

CZUJNIKOWE PRZYRZĄDY DO SZYBKIEGO POMIARU DOKŁADNOŚCI WYMIARÓW ELEMENTÓW DREWNIANYCH

Tadeusz Orlicz, Jerzy Bajkowski

Katedra Obróbki i Obrabiarek Drewna SGGW

Synopsis. The paper discusses the construction of new devices adapted for quick and accurate measurements of deviations in linear and angular dimensions as well as the flatness and rectilinearity of wooden elements. Analysis of measuring errors of devices was carried out and conditions for measurement of deviations were described.

WSTĘP

Prace badawcze z zakresu dokładności obróbki elementów drewnianych wymagają wykonania bardzo pracochłonnej części doświadczalnej, polegającej na pomiarach zmienności trzech zasadniczych wymiarów liniowych elementów oraz na ustaleniu odchyłek kształtu uzyskanych półfabrykatów od kształtu założonego. Pracochłonność części doświadczalnej wynika z konieczności wykonania licznych doświadczeń o znacznej liczebności próbek w każdej serii. Ponieważ zazwyczaj w badaniach tych zachodzi także konieczność analizy zmienności badanego wymiaru w kilku punktach elementu (np. zmienność wymiaru grubości lub szerokości elementu na jego długości) — liczba koniecznych do wykonania pomiarów dochodzić może do kilkudziesięciu tysięcy.

Ze względu na dużą ilość pomiarów, użycie powszechnie stosowanych narzędzi, a więc do pomiaru grubości i szerokości — suwmiarek, do pomiaru długości — przymiarów ze skalą milimetrową, do pomiaru kątów — kątomierzy uniwersalnych oraz do pomiaru płaskości ścian i prostolinowości krawędzi — liniałów i szczelinomierzy, wydaje się niecelowe. Pomiar tymi narzędziami jest zbyt pracochłonny, a odczytywanie wskazań przyrządów bardzo niewygodne.

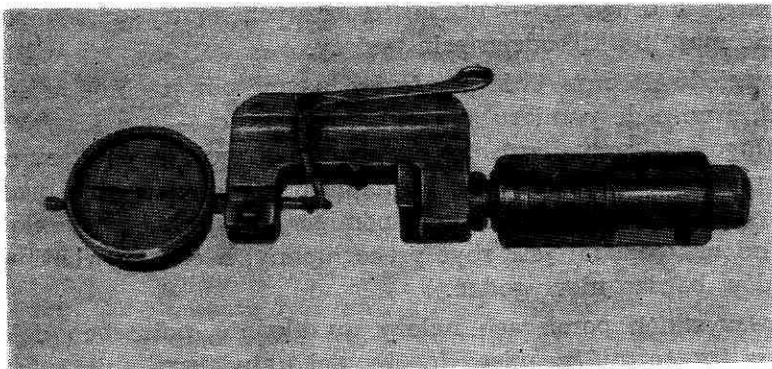
We wszystkich pomiarach należy uwzględnić potrzebną dokładność pomiarów i zapewnić w miarę możliwości największą obiektywność ich wykonywania. Powierzchnia elementów po obróbce piłowaniem jest szorstka, sterczą na niej kępki włókien poddające się pod naciskiem narzędzi mierniczych. Wyniki pomiarów zależą więc w znacznym stopniu

od siły wywieranej przez narzędzie na powierzchnię elementu oraz od wielkości powierzchni styku szczęk czy też stopek narzędzi z mierzonym elementem. Narzędzia o zbyt małych powierzchniach styku nie mogą dać poprawnych wyników pomiaru ze względu na możliwość natrafienia na niewielkie wgłębienia na powierzchni elementu czy też z powodu wciskania się powierzchni mierniczych w drewno.

Z tych powodów zaprojektowano i wykonano w Katedrze Obróbki i Obrabiarek Drewna SGGW specjalne narzędzia pomiarowe mające zapewnić szybkie wykonanie pomiarów i obiektywność ich wyników¹. Zaprojektowane narzędzia pomiarowe mogą znaleźć zastosowanie we wszystkich rodzajach badań, w których zmiany wymiarów próbki stanowią parametr określający wpływ badanego czynnika. Przyrządy te mogą być stosowane również w praktyce jako przymiary robocze. W tym wypadku celowe byłoby użycie czujników o dokładności 0,1 mm.

I. NARZĘDZIA DO POMIARU ODCHYLEK GRUBOŚCI I SZEROKOŚCI

Do pomiaru odchyłek grubości lub szerokości elementu przewidziano jeden wspólny typ narzędzia pomiarowego (rys. 1). Przyrząd ma kształt kabłąka nakładanego na element w mierzonym miejscu. Wymiary kabłąka przystosowane są w zasadzie do pomiaru odchyłek grubości lub szerokości (zawartych w granicach ± 5 mm) elementów o założonym wymiarze nominalnym. Istnieje jednak możliwość łatwego przystosowania przyrządu (drogą poosiowego przesunięcia czujnika lub wymianę jego końcówki) do pomiaru odchyłek od wymiarów nominalnych większych lub mniejszych od wymiaru założonego. Przykładowo przyrządem przeznaczonym do pomiarów elementów o wymiarze nominalnym 19 mm można mierzyć również elementy o wymiarach nominalnych zawartych w przedziale 13—21 mm.



Rys. 1. Przyrząd do mierzenia odchyłek grubości i szerokości

¹ Omawiane w niniejszej pracy przyrządy pomiarowe zgłoszono do opatentowania.

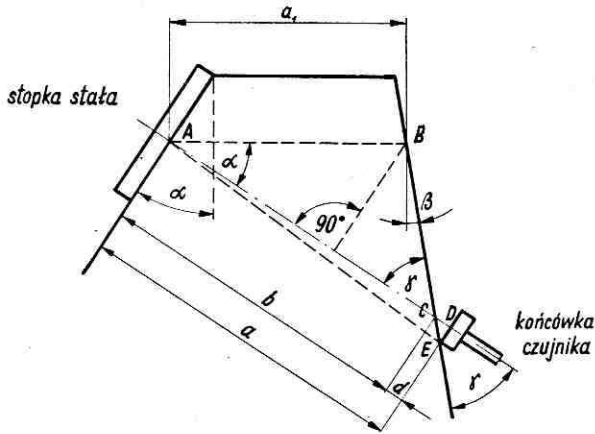
Głębokość nakładania kabłąka, czyli położenie osi pomiaru ograniczone jest występem znajdującym się w wycięciu kabłąka. W omawianym przyrządzie oś pomiaru położona jest w odległości 10 mm od krawędzi elementu. Na jednym ramieniu kabłąka zaciśnięty jest czujnik w położeniu takim, aby po oparciu końcówki czujnika na wzorcu (o danym wymiarze nominalnym) spoczywającym na stopce stałej, znajdującej się na drugim ramieniu kabłąka, mała wskazówka czujnika wskazywała wychylenie do połowy skali, tj. 5 mm. Przy takim położeniu skalę dla wskazówki dużej ustawia się w położeniu zerowym. Przymiarem mogą być mierzone elementy, których odchyłki od wymiaru nominalnego zawarte są w granicach ± 5 mm. W zastosowanych w przyrządach czujnikach zegarowych produkcji krajowej o dokładności 0,01 mm wymieniono końcówki z kulistą powierzchnią mierniczą na końcówki z powierzchnią mierniczą płaską. W celu określenia średniej siły nacisku końcówki przy wskazaniu odpowiadającym połowie zakresu pomiaru (tj. 5 mm) i dobrania odpowiednich czujników, przeprowadzono pomiary siły nacisku końcówek na większej liczbie czujników. Użyte do budowy przymiarów czujniki mają średnią siłę nacisku 140 do 180 G, przeciętnie 160 G. Założony dopuszczalny nacisk jednostkowy końcówki na drewno 10 G/mm², czyli 1 kG/cm², średnica płaskiej powierzchni mierniczej wynosi

