ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1975

Seria: MECHANIKA z. 56 Nr kol. 437

Mieczysław PISZ, Władysław BRZOZOWSKI

Instytut Budowy Maszyn

WSTĘPNE BADANIA WPŁYWU NIEKTÓRYCH CZYNNIKÓW NA SZTYWNOŚĆ STYKOWĄ STYKÓW PROWADNICOWYCH OBRABIAREK

Streszczenie. Podano wyniki badań sztywności stykowej styków prowadnicowych przeprowadzone na modelach dostatecznie sztywnych. Celem badań było stwierdzenie, czy wielkość powierzchni styku modeli i wprowadzenie środka smarującego między powierzchnie styku wpływa na sztywność stykową.

1. Wstęp

Analiza problemów związanych ze sztywnością stykową styków prowadnicowych obrabiarek nasuwa następujące spostrzeżenia:

1. Różni badacze [1-6] dla jednakowo określonych sposobów obróbki podają różne wartości współczynnika c i wykładnika m, charakteryzujących sztywność stykową ($\delta = cp^m$).
2. Z publikowanych i dostępnych prac badaczy radzieckich dotyczących pomiaru charakterystyki sztywności stykowej prowadnic wynika, że nie obciążali próbek powyżej 12-14 kG/cm^2 (wyjątek uczynił Ostrowski [3], który obciążał próbki do 25 kG/cm^2). Wiadomo jednak, iż na powierzchniach prowadnic obrabiarek dopuszcza się naciski rzędu 40 kG/cm^2 [7].
3. Opisując wyniki badań lub podając warunki, w jakich przeprowadzano pomiary, żaden z badaczy nie precyzuje, czy stykające się powierzchnie były "suche", czy też znajdował się między nimi olej lub smar. Należy przypuszczać, że miejsce miał pierwszy przypadek.

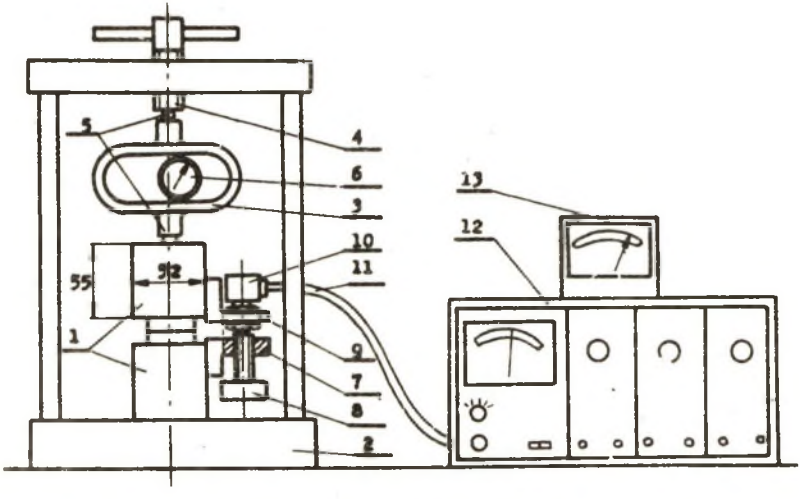
Jedynie w pracy [1] na jednym z rysunków podaje się wykresy sztywności stykowych dla próbek ze smarem i bez smaru, jednak bez jakichkolwiek wyjaśnień w tekście. Ponadto Ryżow [6] stwierdza ogólnie, że sztywność stykowa powierzchni struganych zwiększa się wraz ze wzrostem lepkości oleju wprowadzonego między te powierzchnie. Ponieważ w rzeczywistych warunkach pracy prowadnic między powierzchniami styku zawsze występuje środek smarujący, istotna jest dla konstruktora znajomość parametrów charakteryzujących sztywność stykową w tych właśnie warunkach. Trzeba się więc zgodzić, iż badanie sztywności stykowej "na sucho" może mieć jedynie poznawczy charakter, natomiast z punktu widzenia potrzeb konstruktora obrabiarek celowe są jedynie pomiary przeprowadzane w warunkach styku "na mokro".

Wymienione spostrzeżenia narzucają potrzebę przeprowadzenia kompleksowych badań sztywności stykowej, uwzględniających wpływ środka smarującego. Uznano wszakże za celowe wcześniejsze przeprowadzenie badań wstępnych. Chodziło o stwierdzenie, czy rzeczywiście w warunkach pracy prowadnic obrabiarek wpływ ten jest istotny. Wyniki tych badań miały uzasadnić celowość podjęcia badań kompleksowych.

