

Włodzimierz Przybylski <sup>1)</sup>

## ZASTOSOWANIE OBRÓBKİ NAGNIATANIEM W TECHNOLOGII SIŁOWNIKÓW HYDRAULICZNYCH

**Streszczenie:** Opisano zintegrowaną technologię tulei cylindrów hydraulicznych polegającą na obróbce skrawaniem i powierzchniowej obróbce plastycznej przez nagniatanie. Przedstawiono konstrukcję specjalnych głowic roztaczająco-nagniatających, stanowisko obróbkowe i rezultaty obróbki tulei o średnicy otworu 100H7 i długości 1400mm. Osiągnięto chropowatość powierzchni  $R_a=0,16\pm 0,32\mu\text{m}$ . Proponowana technologia cylindrów hydraulicznych jest kilka razy krótsza od tradycyjnej polegającej na roztaczaniu i honowaniu.

**Słowa kluczowe:** cylindry hydrauliczne, nagniatanie, narzędzia.

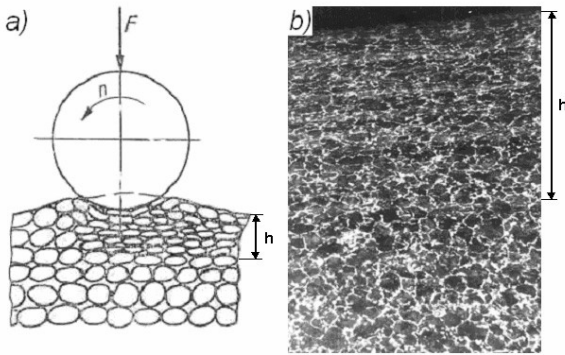
### WSTĘP

Duży wpływ na trwałość części maszyn ma rodzaj ich obróbki wykończeniowej, podczas której ostatecznie kształtowane są wymiary i właściwości użytkowe warstwy wierzchniej [1, 2]. Korzystne właściwości otrzymuje się wskutek obróbki nagniataniem. Nagniatanie jest powierzchniową obróbką plastyczną (rys. 1), realizowaną na obrabiarkach skrawających jako obróbka wykończeniowa i umacniająca, m. in. zamiast tradycyjnej obróbki ścierniej przez szlifowanie, dogładzanie czy honowanie. W procesie nagniatania nie wytwarza się wiórów i iskier, jak w przypadku stosowania obróbki wiórowej i ścierniej. Z tego względu m. in. zalicza się obecnie nagniatanie do ekologicznych metod obróbki. W technice wytwarzania następuje obecnie wzrost udziału metod bezwiórowych w tym także w obróbce dokładnych części maszyn [3, 4]. Współczesne obrabiarki CNC umożliwiają, bowiem obróbkę powierzchni z dużą dokładnością wymiarową (w 7 i 6 klasie dokładności), co umożliwia w praktyce osiągnięcie wielu korzyści wynikających ze stosowania nagniatania na obrabiarkach skrawających.

Należą do nich:

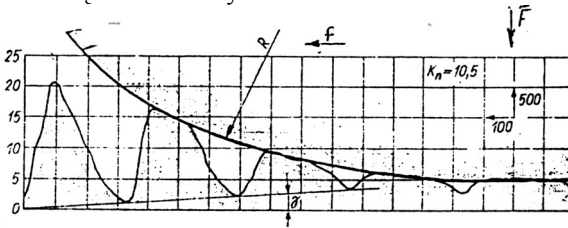
- możliwość uzyskania powierzchni o dużej gładkości ( $R_a=0,32\pm 0,04\mu\text{m}$ ) i dużym udziale nośnym profilu chropowatości (90%) (rys. 2),
- brak w nagniatanej powierzchni ziaren ściernych,
- wzrost wytrzymałości na zużycie ściernie powierzchni i wytrzymałości zmęczeniowej,
- możliwość stosowania narzędzi nagniatających na uniwersalnych tokarkach jednocześnie z obróbką skrawaniem (koncentracja obróbki na jednym stanowisku) [4],
- eliminacja lub ograniczenie czasochłonnych operacji takich jak gładzenie (honowanie), docieranie, szlifowanie, polerowanie,
- możliwość uzyskania wzrostu twardości powierzchni (do 40%) [2],
- duża wydajność procesu (jedno przejście robocze narzędzia) i redukcja kosztów wytwarzania, szczególnie w jednoczesnej obróbce skrawaniem i nagniataniem.