$$d = \sqrt{\frac{160 \cdot 4}{10 \cdot \pi}} = 4,5 \text{ mm}$$

Aby zapewnić nacisk jednostkowy stopki stałej taki sam jak końcówki czujnika, cały kabłąk jest dociskany do elementu za pośrednictwem sprężyny umieszczonej w rękojeści narzędzia. Przy przesunięciu rękojeści do określonego położenia, siła nacisku sprężyny wynosi 2 kG, co przy powierzchni stopki 200 mm² daje założony nacisk jednostkowy 10 G/mm².

Cofanie końcówki czujnika przy zakładaniu przymiaru na element wykonuje dźwigienka obciążona sprężyną. Po naciśnięciu dźwigienki palcem, końcówka czujnika cofa się w skrajne zewnętrzne położenie. Po zwolnieniu dźwigienki, odchyła się ona pod działaniem sprężyny, umożliwiając swobodne przesuwanie się końcówki czujnika. Powierzchnia stałej stopki podzielona jest na dwa równoległe występy długości 20 mm i szerokości 5 mm, rozstawione w odległości 40 mm. Oś końcówki czujnika znajduje się pośrodku pola objętego stopką i jest do niej prostopadła.

W przypadku, gdy przeciwległe ściany elementów nie są do siebie równoległe, pomiar (np. grubości) opisanym przyrządem ulega w porównaniu z pomiarem teoretycznym — pomyślanym jako mierzenie odległości pomiędzy dwoma idealnymi punktami — pewnemu zniekształceniu. Różnica między odległością teoretyczną a zmierzoną przymiarem może być obliczona na podstawie rys. 2, na którym przyjęto trapezowy kształt



Rys. 2. Geometryczna zależność dokładności pomiaru grubości od kształtu elementu i średnicy końcówki czujnika

poprzecznego przekroju elementu i prostokątny kształt przekroju w kierunku wzdłużnym. Założono poza tym, że powierzchnia elementu jest gładka lub wykazuje bardzo niewielką chropowatość. Na rysunku oznaczono:

a — wymiar wskazywany przez czujnik przy miarę;

a_1 — wymiar teoretyczny, tj. odległość pomiędzy punktami A i B , która byłaby wymiarem rzeczywistym wskazywanym przez czujnik przy miarę, gdyby obie ściany były do siebie równoległe;

b — odległość między punktami A i C na osi przy miarę, tj. wymiar, który byłby wskazywany, gdyby średnica końcówki czujnika była równa zeru;

d — odległość między punktami C i D na osi przy miarę, tj. zwiększenie wymiaru b wynikłe z zastosowania końcówki czujnika o promieniu r ;

α — kąt odchylenia ściany, na której spoczywa stopka stała, od prostopadłej do założonego kierunku $A-B$;

β — kąt odchylenia ściany, na której spoczywa powierzchnia mierzona czujnika od prostopadłej do założonego kierunku $A-B$.

Trzeci kąt w trójkącie ABC wynosi

$$\gamma = 180^\circ - (90^\circ + \beta) - \alpha = 90^\circ - (\alpha + \beta)$$

Związek pomiędzy wymiarem teoretycznym a_1 a wymiarem b obliczyć można z trójkąta ABC , w którym kąt naprzeciw a_1 jest γ , a kąt naprzeciw b wynosi $(90^\circ + \beta)$.

$$b = a_1 \frac{\sin(90^\circ + \beta)}{\sin \gamma} = a_1 \frac{\cos \beta}{\cos(\alpha + \beta)}$$

Różnica wymiarów b i a_1 wynosi

$$b - a_1 = a_1 \left[\frac{\cos \beta}{\cos(\alpha + \beta)} - 1 \right]$$

Wymiar a uzyskany z pomiaru przymiarem, ze względu na opieranie się brzegu końcówki mierniczej o promieniu r w punkcie E , jest równy

$$a = b + d = b + \frac{r}{\operatorname{tg} \gamma}$$

czyli

$$a = \frac{a_1 \cos \beta}{\cos(\alpha + \beta)} + \frac{r}{\operatorname{ctg}(\alpha + \beta)}$$

Różnica wymiarów a i a_1 wynosi więc

$$a - a_1 = b - a_1 + d = a_1 \left[\frac{\cos \beta}{\cos(\alpha + \beta)} - 1 \right] + \frac{r}{\operatorname{ctg}(\alpha + \beta)}$$

Błąd popełniony przy pomiarze odniesiony do wymiaru teoretycznego wynosi

$$\Delta a = \frac{a - a_1}{a_1} = \frac{\cos \beta}{\cos(\alpha + \beta)} - 1 + \frac{r}{a_1 \operatorname{ctg}(\alpha + \beta)}$$

Składa się on z dwóch części: pierwszy wyraz reprezentuje błąd z powodu odchylenia osi pomiaru, drugi wyraz — błąd z powodu opierania się krawędzią płaskiej końcówki czujnika o element. Pierwsza część błędu zależy wyłącznie od kątów odchylenia ścian elementu od zamierzonego kierunku pomiaru, druga część zależy również od średnicy końcówki mierniczej i od wielkości wymiaru. Na przykład dla wymiaru $a_1 = 50$ mm, kątów $\alpha = \beta = 2^\circ$ i promienia końcówki mierniczej $r = 2,25$ mm

$$\Delta a = \left(\frac{0,9994}{0,9976} - 1 \right) + \frac{2,25}{50 \cdot 14,30} = 0,00495$$

Błąd z powodu opierania się krawędzią końcówki czujnika jest więc znacznie większy niż z powodu odchylenia osi pomiaru. Błąd w procentach wynosi $\Delta a = 0,5\%$, tj. dla $a_1 = 50$ mm różnica wymiarów wyniesie

$$a - a_1 = 0,25 \pm 0,01 \text{ mm.}$$

Przy zmniejszeniu średnicy końcówki czujnika do 3,2 mm błąd wyniósłby

$$\Delta a = 0,00180 + \frac{1,6}{50 \cdot 14,30} = 0,00404 \approx 0,4\%$$

tj. dla $a_1 = 50$ mm różnica wymiarów wyniesie

$$a - a_1 = 0,20 \pm 0,01 \text{ mm.}$$

Błąd ten jest w stosunku do dokładności wskazań czujnika bardzo duży, lecz należy go rozpatrywać na tle dokładności pomiaru za pomocą typowej suwmiarki stosowanej do pomiaru tarcicy z noniusem pozwalającym na odczyt 0,1 mm.

