

Josephlinum.

10/VII-23.

WYDAWNICTWA NAUKOWE
KOMISJI WYDAWNICZEJ

TOWARZYSTWA BRATNIEJ POMOCY STUDENTÓW POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ.

WYDAJNOŚĆ

obrabiarek i narzędzi do metali

i wyznaczanie czasu obróbki.

Inż. JAN PIOTROWSKI.

WARSZAWA

Drukarnia i Litografia „Saturn”, Marszałkowska 91.

1922
Książnica Polska

Warszawa

Nowy-Swiat 59.

1.2.2523



C. 5862



nr. 275

BG03P/150-42

W nowoczesnym warsztacie mechanicznym najdonioślejszem, a zarazem najtrudniejszym zadaniem jest całkowite wyzyskanie wydajności obrabiarek i narzędzi. Kierownik warsztatu, a nawet każdy więcej wykwalifikowany jego pracownik winien posiadać pewne teoretyczne wiadomości o obróbce, umieć zbadać wydajność każdej z zatrudnionych obrabiarek i każdego używanego gatunku narzędzi, móc z góry przewidzieć i wskazać robotnikowi najdogodniejsze dopuszczalne dla danej obrabiarki i danego narzędzia prędkości skrawania, przekroje wiórów i posuwu, określać z góry czas, niezbędny do wykonania danej obróbki na podstawie ułatwiających pracę wzorów, tablic, wykresów i t. p. Praca niniejsza ma na celu ułatwienie tego zadania pracownikom warsztatu, instruktorom, biurom warsztatowym i kalkulacyjnym, zestawiając możliwie wszystkie dające się zastosować w praktyce wyniki prac teoretycznych, dotyczących skrawania, i wskazując najdostępniejsze sposoby rozwiązywania wszystkich wyżej wskazanych zadań.

Wydajność obrabiarek i narzędzi do metali i wyznaczanie czasu obróbki.

W pracy niniejszej zostały uwzględnione przede wszystkim nowsze zdobycze techniki obróbki metali, datujące się od 1900 roku, kiedy to na wystawie wszechświatowej w Paryżu amerykańanie Taylor i White zademonstrowali wynalezioną przez siebie stal t. zw. szybko tnącą.

Narzędzia, wykonane ze stali szybko tnącej, umożliwiły skrawanie bardzo dużych wiórów z dużą prędkością, co wywołało wzrost zainteresowania badaniami nad skrawaniem metali i jednocześnie doprowadziło do radykalnej przebudowy obrabiarek w kierunku przystosowania ich do wyzyskania własności nowej stali narzędziowej, sprowadzając przez to olbrzymi przewrót w dziale obróbki metali.

Ponieważ w dalszym ciągu broszury często będzie mowa o stali narzędziowej, zmuszony jestem na wstępie przytoczyć przybliżoną jej klasyfikację, stosowaną w przemyśle.

Klasyfikacja stali narzędziowej.

1. **Stal narzędziowa węglista (zwyczajna)** o zawartości węgla od 0,75% do 1,5% z małą domieszką manganu i krzemu. Hartowanie narzędzi z tej stali uskutecznia się drogą nagrzania jej do 735—845° C. i szybkiego ostudzenia; odpuszczanie zaś — przez nagrzanie do 200—315° C. i powolne ochłodzenie.

2. **Stal narzędziowa specjalna** (Special-Stahl, acier special). Do tego rodzaju stali zaliczają cały szereg stopów stali z innymi metalami. Domieszki rozmaitych metali w tej lub innej ilości nadają stali różne właściwości, zależnie od rodzaju pracy, do której narzędzie ma być użyte. Niżej przytoczone gatunki są poniekąd odmianami tego rodzaju stali.

a) *Stal narzędziowa samohartująca się.* W skład jej wchodzi: mangan, chrom i wolfram. Charakterystyczną cechą tej stali jest zdolność nabierania znacznej twardości po nagrzaniu i powolnem ochłodzeniu jej bez właściwego

hartowania. Dopuszczalna prędkość skrawania wiórów jest dla niej wyższa, niż dla zwyczajnej stali narzędziowej.