Ponadto postanowiono zbadać, czy charakterystyka sztywności stykowej zależy od wielkości powierzchni styku. Na podstawie teoretycznych rozważań można wnioskować, że w przypadku dostatecznie dużej sztywności postaciowej próbek związek między względnym zbliżeniem próbek i naciskiem jednostkowym powinien być niezależny od wielkości powierzchni styku (przy zachowaniu stałości pozostałych parametrów powierzchni).

2. Badania wstępne

Do pomiarów przygotowano cztery pary próbek prostopadłościennych wykonanych z żeliwa Zl25. Wymiary próbek (rys. 1) dobrano tak, aby mieć pewność, że pomimo obciążenia próbki siłą skupioną, na powierzchniach styku wystąpi równomierny rozkład nacisków. Dwie pary próbek miały powierzchnię styku równą 25 cm^2, pozostałe dwie - 4,82 cm^2. W dalszym ciągu oznaczać się będzie te pary próbek liczbami I, II, III, IV. Powierzchnie styku wszystkich próbek szlifowano jednocześnie obwodem tarczy (R_z = 0,58 μm wzdłuż śladów obróbki i R_z = 1,72 μm w kierunku prostopadłym). Próbki I i III obciążane były "na sucho", natomiast między powierzchnie styku pró-



Rys. 1. Schemat stanowiska do badania sztywności stykowej

bek II i IV wprowadzono olej maszynowy 6 (obciążanie "na mokro"). Dodatkowo po pomiarach sztywności stykowej próbek II i IV przemyto ich powierzchnie styku najpierw naftą, potem alkoholem i obciążano je ponownie. Poniżej podano zestawienie warunków, w jakich odbyły się pomiary sztywności stykowej próbek:

I - 25 cm^2, "na sucho", największa wartość siły: 1000 kG,
II - 25 cm^2, "na mokro" i po przemyciu "na sucho", największa wartość siły: 1000 kG,
III- 4,82 cm^2, "na suchu", największa wartość siły: 193,6 kG,
IV- 4,82 cm^2, "na mokro" i po przemyciu "na sucho", największa wartość siły: 193,6 kG.

Próbki górną i dolną ustawiano zawsze tak, aby ślady obróbki były równoległe. Próbki, olej, przyrządy pomiarowe przez dłuższy czas przed pomiarem i w czasie pomiarów znajdowały się w tym samym pomieszczeniu o temperaturze 20 ± 1°C.

Schemat stanowiska pomiarowego przedstawia rys. 1. Próbki 1 (dolna i górna) ustawione są na dolnej belce ramy 2. W górnej belce tej ramy znajduje się śruba 4. Wkręcanie śruby powoduje, poprzez siłomierz 3, ściskanie próbek określoną siłą. Wartość siły pokazuje pośrednio czujnik zegarowy 6. Aby umożliwić ustawienie próbek i siłomierza tak, aby wywierana siła miała kierunek prostopadły do powierzchni styku próbek, między siłomierz a śrubę i próbkę wprowadzono kulki 5. Do próbki dolnej przytwierdzony jest wspornik 7 wraz ze śrubą 8, blokowaną we wsporniku na czas pomiaru. Do górnej próbki przytwierdzony jest wspornik 9 wraz z czujnikiem indunkcyjnym 10. Czujnik ten połączony jest kablem ekranowanym 11 z miernikiem 12. Użyty czujnik indukcyjny stanowi wyposażenie normalne miernika. Ponieważ okazało się, że przemieszczenia mierzone czujnikiem są bardzo małe i wychylenie wskazówki miernika 12 odpowiadające największemu przemieszczeniu nie przekraczało wartości jednej działki, do zacisków służących do łączenia miernika 12 z oscylografem pętlicowym podłączono mikroamperomierz 13 (pomiary statyczne). Największe mierzone przemieszczenie powodowało wychylenie wskazówki mikroamperomierza do granicy jego zakresu pomiarowego.

