

URZĄDZENIA WYMIANY I MOCOWANIA NARZĘDZI W CENTRUM FREZARSKIM BAK

Equipment for the replacement and fixing of tools in the milling center BAK

Tadeusz KOWALSKI, Leszek WALKIEWICZ

Streszczenie: W zmodyfikowanym centrum frezarskim BAK zaproponowano automatyczną wymianę narzędzi. W celu zapewnienia stabilności pracy magazynu narzędzi dokonano zmian konstrukcyjnych mechanizmu wymiany narzędzi oraz sposobu ich mocowania. Przedstawiono rysunki rozwiązań konstrukcyjnych. W dalszej części przedstawiono zagadnienia badania dokładności obrabiarek CNC.

Słowa kluczowe: automatyzacja, magazyn narzędzi, błędy obrabiarek

Abstract: In the modified milling center BAK proposed automatic tool change. In order to ensure the stability of the work of the tool store, structural modifications of the tool exchange mechanism and the method of fixing them were made. Drawings of structural solutions are presented. The issues of precision testing of CNC machine tools are presented below.

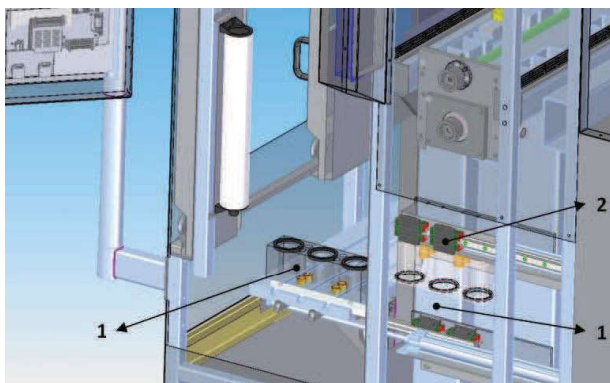
Keywords: automation, tool changer, machine tools error

Modyfikacja centrum frezarskiego BAK

Uwzględniając potrzeby rynku krajowego w zakresie małych frezarek o przesuwach roboczych w osiach X i Y ok. 250 mm jako bazę konstrukcyjną przyjęto centrum frezarskie BAK [2] i zaproponowano modyfikację polegającą na wprowadzeniu automatycznej wymiany narzędzi. Wynikła zatem konieczność przekonstruowania modułu wymiany narzędzia wraz ze sposobem mocowania narzędzi. Było to spowodowane niestabilnością dotychczasowej konstrukcji magazynu narzędzi, szczególnie podczas wymiany narzędzi. Istniało zagrożenie poważnego uszkodzenia mechanizmu wymiany.

Opis urządzeń mocowania i wymiany narzędzi

Umieszczenie narzędzi w magazynie odbywa się na bazie elementów standardowych, ogólnodostępnych



Rys. 1. Widok mocowania wraz z osłonami: 1 – magazyn narzędzi, 2 – wózek (na prowadnicy)

Fig. 1. View of clamping with the machine guard: 1 – tool changer, 2 – block (on the crossrail)

typu wózek oraz szyna prowadząca wraz z zaprojektowanymi elementami mocowania. Typowe położenia magazynu narzędzi wraz z odpowiadającym temu położeniem stołu oraz wózków przedstawiono na rys. 1 i 2.

We wrzecionie obrabiarki BAK zastosowano stożki niezakleszczające się z uwzględnieniem stożka Morse'a. Nominalną średnicę stożka wyznaczono z wzoru [4]:

