

Janusz ŚLIWKA^{1*}

METODA WYZNACZANIA ZALECANEGO WSKAŹNIKA SZTYWNOŚCI STATYCZNEJ TOKAREK KARUZELOWYCH

W artykule omówiono metodę określania zalecanego wskaźnika sztywności statycznej dedykowaną dla tokarek karuzelowych. Zaproponowana metoda bazuje na analizie dokładności obróbki. Uzyskane wartości zalecanego wskaźniki sztywności zestawione zostały z wynikami badań przeprowadzonymi na wybranej grupie tokarek karuzelowych.

1. DOKŁADNOŚĆ OBRÓBK

Jedną z najistotniejszych cech eksploatacyjnych, decydujących o jakości obrabiarki, jest dokładność obróbki. Na dokładność wynikową każdego przedmiotu obrabianego składają się przede wszystkim błędy systematyczne, uwarunkowane pracą obrabiarki i narzędzia. Błędy systematyczne powodowane są przede wszystkim przez:

- geometryczne odchyłki zespołów maszyn,
- statyczne odkształcenia układu konstrukcyjnego obrabiarki,
- odkształcenia termiczne,
- niedokładności kinematyczne.

Dodatkowo mamy do czynienia z błędami przypadkowymi mającymi wpływ przede wszystkim na powtarzalność obróbki. Najczęstszym źródłem błędów przypadkowych są:

- przypadkowe zmiany obciążenia występujące w warunkach roboczych,
- rozrzut położeń zespołów ruchomych związany z układem pozycjonowania.

W pracach [3],[7],[9] możemy znaleźć uściśloną analizę wpływu błędów systematycznych na wynikową dokładność przedmiotu obrabianego. Całkowita odchyłka wymiaru, odpowiadająca określonej klasie dokładności wykonania IT i określonemu zakresowi wymiarów nominalnych, składa się z kilku różnych odchyłek. Ich wzajemny udział zależy od właściwości układu konstrukcyjnego obrabiarki oraz od warunków realizowanego procesu skrawania (patrz rys. 1.) [7].

¹ Politechnika Śląska w Gliwicach, Katedra Budowy Maszyn, Gliwice

* E-mail: janusz.sliwka@polsl.pl

Najistotniejszą z punktu widzenia poruszanej tutaj tematyki jest odchyłka spowodowana odkształceniami statycznymi. Odkształcenia statyczne układu OUPN powstają na skutek oddziaływań siłowych podczas obróbki. Źródłem oddziaływań siłowych są przede wszystkim siły pochodzące z procesu skrawania, napędu oraz bezwładności przedmiotów obrabianych i ruchomych korpusów maszyny. Wszystkie te oddziaływania siłowe tworzą pewien stan obciążenia obrabiarki. Stan ten wynika z zadań obróbkowych. Określające je dane dotyczą:

- struktury przedmiotów obrabianych,
- zabiegów obróbkowych,
- wymagań stawianych procesowi obróbki.



Rys. 1. Udział różnych odchylek w polu tolerancji wymiaru [7]
Fig. 1. Role of various deviations within a dimension tolerance field [7]

Sformułowanie zadań obróbkowych w przypadku obrabiarek uniwersalnych wymaga analizy statystycznej profili produkcji różnych zakładów przemysłowych [3]. W przypadku obrabiarek specjalnych i specjalizowanych zadania obróbkowe są zazwyczaj sprecyzowane i na ich podstawie można określić stan obciążenia. Podczas badań sztywności statycznej wybiera się najczęściej stan obciążenia odpowiadający najcięższemu warunkom pracy obrabiarki. Poprzez najcięższe warunki pracy rozumie się najbardziej niekorzystne położenie zespołów (suport, suwak) w przestrzeni roboczej obrabiarki.

Dla obrabiarek średniej wielkości dopuszczalny procentowy udział odchylek związanych z odkształceniami statycznymi wynosi około 25% pola tolerancji w danej klasie dokładności wykonania [7]. Dla obrabiarek ciężkich analiza wpływu błędów systematycznych na wynikową dokładność przedmiotu obrabianego nie była prowadzona. Natomiast uzasadnione wydaje się przyjęcie założenia, że w przypadku tego typu

obrabiarek udział błędów spowodowanych odkształceniami statycznymi może być podobny lub większy niż to ma miejsce w przypadku obrabiarek średnich. Zwiększony udział błędów od odkształceń statycznych spowodowany jest znacznym, w porównaniu z obrabiarkami średnimi, udziałem obciążeń od ciężaru przedmiotu obrabianego oraz znacznie większymi siłami skrawania. Oczywiście jest również, że udział ten będzie bardziej niż w przypadku obrabiarek lekkich i średnich zależał od takich czynników, jak np. układ konstrukcyjny obrabiarki.

2. WPLYW ODKSZTAŁCEŃ STATYCZNYCH NA DOKŁADNOŚĆ OBRÓBK

Sposoby wyznaczania wskaźników sztywności statycznej dla wybranych grup obrabiarek opisane zostały stosownymi normami [12],[13],[14],[15]. Normy te, opisując sposób pomiaru, nie precyzują jednak w żaden sposób dopuszczalnych czy zalecanych wielkości wskaźników sztywności.

