

Wpływ składu chemicznego typowych stali do nawęglania na budowę warstwy nawęglanej próżniowo

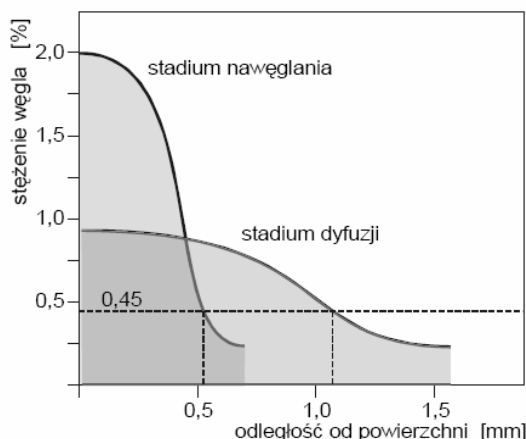
STRESZCZENIE

W pracy przedstawiono wyniki badań podstawowych parametrów T.W.W. otrzymanej w wyniku obróbki metodą nawęglania próżniowego piecu kompozycji składu typowych stali do nawęglania. Zestawy próbek obrabione były w przystosowanym do nawęglania próżniowego piecu VDN113 przy ustalonym składzie ośrodka nawęglającego, temperaturze i sposobie chłodzenia oraz przebiegach procesu technologicznego umożliwiające uzyskanie warstw o grubości 0,2-1,2 mm. Dla określenia parametrów procesów wykorzystano program komputerowego wspomaganie procesu nawęglania próżniowego FINE CARB.

WSTĘP

Istota technologii nawęglania próżniowego polega na dyfuzyjnym nasycaniu austenitu węglem pozyskanym w wyniku termicznego rozpadu węglowodorów alifatycznych, których lawinowa dysocjacja jest spowolniona poprzez obniżenie ciśnienia procesu do poziomu niskiej próżni.

W wyniku dysocjacji termicznej w fazie gazowej i chemisorpcji węglowodorów na katalitycznie czynnej powierzchni metalu uzyskuje się wysokie powierzchniowe stężenie węgla, co powoduje, że cykl nawęglania składa się z fazy nasycania węglem przy ciśnieniu roboczym atmosfery i fazy dyfuzyjnego transportu węgla w głąb materiału, prowadzonej bez dozowania gazów węglonośnych. (rys. 1).



Rys. 1. Schemat rozwoju profilu węgla w warstwie wierzchniej po fazach nasycania i dyfuzji

Fig. 1. The scheme of carbon profiles evaluation in surface layer after boost and diffusion stages

Prof. dr hab. inż. Piotr Kula,
Mgr inż. Adam Rzepkowski,
Mgr inż. Antoni Rzepkowski
Politechnika Łódzka
Instytut Inżynierii Materiałowej

The influence of chemical composition of typical steels for carburizing on the morphology of the vacuum carburized layers

ABSTRACT

The results of the researches of the technological surface laser obtained after vacuum Carburizing of five grades of steels, are presented in this paper. The sets of the specimens were treated in adapted for carburizing furnace VDN113, at fixed carburizing atmosphere composition, temperature and cooling way and technological process courses allowing obtaining layers of thickness 0,2 – 2,1 mm. Computer simulation program FINE CARB was used to determine the parameters of the vacuum carburizing process.

Nawęglanie próżniowe przebiega w warunkach odbiegających od równowagi termodynamicznej.

Na morfologię uzyskiwanej warstwy zasadniczy wpływ wywierają następujące parametry procesu:

- ciśnienie,
- temperatura,
- czas,
- częstotliwość pulsacji,
- proporcje dozowania gazów węglonośnych.

W opracowanym w IIM PŁ procesie nawęglania próżniowego (fincarb®) wykorzystuje się do optymalnego doboru parametrów procesu dla zadanej budowy strukturalnej warstwy, model matematyczny nawęglania oparty na wstępnych badaniach eksperymentalnych. Na bazie takiego modelu powstał program do symulacji komputerowej procesu (SimVac PLUS), który pozwala na obliczenie profili węgla w stali dla założonych parametrów procesu.

