



Wpływ obróbki cieplnej i odkształcenia plastycznego, powierzchniowego stali 18HGT i 33H3MF na właściwości warstwy wierzchniej azotowanej

The influence of heat treatment and surface plastic strain of 18HGT and 33H3MF steel on the properties of the nitrided top layer

L. Berkowski*

Instytut Obróbki Plastycznej, ul. Jana Pawła II 14, 61-139 Poznań, Poland

Informacje o artykule

Data przyjęcia: 7.11.2014
Data recenzji: 25.03.2015
Data akceptacji: 30.06.2015

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki badań dwóch stali konstrukcyjnych (18HGT i 33H3MF) o różnej strukturze; pierwsza to stal tradycyjna stosowana do nawęglania, druga – do azotowania. Próbki nagniatano w przyrządzie do statycznego nagniatania powierzchni walcowej, zamontowanym na tokarce. Elementami nagniatającymi były krążki o średnicy 17,5 mm i długości 150 mm, z nacięciami. Badano wpływ powierzchniowego odkształcenia plastycznego na skutki azotowania jonowego w temperaturze 400°C na strukturę i właściwości warstwy wierzchniej wyżej wymienionej stali. Zmiany strukturalne warstw analizowano pod mikroskopem świetlnym oraz metodą pomiaru twardości z pomocą twardościomierza firmy ZWICK 3212, stosując penetrator Knoop i obciążenie 0,981 N. Zmiany powierzchniowe oceniano z pomocą profilometru firmy Telysuf-Hobson, porównując (przed i po nagniataniu) parametr chropowatości R_a . Badania wykazały, że oprócz zmian strukturalnych stali obróbka cieplna i nagniatanie powodują istotne zmiany chropowatości powierzchni (parametru R_a). Stale 18HGT i 33H3MF po zabiegach obróbki cieplnej, nagniatania i azotowania jonowego wykazują różne struktury i właściwości. Jedynie w próbce ze stali 18HGT, wyżarzanej, stwierdzono wpływ odkształcenia plastycznego warstwy wierzchniej; wzrost twardości po azotowaniu jonowym. Badane stale 18HGT (tradycyjna do nawęglania) i stal 33H3MF (do azotowania) wykazują wyraźnie różniące się struktury i reagują inaczej na zabiegi obróbki cieplnej, nagniatania i azotowania jonowego. W przypadku stali 18HGT, o pasmowej strukturze, wyżarzanej, nagniatanie spowodowało rozdrobnienie ziaren przy powierzchni i wspomniany już wzrost twardości, a próbki hartowane i ulepszone cieplnie – brak wpływu umocnienia. Stal 33H3MF – po nagniataniu – nie wykazywała zmian strukturalnych i zmian rozkładów twardości po różnych obróbkach.

Słowa kluczowe: obróbka cieplna stali, nagniatanie, azotowanie jonowe, twardość, struktura

Abstract

The paper presents the results of examination of two constructional steels (18HGT and 33H3MF) with different structures; the former is a constructional steel used for carburizing, the latter is used for nitriding. The samples have been burnished in a device for static burnishing of a cylindrical surface, fixed on a lathe. The burnishing elements were disks of 17.5 mm diameter and 150 mm length, with incisions. The investigation concerned the influence of surface plastic strain on the effects of ion nitriding at the temperature of 400°C on the structure and properties of the top layer of the above mentioned steels.

Article info

Received: 7.11.2014
Reviewed: 25.03.2015
Accepted: 30.06.2015

* Autor do korespondencji. Tel.: +48 61 657 05 55; fax: +48 61 657 07 21; e-mail: inop@inop.poznan.pl

* Corresponding author. Tel.: +48 61 657 05 55; fax: +48 61 657 07 21; e-mail: inop@inop.poznan.pl

The structural changes of the layers have been analysed by means of and optical microscope and by the method of hardness measurement with the application of a ZWICK 3212 hardness tester, using a Knoop penetrator and a load of 0.981 N. Surfaced changes have been assessed by means of a Telysuf-Hobson profile measurement gauge comparing the parameter of roughness, R_a , before and after burnishing. The investigation has shown that, in addition to structural changes, heat treatment and burnishing result in significant changes of roughness (R_a parameter). The 18HGT and 33H3MF steels show different structures and properties after the operations of heat treatment, burnishing and ion nitriding. Only in an annealed sample of the 18HGT steel, the influence of the top layer plastic strain has been found: increase of hardness after ion nitriding. The examined steels (18HGT, traditional carburizing steel and 33H3MF, for nitriding) show clearly different structures and different responses to the operations of heat treatment, burnishing and ion nitriding. In the case of the 18HGT steel with band structure, annealed, burnishing has resulted in break-up of grains near the surface and the already mentioned increase of hardness; in the case of hardened and toughened samples – no influence of consolidation. The 33H3MF steel has not shown structural changes after burnishing or hardness distribution changes after various treatments.