Wpływ odkształceń statycznych układu nośnego obrabiarki na dokładność przedmiotów obrobionych jest znaczący. Na podstawie danych literaturowych wiadomo, że w przypadku obrabiarek lekkich i średnich będzie on wynosił około 25% pola tolerancji przedmiotu obrabianego w danej klasie dokładności wykonania [3]. Natomiast uzasadnione wydaje się przyjęcie założenia, że w przypadku obrabiarek ciężkich (takich jak tokarki karuzelowe) udział błędów spowodowanych odkształceniami statycznymi może być podobny lub większy niż to ma miejsce w przypadku obrabiarek średnich. Zwiększony udział błędów od odkształceń statycznych spowodowany jest znacznym, w porównaniu z obrabiarkami średnimi, udziałem obciążeń od ciężaru przedmiotu obrabianego oraz znacznie większymi siłami skrawania. Oczywiście jest również, że udział ten będzie bardziej, niż w przypadku obrabiarek lekkich i średnich, zależał od takich czynników, jak np. układ konstrukcyjny obrabiarki. Znacząco różny będzie wpływ ciężaru przedmiotu obrabianego na dokładność toczenia wzdłużnego na tokarce karuzelowej (układ pionowy) i na tokarce tarczowej (układ poziomy). W tym drugim przypadku siły od ciężaru przedmiotu obrabianego będą bardziej wpływały na dokładność obróbki.

Wielkość wpływu odkształceń statycznych na dokładność przedmiotu obrabianego porównywalna jest z wielkością wpływu błędów kształtu i położenia zespołów roboczych obrabiarki. Wpływ błędów kształtu i położenia oszacowano na około 30% pola tolerancji przedmiotu obrabianego. Ważniejsze z punktu widzenia dokładności obróbki, dopuszczalne wielkości błędów geometrycznych dla danej maszyny, określone są w normach np. [16]. Wobec takiego stanu rzeczy zasadna wydaje się próba określenia dopuszczalnych wskaźników sztywności statycznej, podobnie jak określono dopuszczalne wartości błędów geometrycznych. Dla wyznaczonych podczas badań wskaźników sztywności statycznej brak jest wartości odniesienia, określających wielkości dopuszczalne. Mogą one być jedynie stosowane do oceny porównawczej. Wprowadzenie norm lub zaleceń, np. w postaci specyfikacji technicznej, określających dopuszczalne wskaźniki sztywności statycznej dla poszczególnych grup i wielkości obrabiarek, byłoby również niezwykle pomocne ze względu np. na możliwość szybkiej weryfikacji poprawności montażu obrabiarki.

Opis prac mających na celu określenie dopuszczalnych wartości wskaźników sztywności obrabiarek znaleźć można między innymi w [11]. Ich założeniem było znalezienie miary oceny właściwości statycznych (i dynamicznych) w postaci wskaźników liczbowych, umożliwiających porównanie między sobą obrabiarek tego samego rodzaju. Wskaźniki liczbowe powinny być możliwe do wyznaczenia w warunkach warsztatowych. W ramach wspomnianych prac przeprowadzono badania 51 tokarek podzielonych na trzy grupy: uchwytowe, kłowe i karuzelowe. Wyznaczano wskaźniki podatności w trzech głównych kierunkach działania sił skrawania (głównej, odporowej i posuwowej).

Wskaźniki te wyniosły odpowiednio:

- $0,003 \div 0,065 \text{ } \mu\text{m/N}$ ($15 \div 330 \text{ kN/mm}$),
- $0,003 \div 0,080 \text{ } \mu\text{m/N}$ ($12,5 \div 330 \text{ kN/mm}$),
- $0,003 \div 0,050 \text{ } \mu\text{m/N}$ ($20 \div 330 \text{ kN/mm}$).

Bardzo duży rozrzut uzyskanych wyników pomiarów praktycznie uniemożliwił zaproponowanie racjonalnego sposobu uzyskiwania wartości kryterialnych wskaźników sztywności. Należy zauważyć, że przyczyn tak dużych rozbieżności uzyskanych wskaźników podatności upatrywać można w następujących faktach:

- w badaniach zestawiono ze sobą obrabiarki różniące się zasadniczo między sobą układami nośnymi, np. tokarki kłowe i tokarki karuzelowe,
- wyniki przeprowadzonych badań nie odnoszą się w żaden sposób do możliwych różnych konfiguracji obrabiarek, np. wielkości wysuwów suwaków tokarek karuzelowych, które to mają decydujący wpływ na sztywność wypadkową.

W dalszych pracach dotyczących tematu [17] zaproponowano tok postępowania bazujący na opracowaniach statystycznych, obejmujących dużą liczbę obrabiarek. Można stwierdzić, że w przypadku obrabiarek ciężkich uzyskanie odpowiedniej ilości danych pomiarowych, pozwalających na pełną statystyczną analizę wskaźników sztywności, jest bardzo utrudnione, a w wielu przypadkach wręcz niemożliwe. Przykładowo, dla danych uzyskanych przez autora podczas badań wskaźników sztywności j_{xx} tokarskich centrów karuzelowych KCI 280 NM (dla minimalnego wysuwu suwaka lewego), przy założeniu ich normalnego rozkładu, poziomu istotności $\alpha=0,05$ oraz maksymalnego błędu wartości średniej 25 kN/mm , otrzymano minimalną liczbę koniecznych do przebadania obrabiarek na poziomie 33. Przeprowadzenie badań tak dużej liczby obrabiarek ciężkich stawia pod znakiem zapytania sens statystycznych analiz wyników pomiarów sztywności statycznej tych maszyn.

