

Krzysztof Chmielewski, Marek Zasada

**Nastawianie układów technologicznych  
OUPN**

## WSTĘP

Jednym z podstawowych czynników mających wpływ na dokładność wykonania przedmiotu obrabianego jest sposób nastawiania układu OUPN (obrabiarka - uchwyt - przedmiot obrabiany - narzędzie). Wpływa on głównie na dokładność uzyskiwanych wymiarów oraz w pewnym stopniu decyduje o kosztach obróbki. W skrypcie opisano podstawowe sposoby nastawiania układu OUPN dla uzyskania żądanego (podanego w instrukcji obróbki) wymiaru operacyjnego przy nastawieniach prostych (jednego narzędzia na jeden wymiar) oraz nastawieniach złożonych i współzależnych. Na przykładzie nastawienia frezarki, przedstawiono poszczególne sposoby nastawiania układu OUPN. W dalszej kolejności przedstawiono nastawianie złożone i współzależne na przykładzie nastawiania tokarki rewolwerowej. Skrypt jest materiałem pomocniczym do ćwiczeń laboratoryjnych z przedmiotu "Technologia maszyn" w tematach "Nastawianie frezarki do obróbki serii przedmiotów" oraz "Nastawianie tokarek rewolwerowych do obróbki serii przedmiotów". Podczas realizacji ćwiczeń laboratoryjnych ze względów metodycznych konieczna jest znajomość podstawowych pojęć przedstawionych w instrukcji do tematu "Ustawianie przedmiotów obrabianych w operacjach obróbki skrawaniem".

## DOKŁADNOŚĆ PRZEDMIOTU OBRABIANEGO

Dokładność przedmiotu obrabianego jest jednym ze wskaźników oceny jego jakości [...]. Obejmuje dokładność wymiarów, kształtu i wzajemnego położenia powierzchni. Sumaryczną odchyłkę wykonania przedmiotu na uprzednio nastawionej obrabiarence można wyrazić wg [1] następującą zależnością:

$$\Delta = \Delta_y + \varepsilon + \Delta_n + \Delta_{VB} + \Delta\tau + \Delta_{kp} \quad (1.1)$$

gdzie:

$\Delta_y$  - odchyłka wymiaru, powstająca w rezultacie sprężystego odkształcenia elementów układu technologicznego z powodu niestabilności sił skrawania,

$\varepsilon$  - odchyłka wymiaru związana z ustawieniem (ustaleniem i zamocowaniem) przedmiotu w uchwycie i uchwytu na obrabiarence,

$\Delta_n$  - odchyłka wymiaru powstająca przy nastawianiu obrabiarki,

$\Delta_{VB}$  - odchyłka wymiaru spowodowana zużyciem narzędzia skrawającego,

$\Delta\tau$  - odchyłka wymiaru spowodowana cieplnymi odkształceniami układu technologicznego OUPN,

$\Delta_{kp}$  - sumaryczna odchyłka kształtu obrobionej powierzchni.

Jeżeli uwzględnimy, że poszczególne odchyłki składowe są zmiennymi losowymi, przy czym rozkład odchyłek  $\Delta_y$ ,  $\varepsilon$ ,  $\Delta_n$  jest zbliżony do normalnego, natomiast odchyłki  $\Delta_{VB}$  i  $\Delta\tau$  do rozkładu jednostajnego (równego prawdopodobieństwa), zależność (1.1) przyjmuje (przy ryzyku 0,27%) następującą postać:

$$\Delta = \sqrt{\Delta_y^2 + \varepsilon^2 + \Delta_n^2 + 3\Delta_{VB}^2 + 3\Delta\tau^2} + \Delta_{kp} \quad (1.2)$$

Odchyłka  $\Delta_y$  powodowana jest zmiennością warunków obróbki wpływających na siłę skrawania, a przede wszystkim zmiennością naddatku obróbkowego i twardości materiału obrabianego.

$$\Delta_y = y_{\max} - y_{\min} = (F_{y\max} - F_{y\min})(1/j_p + 1/j_n), \quad (1.3)$$

gdzie:

$y_{\max}, y_{\min}$  - największa i najmniejsza wartość sprężystego odkształcenia układu OUPN w różnych przekrojach przygotówki,

$F_{y\max}, F_{y\min}$  - największa i najmniejsza wartość składowej odporowej siły skrawania,

$j_p$  - sztywność układu przygotówki - uchwyt - węzły obrabiarki, na których mocowana jest przygotówka,

$j_n$  - sztywność układu narzędzie - uchwyt (do mocowania narzędzia) - węzły obrabiarki, na których mocowane jest narzędzie.

Podkreślić należy, że rozpatrywane jest tu sprężyste odkształcenie układu, pochodzące od składowej zmiennej siły skrawania. Odkształcenie powstające podczas skrawania naddatku o

wymiarze nominalnym, przy stałej twardości materiału obrabianego, ma wartość stałą i może być kompensowane przez odpowiednie nastawienie obrabiarki. Odchyłka ustawienia  $\varepsilon$  powodowana jest nie pokrywaniem się baz konstrukcyjnych (wymiarowych) z bazami technologicznymi obróbkowymi obrabianego przedmiotu oraz odchyłkami ustalenia i mocowania przedmiotu, działania i ustalenia uchwytu obróbkowego na obrabiarce. Szczegółowa analiza tego błędu przedstawiona jest w instrukcji do tematu "Ustawianie przedmiotów obrabianych w operacjach obróbki skrawaniem". Odchyłka nastawienia obrabiarki  $\Delta_n$  stanowi różnicę granicznych położenia narzędzia skrawającego na obrabiarce przy jego nastawianiu na wymiar nastawczy. Rozważając wpływ zużycia ostrza na odchyłkę wymiaru operacyjnego, należy mieć na uwadze tzw. skrócenie ostrza KE (zużycie wymiarowe), które powiązane jest z szerokością starcia na powierzchni przyłożenia VB następującą zależnością (rys. 1.1a) :

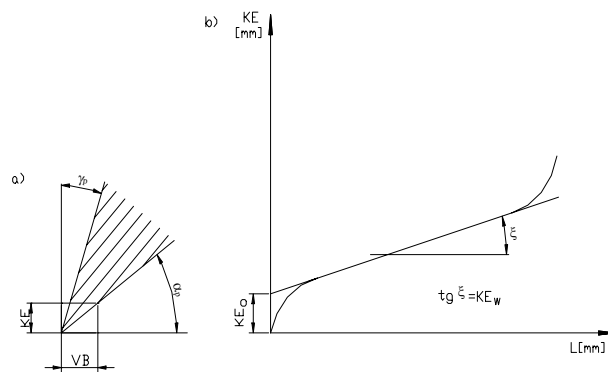
$$\Delta_{VB} = KE = \frac{VB}{\operatorname{ctg} \alpha_p - \operatorname{tg} \gamma_p} \quad (1.4)$$

Wymiarowe zużycie ostrza obliczyć można na podstawie tzw. względnego wymiarowego zużycia (rys. 1.1b):

$$KE = KE_0 + KE_w \cdot L, \quad (1.5)$$

gdzie:

- KE<sub>0</sub> - wymiarowe zużycie początkowe [mm],
- KE<sub>w</sub> - względne zużycie wymiarowe [mm/m],
- L - droga skrawania [m],



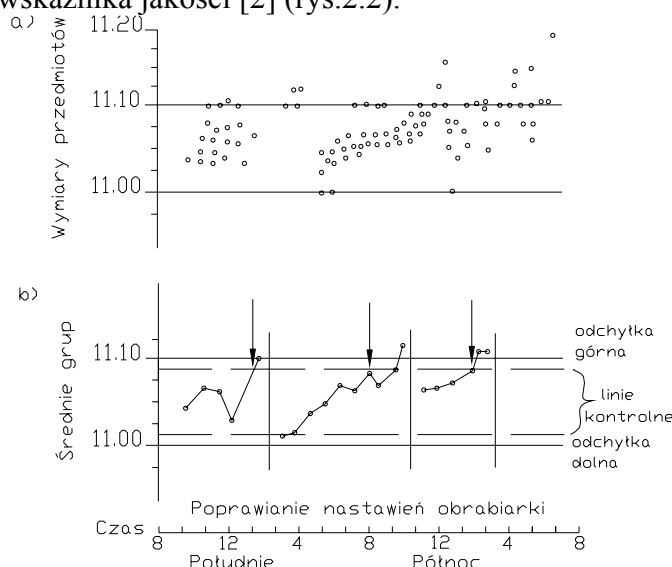
Rys. 1.1. Schematyczne przedstawienie wymiarowego zużycia ostrza

Odchyłka wymiaru  $D_t$ , powodowana termicznymi deformacjami układu technologicznego, jest zależna od czasu obróbki lub drogi skrawania w sposób bardzo złożony. W początkowym okresie pracy obrabiarki następuje intensywne narastanie termicznych deformacji, po czym na skutek osiągnięcia przez układ OUPN równowagi cieplnej powstały błąd stabilizuje się. Przebieg cieplnych procesów w układzie OUPN jest określony jego cechami konstrukcyjnymi, warunkami chłodzenia, cieplną przewodnością elementów i innymi czynnikami. W sumaryczną odchyłkę wykonania przedmiotu wlicza się także sumę odchyłek kształtu  $D_{kp}$ . Odchyłki te powodowane są geometrycznymi niedokładnościami obrabiarki, deformacjami przygotówki pod działaniem sił mocowania i niejednakowymi w różnych przekrojach przygotówki sprężystymi odkształceniami układu technologicznego pod

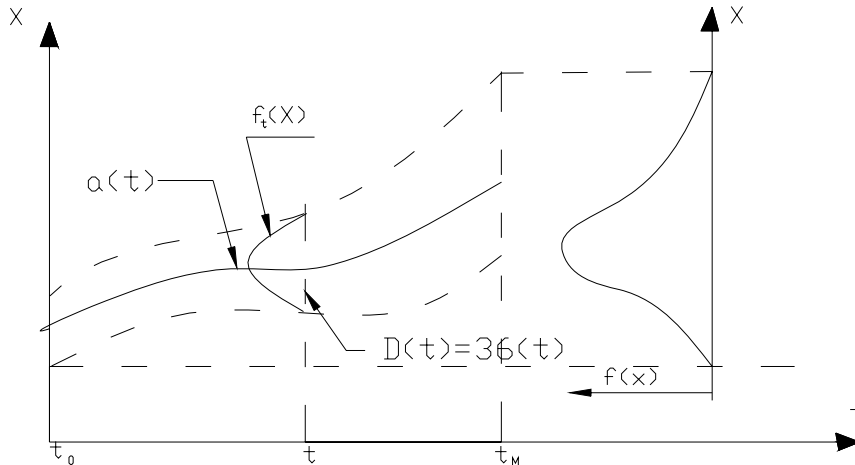
wpływem sił skrawania. Procentowy udział poszczególnych odchyłek składowych w sumarycznej odchyłce wykonania przedmiotu jest zmienny i może być rozpatrywany tylko w odniesieniu do konkretnych sposobów, rodzajów i warunków obróbki.