<sup>1)</sup> Politechnika Gdańska, Katedra Technologii Maszyn i Automatykacji Produkcji.



**Rys. 1.** Odształcenia plastyczne warstwy wierzchniej po nagniataniu: a) schemat, b) warstwa wierzchnia przedmiotu ze stali 45 po nagniataniu krążkiem z  $F=5\text{kN}$ ,  $f=0,214\text{mm/obr}$ ,  $R=10\text{mm}$ , powiększenie ok. 250x

Podczas obróbki nagniataniem w zależności od rodzaju procesu, możemy zwiększyć dokładność wymiarową przedmiotów lub praktycznie powtórzyć istniejącą dokładność po ostatnim zabiegu obróbki toczeniem lub roztaczaniem. Dokładność obróbki poprzedzającej nagniatanie ma zawsze wpływ na ostateczne wymiary obrabianego przedmiotu, szczególnie, gdy docisk elementów nagniatających do przedmiotu jest realizowany przez sprężyny lub układ pneumatyczny. Zwiększenie dokładności obróbki poprzedzającej, np. podczas toczenia na centrach obróbkowych i tokarkach CNC stwarza szansę na szersze stosowanie nagniatania w obróbce dokładnych i długich cylindrach hydraulicznych w tym także części hartowanych.



**Rys. 2.** Przebieg odkształcenia nierówności powierzchni po toczeniu ( $Rz_t = 80\ \mu\text{m}$ ) podczas nagniatania rolką o  $R=10\text{mm}$  z siłą docisku  $F=2\text{kN}$

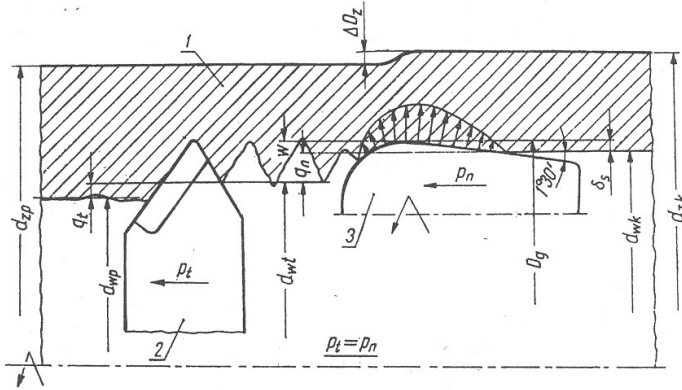
## OBRÓBKA TULEI CYLINDRÓW HYDRAULICZNYCH

W technologii cylindrów hydraulicznych i pneumatycznych najbardziej pracochłonna i trudna do wykonania jest tuleja cylindra, w której przesuwa się tłok wraz z uszczelnieniami. Powierzchnia robocza otworu tulei powinna być bardzo gładka  $R_a=0,16\pm 0,32\ \mu\text{m}$  oraz odporna na zużycie ścierne i chemiczne.

Wykonanie powierzchni otworów roboczych tulei cylindra jest szczególnie trudne, gdy stosunek ich długości do średnicy otworu jest większy od 10. W tradycyjnej technologii tulei stosuje się operacje obróbki skrawaniem przez roztaczanie i gładzenie, (honorowanie). Jest to metoda stosunkowo droga i z tego między innymi powodu poszukuje się nowych ekonomicznych metod produkcji tulei cylindrowych, np. nagniatanie z jednoczesnym roztaczaniem specjalnymi głowicami.

Nagniatanie może być zrealizowane jako oddzielny zabieg po zabiegu roztaczania otworu lub też jako łączny zabieg nagniatanie z jednoczesnym roztaczaniem. Schemat takiej obróbki przedstawiono na rys. 3. W tym przypadku trzeba stosować specjalne głowice skrawająco-nagniatające, w których przed stopniem nagniatającym wbudowane są noże roztaczające 2. Rolki nagniatające 3 toczą się po pierścieniowych bieżniach stożko-

wych lub kształtowych, tworząc z obrabianą tuleją układ nagniatania o tzw. docisku sztywnym. Docisk ten zależy od wartości wcisku nagniatania, ( $w$ ), który może być regulowany wysunięciem noża wykańczacza 2 w stosunku do nastawionego wymiary  $D_g$  stopnia nagniatającego. Wymiar otworu po przejściu głowicy zmniejsza się w stosunku do wymiaru nastawionego  $D_g$  o wartość odkształcenia sprężystego  $\delta_g$ . Zwiększa się natomiast średnica zewnętrzna obrabianej tulei cylindrowej (zwłaszcza cienkościennej) o wartość  $\Delta D_z$ .