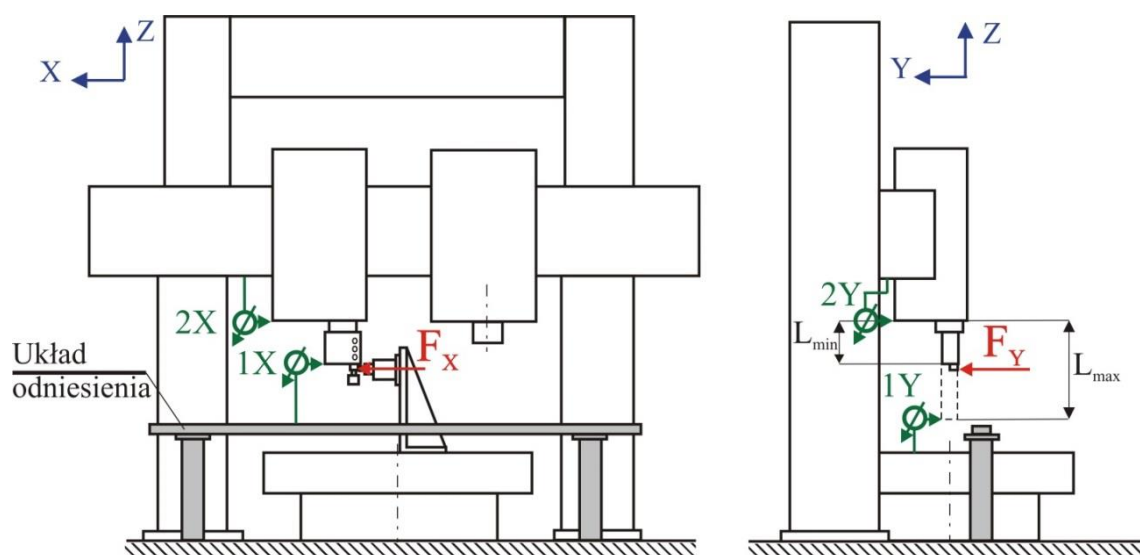
3. ZAŁOŻENIA PROPONOWANEJ METODY

W przypadku, w którym nie da się na drodze statystycznej określić wymaganych wskaźników sztywności statycznej dla danej grupy obrabiarek, zasadne jest określenie ich na podstawie analizy aktualnego stanu techniki lub na podstawie analizy dokładności obróbki. Oszacowane w ten sposób wskaźniki pozwolą na racjonalną weryfikację nowo powstających obrabiarek ciężkich pod względem sztywności statycznej. Powstanie w ten sposób narzędzie, którego dotychczas nie było, umożliwiające np. sprawdzanie poprawności

zastosowanych rozwiązań konstrukcyjnych, poprawności montażu zespołów obrabiarki itp. Na wstępie przyjęto następujące założenia:

- jako wielkości referencyjne przyjęto wskaźniki sztywności otrzymane w wyniku badań,
- różnice konstrukcyjne w badanych obrabiarkach (tokarskich centrach karuzelowych KCI) są na tyle nieistotne (z punktu widzenia sztywności statycznej), że można je traktować jako jedną grupę maszyn charakteryzujących się podobnymi właściwościami sztywnościowymi,
- zalecane wartości wskaźników sztywności statycznej będzie można z powodzeniem odnosić do innych, niż tokarskie centra karuzelowe KCI, tokarek karuzelowych dwustojakowych.

Na rys.2. przedstawiono schemat stanowiska pomiarowego zastosowanego podczas przeprowadzania cyklu badań będącego podstawą do uzyskania wielkości referencyjnych wskaźników sztywności statycznej.



Rys. 2. Schemat rozmieszczenia czujników podczas badań tokarskiego centrum karuzelowego
Fig. 2. Distribution of sensors during the study of a vertical machining center

Poniżej (patrz rys. 3) przedstawiono propozycję toku postępowania mającego na celu określenie wartości zalecanych dopuszczalnych wskaźników sztywności statycznej tokarskich centrów karuzelowych, a szerzej tokarek karuzelowych. Podstawą określenia wartości dopuszczalnych wskaźników sztywności statycznej jest wymagana dokładność obróbki. Uzyskane wskaźniki sztywności poddano krytyce uwzględniającej stan techniki stwierdzony podczas badań tokarskich centrów karuzelowych (tokarek karuzelowych) serii KCI. Przyjęto następujące założenia szczegółowe:

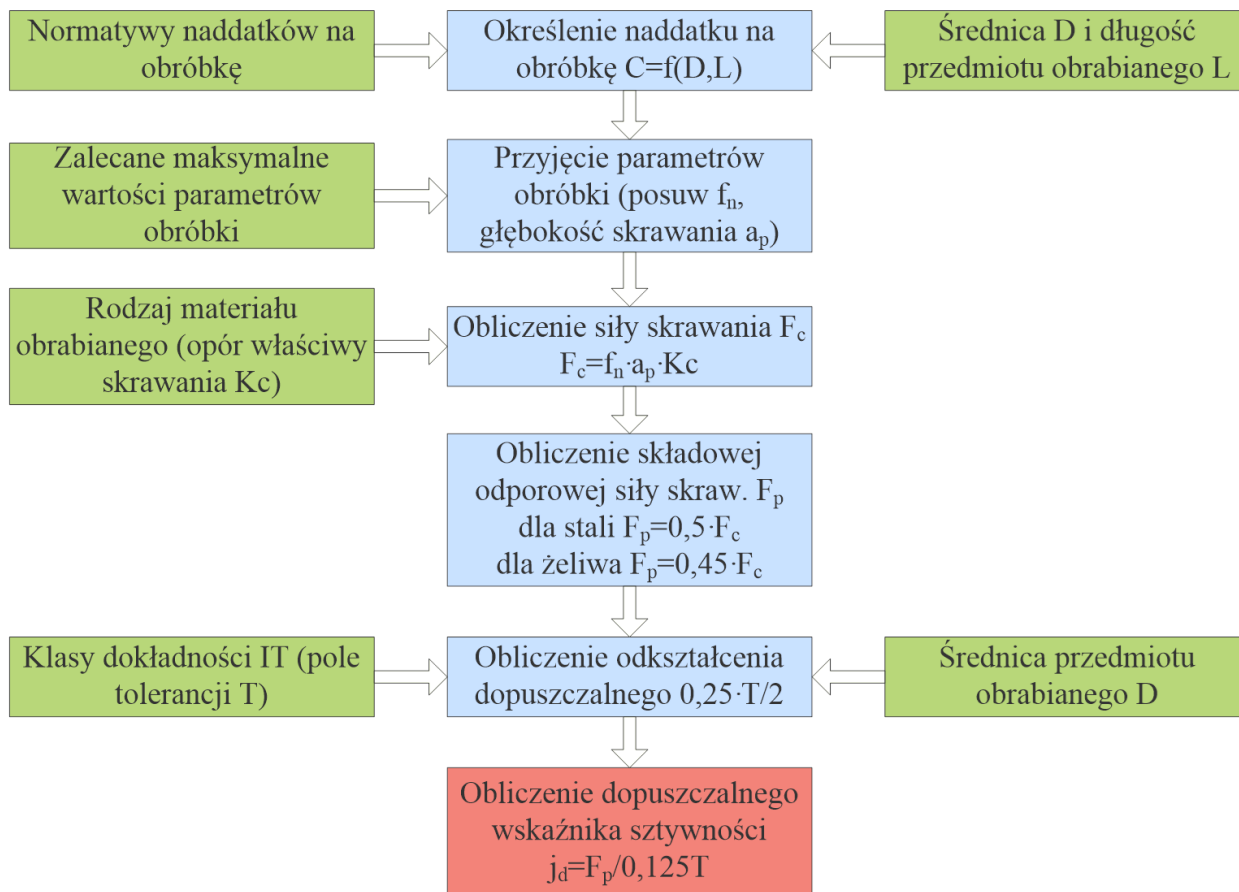
- analiza dotyczy typowej dla tokarek karuzelowych obróbki, tj. toczenia wzdłużnego; wobec czego parametrem sztywnościowym decydującym o dokładności obróbki będzie wskaźnik sztywności suwaka w kierunku osi X, tj. j_{xx} .
- pominięto odkształcenia struktury nośnej obrabiarki w kierunku Z (spowodowane składową posuwową siłą skrawania) ponieważ odkształcenia w kierunku tej osi

- w pomijalnie małym stopniu wpływają na zmianę średnicy obrabianego przedmiotu, a dodatkowo podczas badań stwierdzono, że sztywność UNO w kierunku Z jest wielokrotnie większa niż w innych kierunkach,
- przyjęto klasę dokładności wykonania przedmiotu obrabianego w zakresie od IT9 do IT11, odpowiada ona zalecanej dokładności podczas obróbki kształtującej [1], z uwagi na małe siły skrawania, a co za tym idzie małe odkształcenia układu nośnego obrabiarek, nie rozpatrzono przypadku obróbki wykańczającej,
 - przemieszczenie suwaka względem powierzchni stołu obrotowego spowodowane odkształceniem struktury nośnej obrabiarki pod wpływem odporowej siły skrawania F_p nie może przekroczyć 25% pola tolerancji przedmiotu obrabianego [3],
 - rozpatrywano obróbkę na średnicy D od około 50 mm do około 3000 mm oraz długość (wysokość) przedmiotu obrabianego H od 100 mm do 1600 mm co odpowiada możliwie szerokiemu zakresowi zastosowań tokarskich centrów karuzelowych,
 - materiał obrabiany to stal stopowa konstrukcyjna, której opór właściwy skrawania wynosi $K_c=2480$ MPa (przy posuwie 0,5 mm/obr) [2], opór właściwy skrawania dla posuwu 0,5 mm obliczono wg zależności zaproponowanej w [4], przyjęcie stali stopowej charakteryzującej się stosunkowo wysokim oporem właściwym skrawania podyktowane było uzyskaniem stosunkowo trudnych warunków pracy obrabiarki,
 - parametry obróbki (posuw f_n , głębokość skrawania a_p) przyjęto na poziomie zbliżonym do maksymalnego zalecanego dla obróbki kształtującej, tj. posuw 0,5 mm/obr i maksymalna głębokość skrawania 5 mm [5],
 - dla średnic powyżej 500 mm założono liniową zależność naddatku obróbkowego od średnicy przedmiotu obrabianego,
 - w przypadku średnic powyżej 2000 mm nadatek obróbkowy nie przekracza 5 mm, a obróbka odbywać się będzie w więcej niż jednym przejściu.