3. Wzorcowanie przyrządów pomiarowych

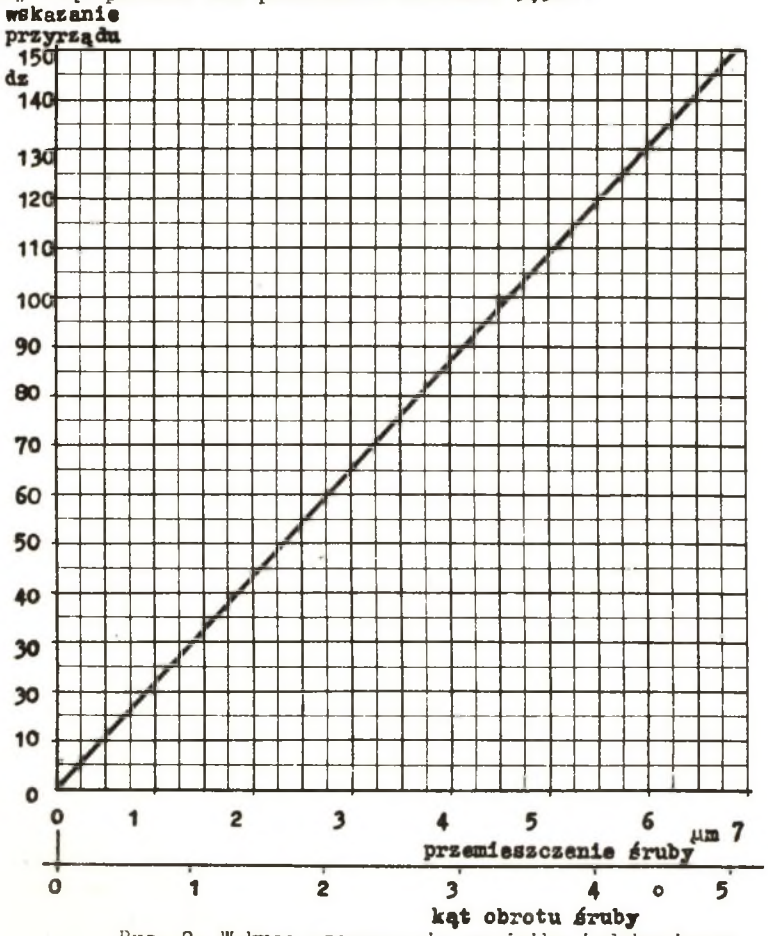
Do pomiaru siły użyto siłomierza pałąkowego "STALIMET 1000 kG" nr 1714 o zakresie pomiarowym 0 - 1000 kG. Dołączona do niego metryka wzorcowania podawała zależność między wartością siły a wskazaniem czujnika zegarowego.

Do wzorcowania czujnika indukcyjnego użyto śruby z gwintem drobnozwojnym 8. Średnia wartość skoku gwintu tej śruby wynosi $h_{śr}$ = 493,08 μm i określona została z błędem nie przekraczającym 1%. Zatem obrotowi śruby o 1° odpowiada przemieszczenie osiowe 493,08 360 μm/1°.

Użyty do pomiarów przemieszczenia miernik wielkości mechanicznych typu N-104 produkcji zakładów "Elpo" wraz z czujnikiem indukcyjnym (zakres pomiarowy 0,1 mm) i mikroamperomierzem typu NFe produkcji zakładów "era" (zakres pomiarowy 15 μA) wzorcowano w następujący sposób. Śrubę 8 wkręcano w kierunku czujnika indukcyjnego i po każdym obrocie o 1° dokonywano zapisu wskazań mikroamperomierza. Wzorcowanie przeprowadzono 6-krotnie dla rosnących i malejących przemieszczeń. Rozrzut wskazań nie przekracza wartości jednej działki mikroamperomierza. Wykres wzorcowania czujnika indukcyjnego pokazano na rys. 2. Widać, że najmniejsze przemieszczenie mierzone za pomocą użytego przyrządu i odpowiadające wychyleniu wskazówki mikroamperomierza o 1 działkę wynosi