Keywords: heat treatment of steel, burnishing, ion nitriding, hardness, structure

1. WSTĘP

Właściwości użytkowe części maszyn związane z niezawodnością wyrobów (maszyn i pojazdów) zależą od wielu czynników, wśród których na czoło wysuwają się właściwości warstwy wierzchniej współpracujących elementów. Doskonalenie tych właściwości odbywa się w znacznym stopniu przez poprawne, umiejętne zastosowanie odpowiednich obróbek powierzchniowych. Znanych jest wiele nowych technik polepszających jakość warstwy wierzchniej, wzrost odporności na zużycie, a nawet – jak w przypadku nagniatania i azotowania – wzrost wytrzymałości zmęczeniowej [1 i 2]. Praca stanowi poszerzenie problematyki badań pracy [3], która dotyczyła oceny wpływu odkształcenia powierzchniowego stali 38HMJ (nagniatania kulką, głowicą wielorolkową oraz nagniatania strumieniowego) na skutki azotowania jonowego w obniżonej temperaturze. Stwierdzono wzrost twardości po azotowaniu jonowym w temperaturze 400°C. Wcześniej, w pracy [4], badano skutki złożonej technologii; różnych metod nagniatania na pięciu stalach konstrukcyjnych (E04, 40H, 18HGT, 33H3MF oraz 38HMJ).

W artykule przedstawiono wyniki badań właściwości dwóch stali konstrukcyjnych 18HGT i 33H3MF, obrobionych cieplnie, po obróbce plastycznej powierzchniowej różnymi metodami i po azotowaniu jonowym w temperaturze 400°C, ob-

1. INTRODUCTION

Utilization properties of machine parts related to reliability of products (machines and vehicles) depend on many factors, the most important of which are the properties of the top layer of matching elements. Those properties are improved by correct application of adequate surface treatments. Many new techniques are known to improve the quality of the top layer, to increase wear resistance and even to increase fatigue strength as is the case with burnishing and nitriding [1 and 2]. The present work is an extension of the scope of work [3] concerning the assessment of the influence of surface strain of 38HMJ steel (globular burnishing, roller burnishing and shot peening) on the effects of ion nitriding at lowered temperature. Hardness has been found to increase after ion nitriding at the temperature of 400°C. At an earlier time, in work [4], the effects of complex technologies; various methods of burnishing on five constructional steels (E04, 40H, 18HGT, 33H3MF and 38HMJ) have been investigated.

The paper presents the results of investigation of the properties of two constructional steels, 18HGT and 33H3MF, heat treated, after plastic forming of surface by various methods and after ion nitriding at the lowered temperature of 400°C.

nizonej. Badania miały dać odpowiedź na pytanie, jak wpływa stan materiału po obróbce cieplnej na umocnienie warstwy wierzchniej i skutki azotowania jonowego.

2. ZAKRES PRACY, MATERIAŁ BADANY I JEGO OBRÓBKA

2.1. Materiał badany

Skład chemiczny badanych stali 18HGT i 33H3MF (według atestu hutniczego) podano w tab. 1. Stale w postaci prętów poddano obróbce cieplnej. Warunki obróbki cieplnej (wyżarzania, hartowania oraz ulepszenia cieplnego) podano w tab. 2. Próbkę toczono z prętów o średnicy około 20 mm.

The investigation was to give an answer to the question, how does the material condition after heat treatment influence consolidation of the top layer and the results of ion nitriding.

2. THE SCOPE OF THE WORK, MATERIAL UNDER INVESTIGATION AND ITS TREATMENT

2.1. The material under investigation

The chemical composition of the tested steels 18HGT and 33H3MF (according to the metallurgical attest) can be seen in Tab. 1. The steels, in the form of bars, have been subjected to heat treatment. The condition of heat treatment (annealing, hardening and toughening) can be seen in Tab. 2. The samples have been turned from bars with the diameter of about 20 mm.

Tab. 1. Skład chemiczny badanych stali

Tab. 1. The chemical composition of the tested steels

Gatunek stali Steel grade	Skład chemiczny [%] / Chemical composition [%]									
	C	Mn	Si	Cr	Ni	Cu	Mo	V	Al	Ti
18HGT	0,20	0,94	0,33	1,10	0,12	0,06	—	—	—	0,065
33H3MF	0,31	0,63	0,30	2,50	0,10	0,07	0,41	0,27	—	—
Pręty o średnicy około 20 mm / Bars with the diameter of about 20 mm										

