

Jerzy BARGLIK

Katedra Podstaw Procesów Metalurgicznych

Wydział Metalurgii i Inżynierii Materiałowej

Politechnika Śląska

HARTOWANIE INDUKCYJNE PILNIKÓW-GŁADZIKÓW DO METALI

Streszczenie. W artykule omówiono wyniki badań procesu hartowania indukcyjnego dwóch typów pilników-gładzików do metali. Uzyskano wymaganą twardość powierzchni roboczej pilników, prawidłowy kształt wymiary i strukturę warstwy zahartowanej.

Summary. The paper discussed the tests results of the induction hardening process for two types of files used for metals. The required hardness of the file work-surface has been obtained. Also the proper shape, dimension and the structure of hardened layer have been obtained.

Резюме. В статье рассмотрены итоги исследований процесса индукционной закалки двух видов шлифных напильников к металлам. Получена требуемая твердость рабочей поверхности напильников, правильная форма, размеры и структура закаленного слоя.

1. WSTĘP

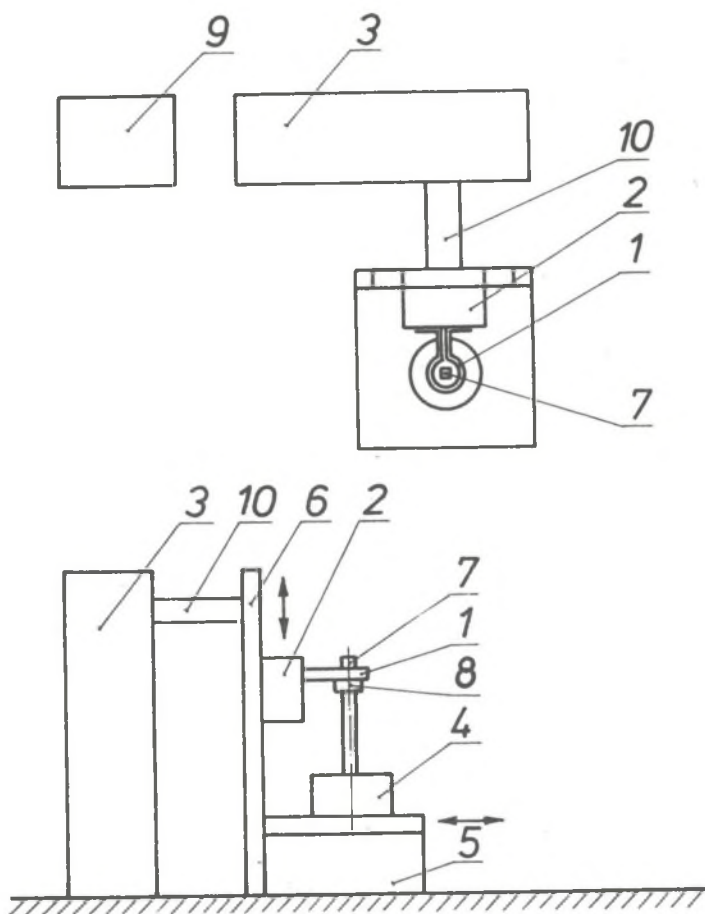
Dotychczasowa technologia obróbki cieplnej pilników - gładzików do metali przewiduje ich hartowanie objętościowe poprzez nagrzewanie w piecu tyglowym do wymaganej temperatury, a następnie szybkie schłodzenie w odpowiednio dobranej kąpieli wodnej. Do nagrzewania wsadu stosowany jest zazwyczaj piec solny opalany gazem ziemnym. W skład kąpieli solnej, jako dwa główne składniki, wchodzi: chlorek sodu NaCl (50%) i węglan sodu Na_2CO_3 (42-46%) oraz jako dodatek cyjanek sodu NaCN (4-8%). Schładzanie pilników odbywa się w cieczy chłodzącej, którą stanowi woda z kilkuprocentowym dodatkiem soli kuchennej. Dotychczasowa technologia ma następujące wady:

- duża energochłonność procesu,
- zbyt duża grubość warstwy zahartowanej,
- kłopoty z odkształceniami pohartowniczymi,
- brak możliwości automatyzacji procesu,
- ciężkie warunki pracy obsługi stanowiska (nadmierne obciążenia termiczne [1], obecność oparów związków cyjanku, jednostajny i nużący charakter pracy),
- niekorzystne warunki ekologiczne.

