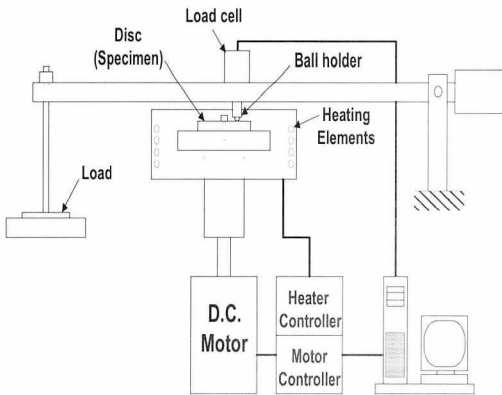
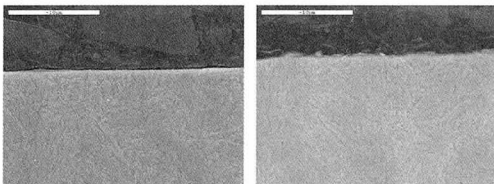


그림. 5 Ball-on-disk 마모시험기의 계략도

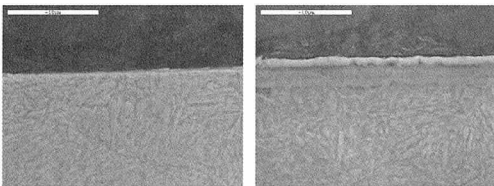
3. 결과 및 고찰

3.1 미세조직

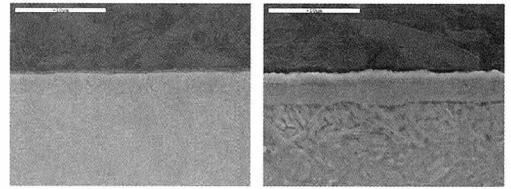
그림. 6은 540°C에서 표면 경화 처리 후 SEM으로 관찰한 미세조직으로 유지시간이 40분일때는 거의 코팅층이 형성되지 않았으나, 유지시간 1.5시간부터 2~3 μ m의 코팅층이 형성되었으며, 유지시간이 2.5시간, 3.5시간로 길어짐에 따라서 코팅층도 약4~5 μ m로 증가



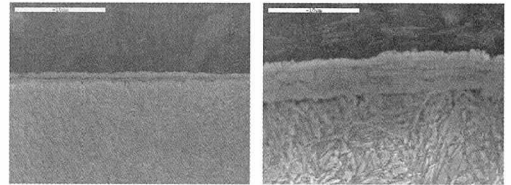
분말 미처리 분말 처리
(a) 40분 유지한 미세조직



분말 미처리 분말 처리
(b) 1.5시간 유지한 미세조직



분말 미처리 분말 처리
(c) 2.5시간 유지한 미세조직



분말 미처리 분말 처리
(d) 3.5시간 유지한 미세조직

그림. 6 분말 처리온도 540°C의 SEM 미세조직

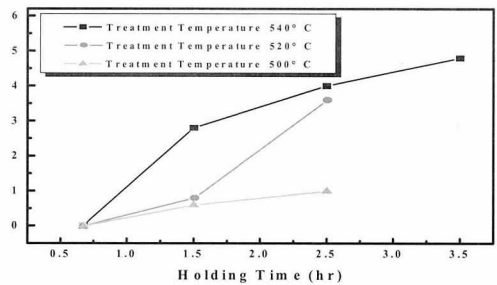


그림. 7 유지시간에 따른 코팅두께

되었다. 각 분말처리온도 500°C, 520°C, 540°C에서 유지시간 40분인 시편의 표면에 코팅층들이 형성되지 않는 것으로 보아 분말의 성분들이 시료 표면으로 확산이 용이하지 않다는 것을 알 수 있다. 그림 7은 각 분말처리온도에서 유지시간에 따른 표면 코팅층두께를 나타내고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 각 온도에서 유지시간이 길어짐에 따라서 코팅층이 두꺼워 지고, 또한 분말처리 온도가 높아짐에 따라서 코팅층이 두꺼워 지는 것으로 보

아 분말 성분의 확산은 분말처리 온도와 유지 시간에 영향을 받고 있음을 알 수 있다.