Tab. 2. Warunki obróbki cieplnej stali 18HGT i 33H3MF

Tab. 2. The conditions of heat treatment of the 18HGT and 33H3MF steels

Parametry obróbki cieplnej Heat treatment parameters	Gatunek stali / Steel grade	
	18HGT	33H3MF
Wyżarzanie / Annealing		
Temperatura, °C / Temperature, °C	960	960
Czas, h / Time, h	0,5	0,5
Sposób chłodzenia / Method of cooling	z piecem / with the furnace	z piecem / with the furnace
Twardość, HK0,1 / Hardness, HK0,1	270	370
Hartowanie / Hardening		
Temperatura, °C / Temperature, °C	960	960
Czas, h / Time, h	0,5	0,5
Sposób chłodzenia / Method of cooling	woda / water	olej / oil
Odpuszczanie / Tempering		
Temperatura, °C / Temperature, °C	600	740
Czas, h / Time, h	2	0,5
Sposób chłodzenia / Method of cooling	olej / oil	powietrze / air
Twardość, HK0,1 / Hardness, HK0,1	480	595

2.2. Nagniatanie próbek

Próbki ze stali 18HGT i 33H3MF nagniatano w przyrządzie do statycznego nagniatania powierzchni walcowej, zamontowanym na tokarce [5]. Elementem nagniatającym była para krążków. Próbki stanowiły krążki o średnicy 17,5 mm i długości 150 mm, z odpowiednimi nacięciami. Parametrami obróbki były: ciśnienie w siłownikach $P = 7,5$ MPa, obroty wrzeciona $n = 45$ obr/min i posuw tokarki $p = 0,1$ mm/obr.

2.3. Azotowanie jonowe

Obróbkę cieplno-chemiczną próbek przeprowadzono, w mieszaninie wodoru i azotu, w piecu typu JONIMP, w jednakowej temperaturze 400°C . Pozostałe parametry procesu azotowania krótkookresowego wynosiły: czas azotowania – 10 godzin, ilość doprowadzonego azotu 80 l/h, ilość doprowadzonego wodoru – 37 l/h.

3. METODY BADAWCZE

Skutki obróbki cieplnej, plastycznej i azotowania jonowego w różnej temperaturze analizowano pod mikroskopem świetlnym oraz metodą pomiaru twardości za pomocą twardościomierza firmy ZWICK 3212, stosując penetrator Knoopa i obciążenie 0,981 N. Efekt nagniatania oceniano także, porównując parametr chropowatości R_a (przed i po nagniataniu) za pomocą profilometru firmy Telysurf-Hobson.

4. WYNIKI BADAŃ

Badania prowadzone na stalach 18HGT i 33H3MF obejmowały ocenę wpływu stanu strukturalnego, po różnej obróbce cieplnej i nagniataniu, na zmianę rozkładu twardości próbek po azotowaniu jonowym. Próbki w stanie wyżarzonym, hartowanym i ulepszonym cieplnie (jak w tab. 2), nagniatano parą krążków i azotowano jonowo. Z tab. 3 wynika, że nagniatanie powoduje wyraźne zmiany parametru R_a , ulepszenie

2.2. Burnishing the samples

Samples of the 18HGT and 33H3MF steels have been burnished in a device for static burnishing of cylindrical surface, fixed on a lathe [5]. The burnishing element was a pair of disks. The samples were disks with the diameter of 17.5 mm and the length of 150 mm with adequate incisions. The treatment parameters were as follows: pressure in servomotors, $P = 7.5$ MPa, spindle speed, $n = 45$ rpm and the lathe travel, $p = 0.1$ mm/rev.

2.3. Ion nitriding

Thermochemical treatment of the samples has been performed in a JONIMP furnace in a mixture of nitrogen and hydrogen at equal temperature of 400°C . The other parameters of the process of short term nitriding were as follows: nitriding time – 10 hours, supplied nitrogen quantity – 80 l/h, supplied hydrogen quantity – 37 l/h.

3. INVESTIGATION METHODS

The results of heat treatment, plastic working and ion nitriding at various temperatures have been analysed under an optical microscope and by the method of hardness measurement by means of a ZWICK3212 hardness tester with the use of a Knoop penetrator and with the load of 0.981 N. The effect of burnishing has also been assessed comparing the parameter of roughness R_a before and after burnishing, with the use of a profile measurement gauge made by Telysurf-Hobson.

4. INVESTIGATION RESULTS

The investigation performed on 18HGT and 33H3MF steels comprised assessment of the influence of the structural state, after various heat treatment and burnishing, on the change of hardness distribution in samples after ion nitriding. Annealed, hardened and toughened samples (as in Tab. 2) have been burnished with a pair of disks and ion nitrided. Tab. 3 shows that burnishing results in clear changes of the R_a parameter,

również, lecz w nieco mniejszym stopniu. Zmniejszenie nierówności powierzchni, zwłaszcza po nagniataniu, utrudnia absorpcję azotu na powierzchni, co ogranicza wielkość strumienia dyfuzji skutkiem zmniejszenia aktywnej powierzchni kontaktu [6].

so does toughening, but to a slightly smaller extent. Reduction of surface roughness, particularly after burnishing inhibits absorption of nitrogen on the surface, which reduced the size of diffusion stream due to the reduction of the effective contact surface [6].

