

Prof. dr hab. inż. Leopold BERKOWSKI  
Instytut Obróbki Plastycznej, Poznań  
e-mail: inop@inop.poznan.pl

# Wpływ obróbki cieplno-chemicznej na zmiany mikrogeometrii powierzchni wyrobów

## *The influence of thermochemical treatment on the changes of micro geometry of product surface*

### Streszczenie

Mikrogeometria powierzchni jest ważna dla wyrobów i narzędzi pracujących w warunkach tarcia. Badania wykazały, że obróbka cieplno-chemiczna, zwłaszcza azotowanie – niezależnie od metody - powoduje wyraźny wzrost chropowatości powierzchni gładkiej, o małej wartości parametru Ra. Wykazano ponadto, że dla wybranego procesu, istnieje optymalna mikrogeometria powierzchni, która po obróbce cieplno-chemicznej prawie nie ulega zmianie.

### Abstract

*Surface micro geometry is essential for products and tools working under friction conditions. Investigation has shown that thermochemical treatment, particularly nitriding, results in clear roughness increase of smooth surface with low value of Ra parameter regardless of the method of nitriding. It has also been shown that, for a selected process, there is an optimum surface micro geometry which almost does not change after thermochemical treatment.*

**Słowa kluczowe:** mikrogeometria powierzchni, obróbka cieplno-chemiczna, azotowanie, warstwa wierzchnia, rozkłady twardości

**Keywords:** *surface micro geometry, thermochemical treatment, nitriding, top layer, hardness distributions*

## 1. WSTĘP

Na jakość i wartość wyrobów wpływają między innymi właściwości warstwy wierzchniej i jakość powierzchni. O właściwościach warstwy wierzchniej decydują:

- gatunek materiału (skład chemiczny) i sposób jego wytwarzania,
- stan materiału: obróbka plastyczna objętościowa i obróbka cieplna,
- obróbka powierzchniowa: nagniatanie, obróbka galwaniczna, hartowanie powierzchniowe, obróbka laserowa, cieplno-chemiczna i inne.

Mikrogeometria powierzchni wpływa w znacznym stopniu na warunki tarcia, a zależy od metody obróbki oraz sposobu usuwania warstw wierzchnich metodami obróbki ubytkowej.

## 1. INTRODUCTION

*Quality and value of products are influenced, among others, by the properties of the top layer and surface quality. The top layer properties are determined by:*

- *material grade (chemical composition) and the method of its manufacturing,*
- *material condition: solid forming and heat treatment,*
- *surface treatment: burnishing, galvanic treatment, surface hardening, laser treatment, thermochemical treatment and others.*

*Surface micro geometry strongly influences the friction conditions and it depends on the method of processing and the way of removing top layers by the methods of machining.*

Badania miały wykazać różnice w budowie warstw wierzchnich próbek obrabionych cieplno-chemicznie w różny sposób oraz zmiany geometrii powierzchni po takich obróbkach. Dokonując wyboru wstępnej obróbki ubytkowej, starano się uzyskać stopniową zmianę wybranego parametru chropowatości Ra.

Obróbka cieplno-chemiczna zmienia chropowatość powierzchni. Określenie tych zmian pozwoli określić optymalną, najmniej zmieniającą się, „wyjściową geometrię powierzchni”, najmniej kosztowny sposób, wstępnej – bo, przed obróbką cieplno-chemiczną - obróbki ubytkowej. Praca stanowi pewną kontynuację wcześniejszych badań [1 – 3], realizowanych w Instytucie Obróbki Plastycznej, z udziałem Politechniki Poznańskiej, w których oceniano wpływ obróbki plastycznej na skutki azotowania stali konstrukcyjnych, w tym również nowoczesnej wtedy stali do azotowania - 33H3MF, wprowadzanej do programu krajowego hutnictwa.

## 2. ZAKRES BADAŃ, MATERIAŁ I JEGO OBRÓBKA

Badania miały wykazać jak wybrane obróbki cieplno-chemiczne, zwłaszcza azotowanie, wpływają na geometrie powierzchni ulepszonych cieplnie próbek ze stali 33H3MF. Zakres badań obejmował pięć różnych sposobów obróbek, dających różniące się między sobą profile twardości.

### 2.1. Materiał badany

Materiałem badanym była stal 33H3MF w postaci prętów o średnicy 20 mm, ulepszonych cieplnie, hutniczo. Skład chemiczny stali badanej, według atestu hutniczego oraz według obowiązującej normy, podano w tablicy 1.