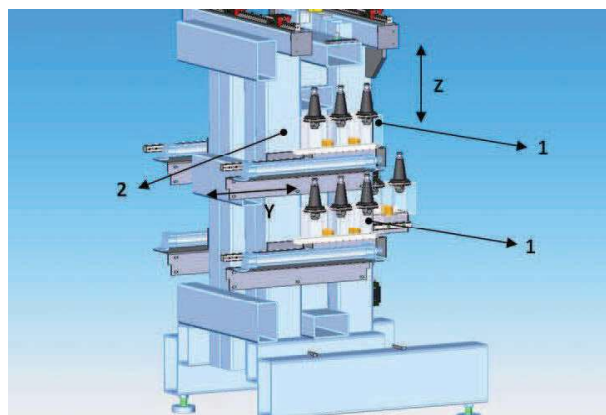
$$d \geq \frac{2 \cdot M_{s \max} \cdot \sin \alpha}{\mu_o \cdot P_{x \min}}$$

gdzie:

$M_{s \max}$ – moment skręcający,

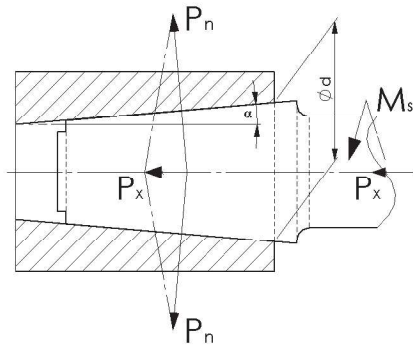
P_x – siła poosiowa,

α – półkął stożka.



Rys. 2. Widok stojaka (bez osłon) z system mocowania i wymiany narzędzi: 1 – magazyn narzędzi, 2 – stojak spawany

Fig. 2. View only column (without the machine guard) with the system of clamping and changing of tools: 1 – tool changer, 2 – welded column



Rys. 3. Gniazdo stożkowe
Fig. 3. Coned seat

Dzięki temu rozwiązaniu otrzymano połączenie o następujących cechach:

- znacząca sztywność statyczna i dynamiczna,
- dokładne pozycjonowanie promieniowe,
- powtarzalność pozycjonowania i odpowiednia dokładność,
- krótki czas wymiany narzędzia,
- duża niezawodność.

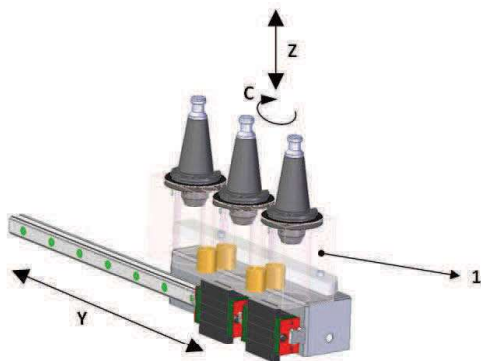
Sposoby konfiguracji urządzenia magazynującego narzędzia z jednostką podstawową i warunki współpracy

Połączenie magazynu narzędzi wraz z odpowiadającym temu położeniem stołu oraz wózków przedstawiono na rys. 4-6 [4].

Oprócz spełnienia warunków funkcjonalnych – czyli uzyskaniażądanego ruchu, przydatność elementów do wypełnienia wyznaczonych im zadań – powinny być spełnione następujące warunki:

- wytrzymałość na działanie obciążeń statycznych i dynamicznych (sił i momentów),
- odporność na zużycie,
- sztywność,
- odporność na drgania,
- zabezpieczenie przed nadmiernym wzrostem temperatury na skutek rozgrzewania.

Doświadczenie pokazuje, że podział obciążeń na statyczne i dynamiczne jest umowny i ma na celu podkreślenie



Rys. 4. Widok zamocowania magazynu: 1 – magazyn narzędzi
Fig. 4. View of fastening tool changer: 1 – tool changer

zachowania się obciążeń w czasie oraz skutków ich działania. Do obciążeń statycznych zaliczamy siły i momenty niezmiennie lub prawie niezmiennie w czasie tj. siły skrawania przy obróbce warstwy o niezmiennej grubości, ciężary elementów i obrabianych części itp. Szczególnie istotne w opisywanym przykładzie obciążenia dynamiczne występują przy wszelkich zmianach prędkości, a ściślej zmianach pędu, czyli popędzie. Ze względu na bardzo dynamiczne zmiany położenia zespołów w omawianej konstrukcji, wymagane było przeprowadzenie odpowiednich obliczeń wytrzymałościowych [4]. Zaliczamy do nich:

- Równania równowagi – podstawa do obliczenia obciążeń elementów konstrukcyjnych, zawsze poprzedzone analizą stanu równowagi rozpatrywanego elementu poddanego działaniu sił czynnych (statycznych i dynamicznych) oraz reakcji więzów (sił biernych). Siły i momenty wywołane przyspieszeniami wyznaczono wg wzorów:

$$\text{– dla ruchu postępowego: } P_b = -m_z \cdot a = -m_z \cdot \frac{d^2 s}{dt^2}$$

$$\text{– dla ruchu obrotowego: } M_b = -\Theta_z \cdot \varepsilon = -\Theta_z \cdot \frac{d^2 \varphi}{dt^2}$$

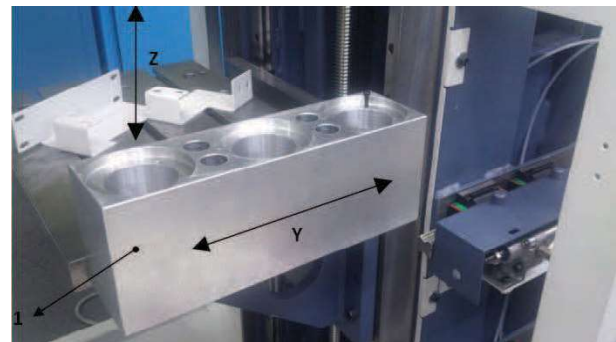
gdzie: m_z – masa zredukowanego układu napędzanego, Θ_z – zredukowany moment bezwładności układu napędzanego, a – przyspieszenie liniowe, ε – przyspieszenie kątowe, s – droga liniowa, φ – droga kątowa,

- Warunki wytrzymałościowe.

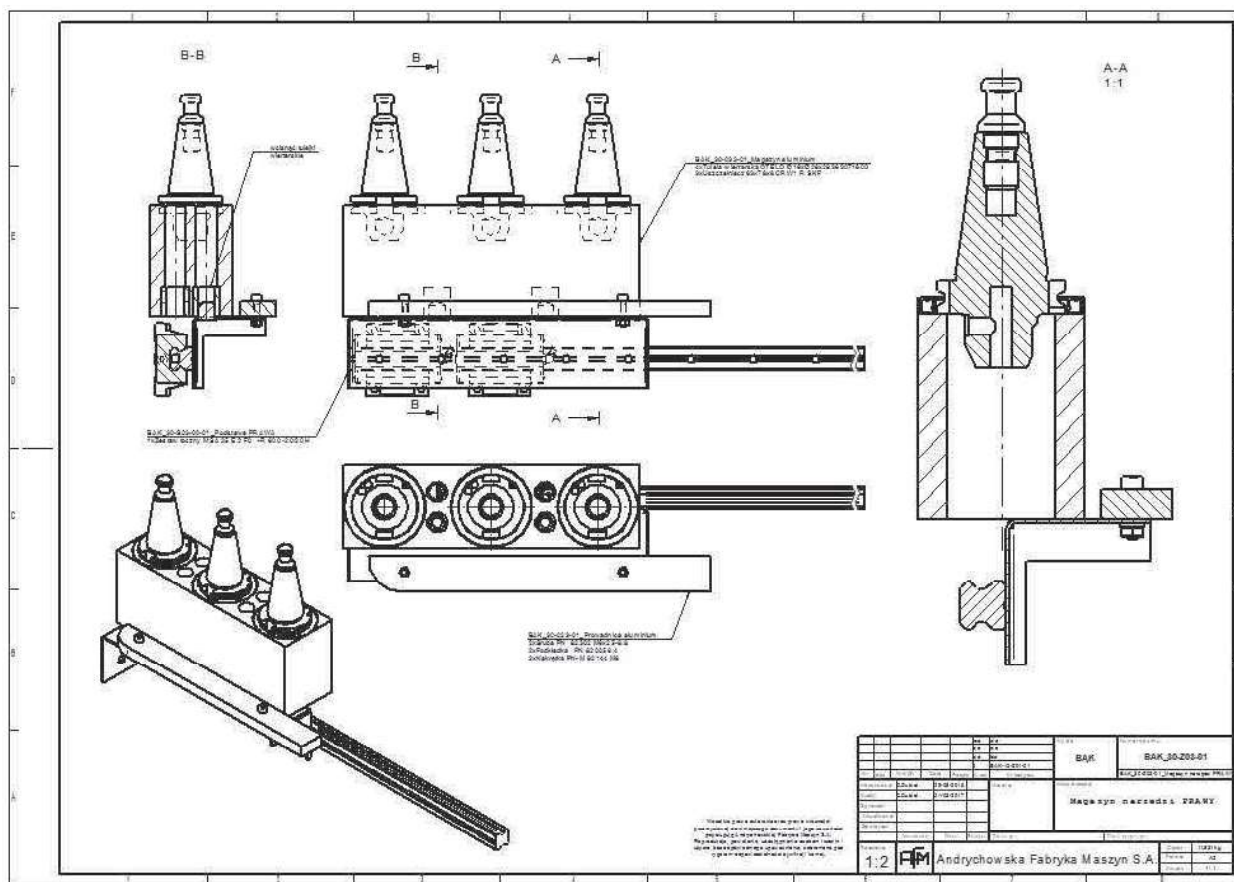
W analizowanym przypadku siły bezwładności nie były pomijalnie małe w porównaniu z pozostałymi siłami.