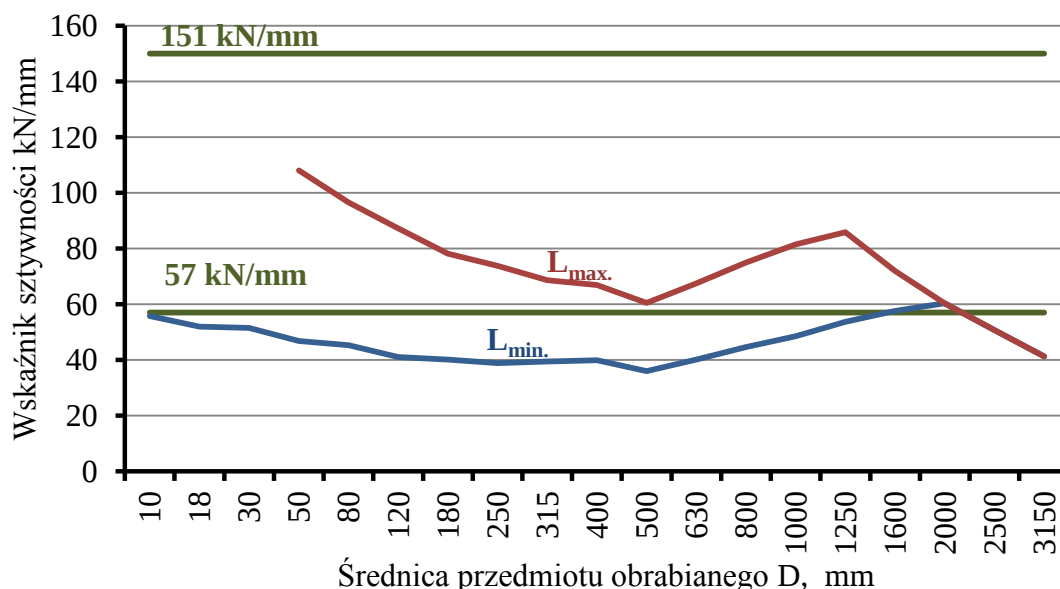
4. ALGORYTM WYZNACZANIA ZALECANEGO WSKAŹNIKA SZTYWNOŚCI

Tok postępowania w przypadku wyznaczenia zalecanego wskaźnika sztywności dla tokarek karuzelowych pokazano w sposób schematyczny na rys. 3.

W wyniku analiz przeprowadzonych zgodnie z tokiem postępowania określonym na rys. 3 otrzymano przebiegi zależności zalecanego wskaźnika sztywności od średnicy przedmiotu obrabianego. Na rys. 4 kolorem niebieskim pokazano zależność wskaźnika sztywności od średnicy dla minimalnego wysuwu suwaka, kolorem czerwonym dla maksymalnego wysuwu suwaka. Dodatkowo liniami poziomymi pokazano minimalną wartość wskaźnika sztywności dla maksymalnego (57 kN/mm) i minimalnego (150 kN/mm) wysuwu suwaka, uzyskaną podczas badań tokarek karuzelowych opisanych w pracy [10]. Jak można zauważyć, w przypadku minimalnego wysuwu suwaka kryterium sztywnościowe jest spełnione w całym zakresie analizowanych średnic przedmiotów obrabianych z bardzo dużym zapasem. Uzyskana wartość zalecanego minimalnego wskaźnika sztywności nie przekracza 56 kN/mm, przy najmniejszej wartości uzyskanej z pomiarów, wynoszącej 151 kN/mm.

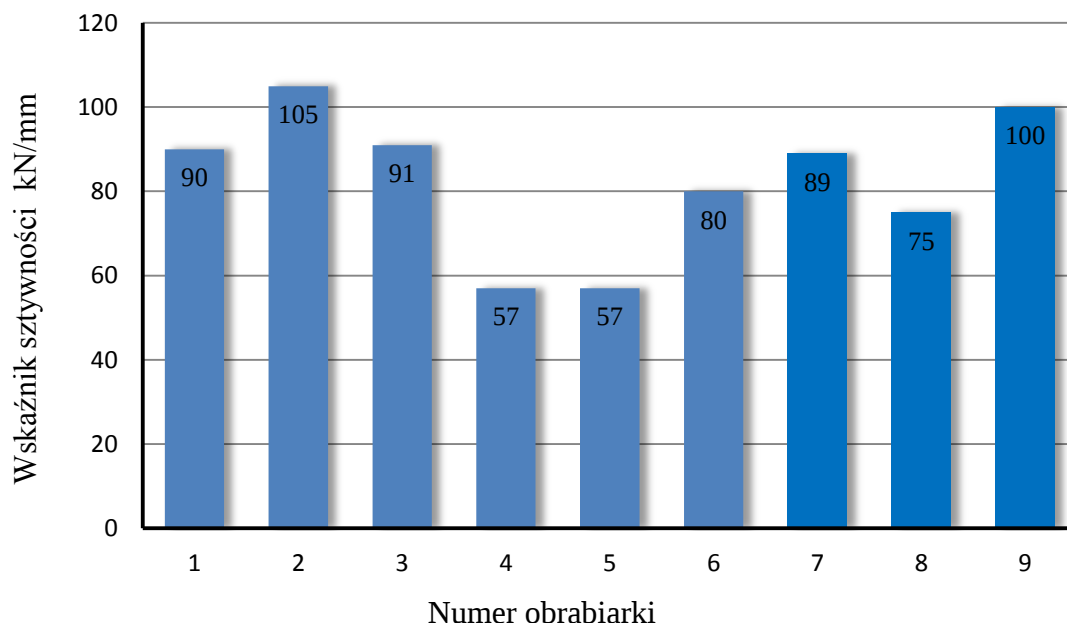


Rys. 3. Tok postępowania przy wyznaczaniu zalecanego wskaźnika sztywności statycznej tokarek karuzelowych
Fig. 3. Procedure for determining the acceptable static stiffness factor for vertical machining centers



Rys. 4. Zależność zalecanego wskaźnika sztywności statycznej od średnicy przedmiotu obrabianego, dla dokładności wykonania w klasie IT9: $L_{min.}$ – minimalny wysuw suwaka, $L_{max.}$ – maksymalny wysuw suwaka
Fig. 4. Dependence of the acceptable static stiffness factor on the diameter of the machined detail, for the accuracy of IT9 class: $L_{min.}$ – minimum extension ranges of sliders, $L_{max.}$ – maximum extension ranges of sliders

Wobec powyższego, decydującym kryterium pozostaje wielkość wskaźnika sztywności dla maksymalnego wysuwu suwaka. Należy zauważyć, że tylko jedna z badanych w ramach pracy [10] obrabiarek spełniła wymóg sztywnościowy, tj. $j_{xx} > j_d$, w całym zakresie średnic przedmiotu obrabianego (patrz rys. 6). W przypadku obrabiarek o najmniejszych współczynnikach sztywności (dwie z dziewięciu badanych obrabiarek) wymóg jest spełniony dla zakresu średnic powyżej 2000 mm. Wyniki pomiarów sztywności statycznej tokarek otrzymane w ramach pracy [10] zestawiono na rys. 5.