*The examinations were supposed to show the differences in the structures of top layers of samples subjected to various ways of thermochemical treatment, as well as the changes of surface geometry after such treatments. Selection of the initial machining was aimed at obtaining gradual change of the selected Ra parameter of roughness.*

*Thermochemical treatment changes surface roughness. Determination of those changes will allow us to find the optimum, least changing "initial surface geometry", the least expensive way of initial (prior to thermochemical treatment) machining. The paper is a continuation of earlier investigations performed by the Metal Forming Institute [1-3] with participation of the Poznan University of Technology in which the influence of metal forming on the effects of nitriding constructional steel, including the 33H3MF nitriding steel, modern at that time and just being introduced to the program of domestic metallurgy, has been assessed.*

## 2. SCOPE OF INVESTIGATION, MATERIAL AND ITS PROCESSING

*The investigation was to show how selected thermochemical treatments, especially nitriding, influence the surface geometry of toughened 33H3MF steel samples. The scope of investigation included five different treatment methods resulting in hardness profiles different from each other.*

### 2.1. The material under examination

*The material under examination was 33H3MF steel in the form of metallurgically toughened rods with the diameter of 20 mm. The chemical composition of the steel according to the metallurgical attest and the valid standard can be seen in table 1.*

Tablica 1. Skład chemiczny badanej stali 33H3MF oraz jej odpowiednika 33CrMoV12-9 według obowiązującej normy PN-EN 10085:2002

Table 1. Chemical composition of the examined steel, 33H3MF and its equivalent, 33CrMoV 12-9 according to the valid standard PN-EN 10085:2002

Stal Steel	Skład chemiczny w % / Chemical composition [%]					
	C	Mn	Si	Cr	Mo	V
33H3MF	0,33	0,65	0,25	2,6	0,4	0,25
Wg normy/According to the standard 33CrMoV1209	0,29-0,36	0,40-0,70	max 0,40	2,80-3,30	0,70-1,00	0,15-0,25

## 2.2. Przygotowanie próbek

Do oceny jakości stanu wyjściowego powierzchni próbek przyjęto wartości parametrów chropowatości Ra. Stosując różne metody obróbki ubytkowej otrzymano istotne zmiany tego parametru (tablica 2).

## 2.2. Preparation of the samples

For the assessment of the sample surface quality in the initial condition, the values of the roughness parameter, Ra, have been adopted. Applying various methods of machining, significant changes of the parameter have been obtained (table 2).

Tablica 2. Parametr Ra po różnych obróbkach ubytkowych  
Table 2. Ra parameter after various methods of machining

Obróbka <i>Machining</i>	Ra [ $\mu\text{m}$ ]
Dogładzanie foliami mikrościernymi <i>Superfinish by micro-abrasive foils</i>	0,017
Szlifowanie dokładne <i>Precision grinding</i>	0,135
Toczenie dokładne <i>Precision turning</i>	0,695
Toczenie średniopokładne <i>Medium precision turning</i>	2,025
Toczenie zgrubne <i>Rough turning</i>	6,342

## 2.3. Obróbka cieplno-chemiczna próbek

Przy ocenie wpływu obróbki cieplno-chemicznej na zmiany geometrii powierzchni próbek zastosowano pięć różnych zabiegów stosowanych w przemyśle krajowym. Procesy różniły się zarówno pod względem parametrów procesu (czasu i temperatury), jak również pod względem składu atmosfery ośrodka. Obróbki cieplno-chemiczne zastosowane w badaniach były następujące:

1. azotowanie jonowe (400 °C, 10 h),
2. gazowe azotowanie długookresowe (500 °C, 12 h; 550 °C, 48 h; 520 °C, 3 h),
3. węglaozotowanie fluidalne (890 °C, 0,5 h),
4. tlenoazotowanie (560 °C, 2 h),
5. azotowanie krótkookresowe (530 °C, 4 h).

## 2.3. Thermochemical treatment of the samples

When assessing the influence of thermochemical treatment on the geometry of the sample surfaces, five different operations used in domestic industry have been applied. The processes differed both in process parameters (time and temperature) and in the chemical composition of the medium atmosphere. The thermochemical treatments applied in the investigation were as follows:

1. ion nitriding (400 °C, 10 h),
2. long period gas nitriding ((500 °C, 12 h; 550 °C, 48 h; 520 °C, 3 h),
3. fluid cyaniding (890 °C, 0.5 h),
4. nitric passivation (560 °C, 2h),
5. short period nitriding (530 °C, 4 h).