b) *Stal narzędziowa szybko tnąca zwyczajna* (gatunki początkowe) — z dużą domieszką wolframu i chromu. Charakterystyczną cechą tej stali jest zdolność zachowania twardości w stanie rozpalonym prawie do czerwoności. Ta jej właściwość pozwala stosować duże prędkości skrawania, powodujące rozpalanie się noża i wiórów niemal do czerwoności. Stal ta nadaje się jednak tylko do obróbki miękkich gatunków stali i żelaza. Sposób jej hartowania podają sami wynalazcy-amerykanie Taylor i White; sposób ten znany jest pod nazwą procesu Taylor-White'a. Nagrzewanie narzędzia do bardzo wysokiej temperatury, prawie do granicy topliwości stali; rozdział tak nagrzewania, jak i ochładzania na dwa następujące po sobie okresy, a mianowicie: okres powolnego i okres szybkiego nagrzewania, względnie studzenia, wreszcie powtórne podgrzanie po zahartowaniu, stanowią cechy charakterystyczne tego procesu.

Zgodnie z powyższem proces hartowania Taylor-White'a przedstawia się w sposób następujący:

- 1) powolne nagrzanie do koloru wiśniowego,
 - 2) szybkie nagrzanie do temperatury 1200° C.,
 - 3) szybkie ochłodzenie do 850° — 625° C.,
 - 4) powolne ochłodzenie w powietrzu do temperatury środowiska,
- następnie
- 5) podgrzanie do 670° C. i
 - 6) szybkie lub powolne ochłodzenie w powietrzu.

c) *Stal narzędziowa szybko tnąca najnowsza* (wanadowa) zawiera obok 20% wolframu około 0,3% wanadu. Wynalezienie tej stali stanowiło krok naprzód w porównaniu do stali szybko tnącej zwyczajnej. Stal szybko tnąca najnowsza posiada wszystkie zalety poprzednich gatunków stali: nadaje się do toczenia najtwardszych, jak również i miękkich metali, hartuje się znacznie łatwiej, niż szybko tnąca zwyczajna, ponieważ nie wymaga powtórnego podgrzewania. Pod względem wydajności narzędzi stal ta przewyższa znacznie wszystkie inne gatunki.

Wydajność narzędzia, wykonanego ze stali węglistej, samohartującej się, szybko tnącej zwyczajnej i szybko tnącej najnowszej będzie różna i mianowicie w stosunku 5 : 8 : 18 : 30.

Podana powyżej klasyfikacja gatunków stali narzędziowej nie jest ani dokładna, ani wystarczająca. Każda z fabryk stali posiada swoją odrębną klasyfikację i dużo odmian stali. Na przykład: Fr. W. Taylor w doświadczeniach swoich naliczył i uszeregował podług stopni wydajności 89 rozmaitych gatunków stali narzędziowej.

Dla scharakteryzowania wzrostu wydajności pracy przy skrawaniu wiórów naskutek zastosowania wysokich gatunków stali szybko tnącej dość nad-

mienić, że obecnie w praktyce warsztatowej jest już zjawiskiem normalnem zdjęcie jednym nożem w ciągu godziny 150 *kg.* wiórów twardej stali o wytrzymałości około 70 *kg./mm²*, przy zużyciu mocy około 20 koni mechanicznych. Możliwość osiągania tak dużej wydajności, pociągająca za sobą poważne zużycie energii i konieczność stosowania odpowiednio silnych obrabiarek, zmusiła właśnie techników do poważnego naukowego zbadania zjawiska skrawania wiórów i sformułowania wyników badań w sposób, umożliwiający ich stosowanie w praktyce warsztatowej.

