

Jan ADAMCZYK  
Eugeniusz HAJDUCZEK  
Krzysztof DRAGON

## WPLYW CHROMOWANIA DYFUZYJNEGO NA STRUKTURĘ I WŁASNOŚCI WARSTW POWIERZCHNIOWYCH WYBRANYCH GATUNKÓW STALI

**Streszczenie.** Zbadano strukturę i twardość warstw powierzchniowych utworzonych w wyniku chromowania dyfuzyjnego na wybranych gatunkach stali narzędziowych NC6, N8 i konstrukcyjnych 45, 40H2MF. Stwierdzono, że ciągła warstwa węglików  $M_7C_3$  o największej grubości powstaje na stalach wysokowęglowych. Określono także zmiany wymiarowe i chropowatości powierzchni próbek po chromowaniu dyfuzyjnym i obróbce cieplnej.

### 1. Wstęp

Jednym z efektywniejszych sposobów zwiększenia trwałości narzędzi i elementów konstrukcyjnych metodami obróbki cieplno-chemicznej jest chromowanie dyfuzyjne. Powoduje ono wytworzenie na powierzchni wyrobów ze stali średnio i wysokowęglowych warstwy węglików chromu o wysokiej twardości i odporności na ścieranie, natomiast na powierzchni stali niskowęglowych warstwy ferrytu wysokochromowego o dużej odporności na korozję gazową [1 - 5]. Powierzchniowa warstwa węglików wydatnie zwiększa trwałość niektórych narzędzi, zwłaszcza do obróbki plastycznej metali na zimno i gorąco [6 - 11].

Celem pracy jest określenie wpływu chromowania dyfuzyjnego na strukturę i własności warstw powierzchniowych wybranych gatunków stali narzędziowych i konstrukcyjnych.

### 2. Badania własne

#### 2.1. Materiał do badań i obróbka cieplno-chemiczna próbek

Badania przeprowadzono na wybranych gatunkach stali narzędziowych oraz konstrukcyjnych dostarczonych w postaci prętów walcowanych na gorąco i zmięczonych lub normalizowanych. Skład chemiczny badanych stali podano w tabelicy 1. Z prętów wycięto próbki prostopadłościennych o wymiarach nominalnych 10 x 14 x 45 mm, które szlifowano tak, aby chropowatość każdej z powierzchni była różna. Przed chromowaniem próbki odtłuszczono w acetonie.

Tablica 1

Skład chemiczny i stan dostarczenia stali poddanych chromowaniu dyfuzyjnemu

Gatunek stali	Zawartość składników, %										Stan dostarczenia
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Mi	Mo	V		
N8	0,75-0,84	0,15-0,35	0,15-0,35	max 0,035	max 0,03	max 0,20	max 0,25	-	-	-	zmiękczone
NC6	1,40	0,60	0,25	max 0,03	max 0,03	1,40	-	-	-	-	zmiękczone
WCL	0,44	0,49	0,97	0,016	0,016	5,06	0,09	1,28	0,50	-	zmiękczone
45	0,42-0,50	0,50-0,80	0,17-0,37	max 0,04	max 0,04	-	-	-	-	-	normalizowany
40H2MF	0,38-0,45	0,50-0,80	0,17-0,37	max 0,035	max 0,035	1,60- -1,90	max 0,30	0,30-0,40	0,15-0,25	-	zmiękczone

Tablice 2

## Skład chemiczny mieszanin chromujących

Oznaczenie mieszaniny	Udział składników, %		
	Żelazo-chrom	NH <sub>4</sub> Cl	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
A	65	0,5	34,5
B	65	0,7	34,3
C	65	1,0	34,0

Tablica 3

## Warunki obróbki cieplnej badanych stali

Rodzaj zabiegu	Gatunek stali			
	N8	NC6	45	40H2MF
Hartowanie	780°C/woda	820°C/olej	840°C/woda	830°C/olej
Odpuszczanie	200°C	200°C	200°C	570°C