Gdyby udało się ustawić suwmiarkę dokładnie w takim położeniu, żeby krawędzie szczęk (reprezentujące idealne linie proste, a nie powierzchnie zaokrąglone, co w praktyce jest nie do uniknięcia) znalazły się w miejscach oznaczonych na rys. 2 przez A i B , to w najlepszym przypadku — pomijając głębokość wcisku krawędzi w drewno — dokładność pomiaru wynosiłaby $\pm 0,1$ mm. Natomiast, gdyby położenie suwmiarki zostało odchyłone tylko o kąt $\alpha = 2^\circ$, mierzono by zamiast odległości a_1 między punktami A i B odległość b między punktami A i C .

W omawianym przykładzie odległość ta jest większa od a_1 o wielkość

$$b - a_1 = a_1 \frac{\cos \beta}{\cos(\alpha + \beta)} - a_1 = a_1 \left[\frac{\cos \beta}{\cos(\alpha + \beta)} - 1 \right] = 50 \left(\frac{0,9994}{0,9976} - 1 \right) = 0,09 \text{ mm}$$

Ogólny błąd pomiaru wyniósłby więc w zaokrągleniu

$$- 0,1 + 0,09 \approx 0 \text{ mm lub } 0,1 + 0,09 \approx 0,2 \text{ mm.}$$

Gdyby suwmiarkę oparto jedną szczęką na jednej ścianie, tak żeby krawędź znalazła się w A , to krawędź drugiej szczęki znajdzie się w C . Błąd pomiaru w porównaniu z pomiarem przymiarem czujnikowym będzie się różnił teoretycznie o odcinek \overline{CD} , tj. o wielkość błędu wynikającego z opierania się krawędzi końcówki mierniczej o ścianę mierzonego elementu. Ogólny błąd pomiaru suwmiarką będzie więc taki sam jak poprzednio, tj. równy błędowi pomiaru przymiarem z idealną końcówką mierniczą o promieniu równym zeru. Należy jednak podkreślić, że ustawienie suwmiarki z odchyleniem od kierunku pomiaru tylko o 2° , jak to przyjęto w powyższych rozważaniach, jest problematyczne i praktycznie należałoby się liczyć z większymi odchyleniami.

W przypadku objęcia szczękami suwmiarki, jak to zwykle ma miejsce, całego mierzonego przedmiotu, mierzony jest tylko największy wymiar, co przy zamierzonych pomiarach dokładności obróbki półfabrykatów w ogóle nie może wchodzić w rachubę, gdyż potrzebna jest znajomość nie tylko wymiarów największych, lecz przede wszystkim najmniejszych. Dlatego porównanie pomiarów za pomocą przymiarów czujnikowych z pomiarami za pomocą suwmiarki powinno być prowadzone wyłącznie z punktu widzenia mierzenia odległości pomiędzy stosunkowo małymi powierzchniami wybranymi w określonych miejscach na ścianach elementów.

Z przeprowadzonego porównania wynika, że pod względem dokładności pomiaru przymiar czujnikowy jest teoretycznie nieco mniej korzystny niż suwmiarka w przypadku odchylenia ścian elementu o kąt 2° lub więcej od zamierzonego kierunku pomiaru. Przy odchyleniu ścian

elementu mniejszym od 2° , dokładność pomiaru czujnikiem wzrasta szybko i przy kącie $\alpha = \beta = 1^\circ$ błąd pomiaru wynosi tylko (dla $a_1 = 50$ mm oraz $r = 2,25$ mm)

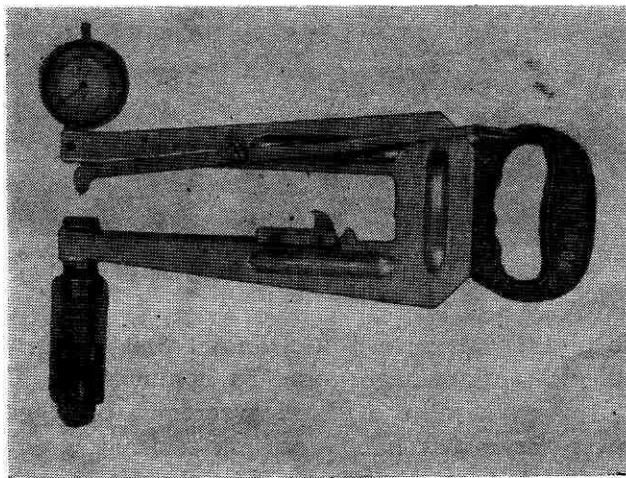
$$\Delta a = \left(\frac{0,9998}{0,9994} - 1 \right) + \frac{2,25}{50 \cdot 28,64} = 0,00197$$

czyli w procentach $\Delta a = 0,2\%$.

Różnica wymiarów dla $a_1 = 50$ mm wyniesie $0,1 \pm 0,01$ mm (dla przy-
miaru z końcówką mierniczą czujnika o promieniu $1,6$ mm — $\Delta a = 0,15\%$).

Dokładność pomiaru obu rodzajami narzędzi teoretycznie jest już więc taka sama (praktycznie — przymiarami większa). Natomiast przymiar czujnikowy przewyższa suwmiarkę w tego rodzaju pomiarach:

- stałą siłą docisku stopek pomiarowych;
- pewnością ustawienia w żądanym położeniu i określonym miejscu;
- łatwością i szybkością pomiaru.