$$\frac{6,9}{150} = 0,046\ \mu m.$$

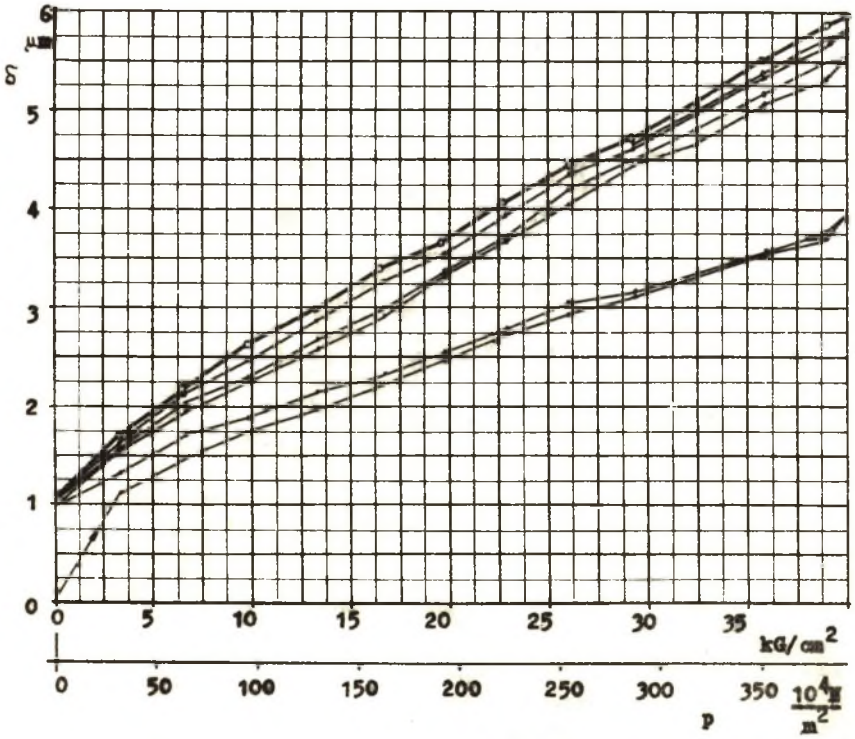
Całkowity błąd pomiaru nie przekracza wartości 5,5%.



Rys. 2. Wykres wzorcowania czujnika indukcyjnego

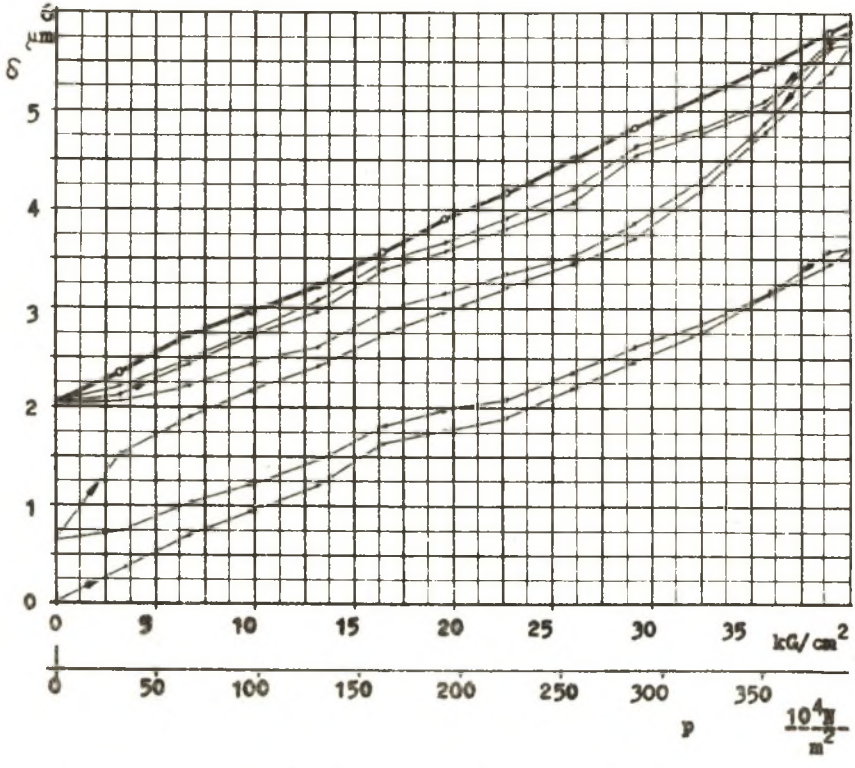
4. Wyniki pomiarów

Badaniom poddano cztery pary próbek. Każdą parę próbek obciążano wielokrotnie siłą rosnącą i malejącą do zera, przy czym maksymalna wartość siły dla badanej pary próbek była taka sama. Próbki obciążano dotąd, aż dla trzech kolejnych serii tej samej wartości siły odpowiadały wskazania miernika różniące się nie więcej niż o 1 działkę (czyli, gdy różnica przemieszczeń nie była większa od 0,046 μm).