Model fizyczny zjawisk zachodzących podczas nawęglania próżniowego oparto na następujących założeniach:

- atmosfera nawęglająca podczas fazy nasycania dostarczana jest do powierzchni próbki w sposób ciągły,
- skład chemiczny atmosfery pozostaje stały przez cały czas nasycania,
- atomy węgla uwalniane są wskutek katalitycznego oddziaływania atmosfery z powierzchnią nawęglaną,
- węgiel transportowany jest w głąb materiału w wyniku niereaktywnej dyfuzji zachodzącej zgodnie z równaniami Ficka,
- współczynnik dyfuzji węgla w austenicie zależy od temperatury, koncentracji węgla oraz od obecności pierwiastków stopowych,
- rozpatrywany jest półnieskończony obszar, a rozwiązanie numeryczne wykonywane jest w obszarze o grubości dobranej tak, aby strumień węgla na przeciwległym do powierzchni nawęglanej brzegu był pomijalnie mały.

Matematyczny model nawęglania próżniowego opracowany został na prawach Ficka i równaniach równowagi węgla w atmosferze i austenicie. Strumień atomów węgla powstały wskutek katalitycznego oddziaływania atmosfery nawęglającej z powierzchnią stali zależy od zdolności atmosfery do pirolitycznego uwalniania atomów węgla. Strumień węgla zależy również od zdolności austenitu do absorpcji atomów węgla "in statu nascendi" i ich transportu w głąb materiału

oraz ograniczeń wynikających z maksymalnej rozpuszczalności węgla w austenicie.

Stosowanie stali do nawęglania o różnym składzie chemicznym wynika w zasadzie z wymagań dotyczących właściwości rdzenia, zaś w znacznie mniejszym stopniu z powodu wpływu na budowę i parametry wytrzymałościowe warstwy nawęglonej. W tradycyjnych technologiach nawęglania warstwa przypowierzchniowa podlega najczęściej zeszlifowaniu z uwagi na odształcenia oraz możliwość występowania w niej wad strukturalnych (utlenienie wewnętrzne, siatka węglików itp.). Nawęglanie próżniowe z hartowaniem w gazach o wysokim ciśnieniu pozwala na otrzymanie bezpośrednio po procesie powierzchni nie wymagającej szlifowania. W związku z tym istotne są właściwości zależne od budowy warstwy przypowierzchniowej.

Celem niniejszej pracy jest określenie wpływu składu chemicznego materiału podłoża na budowę warstwy nawęglonej próżniowo i za hartowanej w gazie pod wysokim ciśnieniem.

BADANIA

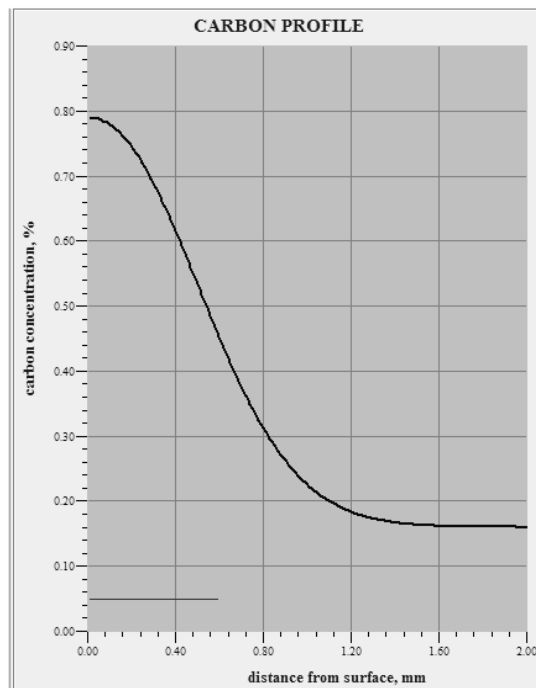
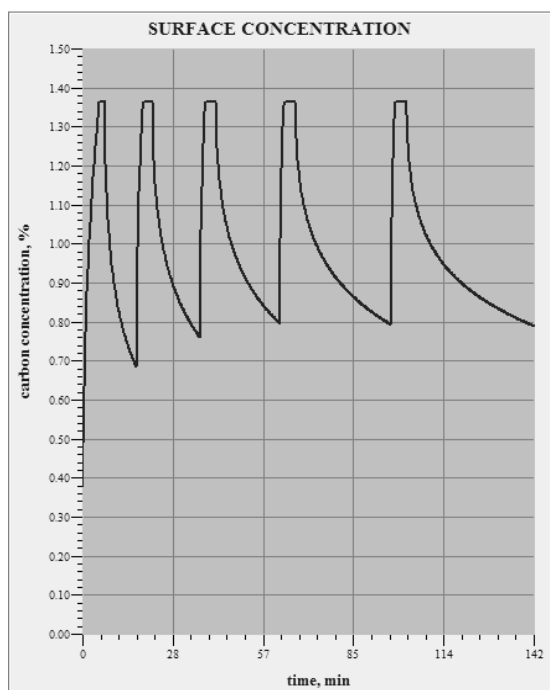
Do badań wybrano pięć najczęściej stosowanych stali do nawęglania, których próbki poddano obróbce w przystosowanym do nawęglania próżniowego piecu VDN 113, pozwalającym na chłodzenie strumieniem azotu o ciśnieniu 0,4 MPa. Skład materiału próbek podany jest w tab.1.