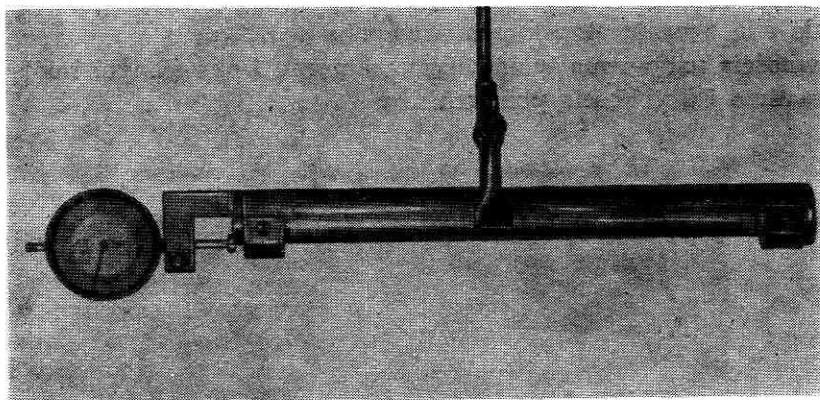
Rys. 3. Przyrząd do mierzenia odchyłek grubości elementów płytowych

Rys. 3. ilustruje odmianę omawianego przyrządu pomiarowego przystosowaną do pomiaru odchyłek grubości elementów płytowych.

II. NARZĘDZIA DO POMIARU ODCHYLEK DŁUGOŚCI

Przymiar do pomiaru odchyłek długości elementów (rys. 4) ma postać okrągłego drażka z cienkościennej rury stalowej z przykręcanymi łapkami umożliwiającymi przystawienie przymiaru do mierzonego elementu w miejscu zamierzonego pomiaru (na ilustracji — w połowie grubości elementu). Na jednym końcu przymiaru znajduje się występ, który dosuwany jest do czoła mierzonego elementu, a na drugim końcu

drażka w kabłąkowym uchwycie zaciśnięty jest czujnik w ten sposób, że oś jego leży w przedłużeniu dolnej tworzącej drażka. W przymiarze zastosowano czujnik zegarowy o dokładności 0,01 mm i zakresie pomiaru 10 mm. W czujniku wymieniono końcówkę z kulistą powierzchnią mierniczą na końcówkę z powierzchnią płaską średnicy 10 mm. Wewnętrzna czołowa strona kabłąkowego uchwytu, stanowiąca zakończenie drażka (opiera się o nią końcówka czujnika), została dokładnie oszlifowana, gdyż spełnia ona funkcję bazy, wg której następuje zamocowanie czujnika w uchwycie. W celu umożliwienia właściwego ustawienia czujnika, pomierzono z dokładnością $\pm 0,02$ mm odległość między tą bazą a wewnętrzną płaszczyzną występu znajdującego się na drugim końcu drażka



Rys. 4. Przyrząd do mierzenia odchyłek długości

oraz dorobiono płytki wzorcowe o dokładności $\pm 0,01$ mm uzupełniające pomierzoną odległość do pełnego wymiaru nominalnego. Opierając powierzchnię mierniczą czujnika o płytkę wzorcową przylegającą do płaszczyzny bazowej przymiaru, należy czujnik zaciśnąć w uchwycie w takim położeniu, aby jego mała wskazówka wskazywała na skali połowę zakresu pomiarowego, tj. 5 mm. Po zamocowaniu czujnika dużą wskazówkę ustawia się w położeniu zerowym. To ustawienie czujnika odpowiada nominalnemu wymiarowi długości, a prawidłowość ustawienia może być w każdej chwili kontrolowana za pomocą wspomnianej płytki wzorcowej.

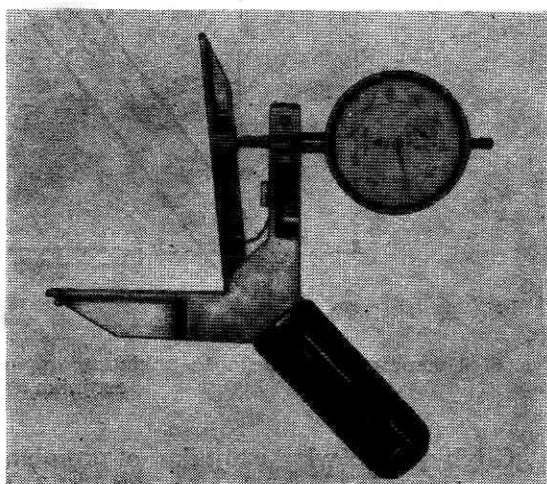
Wymiary przymiaru przystosowane są w zasadzie do pomiaru odchyłek długości elementu od jednego założonego wymiaru nominalnego. Istnieje jednak możliwość łatwego przystosowania przymiaru do pomiaru odchyłek długości od wymiarów nominalnych różnych od wymiaru założonego. Zakres zmiany wymiaru nominalnego jest jednak nieznaczny, zależny od długości wcięcia kabłąkowego uchwytu czujnika.

Dokładność pomiaru tymi przyrządami przekracza wymaganą dokładność $\pm 1,0$ mm. Przymiarami mogą być mierzone elementy, których od-

chyłki od wymiaru nominalnego zawarte są w granicach ± 5 mm. Ze względu na to, że przy pomiarze długości wymagana jest mała dokładność, bezpośrednio ręczne dociskanie przymiaru do elementu należy uważać za dopuszczalne.

III. NARZĘDZIA DO POMIARU ODCHYLEK KĄTA

W elementach drewnianych dwa sąsiadujące ze sobą boki elementu tworzą w ogromnej większości przypadków dwuścienny kąt prosty. Z tego względu zaprojektowano i wykonano przymiar do pomiaru odchyłek od kąta prostego nie przekraczających $\pm 5^\circ$. Przy budowie przyrządów przyjęto za zasadę przyleganie do ścian mierzonego elementu ramion o dużej szerokości i długości. W ten sposób zapewniono pomiar średniego rzeczywistego kąta pomiędzy dwiema ścianami z uniknięciem wpływu małych nierówności powierzchni. Rys. 5 ilustruje konstrukcję przymiaru, w którym zastosowano identyczny czujnik zegarowy, jak w poprzednio omówionych przyrządach pomiarowych.