## 2. GRAFICZNE PRZEDSTAWIENIE DOKŁADNOŚCI PRZEDMIOTU OBRABIANEGO

Odkładając na osi odciętych numery kolejno obrabianych przedmiotów, a na osi rzędnych ich wymiary-otrzymuje się punktowy wykres dokładności, tzw. kartę kontrolną. Długość takiego wykresu skraca się, dzieląc ogół obrabianych przedmiotów na grupy po kilka sztuk i odkładając na osi odciętych nie numery przedmiotów, lecz numery grup. Wówczas punkty odpowiadające wymiarom przedmiotów jednej grupy rozmieszczone są na jednej prostej prostopadłej do osi odciętych (rys.2.1a). Poprawki nastawienia obrabiarki wyrażają się na takich wykresach globalną zmianą (uskokiem) wymiarów obrabianych przedmiotów. Tendencję zmiany wymiarów (systematyczną) kolejno obrabianych przedmiotów łatwiej jest rozpatrywać, gdy wykona się wykres średnich wymiarów z poszczególnych grup (rys. 2.1b). Charakter przytoczonych wykresów nie zmieni się oczywiście, jeżeli na osi odciętych odłożony zostanie czas, w którym poszczególne przedmioty lub grupy przedmiotów będą zdejmowane z obrabiarek. Wykorzystanie kart kontrolnych do określania momentów wprowadzania poprawek nastawienia obrabiarki jest mało precyzyjne i wymaga doświadczonego określenia tzw. linii kontrolnych. Osiągnięcie przez przedmiot obrabiany wymiaru w pobliżu linii kontrolnej jest sygnałem do wprowadzenia korekty nastawienia obrabiarki. Precyzyjniejsze wykorzystanie wyników pomiarów przedmiotów obrabianych jest możliwe przez wykorzystanie do ich opracowania statystyki matematycznej, a w szczególności metod analizy regresji. Przebieg procesu obróbki w ogólnym przypadku można scharakteryzować dwoma funkcjami:  $a(t)$  i  $b(t)$ , określającymi odpowiednio systematyczną zmianę w czasie wartości średniej i granic chwilowego rozrzutu rozpatrywanego wymiaru lub innego wskaźnika jakości [2] (rys.2.2).

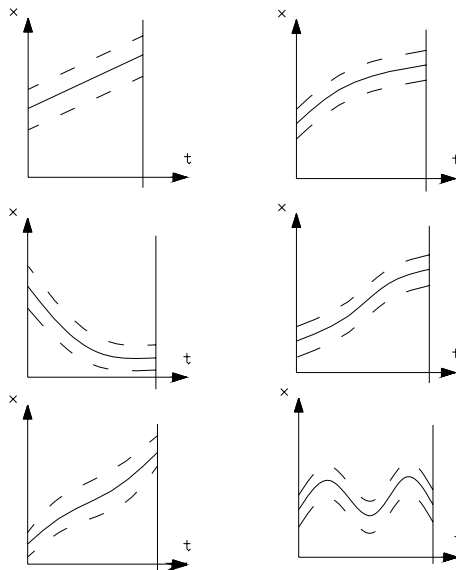


Rys. 2.1 Karta kontrolna operacji frezarskiej



Rys. 2.2. Teoretyczny wykres dokładności:  $x$  - wskaźnik jakości,  $t$  - czas wykonania serii przedmiotów (od  $t_0$  do  $t_k$ ),  $f(x)$  - sumaryczny rozkład wskaźnika jakości w czasie od  $t_0$  do  $t_k$ ,  $f_t(x)$  - chwilowy rozkład wskaźnika jakości w chwili  $t$ .

W konkretnych przypadkach ogólną postać wykresu dokładności często upraszcza się. W szczególności przyjmuje się stałą wartość odchylenia standardowego  $s(t)$ , służącego do obliczania granic chwilowego rozrzutu analizowanego wymiaru. Kilka przykładów tak uproszczonych wykresów [2] przedstawiono na rys.2.3.



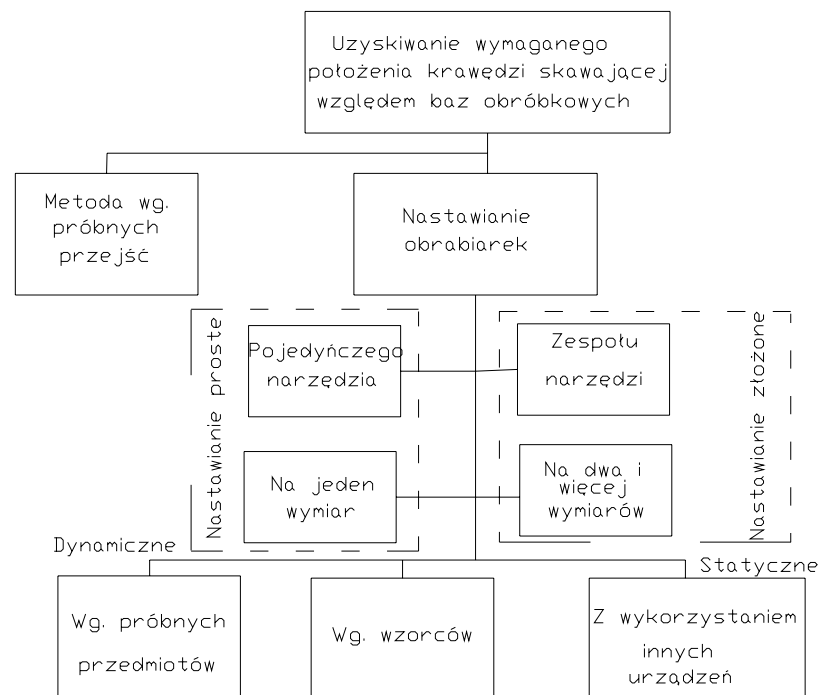
Rys.2.3 Przykłady wykresów dokładności

Możliwość uzyskania tak dużej różnorodności przebiegu funkcji  $a(t)$  tłumaczona jest możliwością różnych przebiegów zużycia ostrza, wpływów temperatury, błędów łańcucha kinematycznego obrabiarki itp. Analiza zmienności funkcji  $a(t)$ ,  $b(t)$  oraz postaci rozkładów chwilowych  $f_t(x)$  nazywana jest ogólnie badaniem stabilności operacji lub procesów technologicznych. W operacjach stabilnych, tzn. przy praktycznej stałości funkcji  $a(t)$  i  $b(t)$  - rozkład sumaryczny danego wskaźnika jakości  $f(x)$  pokrywa się z rozkładem chwilowym  $f_t(x)$  tego wskaźnika. Podkreślić należy również, że o ile rozkłady chwilowe  $f_t(x)$  w większości przypadków obróbki na obrabiarkach nastawianych są zbliżone do rozkładów normalnych o tyle rozkłady sumaryczne  $f(x)$  przy niestałości funkcji  $a(t)$  znacznie od nich odbiegają (rys.2.2). Przedstawione wykresy ujmują dokładność obróbki przedmiotów w funkcji czasu bez uwzględniania udziału poszczególnych odchyłek składowych w ogólnym polu rozrzutu. Informacja w nich zawarta pozwala co prawda na określenie odstępu czasu

potrzebnego do wprowadzenia korekt nastawienia obrabiarki, nie wystarcza natomiast do wykonania wielu analiz związanych z określeniem wymiarów nastawczych, szukaniem rezerw prowadzących do podwyższenia dokładności itp. Z tych też powodów wykresy dokładności rozważane w dalszych rozdziałach instrukcji będą uwzględniały podział pola rozrzutu wymiarów odpowiednio do rozpatrywanych błędów składowych obróbki.

### 3. UZYSKIWANIE WYMAGANEGO POŁOŻENIA NARZĘDZIA WZGLĘDEM BAZ OBRÓBKOWYCH PRZEDMIOTU.

Aby otrzymać wymagany wymiar operacyjny na przedmiocie, trzeba zapewnić ściśle określone położenie krawędzi skrawającej narzędzia w stosunku do powierzchni stanowiącej bazę obróbkową obrabianego przedmiotu. Położenie takie można uzyskać stosując metodę próbnych przejść lub metodę nastawienie obrabiarek (rys. 3.1.).



Rys 3.1 Klasyfikacja sposobów uzyskiwania wymaganego położenia krawędzi skrawającej względem baz obróbkowych

#### 3.1. Metoda próbnych przejść

Metoda obróbki według próbnych przejść (nazywana też metodą wg pomiarów) polega na tym, że pracownik wstępnie ustawia ostrze tak, aby skrawać małą głębokością, obrabia niewielki fragment powierzchni, następnie dokonuje pomiaru i koryguje ustawienie ostrza, posługując się skalą na pokrętkach, czujnikami lub innymi przyrządami. Podczas uzyskiwania dokładnych wymiarów cykl obróbki próbnej i korekty przeprowadza się dwukrotnie lub

nawet trzykrotnie. Niektórzy autorzy ten sposób uzyskiwania wymiaru operacyjnego zaliczają do metod nastawiania obrabiarek, w związku z czym odchyłka nastawiania  $\Delta_n$  może być traktowana jako skutek błędu pomiaru  $\Delta_p$  i niedokładności regulacji położenia ostrza narzędzia  $\Delta_r$ :

$$\Delta_n = \sqrt{\Delta_p^2 + \Delta_r^2} \quad (3.1)$$

Metodę obróbki według próbnych przejść stosuje się głównie w produkcji jednostkowej i małoseryjnej. Pozwala na indywidualne potraktowanie każdego przedmiotu i tym samym wyeliminowanie wpływu wahań naddatku operacyjnego, właściwości mechanicznych materiału obrabianego oraz zużycia ostrza na dokładność obróbki. Wadą metody jest znaczne wydłużenie czasu przygotowawczo-zakończeniowego w związku z wykonywaniem próbnych przejść, pomiarami i korygowaniem położenia narzędzia. Czynności te wymagają również wysokich klasyfikacji od pracownika obsługującego obrabiarkę. Wykresy rozkładów sumarycznych  $f(x)$  dla partii przedmiotów obrabianych tą metodą wykazują z reguły silną asymetrię, powodowaną dążeniem przez pracownika do otrzymania wymiaru operacyjnego w pobliżu "maksimum materiału".

### 3.2. Metody nastawiania obrabiarek.

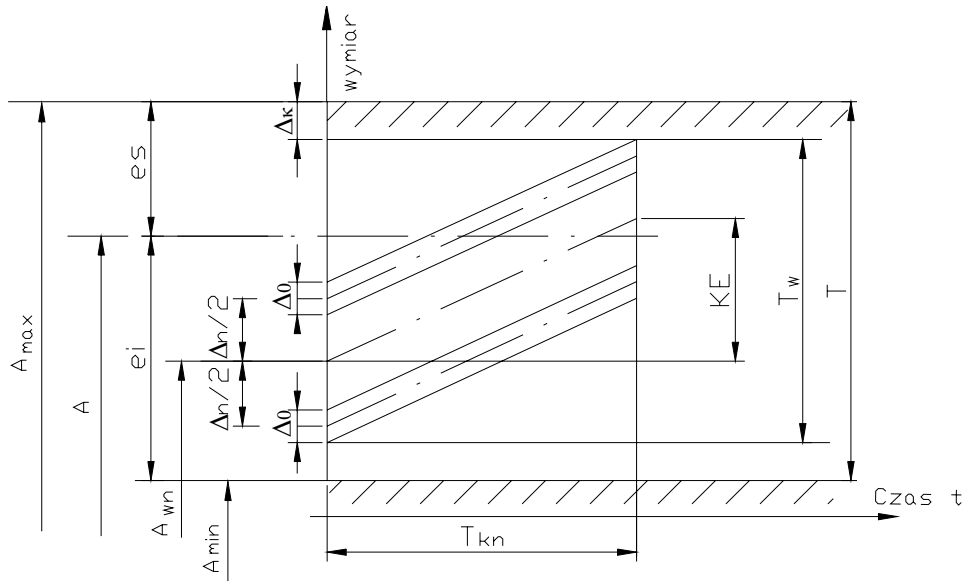
W produkcji seryjnej i masowej wymagania względem jakości przygotówek ( tolerancje naddatków, jednorodność własności mechanicznych ), metod obróbki ( np. wyeliminowanie trasowania ) oraz oprzyrządowania i automatyzacji operacji są znacznie wyższe niż w produkcji jednostkowej. Stwarza to warunki do poprawy stabilności operacji i tym samym do prowadzenia obróbki na obrabiarkach nastawionych. Konieczność stosowania tego sposobu prowadzenia obróbki spowodowana jest ponadto dążeniem do zwiększenia wydajności produkcji przez stosowanie obsługi wielostanowiskowej oraz wykorzystanie niewykwalfikowanej siły roboczej.