Tabela 1 Skład chemiczny badanych stali
Table 1. Chemical composition of treated steels

Gatunek stali	Zawartość pierwiastków [% wag.]											
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	Ti	V	Cu	Al
C15 1.0401	0,16	0,52	0,24	0,019	0,014	0,27	0,17	0,018	0,001	0,001	0,275	0,031
16MnCr5 1.7131	0,16	1,06	0,33	0,004	0,009	1,07	0,24	0,070	0,028	0,002	0,277	0,001
15CrNi6 1.5919	0,13	0,59	0,26	0,014	0,016	1,52	1,56	0,035	0,001	0,005	0,154	0,016
18MnCrTi5 (1.7147)	0,20	0,94	0,35	0,017	0,021	1,12	0,14	0,028	0,115	0,006	0,253	0,047
18CrNi 8 1.5920	0,18	0,58	0,25	0,010	0,018	1,89	2,01	0,049	0,007	0,004	0,250	0,026

Obróbkę zestawów próbek przeprowadzono przy parametrach zapewniających uzyskanie dla stali węglowej „C15” warstw o grubościach; 0,3, 0,6, 0,8 i 1,2 mm, przyjmując jako kryterium zawartość C = 0,45%, otrzymanych w wyniku komputerowej symulacji z wykorzystaniem programu SimVac PLUS. Wyniki przykładowej symulacji pokazane są na rys. 2.

Efekty zabiegów technologicznych określono wykonując badania mikroskopowe oraz rozkłady mikrotwardości metodą Vickersa, wg PN-EN ISO 6507-1 przy obciążeniu 9,807 N (HV 0,1) na przekroju

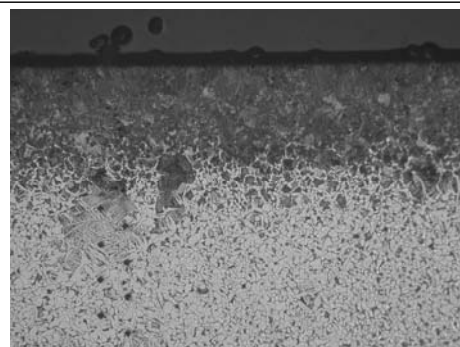
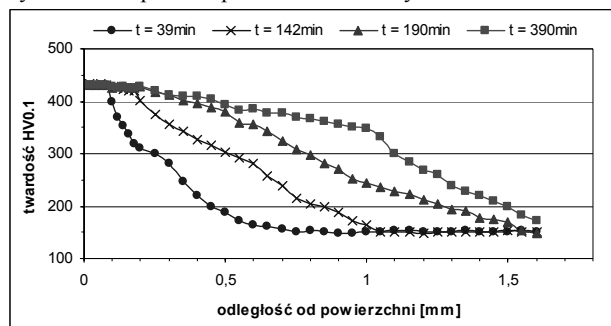


Rys.2. Symulacja komputerowa nawęglania próżniowego
Fig. 2 The computer simulation of vacuum carburizing