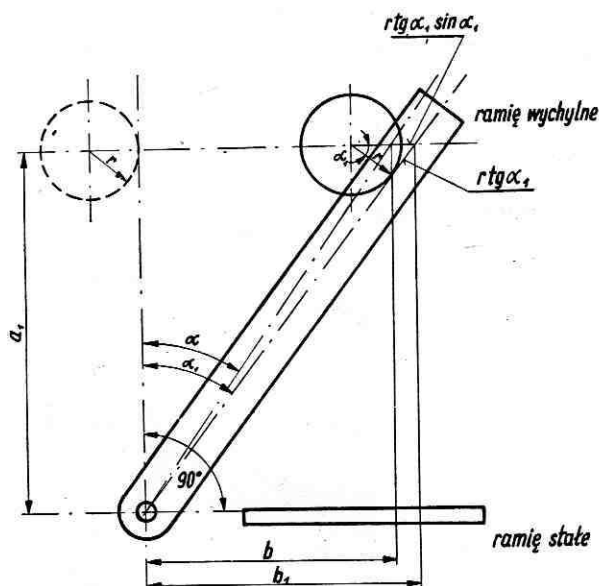
Rys. 5. Przyrząd do mierzenia odchyłek kąta

Długość ramienia stałego, będącego jednym z ramion sztywnego kątownika wynosi 70 mm, a ramienia wychylnego — 105 mm. Oś obrotu ramienia wychylnego znajduje się w płaszczyźnie oporowej ramienia stałego. Ramie wychylne jest naciskane płaską sprężyną w stronę ramienia stałego. Oprócz tego na ramie wychylne naciska końcówka czujnika zaciśniętego na drugim ramieniu sztywnego kątownika. W narożniku sztywnego kątownika znajduje się rękojeść. Kątomierz dociskany jest ramionami do sąsiadujących ze sobą ścian elementu, przy czym ramie wychylne dociskane jest tylko z siłą odpowiadającą sile napięcia sprężyny płaskiej i sprężyny czujnika.

Czujnik zaciśnięty jest w takim położeniu, że gdy ramiona ustawione

są względem siebie pod kątem 90° , mała wskazówka wychylona jest do połowy skali (tj. wskazuje 5 mm), a skala wskazówki dużej ustawiona jest w położeniu zerowym. Do ustawienia ramion kątomierza pod kątem 90° i do kontroli ustawienia czujnika służy kątownik wzorcowy o dokładności $5'$. Wielkość wychylenia ramienia wskazywana przez czujnik służy do obliczenia wielkości odchyłki kąta mierzonego od kąta prostego.

Dokładność wskazań kątomierza jest duża, a błąd pomiaru wynikający z przesuwania się punktu styku kulistej końcówki czujnika z płaską powierzchnią wychylanego ramienia jest mały. Wynika to z rys. 6.



Rys. 6. Geometryczna zależność dokładności pomiaru kąta od promienia końcówki czujnika

Gdyby końcówka czujnika o promieniu r została zastąpiona teoretyczną końcówką o promieniu równym zero, to wskazanie czujnika b_1 pozwalałoby na obliczenie rzeczywistego kąta α_1 z zależności

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{b_1}{a_1},$$

gdzie a_1 jest stałą odległością osi trzpienia czujnika od powierzchni stałego ramienia kątomierza. W rzeczywistości kąt α obliczany jest z odczytu b mniejszego od b_1 oraz ze stałej wielkości α_1 , tj. ze stosunku

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{b}{a_1}$$

czyli że α jest mniejsze od α_1 .

Błąd pomiaru wynosi

$$\Delta\alpha = \frac{\alpha_1 - \alpha}{\alpha_1}$$

Ponieważ kąty są małe, można przyjąć $\text{tg } \alpha_1 = \alpha_1$ oraz $\text{tg } \alpha = \alpha$,
czyli

$$\Delta\alpha = \frac{\frac{b_1 - b}{a_1}}{\frac{b_1}{a_1}} = 1 - \frac{b}{b_1}$$

Wartość b oraz b_1 należy zastąpić wartościami stałymi i kątem α_1 .
Z rysunku widoczna jest zależność

$$b = b_1 - r \cdot \text{tg } \alpha_1 \cdot \sin \alpha_1 = a_1 \cdot \text{tg } \alpha_1 - r \cdot \text{tg } \alpha_1 \sin \alpha_1$$

ponieważ $b_1 = a_1 \text{ tg } \alpha_1$; więc

$$\Delta\alpha = 1 - \frac{a_1 \cdot \text{tg } \alpha_1 - r \cdot \text{tg } \alpha_1 \sin \alpha_1}{a_1 \text{ tg } \alpha_1} = 1 - 1 + \frac{r}{a_1} \sin \alpha_1$$

czyli

$$\Delta\alpha = \frac{r}{a_1} \sin \alpha_1.$$

Dla zbudowanego kątomierza $r = 1,5 \text{ mm}$, $a_1 = 60 \text{ mm}$, więc:

$$\Delta\alpha = \frac{1,5}{60} \sin \alpha_1 = 0,025 \sin \alpha_1$$

Dla $\alpha_1 = 1^\circ$, $\sin \alpha_1 = 0,0175$; czyli $\Delta\alpha = 0,025 \cdot 0,0175 = 0,0004375$,
a więc w zaokrągleniu $\Delta\alpha = 0,044\%$.

Dla $\alpha_1 = 5^\circ$, $\sin \alpha_1 = 0,0872$; czyli $\Delta\alpha = 0,025 \cdot 0,0872 = 0,00218$, a więc
w zaokrągleniu $\Delta\alpha = 0,22\%$.

Przy kącie rzeczywistym $\alpha_1 = 1^\circ$ różnica między nim a kątem mierzonym wynosi

$$\alpha_1 - \alpha = 60' \cdot 0,00044 = 0,0264' \approx 0,03'$$

oraz przy kącie $\alpha_1 = 5^\circ$

$$\alpha_1 - \alpha = 300' \cdot 0,0022 = 0,66'$$

Ponieważ dokładność ustawienia ramion kątomierza wynosi $5'$ — błąd pomiaru spowodowany zaokrągleniem końcówki czynnika jest około 10-krotnie mniejszy. Błąd pomiaru spowodowany dokładnością wskazań czujnika $0,01 \text{ mm}$ jest również, jak wskazuje poniższe obliczenie, bardzo mały, mniejszy niż dokładność ustawienia ramion

dla $\alpha_1 = 5^\circ$, $b_1 = a_1 \cdot \operatorname{tg} \alpha_1 = 60 \cdot 0,0874 = 5,2440$ mm, a więc przy zmianie b_1 o $\pm 0,01$ mm

$$\operatorname{tg} \alpha'_1 = \frac{5,2540}{60} = 0,08757$$

czyli $\alpha'_1 \approx 5^\circ 0' 20''$
oraz

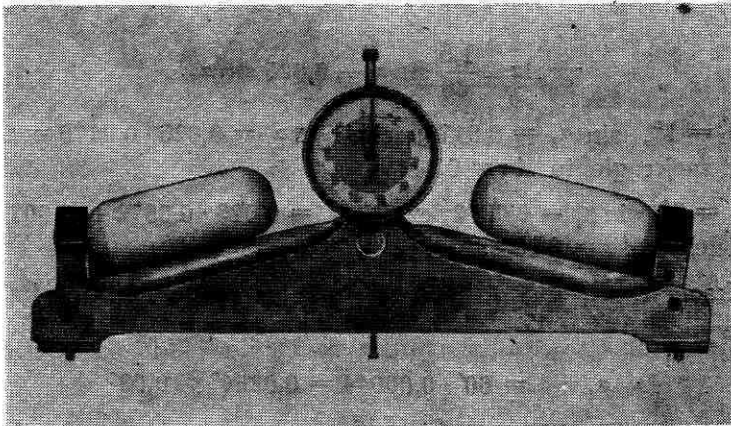
$$\operatorname{tg} \alpha''_1 = \frac{5,2340}{60} = 0,08723$$

czyli $\alpha''_1 \approx 4^\circ 59' 00''$.