W Instytucie Mechaniki Precyzyjnej w Warszawie opracowano przed kilku laty nową metodę nagrzewania pilników przed hartowaniem THERMOFLUID [2]. Metoda ta pozwala wyeliminować nagrzewanie pilników w kąpieli solnej z dodatkiem cyjanku sodu wprowadzając w to miejsce nagrzewanie w złożach fluidalnych. Sposób hartowania pilników pozostaje bez zmian. Są one nadal hartowane objętościowo. Większość wad dotychczasowej technologii utwardzania pilników można wyeliminować poprzez wprowadzenie procesu hartowania indukcyjnego powierzchni roboczych pilników. Możliwe jest wtedy uzyskanie znacznie mniejszej grubości warstwy zahartowanej (1-2 mm) przy stosunkowo małym zużyciu energii elektrycznej. Dzięki równomiernemu nagrzewaniu cienkiej warstwy powierzchniowej pilnika powinno unikać się odkształceń pohartowniczych. Możliwa jest ponadto pełna mechanizacja i automatyzacja stanowiska. Zdecydowanej poprawie powinny ulec warunki pracy obsługi.

2. STANOWISKO BADAWCZE

Celem doboru parametrów procesu powierzchniowego hartowania indukcyjnego konieczne jest przeprowadzenie prób utwardzania wybranej partii pilników na stanowisku badawczym. Aby zminimalizować koszty oraz skrócić czas przygotowania i wykonania badań, postanowiono wykorzystać istniejące stanowisko hartownicze wyposażone w generator lampowy w.cz.GIS-50 (moc 50 kW, częstotliwość wyjściowa 415 kHz) oraz podajnik wsadów produkcji Instytutu Mechaniki Precyzyjnej w Warszawie. W urządzeniu tym (rys.1) wzbudnik (1) przyłącza się do wyodrębnionego transformatora dopasowującego w.cz.(2), włączonego do obwodu rezonansowego generatora lampowego znajdującego się w oddzielnej szafie (3). Transformator wraz ze wzbudnikiem może poruszać się w płaszczyźnie pionowej po prowadnicach (6). Prędkość posuwu jest regulowana w sposób ciągły. Możliwa jest również ciągła regulacja mocy czynnej generatora. Wsad, na przykład hartowany pil-



Rys.1. Schemat poglądowy stanowiska doświadczalnego do hartowania indukcyjnego pilników-gładzików. 1 - wzbudnik, 2 - transformator dopasowujący, 3 - szafa generatora, 4 - uchwyt, 5 - stół, 6 - prowadnice wsadu, 7 - wsad (pilnik), 8 - natryskiwacz, 9 - zasilacz generatora, 10 - tor prądowy

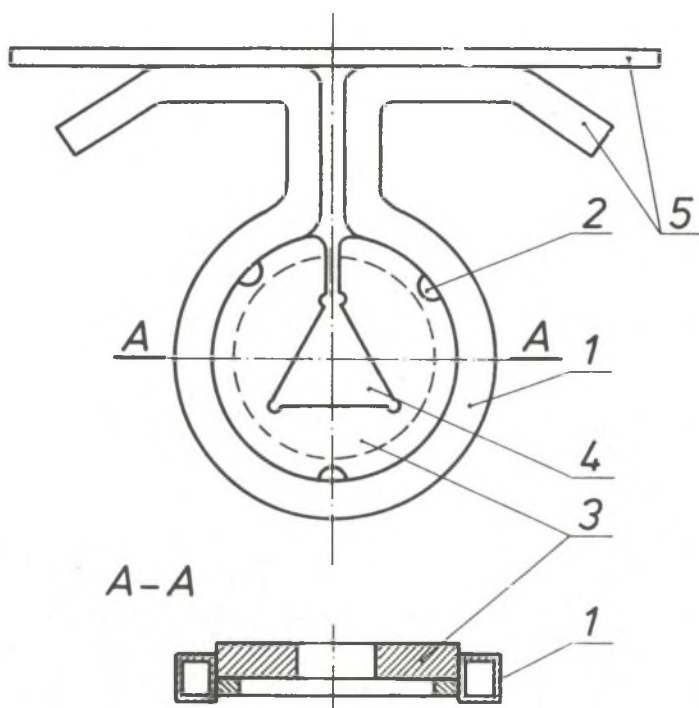
Fig.1. The draft of the experimental stand for induction hardening of files used for metals. 1 - inductor, 2 - adjusting transformer, 3 - generator block, 4 - grip, 5 - table, 6 - shears, 7 - charge (file), 8 - sprayer, 9 - generator feeder, 10 - electric supply line

nik (7), mocowany jest w uchwycie (4) znajdującym się na stole (5). W miarę potrzeb możliwe jest przesuwanie stołu (5) wraz z uchwytem (4) w płaszczyźnie poziomej.