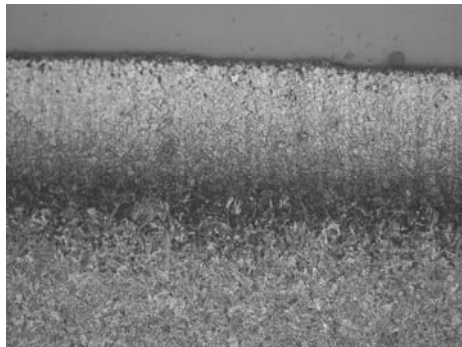
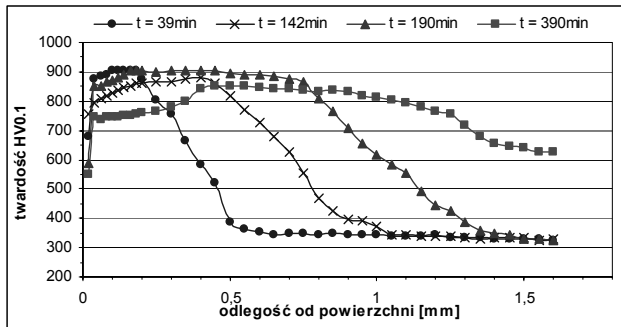
poprzecznym próbek. Z uwagi na prognozowaną możliwość wystąpienia istotnych różnic w strefie przypowierzchniowej „zagęszczono” rozkład punktów pomiarowych, wykonując je do głębokości 0,2 mm co 0,01 mm (głębiej co 0,05 mm).

WYNIKI BADAŃ

Charakterystyczną dla każdego gatunku budowę warstwy nawęglonej oraz rozkłady twardości warstw otrzymanych przy różnych czasach procesu przedstawiono na rys.3÷7.

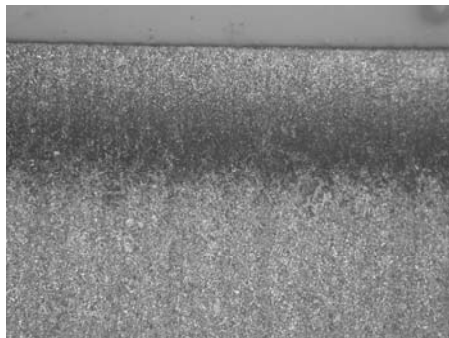
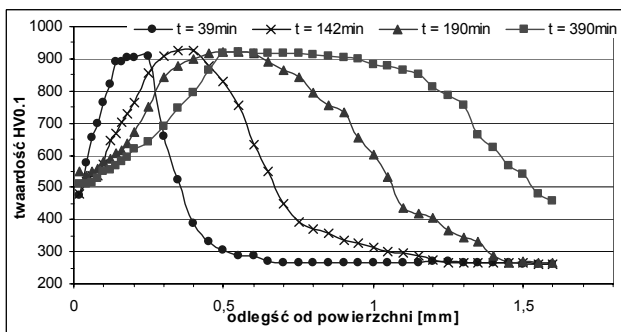


Rys. 3. Charakterystyczna budowa warstwy nawęglanej próżniowo na stali C15
Fig. 3. The typical morphology of vacuum carburized layer in C15 steel



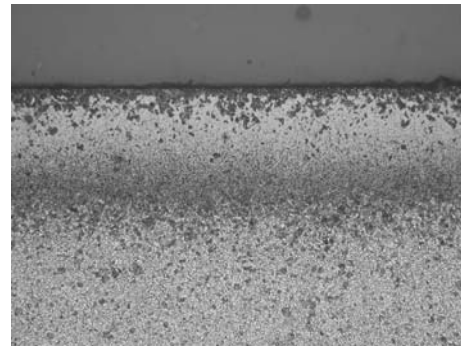
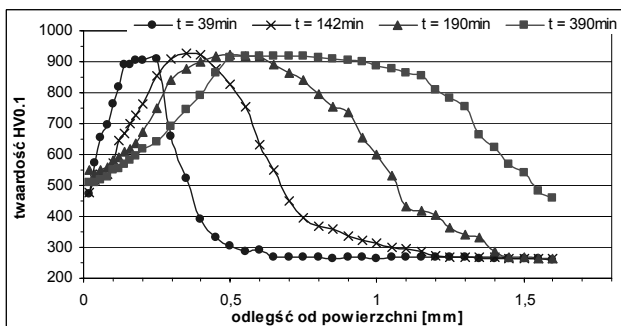
Rys. 4 Charakterystyczna budowa warstwy nawęglanej próżniowo na stali 16MnCr

