

## OPIS ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

**Autor rozprawy doktorskiej:** mgr inż. Piotr Grzegorz Sender

**Tytuł rozprawy doktorskiej w języku polskim:** Analiza gładzenia otworów walcowych przy zmiennych warunkach kinematycznych

**Tytuł rozprawy w języku angielskim:** Analysis of honing of cylindrical holes with variable kinematics conditions

**Promotor rozprawy doktorskiej:** prof. dr hab. inż. Adam Barylski

**Streszczenie rozprawy w języku polskim:**

Jakość powierzchni otworów odgrywa istotną rolę w przemyśle maszynowym, przede wszystkim w produkcji silników spalinowych i cylindrów hydraulicznych. Badania procesu gładzenia przeprowadzono na honownicy poziomej CNC Sunnen HTH 4000S, na pionowej hydraulicznej (konwencjonalnej) honownicy WMW SZS 200 oraz na frezarce HAAS VF 3SS z oprzyrządowaniem do gładzenia f-my Honingtec. Pomiaru okrągłości i walцовości otworów po gładzeniu wykonywano na maszynie współrzędnościowej (pomiarowej) CNC Zeiss Contura, pomiary parametrów profilu chropowatości wykonywano m.in. za pomocą przyrządu Mitutoyo SJ-210. W pracy zweryfikowano wpływ parametrów obróbki na przebieg procesu gładzenia i stwierdzono, że metodą umożliwiającą uzyskanie zarówno dobrej jakości powierzchni jak i niższej o 35,2% temperatury przedmiotu gładzonego oraz mniejszej o 12,77% odchyłki walцовości (w porównaniu do gładzenia tradycyjnego) jest gładzenie ze zmienną kinematyką. Zmienny posuw głowicy gładzącej wpływa korzystnie na zmniejszenie odchyłki walцовości oraz umożliwia zmniejszenie wartości parametrów profilu chropowatości gładzonej powierzchni. Najmniejszy przyrost temperatury podczas gładzenia otworu walцовego o średnicy  $d = 100$  mm występuje przy gładzeniu wykonywanym ze zmianą prędkości obrotowej głowicy w zakresie  $20 \div 80$  obr/min. Zmienna prędkość obrotowa, w zakresie wartości maksymalnej ilości obrotów głowicy poniżej 100 obr/min, zmniejsza wysokość temperatury powstającej podczas obróbki. Gładzenie przeprowadzane ze zmianą prędkości obrotowej w zakresie  $n = 100 \div 200$  obr/min powoduje wzrost temperatury gładzonej powierzchni o blisko  $23^{\circ}\text{C}$  /minutę. Wyższa prędkość obrotowa głowicy powoduje wyższą temperaturę gładzonego przedmiotu oraz szybsze zużycie narzędzia ściernego. Podczas gładzenia ze zmianą prędkości obrotowej w zakresie  $n = 100 \div 200$  obr/min zużycie narzędzia występuje w czasie poniżej 1 minuty. Przyrost temperatury gładzonego przedmiotu w największym stopniu uzależniony jest od wartości ciśnienia roboczego nacisku osetki ściernej do obrabianej powierzchni gładzonego otworu. Największy wpływ na wydajność gładzenia ma wielkość ciśnienia nacisku osetki do powierzchni obrabianego otworu. Większa wartość nacisku osetki do powierzchni gładzonej powoduje większą odchyłkę walцовości. Podczas gładzenia przedmiotów cienkościennych, z różną grubością ścianek, wydajność obróbki w przekrojach o różnych grubościach jest różna.

**Niższa wartość sumy promieni krzywizny trajektorii ziarna ściernego, dla gładzenia przeprowadzanego ze zmienną kinematyką, wpływa na obniżenie temperatury, na zmniejszenie odchyłki walцовości oraz na poprawę parametrów profilu chropowatości przedmiotu gładzonego.**

Szczegółowa znajomość wpływu krzywizny ścieżki ziarna ściernego na proces obróbki może przynieść wiele korzyści w opracowaniu nowych metod gładzenia otworów cylindrycznych, zwłaszcza w przypadku przedmiotów cienkościennych o różnych grubościach przekroju gładzonego otworu.

Dalsze badania powinny umożliwić wprowadzenie do programów sterujących pracą nowoczesnych honownic CNC możliwości programowania kształtu trajektorii ziarna ściernego za pomocą funkcji matematycznej, opisującej ruch głowicy gładzącej.

### **Streszczenie rozprawy w języku angielskim:**

Surface quality of holes plays an important role in machine manufacturing industry especially in the production of car engines and hydraulic cylinders. Investigations of honing process were carried out on horizontal CNC Sunnen's honing machine HTH 4000S, on vertical conventional honing machine WMW's SZS 200 and on CNC milling machine of Haas VF 3SS with equipment of Honingtec company for honing. Measurements of cylindricity of holes was done on CNC coordinate measuring machine Zeiss Contura, measuring of roughness was done using surface roughness measurement instrument of Mitutoyo SJ-210. The influence of variable kinematics of honing process has a positive impact for many aspects of performing of efficient and accurate honing process. It was found that the best method for obtaining both good surface quality and less temperature of the honing workpieces and less deviation of shape of the cylinders is honing with variable kinematics. Variable feed of honing head affect the minimization of cylindricity deviation of holes of machined workpiece about 12,77% (compared to traditional honing) and can allow for reducing the surface roughness profile parameters. The smallest increase of temperature of machined workpiece with diameter of  $d = 100$  mm occurs with variable rotation speed of honing head in the range from  $20 \div 80 \text{ min}^{-1}$ . The machined workpiece temperature increase for honing conducted with variable kinematics condition is less about 35,2% compared to traditional honing process. Variable rotation speed of honing head in the range of lower speeds, below  $100 \text{ min}^{-1}$ , affect the reduction of temperature generated during honing. The change of rotation speed of honing head in the range from  $n = 100 \div 200 \text{ min}^{-1}$  results in an increase in the temperature of the machined surface by nearly  $23^\circ\text{C} / \text{minute}$ . The higher value of  $V_c$  speed made the higher temperature of the machined workpiece and faster wear of the abrasive whetstone. In the range of higher revolution speed of honing head, in the range from  $n = 100 \div 200 \text{ min}^{-1}$ , the total whetstone usage may occur in about 1 minute. The increase of the machined volume of the machined material of honed workpiece (increase in production efficiency) is most affected by the honing pressure. Higher honing pressure value is affected in a greater deviation of cylindricity of honed holes. In a four-stage honing process of cylinder liners with different workpiece's wall thicknesses the machining efficiency of the material during honing process is different on each wall's thickness.

**A lower value of the sum of the radii of curvature of the abrasive grain trajectory, for honing performed with variable kinematics, reduces the temperature, reduces the cylindrical shape deviation and improves the parameters of the roughness profile of the honed workpiece.**

Detailed knowledge of the impact of the curvature of the abrasive grain trajectories on the machining process can bring many benefits in the development of new methods of honing process of cylindrical holes, especially in the case of thin-walled workpieces with different cross-section thicknesses of honed holes.

Further research should make it possible to verify the legitimacy and benefits of introducing into the control of modern CNC honing machines the possibility of programming of the trajectories of abrasive grains, using a mathematical function describing the motion of the honing head.

