

# **MOŻLIWOŚCI ZASTOSOWANIA NAGNIATANIA ZEWNĘTRZNYCH POWIERZCHNI KULISTYCH W SERYJNEJ PRODUKCJI PRZEDMIOTÓW ZE STALI KWASOODPORNEJ**

Jan KACZMAREK<sup>1</sup>, Sebastian LANGE<sup>1</sup>, Robert ŚWIĘCIK<sup>2</sup>, Artur ŻURAWSKI<sup>1</sup>

## **1. WPROWADZENIE**

Właściwy dobór rodzaju obróbki oraz parametrów technologicznych procesu produkcyjnego ma istotne znaczenie w wytwarzaniu elementów maszyn i urządzeń. Odpowiednio dobrana technologia obróbki, w bezpośredni sposób wpływa na trwałość i niezawodność wytwarzanych produktów. Osiąga się to głównie podczas obróbki wykończeniowej, w której nadawane są ostateczne wymiary i właściwości użytkowe warstwy wierzchniej wytwarzanego przedmiotu [5]. Szczególnie korzystne właściwości warstwy wierzchniej przedmiotu można uzyskać stosując obróbkę nagniataniem. Technologia ta wykorzystuje zjawisko powierzchniowych odkształceń plastycznych przedmiotu obrabianego, uzyskanych pod wpływem stykowego oddziaływania twardego i gładkiego narzędzia (w postaci kulki, krążka, wałka) na powierzchnię obrabianą. Dzięki temu można zwiększyć wytrzymałość zmęczeniową, twardość powierzchniową, odporność na korozję, a także uzyskać odpowiednią dokładność wymiarową i mniejszą chropowatość powierzchni [1].

Technologia nagniatania stosowana jest coraz częściej w praktyce przemysłowej, zarówno na obrabiarkach konwencjonalnych, jak i sterowanych numerycznie. Umożliwia ograniczenie, w obróbce dokładnych części maszyn, tradycyjnej obróbki ściernej takiej, jak: szlifowanie, dogładzanie, gładzenie czy polerowanie. Zaletą takiego rozwiązania jest możliwość wykonania przedmiotów w jednym zamocowaniu i na jednej obrabiarence, co znacząco wpływa na skrócenie czasu ich wykonania oraz redukcję kosztów [2].

---

<sup>1</sup> COMMON S.A., ul. Aleksandrowska 67/93, 91-205 Łódź ([www.common.pl](http://www.common.pl))

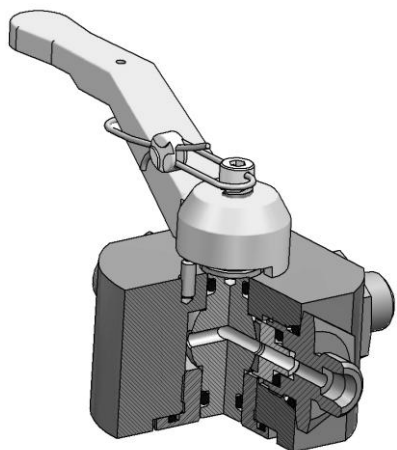
<sup>2</sup> Politechnika Łódzka, Katedra Technologii Maszyn, ul. Stefanowskiego 1/15, 90-924 Łódź

W niniejszej publikacji Autorzy przeprowadzili analizę możliwości zastosowania nagniatania zewnętrznych powierzchni kulistych, jako metody obróbki wykończeniowej, w seryjnej produkcji przedmiotów wykonywanych na tokarce CNC. Oczekuje się, że nagniatanie może zapewnić wyeliminowanie obróbki ściernej realizowanej przez polerowanie. Celem przeprowadzonych badań było określenie wpływu parametrów technologicznych procesu nagniatania na zmniejszenie chropowatości powierzchni podczas seryjnej produkcji przedmiotów ze stali odpornej na korozję 1.4301 (X5CrNi18-10), jednego z przedmiotów obrabianych w firmie COMMON S.A. – producenta wysokiej klasy sprzętu, służącego do opomiarowania przepływu gazu.