Chromowanie dyfuzyjne przeprowadzono metodą proszkową w mieszaninach zawierających żelazochrom wysokowęglowy o granulacji ziarna  $\leq 63 \mu\text{m}$ , chlorek amonu stanowiący aktywator i tlenek glinu jako wypełniacz. Skład chemiczny stosowanych mieszanin podano w tablicy 2. Najlepsze wyniki chromowania uzyskano stosując mieszaninę B, zawierającą 0,7% aktywatora. Zabieg zrealizowano w dwuczęściowych skrzynkach stalowych uszczelnionych emalią podkładową EP - 3. Skrzynki z próbkami wygrzewano w piecu komorowym, w temperaturze 950°C przez 2,4 i 8 godz. Po wyjęciu z pojemników próbki oczyszczono i płukano w 5% wodnym roztworze NaOH oraz w strumieniu bieżącej wody. Próbki po obróbce cieplno-chemicznej obrobiono cieplnie w warunkach podanych w tablicy 3. Austenityzowanie próbek przeprowadzono przez 20 minut w piecu elektrycznym komorowym, natomiast odpuszczanie przez 2 godz. w piecu z wymuszonym obiegiem powietrza. Ze względu na negatywny wynik chromowania dyfuzyjnego, próbek ze stali WCL nie obrobiono cieplnie.

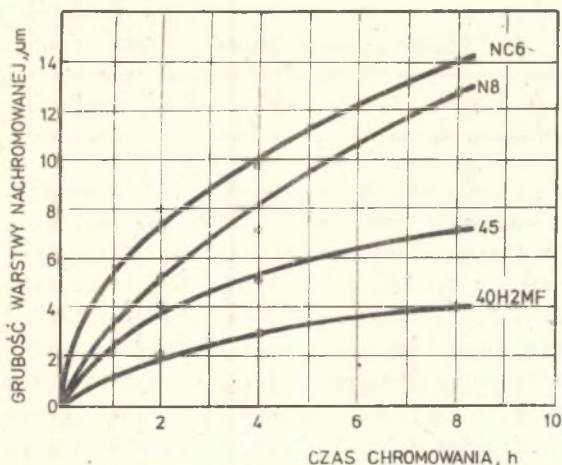
## 2.2. Przebieg badań

W celu zbadania struktury i własności warstw nachromowanych przeprowadzono badania metalograficzne, pomiary mikrotwardości metodą Vickersa przy obciążeniu 0,1962N(20G) oraz rentgenowską analizę fazową. Obserwacji struktur, pomiaru grubości warstw nachromowanych oraz pomiarów mikrotwardości tych warstw dokonano na mikroskopie świetlnym firmy Reichert z wykorzystaniem przystawki Hannemana. Analizę fazową jakościową przeprowadzono na dy-



fraktometrze rentgenowskim typu DRON, stosując lampę z anodą żelazną, zasileną prądem o natężeniu  $I = 10$  mA i napięciu  $U = 25$  kV. Prędkość przesuwu głowicy goniometrycznej wynosiła  $1^\circ/\text{min}$ , a prędkość przesuwu taśmy  $1/2$  cm/min. Określono także wpływ chromowania dyfuzyjnego i obróbki cieplnej na zmiany wymiarowe oraz chropowatość powierzchni próbek ze stali N8 i NC6. W tym celu wykonano pomiary próbek metodą porównawczą za pomocą czujnika indukcyjnego z dokładnością do  $0,1 \mu\text{m}$ , a także pomiary wysokości nierówności powierzchni  $R_z$  na profilografometrze Kalibr-201. Na podstawie wyników obliczono średnie arytmetyczne odchylenie profilu od linii średniej  $R_a$ .

### 3. Wyniki badań

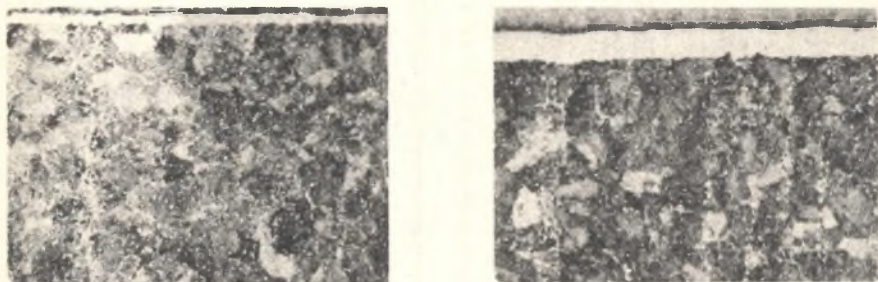


Rys. 1. Wpływ czasu chromowania w temperaturze  $950^\circ\text{C}$  na grubość warstwy węglkowej utworzonej na powierzchni badanych stali