Po wyznaczeniu sił i momentów niezbędnych dla obliczeń wytrzymałościowych wyznaczono naprężenia w najbardziej narażonych przekrojach, a następnie sformułowano warunki wytrzymałościowe. Warunki wytrzymałościowe stanowią podstawę do określenia wartości dopuszczalnych obciążeń względnie interesujących wymiarów elementów, tj. obliczenia wstępne, bądź do porównania obliczonych naprężeń z naprężeniami dopuszczalnymi tj. obliczenia sprawdzające.

Duże znaczenie miała również wytrzymałość zmęczeniowa, gdyż występujące obciążenia miały charakter



Rys. 5. Widok zamocowania magazynu: 1 – magazyn narzędzi
Fig. 5. View of fastening tool changer: 1 – tool changer



Rys. 6. Rysunek montażowy magazynu
Fig. 6. Assembly drawing

cykliczny, zmienny co do wartości. Analizę trwałości zmęczeniowej dokonano doświadczalnie. Zauważono zostały charakterystyczne przełomy zmęczeniowe w przekrojach części, których wytrzymałość zmęczeniowa była zbyt mała. Chodzi tu o części mocowania magazynu, obciążone siłą ścinającą i narażone na naciski powierzchniowe.

Równie ważnym zagadnieniem są zachodzące procesy zużywania elementów np. przez tarczenie, jako mechaniczny proces zużycia wywołany działaniem na powierzchnię okresowo zmiennych miejscowych naprężeń ściskających. Po pewnym czasie, jak pokazały próby, w takich warunkach obciążenia uwidaczniają się na współpracujących powierzchniach mikroskopijne pęknięcia, rysy i wgłębienia, uniemożliwiające prawidłowe współdziałanie elementów. Typowymi częściami, w których występuje tarczenie, są łożyska toczne na powierzchniach bieżni, rolki czy prowadnice ze współpracującymi wózkami. Takie zużycie nastąpiło podczas ruchu magazynu w osi Y. Obliczanie na zużycie polega na wyznaczeniu obciążeń dopuszczalnych dla założonego czasu pracy, przy użyciu doraźnej wytrzymałości i innych współczynników zależnych m.in. od zmienności obciążenia, chropowatości powierzchni, wielkości przekroju itp. W tym przypadku wyznaczono trwałość dla przyjętych obciążeń wg wzoru:

$$T = \frac{W_o}{60 \cdot n_o \cdot K_z^q} \cdot \left(\frac{k_o}{\sigma_o} \right)^q$$

gdzie: T – trwałość [godz], W_o – wzorcowa liczba cykli naprężeń, n_o – prędkość obrotowa bazowa, K_z – współczynnik obciążenia równoważnego, k_o – wartość dopuszczalna przy obliczaniu na wytrzymałość zmęczeniową, σ_o – naprężenia równoważne, q – wykładnik zależny od materiału i sposobu obciążenia [4].

Problemy dokładności i sposobu mocowania oraz montażu narzędzi

Badania dokładności obrabiarek CNC wykonuje się w celu kontroli stanu technicznego obrabiarki. Ten stan wpływa na dokładność wymiarowo-kształtową przedmiotów obrabianych. Badania te przeprowadza się już w trakcie montażu obrabiarki, instalowania obrabiarki u klienta oraz w podczas eksploatacji. Badania dokładności obrabiarek są opisane w normie ISO 230 „Acceptance code for machine tools”. Przedmiotem normy są wymagania i wytyczne dotyczące sprawdzania dokładności geometrycznej obrabiarki oraz wymagania i wytyczne dotyczące sposobów badań i środków mierniczych. Polskie normy określają zarówno ogólne przepisy badania obrabiarek,

jak i szczegółowe metody wyznaczania poszczególnych odchyłek oraz tolerancje ograniczające ich dopuszczalne wartości. Norma składa się z:

- PN-ISO 230-1:1998 – Przepisy badania obrabiarek. Dokładność geometryczna obrabiarek pracujących bez obciążenia lub w warunkach obróbki wykończeniowej,
- PN-ISO 230-2:1999 – Przepisy badania obrabiarek. Wyznaczanie dokładności i powtarzalności pozycjonowania osi sterowanych numerycznie,
- PN-ISO 230-3 – Wyznaczanie efektów cieplnych,
- PN-ISO 230-5:2002 – Przepisy badania obrabiarek. Wyznaczanie emisji hałasu.

Wszystkie wymienione normy z serii PN-ISO 230 omawiają operacje wstępne, mówiące w jakich warunkach należy wykonywać badania, program badań, czyli jakie badania należy wykonać i jakie parametry z danego badania powinniśmy otrzymać.

Normy te obejmują przede wszystkim badania odbiorcze, które przeprowadzone podczas eksploatacji obrabiarki mogą być pomocne do oceny jej stanu technicznego.

Pod pojęciem dokładność obrabiarki należy rozumieć dokładność położenia w ustalonej lub zadanej pozycji określonych punktów charakterystycznych, w zakresie możliwych ruchów. Dokładność tak rozumiana wpływa na błędy obróbki wykonywanych przedmiotów. W istocie pojęcie to sprowadza się do błędu (nie dokładności) wzajemnego położenia określonych punktów charakterystycznych w przestrzeni roboczej, powstającego pod wpływem różnych oddziaływań (sił, przemieszczeń, warunków otoczenia itp.). Pojęcie to obejmuje także chwilowe błędy (nie dokładności) wzajemnego położenia punktów charakterystycznych od ustalonej lub zadanej pozycji, występujące podczas realizacji ruchów obrabiarki (typowe chwilowe błędy wzajemnego położenia punktów charakterystycznych występują przy realizacji ruchów interpolowanych lub drganiach). Pod pojęciem „punkty charakterystyczne obrabiarki” należy rozumieć punkty ustalające wzajemne możliwe położenia narzędzia i przedmiotu obrabianego. Najczęściej według tych punktów określa się usytuowanie przestrzeni roboczej i współrzędne osi sterowanych numerycznie.