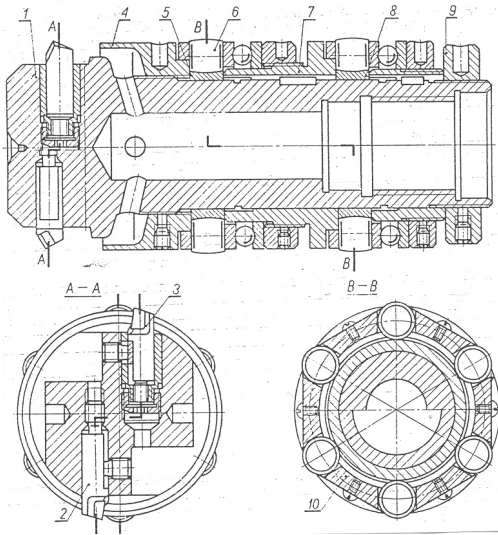


**Rys. 3.** Schemat obróbki tulei cylindrowej przez nagniatanie z jednoczesnym roztaczaniem: 1- obrabiana tuleja, 2- nóż roztaczający, 3- rolka nagniatająca specjalnej głowicy wielorolkowej,  $q_t$  – naddatek na toczenie,  $q_n$  – naddatek na nagniatanie,  $w$  – wciski nagniatania,  $\delta_g$  – odkształcenie sprężyste,  $\Delta D_z$  – zwiększenie średnicy zewnętrznej w skutek odkształcenia plastycznego,  $D_g$  – średnica stopnia nagniatającego głowicy,  $d_{wk}$  – średnica otworu po nagniataniu,  $d_{zk}$  – średnica zewnętrzna tulei po obróbce,  $d_{wt}$  – średnica otworu po roztaczaniu,  $d_{wp}$  – średnica otworu tulei po obróbce zgrubnej,  $d_{sp}$  – średnica zewnętrzna tulei przed obróbką

Dokładność obróbki, zwłaszcza kształtu, zależy w dużym stopniu od równomierności ścianki rury, z której wykonuje się tuleje cylindrowe i jednorodności jej materiału. W niektórych przypadkach rury te należy toczyć zgrubnie na powierzchni zewnętrznej (bazując na otworze), w celu wyrównania grubości ich ścianek. Można wówczas uzyskać po nagniataniu dokładność wymiaru i kształtu otworu w klasie IT7.

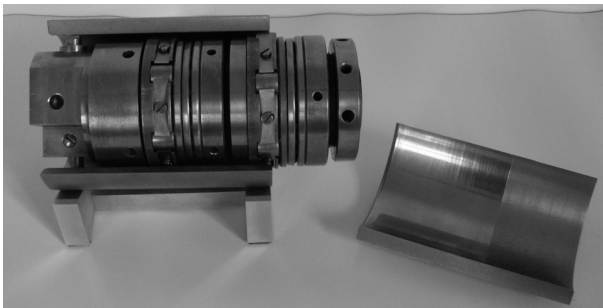
## NARZĘDZIA I STANOWISKO OBRÓBKOWE

Głowice roztaczająco–nagniatające wprowadza się do otworu obracającej się tulei na drażonym trzpieniu (rys. 5, poz. 5), przez który doprowadza się ciecz chłodząco-smarującą. Ciecz ta, oprócz chłodzenia i smarowania strefy obróbki, wypłykuje w kierunku posuwu wióry, które wypływają przez otwór obrabiany do urządzenia filtrującego. Wydatek przepływu cieczy wynosi 1÷8 l/s. Przedstawiona schematycznie na rys. 4 głowica ma w części skrawającej dwa noże. W części nagniatającej są umieszczone rolki nagniatające (od 6-ciu sztuk w zależności od średnicy). Wypływ cieczy do części skrawającej następuje przez szczelinę obwodową o szerokości  $0,3\pm 0,4\text{mm}$ , znajdującą się między korpusem głowicy a powierzchnią obrabianego otworu (jego części po nagniataniu).