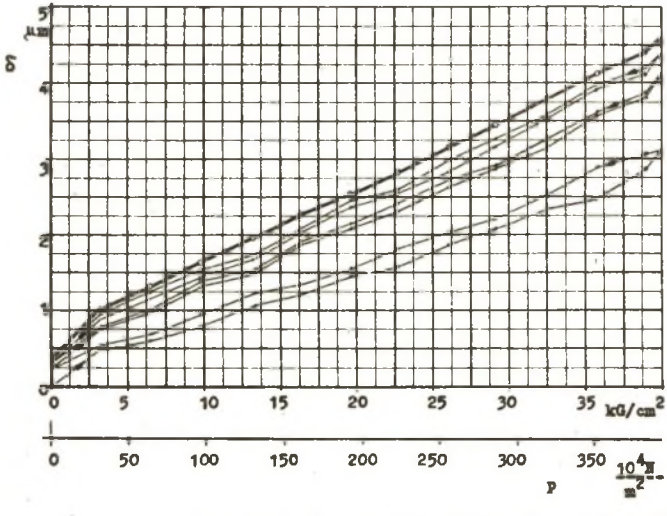


Rys. 3. Przemieszczenie δ w funkcji nacisku jednostkowego p dla próbki I (25 cm^2, bez oleju)

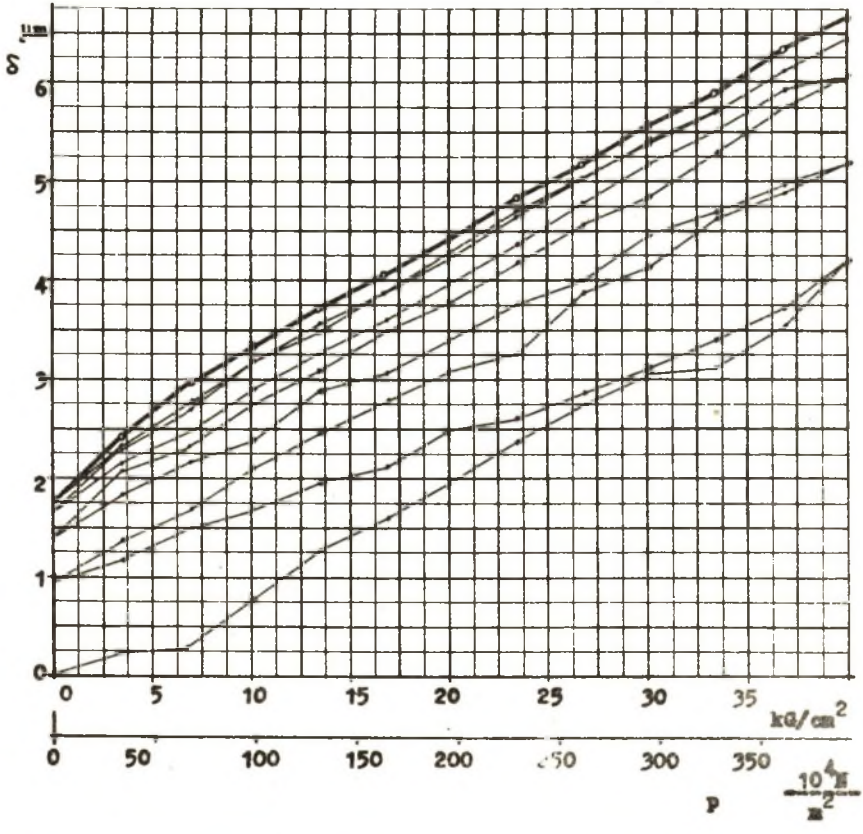
Wyniki pomiarów przedstawiono graficznie na rys. 3-8. Na wykresach tych linią grubą zaznaczano charakterystykę "ustabilizowaną", otrzymaną jako średnią z trzech ostatnich pomiarów. Cienką linią połączono punkty otrzymane przy pierwszym i następnych obciążeniach próbek, przy czym dla większej przejrzystości wykresów w niektórych przypadkach pominięto punkty odpowiadające wynikom pomiarów, poprzedzających końcową fazę obciążania.