Tab. 3. Wyniki pomiarów parametru R_a stali 18HGT i 33H3MF po obróbce cieplnej i nagniataniu

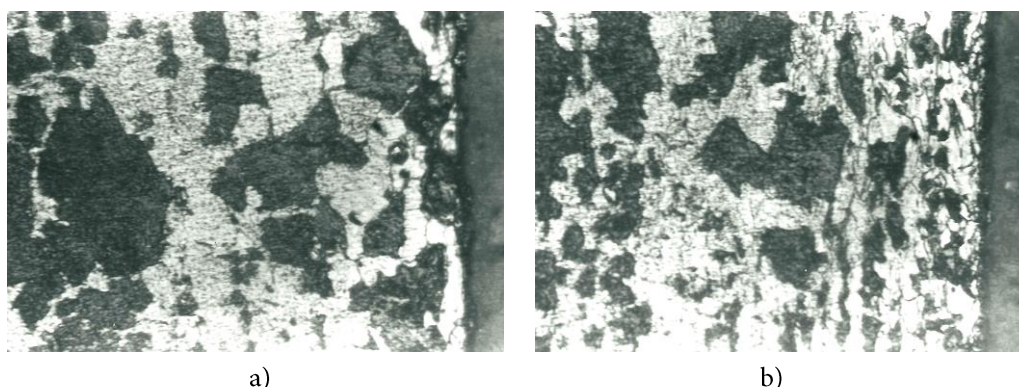
Tab. 3. The results of R_a parameter measurements of 18HGT and 33H3MF steel after heat treatment and burnishing

Stan po obróbce cieplnej State after heat treatment	Gatunek stali / Steel grade			
	18HGT		33H3MF	
	OM	N	OM	N
wyżarzony / annealed	0,75	0,21	0,64	0,17
ulepszony cieplnie / toughened	0,68	0,15	0,55	0,07

OM – po obróbce mechanicznej; N – po nagniataniu / OM – machined; N – burnished

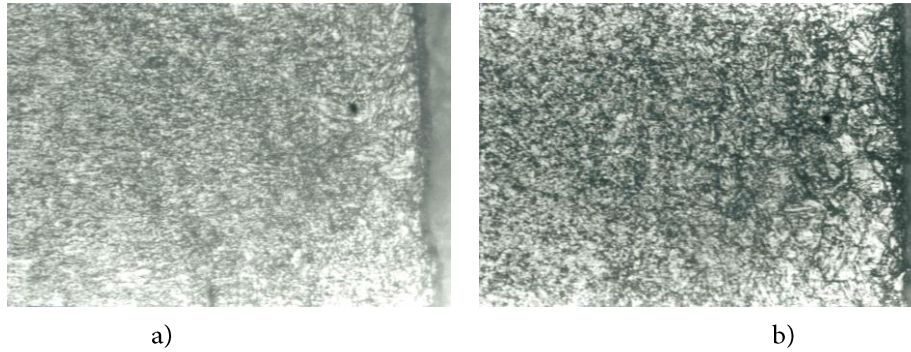
Stal 18HGT, stosowana tradycyjnie do nawęglania, wykazała wyraźniejsze – w porównaniu ze stalą 33H3MF – zmiany strukturalne po obróbce cieplnej i nagniataniu. Na rys. 1a pokazano struktury stali 18HGT (ferytyczno-perlitycznej) w stanie wyżarzonym i po azotowaniu. Widać, że nagniatanie (rys. 1b) spowodowało wyraźne rozdrobnienie ziaren. Po zahartowaniu i ulepszeniu cieplnym struktura stali 33H3MF w obserwowanym obszarze nie wykazała segregacji węgla. Ponadto, w próbce nagniatanej, przy powierzchni, ujawnione zostały granice rozdrobnionych ziaren (rys. 2).

The 18HGT steel, traditionally carburized, has shown more clear structural changes after heat treatment and burnishing as compared to the 33H3MF steel. Fig. 1a shows the structures of the 18HGT steel (ferritic-pearlitic) in the annealed state and after nitriding. It is visible that burnishing (Fig. 1b) has caused clear break-up of grains. After hardening and toughening, the 33H3MF steel structure in the area under examination has not shown segregation of carbon. Moreover, in the burnished sample, boundaries of the broken-up grains have been found (Fig. 2).