Nastawianiem obrabiarki ( ściślej układu OUPN ) nazywać się będzie czynności odnoszących się do ustawiania narzędzia, elementów roboczych obrabiarki, uchwytu lub przyrządu w położeniu, które zapewni otrzymanie wymiaru operacyjnego na przedmiocie w założonym polu tolerancji. Z nastawieniem wiążą się pojęcia tzw. wymiaru nastawczego i jego tolerancji, które są zgodne co do kierunku z wymiarem operacyjnym i jego dopuszczalną tolerancją, ale na ogół różnią się od nich co do wartości. Wynika to z dążenia do maksymalnego wydłużenia okresów dzielących kolejne wprowadzanie korekt nastawiania w warunkach operacji niestabilnych. Nastawianie może dotyczyć pojedynczego narzędzia lub zespołu narzędzi. Przez zespół narzędzi rozumiana jest pewna liczba pojedynczych narzędzi rozmieszczonych względem siebie w sposób określony wymiarami. Będzie to np. zespół frezów zmontowany na jednym trzpieniu, zespół noży tokarskich w imaku wielonożowym itp. Nastawianie zespołu narzędzi rozdziela się w związku z tym na nastawianie narzędzi w zespole oraz nastawianie zespołu jako całości. Zarówno pojedyncze narzędzie, jak i zespół narzędzi może być nastawiany na jeden wymiar lub na więcej wymiarów jednocześnie ( nastawianie złożone ). Rozróżnia się dwa podstawowe sposoby nastawiania obrabiarek ( rys. 3.1 ): nastawianie dynamiczne ( metoda próbnych przedmiotów ) i statyczne ( wg ustawiaków, wzorców lub z wykorzystaniem innych urządzeń typu stoliki ustawcze ).

#### 3.2.1. Nastawianie obrabiarek metodą próbnych przedmiotów.

Obliczanie wymiarów nastawczych w metodzie nastawiania obrabiarek oparte jest na znajomości wykresów dokładności rozpatrywanych operacji. Istota zagadnienia pokazana zostanie na przykładzie operacji, dla której wykres dokładności ma szczególną prostą postać (rys.3.2).





Rys. 3.2 Wykres dokładności przy liniowej zmianie w czasie średniej wartości wymiaru operacyjnego oraz stałej wartości odchylenia standardowego  $\sigma(t)$  tego wymiaru  
Wykres dotyczy wymiarów operacyjnych zewnętrznych, które wykazują systematyczne liniowe powiększanie się na skutek zużywania się narzędzia skrawającego KE. W polu rozrzutu odchyłek wymiaru wyodrębniono odchyłkę nastawienia obrabiarki  $\Delta_n$  oraz odchyłkę obróbki  $\Delta_o$ , stanowiącą sumę pozostałych czterech odchyłek składowych sumarycznego błędu wykonania (wzory 1.1 i 1.2). Tak wyodrębniona odchyłka  $\Delta_o$  nazywana jest niekiedy odchyłką naturalną, właściwą danemu sposobowi obróbki. Tolerancję wymiaru operacyjnego T przy obróbce wykańczającej zmniejsza się z reguły do tzw. tolerancji wykonawczej  $T_w$  ze względu na konieczność pozostawienia pewnego zapasu na ewentualne błędy ostatecznej kontroli przedmiotu  $\Delta_k$ :

$$T_w = T - 2 \Delta_k \quad (3.2)$$

Wielkość  $\Delta_k$  wybiera się w ten sposób, aby tolerancja wykonawcza  $T_w$  wynosiła co najmniej  $0,6 T$  przy obróbce części z dokładnością IT5-IT8,  $0,75T$  dla IT9-IT12 oraz  $0,8T$  dla IT13-IT16. Z przedstawionego na rys. 3.2 wykresu dokładności wynika bezpośrednio zależność wyrażająca tolerancję wymiaru operacyjnego T w postaci:

$$T = \Delta_n + \Delta_o + KE + 2 \Delta_k \quad (3.3)$$

oraz warunek nie przekraczania dopuszczalnej wartości wymiarowego zużycia ostrza

$$KE \leq KE_{dop} = T - 2 \Delta_k - (\Delta_n + \Delta_o). \quad (3.4)$$

Wymiar nastawczy  $A_{wn}$  obliczyć można posługując się jednym z dwu wzorów:

$$A_{wn} = A_{max} - \Delta_k - \frac{\Delta_o}{2} - \frac{\Delta_n}{2} - KE \quad (3.5)$$

$$A_{wn} = A_{min} + \Delta_k + \frac{\Delta_o}{2} + \frac{\Delta_n}{2}. \quad (3.6)$$

Dla wymiarów operacyjnych wykazujących systematyczne zmniejszanie się z powodu zużywania się ostrza odpowiedniki wzorców (3.5) i (3.6) będą miały następującą postać:

$$A_{wn} = A_{min} + \Delta_k + \frac{\Delta_o}{2} + \frac{\Delta_n}{2} + KE, \quad (3.5a)$$

$$A_{wn} = A_{max} - \Delta_k - \frac{\Delta_o}{2} - \frac{\Delta_n}{2}. \quad (3.6a)$$

W momencie próbnym przedmiotów odchyłka nastawienia  $\Delta_n$  stanowi geometryczną sumę trzech odchyłek składowych:

$$\Delta_n = \sqrt{\Delta_{ns}^2 + \Delta_p^2 + \Delta_r^2} \quad (3.7)$$

gdzie:

$\Delta_{ns}$  - pole rozrzutu wartości średniej obliczonej z pomiarów próbnych przedmiotów,

$\Delta_p$  - pole rozrzutu błędów pomiarów próbnych przedmiotów,

$\Delta_r$  - pole rozrzutu wymiarów powstające w czasie regulacji położenia narzędzia.

Błąd  $\Delta_{ns}$  spowodowany jest ograniczoną liczbą próbnych przedmiotów obrabianych przy kolejnych nastawieniach. Obliczyć go można z następującej zależności:

$$\Delta_{ns} = \frac{\Delta_0}{\sqrt{n}} \quad (3.8)$$

gdzie:

$n$  – liczba próbnych przedmiotów.

Kontrola nastawienia polega na sprawdzeniu następującego warunku:

$$\left| \overline{A_{wn}} - A_{wn} \right| \leq t \frac{s_m}{\sqrt{n}} \quad (3.9)$$

gdzie:

$A_{wn}$  - średnica arytmetyczna wartość wymiaru nastawczego z pomiarów próbnych przedmiotów

$$\overline{A_{wn}} = \frac{\sum_{i=1}^n A_{wni}}{n} \quad (3.10)$$

$s_m$  - odchylenie standardowe wymiaru nastawczego z pomiarów próbnych przedmiotów, obliczanie z wzoru:

$$s_m = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (A_{wni} - \overline{A_{wn}})^2}{n-1}} \quad (3.11)$$

$t$  – wartość krytyczna testu t- Studenta dla istotnego poziomu istotności  $\alpha$  i liczby stopni swobody równej  $n-1$ ,

$n$  – liczba próbnie obrabianych przedmiotów.

Wartości stosunku  $t/\sqrt{n}$  dla wybranych wartości poziomu istotności  $\alpha$  podane są w tabelicy 5. Jeżeli warunek określony nierównością (3.9) jest spełniony, można przyjąć, że obrabiarka jest nastawiona prawidłowo. W przeciwnym wypadku należy wykonać korekcję nastawienia obrabiarki.

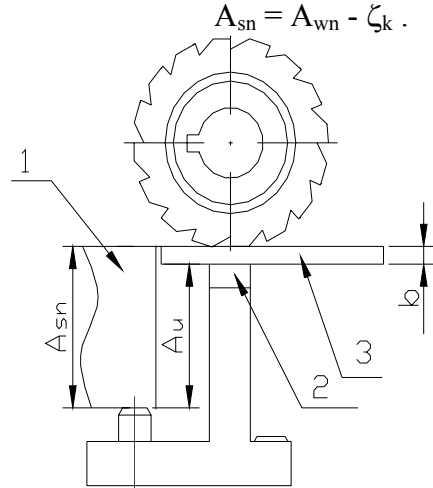
Nastawianie metodą próbnych przedmiotów jest pracochłonne i dość trudne, musi być więc dokonywane przez pracowników z wysokimi kwalifikacjami. Wadą tej metody jest też to, że część próbnych przedmiotów może być brakami. Metodę tę stosuje się w obróbce przedmiotów tanich, o prostych kształtach, obrabianych małą liczbą narzędzi. Jest ona mało przydatna do nastawiania linii automatycznych i obrabiarek zespołowych.

### 3.2.2. nastawianie według wzorca.

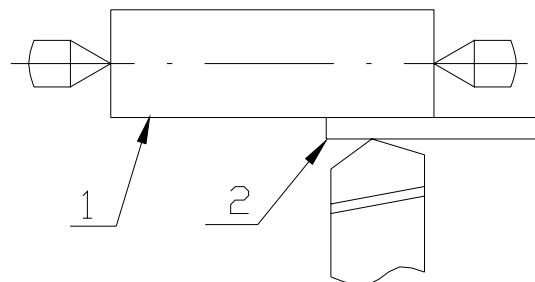
Nastawianie wykonuje się przy nie pracującej obrabiarence, stąd klasyfikowane jest jako nastawianie statyczne. Narzędzie nastawia się według wzorca (określonego jako wzornik, szablon, nastawiak lub ustawiak) z ewentualnym wykorzystaniem płytki ustawczej, szczelinomierza lub bibułki. Przykłady tego rodzaju nastawień przedstawiono na rys. 3.3 – 3.7. istotną różnicę podczas nastawiania statycznego w porównaniu do nastawiania dynamicznego (metodą próbnych przedmiotów) jest konieczność uwzględnienia odkształceń (systematycznych) układu OUPN pod działaniem siły skrawania. O ile podczas nastawiania metodą próbnych przedmiotów odkształcenie układu OUPN stanowiło część mierzonego

wymiaru, o tyle przy nastawieniach statycznych musi być ono wyodrębnione specjalnie i uwzględnione przy obliczaniu wymiaru nastawienia statycznego. Tak więc wymiar nastawczy  $A_{wn}$ , uzyskiwany na przedmiocie, w dotychczasowym rozumieniu różni się od wymiaru nastawczego statycznego  $A_{sn}$  o poprawkę  $\zeta_k$ , uwzględniając odkształcenia układu OUPN podczas obróbki:

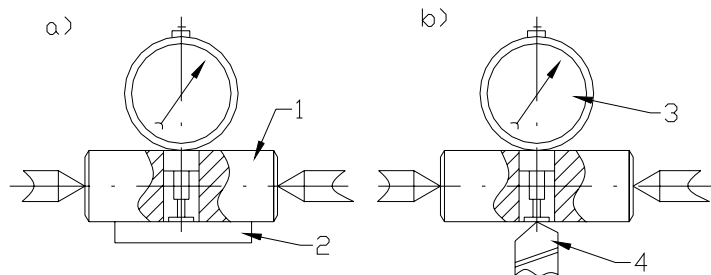
$$A_{sn} = A_{wn} - \zeta_k \quad (3.12)$$



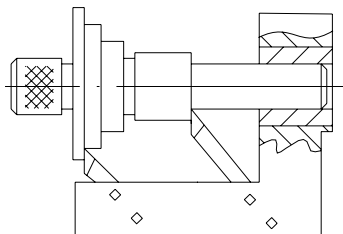
Rys. 3.3 Schemat nastawiania freza na wymiar wg. ustawiaka : 1- przedmiot obrabiany , 2- ustawiak, 3- płytka ustawcza