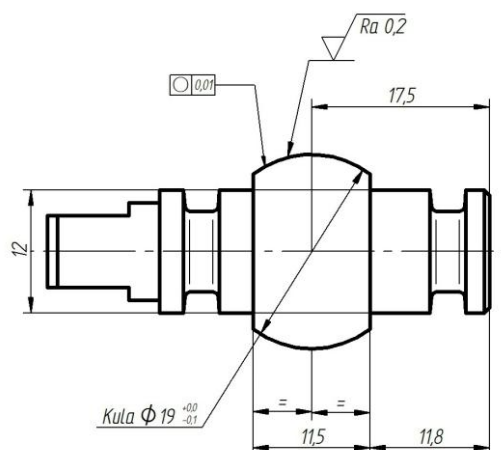
Autorzy w pracach [3, 4] prezentowali badania dotyczące obróbki innych przedmiotów obrabianych w firmie COMMON S.A.

## 2. PRZEDMIOT BADAŃ I ZAKRES WYMAGAŃ TECHNOLOGICZNYCH

Przedmiotem badań jest trzpień kurka, wchodzący w skład kurka manometrycznego trójdrogowego CKMT, który przeznaczony jest do otwierania i zamykania przepływu gazu (rys.1). Materiałem wyjściowym trzpienia jest stal odporna na korozję 1.4301 (X5CrNi18-10), nieobrobiona cieplnie, o twardości 215 HB. Obróbkę trzpienia przeprowadza się w kilku zabiegach, w jednym zamocowaniu i na jednej obrabiarce. Jedną z operacji jest wykonanie kuli o promieniu 19 mm o żądanej chropowatości powierzchni i odchyłce okrągłości. Wymagania geometryczne, dotyczące wykonania powierzchni kulistej trzpienia, przedstawiono na rys. 2.



Rys. 1. Kurek manometryczny trójdrogowy CKMT – przekrój



Rys. 2. Wymagania technologiczne wykonania powierzchni kulistej trzpienia

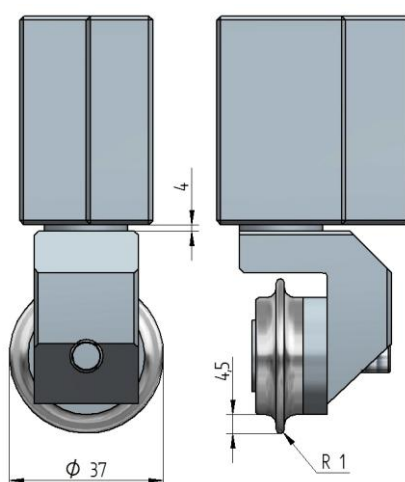
### 3. METODYKA BADAŃ

Stosowanie, na obrabiarkach CNC, narzędzi do nagniatania – umożliwia koncentrację zabiegów obróbki kształtującej i wykończeniowej na jednym stanowisku roboczym, w jednym zamocowaniu, co znacznie zmniejsza koszty produkcji.

Zakres badań obejmował określenie charakteru wpływu wybranych parametrów technologicznych: prędkości, posuwu oraz siły nagniatania na chropowatość powierzchni po nagniataniu.

Badania procesu nagniatania podzielono na badania wstępne i zasadnicze. Celem badań wstępnych było określenie parametrów technologicznych procesu nagniatania. Badania wstępne realizowano w Katedrze Technologii Maszyn Politechniki Łódzkiej.

Dla uproszczenia programowania obrabiarki, a także dla ułatwienia pomiarów chropowatości, powierzchnie kuliste zastąpiono w badaniach wstępnych powierzchniami walcowymi. Proces toczenia i nagniatania wałków ze stali nierdzewnej X5CrNi18-10, przeprowadzono na tokarce sterowanej numerycznie TPS20N. Po wstępnej obróbce skrawaniem wałki poddano procesowi nagniatania za pomocą nagniataka jednorolkowego (rys. 3).