3.2 표면 경도

각 분말처리 온도에서의 표면경도는 그림 8에서 보는 바와 같이 각 분말 처리온도에서 분말처리 시편이 분말 미처리 시편보다 높은 것을 알 수 있고, 분말처리온도 540°C, 유지시간 40분에서는 분말 미처리 시편과 거의 비슷하게 나타나고 있으나, 유지시간이 1.5시간 일 때는 HV 690으로 분말 미처리 시편 HV 505보다 HV 190정도 높게 나타나고 있다. 또 유지시간이 2.5시간, 3.5시간에서는 HV 720, HV 860으로 점차 증가 되고있는 것을 알 수 있다. 이는 시편 표면에 분말의 확산에 의해 생긴 코팅층의 두께가 증가했기 때문으로 사료된다.

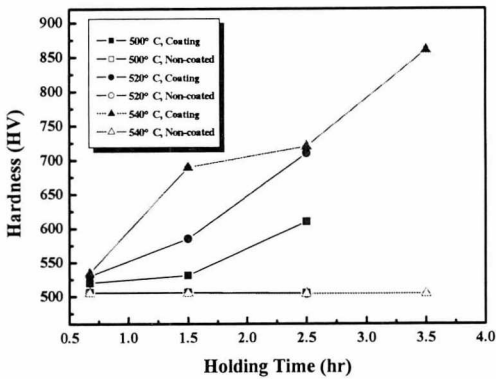


그림. 8 유지시간에 따른 표면 경도

3.3 표면 코팅층 상분석

그림 9은 분말 처리온도 540°C에서 2시간동안 분말 처리한 시편과 분말 미처리 시편의 X-선 회절시험 결과를 나타내고 있다. 분말

미처리 시편에서는 matrix상인 Fe피크만이 나타나고 있고, 분말처리 시편의 표면층에서는 N의 확산으로 생긴 질화물층인 Fe₃N, Fe₄N과 B의 확산으로 생긴 붕화물층인 Fe₂B가 생성되었다. 그리고, 표면에 산화층인 Fe₃O₄도 생성되어있는 것을 확인 할 수 있는데, 이는 steel pot 안에 존재하는 산소들이 분말내부로 확산해 들어왔기 때문에 표면층에 생성된 것으로 사료된다. 코팅층안에 존재하는 원소들은 정확하게 규명하기 위하여 EPMA 분석을 실시하였으며 그림 10은 540°C에서 2.5시간동안 분말 처리한 시편의 코팅층의 EPMA line분석한 결과이다. 시편 표면층에 약간의 Boron과 Nitrogen, Carbon이 존재하

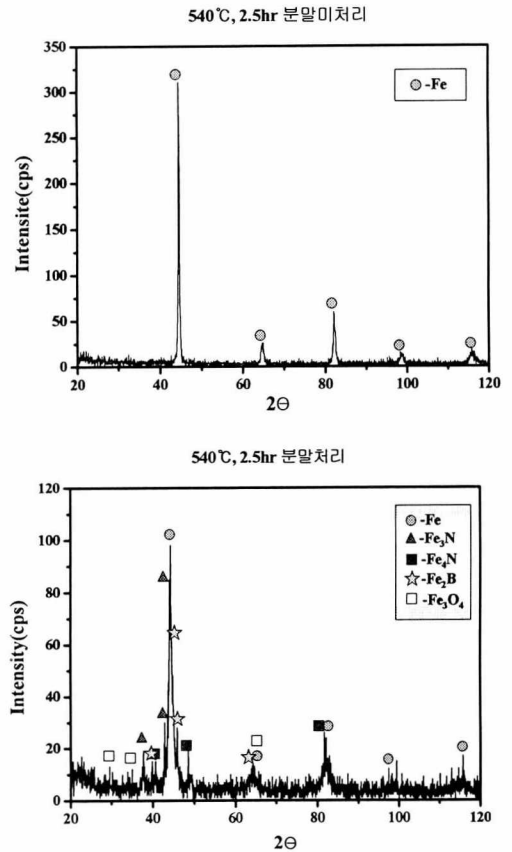


그림. 9 X-ray 회절 패턴

는 것을 확인 할 수 있다. 분말처리된 시편의 표면 코팅층과 확산층은 GDOS로도 분석 하였는데 그림11은 그 profiles을 나타내고 있다. 표면층에 분말처리온도 540°C에서 N(Nitrogen)의 농도는 3.9wt%가 나타나고 있고, 약간의 B(Boron)이 나타나고 있으며, 크롬(Cr)의 경우 표면층에서 농도가 낮다가 내부로 들어가면서 점차 증가하는 양상을 보이고 있다. 이는 STD 61종의 기본 열처리의 퀴칭, 템퍼링 과정에서 시편 표면의 Cr농도가 감소하기 때문으로 사료된다.

