

# Koncepcja automatycznego systemu do poziomowania odlewów do obróbki skrawaniem

## The concept of a cast leveling automated system for machining

MARCIN PELIC  
TOMASZ BARTKOWIAK \*

DOI: 10.17814/mechanik.2016.8-9.318

W opracowaniu przedstawiono koncepcję, model matematyczny oraz algorytm sterowania automatycznego systemu poziomowania odlewu do trasowania. Do budowy systemu zastosowano precyzyjny, dwuosiowy przetwornik inklinometryczny, napędzane przyrządy obróbcze o różnej długości i sile oraz sterownik przemysłowy PLC kontrolujący cały proces poziomowania.

**SŁOWA KLUCZOWE:** poziomowanie odlewów, trasowanie, napędzane podpory

*The paper presents the concept, mathematical model and algorithm of automated cast leveling control system for marking-out. The system uses a precise, two-axis inclinometer, electrically driven machining devices of different heights and load capabilities as well as an industrial PLC to controls the entire leveling process.*

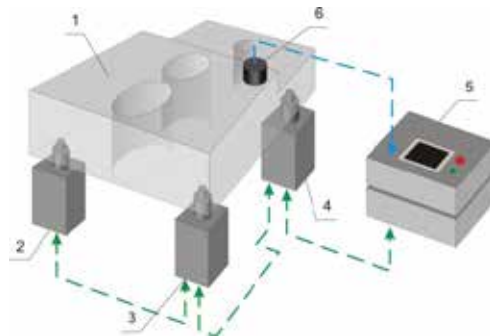
**KEYWORDS:** cast leveling, marking-out, driven support

Technologia obróbki zespołów korpusów obrabiarkowych w dużej mierze opiera się na procesie odlewania, a następnie obróbki skrawaniem żeliwa. Ocena oraz przygotowanie półfabrykatu do obróbki polega na trasowaniu odpowiednich linii wyznaczających istotne jego wymiary. Proces ten niewiele zmienił się od początku historii produkcji obrabiarek i tak jak na początku jest pracochłonny oraz podatny na błędy ludzkie [1]. Brak widocznego postępu w tej dziedzinie spowodowany jest niewystarczającym rozwojem narzędzi pozwalających go zautomatyzować. Obiecującym rozwiązaniem problemu są metody optyczne pozwalające skanować, a następnie porównywać odlew z jego modelem [2]. Można do nich zaliczyć fotogrametrię, skanowanie z użyciem lasera lub światła strukturalnego. Metody te z racji dużego nimi zainteresowania przeżywają aktualnie burzliwy rozwój, co niejednokrotnie skutkuje ich aplikacjami przemysłowymi [3, 4, 5]. Pomimo niewątpliwych zalet oferowanych przez te systemy np. kompleksowe porównanie odlewu z modelem [6, 7] jedna z wad może wykluczyć ich zastosowanie w małych i średnich przedsiębiorstwach zajmujących się obróbką skrawaniem. Wadą tą jest cena owych optycznych urządzeń pomiarowych. Dodatkowo nie wszyscy potencjalni odbiorcy potrzebują tak kompleksowego oraz skomplikowanego rozwiązania.

Dokładność procesu trasowania w dużej mierze zależy od dokładności wypoziomowania odlewu na stole traserskim. Czynność ta może być niejednokrotnie skomplikowana ze względu na wagę (która w przemyśle obrabiarkowym wacha się w granicach od pojedynczych kilogramów do kilku ton) oraz złożone kształty samych odlewów.

### Koncepcja

Do automatycznego poziomowania półfabrykatu wymagany jest zestaw napędzanych podpór. Założono że odlew podczas tego procesu ustawiony jest na trzech podporach. W najprostszym przypadku podpora oznaczona jako  $P_0$  jest podporą stałą, pozostałe  $P_1$  i  $P_2$  mogą w pewnym zakresie zmienić swoją długość. Istnieją jednak przypadki, w których długość podpory  $P_0$  musu zostać skorygowana. Dlatego w schemacie ideowym została ona uwzględniona jako podpora napędzana (rys. 1.).