I. DOŚWIADCZENIA NAD SKRAWANIEM METALI I WYDAJNOŚĆ NARZĘDZI.

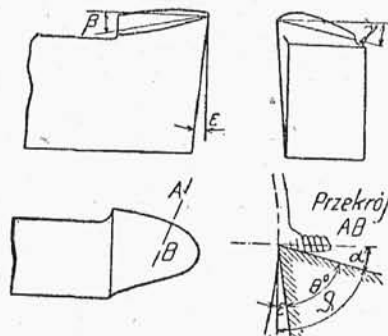
A. Doświadczenia nad skrawaniem metali przy toczeniu.

Cały szereg badaczy prowadził doświadczenia nad skrawaniem metali przy toczeniu. Przytaczam przede wszystkim wyniki epokowych prac inżyniera Fred. W. Taylor'a, podane w dziele jego p.t. „On the art of cutting metals” (O skrawaniu metali), — ponieważ obejmują one wszystkie czynniki, mające wpływ na skrawanie, i zawierają wzory ściśle, dostępne do użytku praktycznego.

Pragnąc dać czytelnikowi pojęcie o szerokim zakresie prac Fred. W. Taylor'a, zaznaczam, że wykonał on w przeciągu 26 lat do 50000 doświadczeń, zużywwszy przytem do 400.000 *kg.* wiórów. Należy zauważyć, że doświadczenia Taylor'a dotyczą przede wszystkim skrawania wiórów w tych wypadkach, kiedy chodzi o usunięcie jak największej ilości materiału bez względu na czystość i dokładność obróbki, t. j. dotyczą t. zw. **ździerania** (śrutowania).

Nóż Taylor'a. Większość wzorów Taylor'a dotyczy pomyślanego przez niego i wprowadzonego w praktyce podległych jego kierownictwu warsztatów noża, normalnego do ździerania, rys 1; trzon tego noża posiada przekrój prostokątny o stosunku szerokości do wysokości 2:3; krawędź tnąca noża jest zaokrąglona, odgięta w bok i podniesiona do góry.

Nóż ten, zdaniem Taylor'a posiada następujące zalety: łatwość nadania mu przez szlifowanie rozmaitych kątów skrawania, możliwość wielokrotnego ostrzenia bez zmniejszenia przekroju trzonka i więk-



Rys. 1.

szą odporność na spalanie się dzięki zaokrąglonej krawędzi tnącej. Pomimo tych zalet nóż Taylor'a nie znalazł zastosowania powszechnego w Ameryce, a w Europie wcale nie został wprowadzony. Fakt ten tłumaczy się nietyle skomplikowanym sposobem odkuwania i ostrzenia tego noża, ile przede wszystkim względami oszczędnościowymi, polegającymi na wprowadzeniu noży o trzonach ze zwykłej stali zlewnej z napawaniem cienkimi płytkami ze stali narzędziowej, dla których to płytek kształt noża Taylor'a nie jest odpowiedni.

W załączonej tablicy wskazane są kąty zaostrenia noży, polecane przez Taylor'a; kąty te mogą być stosowane nietylko do normalnego noża Taylor'a, ale również i do noży o innych kształtach. Jak widać z tablicy poniższej, kąt rzeźowy jest wynikiem bocznego i tylnego kątów szlifowania i kąta odsadzenia pięty noża.

| Przy toczeniu | Kąt rzeźowy θ | Kąt odsadzenia pięty noża ϵ | Tylny kąt szlifowania β | Boczny kąt szlifow. γ | Kąt skrawania $= \theta + \epsilon$ |
|---|-----------------------|--------------------------------------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------------|
| Żeliwa i twardej stali (o wytrzymałości na ciągnięcie 45 kg/mm^2 i przy zawartości $C > 0,45\%$) | 68° | 6° | 8° | 14° | 74° |
| Żeliwa utwardzonego | $86^\circ - 90^\circ$ | — | — | — | — |
| Stali twardej, ciągliwej | 74° | 6° | 5° | 9° | 80° |
| Stali miękkiej ($C < 0,45\%$; $\sigma_0 < 45 \text{ kg/mm}^2$) . . | 61° | 6° | 8° | 22° | 67° |
| Stali bardzo miękkiej (około $0,1 - 0,15\%$ C) $\sigma_0 \approx 34 \text{ kg/mm}^2$ | mniej niż 61° | 6° | 12° | 18° | mniej niż 67° |