Rys. 3. Nagniatak jednorolkowy

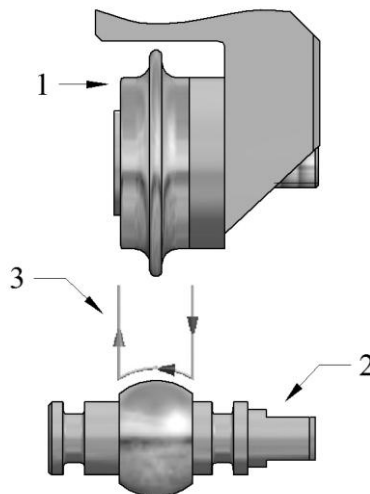
Narzędzie to składa się z rolki nagniatającej o średnicy 37 mm i promieniu części roboczej  $R 1$  mm. Kształt rolki umożliwia nagniatanie nie tylko powierzchni walcowych, ale także całej powierzchni kuli przedmiotu przedstawionego na rys. 2. Równomierny docisk rolki do przedmiotu obrabianego zapewnia sprężyna. Konstrukcja nagniataka umożliwia zastosowanie sprężyny o różnych sztywnościach: 57 N/mm oraz 100 N/mm. W rozpatrywanych badaniach zastosowano sprężynę o sztywności

57 N/mm. Narzędzie umożliwia ustawienie także wstępnego docisku rolki, które przyjęto na poziomie 160 N.

Zastosowanie narzędzia o takim rozwiązaniu, wymusza spełnienie założonych wymagań eksploatacyjnych. Należą do nich m.in.: wprowadzenie rolki w kontakt z przedmiotem obrabianym wzdłuż kierunku ugięcia się mechanizmu dociskowego, konieczność stosowania korekcji promienia narzędzia przy nagniataniu kształtowym oraz stosowanie cieczy chłodząco-smarującej, w celu osiągnięcia wymaganej dokładności i jakości powierzchni, jak i długiej trwałości narzędzia (medium filtrowane 5–10  $\mu\text{m}$ ).

Pomiary chropowatości wykonywano profilometrem TOPO-01, produkcji IOS Kraków. Wartości parametrów chropowatości wyznaczano, jako wartość średnią z pięciu pomiarów na losowo wybranych odcinkach pomiarowych próbki.

Badania zasadnicze realizowano w firmie COMMON S.A. na tokarce MoriSeiki NL2000 SY. Proces nagniatania przeprowadzono według parametrów technologicznych ustalonych w badaniach wstępnych. Nagniatanie powierzchni kulistej realizowano w jednym przejściu narzędzia nagniatającego, w kierunku obróbki od czoła trzpienia do uchwytu obróbkowego (rys. 4).



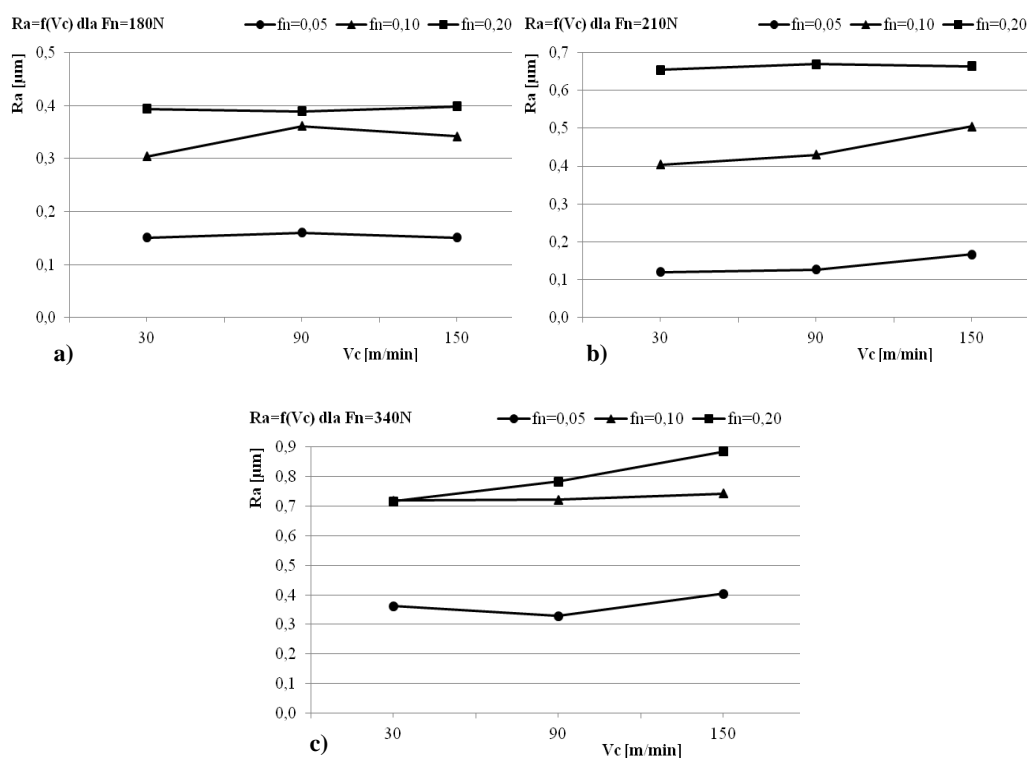
Rys. 4. Nagniatanie powierzchni kulistej w jednym przejściu nagniatającym: 1 – rolka nagniatająca, 2 – przedmiot obrabiany, 3 – tor narzędzia