Rys. 1. Struktura warstwy wierzchniej stali 18HGT w stanie wyżarzonym i po azotowaniu. Próbka przed azotowaniem: po obróbce mechanicznej (a), nagniatana (b). Pow. 500x

Fig. 1. 18HGT steel top layer structure as annealed and nitrided. Sample prior to nitriding: machined (a), burnished (b). Magnification 500x

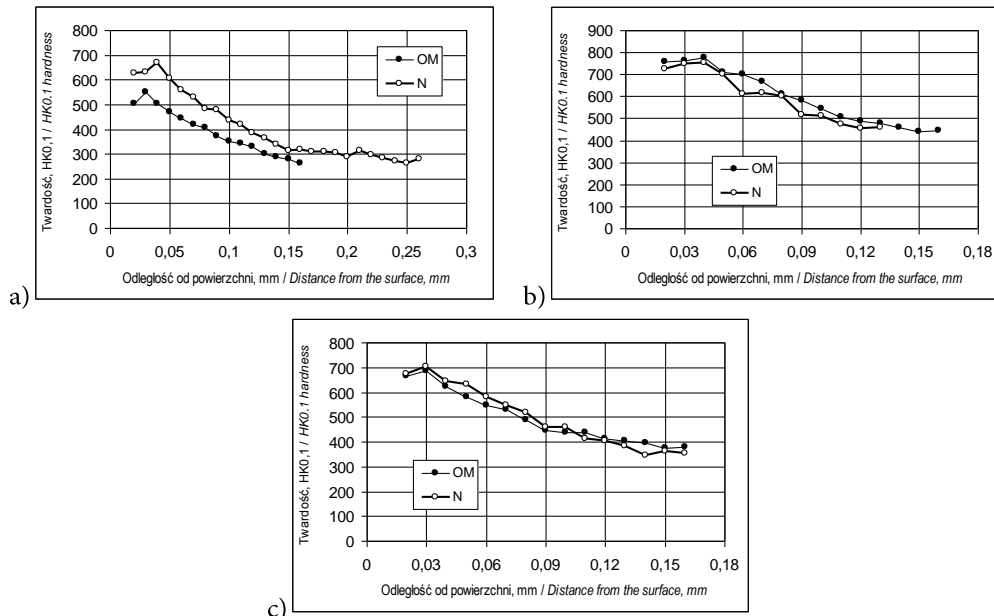


Rys. 2. Struktura warstwy wierzchniej stali 18HGT po ulepszeniu cieplnym i po azotowaniu. Próbkę przed azotowaniem: po obróbce mechanicznej (a), po nagniataniu (b). Pow. 500x

Fig. 2. 18HGT steel top layer as toughened and nitrided. Sample prior to nitriding: machined (a), burnished (b). Magnification 500x

Na rys. 3 przedstawiono wyniki pomiarów twardości HK0,1 próbek w stanie wyżarzonym, hartowanym i ulepszonym cieplnie. Z porównania rozkładów twardości wynika wyraźny wpływ odkształcenia plastycznego na próbce w stanie wyżarzonym (a), w której podstawową strukturą był ferryt. W strukturze stali ulepszonej cieplnie, w miarę jednorodnej, zawierającej drobny cementyt i ferryt, (prawdopodobnie bogatszy w składniki stopowe) oraz w próbce zahartowanej, wpływ odkształcenia plastycznego na dyfuzję azotu był znikomy. Różnice twardości w obszarze warstwy azotowanej były niewielkie.

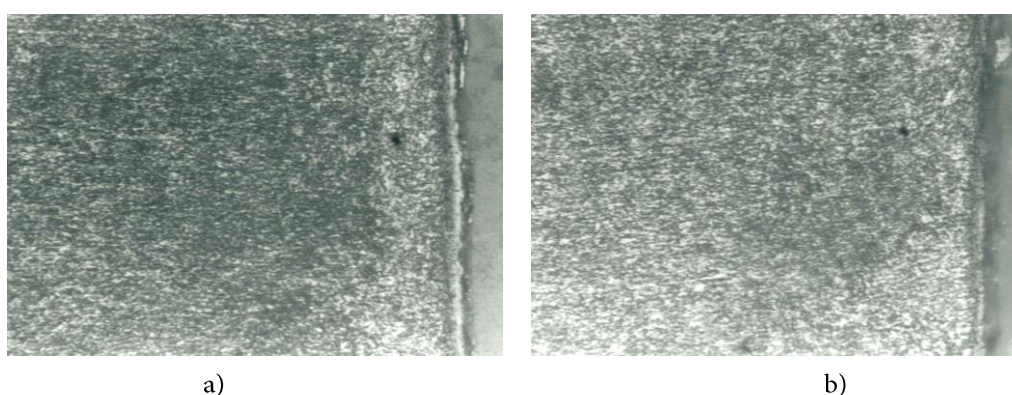
Fig. 3 shows the results of HK0.1 hardness measurements of the samples in the annealed, hardened and toughened state. Comparison of the hardness distributions shows a clear influence of plastic strain on the annealed sample (a) in which the basic structure was ferrite. In the structure of the toughened steel, moderately homogenous, containing fine cementite and ferrite (probably richer in alloy components) and in the hardened sample, there was only slight influence of plastic strain on nitrogen diffusion. Hardness differences in the area of the nitrided layer were only small.