Fig. 4. The typical morphology of vacuum carburized layer in 16MnCr steel



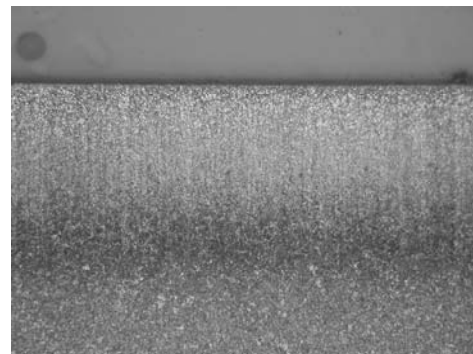
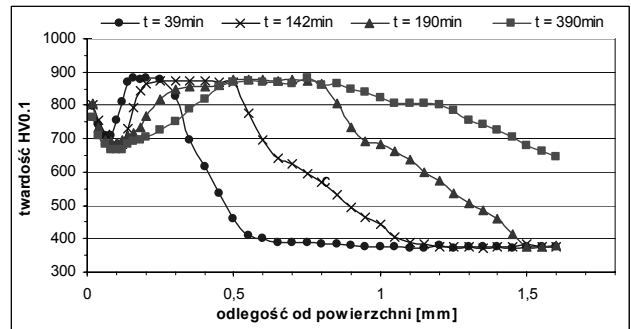
Rys. 5. Charakterystyczna budowa warstwy nawęglanej próżniowo na stali 15CrNi6

Fig. 5. The typical morphology of vacuum carburized layer in 15CrNi6 steel



Rys. 6. Charakterystyczna budowa warstwy nawęglanej próżniowo na stali 18MnCrTi5

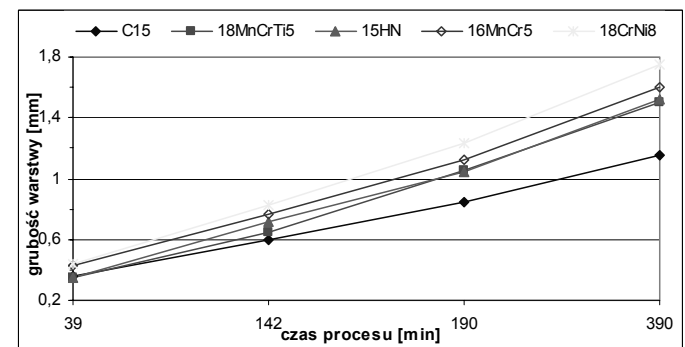
Fig. 6. The typical morphology of vacuum carburized layer in 18MnCrTi5 steel



Rys. 7. Charakterystyczna budowa warstwy nawęglanej próżniowo na stali 18CrNi8

Fig. 7. The typical morphology of vacuum carburized layer in 18CrNi8 steel

Z wykresu na rys.8 ustalić można wpływ składu chemicznego stali na grubość warstwy uzyskanej w tym samym procesie technologicznym. Jako kryterium grubości przyjęto, - dla stali stopowych twardość 550 HV, zaś dla stali węglowej - twardość struktury 50% ferryt - 50% perlit (280 HV 0,1) uzyskaną w wyniku chłodzenia azotem o ciśnieniu 4 MPa.