## 4. WYNIKI BADAŃ

### 4.1. WYNIKI BADAŃ WSTĘPNYCH

Prace badawcze przeprowadzono na próbkach walcowych uzyskanych z pręta o średnicy  $\varnothing$  20 mm. Proces technologiczny wykonania próbek obejmował operacje

planowania, toczenia zgrubnego i kształtującego. W wyniku tych działań uzyskano próbki o chropowatości ok.  $Ra = 0,8 \mu\text{m}$ . Następnie poddano próbki procesowi nagniatania na odcinku ok. 16 mm. Obróbkę prowadzono przy zróżnicowanych parametrach nagniatania: prędkości  $v_c$  (30; 90; 150 m/min) – rozumianej jako prędkość ruchu rolki nagniataka, posuwu  $f_n$  (0,05; 0,10; 0,20 mm/obr) oraz siły  $F_n$  (180; 210; 340 N). Podczas obróbki stosowano intensywne smarowanie cieczą chłodząco-smarującą. Nagniatane próbki poddano pomiarom chropowatości powierzchni, oceniając wartość średniego odchylenia profilu powierzchni nagniatanej od linii średniej  $Ra$ . Przykładowe wyniki pomiarów chropowatości powierzchni  $Ra$  po nagniataniu przedstawiono na rys. 5.



Rys. 5. Wpływ posuwu i prędkości nagniatania na chropowatość powierzchni wałków po nagniataniu w zależności od siły nagniatania: a)  $F_n = 180\text{ N}$ ; b)  $F_n = 210\text{ N}$ ; c)  $F_n = 340\text{ N}$

Analiza wyników zaprezentowanych na rys. 5 ujawniła, że na chropowatość zewnętrznych powierzchni walcowych istotny wpływ mają parametry technologiczne powierzchniowej obróbki nagniataniem. Badania wykazały bowiem, że wraz ze wzrostem posuwu nagniataka, zwiększała się również chropowatość powierzchni.

W warunkach prowadzonych badań uzyskano najkorzystniejsze wartości chropowatości powierzchni ( $Ra \leq 0,2 \mu\text{m}$ ) dla procesów realizowanych z posuwem  $f_n = 0,05 \text{ mm/obr}$ , oraz siłą nagniatania  $F_n = 180 \text{ N}$  (rys. 5a) i  $F_n = 210 \text{ N}$  (rys. 5b) w całym badanym zakresie prędkości nagniatania  $v_c$  (30–150 m/min). W rozpatrywanych przedziałach posuwu i siły nagniatania, wartości chropowatości  $Ra$  mieściły się w przedziale 0,12–0,17  $\mu\text{m}$ . Należy nadmienić, że uzyskane wartości chropowatości spełniały wymagania tolerancji narzucone warunkami technologicznymi (rys. 2).