Metoda doświadczeń Taylor'a. Za przedmiot swoich doświadczeń wziął Taylor, wbrew swoim poprzednikom, przede wszystkim dopuszczalną **prędkość** skrawania wióra, a nie siłę, potrzebną na skrawanie, uważając czas za rzecz cenniejszą, niż energia mechaniczna, i mając na myśli w pierwszym rzędzie intensywność obróbki w warsztacie, a nie potrzeby konstruktorów obrabiarek, którym potrzebna jest przede wszystkim znajomość sił skrawania. Metoda doświadczeń nad dopuszczalną prędkością skrawania wiórów, przyjęta przez niego, uderza swoją sećsnością, obrazowością i praktycznością.

Używając do doświadczeń głównie narzędzi ze stali szybko tnącej, Taylor skorzystał z jej właściwości prawie natychmiastowego spalania się po upływie pewnego czasu pracy bez poprzedniego tępienia się krawędzi tnącej lub jakichkolwiek innych śladów zużycia. Przy pewnych ściśle jednakowych warunkach skrawania, używając całego szeregu noży, wykonanych z tego samego materiału, tej samej wielkości i kształtu, Taylor stosował do każdego noża inną prędkość skrawania i notował czas nieprzerwanej pracy noża, po upływie którego jego krawędź tnąca ulegała natychmiastowemu zniszczeniu. Prędkość skrawania, przy której nóż się zużywa po 20 minutach toczenia,

przyjmował on za prędkość, charakteryzującą dane warunki skrawania, t. j. dany zespół czynników, wpływających na prędkość zużycia noża. Prędkość tę nazwał **prędkością typową** dla danych warunków.

Zmieniając następnie jeden z czynników, wpływających na skrawanie, dla każdej nowej jego wartości znajdował nową prędkość „typową”. Opierając się na otrzymanych tą drogą „typowych” prędkościach, Taylor formułował prawo, określające zależność dopuszczalnej prędkości skrawania od danego czynnika, przedstawiał je w postaci funkcji logarytmicznej i wykresu logarytmicznego *). Otrzymane przez Taylor’a wzory są tak ze sobą powiązane, że określwszy zapomocą doświadczenia dla danego gatunku stali narzędziowej jedną tylko „typową” prędkość przy danych warunkach skrawania, można na podstawie tych wzorów za pomocą obliczenia określić prędkości „typowe” dla danego gatunku stali przy wszelkich innych możliwych warunkach skrawania.

Czynniki, wpływające na prędkość skrawania noży tokarskich i strugarskich. Taylor zbadał wpływ następujących czynników na dopuszczalną prędkość skrawania noży tokarskich i strugarskich: materiał noża, materiał obrabiany, zaostrenie noża, wymiary trzonka noża, drgania obrabiarki, chłodzenie noża przy pracy, przekrój wióra, czas skrawania, rodzaj noża.

a) **Materiał noża.** Gatunek stali narzędziowej Taylor określa „typową prędkością” skrawania przy zachowaniu następujących głównych warunków doświadczenia: szerokość trzonka noża $\frac{1}{8}$ ", krawędź tnąca normalna typu Taylor’a, przekrój wióra $4,8 \times 1,6 \text{ mm}^2$, materiał obrabiany — stal zlewna średniej twardości. Podług tych „typowych” prędkości skrawania uszeregował Taylor wszystkie zbadane przez siebie gatunki stali narzędziowej w ilości ogólnej 89, oznaczając przez Nr. 1 gatunek o największej „typowej” prędkości. Prędkość typowa, właściwa stali Nr. 1, wynosi 30 metrów na minutę. Stosunek prędkości „typowej” najniższego gatunku do najwyższego stanowi 1 : 7. Przeciętne „typowe” prędkości, odpowiadające stali narzędziowej zwyczajnej (węgliastej), samohartującej się, szybko tnącej zwyczajnej i szybko tnącej najnowszej mają się do siebie jak 5 : 8 : 18 : 30, jak o tem już wspominałem. Tablicy gatunków stali, ułożonej przez Taylor’a, nie przytaczam, ponieważ ma ona tylko miejscowe znaczenie, każdy zaś warsztat mechaniczny z łatwością może sam stworzyć sobie własną tablicę prędkości „typowych” dla kilku używanych w nim stale gatunków stali narzędziowej.