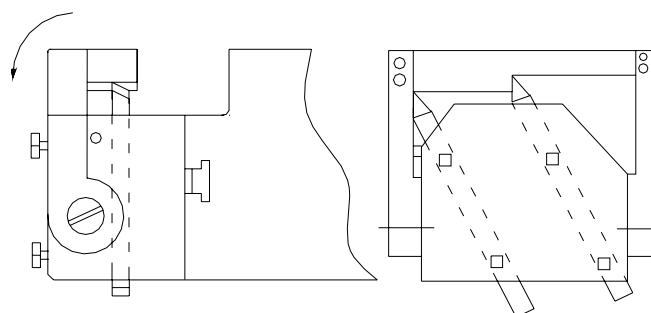
Rys. 3.4 Schemat statycznego nastawiania noża tokarskiego na wymiar wg. wałka wzorcowego : 1- wzornik, 2- płytka ustawcza



Rys. 3.5 Nastawianie noża za pomocą czujnika zegarowego : a) zerowanie czujnika: 1- wzornik, 2- linał wzorcowy; b) nastawianie noża : 3- czujnik zegarowy, 4- nóż tokarski



Rys.3.6 Nastawianie noży mocowanych w oprawce głowicy rewolwerowej



Rys. 3.7 Nastawianie noży tokarskich mocowanych w suporcie bocznym tokarki rewolwerowej

Należy zaznaczyć jednocześnie, że odkształcenie układu OUPN pod wpływem sił skrawania może powodować zwiększenie lub zmniejszenie wymiaru operacyjnego, co powinno być uwzględnione odpowiednim znakiem (+) przed poprawką  $\zeta_k$ . Ogólnie przyjmuje się, że poprawka  $\zeta_k$  stanowi sumę trzech wielkości:

$$\zeta_k = \Delta_{ch} + \Delta_{sz} + \Delta_{lw} . \quad (3.13)$$

gdzie:

$\Delta_{ch}$  – wysokość chropowatości powierzchni obrobionej,

$\Delta_{sz}$  – odkształcenie sprężyste układu OUPN ( $\Delta_{sz} = F_{y/j}$ ),

$F_y$  - odporowa siła skrawania,

$j$  – sztywność układu OUPN,

$\Delta_{lw}$  – przesunięcie (np. freza) na skutek luzu w łożyskach.

Odpowiednikiem odchyłki nastawienia  $\Delta_n$  rozważanej dotychczas, jest przy nastawieniu statycznym odchyłka nastawienia statycznego  $\Delta_{sn}$ , która wyraża się następującą zależnością:

$$\Delta_{sn} = \sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \Delta_3^2} \quad (3.14)$$

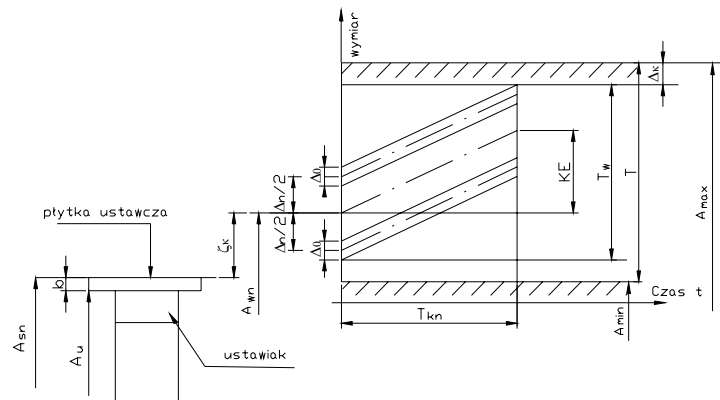
gdzie:

$\Delta_1$  – niedokładność określenia poprawki  $\zeta_k$  (można przyjmować  $\Delta_1 = 0.5 \zeta_k$ ),

$\Delta_2$  – odchyłka ustawienia narzędzia względem ustawiaka zależna od sposobu ustawienia (tab.4),

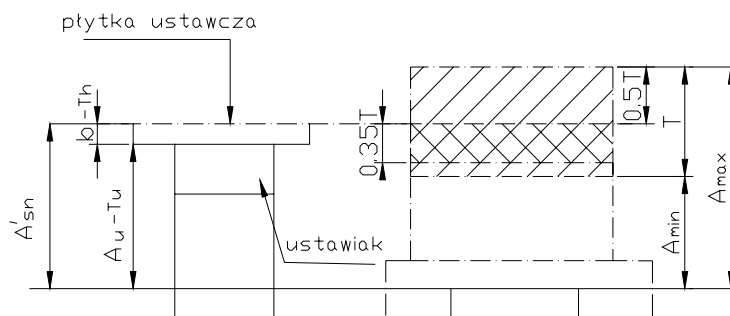
$\Delta_3$  – odchyłka wykonania i montażu ustawiaka (określana jest klasą dokładności, np. IT7).

Schemat obrazujący położenie wymiarów  $\Delta_{sn}$ ,  $\zeta_k$ ,  $\Delta_{sn}$  dla przypadku nastawienia freza (rys.3.3) przedstawiono na rys. 3.8.



Rys. 3.8 Nastawianie freza wg. ustawiaka na tle wykresu dokładności

Jeżeli nie dysponuje się żadnymi informacjami o procesie obróbki, można do obliczenia wymiaru ustawiaka posłużyć się zaleceniami podawanymi w literaturze, np. [4]. Położenie wymiarów i pól tolerancji w wypadku nastawienia freza odpowiednio do tych zaleceń przedstawiono na rys. 3.9.



Rys. 3.9 Rysunek pomocniczy do wstępnego obliczania wymiaru ustawiaka

Wymiar ustawiaka  $A_u$  oblicza się na podstawie zależności

$$(A_{\max} - 0.5T) - 0.35 = A_{u-Tu} + b - T_b ,$$

stąd

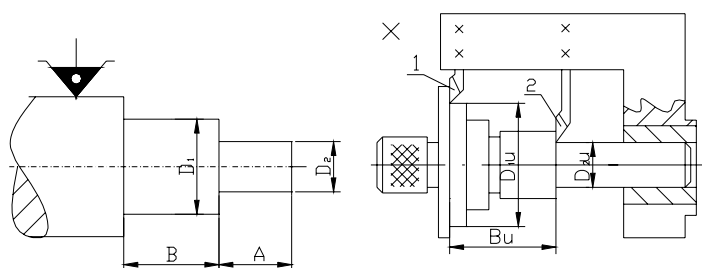
$$A_{u-Tu} = (A_{\max} - 0.5T - b) - (0.35T - T_b) .$$

(3.15)

Jak widać zalecenia powyższe zakładają a priori, że suma tolerancji ustawiaka i płytki ustawczej wynosi 0.35 tolerancji wymiaru operacyjnego i jest skierowana w głąb materiału obrabianego (licząc od środka pola tolerancji wymiaru przedmiotu). Ustawiaki wykonuje się zwykle ze stali 15 lub N8E do N13E a płytki ustawcze ze stali N13E. Twardość ustawiaków:  $HRC \geq 58$ , płytek ustawczych :  $HRC \geq 62$ . Grubość typowych płytek ustawczych wynosi 1,3,5mm a dokładność wykonania IT6-IT7. Nastawianie obrabiarek według wzorców jest łatwiejsze niż metodą próbnych przedmiotów, nie wymaga wysokich kwalifikacji od ustawiaczy i jest szczególnie korzystne przy obróbce wielonarzędziowej na obrabiarkach zespołowych i liniach automatycznych.

### 3.2.3. Nastawianie złożone i współzależne.

Określenie „nastawienie złożone” odnosi się do nastawienia narzędzi jednocześnie na więcej niż jeden wymiar. Nastawianie współzależne natomiast dotyczy będzie narzędzi pracujących w zespole. W praktyce różne rodzaje nastawień mogą występować jednocześnie. Na przykład przy toczeniu wielonożowym wałka wielostopniowego poszczególne narzędzia w zespole nastawia się według ustawiaka poza obrabiarką, natomiast cały zespół nastawia się metodą próbnych przedmiotów, mierząc średnicę i położenie czoła przedmiotów obrobionych przez wybrany nóż., nazywany dalej nożem głównym. Nastawianie złożone i współzależne rozpatruje się w zasadzie indywidualnie dla poszczególnych przypadków obróbki. Jako przykład przedstawiona zostanie obróbka dwóch stopni wałka, wykonywana za pomocą dwóch noży (z których drugi jest nożem głównym), zamocowanych w oprawce wielonożowej na tokarce rewolwerowej (rys.3.10). rozstawienie noży (wymiar B) oraz nastawienie na średnicę  $D_1$  i  $D_2$  wykonywane jest za pomocą ustawiaka trzpieniowego, a wymiar operacyjny A uzyskiwany jest przez nastawianie metodą próbnych przedmiotów.



Rys. 3.10 Nastawianie zespołu noży tokarskich w oprawce wielonożowej wg. ustawiaka trzpieniowego: a) rysunek operacyjny przedmiotu obrabianego; b) szkic nastawiania

Ponieważ w przedstawionym przykładzie do nastawiania noży nie użyto płytki ustawczej ( $b = 0$ ) oraz następuje obróbka dwustronna, średnice ustawiaka oblicza się z wzorów:

$$D_{1u} = D_{1n} - 2 \zeta_k \quad (3.16)$$

$$D_{2u} = D_{2n} - 2 \zeta_k \quad (3.17)$$

gdzie:

$D_{1n}$ ,  $D_{2n}$  – wymiary nastawcze dla średnic  $D_1$  i  $D_2$  (omówione w rozdziale 3.2.1).

Przyjęcie jednakowych poprawek  $\zeta_k$  dla obydwu noży jest uzasadnione, jeśli chropowatości na toczonych powierzchniach ( $\Delta_{ch}$ ) oraz odkształcenia sprężyste ( $\Delta_{sz}$ ) są dla tych noży jednakowe (patrz wzór 3.13)

Nieco inaczej wygląda zagadnienie obliczania wymiaru długościowego  $B_u$  ustawiaka. Łatwo zauważyć bowiem, że zużycia wymiarowe obydwu noży, ich odkształcenia sprężyste i ich chropowatości obrabianych powierzchni czołowych mają ten sam kierunek. Ma to wpływ zarówno na postać wykresu dokładności dla wymiaru obróbkowego  $B_u$  (tym samym na obliczanie wymiaru nastawczego  $B_{un}$ ), jak i na obliczanie poprawk  $\zeta_k$ , związanym z odkształceniem sprężystym układu OUPN i chropowatością obrobionych powierzchni:

$$B_u = B_{un} + \zeta_k \quad (3.18)$$

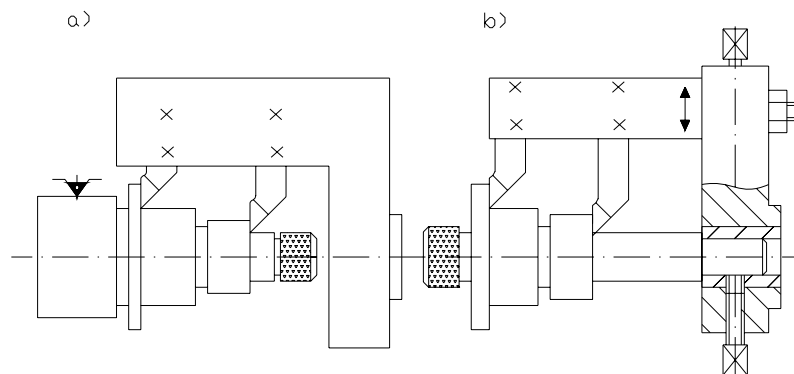
gdzie:

$$\zeta_k = (\Delta_{ch1} - \Delta_{ch2}) + (\Delta_{sz1} - \Delta_{sz2}). \quad (3.19)$$

Znaczenie wielkości  $\Delta_{ch}$  i  $\Delta_{sz}$  jest takie same jak we wzorze 3.13, a indeksy odnoszą się do pierwszego i drugiego obrabianego czola. Poprawka  $\zeta_k$  może mieć znak dodatni lub ujemny, wartość jej jednak jest zwykle bliska zero i możliwa do pominięcia.