## 2.4. Metody badań

Skutki obróbki oceniano badając profile twardości próbek po różnych zabiegach cieplno-chemicznych. W badaniach posłużono się wgłębniakiem Knoop; twardość - w jednostkach HK0,1. Parametry mikrogeometrii powierzchni (Ra i Rt) oceniano z pomocą aparatu SURTRONIK-3 firmy Taylor-Hobson.

## 2.4. Investigation methods

The results of the treatment were assessed by examining the profiles of hardness of the samples after various operations of thermochemical treatment. Knoop indenter was used in the examination; hardness was measured in HK 0.1 units. The parameter of surface micro geometry (Ra and Rt) were assessed with the use of SURTRONIK-3 apparatus made by Taylor-Hobson.

### 3. WYNIKI BADAŃ

Badania obejmowały pomiary twardości warstw dyfuzyjnych, zmiany masy próbek oraz ocenę chropowatości powierzchni po różnych zabiegach obróbki cieplno-chemicznej, z udziałem azotu, jako podstawowego czynnika atmosfery. Badania miały dać odpowiedź na pytania:

- czy chropowatość powierzchni wpływa na dyfuzję powodując zmiany rozkładów twardości?
- który z zastosowanych sposobów obróbki powoduje największe zmiany mikrogeometrii powierzchni?
- jaka „chropowatość wyjściowa” jest optymalna; powoduje najmniejsze zmiany parametru Ra i Rt po obróbce cieplno-chemicznej?

#### 3.1. Pomiary twardości

Ocena rozkładów twardości po różnych zabiegach obróbki cieplno-chemicznej miała wykazać, czy chropowatość wstępna próbek określona parametrem Ra wpływa na dyfuzję, zwłaszcza azotu. By nie zaciemniać rysunku wybrano jedynie trzy wartości Ra – 0,017  $\mu\text{m}$ , 0,135  $\mu\text{m}$  i 2,025  $\mu\text{m}$ . W tabelicy 3 podano ponadto wyjściową, średnią twardość rdzenia próbek, początkowo ulepszonych cieplnie, a potem poddanych obróbce cieplno-chemicznej. Z tabelicy wynika, że twardość rdzenia próbek dla wybranej obróbki bywa różna, co wpływa na niewielkie przesunięcie danego profilu twardości w górę lub w dół.

### 3. INVESTIGATION RESULTS

The examinations included measurements of diffusion layer hardness, changes of the sample mass and assessment of surface roughness after various thermochemical treatment operations with the participation of nitrogen as the major agent of the atmosphere. The investigation was supposed to provide answers to the following questions:

- does surface roughness influence diffusion resulting in hardness distribution changes?
- which of the treatment methods applied causes the largest changes of the surface micro geometry?
- what “initial roughness” is the optimum one and results in the least changes of the Ra and Rt parameter after thermochemical treatment?

#### 3.1. Hardness measurements

The assessment of hardness distributions after various thermochemical treatment operations was to show whether the initial roughness defined by the Ra parameter influences diffusion, especially of nitrogen. In order not to complicate the drawing, only three Ra values have been selected, 0.017  $\mu\text{m}$ , 0.135  $\mu\text{m}$  and 2.025  $\mu\text{m}$ . In table 2, one can also find the initial average hardness of the sample root, first toughened, then subjected to thermochemical treatment. It can be seen in the table that the sample root hardness varies for the selected treatment, which results in slight shifting of the given hardness profile upwards or downwards.

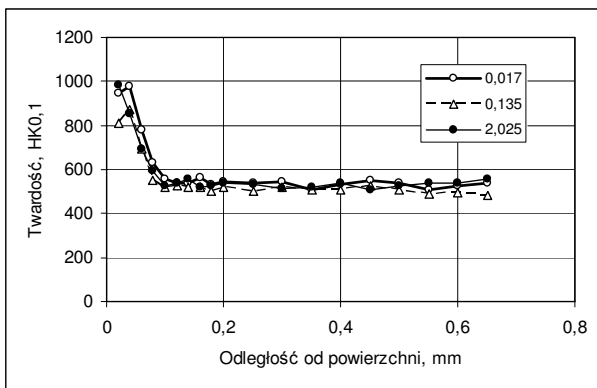
Tablica 3. Średnie twardości rdzenia badanych próbek