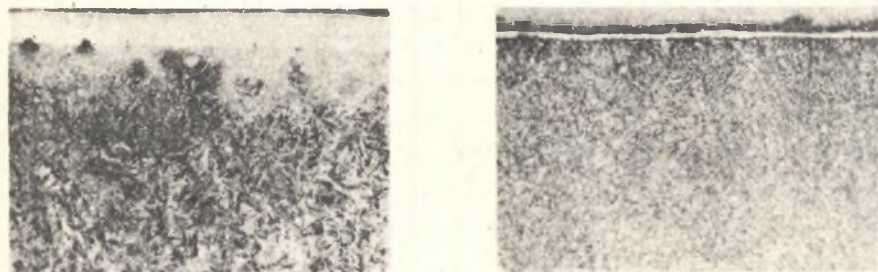
Stale średniowęglowe wykazują mniejszą podatność do chromowania, tzn. warstwa węglków tworząca się na ich powierzchni jest cienka nierównomierna (rys. 4) oraz wykazuje miejscami liczne pęknięcia i złuszczenia. Na przykład po 8 godz. chromowania grubość warstewki węglkowej na stali NC6 wynosi około  $14 \mu\text{m}$ , a na stali 40H2MF około  $4 \mu\text{m}$  (rys. 1). Mikrotwardość warstw węglkowych utworzonych podczas chromowania dyfuzyjnego badanych stali mieści się w granicach  $1380 - 1470 \text{HV}_{0,02}$  (rys. 5, 6).

Pod warstwą węglkową powstaje strefa przejściowa o twardości nieco niższej od twardości rdzenia, utworzona w wyniku zubożenia osnowy w węgiel.

Badania metalograficzne wykazały, że grubość warstw nachromowanych zależy od gatunku stali i warunków chromowania (rys. 1). Czynnikiem decydującym o podatności stali do chromowania jest skład chemiczny, a szczególnie zawartość węgla. Stale wysokowęglowe wykazują dobrą podatność do chromowania. Na ich powierzchni powstaje ciągła warstewka węglków chromu typu  $M_7C_3$  o równomiernej grubości, nie wykazująca złuszczeń ani pęknięć (rys. 2, 3). Skład fazowy tej warstwy ustalono na podstawie rentgenowskiej analizy fazowej oraz trawienia w odczynniku Groesbecka.



Rys. 2. Struktura warstwy powierzchniowej stali NC6: a) po 2 godzinach, b) po 8 godzinach chromowania dyfuzyjnego; 500x



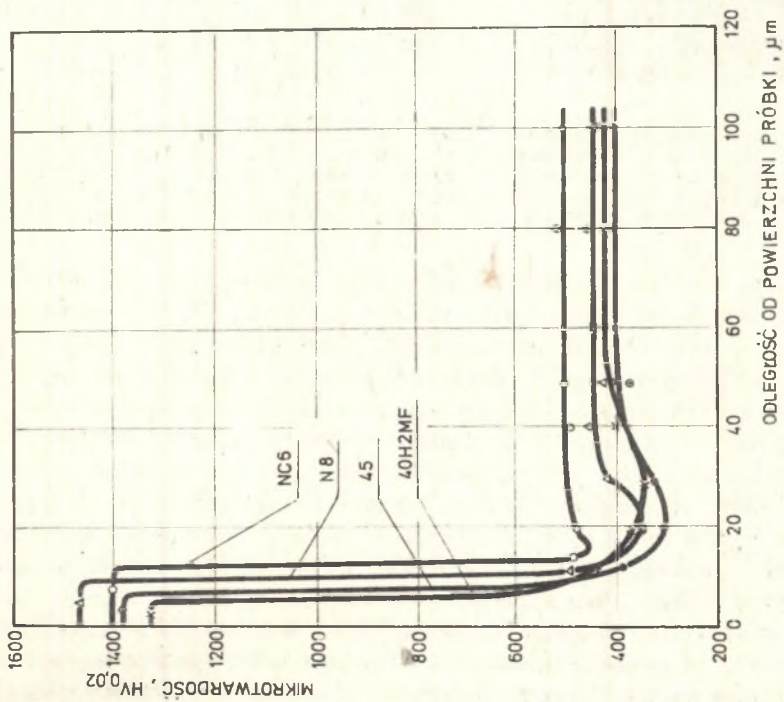
Rys. 3. Struktura warstwy powierzchniowej stali N8 po 8 godzinach chromowania dyfuzyjnego, hartowanej z temperatury 780°C i odpuszczanej w temperaturze 200°C; 500x