Przedstawiony poniżej prosty przykład nastawiania zespołu dwóch noży może być wykonany również w kilku innych wymiarach. Na rys. 3.11a przedstawiono nastawianie noży według ustawiaka umieszczonego w uchwycie zaciskowym obrabiarki.

W wariantcie przedstawionym na rys. 3.11b użyto natomiast oprawki umożliwiającej promieniowe przesunięcie zespołu noży oraz ustawiaka ustalonego w oprawce w kierunku osiowym. Rozwiązanie takie znacznie przyspiesza proces nastawiania po wymianie stępionych noży.



Rys. 3.11 Nastawianie zespołu noży tokarskich w oprawce wielonożowej:  
a) wg. ustawiaka trzpieniowego mocowanego w uchwycie zaciskowym obrabiarki  
b) wg. ustawiaka trzpieniowego ustalonego w oprawce wielonożowej z  
możliwością promieniowej regulacji położenia zespołu noży

## 4. NASTAWIANIE FREZAREK DO OBRÓBKI SERII PRZEDMIOTÓW.

### 4.1. Nastawianie freza na wymiar na podstawie obróbki próbných przedmiotów.

Nastawianie wykonuje się drogą kolejnych przybliżeń w trzech fazach:

- wstępne nastawianie,
- statystyczne sprawdzanie poziomu nastawiania,
- korekcja położenia ostrzy narzędzia.

Wstępne nastawianie wykonuje się metodą próbných przejść aż do otrzymania wymiaru operacyjnego równemu wymiarowi nastawczemu  $A_{wn}$ , który obliczono z wzoru (3.6). Dla obliczenia wymiaru nastawczego  $A_{wn}$  należy przyjąć:

- typ narzędzia kontrolno-pomiarowego,
- odchyłkę obróbki (najczęściej znana jest z wcześniejszych badań; gdy brak danych, można następnie przyjąć dla frezowania  $\Delta_o \cong 0.1 \div 0.15$ ),
- sposób regulacji położenia ostrzy narzędzia.

Następnie nie zmieniając położenia, obrabia się n próbných przedmiotów. Jeżeli wartość odchyłki obróbki była przyjęta jako wartość orientacyjna, oblicza się na podstawie otrzymanych wyników obróbki próbných przedmiotów estymatę odchyłki  $\Delta_o$  oraz nowy wymiar nastawczy  $A_{wn}$ . dokonując statystycznej kontroli poziomu nastawiania sprawdza się, czy spełniona jest zależność (3.9). jeżeli zależność ta nie jest spełniona, zmienia się położenie narzędzia o wartość poprawki  $\zeta_k$ , obliczoną z wzoru:

$$\zeta_k = \overline{A_{wn}} - A_{wn} \quad (4.1)$$

Powtórna korekcja nastawienia będzie konieczna, gdy zużycie wymiarowe ostrzy KE

przekroczy wartość dopuszczalną  $KE_{dop}$ , obliczoną z wzoru (3.4), czyli dojdzie do rozregulowania procesu. Sposób postępowania przy wyprowadzaniu wzorów na wymiarowe zużycie ostrzy  $KE$  w poszczególnych odmianach frezowania zostanie przedstawiony na przykładzie frezowania czołowego symetrycznego.

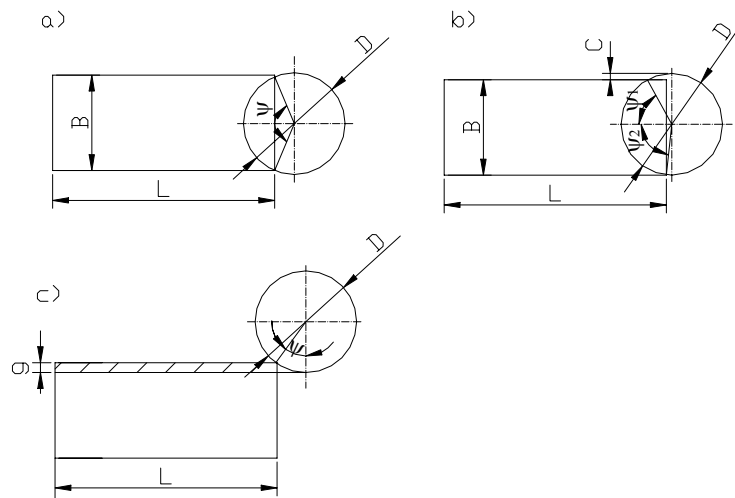
W tym wypadku droga skrawania ostrza freza  $L_z$  przy jednym jego obrocie wyraża się wzorem:

$$L_z = D \frac{\psi}{360^\circ} \quad (4.2)$$

gdzie:

$D$  – średnica freza,

$\psi$  - kąt styku ostrza narzędzia z materiałem obrabianym (rys. 4.1a) w stopniach.



Rys. 4.1 Rysunek pomocniczy do obliczania drogi skrawania ostrza przy: a) frezowaniu czołowym symetrycznym; b) frezowaniu czołowym niesymetrycznym; c) frezowaniu walcowym

Liczba obrotów freza na drodze obróbki  $l$  przy posuwie  $p_z$  w mm/ostrze i liczbie ostrzy  $z$  wyniesie:

$$n = \frac{l}{p_z \cdot z} \quad [\text{obrotów}]. \quad (4.3)$$

Tym samym droga skrawania ostrza  $L$  na długości przedmiotu  $l$  równa jest:

$$L = L_z n = \pi \cdot D \cdot \frac{\psi}{360^\circ} \cdot \frac{l}{p_z \cdot z} \quad (4.4)$$

Podstawiając zależność (4.4) do wzoru (1.5) otrzymuje się wymiarowe zużycie ostrzy freza przy frezowaniu czołowym symetrycznym na długości przedmiotu  $l$ :

$$KE = KE_0 + \pi \frac{D \cdot l}{p_z} \cdot \frac{\psi}{360^\circ} \cdot KE_w \quad (4.5)$$

Po obróbce  $i$  przedmiotów wymiarowe zużycie  $KE$  wyniesie:

$$KE = KE_0 + \pi \frac{D \cdot l \cdot i}{p_z \cdot z} \cdot \frac{\psi}{360^\circ} \cdot KE_w \quad (4.6)$$

gdzie:

$i$  – liczba obrobionych przedmiotów.



Przy frezowaniu czołowym niesymetrycznym wymiarowe zużycie ostrzy jest określone wzorem:

$$KE = KE_0 + \Pi \frac{D \cdot 1 \cdot i}{p_z \cdot z} \cdot \frac{\psi_1 + \psi_2}{360^\circ} \cdot KE_w \quad (4.7)$$

gdzie:

$\psi_1$  i  $\psi_2$  - kąty styku wg rys. 4.1b, opisane wzorami:

$$\psi_1 = \arcsin\left(1 - \frac{2C}{D}\right), \quad (4.8)$$

$$\psi_2 = \arcsin\left(2 \frac{B+C}{D} - 1\right) \quad (4.9)$$

C – przesunięcie freza w [mm].

Dla frezowania walcowego wymiarowe zużycie ostrzy KE oblicza się z wzoru (4.5), podstawiając wartość kąta styku obliczoną z wzoru

$$\psi = \arcsin\left(1 - \frac{2g}{D}\right), \quad (4.10)$$

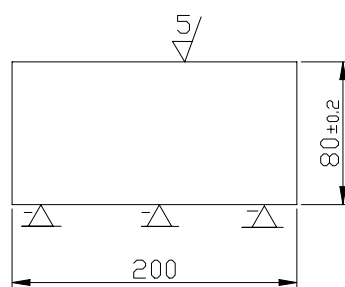
gdzie:

g- głębokość skrawania (rys. 4.1c).

Wymiarowe zużycie początkowe  $KE_0$  i względne użycie wymiarowe  $KE_w$  wyznaczane są doświadczalnie dla danego freza, obrabianego materiału i parametrów skrawania.

Przy obróbce stali konstrukcyjnej głowicami frezowymi i frezami czołowymi z płytkami gatunku SM25 można przyjąć początkowe (promieniowe) zużycie  $KE_0 = 6 \div 10 \mu m$  oraz względne zużycie wymiarowe  $KE_w = 35 \div 40 \mu m / km$ .

Przy obróbce żeliwa głowicami frezowymi i frezami czołowymi z płytkami gatunku H20S  $KE_0 = 6 \div 8 \mu m$  i  $KE_w = 25 \div 30 \mu m / km$ . Chcąc obliczyć liczbę przedmiotów 1, po których obrobie należy dokonać korekcji nastawienia obrabiarki, należy do wzoru (4.6 lub 4.7) na wymiarowe zużycie ostrzy wstawić w miejsce KE wartość  $KE_{dop}$  i odpowiednio przekształcić wzór. Obliczona liczba przedmiotów 1 jest wartością orientacyjną, a moment dokonania korekcji nastawienia obrabiarki ustala się na podstawie prowadzonej karty kontrolnej 1 wykonanych testów statystycznych.



Rys. 4.2 Przedmiot obrabiany

#### Przykład:

Nastawić frezarkę próbną przedmiotów do obróbki powierzchni przedmiotu pokazanego na rys. 4.2 głowicą frezową 257.1 o średnicy  $D = 125$  mm z płytkami gatunku SM25.

obróbka będzie wykonana na frezarce FYH w jednym przejściu (na gotowo). Materiałem obrabianym jest stal 55 o twardości  $180 \div 200$  HB.

Przyjęto następujące warunki frezowania :

prędkość skrawania  $V = 110$  m/min,

głębokość  $g = 1.5 \text{ mm}$ ,  
szerokość frezowania  $B = 100 \text{ mm}$ ,  
okres trwałości freza  $T = 90 \text{ min}$ ,  
wskaźnik stępienia ostrzy  $VB_{\text{dop}} = 1.0 \text{ mm}$ .

#### Rozwiązanie:

Nastawienia dokona się na pięciu próbnym przedmiotach po przyjęciu wstępnie odchyłki obróbki  $\Delta_o = 0.1 \text{ mm}$ . Pomiar próbnym przedmiotów wykona się mikrometrem, dla którego z tablicy 1 odczytano błąd pomiarów  $\Delta_p = \pm 0.010 \text{ mm}$ . Regulację nastawienia obrabiarki wykonywać się będzie pokrętelem o wartości działki elementarnej  $0.025 \text{ mm}$ .

Błąd regulacji przyjęto z tablicy 3 równy  $\Delta_r = 0.025 \text{ mm}$ . Odchyłka nastawienia obliczona z wzoru 3.7 wynosi

Zapas na błędy ostatecznej kontroli  $\Delta_k$  przyjęto zgodnie z zaleceniami podanymi w rozdziale 3.2.1.

$$\Delta_k = 0.5 \times 0.2 \times T = 0.5 \times 0.2 \times 0.4 = 0.040 \text{ mm}.$$

Wymiar nastawczy  $A_{\text{wn}}$ , obliczymy z wzoru (3.6), wynosi:

$$A_{\text{wn}} = (80 - 0.2) + 0.04 + \frac{0.10}{2} + \frac{0.055}{2} = 79.918 \text{ mm}.$$

Po obróbce próbnym przedmiotów i ich pomiarze otrzymano następujące wyniki:

$$A_{\text{wn1}} = 79.90; A_{\text{wn2}} = 79.92; A_{\text{wn3}} = 79.94; A_{\text{wn4}} = 79.92;$$

$$A_{\text{wn5}} = 79.96 \text{ mm}.$$

Wartość średnia wymiaru nastawczego równa jest  $A_{\text{wn}} = 79.928 \text{ mm}$  oraz odchylenie standardowe tego wymiaru obliczone z wzoru (3.11) wynosi  $s_m = 0.0228 \text{ mm}$ .