Rys. 3. Rozkłady twardości HK0,1 próbek ze stali 18HGT: próbka wyżarzona (a), zahartowana (b) i ulepszona cieplnie (c) po azotowaniu jonowym: OM – obróbka mechaniczna, N – nagniatanie
Fig. 3. HK 0.1 hardness distributions in 18HGT steel samples: annealed sample (a), hardened one (b) and toughened one (c) after ion nitriding: OM – machining, N – burnishing

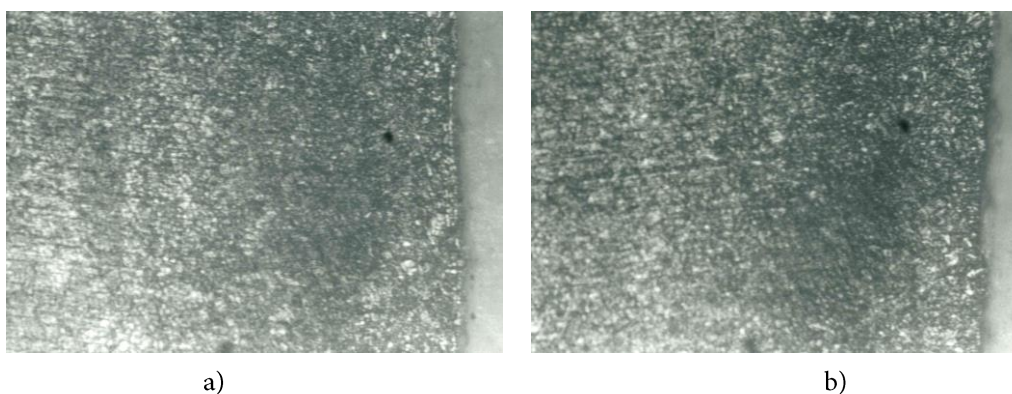
Struktury stali 33H3MF próbek, niezależnie od obróbki cieplnej (wyżarzanie, hartowanie, ulepszenie cieplne) były podobne; zawierały drobny cementyt na tle ferrytycznej lub martenzytycznej osnowy. Na rys. 4 przedstawiono struktury stali wyżarzonej, azotowanej jonowo po obróbce mechanicznej (a) i nagniataniu (b). Z rysunków wynika, że struktury stali przy powierzchni próbki są podobne, a grubość warstwy dyfuzyjnej – zbliżona. Na rys. 5 pokazano struktury stali 33H3MF ulepszonej cieplnie i azotowanej jonowo. Z rysunku wynika, że nagniatanie nie spowodowało widocznych zmian strukturalnych; podobnie w przypadku próbek zahartowanych.

The structures of 33H3MF steel samples were similar regardless of the heat treatment (annealing, hardening, toughening); they contained fine cementite on a background of ferritic or martensitic matrix. Fig. 4 shows the structures of annealed, ion nitrided steel after machining (a) and after burnishing (b). The figures show that the structures of the steel near to the sample surface are similar and so is the thickness of the diffusion layer. In Fig. 5, one can see the structures of toughened and ion nitrided 33H3MF steel. The figure shows that burnishing has not caused visible structural changes, similarly in the case of hardened samples.



Rys. 4. Struktura warstwy wierzchniej stali 33H3MF w stanie wyżarzonym i po azotowaniu. Próbką przed azotowaniem: po obróbce mechanicznej (a), po nagniataniu (b). Pow. 500x

Fig. 4. Top layer structure of 33H3MF steel in annealed condition and after nitriding. Sample prior to nitriding: after machining (a), after burnishing (b). Magnification 500x



Rys. 5. Struktura warstwy wierzchniej stali 33H3MF w stanie ulepszonym cieplnie i po azotowaniu. Próbką przed azotowaniem: po obróbce mechanicznej (a), po nagniataniu (b). Pow. 500x