Table 3. Average hardness of the roots of the samples under examination

Parametr Ra, $\mu\text{m}$ <i>Ra parameter [<math>\mu\text{m}</math>]</i>	Rodzaj obróbki cieplno-chemicznej <i>Thermochemical treatment method</i>				
	1	2	3	4	5
0,017	527	457	650	494	466
0,135	484	449	661	499	458
2,025	533	460	712	505	443
1 – azotowanie jonowe, 2 – azotowanie długookresowe, 3 – węgloazotowanie, 4 – tlenoazotowanie, 5 – azotowanie krótkookresowe; 0,017 – dogładzanie, 0,135 – szlifowanie dokładne, 2,025 – toczenie średnio-dokładne 1 – ion nitriding, 2 – long period nitriding, 3 – carbonitriding, 4 – nitric passivation, 5 – short period nitriding; 0,017 – superfinish, 0,135 – precision grinding, 2,025 – medium precision turning					

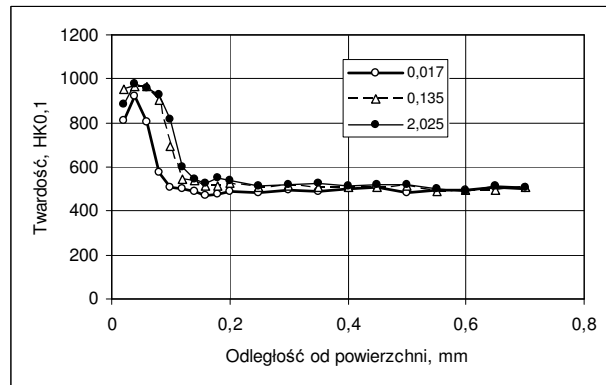
Z badań wynika, że rozkłady twardości zależą przede wszystkim od metody obróbki cieplno-chemicznej stali. Azotowanie jonowe (rys. 1), a potem w kolejności tlenoazotowanie (rys. 2) i azotowanie krótkookresowe (rys. 3) dają warstwy cienkie - około 0,12 mm, o maksymalnej twardości do 1000 HK0,1 i z gwałtownym spadkiem do twardości rdzenia próbki (tablica 3). Natomiast wartość Ra nie ma w tym przypadku większego znaczenia; wyróżnia się jedynie próbka azotowana krótkookresowo o wartości  $R_a = 0,017 \mu\text{m}$ , zatem o większej gładkości i cieńszej warstwie dyfuzyjnej.

The investigation indicates that hardness distributions depend mostly on the method of thermochemical treatment of steel. Ion nitriding (fig. 1) followed by nitric passivation (fig. 2) and, subsequently, short period nitriding (fig. 3) render thin layers (about 0.12 mm) with the maximum hardness of up to 1000 HK0.1 and with rapid drop of hardness down to that of the sample root (table 3). The  $R_a$  value is not essential in this case; only a short period nitrided sample with  $R_a = 0.017 \mu\text{m}$  is distinguishable, that is one with larger smoothness and thinner diffusion layer.



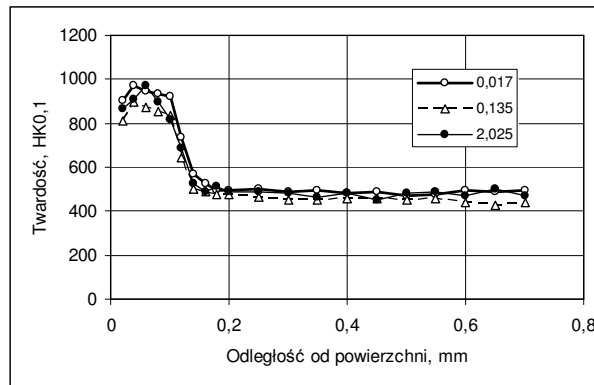
Rys. 1. Rozkłady twardości próbek po azotowaniu jonowym