Dla obliczenia wymiaru nastawczego  $A_{\text{wn}}$  przyjęto wartość odchyłki  $\Delta_o$  jako orientacyjną, więc po obróbce próbnym przedmiotów należy ponownie obliczyć odchyłkę nastawienia  $\Delta_n$  oraz wymiar nastawczy  $A_{\text{wn}}$  przyjmując:

$$\Delta_o = 6 \times s_n = 6 \times 0.0228 = 0.137 \text{ mm}.$$

$$A_{\text{wn}} = (80 - 0.2) - 0.04 + \frac{0.137}{2} + \frac{0.069}{2} = 79.943 \text{ mm}.$$

Z tablicy 5 dla poziomu istotności  $\alpha = 0.05$  i liczby próbnym przedmiotów  $n = 5$  odczytano  $\frac{1}{\sqrt{n}} = 1.15$ . Po wstawieniu powyższych danych do zależności (3.9) sprawdzono, czy wymiar

aktualnie nastawiony  $A_{\text{wn}}$  odpowiada obliczonemu wymiarowi  $A_{\text{wn}}$ :

$$|79.926 - 79.943| \leq 1.15 \times 0.0228$$

$$|-0.015| \leq 0.026.$$

Zależność powyższa jest spełniona, czyli nie ma podstaw do stwierdzenia, że wymiar aktualnie nastawiony nie odpowiada wymiarowi obliczonemu (jaki powinien być nastawiony). Dopuszczalne zużycie wymiarowe ostrzy  $KE_{\text{dop}}$ , obliczone z wzoru (3.4), wynosi:

$$KE_{\text{dop}} = 0.40 - 0.08 - 0.077 - 0.137 = 0.114 \text{ mm}.$$

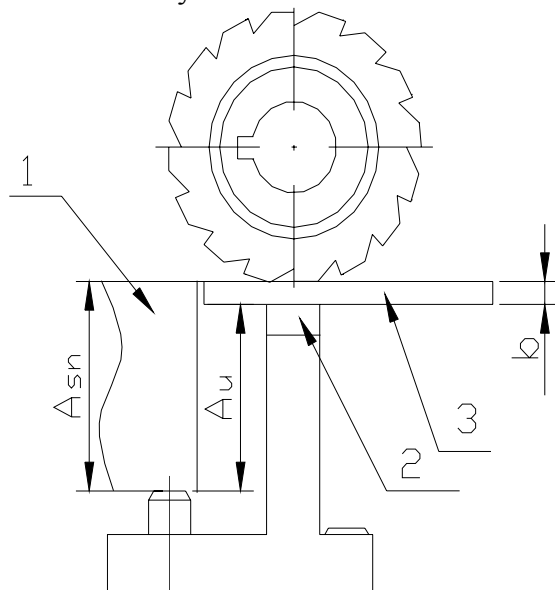
Odpowiada mu zużycie na pomocniczej powierzchni przyłożenia  $VB_p$ , obliczone z wzoru (1.4) dla  $\gamma_p = 7^\circ$  i  $\alpha_p = 7^\circ$ :

$$VE_p = 0.114 (\text{ctg } 7^\circ - \text{tg } 7^\circ) = 0.914 \text{ mm}.$$

Wskaźnik zużycia na pomocniczej powierzchni przyłożenia jest nieznacznie mniejszy od wskaźnika stępienia ostrzy. Należy zatem wymienić ostrza freza przy zużyciu na pomocniczej powierzchni przyłożenia  $VE_p \pm 0.914 \text{ mm}$ . Dokładny czas wymiany ostrzy określa się na podstawie kontroli uzyskiwanych wymiarów operacyjnych.

#### 4.2 Nastawianie freza według ustawiaka.

Frez ustawia się według ustawiaka zamocowanego w korpusie uchwytu frezarskiego za pomocą płytki ustawczej, która zabezpiecza ustawiak przed zużyciem (rys. 3.3). Istnieją cztery typy znormalizowanych ustawiaków:



Rys.4.3 Znormalizowane ustawiaki narzędziowe

- okrągły (rys. 4.3a), służący do nastawiania narzędzia na wysokość,
- prostokątny (rys. 4.3b) mający dwie powierzchnie dokładnie obrobione, pozwalające na boczne nastawienie freza, jak i jego nastawienie na wysokość,
- kątowy górny (rys. 4.3c) lub boczny (rys.4.3d), których przeznaczenie podobne jest do prostokątnego.

Wymiar ustawiaka oblicza technolog dla przyjętej grubości płytki ustawczej licząc:

- poprawkę  $\zeta_k$  z wzoru (3.13), przyjmując  $\Delta_{ch}$  z tablicy 2,
- odchyłkę nastawienia  $\Delta_{sn}$  z wzoru (3.14),
- wymiar nastawczy  $A_{wn}$  z wzoru:

$$A_{wn} = A_{min} + \Delta_k + \frac{\Delta o}{2} + \frac{\Delta sn}{2} \quad (4.11)$$

- wymiar nastawczy statyczny  $A_{sn}$  :

- przy zwiększaniu się wymiaru A spowodowanymi odkształceniami układu OUPN z wzoru

$$A_{sn} = A_{wn} - \delta_k, \quad (4.12)$$

- przy zmniejszaniu się wymiaru A spowodowanymi odkształceniami układu OUPN z wzoru:

$$A_{sn} = A_{wn} + \delta_k \quad (4.13)$$

- wymiar ustawiaka

$$A_u = A_{sn} - b \quad (4.14)$$

gdzie:

b – grubość płytki ustawczej.

Dalszy tok postępowania przy kontroli nastawiania i korekcji jest taki sam jak przy metodzie próbnych przedmiotów.

W wypadku gdy brak jest danych do analitycznego określania poprawki  $\zeta_k$  – można określić ją doświadczalnie. W tym celu wykonuje się ustawiak na wstępny wymiar  $A'_{sn}$  równy średniemu wymiarowi operacyjnemu:

$$A'_{sn} = \frac{A_{\max} + A_{\min}}{2} \quad (4.15)$$

Według tego wstępnego wzorca ustawia się frez i obrabia n przedmiotów. Obrobione przedmioty mierzy się uniwersalnym przyrządem pomiarowym i oblicza:

- wartość średnią uzyskanego wymiaru operacyjnego  $\bar{A}$ ,
- odchylenie standardowe  $s_m$ ,
- wielkość poprawki  $\zeta_k$  z wzoru:

$$\zeta_k = \bar{A} - A'_{sn} \quad (4.16)$$

Błąd  $\Delta_1$  określenia poprawki  $\zeta_k$  zależy od liczby obrobionych wstępnie przedmiotów n oraz błędu pomiaru  $\Delta_p$  i jest określony wzorem:

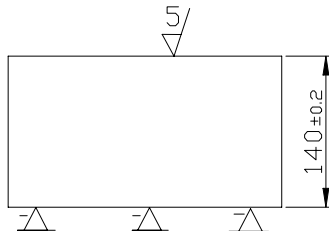
$$\Delta_1 = \sqrt{\Delta_{ns}^2 + \Delta_p^2} \quad (4.17)$$

gdzie:

- $\times_{ns}$  – pole wartości rozrzutu wartości średniej obliczone z wzoru (3.8),
- $\Delta_p$  – pole rozrzutu błędów pomiarów próbnych przedmiotów.

#### Przykład:

Obliczyć wymiar nastawczy statyczny  $A_{sn}$  dla obróbki płaszczyzny przedmiotu przedstawionego na rys. 4.4 głowicą frezową 257.1 o średnicy  $D = 80$  mm z płytkami gatunku H20S. Materiałem obrabianym jest żeliwo Z1 250 o twardości 200 – 220 HB. Obróbka będzie wykonana na frezarce pionowej FYD32. Narzędzie będzie nastawiane na wymiar według ustawiaka. Sztywność układu OUPN wynosi  $j = 7800$  N/mm. Przyjęto następujące parametry frezowania: prędkość skrawania  $v = 113$  m/min; posuw  $p_z = 0.15$  mm/ostrze; głębokość  $g = 3$  mm; szerokość frezowania  $B = 60$  mm. Składowa pionowa siły skrawania wynosi  $F_y = 780$  N.



#### Rozwiązanie:

Dla chropowatości  $R_a = 5 \mu m$  z tablicy 2 odczytano  $\Delta_{ch} = 0.015$  mm. Odształcenie sprężyste układu  $\Delta_{sz}$  wyniesie:

$$\Delta_{sz} = \frac{F_y}{j} = \frac{780}{7800} = 0.01 \text{ mm.}$$

Przesunięcie freza na skutek luzów w łożyskach przyjęto  $\Delta_{lw} = 0.01$  mm. Zatem poprawka  $\zeta_k$  obliczona z wzoru 3.13 równa się :

$$\zeta_k = 0.015 + 0.01 = 0.035 \text{ mm.}$$

Błąd  $\Delta_1$  określenia poprawki  $\zeta_k$  wynosi:

$$\Delta_1 = 0.5 \zeta_k = 0.5 \times 0.035 = 0.018 \text{ mm.}$$

Odchyłkę nastawienia narzędzia względem ustawiaka  $\Delta_2$  za pomocą płytki ustawczej odczytano z tablicy 4;  $\Delta_2 = 0.01$  mm. Odchyłkę wykonania ustawiaka i płytki ustawczej

przyjęto równą  $\Delta_3 = 0.04$  mm (IT7 wg zaleceń podanych w rozdziale 3.2.2). odchyłka nastawienia  $\Delta_{sn}$ , obliczona z wzoru (3.14) wynosi:

$$\Delta_{sn} = \sqrt{0.018^2 + 0.01^2 + 0.04^2} = 0.045 \text{ mm}$$

przyjmując zapas na błędy ostatecznej kontroli  $\Delta_k = 0.5 \times 0.20T = 0.5 \times 0.20 \frac{A_n}{2} = 0.04$  oraz odchyłkę obróbki  $\Delta_o = 0.15$  mm z wzoru (4.11) obliczono wymiar nastawczy  $A_{wn}$ ;

$$A_{wn} = (140 - 0.2) + 0.04 + \frac{0.15}{2} + \frac{0.045}{2} = 139.938 \text{ mm.}$$

Statyczny wymiar nastawczy  $A_{sn}$ , obliczamy z wzoru (4.12); wynosi:

$$A_{sn} = 139.938 - 0.035 = 139.903 \text{ mm}$$

$$A_{sn} = 139.903 \pm 0.020 \text{ mm.}$$

#### 4.3. Przebieg ćwiczenia – nastawienie frezarek do obróbki serii przedmiotów.

Wyposażenie stanowiska:

- komplet łożysk wzorcowych,
- mikrometr,
- 5-6 przedmiotów do ustalenia i zamocowania w uchwycie frezarskim,
- frezarka pionowa lub pozioma,
- frez czołowy lub walcowy,
- normatywy doboru warunków przy frezowaniu.

Zadania do wykonania w czasie ćwiczenia:

A. Nastawić frezarkę metodą próbnych przedmiotów dla wykonania wskazanej operacji:

- 1) dobrać warunki frezowania do obróbki przedmiotów,
- 2) obliczyć wstępny wymiar nastawczy  $A_{wn}$ ,
- 3) nastawić frezarkę na obliczony wymiar  $A_{wn}$  metodą próbnych przejść,
- 4) obrobić przy przyjętych parametrach frezowania 5-6 przedmiotów,
- 5) zmierzyć uzyskany wymiar operacyjny w obrobionych przedmiotach,
- 6) obliczyć wartość średnią  $\bar{A}_{wn}$  i odchylenie standardowe,
- 7) odczytać z tablicy wartość  $\frac{t}{\sqrt{n}}$  dla złożonego poziomu istotności  $\alpha$  i przyjętej liczby próbnych przedmiotów  $n$ ,
- 8) obliczyć skorygowany wymiar nastawczy  $A_{wn}$ , przyjmując  $\Delta_o \cong 6 \times s_m$ ,
- 9) sprawdzić spełnienie nierówności (3.9),
- 10) ocenić dokładność nastawienia,
- 11) obliczyć liczbę przedmiotów, po których obrobieniu należy skorygować nastawienie

oraz liczbę korekcji do osiągnięcia przez frez zużycia dopuszczalnego, powodującego konieczność przeostrzenia freza lub wymiany ostrzy.