Właściwości obrabiarki obejmują zagadnienia geometryczne, kinematyczne i konstrukcyjne, z których wynikają wartości przemieszczeń określonych punktów odniesienia od ustalonej pozycji. Przemieszczenia te powstają w wyniku różnych oddziaływań na tę obrabiarkę. Pojęcie właściwości geometryczne utożsamiane jest z wymiarami geometrycznymi i wzajemnym usytuowaniem elementów obrabiarki, wynikającymi z wykonania i montażu. Wpływają one na wzajemne położenie punktów charakterystycznych. Pojęcie właściwości kinematycznych obejmuje przekazywanie ruchu, mające wpływ na pozycjonowanie osi oraz błędy ruchów interpolowanych. Pojęcie właściwości konstrukcyjne obejmuje zagadnienia statyczne (sztywność), dynamiczne (drgania własne, wymuszone) i cieplne (odkształcenia konstrukcji od zmian temperatur).

W wyniku przeprowadzonych prób pojawiły się następujące problemy:

- brak stabilności magazynu narzędzi po przejeździe na pozycję mocowania na stole podczas wymiany narzędzia, przy podjeździe wrzeciennika,
- wymagana dokładność pozycjonowania osi narzędzia względem osi wrzeciona.

Pierwsze zagadnienie rozwiązano przez przekonstruowanie zamocowania magazynu w taki sposób, iż współrzędna środka ciężkości przesunęła się względem punktu zamocowania, co dało znaczący moment stabilizujący magazyn.

Drugi problem pokazał, że na błędy pozycjonowania, a więc grupę błędów powodujących niedokładność pozycjonowania elementów ruchomych obrabiarki wzdłuż lub wokół wybranej osi (pozycjonowanie osi obrotowych), znacząco wpływają: błędy układu pomiarowego, układu kinematycznego przekazywania ruchu, luzy i błędy geometryczne – wskaźniki definiujące odchyłki pozycjonowania ujęte są w normie PN-ISO-230-2.

Problem wiązał się z poprawą dokładności wykonania i korektami układu sterowania [1].

Podsumowanie

1. Konstrukcja modułu magazynu narzędzi powinna w znacznym stopniu być rozpatrywana ze względu na dynamikę pracy.
2. Odpowiedni dobór warunków geometrycznych elementów wymiany narzędzi minimalizuje błędy pozycjonowania magazynu.
3. Warunek wytrzymałości zmęczeniowej determinuje konstrukcję magazynu narzędzi.
4. Powtarzalność uzyskiwanych wymiarów i ich dokładność jest głównym parametrem oceny maszyny.

LITERATURA

- [1] Centrum Badawczo-Konstrukcyjne Obrabiarek Pruszków, Badanie dokładności obrabiarek sterowanych numerycznie, NH/B-02-2006.
- [2] Kowalski T., Walkiewicz L. 2016. „Połączenia spawane korpusów obrabiarek lekkich i mobilnych oraz inne cechy konstrukcyjne tych maszyn”. *Technologia i Automatykacja Montażu* (4).
- [3] Osiński Z., Bajon W., Szucki T. 1975. „Podstawy konstrukcji maszyn”. Warszawa: PWN.
- [4] Wrotny L.T. 1978. „Podstawy konstrukcji obrabiarek”. Warszawa: WNT.

dr inż. Tadeusz Kowalski – Instytut Technik Wytwarzania – Zakład Automatykacji, Obrabiarek i Obróbki Skrawaniem Politechniki Warszawskiej, ul. Narbutta 86, 02-524 Warszawa, e-mail: kowalski.tad@gmail.com

mgr inż. Leszek Walkiewicz – Centrum Badawczo-Konstrukcyjne Obrabiarek Sp. z o.o., ul. Staszica 1, 05-800 Pruszków, e-mail: leszek.walkiewicz@cbko.pl