Fig. 1. Hardness distribution in samples after ion nitriding



Rys. 2. Rozkłady twardości próbek po tlenoazotowaniu

Fig. 2. Hardness distribution in samples after nitric passivation

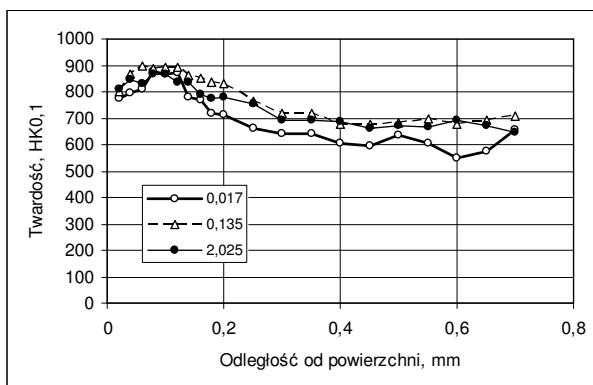


Rys. 3. Rozkłady twardości próbek po azotowaniu krótkookresowym

Fig. 3. Hardness distribution in samples after short period nitriding

Procesy węglazotowania (rys. 4) i azotowania długookresowego (rys. 5) dały warstwy grubsze - odpowiednio 0,3 i 0,6 mm; w pierwszym przypadku o nieco niższej, maksymalnej twardości. Ponadto, spadek twardości powyżej maksimum tych warstw był łagodniejszy niż poprzednio (rys. 1-3.). Na grubość warstwy azotowanej próbki węglazotowanej wpłynęła wyższa temperatura procesu, w drugim przypadku długi czas azotowania (w sumie 63 godziny). Podobnie jak poprzednio, chropowatość powierzchni nie wpłynęła znacząco na profile twardości obrobionych cieplno-chemicznie próbek.

Ponadto, z pomocą wagi analitycznej określono przyrosty masy próbek po różnych zabiegach obróbki cieplno-chemicznej. Badania wykazały, że – zgodnie z oczekiwaniem – największy przyrost masy wykazały próbki azotowane w długim przedziale czasu, a najmniejszy po azotowaniu jonowym. Zmiany przyrostu masy w pozostałych przypadkach były zbliżone.



Rys. 4. Rozkłady twardości próbek po węglazotowaniu fluidalnym

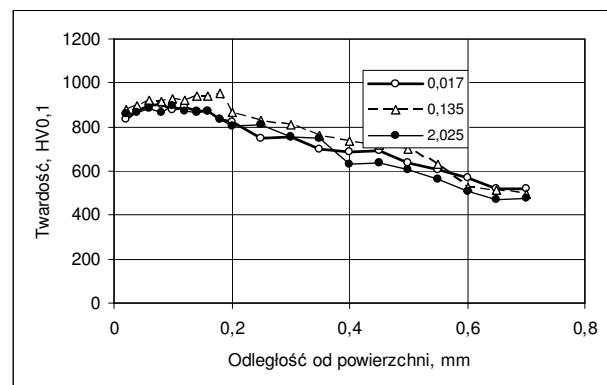
Fig. 4. Hardness distribution in samples after fluid cyaniding

### 3.2. Wpływ sposobu obróbki cieplno-chemicznej na wartość parametrów mikrogeometrii powierzchni

Celem określenia wpływu obróbki cieplno-chemicznej na zmianę geometrii powierzchni próbek ze stali 33H3MF (33CrMoV 12-9) zmierzono parametr Ra (średnie, arytmetyczne odchylenie profilu chropowatości od linii średniej) oraz parametr Rt (odległość od największego do najmniejszego odchylenia profilu

The processes of carbonitriding (fig. 4) and long period nitriding (fig. 5) have rendered thicker layers (0.3 and 0.6 mm respectively); in the first case with a slightly lower maximum hardness. Furthermore, the hardness drop above the maximum of those layers was less than previously (fig. 1-3). The thickness of the nitrided layer of the sample after carbonitriding was influenced by the higher temperature of the process, in the second case by the long time of nitriding (total of 63 hours). Like previously, the surface roughness has not significantly influenced the hardness profiles of the thermochemically treated samples.

An analytical weight has been used to determine the mass increases of the samples after various thermochemical treatment operations. It has been found that – as expected – the largest mass increase was that of the samples nitrided in a long time period and the least was that of the samples after ion nitriding. The mass increase changes in the other cases were similar.



Rys. 5. Rozkłady twardości próbek po azotowaniu długookresowym

Fig. 5. Hardness distribution in samples after long period nitriding

### 3.2. The influence of thermochemical treatment method on the value of surface micro geometry parameters

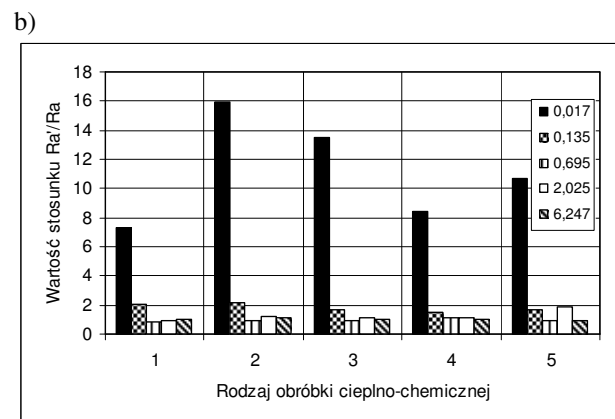
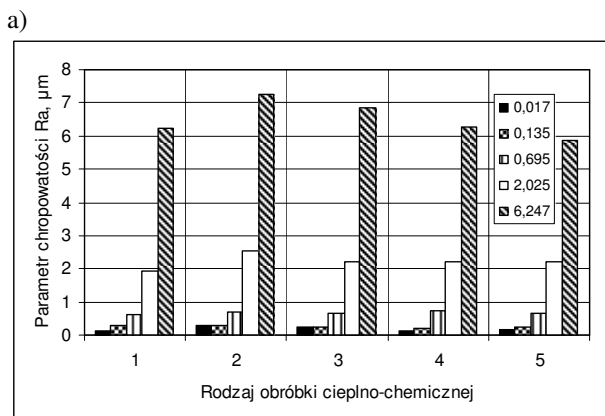
In order to determine the influence of thermochemical treatment on the change of surface geometry of 33H3MF (33CrMoV 12-9) steel samples, the Ra parameter (arithmetic average deviation of the roughness profile from the average line) and the Rt parameter (distance from the largest to the smallest deviation