B. Nastawić frezarkę za pomocą ustawiaków na wskazany wymiar operacyjny:

- 1) obliczyć wstępny wymiar nastawczy  $A'_{sn}$ ,
- 2) nastawić frezarkę na obliczony wymiar nastawczy  $A'_{sn}$  za pomocą płytek wzorcowych,
- 3) obrobić 5-6 przedmiotów,
- 4) zmierzyć uzyskane wymiary operacyjne w przedmiotach obrobionych,
- 5) obliczyć wartość średnią i odchylenie standardowe  $s_m$ ,
- 6) obliczyć poprawkę  $\zeta_k$ ,
- 7) obliczyć wymiar nastawczy  $A_{wn}$ ,
- 8) obliczyć statyczny wymiar nastawczy  $A_{sn}$ ,
- 9) obliczyć wymiar ustawiaka, zakładając grubość płytki ustawiczej  $b = 3j6$  mm.

## 5. NASTAWIANIE TOKARKI REWOLWEROWEJ DO OBRÓBKII SERII PRZEDMIOTÓW.

Ćwiczenie polega na uzbrojeniu i nastawianiu tokarki rewolwerowej dla zadanej operacji technologicznej według karty instrukcyjnej. Na ogół w operacjach wykonanych na tokarkach rewolwerowych występuje nastawianie niektórych narzędzi metodą próbných przedmiotów, a innych za pomocą ustawiaków. W większości są to nastawienia złożone, których celem jest uzyskanie wymaganej średnicy i wymiaru długościowego obrabianej powierzchni. Sanie głowicy rewolwerowej oraz suport boczny wyposażone są w odpowiednie urządzenia zderzakowe, umożliwiające nastawienie wymiarów długościowych. Technię ustawiania poszczególných zderzaków można przedstawić następująco. Po uzyskaniu wymiaru długościowego blokuje się sanie suportu bocznego lub rewolwerowego, włącza się napęd obrabiarki, włącza dźwignią mechanizm posuwu i dokręca nastawialną śrubę zderzakową do momentu aż dźwignia włączania posuwu "odskoczy", rozłączając napęd posuwu. Można też postępować odwrotnie, ustawiając nóż według zderzaka, a nie zderzak według noża. Podczas regulacji położenia sań suportów lub noży używany będzie czujnik zegarowy z działką elementarną 0.01 mm.

5.1. Przebieg ćwiczenia – nastawianie tokarki rewolwerowej do obróbki serii przedmiotów.

Wyposażenie stanowiska:

- a) mikrometr, suwmiarka, czujnik zegarowy z podstawką magnetyczną,
- b) ustawiak zespołu noży,
- c) pręt,
- d) narzędzia skrawające, oprawki narzędziowe i inne oprzyrządowanie odpowiednie do planowanej operacji,
- e) tokarka rewolwerowa Rv-32,
- f) normatywy doboru warunki obróbki,
- g) instrukcja obróbki planowanej operacji.

Czynności przygotowawcze:

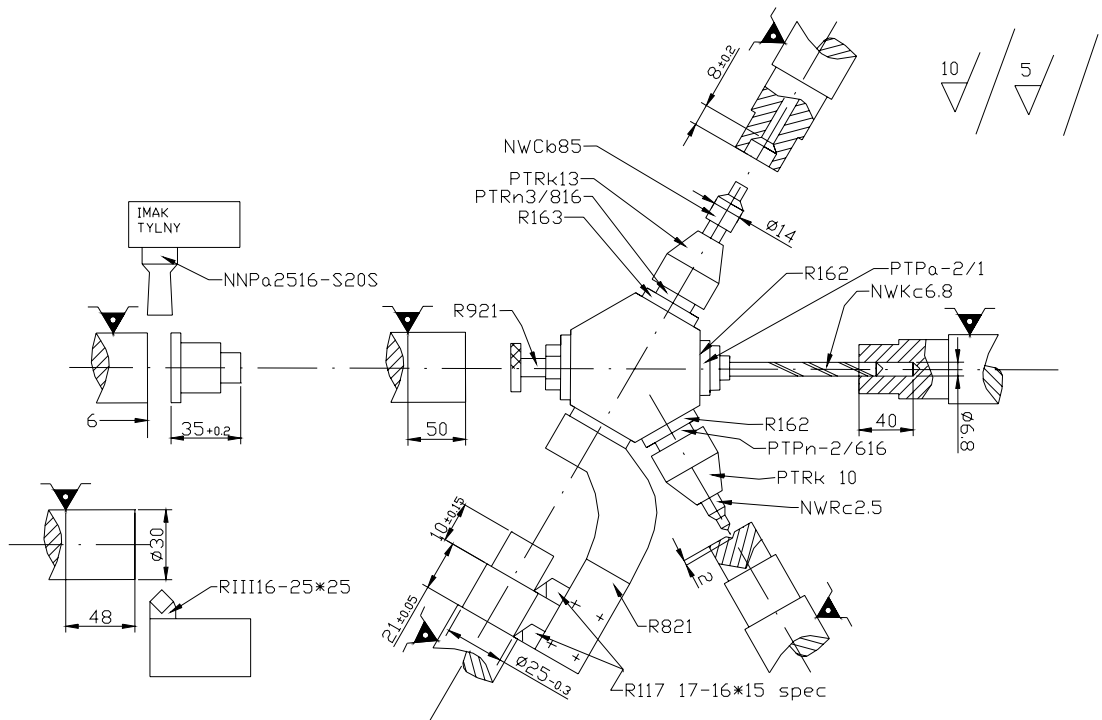
1. dokonać analizy przedstawionej karty instrukcyjnej, a w szczególności przyjętego układu baz obróbkowych i wymiarów operacyjnych,
2. określić metodę nastawiania dla poszczególných wymiarów operacyjnych,
3. wykonać szkic przedmiotu z literowym oznaczeniem wymiarów operacyjnych,
4. obliczyć wstępne wymiary nastawcze,
5. uzbroić głowicę rewolwerową i imaki nożowe.

Czynności główne:

1. narzędzia w zespole nastawić według otrzymanego ustawiaka,
2. pozostałe narzędzia i zespoły jako całość nastawić wstępnie metodą próbných przejść,
3. obrobić serię 5-6 przedmiotów,
4. dokonać pomiarów obrobionych przedmiotów,
5. wykonać ćwiczenia związane z kontrolą prawidłowości nastawienia,
6. obliczyć poprawki dla wymiarów ustawiaka i poprawki nastawienia pozostałych narzędzi,
7. w razie potrzeby skorygować nastawienie układu technologicznego i powtórzyć czynności począwszy od podpunktu 3.

Przykład:

Należy nastawić tokarkę rewolwerową dla obróbki przedmiotu wg załączonej karty instrukcyjnej, rys. 5.1.

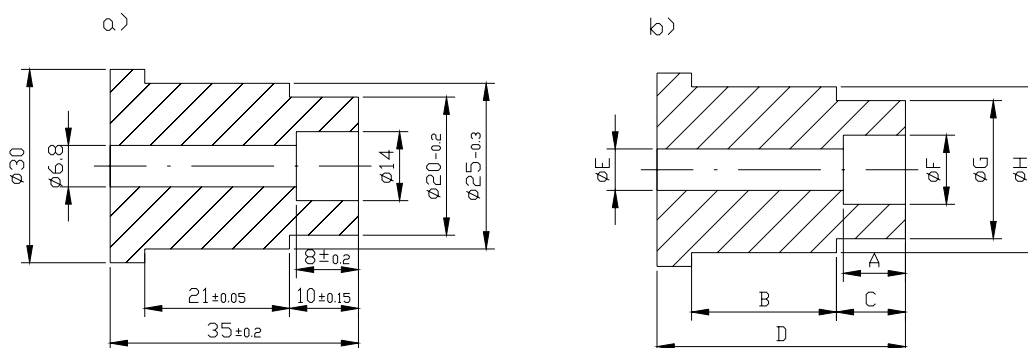


Nazwa operacji	Toczyć, wiercić, pogłębiać wg instrukcji					Numer operacji		10
Nr.	Opis zabiegu	l	t	g	p	v	n	
10	Wsunąć pręt do zderzaka na dł. 50							
11	Toczyć czoło	17	1	2	0.2r	90	950	
12	Toczyć $\phi 20_{-0.2}$ , $\phi 25_{-0.3}$	33	1	2.5	0.15	75/60	950	
13	Nawiercić na gł. 2	3	1	1	r	10	950	
14	Wiercić $\phi 5.8$	45	1	3.4	0.15	20	950	
15	Pogłębiać $\phi 14$	g	1	3	0.1	16	375	
16	Odcinać na długość $35^{+0.2}$	17	1	6	0.2r	60	375 L	

Materiał	
55 normalizowana	
Cecha pomocy	ilość
R 921	1
R 821	1
R 162	2
R 163	1
PTRn-2/816	1
PTRn-3/816	1
PTRk 10	1
PTRk 13	1
PTPa-2/1	1
NNPa 2516-S20S	1

RIII16-25*25	1
SNUN 120404-S20S	1
RII7/7-1616 spec.	2
TNGN110304 S20S	1
NWRc 2.5	1
NWKc 6.8	1
NWCb 8s	1
NMZb 0-25	1
MMS <sub>e</sub> /1	1
MAGf 150	1
MAU <sub>b</sub> 150	1

1. Analiza operacji. Obróbka z pręta z zastosowaniem uchwytu zaciskowego i zderzaka na głowicy rewolwerowej powoduje, że bazą obróbkową wymiarów długościowych jest prawe czoło przedmiotu. Obróbka średnic  $\phi 20_{-0.2}$  i  $25_{\phi -0.3}$  wykonana będzie zespołem noży nastawianych według ustawiaaka trzpieniowego, zapewniającego wzajemne ich rozstawienie. Bazy konstrukcyjne przedmiotu pokrywają się więc z bazami technologicznymi i nie zachodzi konieczność przeliczania łańcuchów wymiarowych. Nastawianiu nie podlegają jedynie wymiary średnic  $\phi 6,8$  i  $\phi 14$ , otrzymane bezpośrednio z przyjętych do ich obróbki narzędzi. Zespół noży, traktowany jako zespół, jest nastawiony według wymiaru  $10 \pm 0.15$ .



Rys. 5.2 Przedmiot obrabiany: a) rysunek przedmiotu; b) szkic przedmiotu z literowym oznaczeniem wymiarów operacyjnych

- 2 Szkic przedmiotu z literowym oznaczeniem wymiarów operacyjnych przedstawiono na rys. 5.2.
2. Obliczone wstępne wymiary zastawcze podano w tablicy I.

Tablica I

Wyniki obliczeń wstępnych wymiarów nastawczych.