Rys. 4. Przemieszczenie δ w funkcji nacisku jednostkowego p dla próbki II ($25\ cm^2$, z olejem)



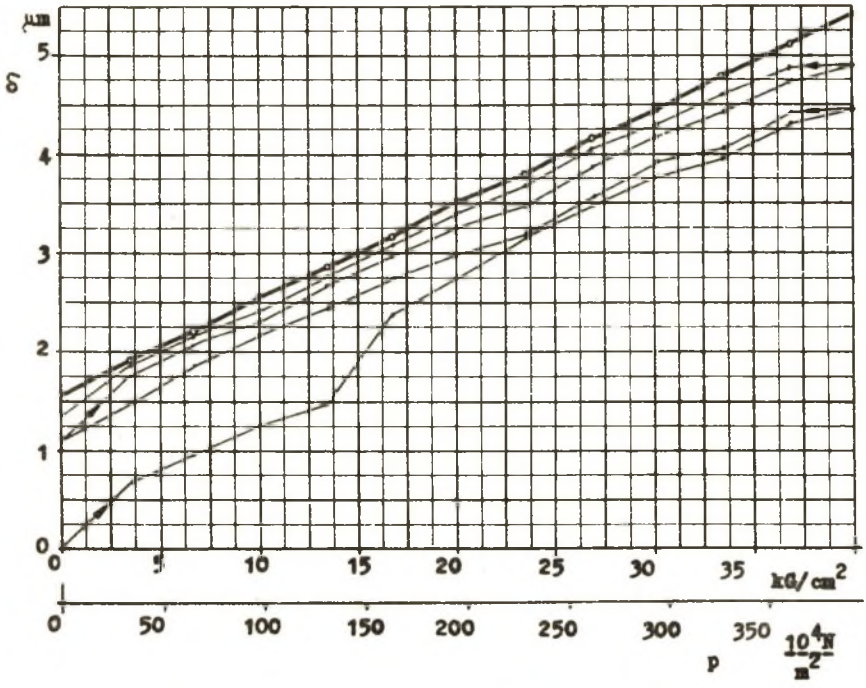
Rys. 5. Przemieszczenie δ w funkcji nacisku jednostkowego p dla próbki II ($25\ cm^2$, bez oleju, po obciążeniu z olejem)



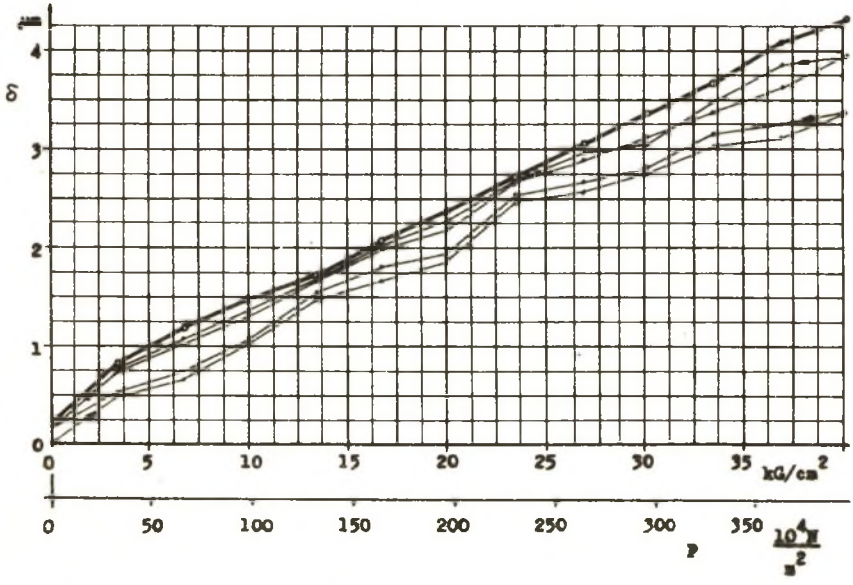
Rys. 6. Przemieszczenie δ w funkcji nacisku jednostkowego p dla próbki III (4,82 cm^2, bez oleju)

Dodatkowo na rys. 9 zestawiono końcowe ("ustabilizowane") charakterystyki sztywności stykowej wszystkich próbek. Każdą charakterystykę przesunięto równolegle w ten sposób, żeby jej początek pokrywał się z początkiem układu współrzędnych. Daje to możliwość lepszego porównania charakterystyk.