chropowatości w przedziale odcinka elementarnego). Odpowiednie wartości wybranych parametrów chropowatości Ra i Rt, po obróbce cieplno-chemicznej, oraz ich przyrosty (w procentach), przedstawiono na rysunkach 6 i 7.

Z rysunku 6a wynika, że parametr chropowatości Ra, po obróbce cieplno-chemicznej, nie wiele się zmienia w przypadku większej chropowatości, większych, wstępnych wartości tego parametru. Widać to wyraźnie na rys. 6b, na którym przedstawiono zmianę wartości tego parametru po różnej obróbce cieplno-chemicznej. Z rysunku wynika ponadto, że wyraźne pogorszenie mikrogeometrii powierzchni występuje przy dwóch, dokładnych obróbkach ubytkowych; im mniejsza chropowatość wyjściowa (większa gładkość) tym wyraźniejsze pogorszenie jakości powierzchni, większy parametr Ra. Wykazano ponadto, że największy wzrost parametru Ra nastąpił po długookresowym azotowaniu, a najmniejszy po azotowaniu jonowym. Z badań wynika również, że wartość  $Ra = 0,695 \mu\text{m}$  jest wartością graniczną chropowatości, którą żadna z badanych obróbek wiele pogorszyć nie może. Wyniki badania parametru Rt (rys. 7a i b) potwierdzają ten wniosek. W tym przypadku również – po różnych obróbkach cieplno-chemicznych – wartość parametru Rt, dla parametru Ra powyżej  $0,695 \mu\text{m}$ , prawie nie uległa zmianie.

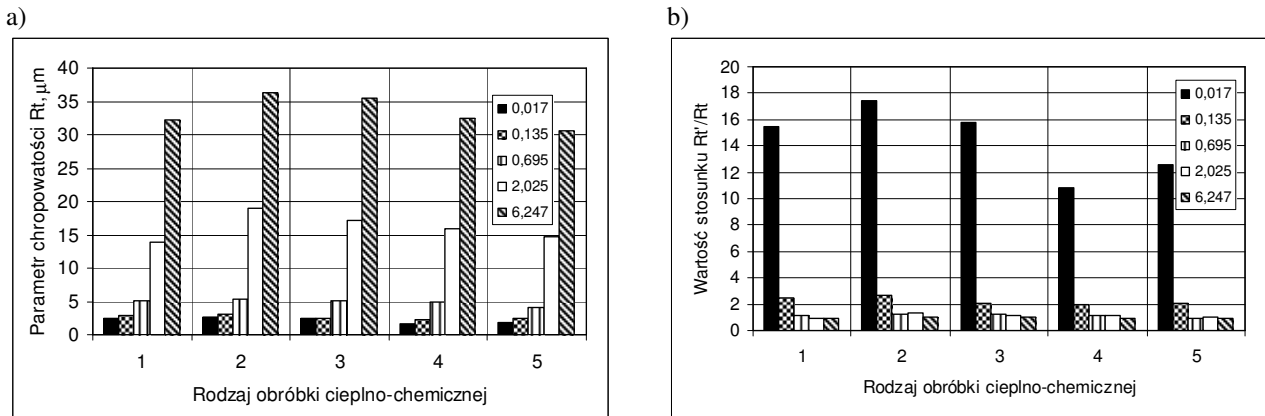
of the roughness profile in the range of the sampling length) have been measured. The respective values of the selected roughness parameters, Ra and Rt, after thermochemical treatment, as well as their increments (percentage) can be seen in figures 6 and 7.