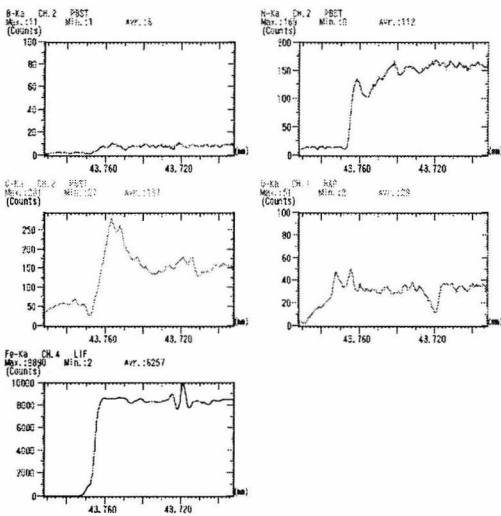
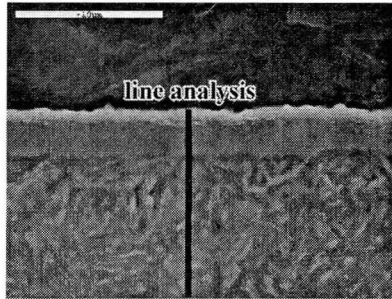
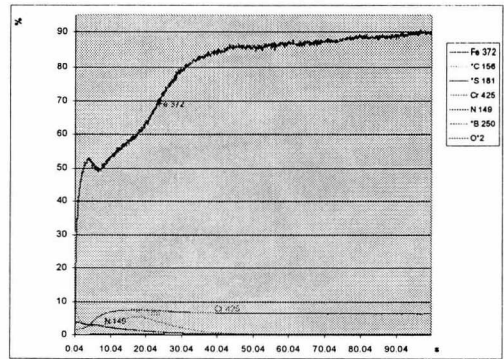
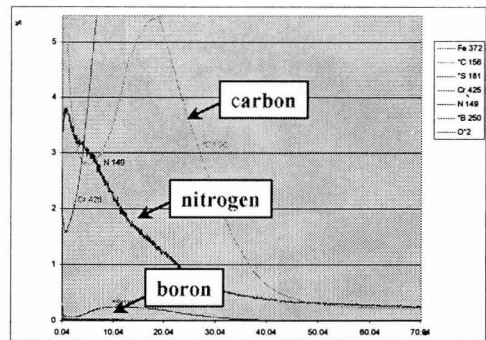


그림. 10 분말처리온도 540°C, 유지시간 2.5hr의 EPMA line analysis



(a)



(b)

그림. 11 분말처리온도 540°C, 유지시간 2.5hr의 GDOS profiles

3.4 내 마모 시험

마모 시험은 500°C, 540°C에서 40분, 1.5시간, 2.5시간 분말처리 한 시편과 분말미처리 시편에 대해 실시하였다. 마모시험 후 각 시편의 마모 부피는 그림 12에서 보는 바와 같다. 540°C에서 복합 확산 코팅된 마모 시편의 마모량은 유지시간 40분의 경우 0.35mg, 유지시간 1.5시간의 경우 0.20mg, 유지시간 2.5시간인 경우 0.17mg으로 나타나고 있고 분말미처리 시편의 경우는 각 조건에서 약0.40mg으로 거의 비슷하게 나타나고 있다. 그림 13

은 마모 시험 후 마모트랙의 양상을 보여주고 있는데 분말 처리된 시편의 경우는 마모트랙의 폭과 깊이가 분말미처리 시편보다 더 작게 나타나고 있음을 알 수 있다. 이는 분말처리에 의해 내마모성이 향상되었음을 의미하며, 분말처리온도가 높고 유지시간이 길수록 내마모성 향상 효과가 크게 나타났다.