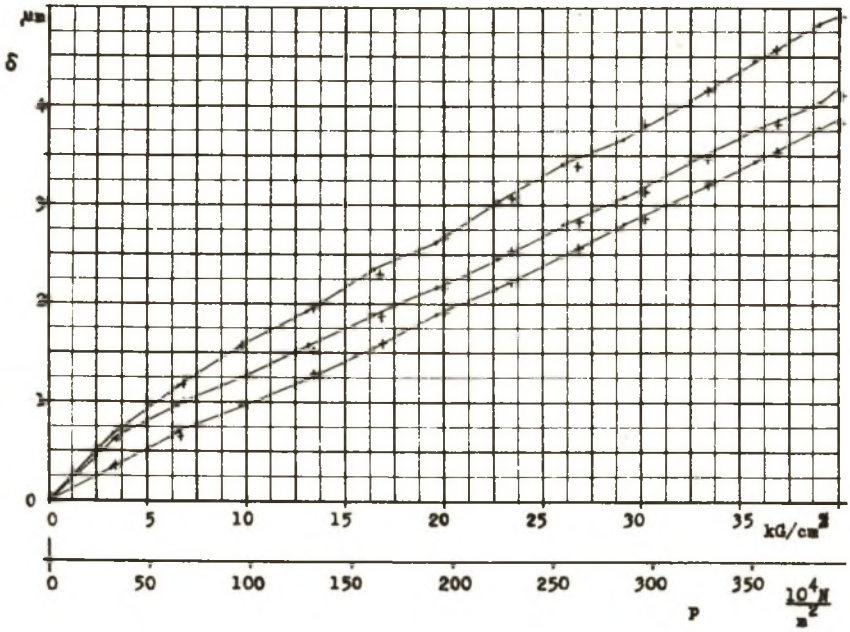
Ponadto badano chropowatość powierzchni styku każdej próbki zarówno przed obciążeniem, jak i po obciążeniu. Sądzono, że po obciążeniu próbki da się zaobserwować zmniejszenie wysokości mikronierówności, wywołane odkształceniem plastycznym. Jednak faktu tego nie udało się jednoznacznie stwierdzić. Być może badania statystyczne wykazałyby słuszność przypuszczenia; ponieważ nie było to zasadniczym celem pracy zrezygnowano z czasochłonnych badań chropowatości.



Rys. 7. Przemieszczenie δ w funkcji nacisku jednostkowego p dla próbki IV (4,82 cm^2, z olejem)



Rys. 8. Przemieszczenie δ w funkcji nacisku jednostkowego p dla próbki IV (4,82 cm^2, bez oleju, po obciążeniu z olejem)



Rys. 9. Zestawienie "ustabilizowanych" charakterystyk sztywności stykowej - próbki I i II, + - próbki III i IV

5. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów można wyciągnąć następujące wnioski:

- Charakterystyka sztywności stykowej nie zależy od wielkości powierzchni styku. Wniosek taki odnosi się do charakterystyk końcowych ("ustabilizowanych"). Zaznaczyć należy, że badane powierzchnie nie były obarczone błędem kształtu.
- Jeżeli między stykającymi się powierzchniami nie ma środka smarującego, to charakterystyka sztywności stykowej nie jest liniowa i może być opisana funkcją potęgową. Być może słuszne też jest stwierdzenie, że dla powierzchni prowadnic obrabiarek (szlifowanych lub skrobanych) odchylenie tej charakterystyki od liniowości jest nieznaczne i może być pominięte. Stwierdzenie to nie ma jednak większego znaczenia, ponieważ
- Charakterystyka sztywności stykowej powierzchni, między które wprowadzono środek smarujący jest liniowa. Zatem przyjęcie w rozważaniach teoretycznych liniowej charakterystyki sztywności stykowej nie jest wyłącznie

uproszczeniem zapisu matematycznego, ale jest obrazem rzeczywistości (prowadnice zawsze są smarowane). Liniowa charakterystyka sztywności stykowej "na mokro" pozwala przy tym przypuszczać, że publikowane prace relacjonują wyniki pomiarów "na sucho".

- Wprowadzenie środka smarującego usztywnia styki. Przypuszczać należy, że powodem tego zjawiska jest znacznie większa objętość zgniatanego oleju (smaru) od ściskanej objętości żeliwa.
- Po przemyciu powierzchni i ponownym obciążeniu próbek charakterystyka sztywności stykowej jest nieliniowa, ale nie pokrywa się z charakterystyką styków "na sucho. Fakt ten można, jak się wydaje, wytłumaczyć dwojako:
  - albo, pomimo przemycia powierzchni, na powierzchni metalu pozostała warstewka smaru wygładzająca powierzchnię, przez co zwiększyła się rzeczywista powierzchnia styku w stosunku do powierzchni przy pracy "na sucho",
  - albo ściskanie oleju i wywołane tym ciśnienie na całej powierzchni spowodowało umocnienie warstw powierzchniowych.