Różnica $\alpha'_1 - \alpha''_1 = 1' 20''$.

IV. NARZĘDZIA DO POMIARU PŁASKOŚCI ŚCIAN I PROSTOLINOWOŚCI KRAWĘDZI

Narzędzia te zaprojektowano w postaci sztywnych liniałów o trzech nominalnych wielkościach: 250, 500 i 1000 mm. Przy doborze wielkości kierowano się możliwościami technologicznymi wykonania długich liniałów oraz ciężarem liniałów, który przy dużych wymiarach liniałów utrudniałby bardzo posługiwanie się nimi. Liniał o długości nominalnej 250 mm ilustruje rys. 7.



Rys. 7. Przyrząd do mierzenia płaskości ścian i prostoliniowości krawędzi

W celu uzyskania dużej sztywności liniały mają w kierunku wzdłużnym kształt zbliżony do dwóch wysokich trapezów złożonych podstawami. Przekrój poprzeczny liniału jest prostokątny z obustronnymi wgłębieniami i ścięciami zmniejszającymi ich ciężar. Na końcach liniałów znajdują się prostokątne stopki o wielkości powierzchni oporowych dostosowane

wanej do wielkości liniału, a tym samym do ciężaru liniału. Przy jednakowej długości stopek 20 mm, szerokości ich wynoszą odpowiednio 3,3, 4,95 i 8,7 mm co daje nacisk równy 10 G/mm². Powierzchnie oporowe stopek znajdują się dokładnie (z dokładnością liniału traserskiego) w jednej płaszczyźnie. Nominalna długość liniału jest pomiędzy geometrycznymi osiami stopek. W połowie długości liniałów umieszczony jest czujnik zegarowy w ten sposób, że oś czujnika jest prostopadła do płaszczyzny oporowej stopek. Ze względu na dużą wysokość liniałów, końcówki czujników zostały przedłużone. Powierzchnie miernicze czujników są płaskimi krążkami średnicy 4,5 mm. Liniał o długości nominalnej 1000 mm wyposażono w dwa dodatkowe czujniki zegarowe umieszczone po obu stronach czujnika środkowego w odległościach 250 mm od niego.

Czujniki zaciśnięte są w takim położeniu, że gdy powierzchnie miernicze końcówek czujników znajdują się w płaszczyźnie stopek liniału, ich małe wskazówki zajmują środkowe położenie (tj. wskazują na skali 5 mm), a skale wskazówek dużych doprowadzone są do położenia zerowego. Ustawianie czujników w tym położeniu i kontrola tego ustawienia odbywa się przez oparcie liniału na liniale traserskim.

Te same liniały służą także do pomiaru prostoliniowości krawędzi elementów. W celu ułatwienia ustawiania liniału na krawędzi elementu, liniał wyposażono w dokręcane stopki boczne, których powierzchnie oporowe ustawione są pod kątem 45° do powierzchni stopek zasadniczych. Na rys. 7 pokazano liniał przystosowany do pomiaru płaskości ścian elementu, którego stopki boczne odchylone są do położenia górnego.

V. WPLYW TEMPERATURY NA DOKŁADNOŚĆ POMIARÓW

Opisane przyrządy pomiarowe oraz stosowane do nich płytki wzorcowe cechowane były w temp. 20°C. Pomiary wykonywane były w temp. różnej od 20°C obarczone będą błędem wynikającym z rozszerzalności cieplnej kadłubów przyrządów. Odnosi się to w zasadzie tylko do przyrządów do pomiaru odchyłek grubości (lub szerokości) oraz do przyrządów do pomiaru odchyłek długości. Przy przyrządach do pomiaru odchyłek kąta i pomiaru płaskości ścian wpływ temperatury na dokładność pomiaru może być pominięty ze względu na konstrukcję przyrządów, pod warunkiem, że cechowanie tych przyrządów odbywać się będzie w takiej temperaturze, w jakiej wykonywane będą pomiary.

Kadłuk przyrządu do pomiaru odchyłek grubości (lub szerokości) wykonany został ze stopu aluminium o symbolu PA 8 cechującego się współczynnikiem rozszerzalności liniowej wynoszącym $22,9 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$. Przykładowo przyrząd o wymiarze nominalnym 50 mm mający teoretyczną długość swobodną równą 85 mm, przy zmianie temperatury o $\pm 20^\circ\text{C}$ wydłuży się o

$$\Delta a = \alpha \cdot \Delta t \cdot l = 22,9 \cdot 10^{-6} \cdot 20 \cdot 85 = \pm 0,039 \text{ mm.}$$

W powyższym obliczeniu nie uwzględniono rozszerzalności cieplnej stopki przyrządu i trzpienia czujnika. Wydłużenia obu tych części zmniejszają wartość obliczonego błędu pomiarowego.

Powyższym błędem obarczony byłby pomiar elementu w przypadku, gdyby cechowanie przyrządu wykonano w temperaturze różniącej się o 20°C od temperatury, w jakiej wykonano pomiar elementu. Jeśli jednak przyjąć za zasadę, że cechowanie przyrządu odbywać się powinno w temperaturze wykonywania pomiarów, to błąd pomiaru zależny będzie od wielkości wydłużenia stalowej płytki wzorcowej. Przy wymiarze nominalnym 50 mm i zmianie temperatury o $\pm 20^{\circ}\text{C}$ błąd ten wynosi

$$\Delta a = \alpha \cdot \Delta t \cdot l = 10,72 \cdot 10^{-6} \cdot 20 \cdot 50 = \pm 0,01 \text{ mm}$$

i jest równy dokładności wskazań czujnika.

Przymiary do pomiaru odchyłek długości wykonane zostały ze stali o współczynniku rozszerzalności liniowej wynoszącym $10,72 \cdot 10^{-6} \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$. Przykładowo przyrząd o długości nominalnej 1500 mm przy zmianie temperatury o $\pm 20^{\circ}\text{C}$ wydłuży się o

$$\Delta l = \alpha \cdot \Delta t \cdot l = 10,72 \cdot 10^{-6} \cdot 20 \cdot 1500 = \pm 0,32 \text{ mm,}$$

tj. o wielkość znacznie mniejszą od wymaganej dokładności pomiaru.