Figure 6a shows that the roughness parameter, Ra, does not change significantly after thermochemical treatment in the case of larger roughness, larger initial values of the parameter. It is clearly visible in fig. 6b in which the change of that parameter after various thermochemical treatment is shown. The figure shows, too, that significant deterioration of surface micro geometry occurs with two precise machining; the less initial roughness (greater smoothness) the more significant surface quality deterioration, greater Ra parameter. It has also been shown that the greatest increase of the Ra parameter took place after long period ion nitriding. The investigation proves, too, that  $Ra = 0.695 \mu\text{m}$  is the extreme value which cannot be much deteriorated by any of the treatments under discussion. The conclusion is proved by the examination of Rt parameter (fig. 7a and b). In that case, too, the Rt parameter hardly changed for the Ra value over  $0.695 \mu\text{m}$ .



Rys. 6. Wpływ obróbki cieplno-chemicznej: a) na wartość parametru Ra, b) na stosunek wartości parametru Ra' po obróbce cieplno-chemicznej do wartości parametru Ra przed tą obróbką: 1 – azotowanie jonowe, 2 – azotowanie długookresowe, 3 – węglaozotowanie fluidalne, 4 – tlenoazotowanie, 5 – azotowanie krótkookresowe, dla próbek o różnej, wyjściowej wartości parametru Ra

Fig. 6. The influence of thermochemical treatment: a) on the value of the Ra parameter; b) on the ratio of the Ra' parameter value after thermochemical treatment to the value of Ra parameter prior to that treatment: 1 – ion nitriding, 2 – long period nitriding, 3 – fluid carbonitriding, 4 – nitric passivation, 5 – short period nitriding, for samples with various initial value of the Ra parameter



Rys. 7. Wpływ obróbki cieplno-chemicznej: a) na wartość parametru  $R_t$ , b) na stosunek wartości parametru  $R_t$  po obróbce cieplno-chemicznej do wartości parametru  $R_t$  przed tą obróbką: 1 – azotowanie jonowe, 2 – azotowanie długookresowe, 3 – węglazotowanie fluidalne, 4 – tlenoazotowanie, 5 – azotowanie krótkookresowe, dla próbek o różnej, wyjściowej wartości parametru  $R_t$

Fig. 7. The influence of thermochemical treatment: a) on the value of the  $R_t$  parameter; b) on the ratio of the  $R_t$  parameter value after thermochemical treatment to the value of  $R_t$  parameter prior to that treatment: 1 – ion nitriding, 2 – long period nitriding, 3 – fluid carbonitriding, 4 – nitric passivation, 5 – short period nitriding, for samples with various initial value of the  $R_t$  parameter

#### 4. PODSUMOWANIE BADAŃ I WNIOSKI

Mikrogeometria powierzchni ma kluczowe znaczenie dla wyrobów i elementów maszyn współpracujących ze sobą w warunkach tarcia. Badania wykazały, że obróbka cieplno-chemiczna, niezależnie od metody, zmienia tę geometrię. Pytanie tylko jakie są to zmiany i czy wpływają one na zużywanie się współpracujących ze sobą elementów maszyn i narzędzi. Badania wykazały, że istnieje pewna, graniczna chropowatość (graniczna wartość parametrów mikrogeometrii powierzchni dla danego węzła tarcia i sposobu smarowania), powyżej której obróbka cieplno-chemiczna, niezależnie od sposobu, daje zbliżone i bardzo małe zmiany wartości parametrów  $R_a$  i  $R_t$ . Nie warto zatem, dla takiego przypadku, stosować (przed obróbką cieplno-chemiczną) obróbki ubytkowej bardzo dokładnej, np. dokładnego szlifowania ( $R_a \approx 0,135 \mu\text{m}$ ), a tym bardziej dogładzania foliami mikrościernymi ( $R_a \approx 0,017 \mu\text{m}$ ), a także stosować innych „obróbek gładkościowych”.

Według Edenhofera i wsp. [6], grubość warstwy dyfuzyjnej, azotowanej, zależy od wielu czynników: stanu powierzchni (chropowatości i czystości), parametrów obróbki cieplno-chemicznej (czasu i temperatury procesu), aktywności azotu, a przede wszystkim od

#### 4. SUMMARY AND CONCLUSIONS

Surface geometry is of crucial importance for products and machine parts matching each other in friction conditions. The investigation has shown that thermochemical treatment, regardless of its method, changes the geometry. The question is what kind of changes take place and whether they influence the wear of matching machine parts and tools. It has been found that there is an extreme roughness (extreme value of surface micro geometry parameters for a give friction node and lubrication method) above which thermochemical treatment, regardless of its method, renders very close and little changes of the  $R_a$  and  $R_t$  values. It not worth while, therefore, to apply very precise machining, e.g. precise grinding ( $R_a \approx 0.135 \mu\text{m}$ ) or smoothing with micro abrasive foils ( $R_a \approx 0.017 \mu\text{m}$ ) or to apply other “smoothness” processing for such a case.