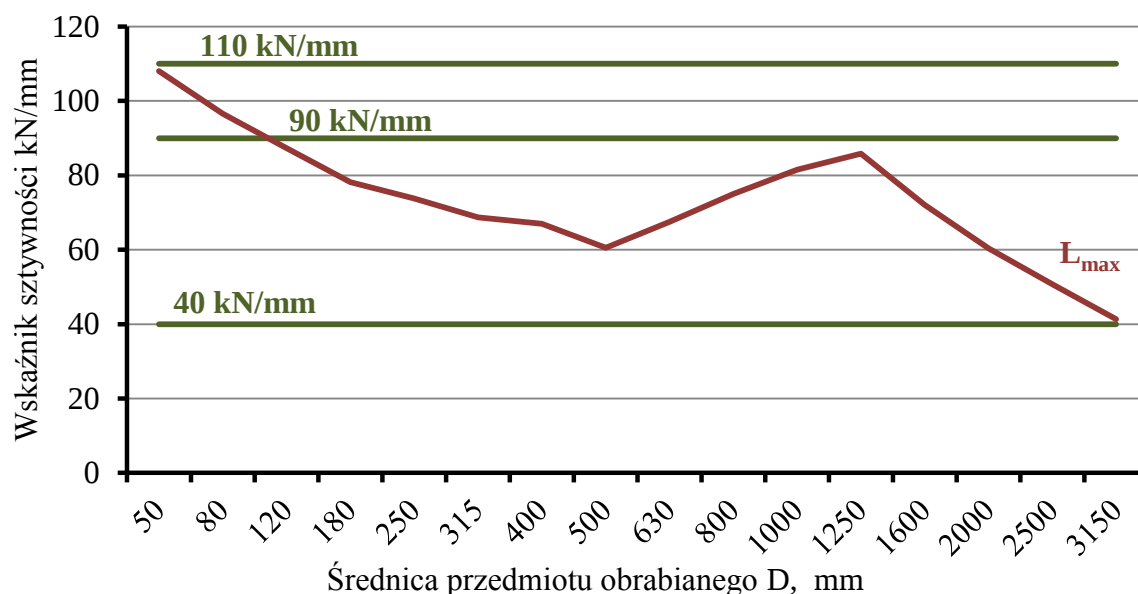


Rys. 5. Zestawienie wyników pomiarów sztywności statycznej j_{xx} suwaków lewych centrów tokarskich karuzelowych serii KCI; wyniki uzyskano dla maksymalnego wysuwu suwaka [10]

Fig. 5. List of measurement results on static stiffness j_{xx} of left sliders of vertical machining centers KCI series; results were obtained for the maximum extension of the slider [10]

Dlatego też proponuje się ustalić zalecany wskaźnik sztywności statycznej tokarek karuzelowych dla maksymalnego wysuwu suwaka, wyznaczany w kierunku osi Y, na poziomie 90 kN/mm (patrz rys. 6). Wartość 90 kN/mm obliczono jako średnią arytmetyczną wskaźników sztywności uzyskanych z badań zamieszczonych w pracy [10] po odrzuceniu dwóch pomiarów obrabiarek o zdecydowanie najniższych wskaźnikach sztywności (57 kN/mm). Ustaloną w ten sposób wartość wskaźnika sztywności należy traktować jako wartość orientacyjną. Jeżeli wskaźnik sztywności wyznaczony dla obrabiarki jest większy od 110 kN/mm, to możemy wnioskować, że maszyna ta będzie pracowała poprawnie pod względem sztywnościowym oraz że jej montaż był przeprowadzony prawidłowo. W przypadku gdy uzyskany z badań wskaźnik sztywności mieści się w zakresie od 110 kN/mm do 90 kN/mm, możemy wnosić, że obrabiarka może nie dotrzymywać założonej dokładności wykonania w przypadku obróbki przedmiotów o małych średnicach (poniżej 120 mm), prowadzonej z maksymalnymi parametrami skrawania. Należy zauważyć, że obróbka małych średnic z maksymalnym wysuwem suwaka na tokarkach karuzelowych przeprowadzana jest stosunkowo rzadko, a i w tym przypadku możliwe jest

uzyskanie odpowiedniej dokładności przedmiotu obrabianego poprzez zmniejszenie parametrów skrawania (posuwu lub głębokości skrawania). Jeżeli wskaźnik sztywności mieści się w zakresie od 40 kN/mm do 90 kN/mm, można wnioskować, że mogły zostać popełnione błędy podczas montażu obrabiarki (np. nieprawidłowe momenty dokręcenia śrub mocujących korpusy i kasujących luzu na prowadnicach ślizgowych).