W powyższych rozważaniach nie uwzględniono rozszerzalności cieplnej mierzonych elementów. Jeśli dokładność wymiarów elementów drewnianych odnieść do stałej temperatury, np. 20°C , i uwzględnić współczynnik rozszerzalności cieplnej drewna — błędy pomiarowe obu przyrządów znacznie zmniejszą.

Z powyższego obliczenia wynika, że wymiar rzeczywisty grubości elementu w temperaturze wyższej (lub niższej) o 20°C od temperatury cechowania przyrządu mierzony jest z błędem $\pm 0,039 \text{ mm}$. Uwzględniając rozszerzalność drewna sosnowego w kierunku prostopadłym do włókien otrzymamy zmianę wymiaru grubości (lub szerokości) wynoszącego 50 mm przy zmianie temperatury o $\pm 20^{\circ}\text{C}$

$$\Delta a = \alpha \cdot \Delta t \cdot l = 34,0 \cdot 10^{-6} \cdot 20 \cdot 50 = \pm 0,034 \text{ mm.}$$

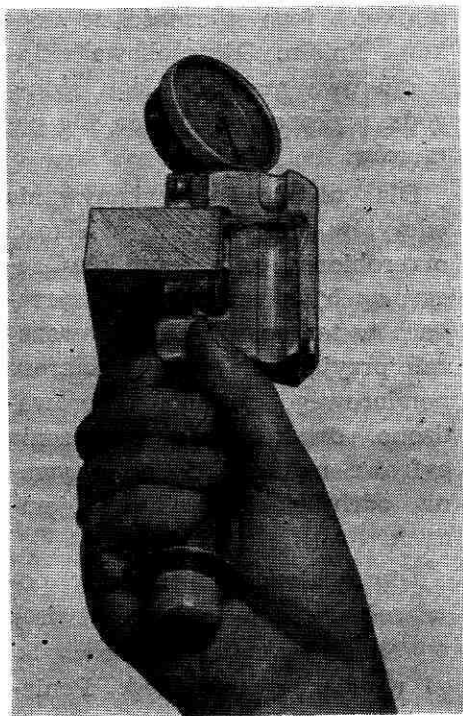
Różnica wydłużeń drewna i przyrządu wynosi więc $0,005 \text{ mm}$ i jest mniejsza od dokładności wskazań czujnika.

W przypadku pomiaru odchyłek długości elementów o przykładowej długości 1500 mm poprzednio obliczony błąd $\pm 0,32 \text{ mm}$ ulega zmniejszeniu na skutek wydłużenia się (lub skurczenia) mierzonego elementu z drewna sosnowego w kierunku równoległym do włókien o

$$\Delta l = \alpha \cdot \Delta t \cdot l = 5,4 \cdot 10^{-6} \cdot 20 \cdot 1500 = 0,16 \text{ mm}$$

VI. WARUNKI POMIARÓW

W Katedrze Obróbki i Obrabiarek Drewna SGGW wykonano bardzo obszerną pracę naukowo-badawczą na temat dokładności obróbki piłowaniem półfabrykatów iglastych. Część doświadczalną tej pracy, obejmującą ponad 100 tys. pomiarów, wykonano przy użyciu wyżej opisanych przyrządów pomiarowych. Praktyka wykazała pełną przydatność przyrządów. Są one bardzo poręczne, proste w użyciu i obsłudze i w porównaniu z tradycyjnymi przyrządami pomiarowymi zapewniają bardzo szybkie wykonywanie pomiarów.



Rys. 8. Pomiar odchyłki szerokości elementu

Pomiary odchyłek grubości (lub szerokości) najwygodniej wykonywać na elemencie układanym na specjalnych koziółkach podtrzymujących element w trakcie pomiaru w dogodnym położeniu. Sposób pomiaru ilustruje rys. 8.

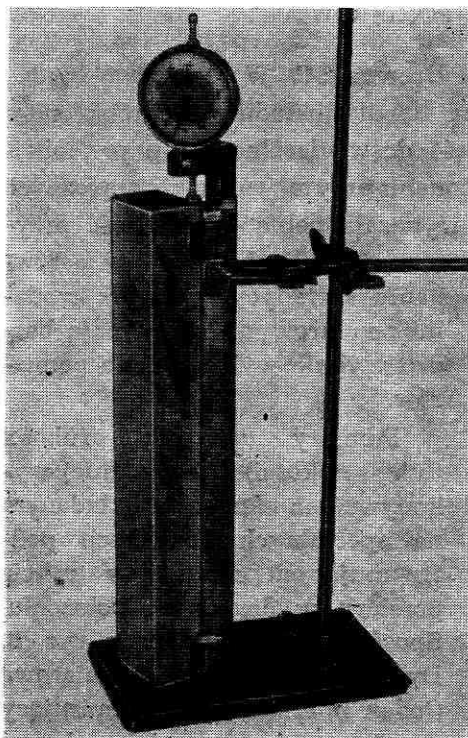
Dwuosobowa ekipa pomiarowa (jeden mierzący, drugi zapisujący wynik pomiaru) może wykonać w ciągu godziny od 200 do 300 pomiarów w zależności od wymiarów i ciężaru elementów, ilości pomiarów na jednym elemencie itp.

Pomiary długości elementów wykonywać można dwoma sposobami. W przypadku elementów o małym wymiarze długości korzystniej jest przystawić mierzony element do zamocowanego w oprawce przyrządu pomiarowego

(rys. 9). W przypadku elementów długich i ciężkich wygodniej jest przystawiać przymiar do elementu. Przy takim pomiarze pożądana jest pomoc osoby zapisującej przy przystawianiu końca przymiaru z występnym do czoła elementu. Dwuosobowa ekipa pomiarowa może wykonać tym przyrządem od 250 do 350 pomiarów w ciągu godziny.

Pomiary odchyłek kątów wykonywać należy na elemencie unieruchomionym w specjalnych koziółkach, podobnie jak przy pomiarze odchyłek grubości. Sposób wykonywania pomiaru ilustruje rys. 10. Szybkość wykonywania pomiarów dochodzi od 200 do 300 pomiarów na godzinę.

Pomiary płaskości ścian i prostoliniowości krawędzi najlepiej



Rys. 9. Pomiar odchyłki długości elementu



Rys. 10. Pomiar odchyłki kąta

wykonywać przystawiając liniał do mierzonego elementu. Tylko w przypadku elementów długich, o małych wymiarach przekroju poprzecznego należy element przystawiać do unieruchomionego liniału, stosując umiarkowany docisk elementu do liniału. Nacisk na element należy wywierać w punktach jego styczności ze stopkami liniału. Dwuosobowa ekipa pomiarowa może w ciągu jednej godz. wykonać od 300 do 400 pomiarów.