Dalsze zwiększanie posuwu nagniatania, w przedziale małych i średnich sił nagniatania (180–210 N), powodowało pogorszenie parametru chropowatości  $Ra$ . Uzyskane wartości mieściły się w przedziale 0,30–0,70  $\mu\text{m}$ . Podobną tendencję zaobserwowano także w procesach realizowanych z największą siłą nagniatania, tj. 340 N (rys. 5c). Wartości chropowatości, w badanym przedziale, wynosiły  $Ra = 0,70\text{--}0,90 \mu\text{m}$ .

Badania wykazały również, że prędkość nagniatania nie ma istotnego wpływu na otrzymywane wartości chropowatości powierzchni. Realizowanie procesu z małymi prędkościami nagniatania znacznie wydłuża czas obróbki. Z ekonomicznego punktu widzenia, stosowanie małych i średnich prędkości nagniatania (30–90 m/min) jest w tym przypadku nieuzasadnione.

Proponuje się zatem w badaniach zasadniczych stosowanie następujących parametrów technologicznych procesu nagniatania: posuw  $f_n = 0,05 \text{ mm/obr}$ , siła nagniatania  $F_n = 180\text{--}210 \text{ N}$  oraz prędkość nagniatania  $v_c = 150 \text{ m/min}$ . Realizacja procesu nagniatania z powyższymi parametrami warunkuje spełnienie wymagań technologicznych dotyczących trzpienia, przedstawionych na rys. 2.

#### 4.2. WYNIKI BADAŃ ZASADNICZYCH

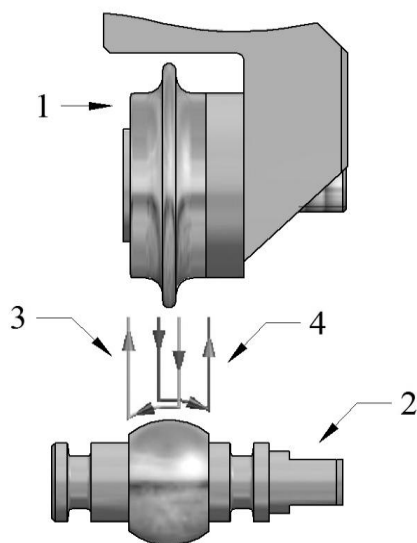
Badania zasadnicze prowadzono w oparciu o parametry technologiczne procesu nagniatania, ustalone w pkt. 4.1. Celem prowadzonych badań było wykonanie powierzchni kulistej trzpienia obróbką wykończeniową nagniataniem o wymaganej chropowatości  $Ra \leq 0,2 \mu\text{m}$ . Badania realizowano stosując metodę nagniatania powierzchni kulistej w jednym przejściu narzędzia (rys. 4).

Badania ujawniły trudności z uzyskaniem założonych wymagań technologicznych. Prawdopodobną przyczyną tych trudności był zbyt duży luz poprzeczny rolki nagniatającej, wynikający z konstrukcji narzędzia. Newralgicznym miejscem okazał się wierzchołek kuli. W tym miejscu składowa sił poprzecznych zmieniała swój zwrot na przeciwny. W wyniku tego zjawiska następowało przemieszczenie rolki dogniatającej. Efektem końcowym były zakłócenia w równomierności dogniatania.

Podczas prób nagniatania zaobserwowano także „zakleszczanie” się mechanizmu dociskowego rolki, na skutek dużych sił poprzecznych na krańcu kuli. Brak możliwości przemieszczenia się rolki wzdłuż osi docisku był przyczyną dużego

wzrostu siły nagniatania, a w konsekwencji powstawania większej ilości „płynącego” przed rolką materiału. W momencie zmiany siły poprzecznej rolka przetoczyła się nad wypływką pozostawiając zdeformowany materiał na powierzchni kuli.

Podjęto próby ograniczenia tego niekorzystnego zjawiska i zastosowano do dalszych prób modyfikację toru przemieszczenia się narzędzia, tj. nagniatanie w dwóch przejściach: od środka kuli w kierunku uchwytu obróbkowego oraz od środka kuli w kierunku czoła trzpienia tak, by nagniatanie w drugim przejściu pokryło się z przejściem pierwszym (rys. 6).