Rys. 1. Schemat ideowy urządzenia do poziomowania odlewów: 1 – odlew, 2 – podpora  $P_0$ , 3 – podpora  $P_1$ , 4 – podpora  $P_2$ , 5 – układ sterowania, 6 – inklinometr

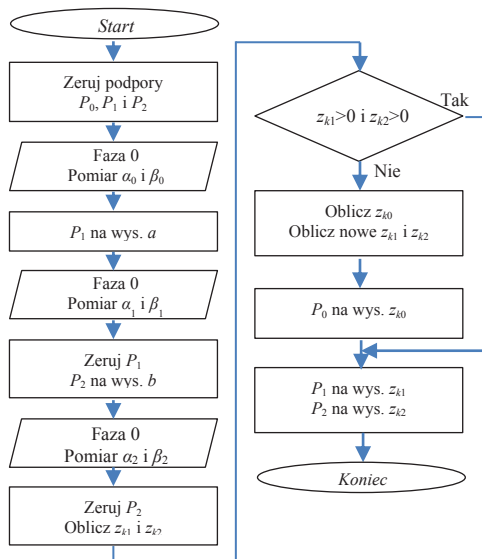
Do przeprowadzenia procesu wymagany jest dwuosiowy precyzyjny inklinometr monitorujący odchylenie wektora normalnego mierzonej powierzchni od pionu wyznaczonego przez wektor grawitacji. Zarówno inklinometr jak i podpory podłączone są do układu sterowania PLC. Rejestruje on i przetwarza dane automatycznie z czujnika odchylenia oraz steruje wysuwem podpór. W celu obniżenia kosztów urządzenia zastosowano jedno źródło zasilania oraz jeden sterownik silnika oraz układ przełączający, który włącza wybraną podporę do układu sterowania. Zabieg ten pozwala na skalowanie całego systemu - odpowiednie adresowanie w układzie sterowania umożliwia rozbudowę liczby podpór. Jednakże poziomowanie elementów odbywa się na trzech podporach, dlatego w opracowaniu skupiono się na takiej ich liczbie.

### Algorytm sterowania

Idea działania urządzenia opiera się na badaniu kątów  $\alpha$  i  $\beta$  odchylenia wektora normalnego  $N$  powierzchni bazywej inklinometru w stosunku do wektora grawitacji w układzie współrzędnych inklinometru. Badanie to odbywa się w trzech pozycjach odlewu. W pierwszej pozycji wszystkie sterowane podpory znajdują się w położeniach zerowych. Następnie wykonywane są pomiary dla znanych przyrostów długości podpór, odpowiednio  $a$  dla  $P_1$  oraz  $b$  dla  $P_2$ . Na podstawie wyników pomiarów obliczane są

\* Dr inż. Marcin Pelic (marcin.pelic@put.poznan.pl), mgr inż. Tomasz Bartkowiak (tomasz.bartkowiak@put.poznan.pl) – Instytut Technologii Mechanicznej, Politechnika Poznańska

współrzędne podpór  $P_1$  i  $P_2$ , a następnie wartości wysuwów  $z_{k1}$  i  $z_{k2}$  dla których wektor normalny  $N$  inklinometru będzie równoległy do wektora grawitacji. Na rys. 2 przedstawiono algorytm sterowania urządzeniem.



Rys. 2. Algorytm sterowania urządzeniem

W przypadku, gdy którakolwiek z obliczonych wartości nastaw wysuwów i podpór  $P_1$  i  $P_2$  przyjmuje wartość ujemną, należy zwiększyć długość wszystkich podpór (w tym stałej) o wartość offsetu równego odwrotności mniejszego z obliczonych wysuwów podpór.

Algorytm sterowania uwzględniający zmianę długości poszczególnych podpór podyktowany jest założeniem że urządzenie nie ma informacji na temat ich pozycji oraz orientacji względem nich inklinometru. Upraszcza to sposób korzystania z urządzenia. Jego obsługa ogranicza się do stabilnego ułożenia odlewu na podporach oraz odpowiedniego zamocowania inklinometru.

### Model matematyczny

Współrzędne punktów styku podpór oraz odlewu opisują punkty  $P_0(x_0, y_0, z_0)$ ,  $P_1(x_1, y_1, z_1)$  oraz  $P_2(x_2, y_2, z_2)$ . Założono że punkt  $P_0$  leżący na stałej podporze jest środkiem układu współrzędnych ( $x_0=0, y_0=0, z_0=0$ ).

Składowe wektorów normalnych powierzchni bazowej inklinometru w kolejnych fazach pomiaru położenia odlewu opisują wzory od (1) do (9).

$$\begin{aligned} N_{x0} &= k_0(-y_2z_1 + y_1z_2) & (1) \\ N_{y0} &= k_0(x_2z_1 - x_1z_2) & (2) \\ N_{z0} &= k_0(-x_2y_1 - x_1y_2) & (3) \\ N_{x1} &= k_1(-y_2(z_1 + a) + y_1z_2) & (4) \\ N_{y1} &= k_1(x_2(z_1 + a) + x_1z_2) & (5) \\ N_{z1} &= k_1(-x_2y_1 - x_1y_2) & (6) \\ N_{x2} &= k_2(-y_2z_1 + y_1(z_2 + b)) & (7) \\ N_{y2} &= k_2(x_2z_1 - x_1(z_2 + b)) & (8) \\ N_{z2} &= k_2(-x_2y_1 - x_1y_2) & (9) \end{aligned}$$

gdzie:  $k_0, k_1, k_2$  – współczynniki normalizujące pomiaru inklinometrem;  $N_{xn}, N_{yn}, N_{zn}$  – składowe wektora normalnego badanej powierzchni dla fazy  $n$  badania;  $x_1, y_1, z_1, x_2, y_2, z_2$  – współrzędne punktów styku podpór  $P_1$  i  $P_2$  z odlewem;  $a, b$  – wysuw podpór  $P_1$  i  $P_2$ .