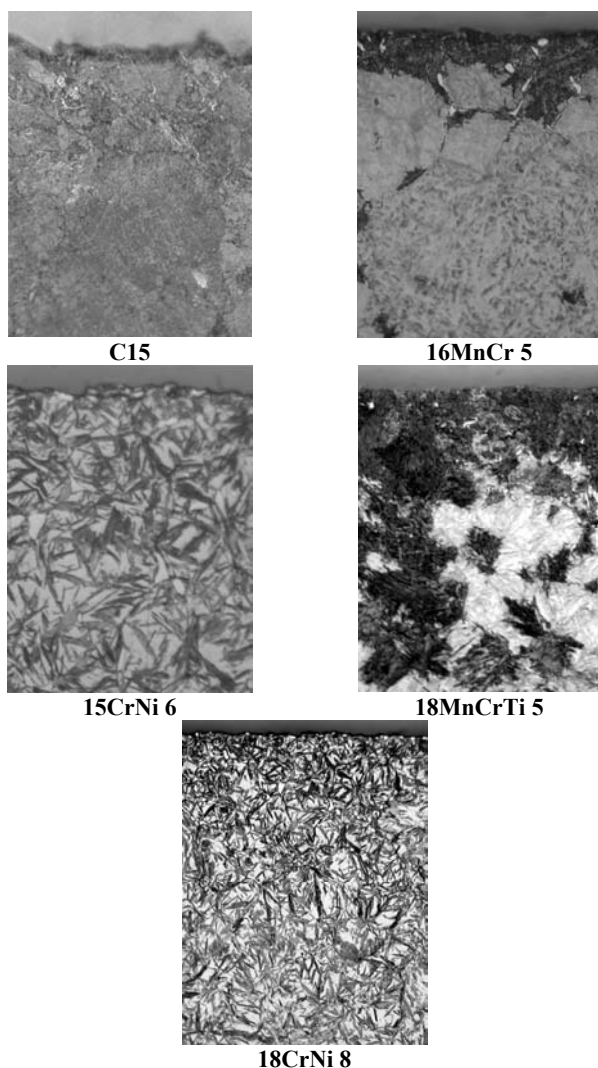


Rys. 8. Wpływ składu chemicznego stali na grubość warstwy nawęglanej

Fig. 8. The influence of chemical composition on the thickness of the layer

Na rys. 9 pokazano różnice morfologiczne warstwy przypowierzchniowej wynikające z obecności dodatków stopowych w materiale

podłoża. Należy podkreślić, iż symulacje komputerowe nie sygnalizują tych różnic.



Rys. 9. Charakterystyczna struktura warstwy przypowierzchniowej. (pow.500 X, traw. Mi 1 Fe)

Rys. 9. The structure of the near surface layer

WNIOSKI

Z przedstawionych wyników badań wynika:

- ⇒ wyraźna zależność budowy morfologicznej strefy podpowierzchniowej od jakościowej i ilościowej zawartości dodatków stopowych.
- ⇒ zależność stopnia nasilenia różnic od czasu procesu nawęglania.

Kwantyfikowanie tych zależności będzie przedmiotem dalszych badań, koniecznych, między innymi dla optymalizacji wpływu parametrów dozowania mieszanki nawęglającej na charakterystykę uzyskanych warstw, w zależności od gatunku obrabianego materiału.

Jednym z czynników wymaganych do ustanowienia związku pomiędzy składem atmosfery nawęglającej i zawartością węgla jest znajomość zależnego od temperatury i stężenia współczynnika aktywności węgla w austenicie. Obecność w stali różnych dodatków stopowych może wywołać obniżenie bądź podwyższenie aktywności węgla, powodując zwiększenie bądź zmniejszenie pola istnienia austenitu. Zmniejszenie obszaru występowania austenitu redukuje rozpuszczalność w nim węgla, a przekroczenie granicy rozpuszczalności prowadzi do tworzenia węglików. Wpływ na tworzenie węglików ma również powinowactwo dodatku stopowego w stali do węgla. Tworzenie się węglików pod wpływem nawęglania prowadzi do niepożądanych lub niekiedy niemożliwych do zaakceptowania zmian własności mechanicznych stali po procesie nawęglania. Istotnym jest, zatem takie dozowanie atmosfery nawęglającej, aby zapobiec niekorzystnemu wydzieleniu się węglików w stalach stopowych. Odpowiednie dozowanie atmosfery pozwala również uzyskać zakładany rozkład węgla w warstwie wierzchniej stali w zależności od jej składu chemicznego.

LITERATURA

- [1] A. Rzepkowski, A. Rzepkowski, P. Kula "Vacuum carburized layers-examinations of ISO 2639 Standard" Acta Metallurgica Slovaca,-1/2004,
- [2] Ł. Kołodziejczyk P. Kula J. Olejnik A. Rzepkowski A. Rzepkowski D. Siniarski „Nawęglanie próżniowe – technologia i urządzenia przyszłości- „Inżynieria Materiałowa Nr 5, 2002,
- [3] A. Rzepkowski, A. Rzepkowski, J. Patora „Badania warstw nawęglanych próżniowo w aspekcie normy PN ISO 2639” IV Krajowa Konferencja Metalograficzna „MATERIAŁOGRAFIA 2003”pt. ”Przemysłowe Laboratorium Metalograficzne – wyposażenie, metody badawcze, osiągnięcia i problemy” 23-25 04 2003 Bieliny-Huta Szklana k. Kielc str.63-65
- [4] A. Rzepkowski A. Rzepkowski „Badania warstw nawęglanych” Nowoczesne Trendy w Obróbce Ciepłej VIII Edycja-Seminarium Szkoleniowe SECO WARWICK 23-24 09 2004 Świebodzin-Bukowy Dworek str.4/1-10
- [5] Kula P.: Inżynieria warstwy wierzchniej. Wydawnictwo PŁ Łódź 2000.