Rys. 4. Struktura warstwy powierzchniowej stali 40H2MF po 8 godzinach chromowania dyfuzyjnego, hartowanej z temperatury 830°C i odpuszczanej w temperaturze 570°C; 500x

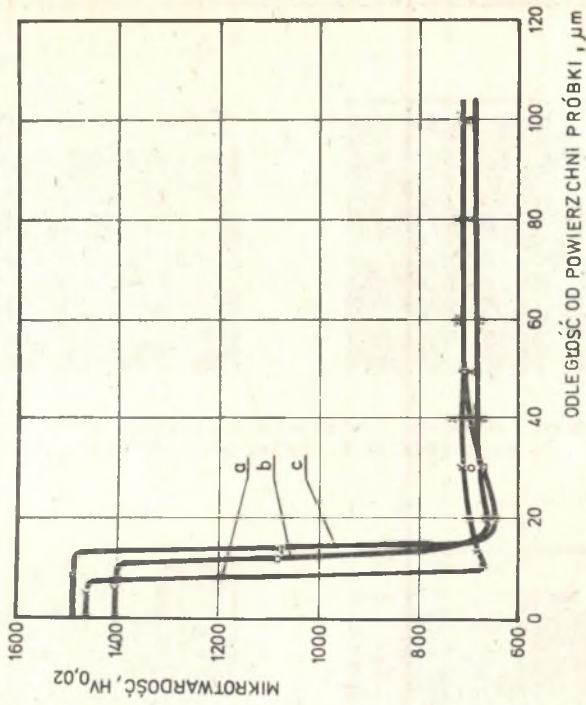
Różnica pomiędzy twardością rdzenia i strefy przejściowej zwiększa się ze zmniejszeniem zawartości węgla w stali i po 8 godz. chromowania wynosi od około 40HV<sub>0,02</sub> w stali NC6, do około 100 HV<sub>0,02</sub> w stali 40H2MF. Strefa ta zanika częściowo po hartowaniu próbek, wskutek dyfuzyjnego wyrównania stężenia węgla w roztworze stałym podczas austenitowania. Zastosowane obróbka cieplna nie powoduje zmian grubości i twardości warstwy węglkowej.

Przeprowadzona obróbka cieplno-chemiczna jest jednak przyczyną zmian wymiarowych próbek. Chromowanie przez 8 godz. powoduje przyrost długości próbek ze stali N8 o około 0,347%, natomiast ze stali NC6 około 0,182%. Wartości te są odpowiednio 7 i 2 razy większe od przyrostów próbek z tych stali po obróbce cieplnej bez uprzedniego chromowania.

Przeprowadzony zabieg powoduje także pogorszenie stanu powierzchni próbek. Stwierdzono, że ze zmniejszaniem się chropowatości powierzchni w stanie poprzedzającym obróbkę cieplno-chemiczną odpowiednie przyrosty chrop-