W docelowym rozwiązaniu urządzenia przewidziano możliwość hartowania pilników o różnych kształtach i wymiarach. Wymaga to wykonania odpowiedniego zestawu wzbudników i zmiany ich w zależności od potrzeb. Rozważano przydatność różnego rodzaju wzbudników, dążąc przy tym do maksymalnego uproszczenia ich konstrukcji, sposobu mocowania i wymiany. Zdecydowano się na prosty w wykonaniu i uniwersalny wzbudnik (rys.2) [3,4], składający się z oprawki (1), wykonanej z prostokątnej rurki miedzianej, wewnątrz której mocowana jest za pomocą śrub (2) wkładka (3) z blachy miedzianej z wycięciem (4) dostosowanym do kształtu pilnika. Oprawka (1) mocowana jest poprzez przyłącze (5) do wyprowadzeń prądowych transformatora dopasowującego generatora. W przypadku zmiany asortymentu hartowanych pilników zmienia się tylko wkładkę (3). Wkładka chłodzona jest pośrednio, wodą płynącą przez oprawkę (1). Wskutek występowania zjawisk naskórkowości i zbliżenia prąd we wzbudniku płynie praktycznie tylko w cienkiej warstwie zewnętrznej wkładki. Niewielka grubość wkładki i mała szczelina powietrzna (1-2 mm) między wkładką i pilnikiem powoduje dużą koncentrację mocy wydzielanej we wsadzie, co umożliwia osiągnięcie znacznych prędkości nagrzewania. Omawiane rozwiązanie wzbudnika pozwala uzyskać dużą równomierność nagrzewania, nawet przy bardzo skomplikowanych kształtach wsadów. Korekcja rozkładu temperatury na obwodzie wsadu jest bardzo prosta, wymaga jedynie (zwykle niewielkiej) zmiany kształtu wycięcia.

3. DOBÓR PARAMETRÓW PROCESU HARTOWANIA

Badania postanowiono przeprowadzić dla dwóch typów pilników-gładzików do metali wykonanych ze stali narzędziowej do pracy na zimno N 12 E (pilnik płaski RPSa 300/2 i pilnik półokrągły RPSc 300/2). Twardość stali N 12 E w stanie zmięczonym wynosi około 207 HB, a po zahartowaniu około 62 HRC. Stal węglowa N 12 E jest mało wrażliwa na przegrzewanie. Narzędzia wykonane z tej stali nie mogą pracować w temperaturze wyższej niż 200 °C (ze względu na groźbę odpuszczenia). Mogą być wykorzystywane przy małych obciążeniach dynamicznych na ścieranie. Hartowanie stali N 12E prowadzi się wprost w wodzie lub w solance z 5-10 % zawartością soli kuchennej w zakresie temperatur od 760-780 °C [5].



Rys.2. Wzbudnik doświadczalny. 1 - oprawka, 2 - śruby mocujące, 3 - wkładka, 4 - wycięcie odwzorowujące kształt wsadu, 5 - przyłącza
 Fig.2. Experimental inductor. 1- holder, 2 - clamping screws, 3 - insert, 4 - the cut showing the charge shape, 5 - terminals

Technologia hartowania indukcyjnego pilników powinna zapewnić:

- utwardzenie warstwy powierzchniowej do ok. 60 HRC na głębokość co najwyżej 2 mm, z zachowaniem miękkiego rdzenia pilnika,
- równomierny rozkład twardości warstwy zewnętrznej na całej części roboczej pilnika,
- odkształcenia pohartownicze zgodne z wymaganiami właściwej normy [6],
- powtarzalność rezultatów procesu hartowania.

W celu uzyskania tak cienkiej warstwy zahartowanej (warunek a), niezbędne jest nagrzewanie indukcyjne pilników prądem w.cz.(około 0.5 MHz) w możliwie jak najkrótszym czasie, aby zachować powierzchniowy charakter nagrzewania. Temperatura powierzchni wsadu powinna wynosić około 800 °C. Proces należy prowadzić przy dużych gęstościach powierzchniowych mocy rzędu $(4+5)10^4 \text{ kW/m}^2$. Wyklucza to stacjonarne nagrzewanie całego pilnika,

ponieważ produkowane lub dostępne w kraju źródła zasilania w.c.z. osiągają maksymalną moc czynną do 100 kW. W rozważanym przypadku, po uwzględnieniu strat mocy we wzbudniku i w torze zasilającym, możliwe jest jednoczesne nagrzewanie do temperatury hartowania tylko niedużej części powierzchni pilnika, nie większej niż $0,002 \text{ m}^2$. Wynika stąd konieczność wyboru przelotowej metody hartowania.