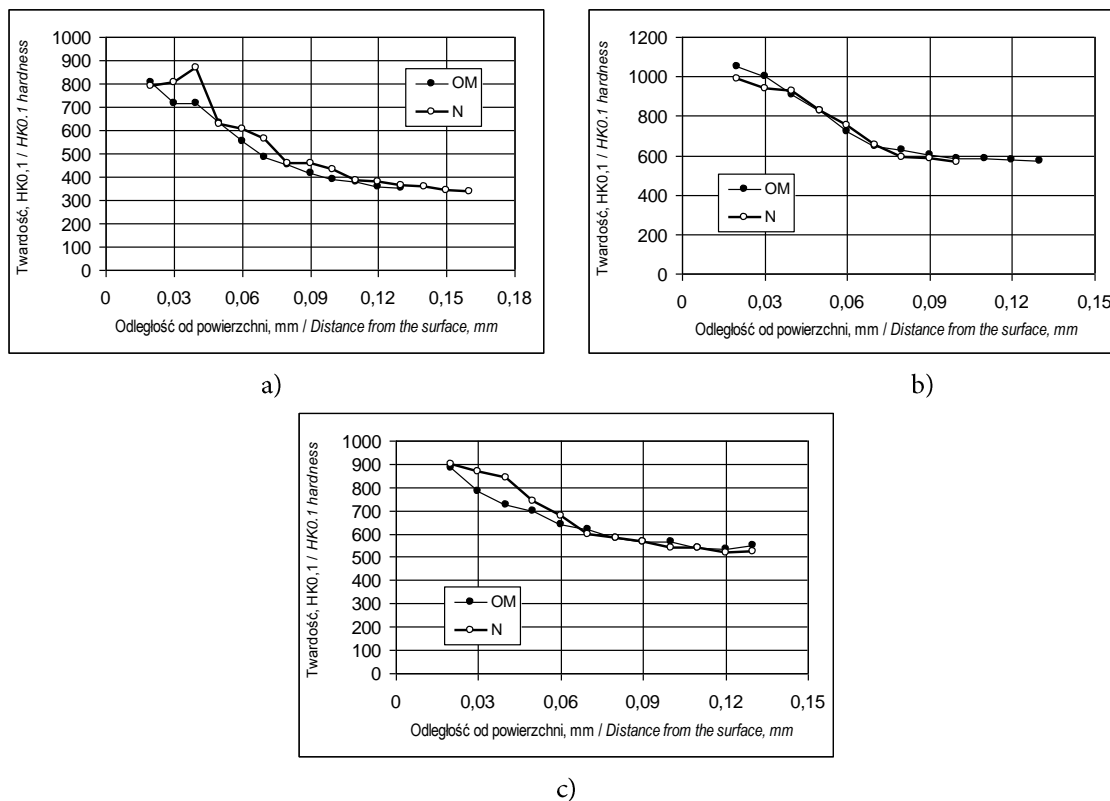
Fig. 5. Top layer structure of 33H3MF steel in toughened condition and after nitriding. Sample prior to nitriding: after machining (a), after burnishing (b). Magnification 500x

Wyniki pomiarów twardości próbek ze stali 33H3MF prezentują rozkłady na rys. 6. Z porównania wyników pomiarów wynika, że nagniatanie

Hardness measurements of the 33H3MF steel show distributions to be seen in Fig. 6. Comparison of the results proves that burnishing only

w niewielkim stopniu wpływa na zmianę twardości warstwy wierzchniej. Niewielki wzrost twardości spowodowany nagniataniem miał miejsce w przypowierzchniowej strefie warstwy azotowanej próbek wyżarzonych (a) i ulepszonych cieplnie (c).

slightly influences the change of the top layer hardness. A slight increase of hardness due to burnishing has taken place in the surface zone of the nitrided layer of the annealed samples (a) and toughened one (c).



Rys. 6. Rozkłady twardości HK0,1 próbek ze stali 33H3MF: próbka wyżarzona (a), zahartowana (b) i ulepszona cieplnie (c) po azotowaniu jonowym: OM – obróbka mechaniczna, N – nagniatanie

Fig. 6. HK0.1 hardness distributions in 33H3MF steel samples: annealed sample (a), hardened one (b) and toughened one (c) after ion nitriding: OM – machining, N – burnishing

5. PODSUMOWANIE

Stale konstrukcyjne i niektóre stale narzędziowe wykazują małą odporność na odpuszczające działanie temperatury, dlatego azotowanie takich stali winno być prowadzone w możliwie najniższej temperaturze. W pracy [3] wykazano, że temperatura 400°C jest najniższą temperaturą, w której proces azotowania jonowego powoduje powstanie warstwy dyfuzyjnej o grubości około 0,05 mm. Toteż, w dalszych badaniach, przy ocenie wpływu struktury stali na skutki krótkookresowego azotowania jonowego zastosowano tę właśnie temperaturę.

5. SUMMARY

Constructional steels and some tool steels have low resistance to the tempering effect of temperature; that is why nitriding of those steels should be performed at the lowest possible temperature. In work [3], it has been shown that the temperature of 400°C is the lowest one at which the process of ion nitriding results in formation of a diffusion layer with the thickness of about 0.05 mm. Therefore, in further investigation, this temperature has been applied in the assessment of the influence of the steel structure on the results of short term ion nitriding.

Badania wykazały, że oprócz zmian strukturalnych, obróbka cieplna, a zwłaszcza nagniatanie, powodują znaczące zmniejszenie chropowatości powierzchni, zmniejszenie parametru R_a . Badane stale 18HGT (tradycyjna stal do nawęglania) i 33H3MF (do azotowania) wykazują różniące się wyraźnie struktury i reagują inaczej na zabiegi obróbki cieplnej, nagniatania i azotowania jonowego.