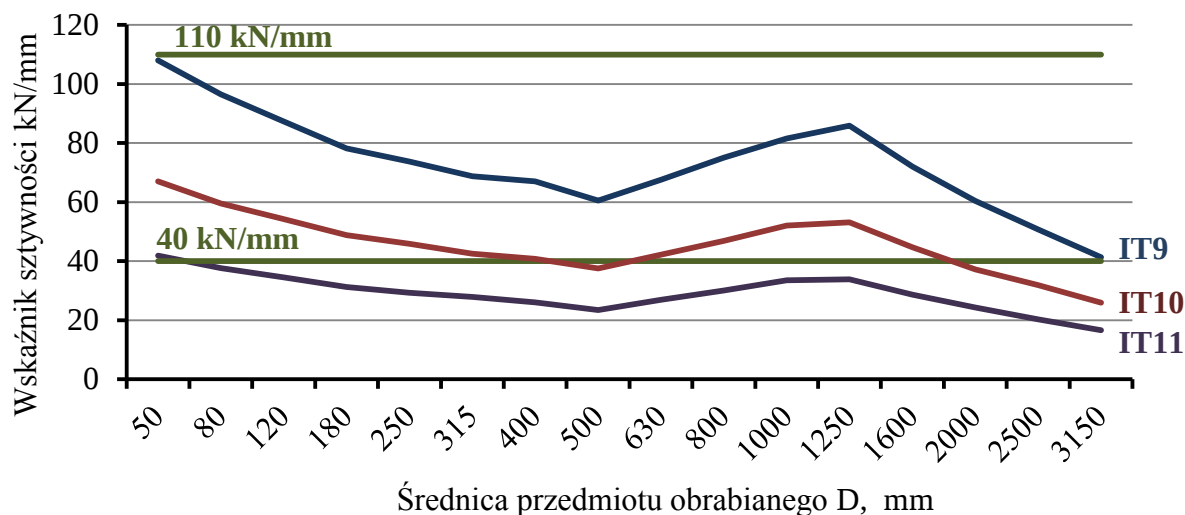


Rys. 6. Zależność zalecanego wskaźnika sztywności statycznej od średnicy przedmiotu obrabianego, dla dokładności wykonania w klasie IT9 i maksymalnego wysuwu suwaka
Fig. 6. Dependence of the recommended static stiffness factor on the diameter of the machined detail, for the accuracy of IT9 class and the maximum slider extension

Jeżeli wskaźnik sztywności wynosi powyżej 40 kN/mm, możliwa jest obróbka kształtująca z dokładnością dla 11. klasy (patrz rys. 7). Zaproponowane graniczne wartości wskaźników sztywności zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Zalecane, graniczne wartości wskaźników sztywności tokarek karuzelowych
Table 1. Recommended, limit values of vertical lathe stiffness factor

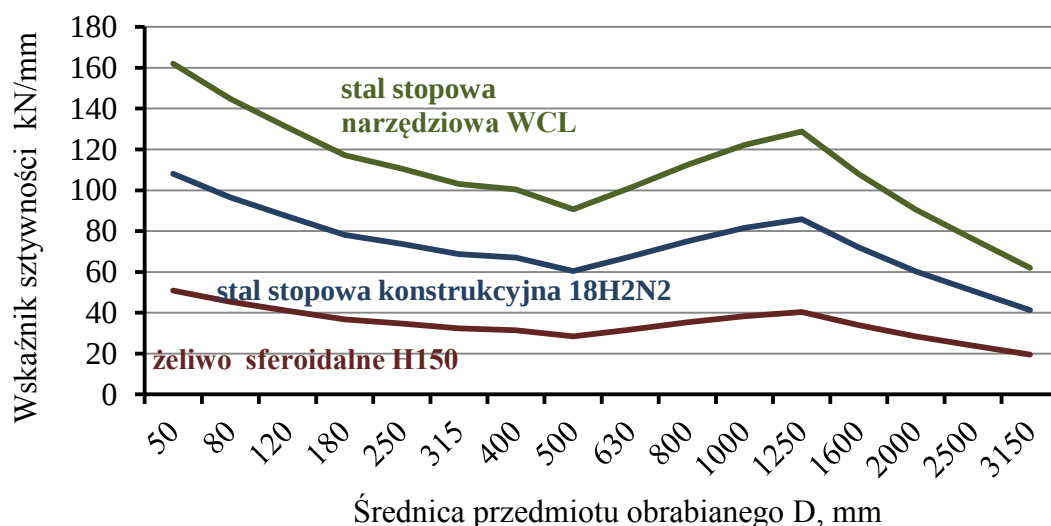
Przedział wskaźnika sztywności j_{xx}	Hipotetyczny zakres dokładności obróbki kształtującej	Ocena poprawności montażu
>110 kN/mm	W całym zakresie średnic przedmiotu obrabianego można uzyskać klasę 9. dokładności wykonania	Prawidłowy
110÷90 kN/mm	Przy maksymalnym wysuwie suwaka i średnicy poniżej 120 mm nie można zachować 9. klasy dokładności	Prawidłowy
90÷40 kN/mm	Można zapewnić 11. klasę dokładności wykonania dla całego zakresu średnic przedmiotów obrabianych	Prawdopodobnie nieprawidłowy
20÷40 kN/mm	Można zapewnić 10. klasę dokładności dla przedmiotów o średnicach powyżej 2000 mm	Nieprawidłowy
<20 kN/mm	Nie można zapewnić 11. klasy dokładności wykonania	Nieprawidłowy



Rys. 7. Zależność zalecanego wskaźnika sztywności statycznej od średnicy przedmiotu obrabianego, dla klas 9., 10. i 11. dokładności wykonania (maksymalny wysuw suwaka)