Składowe wektora grawitacji w układzie współrzędnych inklinometru w kolejnych fazach pomiaru położenia odlewu opisują wzory (10), (11) i (12).

$$g_{xn} = -g(\sin(\alpha_n) * \cos(\beta_n)) \quad (10)$$

$$g_{yn} = -g(\cos(\alpha_n) * \sin(\beta_n)) \quad (11)$$

$$g_{zn} = -g(\cos(\alpha_n) * \cos(\beta_n)) \quad (12)$$

gdzie:  $g$  – przyspieszenie grawitacyjne;  $g_{xn}, g_{yn}, g_{zn}$  – składowe wektora przyspieszenia grawitacyjnego w układzie współrzędnych inklinometru dla fazy  $n$  pomiaru;  $\alpha_n$  i  $\beta_n$  – kąty pomiędzy wektorem grawitacji a wektorem normalnym inklinometru w płaszczyźnie XZ oraz YZ dla fazy  $n$  pomiaru.

Aby wyznaczyć współrzędne punktów  $P_1$  i  $P_2$ , należy rozwiązać układ równań (13) ze względu na:  $x_1, y_1, z_1, x_2, y_2, z_2, k_1, k_2$  i  $k_3$ .

$$\begin{cases} N_{x0} = g_{x0} \\ N_{y0} = g_{y0} \\ N_{z0} = g_{z0} \\ N_{x1} = g_{x1} \\ N_{y1} = g_{y1} \\ N_{z1} = g_{z1} \\ N_{x2} = g_{x2} \\ N_{y2} = g_{y2} \\ N_{z2} = g_{z2} \end{cases} \quad (13)$$

Wysuw podpór  $P_1$  i  $P_2$ , dla którego wektor normalny powierzchni bazowej inklinometru jest równoległy do wektora grawitacji, należy wyznaczyć ze wzorów:

$$zk_1 = -z_1 \quad (14)$$

$$zk_2 = -z_2 \quad (15)$$

### Podsumowanie

Przewidywany czas ustawiania odlewów ustalony na podstawie długości czasów pomiarów oraz ruchów podpór wynosi 90 s. W obliczeniu uwzględniono wysuw maksymalny podpór równy 20 mm, prędkości roboczą podpór równą 10 mm/s, długości pomiaru odchylenia wektora normalnego powierzchni odlewu od wektora grawitacji równą 20 s. Dla porównania na poziomowanie manualne w trakcie operacji trasowania w dużej firmie z branży obrabiarkowej przewidziane jest 15 minut na jeden odlew o masie w granicach 500 kg.

Elementem, który istotnie będzie wpływał na dokładność procesu poziomowania jest inklinometr. Jego dokładność oraz rozdzielczość ze względu na małe kąty przechyłu odlewów w trakcie badania będzie kluczowa. Na chwilę obecną nie zostało to jeszcze zbadane.

### LITERATURA

- Feld M. „Podstawy projektowania procesów technologicznych typowych części maszyn”. Warszawa: Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, 2000.
- Gessner A. „Fotogrametria i skanowanie w technologii korpusów obrabiarkowych”. Poznań: Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, 2015.
- Hsieh T.H., Jywe W.Y., Huang H.L., Chen S.L. „Development of a laser-based measurement system for evaluation of the scraping workpiece quality”. *Optics and Lasers in Engineering*. Vol. 49, No. 8 (2011): pp. 1045-1053.
- Malesa M., Malowany K., Tomczak U., Siwek B., Kujawińska M., Siemińska-Lewandowska M. „Application of 3D digital image correlation in maintenance and process control in industry”. *Computers in Industry*. Vol. 64, No. 9 (2013): pp. 1301-1315.
- Ryu W.J., Kang Y.J., Baik S.H., Kang S.J. „A study on the 3-D measurement by using digital projection moiré method”. *Optik – International Journal for Light and Electron Optics*. Vol. 119, No. 10 (2008): pp. 453-458.
- Gessner A., Staniek R., Bartkowiak T. „Computer-aided alignment of castings and machining optimization”. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*. Vol. 229, No. 3 (2015): pp. 485-492.
- Gessner A., Staniek R., Bartkowiak T. „Determination of minimal machining allowances in iron castings”. *Advances in Manufacturing Science and Technology*. Vol. 38, No 3 (2014): pp. 21-32. ■