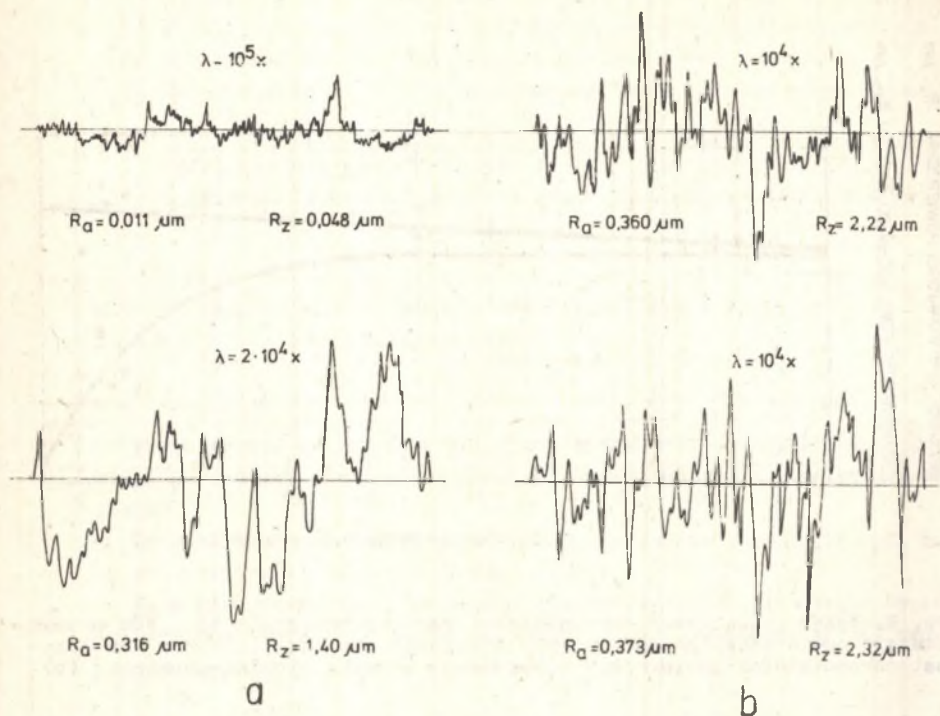


Rys. 5. Rozkład twardości w warstwach powierzchniowych stali NC6, N8, 45 i 40H2MF chromowanych dyfuzyjnie przez 8 godzin



Rys. 6. Wpływ czasu zabiegu na rozkład twardości w warstwie powierzchniowej stali NC6 chromowanej dyfuzyjnie przez: a) 2 godziny, b) 4 godziny, c) 8 godzin, hartowanej z temperatury 820°C i odpuszczonej w temperaturze 200°C



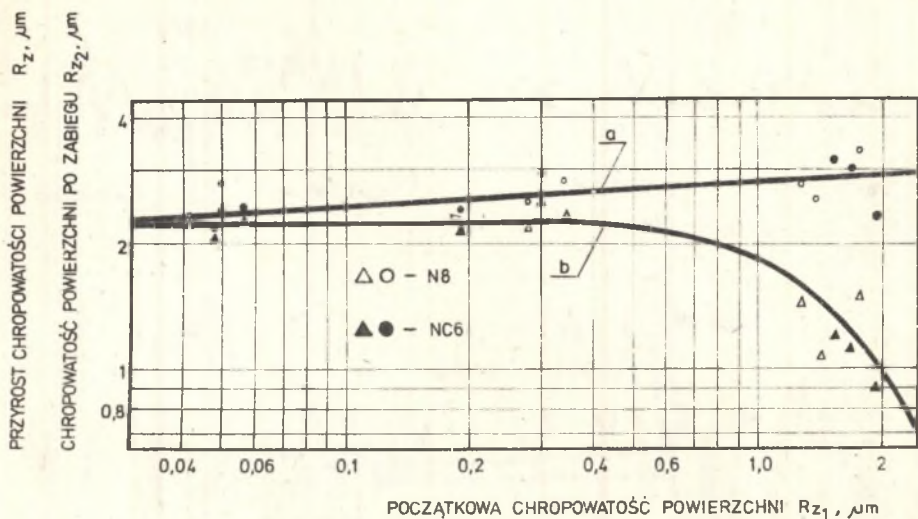


Rys. 7. Wpływ chromowania dyfuzyjnego i obróbki cieplnej na chropowatość powierzchni stali N8. a) początkowa chropowatość powierzchni próbek, b) chropowatość powierzchni próbek nachromowanych i obrobionych cieplnie

watości spowodowane chromowaniem dyfuzyjnym i obróbką cieplną wzrastają (rys. 7, 8). Chropowatość powierzchni stali po chromowaniu i obróbce cieplnej jest bliska chropowatości powierzchni w stanie wyjściowym w przypadku gdy parametr  $R_z$  przed chromowaniem dyfuzyjnym wynosi około  $4 \mu\text{m}$ . Dalsze zmniejszenie chropowatości powierzchni elementów chromowanych dyfuzyjnie i obrabianych cieplnie można osiągnąć przez polerowanie lub docieranie powierzchni po chromowaniu. Taka kolejność zabiegów jest korzystniejsza z ekonomicznego punktu widzenia.