  Każda z tych przyczyn może wyjaśniać fakt, że charakterystyka, o której mowa, jest charakterystyką pośrednią pomiędzy wykresami otrzymanymi przy obciążaniu "na sucho" i "na mokro". Najprawdopodobniej obie te przyczyny zachodzą jednocześnie.
- Wykresy przemieszczeń sporządzone dla kolejnych obciążeń zmierzają stopniowo do charakterystyki "ustabilizowanej" (według Nowickiego [4] drugie i następne obciążenia przebiegają wzdłuż tej samej krzywej). Stosunkowo duża liczba obciążeń, nie dających jeszcze charakterystyki końcowej tłumaczy się częściowo dużą czułością użytego przyrządu. Jednak główna przyczyna tkwi prawdopodobnie w fizycznej naturze zjawiska. Naciski rzędu 40 kG/cm^2 są zbyt małe, aby przy pierwszym obciążeniu możliwe było wyciśnięcie warstewki smaru lub powietrza spomiędzy powierzchni styku. Podobnie nie wszystkie pojedyncze mikronierówności, przewyższające średnią wysokość szczytów zostają zniszczone podczas pierwszego obciążenia. Oba te procesy następują stopniowo, aż do "ustabilizowania" się charakterystyki. Ostatecznie objętość powietrza lub smaru, objętość ściskanego żeliwa i rzeczywista powierzchnia styku tworzą układ równowagi. Ponieważ charakterystyka "ustabilizowana" nie wykazuje histerezy należy przypuszczać, że układ ten jest układem (liniowo lub nieliniowo) sprężystym.
- Z punktu widzenia potrzeb konstruktora prowadnic i użytkownika obrabiarki celowe są jedynie badania sztywności stykowej w warunkach, gdy między powierzchnie styku wprowadzony jest środek smarujący. Chropowatość powierzchni powinna odpowiadać sposobom obróbki, stosowanym do wykańczania powierzchni roboczych prowadnic.

- Niezależność charakterystyki sztywności stykowej od wielkości powierzchni styku potwierdza słuszność przyjęcia modelu o dostatecznie dużej sztywności postaciowej. Na podobnym modelu można zatem przeprowadzić również badania dynamicznej charakterystyki sztywności stykowej. Celowe byłyby także badania, zarówno statyczne jak i dynamiczne, połączone z równoczesnym wprowadzeniem między powierzchnie styku oleju pod ciśnieniem.

LITERATURA

[1] Detali i mechanizmy metałłoreżuśčich stankow, red. D.N. Rešetow, t.1 Mašinostrojenieje, Moskwa, 1972.
[2] Lewina Z.M. - Stanki i instrument, 36, 1, 1965, 7.
[3] Lewina Z.M., Rešetow D.N. - Westnik mašinostrojenika, 45, 12, 1965, 16.
[4] Nowicki B. - Przegląd Mechaniczny, 25, 1966, 363.
[5] Ostrowskij W.I. - Stanki i instrument, 36, 1, 1965, 14.
[6] Ryžow E.W. - Osnowy rasčeta stykowych powerchnostej detalej mašin na kontaktnuju žestkost, Mašgiz, Moskwa, 1962.
[7] Wrotny L.T. - Podstawy budowy obrabiarek, WNT, Warszawa, 1973.
[8] Brzozowski W. - Praca doktorska, Pol. Śl., Gliwice, 1973.

НАЧАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ НЕКОТОРЫХ ПАРАМЕТРОВ НА КОНТАКТНУЮ ЖЕСТКОСТЬ СТЫКОВ НАПРАВЛЯЮЩИХ СТАНКОВ

Р е з ю м е

Представлено результаты исследований контактной жесткости направляющих выполненных на моделах достаточно жестких. Целю экспериментов было потверждение, влияет ли размер площади контакта моделей и наличие смазочкого средства на контактную жесткость.

PRELIMINARY RESEARCH OF INFLUENCE SOME FACTORS
ON THE STIFFNESS OF CONTACT OF SLIDEWAYS IN MACHINE TOOLS

S u m m a r y

Result of researches stiffness execut on the models are given. Perhaps dimensions of surface of contact and grease influences on the stiffness of contact.