O jakości obróbki cieplnej z wykorzystaniem nagrzewania indukcyjnego decydują przede wszystkim następujące czynniki:

- stan pola temperatury,
- rodzaj środka chłodzącego oraz intensywność chłodzenia,
- stałość wszystkich parametrów procesu.

Właściwą temperaturę płaszczyzny roboczej pilnika ($800 \text{ }^\circ\text{C}$) uzyskano dla następujących parametrów układu grzejnego:

- pilnik płaski RPSa 300/2 (długość - 300 mm, szerokość - 30 mm, grubość (na osi pilnika) - 5 mm):

moc czynna generatora (po stronie zasilania) $P_g = 30-45 \text{ kW}$,

prędkość przesuwu $v_w = 8,2-6 \text{ mm/s}$,

- pilnik półokrągły RPSc 300/2 (długość - 300 mm, szerokość - 30 mm, grubość (na osi pilnika) - 5 mm):

moc czynna generatora $P_g = 27-45 \text{ kW}$,

prędkość przesuwu $v_w = 8,2-6 \text{ mm/s}$.

4. PRÓBY HARTOWANIA

Dla tak dobranych parametrów procesu przeprowadzono próby hartowania indukcyjnego odpowiednio przygotowanych dwóch typów pilników (wybrane fragmenty brzeszczotów pozbawiono nacięć i wypolerowano, umożliwiając tym samym szybkie przeprowadzenie przybliżonych pomiarów twardości na stanowisku doświadczalnym bezpośrednio po próbach hartowania).

Wyniki prób:

Pilniki płaskie

Wymagane wartości twardości powierzchni pilnika uzyskano przy nastawie mocy czynnej generatora $P_g = 38 - 45 \text{ kW}$ i przy prędkości posuwu $v_w = 8,2 \text{ mm/s}$.

Pilniki półokrągłe

Wymagane wartości twardości powierzchni pilnika uzyskano przy mocy

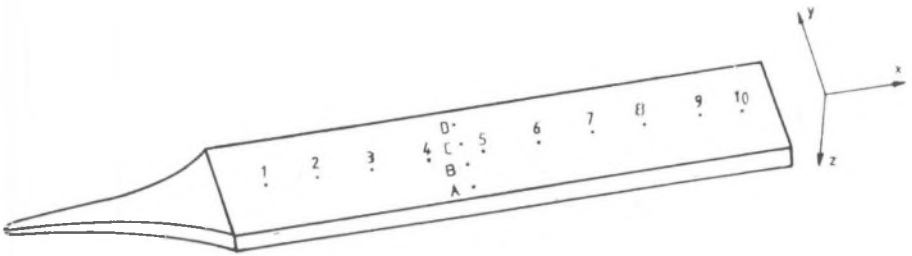
czynnej generatora w.cz. $P_g = 36 - 45$ kW i maksymalnej, możliwej do uzyskania na stanowisku doświadczalnym, prędkości przesuwu układu wzbudnik-natryskiwacz $v_w = 8,2$ mm/s.

Przeprowadzono badania rozkładu twardości na powierzchni roboczej dla obu typów pilników. Na każdym z pilników w kilku miejscach zeszlifowano powierzchnię trącą i wykonano pomiary twardości metodą Brinella. Twardość mierzono przy obciążeniu 750 kG stosując kulkę o średnicy $D = 5$ mm. Twardość pilników przed obróbką cieplną wahała się w granicach od 180 do 200 HB. Po zahartowaniu pilników pomiary twardości przeprowadzono ponownie stosując tym razem metodę Rockwella. Pomiary przeprowadzono dla kilkunastu pilników obu typów przy mocy czynnej generatora $P_g = 40$ kW i prędkości przesuwu $v_w = 8,2$ mm/s. Stwierdzono równomierny rozkład twardości na całej powierzchni roboczej zahartowanych pilników. Wyniki pomiarów dla jednego z pilników obu typów zestawiono w tab.1, a rozmieszczenie punktów pomiarowych pokazano na rys.3. W górnej części tabeli zamieszczono rozkład twardości wzdłuż długości pilnika pomierzony w jego osi symetrii (oś x) dla 10 punktów pomiarowych, natomiast w środkowej części tabeli wyniki pomiarów rozkładu twardości na powierzchni w funkcji szerokości pilnika (oś y) dla 4 punktów pomiarowych.