According to Edenhofer and collaborators [6], the thickness of the nitride diffusion layer depends on many factors: the surface condition (roughness and purity), thermochemical treatment parameters (process time and temperature), nitrogen activeness and, first of all, on the kinetic conditions of the reactions taking place at the atmosphere-metal boundary.



kinetycznych warunków reakcji zachodzących na granicy atmosfera-metal. Wskazano ponadto na prawdopodobieństwo zmian tych warunków w trakcie trwania procesu i na możliwość ich regulacji. W artykule, porównując różne obróbki cieplno-chemiczne (azotowania), przyjęto warunki zastosowane w różnych ośrodkach badawczych jako optymalne, wybrane na podstawie wieloletnich doświadczeń.

Badania pozwoliły sformułować następujące wnioski:

1. rozkłady twardości warstw dyfuzyjnych nie zależą od geometrii powierzchni, a jedynie od metody obróbki cieplno-chemicznej,
2. przyrost masy próbki po obróbce cieplno-chemicznej zależy od parametrów procesu; w artykule od - czasu azotowania,
3. obróbka cieplno-chemiczna wpływa na mikrogeometrię powierzchni próbek ze stali 33H3MF (33CrMoV 9-12) obrobionych zgrubnie; w przypadku próbek gładkich, o małych wartościach  $R_a$  i  $R_t$ , obróbka cieplno-chemiczna pogarsza chropowatość, powodując wzrost tych parametrów,
4. istnieje optymalna mikrogeometria powierzchni, w niniejszym przypadku  $R_a \approx 0,695 \mu\text{m}$ , przy której zastosowane w badaniach obróbki cieplno-chemiczne nie powodują istotnych zmian chropowatości.

*It has also been pointed out that the conditions can change in the course of the process and that they can be regulated. Comparing various thermochemical treatment (nitriding) processes, the author of the paper has adopted conditions applied by various research centers as optimum ones, selected basing on many years of experience.*

*The investigation has allowed us to formulate the following conclusions:*

1. *hardness distributions of diffusion layers do not depend on the surface geometry, but only on the method of thermochemical treatment,*
2. *sample mass increase after thermochemical treatment depends on the process parameters; on the time of nitriding in the present paper,*
3. *thermochemical treatment influences the micro geometry of 33H3MF (33CrMoV 9-12) steel samples after rough machining; in the case of smooth samples, with small  $R_a$  and  $R_t$  values, thermochemical treatment deteriorates roughness, causing an increase of those parameters,*
4. *there is an optimum surface micro geometry, in the present case  $R_a \approx 0.695 \mu\text{m}$ , with which the applied thermochemical treatment operations do not result in significant roughness changes.*

## LITERATURA/REFERENCES

- [1] Berkowski L.: Obróbka cieplno-chemiczna odkształconych plastycznie wyrobów. Projekt badawczy KBN nr 7 0973 91 01. Praca INOP, Poznań 1994, s. 114, 75 rys. 14 tab. bibliogr. 30 poz.
- [2] Berkowski L.: Azotowanie stali konstrukcyjnych obrobionych plastycznie. Część I: Materiał badań i opis stosowanych metod obróbki plastycznej. Obróbka Plastyczna Metali 2001 t. 12 nr 3 s. 5-13, 9 rys. 3 tab. bibliogr. 7 poz.
- [3] Berkowski L., Rybak Z., Majchrzak W.: Wpływ sposobu odkształcania na skutki azotowania stali 33H3MF. Prace Przemysłowego Instytutu Maszyn Rolniczych. Poznań 2001 v. 46 nr 1 s. 32-35, 8 rys. 1 tab. bibliogr. 2 poz.
- [4] Frąszczak G.: Analiza warstw dyfuzyjnych otrzymanych w różnych procesach. Praca dyplomowa. Politechnika Poznańska 1996 s. 114, 52 rys. 66 tab. bibliogr. 22 poz.
- [5] Kałuża K.: Wpływ geometrii powierzchni na jakość warstw azotowanych. Praca dyplomowa. Politechnika Poznańska 1995 s. 98, 49 rys. 53 tab. bibliogr. 26 poz.
- [6] Edenhofer B., Lerche W., Göhring W.: Gaseous Nitrocarburising – Problems and Solutions with Today's Process Technology. Heat Treatment of Metals 1995 t. 2 s. 27.