#### 4. Wnioski

W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że podatność stali do chromowania dyfuzyjnego zwiększa się ze wzrostem stężenia węgla i zmniejszeniem ilości pierwiastków stopowych. Podczas tej obróbki na powierzchni stali tworzy się warstwa węglików stopowych typu  $M_7C_3$ , o twardości około  $1400 \text{ HV}_{0,02}$ . Pod tą warstwą w czasie chromowania dyfuzyjnego powstaje stre-



Rys. 8. Wpływ początkowej chropowatości powierzchni stali N8 i NC6 na chropowatość powierzchni po chromowaniu i obróbce cieplnej (a) oraz na przyrost chropowatości powierzchni spowodowany obróbką cieplno-chemiczną (b)

fa odwęglona o twardości nieco niższej od twardości rdzenia, zanikająca częściowo podczas austenitowania.

Najlepsze wyniki chromowania dyfuzyjnego w temperaturze  $950^{\circ}\text{C}$  uzyskano stosując mieszaninę o składzie: 65% żelazochromu Cr 650, 34,3%  $\text{Al}_2\text{O}_3$  oraz 0,7%  $\text{NH}_4\text{Cl}$ .

Chromowanie dyfuzyjne powoduje zwiększenie wymiarów przedmiotów ze stali N8 i NC6 odpowiednio 7 i 2 razy w stosunku do stanu obrobionego cieplnie oraz pogorszenie jakości powierzchni w stopniu zależnym od wielkości nierówności przed obróbką cieplno-chemiczną. Skład chemiczny stali nie ma istotnego wpływu na zmiany chropowatości powierzchni po chromowaniu.

#### LITERATURA

- [1] Liliental W., Tacikowski J.: Neue Hütte, nr 1, 1977, s. 36.
- [2] Harada Y., Masaaki N.: Korrozja i zaszczita metali, nr 44, 1972 s. 1.
- [3] Sully A.H., Brandes E.A.: Chromium, London, 1971 s. 247.
- [4] Luty W. (red.): Obróbka cieplna stopów żelaza. WNT, Warszawa 1977.
- [5] Rybczyński L.: Prace VI Konferencji Metaloznawczej Komitetu Hutnictwa PAN, cz. 1, 1970, s. 201.



- [6] Lubkiewicz J., Tacikowski J.: Prace IMP, nr 4-A, 1970, s.5.  
[7] Fiałkowski K., Rzepka E.: Przegląd Mechaniczny nr 1, 1974, s. 51.  
[8] Rybczyński L.: Obróbka plastyczna nr 3 1968, str. 237.  
[9] Małygin W.S.: Kuzniczo-sztampowocnoje proizvodstvo, nr 3, 1973, s. 11.  
[10] Zjednoczenie Hutnictwa Żelaza i Stali: Obróbka cieplna i chromowanie dyfuzyjne matryc kuźniczych. Broszura nr 92, 1972.  
[11] Laszczynski B.U.: Mietałłowiedienije i Tiermiczeskaja Obrabotka Mietałłow, nr 6, 1968, s. 16.

ВЛИЯНИЕ ДИФУЗИОННОГО ХРОМИРОВАНИЯ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА  
ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ ИЗБРАННЫХ СОРТОВ СТАЛЕЙ

Р е з ю м е

Расследовано структуру и твёрдость поверхностных слоёв образующихся на избранных сортах инструментальных сталей N8, NC6 и конструкционных 45, 40Н2МФ.

Установлено, что непрерывный, самый толстый слой карбидов  $M_7C_3$  возникает на поверхности высокоуглеродистых сталей.

Были определены также размерные изменения, а также изменения поверхностной шероховатости образцов после диффузионного хромирования и термической обработки.

THE INFLUENCE OF DIFFUSION CHROMIZING ON THE STRUCTURE AND PROPERTIES  
OF SURFACE LAYERS OF THE SELECTED TYPES OF STEEL

S u m m a r y

The structure and hardness of surface layers of the selected types of tool and construction steels obtained by chromizing have been investigated. It was stated that the continuous layer of  $M_7C_3$  carbides having the largest thickness developed on high carbon steels. The dimension changes and roughness of the surface of samples after diffusion chromizing and thermal treatment have been determined.