Rys. 6. Nagniatanie powierzchni kulistej w dwóch przejściach nagniatających: 1 – rolka nagniatająca, 2 – przedmiot obrabiany, 3,4 – tor narzędzia



Rys. 7. Widok zdeformowanej powierzchni kulistej po nagniataniu

Przeprowadzone próby nagniatania z zastosowaniem dwóch przejść nagniatających na powierzchni kuli nie przyniosły jednak oczekiwanych rezultatów. Przyczyną takiego stanu były nadmierne deformacje w miejscu wprowadzenia rolki w kontakt z kulą oraz pozostałości nienagnieczonego materiału na wierzchołku kuli. Widok powierzchni kulistej po nagniataniu w dwóch przejściach przedstawiono na rys. 7.

## 5. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Przeprowadzone badania umożliwiły sprawdzenie możliwości zastosowania procesu nagniatania w końcowej fazie wytwarzania przedmiotu na tokarce CNC. Badania wstępne pozwoliły ustalić zakres parametrów technologicznych procesu

nagniatania, w których możliwe jest uzyskania pożądanego chropowatości powierzchni dla nagniatania stali odpornej na korozję 1.4301. Wykazano bowiem, że realizacja procesu nagniatania z małymi wartościami posuwu, tj. 0,05 mm/obr oraz siłami nagniatania nie przekraczającymi 210 N, warunkuje uzyskanie chropowatości powierzchni  $Ra \leq 0,2 \mu\text{m}$ .

Badania zasadnicze ujawniły natomiast trudności przy nagniataniu powierzchni kulistych. Istotnym znaczeniem jest tu dobór narzędzia nagniatającego. Wykorzystany w badaniach nagniatnik miał zbyt duży luz poprzeczny rolki, który prawdopodobnie mógł być przyczyną niepowodzeń w nagniataniu powierzchni kulistej trzpienia.

Zastosowanie innego narzędzia, o kształcie rolki zapewniającej ciągły kontakt rolki z materiałem oraz mały luz poprzeczny rolki, zmniejszający jej wrażliwość na siły poprzeczne, mogłoby przynieść oczekiwane rezultaty, określone w niniejszej pracy.

Celowym jest kontynuowanie prac ukierunkowanych na poszukiwanie rozwiązań mających na celu wykonanie przedmiotu obrabianego w jednym zamocowaniu i na jednej obrabiarce, co w rezultacie obniży koszty produkcji.

#### LITERATURA

- [1] CHARCHALIS A., LABUDA W.: *Wpływ nagniatania na poprawę właściwości eksploatacyjnych wałów pomp wodnych silników okrętowych*. W: Zeszyty naukowe Akademii Marynarki Wojennej ROK LII NR 1 (184), Gdynia, 2011, 13–18.
- [2] DYL T.: *Wpływ odkształcenia względnego na wskaźnik zmniejszenia chropowatości i stopień umocnienia warstwy powierzchniowej po obróbce nagniataniem*. W: Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Gdyni nr 60, Wydawnictwo AM, Gdynia 2009, 100–104.
- [3] KACZMAREK J., ŚWIĘCIK R., ŻURAWSKI A.: *Aspekty technologiczne wykonywania głębokich otworów w stopach aluminium w warunkach produkcji seryjnej*. W: Obróbka Skrawaniem. T.4. Współczesne problemy, Politechnika Łódzka, Wydział Mechaniczny, Łódź, 2010, 55–66.
- [4] KACZMAREK J., ŚWIĘCIK R., ŻURAWSKI A.: *Analiza dokładności obróbki na centrum frezarskim z wykorzystaniem sondy pomiaru przedmiotu*. W: Obróbka Skrawaniem. T.5. Nauka a Przemysł, Politechnika Opolska, Wydział Mechaniczny, Opole, 2011, 311–318.
- [5] PRZYBYLSKI W., WIŚNIEWSKA A.: *Zastosowanie nagniatania w obróbce dokładnej części typu wałek*. W: Współczesne problemy w technologii obróbki nagniataniem, W. Przybylski (red.), Gdańsk, 2005, 17–28.