**Rys. 4.** Konstrukcja dwurzędowej głowicy ( $\varnothing 100\text{mm}$ ) roztaczająco-naganiatającej z mikroregulacją wymiaru (patent PRL nr 91550) i wewnętrznym przepływem cieczy chłodzącej; 1 - korpus, 2 – nóż zdzierak, 3 – nóż wykańczak z mikroregulacją, 4- nakrętka ustawcza, 5- kształtowa bieżnia, 6 – rolka baryłkowa, 7 – tuleja dystansowa, 8 – bieżnia, 9 – nakrętka blokująca, 10 – koszyczek rolek

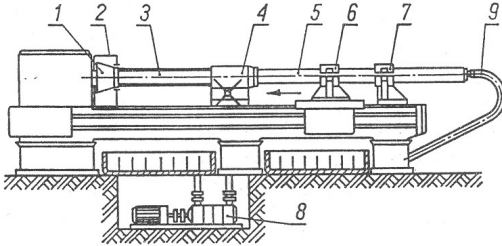
Na rys. 4 przedstawiono konstrukcję głowicy roztaczająco-naganiatającej wg patentu PRL nr 90483 (Politechnika Gdańska). Jest ona przeznaczona do obróbki umacniającej i gładkościowej głębokich otworów  $\varnothing 180\text{H}8$  w tulejach cylindrowych. W części skrawającej umieszczone są dwa noże skrawające 2 i 3, przy czym nóż wykańczak 3 ma dokładną regulację wysunięcia w kierunku promieniowym. Skrawanie dwoma nożami w takich głowicach, rozmieszczonymi na obwodzie co  $180^\circ$ , jest korzystne ze względu na rozkład sił skrawania i wymaganą dokładność kształtu obrobionego otworu (IT7=IT8). Widok głowicy cylindrowych pozycji roboczej cylindrowych fragmentem tulei ze strefy obróbki przedstawiono na rys 5. Obróbkę tulei cylindrowych z użyciem głowic roztaczająco-naganiatających można przeprowadzić na tokarkach specjalizowanych, lub wiertarkach do głębokiego wiercenia. Schemat takiej adaptacji tokarki przedstawiono na rys. 6. Polega ona przede wszystkim na zamontowaniu na jej łożu, między wrzecionem a suportem zespołu mocującego prowadzącego 4 z częścią mocującą cylinder 3 oraz tuleją do wprowadzania głowicy.



**Rys. 5.** Widok głowicy w pozycji roboczej wraz z fragmentem tulei cylindra ze strefy obróbki

Obrabiarka musi mieć drążony trzpień 5, na którym mocuje się głowicę i odłącza instalację obiegu cieczy chłodzącej 9. Trzpień ten jest podparty na suporcie wzdłużnym

tokarki (w uchwycie 6), od którego uzyskuje przesuw, prowadzony jest także w podtrzymce 7. Należy również zainstalować pompę cieczy chłodzącej 8 o dużym wydatku, oraz sita dla oddzielenia wiórów od cieczy. Cylinder podczas obróbki obraca się, a głowica wykonuje ruch posuwowy. Po skończonym cyklu głowicę odkręca się z trzpienia roboczego 5 w specjalnym otworze obudowy uchwytu centrująco-zabierającego 1.

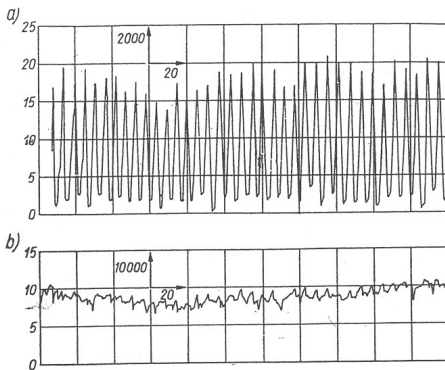


**Rys. 6.** Stanowisko do obróbki tulei cylindrycznych głowicą roztaczająco-nagniatającą na tokarce uniwersalnej: 1- uchwyt z zabierakiem centrującym, 2 – osłona, 3 – obrabiany cylinder, 4- zespół mocujący prowadzący, 5 – trzpień drążony, 6 – uchwyt trzpienia na suporcie, 7 – podtrzymka, 8- pompa chłodząca, 9 – przewód elastyczny cieczy

## WYNIKI BADAŃ I ZALECENIA TECHNOLOGICZNE

Głowice roztaczająco-nagniatające można stosować do otworów o żądanej chropowatości  $R_a = 0,16 \div 0,32 \mu\text{m}$ , w klasie wymiarowej IT8, z następującymi warunkami obróbki (dla cylindrów ze stali R35 lub R45):  $v_c = 2 \div 2,5 \text{ m/s}$ ,  $f = 0,2 \div 0,3 \text{ mm/obr}$ ,  $w = 0,04 \div 0,08 \text{ mm}$  przy wydatku objętościowym cieczy chłodząco-smarującej  $4 \div 5 \text{ l/s}$ .