Oznaczenie wymiaru	A	B	C	D	$\phi G$	$\phi H$
1	2	3	4	5	6	7



Wymiar operacyjny	8±0.2	21±0.05	10±0.15	35±0.2	∅20 <sub>-0.2</sub>	∅25 <sub>-0.3</sub>
Metoda nastawiania	Próbne przedmioty	Wg. ustawia ka	Próbne przedmioty	Próbne przedmioty	Wg. ustawia ka	Wg. ustawia ka
$\Delta_k$ (wg. rozdz. 3.2.1)	0.020	0.012	0.015	0.020	0.020	0.015
$\Delta_c$ (przyjąć wstępnie)	0.05	-	0.05	0.05	-	-
$\Delta_{na}$ (wzór 3.8)	0.022	-	0.022	0.022	-	-
$\Delta_p$ (wg. tabl. 1)	±0.009	±0.009	±0.009	±0.009	±0.009	±0.009
$\Delta_r$ (wg. tabl. 3)	0.015	-	0.015	0.015	-	-
$\Delta_n$	0.028	-	0.028	0.028	-	-
Wstępny wymiar nastawczy	8.14	-	10.10	34.86	-	-
Wstępny wymiar nastawiaka $A_{sn}$	-	21.00	-	-	19.90	24.85

Obliczanie wstępnego wymiaru nastawczego pokazane zostanie dla wymiaru A. Zauważyć należy, że zużywanie się ostrzy pogłębiacza będzie dawało systematyczny błąd zmniejszania się wymiaru operacyjnego. Wymiar nastawczy wymiaru A liczony jest z wzoru (3.6a).

Wymiar A wykonany jest w 15 klasie dokładności, stąd przyjęto  $\Delta_k = 0.02$  mm zgodnie z wytycznymi z rozdziału 3.2.1. Odchyłkę obróbki przyjęto wstępnie  $\Delta_o = 0.05$  mm. Dla planowanej liczby próbnich przedmiotów  $n = 5$  obliczono odchyłkę  $\Delta_{ns} = \Delta_o / \sqrt{n} = 0.022$  mm. Dla pomiaru głębokościomierzem mikrometrycznym przyjęto na podstawie tab. 1 błąd pomiaru  $\Delta_p = \pm 0.009$  mm. Regulacji położenia narzędzia dokonywać się będzie za pomocą czujnika zegarowego z działką elementarną 0.01 mm, stąd na podstawie tabeli 3 odchyłka

$\Delta_r = 0.015$  mm. Ostatecznie odchyłkę nastawienia  $\Delta_n$  i wstępny wymiar nastawczy  $A_{wn}$  obliczono w sposób następujący:

$$\Delta_n = \sqrt{\Delta_{ns}^2 + \Delta_p^2 + \Delta_r^2} = \sqrt{0.022^2 + 0.018^2 + 0.015^2} = 0.032 \text{ mm}$$

$$A_{wn} = 8.2 - 0.02 - \frac{0.05}{2} - \frac{0.032}{2} = 8.14 \text{ mm.}$$

Dla wymiarów B,  $\phi G$ ,  $\phi H$  nastawianych za pomocą ustawia ka nie wykonano obliczeń ze względu na brak danych. Wymiary ustawia ka przyjęto wstępnie według zaleceń rozdziału 3.2.2.

3. Pomiar serii przedmiotów i opracowanie wyników. Otrzymane wyniki pomiarów i obliczeń przedstawiono:

- dla wymiarów operacyjnych nastawianych metodą próbnich przedmiotów w tablicy II
- dla wymiarów operacyjnych nastawianych za pomocą ustawia ka w tablicy III.

Tablica II

Wyniki pomiarów i obliczeń wyników operacyjnych nastawianych metodą próbnich przedmiotów.

Nr. części / Wymiar	A	C	D
1	8.10	10.08	34.85
2	8.09	10.09	34.85
3	8.10	10.10	34.86
4	8.11	10.09	34.86
5	8.12	10.10	34.87

Wartość średnia $\overline{A_{wn}}$		8.104	10.092	34.858
Odchylenie stand. $s_m$		0.011	0.008	0.008
Odchyłka obróbki $\Delta_0=6s_m$		0.068	0.05	0.05
Wartości skorygowane	$\Delta_{ns}$ (wzór 3.8)	0.031	0.022	0.022
	$\Delta_n$ (wzór 3.7)	0.035	0.028	0.028
	$\Delta_{wn}$ (wzór 3.6)	8.129	10.096	34.859
$t \frac{s_m}{\sqrt{n}} \left( \frac{t}{\sqrt{n}} \right)$ z tab. 5 dla $\alpha=0.05$		0.013	0.009	0.009
Sprawdzenie nierówności (3.9)		nie sprawdza	sprawdza	sprawdza
Poprawka nastawienia $\zeta=A_{wn}-\overline{A_{wn}}$		0.03	-	-

Wyniki pomiarów i obliczeń wyników operacyjnych nastawianych za pomocą ustawiaika.

Tablica III

Nr. części / Wymiar	B	$\phi G$	$\phi E$
1	21.00	19.96	24.91
2	20.99	19.97	24.92
3	20.99	19.96	24.91
4	21.00	19.97	24.92
5	20.98	19.98	24.93
Wartość średnia $\overline{A_{wn}}$	20.992	19.968	24.916
Odchylenie stand. $s_m$	0.008	0.008	0.008
$\Delta_0=6s_m$	0.05	0.05	0.05
$\Delta_{ns}$ (wzór 3.8)	0.022	0.022	0.022
$\Delta_1$ (wzór 4.17)	-	0.024	0.024
$\Delta_2$	-	0.05	0.05
$\Delta_3$ (wg.rozdz.3.2.2)	-	0.021	0.021
$\Delta_{sn}$ (wzór 3.14)	-	0.059	0.059
$A_{wn}$ (wzory 3.5 – 3.6a)	21.00	19.875	24.770
$t \frac{s_m}{\sqrt{n}} \left( \frac{t}{\sqrt{n}} \right)$ z tab. 5 dla $\alpha=0.05$	0.009	0.009	0.009
Sprawdzenie nierówności (3.9)	sprawdza	nie sprawdza	nie sprawdza
Poprawka nastawienia $\zeta=A_{wn}-\overline{A_{wn}}$	-	-0.094	-0.149
Skorygowany wymiar ustawiaika $A_{sn}=A_{sn}'+\zeta$	-	19.81	24.70

Poniżej podanych zostanie kilka uwag objaśniających wykonanie obliczenia:

1. Do obliczenia wartości skorygowanych wymiarów nastawczych została użyta odchyłka obróbki  $\Delta_0$ , określona na podstawie pomiarów próbnych przedmiotów. Skorygowaną wartość  $A_{wn}$  wykorzystano następnie do skontrolowania prawidłowości nastawienia (nierówność 3.9). W wypadku gdy wartość odchyłki  $\Delta_0$  znana jest z

- wcześniejszych doświadczeń (na podstawie dużej liczby obrabianych przedmiotów),  
 odpada konieczność liczenia wartości skorygowanych  $\Delta_{ns}$ ,  $\Delta_n$ ,  $\Delta_{wn}$ .
2. Ponieważ trudno byłoby wstępnie ustalić charakter systematycznej zmiany wymiaru obróbkowego B, określono wymiar nastawczy w środku pola tolerancji i sprawdzono jedynie prawidłowość nastawienia. Ustalenie charakteru systematycznej zmiany wymiaru B i skorygowanie wymiaru nastawczego możliwe będzie po obrabieniu większej liczby przedmiotów.
  3. Należy odróżnić poprawkę  $\zeta = A_{wn} - \bar{A}_{wn}$  użytą w tablicach od poprawki  $\zeta_k$  wg wzorów (3.12) i (3.13). Obliczenie wymiaru ustawiającego, np. dla wymiaru operacyjnego  $\phi G$  przy posługiwaniu się poprawką  $\zeta_k$ , miałoby następujący przebieg:
    - doświadczenie określa wartość poprawki  $\zeta_k$  (na średnicę):

$$\zeta_k = \bar{A}_{wn} - A'_{sn} = 19.968 - 19.90 = 0.068 \text{ mm},$$

- skorygowany wymiar ustawiającego  $A_{sn}$ :

$$A_{sn} = A_{wn} - \zeta_k = 19.875 - 0.068 \approx 19.81 \text{ mm}.$$

## 6. TABLICE POMOCNICZE

Tablica 1

Graniczne błędy pomiarów dla różnych narzędzi pomiarowych.

Nazwa części pomiarowych	Zakres wymiarów		
	0 do < 50	50 do <100	100 do <150
	Graniczne błędy $\mu\text{m}$		
Czujniki zegarowe o działce elementarnej 0.01 mm			
a) przy pomiarze w zakresie 0.1 mm			
- I klasy dokładności			
- II klasy dokładności	10		
b) przy pomiarze w zakresie 0.5 mm			
- I klasy dokładności	13		
- II klasy dokładności	15		
	20		
Mikrometry	9	10	11
Średnicówki mikrometryczne	-	13	15
Suwmiarki o działce elem. 0.02 mm	40	45	55
Suwmiarki o działce elem. 0.05 mm	75	75	85
Suwmiarki o działce elem. 0.1 mm	100	100	110

Tablica 2

Wartości odchyłek  $\Delta_{ch}$  uwzględniających chropowatość obrabianej powierzchni wg [3].

Chropowatość $R_a$	40	20	10	5
$\Delta_{ch}$ w [mm]	0.125 – 0.063	0.063 – 0.04	0.04 – 0.02	0.02 – 0.01

Tablica 3

Wartość odchyłek  $\Delta_r$  uwzględniających sposób regulacji położenia ostrza narzędzia wg [3].

Sposób regulacji położenia ostrza narzędzia	$\Delta_r$ w mikrometrach	
	Na stronę	Na średnicę
Wg. podziałki na pokrętle w mm: 0.01	5 – 10	10 – 20

0.02	10 – 15	20 – 30
0.03	10 – 30	20 – 60
0.05	15 – 30	30 – 60
0.1 – 0.5	30 – 70	-
Wg. czujnika zegarowego z podziałką w mm:		
0.001	2	4
0.002	5	10
0.005	10	20
0.01	15	30

Tabela 4

Wartość odchyłek  $\Delta_2$  uwzględniających sposób nastawiania ostrza narzędzia wg ustawiaaka wg [3].

Lp.	Sposób nastawiania ostrza narzędzia wg. ustawiaaka	Odchyłka ustawienia narzędzia $\Delta_2$ w mikrometrach	
		Na stronę	Na średnicę
1	Zamocowanie noża śrubami po jego bezpośrednim zetknięciu z ustawiaakiem	100 – 130	200 – 260
2	Dosunięcie zamocowanego w imaku noża śrubą posuwu poprzecznego do zetknięcia z przedmiotem	20 – 30	40 – 60
3	Dosunięcie zamocowanego w imaku noża śrubą posuwu poprzecznego i określenie jego położenia za pomocą bibułki	10 – 20	20 – 40
4	Jak wyżej, za pomocą szczelinomierza metalowego	7 - 10	14 - 20

Tabela 5

Wartości  $\frac{t}{\sqrt{n}}$  dla poziomu istotności  $\alpha$  i liczby próbnych przedmiotów n.

n	$\alpha$				
	0.05	0.02	0.01	0.005	0.001
	Kontrola wg. wartości średniej arytmetycznej				
5	1.15	1.5	1.8	2.13	3.07
6	1	1.28	1.51	1.76	2.44

#### LITERATURA

1. B.B. Babuk (pod red), Laboratornyj praktium po tiechnologii maszynostrojenia, Wysszajsza Szkoła, Mińsk 1983.
2. A.N. Gawriłow, dokładność wytwarzania maszyn i urządzeń, WNT, Warszawa 1978.
3. J. Łunarski, Laboratorium technologii maszyn, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 1975.
4. J. Porębski, Przyrządy obróbkowe, podstawy teoretyczne i zasady projektowania, PWN, Warszawa 1982.
5. A. Sokołowski, Kurs technologii budowy maszyn, cz. I, PWT, Warszawa 1952.
6. J. Szwabowski, Ustawianie przedmiotów obrabianych w operacjach obróbki skrawaniem. Materiały pomocnicze do ćwiczeń projektowych i laboratoryjnych z przedmiotu technologia maszyn, zeszyt 1, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Szczecińskiej, Szczecin 1986.