Fig. 7. Dependence of the recommended static stiffness factor on the diameter of the machined detail for the accuracy class of 9., 10. and 11. (maximum extension of the slider)

Analiza, którą zaprezentowano, przeprowadzona została dla stali stopowej konstrukcyjnej, charakteryzującej się stosunkowo wysoką, w porównaniu z najczęściej obrabianymi materiałami, wartością oporu właściwego skrawania ($K_c=2480$ MPa). Należy zaznaczyć, że otrzymane wyniki silnie zależą od rodzaju materiału obrabianego. W przypadku materiałów trudno obrabialnych, np. stali stopowej narzędziowej WCL, dla której opór właściwy skrawania $K_c=3720$ MPa [6], otrzymane dopuszczalne wskaźniki sztywności przyjmowałyby znacznie większe wartości niż w przypadku obróbki powszechnie stosowanych stali i żeliw (patrz rys. 8). W takim przypadku konieczna jest korekta parametrów skrawania, umożliwiającą uzyskanie założonej dokładności wykonania.



Rys. 8. Zależność zalecanego wskaźnika sztywności statycznej od średnicy przedmiotu obrabianego, dla żeliwa sferoidalnego, stali 18H2N2 oraz stali WCL (maksymalny wysuw suwaka)

Fig. 8. Dependence of the recommended static stiffness factor on the diameter of the machined detail for the ductile cast-iron, steel 18H2N2 and steel WCL (maximum extension of the slider)

5. PODSUMOWANIE

Zaproponowana metoda wyznaczania dopuszczalnego wskaźnika sztywności statycznej tokarek karuzelowych pozwala na uzyskanie wiarygodnych wartości wskaźników, umożliwiających stosunkowo szybką ocenę tokarek karuzelowych pod względem sztywności statycznej. Ocena na podstawie zaproponowanych granicznych wskaźników sztywności może być przeprowadzona w warunkach warsztatowych, w badaniach trwających, co najwyżej kilkadziesiąt minut. Kolejnym etapem prac będzie przeprowadzenie prób skrawaniowych weryfikujących zaproponowany w tabeli 1 wpływ wskaźników sztywności na uzyskiwane klasy dokładności przedmiotów obrabianych.

LITERATURA

- [1] FELD M., 1994, *Projektowanie i automatyzacja procesów technologicznych części maszyn*, WNT, Warszawa.
- [2] GRZESIK W., 2014, *Podstawy skrawania materiałów konstrukcyjnych*, WNT, Warszawa.
- [3] KRZYŻANOWSKI J., 1990, *Własności układu konstrukcyjnego obrabiarek skrawających. Zagadnienia oceny ze względu na dokładność kształtowania*, Prace Naukowe Instytutu Technologii Budowy Maszyn Politechniki Wrocławskiej, Monografie nr 10, Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 43.
- [4] OLSZAK W., 2008, *Obróbka skrawaniem*, WNT, Warszawa.
- [5] *Poradnik obróbki skrawaniem*, 2010, Sandvik Coromant, Warszawa.
- [6] PRZYBYLSKI L., 2000, *Strategia doboru warunków obróbki współczesnymi narzędziami*, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków.
- [7] SKOCZYŃSKI W., 2003, *Ocena własności obrabiarek na podstawie dokładności obróbki*, Przegląd Mechaniczny, 2, Warszawa.
- [8] SKOCZYŃSKI W., 2001, *Ocena własności obrabiarek na podstawie dokładności obróbki przedmiotów próbnych*, Monografia, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław.
- [9] SKOCZYŃSKI W., 2002, *Analiza błędów przedmiotu obrabianego spowodowanych czynnikami wynikającymi z własności obrabiarek i procesu skrawania*, Przegląd Mechaniczny, 11, Warszawa.
- [10] ŚLIWKA J., 2013, *Identyfikacja sztywności statycznej obrabiarek ciężkich w warunkach przemysłowych*, (monografia), Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice.
- [11] WECK M., 1985, *Werkzeugmaschinen, Bd.4 Messtechnische Untersuchung und Beurteilung*, DVI-Verlag, Dusseldorf.
- [12] BN-67/M-1522-01 *Obrabiarki do metali. Ogólne warunki pomiarów sztywności statycznej* (oparta na normie IOS: ZN-62/MPC-04-2563).
- [13] BN-67/M-1522-02 *Obrabiarki do metali. Pomiar sztywności statycznej tokarek kłowych. Warunki i sposób pomiaru* (oparta na normie IOS: ZN-63/MPC-25064).
- [14] BN-74/M-1522-05 *Obrabiarki do metali. Pomiar sztywności statycznej wiertarek kadłubowych. Warunki i sposób pomiaru*.
- [15] BN-74/M-1522-06 *Obrabiarki do metali. Pomiar sztywności statycznej wiertarek promieniowych. Warunki i sposób pomiaru*.
- [16] PN-94/M-55651: *Warunki odbioru tokarek kłowych. Badanie dokładności*.
- [17] DIN 8602, 1985, *Verhalten von Werkzeugmaschinen unter statischen und termischer Beanspruchung*.

THE METHOD FOR DETERMINING THE RECOMMENDED STATIC STIFFNESS INDICATOR FOR VERTICAL TURNING LATHES

The article discusses the method for determining the recommended indicator of static stiffness dedicated to vertical turning lathe. The proposed method is based on analysis of the machining accuracy. The resulting value of the recommended indicators stiffness were summarized the results of tests carried out on a selected group of vertical turning lathes.

Keywords: vertical turning lathes, machining accuracy, static stiffness