Dla ułatwienia wykonywania odczytów mierzonej wielkości przerobiono skalę czujników zegarowych we wszystkich przyrządach w ten sposób, że zero wskaźnika przyjęto dla połowy zakresu pomiarowego czujnika i wprowadzono dwukolorowe oznaczenia cyfrowe na skali do odczytywania odchyłek dodatnich i ujemnych.

Zaprojektowane przyrządy pomiarowe mierzą nie rzeczywisty wymiar elementu, lecz odchyłki od wymiaru nominalnego. Ponieważ w pracach z zakresu dokładności obróbki zachodzi z reguły konieczność statystycznego opracowania wyników części doświadczalnej — operowanie odchyłkami ułatwia znacznie obliczenia statystyczne. Stanowi to jeszcze jedną zaletę przemawiającą za celowością stosowania omawianych przyrządów pomiarowych do masowych i jednocześnie dokładnych pomiarów odchyłek wymiarów i kształtu elementów drewnianych.

Тадеуш Орлич, Ежи Байковски

ИНДИКАТОРНЫЕ ПРИБОРЫ ДЛЯ СКОРОГО ИЗМЕРЕНИЯ ТОЧНОСТИ РАЗМЕРОВ ДЕРЕВЯННЫХ ЗАГОТОВОК

Краткое содержание

Измерение точности размеров заготовок из древесины, древесно-стружечных плит и других материалов с помощью приборов, применяемых повсеместно в настоящее время для этой цели, вызывает много сомнений. Результаты измерений зависят от давления измерительного прибора на поверхность заготовки, а также от точности установки прибора относительно измеряемого элемента. Само измерение трудоёмкое и отсчет результатов очень неудобный.

Для обеспечения возможно объективных условий проведения измерений и улучшения техники измерений, спроектированы специальные индикаторные приборы, приспособленные для измерения отклонений размеров и формы заготовок, а именно: 1) для измерения отклонений толщины и ширины, 2) для измерения отклонений длины, 3) для измерения отклонений двугранных углов. 4) для измерения плоскости поверхности и прямолинейности кромок.

Прибор для измерения отклонений толщины и ширины обеспечивает постоянное давление обоих измерительных поверхностей прибора на поверхность заготовки при одновременном фиксировании измерительной оси прибора относительно определенной базовой поверхности. В практических условиях точность измерения этим прибором выше точности получаемой при измерении штангенциркулем. Измерение проводится легко и быстро.

Прибор для измерения длины, вследствие требуемой точности, не обеспечивает постоянного давления измерительных поверхностей прибора на поверхность заготовки, однако позволяет точно фиксировать измерительную ось. Получаемая точность измерения выше требуемой в практике.

Прибор для измерения отклонений углов обеспечивает определение среднего действительного угла между двумя соседними стенами заготовки. Конструкция прибора обеспечивает значительную точность измерения. Практически, эта точность зависит от точности эталонного угольника, по которому градуировался прибор. Само измерение проводится легко и быстро.

Конструкция прибора для измерения плоскости поверхности позволяет на использование этого прибора также для измерения прямолинейности кромок. Прибор имеет форму линейки, к которой прикреплены индикаторные головки измеряющие отклонения плоскости в определенных точках по длине линейки. Размеры измерительных поверхностей подобраны соответственно весу линейки, обеспечивают постоянное давление прибора на поверхность.

Практическое применение приборов доказало их полную пригодность, а также 5—10-кратное сокращение времени измерения по сравнению с традиционными приборами.

Tadeusz Orlicz, Jerzy Bajkowski

TASTERAPPARATE ZUR SCHNELLEN MESSUNG DER GENAUIGKEIT DER AUSMASSE VON HOLZELEMENTEN

Zusammenfassung

Die Messung der Genauigkeit der Ausmasse von Holzelementen mit den bis jetzt zu diesem Zweck üblich angewendeten Apparaten ruft mehrere Bedenken hervor.

Die Messergebnisse hängen von dem mit dem Messapparat auf die Holzoberfläche ausgeübten Druck ab, wie auch von der Genauigkeit des Anlegens des Messapparates zu gemessenem Element. Die Messung selbst bedarf ziemlich grossen Arbeitsaufwands und die Ablesung der Ergebnisse ist sehr unbequem.

Zwecks Sicherstellung möglichst objektiver Bedingungen zur Ausführung der Messungen und Steigerung der Messtechnik hat man spezielle Tastermessapparate, zur Messung von Elementen aus Holz und Holzkunststoffen angepasst, projiziert. Es sind Apparate zur Messung von: 1) Stärke und Breite, 2) Länge, 3) zweiwändigen Winkeln, 4) Ebenheit der Wände und Geradlinigkeit der Kanten.

Der Apparat zur Messung der Stärke und Breite gewährleistet ständigen Druck beider Messfüsse des Apparates auf die Oberfläche des gemessenen Elements bei gleichzeitiger Einstellung der Messachse zur bestimmten Stützfläche. Unter praktischen Bedingungen ist die Genauigkeit der Messung mit diesem Apparat grösser als die bei der Messung mit der Schieblehre erzielte Genauigkeit. Die Messung ist leicht und schnell.

Der Apparat zur Längenmessung gewährleistet, der erforderlichen Messgenauigkeit wegen, nicht ständigen Druck der Messfüsse auf die Oberfläche des Elements, er ermöglicht jedoch die genaue Einstellung der Messachse. Die erzielte Messgenauigkeit ist grösser als in der Praxis erforderlich.

Der Apparat zur Messung der Winkelabweichungen gewährleistet die Messung der Abweichungen vom mittleren wirklichen Winkel zwischen zwei angrenzenden Wänden des Elements mit grosser Genauigkeit. Praktisch ist diese Genauigkeit von der Genauigkeit des Musterwinkels, der zur Eichung des Apparates dient, abhängig. Die Messung selbst ist leicht und schnell.

Die Konstruktion des Apparates zur Messung der Ebenheit der Wände ermöglicht die Anwendung dieses Apparates auch zur Messung der Geradlinigkeit der Kanten. Der Apparat hat die Form eines Lineals, in welchen ein oder drei Messuhren zur Messung der Abweichung von der Ebene in bestimmten Punkten an der Lineallänge eingebaut sind. Die Ausmasse der Füsse sind dem Gewicht des Lineals so angepasst, dass sie ständigen Druck des Apparates auf die gemessene Oberfläche ausüben.

Die Nachprüfung der Apparate in der Praxis hat ihre volle Brauchbarkeit und eine 5- bis 10 fache Verkürzung der Messdauer im Vergleich mit traditionellen Apparaten nachgewiesen.

Wpłynęło do Komitetu Redakcyjnego 9 XII 1968