Przykład uzyskanej chropowatości powierzchni tulei ze stali 45 po obróbce głowicą roztaczająco-nagniatającą (rolkową) przedstawiono w postaci profilogramu na rys 7. Warunki obróbki były następujące: prędkość nagniatania i roztaczania  $v_c = 2 \text{ m/s}$ , posuw głowicy  $f = 0,2 \text{ mm/obr}$ , wartość wcisku  $w = 0,08 \text{ mm}$ . Chropowatość po toczeniu (nożem wykańczaniem z płytką z węglika S20) wynosiła  $R_{at} = 3,5 \mu\text{m}$  a po nagniataniu  $R_{an} = 0,15 \mu\text{m}$ . pomiary twardości HV powierzchni nagniatanej wykazały, że twardość powierzchni tulei była większa o 50 % od twardości powierzchni po wytaczaniu.



**Rys. 7.** Przykładowy profilogram chropowatości powierzchni tulei cylindra hydraulicznego ze stali 45 obrobionego głowicą roztaczająco-nagniatającą: a) chropowatość powierzchni po roztaczaniu ( $R_{at} = 3,5 \mu\text{m}$ ), b) chropowatość powierzchni po nagniataniu ( $R_{an} = 0,15 \mu\text{m}$ )

Przy doborze technologicznych parametrów obróbki tulei cylindrycznych głowicami roztaczająco-nagniatającymi należy zwracać szczególną uwagę na dobór właściwego dla

materiału tulei wcisku nagniatania, ponieważ jego wartość większa od 0,08mm może spowodować niedopuszczalne łuszczenie powierzchni.

## WNIOSKI

Z przeprowadzonych badań laboratoryjnych oraz eksploatacyjnych można wyciągnąć następujące wnioski, dotyczące możliwości stosowania obróbki głowicami roztaczająco-nagniatającymi:

- stosowanie powierzchniowej obróbki plastycznej przez nagniatanie w technologii cylindrów hydraulicznych i pneumatycznych jest korzystne, ponieważ wytwarzana warstwa wierzchnia ma twardość zwiększoną ok. 40% a chropowatość powierzchni osiąga  $R_a=0,16\pm 0,32\mu\text{m}$ , oraz mniejszy powinien być współczynnik tarcia w porównaniu z powierzchniami obrobionymi przez skrawanie metodą gładzenia [2],
- nagniatanie, szczególnie z zastosowaniem głowic skrawająco-nagniatających, jest ekonomiczną operacją obróbki tulei cylindrów o znacznej długości, wymaga jednak specjalnego oprzyrządowania stanowiska tokarskiego i jest zalecane dla seryjnej produkcji cylindrów hydraulicznych.

## PIŚMIENNICTWO

1. Kaczmarek J., Przybylski W.: The surface characteristic after sliding and rolling burnishing, *Advanced in Manufacturing Science and Technology*, Vol. 26, Nr 1, KBN PAN Rzeszów 2002.
2. Przybylski W.: *Technologija powiechnostnoj plasticzeskoj obrabotki*, Metallurgija, Moskwa 1991.
3. Przybylski W.: CNC Machine Tool for Burnishing – New Conception, *International Conference on Computer Integrated Manufacturing CIM'96*, Zakopane, 1996.
4. Przybylski W., Siemiątkowski M.: Selecting manufacturing variants of shafts using integrated CNC turning-burnishing technologies, *Annals of DAAAM Symposium*, Vienna 1999.

## IMPLEMENTATION OF BURNISHING PROCESS IN MANUFACTURING THE HYDRAULIC CYLINDER

### Summary

The integrated technology of sleeves of hydraulic cylinders presented in this article is based on the machining process combined with plastic processing of burnishing. There is the construction of special chambering–burnishing heads the scribed and analyzed together with the process on machining station and result at of processing of sleeves of diameter 100H7 and 1400mm length. The achieved roughness of the surface was  $R_a=0,16\pm 0,32\mu\text{m}$ . The proposed technology of hydraulic cylinders' machining is several times shorter than traditional which is based on chambering and honing.

**Keywords:** hydraulic cylinder, burnishing, tools.