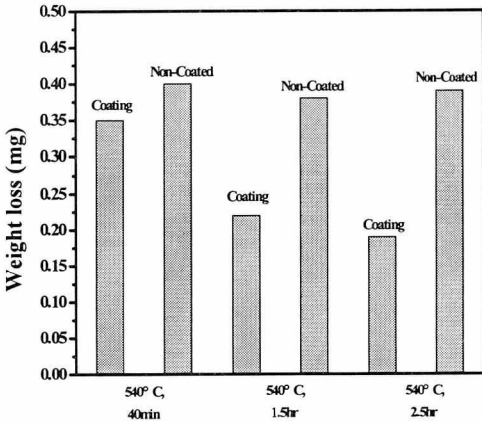


그림. 12 각 분말처리온도에서의 마모부피

4. 결 론

기업(열처리전문업체)이 당면한 문제 중의 하나인 내구성 향상을 위한 표면경화기술은 꾸준히 그 수요가 증대되어 왔다. 특히 그 중에서도 대형품인 경우 소형품과 같이 전체를 처리할 경우 비용이나 시간낭비 그리고 불필요한 부분까지 경화되는 불리한 점을 안고 있다. 그런 면에서 분말을 이용한 부분 도포법에 의한 표면 경화 기술은 상기와 같은 단점을 보완 할 수 있는 특징을 갖고 있고 그중의 에도 기존의 설비를 그대로 이용할 수 있는 장점도 지니고 있다.

위의 연구 결과를 토대로 다음과 같은 결론을 얻었다.

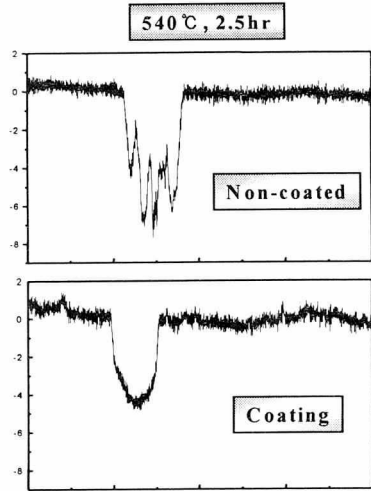


그림. 13 분말처리온도 540°C, 유지시간 2.5hr 한 시편의 마모트랙양상

- 각 분말처리온도 500°C, 520°C, 540°C에서 분말처리 후 유지시간 40분에서는 코팅층이 거의 나타나지 않았으나, 1.5시간, 2.5시간으로 유지시간이 길어질수록, 분말처리온도가 높을수록 코팅층이 점차 두껍게 나타났다.

- 각 분말처리온도에서 분말 처리된 시편의 표면경도가 분말 미처리 시편보다 전체적으로 높게 나타나고 있고, 분말처리온도가 높을수록, 유지시간이 길어질수록 표면경도가 높게 나타나고 있었다.

- 복합분말처리에 의해 생긴 코팅층은 Boron, Nitrogen, Carbon의 복합 확산으로 생긴 B+C+N의 복합 코팅층으로 판단된다.

- 코팅 분말의 조성을 적절히 조절함으로써 열간 금형강의 뜨임온도 영역에서도 복합 확산 열처리 효과에 의해 내마모성이 향상 됨을 알 수 있다.

5. 참고문헌

1. Li-Ho Chiu, Chang-Hui Wu, Heng Chang. Wear behavior of nitrocarbur ized JIS SKD61 tool steel. *Wear* 253 (2002) 778-786
2. A. Pertek, M. Kulka, Characterization of complex (B + C + N) diffusion layers formed on chromium and nickel-based low-carbon steel, *Appl. Surf. Sci.* 218 (1-4) (2003) 114-123
3. A. Pertek, M. Kulka, Microstructure and properties of complex (B + C) diffusion layers formed on low-carbon steel. *J. Mater. Sci.* 38 (2) (2003) 269-273
4. Vipin Jain and G. Sundararajan. Influence of the pack thickness of the boronizing mixture on the boriding of steel. *Surf. Coating Technol.* 149 (1) (2002) 21-26
5. B. Selçuk, R. Ipek, M. B. Karami, V. Kuzucu. An investigation on surface properties of treated low carbon and alloyed steels (boriding and carburizing). *Mater. Process. Technol.* 103 (2) (2000) 310-317
6. N. Ueda, T. Mizukoshi, K. Demizu, T. Sone, A. Ikenaga, M. Kawamoto. Boriding of nickel by the powder-pack method. *Surf. Coating Technol.* 126 (1) (2000) 25-30
7. M. Kulka and A. Pertek. The importance of carbon content beneath iron borides after boriding of chromium and nickel-based low-carbon steel. *Appl. Surf. Sci.* 214(1-4) (2003) 161-171