Dwa pilniki płaskie i jeden pilnik półokrągły przecięto celem określenia rozkładu twardości w przekroju poprzecznym narzędzia. Wyniki pomiarów dla pilnika płaskiego i półokrągłego zamieszczono w tab.1. Stwierdzono, że dla obu typów pilników rozkład twardości w przekroju poprzecznym narzędzia jest prawidłowy. Grubość warstwy zahartowanej wynosi około 1 mm. Twardość w warstwie materiału odległej o około 2 mm od powierzchni roboczej pilnika wynosi 180-185 HB, co oznacza zachowanie miękkiego i ciągliwego rdzenia pilnika.

5. BADANIA METALOGRAFICZNE I EKSPLOATACYJNE

Do oceny mikrostruktury hartowanych pilników użyto klasycznych metod metalografii. Próbkę wycięto przy użyciu przecinarki tarczowej z intensywnym chłodzeniem wodnym, szlifowano kolejno przy użyciu papierów ściernych o malejącej gradacji, a następnie polerowano mechanicznie na tarczach filcowych nasyconych pastą diamentową. Otrzymane w ten sposób zgłady metalograficzne poddano trawieniu w 3% roztworze alkoholowym HNO_3 , celem ujawnienia struktury i obszarów zahartowanych powierzchniowo. Preparaty meta-



Rys.3. Rozmieszczenie punktów pomiaru twardości na powierzchni roboczej pilnika

Fig.3. Spacing the points of hardness measurements on the file work - surface

lograficzne obserwowano przy zastosowaniu mikroskopu optycznego Reichert Me-F2 (powiększenie 500 razy). Badania mikrostruktury wykazały, że w strefie przypowierzchniowej o grubości około 1 mm występuje bardzo drobnoiglasty martenzyt z nierozpuszczonymi kulkami cementytu. Jest to typowa struktura warstwy zahartowanej dla tego gatunku stali. Pod tą warstwą ujawniono strukturę przejściową składającą się z nieprzemienionego sferoidytu, drobnego martenzytu i szczątkowego austenitu. Środkowa warstwa to sferoidyt, a więc struktura, którą miał materiał pilnika w stanie wyjściowym przed procesem obróbki cieplnej.

Badania metalograficzne wykazały, że pilniki zahartowane indukcyjnie posiadają:

- wymaganą wartość twardości powierzchni roboczej narzędzia,
- prawidłowy kształt i wymiary warstwy zahartowanej,
- właściwą dla tego gatunku stali mikrostrukturę warstwy zahartowanej i warstwy przejściowej,
- miękki (170-180 HB) i ciągliwy rdzeń chroniący pilnik przed pękaniem w przypadku uderzeń oraz stwarzający możliwość korygowania ewentualnych odkształceń pohartowniczych.

Partię czterech zahartowanych indukcyjnie pilników płaskich poddano badaniom eksploatacyjnym zgodnie z wymaganiami zawartymi w normie [6]. Metodę tych badań oraz ich wyniki szerzej omówiono w [7]. Wszystkie przebadane pilniki płaskie w pełni odpowiadały wymaganiom normy [6].

Tablica 1

Wyniki pomiarów twardości dwóch typów pilników

Twardość na powierzchni roboczej wzdłuż pilnika(oś x)											
Punkty pomiarowe	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Pilnik płaski											
Twardość w HRC	63	64	66	64	67	63	65	63	65	66	
Pilnik półokrągły											
Twardość w HRC	62	61	63	61	64	62	62	62	63	62	
Twardość na powierzchni roboczej wszerz pilnika(oś y)											
Rodzaj pilnika	płaski				półokrągły						
Punkty pomiarowe	A	B	C	D	A	B	C	D			
Twardość w HRC	63	62	63	64	62	61	62	62			
Rozkład twardości w przekroju poprzecznym pilnika (oś z)											
Rodzaj pilnika	płaski					półokrągły					
Odl.w mm	0	0,5	1	1,5	2	0	0,5	1	1,5	2	
Twardość HRC(HB)	64	-	60	32	(185)	63	61	-	36	(180)	