W przypadku stali 18HGT, o pasmowej strukturze, nagniatanie spowodowało:

- rozdrobnienie ziaren przy powierzchni próbki w stanie wyżarzonym – w próbkach hartowanych i ulepszonych cieplnie tego zjawiska nie zaobserwowano; struktury były bardziej jednorodne;
- wzrost twardości próbki wyżarzonej (rys. 1)
 - próbki hartowane i ulepszone cieplnie nie wykazywały wpływu umocnienia na rozkłady twardości (rys. 2 i 3).

Stal 33H3MF charakteryzowała się:

- strukturą równomierną, zawierającą drobne węgliki na tle osnowy (martenzytycznej lub ferrytycznej) – nagniatanie nie spowodowało widocznych zmian strukturalnych w próbkach po różnej obróbce cieplnej.
- Powierzchniowe odkształcenie plastyczne nie wpłynęło na profile twardości próbek po różnych obróbkach cieplnych.

Investigation has shown that, in addition to structural changes, heat treatment, particularly burnishing, result in significant reduction of surface roughness, reduction of the R_a parameter. The steels under investigation, 18HGT (traditional carburizing steel) and 33H3MF (nitriding steel) show clearly different structures and respond in different ways to the operations of heat treatment, burnishing and ion nitriding.

In the case of 18HGT steel with band structure, burnishing has resulted in:

- *Break-up of grains at the surface of an annealed sample – in hardened and toughened samples, this phenomenon has not been observed; the structures were more homogenous;*
- *Increase of hardness of an annealed sample (Fig. 1) – hardened and toughened samples have not shown an influence of consolidation on the hardness distributions (Fig. 2 and 3).*

33H3MF steel was characterised by:

- *Uniform structure containing fine carbides on the background of martensitic or ferritic matrix with no visible structural changes resulting from burnishing in samples after various kinds of heat treatment.*
- *Surface plastic strain has not influenced the hardness profiles of samples after various kinds of heat treatment.*

LITERATURA

- [1] Nakonieczny A., Pokorska I., Tacikowski J., Stobierski L., Kasprzycka E., Mońka G.: *Powierzchniowa obróbka plastyczna materiałów twardych*. *Archiwum Technologii Maszyn i Automatykacji* t. 30 nr 1 (2010), s. 135–142.
- [2] Łupicka O. Warcholiński B.: *Kształtowanie warstwy wierzchniej w połączonych procesach kulowania i azotowania na przykładzie stali 40HM (42CrMo4)*. *Inżynieria Powierzchni* nr 4 (2011), s. 43–49.
- [3] Berkowski L.: *Wpływ nagniatania i temperatury azotowania jonowego na właściwości warstwy dyfuzyjnej stali 38HMJ*. *Obróbka Plastyczna Metali* vol. XXVI nr 1 (2015), s. 7–20.
- [4] Berkowski L.: *Obróbka cieplno-chemiczna odkształconych plastycznie wyrobów*. Projekt badawczy Komitetu Badań Naukowych. Praca INOP, Poznań 1994, 114 s.

REFERENCES

- [1] Nakonieczny A., Pokorska I., Tacikowski J., Stobierski L., Kasprzycka E., Mońka G.: *Surface cold working – shot peening of materials*. *Archiwum Technologii Maszyn i Automatykacji* vol. 30 no. 1 (2010), pp. 135–142 (article in Polish).
- [2] Łupicka O. Warcholiński B.: *Forming of the surface layer of 42CrMo4 steel in connected processes of shot peening and nitriding*. *Inżynieria Powierzchni* no. 4 (2011), pp. 43–49 (article in Polish).
- [3] Berkowski L.: *The influence of burnishing and the temperature of ion nitriding on the properties of the diffusion layer of 38 HMJ steel*. *Obróbka Plastyczna Metali* vol. XXVI no. 1 (2015), pp. 7–20.
- [4] Berkowski L.: *Obróbka cieplno-chemiczna odkształconych plastycznie wyrobów*. *Research project of the Committee of Scientific Research*. INOP work, Poznań 1994, 114 p.

- [5] Dragon R.: *Wpływ struktury na umocnienie zgniotem i dyfuzję azotu*. Praca dyplomowa. Politechnika Poznańska, Wydział Maszyn Roboczych i Pojazdów Samochodowych, Poznań 1995, 78 s.
- [6] Edenhofer B., Lerche W., Göhring W.: *Gaseous nitrocarburising – problems and solutions with today's process technology*. *Heat Treatment of Metals* nr 2 (1995), s. 27–33.

- [5] Dragon R.: *Wpływ struktury na umocnienie zgniotem i dyfuzję azotu*. Thesis. Poznań University of Technology, Wydział Maszyn Roboczych i Pojazdów Samochodowych, Poznań 1995, 78 p.
- [6] Edenhofer B., Lerche W., Göhring W.: *Gaseous nitrocarburising – problems and solutions with today's process technology*. *Heat Treatment of Metals* no. 2 (1995), pp. 27–33.