6. PODSUMOWANIE

Wyniki badań procesu hartowania indukcyjnego dwóch typów pilników do metali (gładzików) należy uznać za bardzo dobre i zachęcające do prowadzenia dalszych prac. Uzyskano wymaganą twardość warstwy powierzchniowej pilników przy zachowaniu praktycznie nie zmienionej struktury miękkiego i ciągliwego rdzenia. Stwierdzono równomierny rozkład twardości dla całej powierzchni roboczej pilników. Badania metalograficzne potwierdziły uzys-

kanie optymalnego rozkładu twardości w przekroju poprzecznym pilników oraz właściwej struktury poszczególnych warstw materiału (niemożliwej do uzyskania przy innej technologii hartowania). W trakcie prób ustalono i wyeliminowano przyczyny powstawania zniekształceń pohartowniczych (niesymetria układu chłodzenia i nagrzewania).

Wyniki powyższe uzyskano przy prędkości $v_w = 8,2$ mm/s i mocy czynnej generatora $P_g = 45$ kW. W tych warunkach czas hartowania jednego pilnika wynosi około 40 s.

Zastosowano oryginalną konstrukcję układu hartowniczego, pozwalającą na zahartowanie różnych typów pilników-gładzików przy użyciu zamontowanego na stałe wzbudnika cylindrycznego. Wymianie ulegać będzie jedynie wkładka wzbudnika oraz przymocowany do niej natryskiwacz, których kształt musi ściśle odpowiadać kształtowi pilnika.

Wprowadzenie nowej technologii powierzchniowego hartowania indukcyjnego pilników-gładzików do metali przyczyni się do istotnej poprawy ich jakości, spowoduje znaczne zmniejszenie energochłonności procesu i wydatną poprawę warunków pracy obsługi.

LITERATURA

- [1] Barglik J.: Normy obciążeń termicznych pracowników na stanowiskach elektrotermicznych. Materiały III Konferencji "Badania naukowe w elektrotermii". Wisła 1988, ss.63-66.
- [2] Rogalski Z., Obuchowicz Z., Malinowski Z.: Fluidalne grzanie pilników do hartowania. XXV Seminarium Metaloznawstwa i Obróbki Ciepłej, Warszawa 1985, ss.44-49.
- [3] Sajdak C., Samek E.: Nagrzewanie indukcyjne. Wyd. Śląsk, Katowice 1987.
- [4] Słuchockij A.E., Ryskin S.E.: Induktory dla indukcyjnego nagiewa. Leningrad 1974, s.264.
- [5] Dobrzański R., Hajduczek E., Marciniak J., Nowosielski R.: Metaloznawstwo i obróbka cieplna materiałów narzędziowych. WNT, Warszawa 1990, s.746.
- [6] Polska Norma Pilniki ślusarskie PN-70/M-64660.
- [7] Barglik J., Cieśla M.: Hartowanie indukcyjne płaszczyzn roboczych narzędzi do pracy na zimno. Hutnik 2, 1991, ss.64-68.

INDUCTION HARDENING OF SMOOTH FILES FOR METALS

Abstract

Most disadvantages of hitherto existing smooth files volume hardening technology (high energy consumption, big post-hardening deformations, presence of noxious vapours of cyanide compounds) could be eliminated by application of induction hardening process of the file work-surfaces. It is possible then to achieve considerably smaller thickness of hardened layer (1 - 2 mm) and lack of post-hardening deformations. Files heating in the salt bath with an addition of cyanide compounds is also eliminated.

The paper presents the results of induction hardening investigations of the chosen groups of flat and half-round files. The hardening stand (Fig.1) with high frequency generator type GIS-50 is applied. The simple inductor consisting of a collet (1) made of copper pipe and an insert (3) made of copper sheet is used. The shape of a cut-out (4) in the insert is adapted to the shape of a file. In case of changing the files assortment it is necessary to replace only the insert. The exemplary inductor which can be used for triangle smooth files hardening has been presented in Fig.2.

Required values of file work-surface hardness (60-65 HRC) and accepted shape and dimensions of hardened layer are obtained for active power of the generator $P = 36 - 45$ kW and speed of travel $v = 8,2$ mm/s. The spacing of hardness measuring points is shown in Fig.3. The results of measurements are specified in Tab.1.

The following features of induction hardening files have been observed:

- required values of tool work-surface hardness,
- proper shape and dimensions of hardened layer,
- proper microstructure of the hardened layer of the file made of cold-work tool steel N 12 E,
- soft (170-180 HB) and ductile core of the file protecting it from cracking in case of hitting,
- possibility of elimination of post-hardening deformations if any.