b) **Materiał obrabiany.** Wpływ gatunku materiału obrabianego na prędkość skrawania wyraża się stosunkiem 1 : 100 przy obróbce samej tylko stali rozmaitych stopni twardości i wytrzymałości, od cokolwiek zahartowanej aż do bardzo miękkiej.

*) H. Mierzejewski. Doświadczenia F. W. Taylor’a nad toczaniem żelaza i stali. Przegląd Techniczny 1912 r. str. 185

Niżej podany wzór Taylor'a określa „typową” prędkość skrawania stali przy użyciu noża ze stali narzędziowej № 1 (szybkotnąca najnowsza) w zależności od wytrzymałości i ciągliwości obrabianego materiału.

$$V = \frac{38 \left[1 - \frac{215}{(15 + \delta)^2} \right]}{\sqrt{\frac{K \cdot 14,2}{10000} - 3 - 0,9}} \text{ m/min.}$$

przyczem K oznacza wytrzymałość w kg/cm^2 , a δ wydłużenie w $\%$.

Obliczona na podstawie tego wzoru i sprawdzona w praktyce prędkość „typowa” dla noży ze stali № 1 przy skrawaniu:

| | | |
|-----------------------|--|----------------------------------|
| stali twardej | o $K = 8300 \text{ kg/cm}^2$ i $\delta = 14\%$ | wynosi $V = 13,5 \text{ m/min.}$ |
| stali średniej tward. | o $K = 5100$ „ i $\delta = 30\%$ | „ $V = 30$ „ |
| stali miękkiej | o $K = 3950$ „ i $\delta = 35\%$ | „ $V = 35$ „ |

Dla żeliwa, posiadającego własności mechaniczne dość różnorodne, nie dało się ująć we wzór zależności „typowej” prędkości skrawania od mechanicznych właściwości obrabianego materiału. W przybliżeniu doświadczenia wykazały, że dla żeliwa twardego $V = 10,5 \text{ m/min.}$

| | | | | | |
|---|---|--------------------|-----------|----------|---|
| „ | „ | średniej twardości | | $V = 20$ | „ |
| „ | „ | miękkiego | | $V = 40$ | „ |

Ciekawe jest tłumaczenie przez Taylor'a faktu, że pomimo znacznie mniejszej wytrzymałości żeliwa jego „typowa” prędkość skrawania jest niższą, niż „typowa” prędkość skrawania stali, jak to widać z powyższych przykładów. Twierdzi on, że wskutek małej ciągliwości żeliwa, wióry kruszą się prawie bezpośrednio po skrawaniu, a nie zwijają się, jak u stali. Stąd przy skrawaniu żeliwa cały nacisk wiórów na nóż ześrodkowuje się bliżej krawędzi tnącej i na stosunkowo małej powierzchni, co powoduje szybsze spalanie się krawędzi, niż przy toczeniu stali, gdzie wiór się zwija i dotyka noża na znacznej odległości od krawędzi w miejscu, gdzie grubość noża jest większa i dzięki temu lepsze odprowadzanie ciepła.

c) **Zaostrzenie noża.** Wpływu kątów zaostrzenia noża na „typową” prędkość skrawania, pomimo znacznej ilości dokonanych doświadczeń, Taylor nie określił wzorem matematycznym. Wskazał tylko najwygodniejsze ze względu na rozmaite czynniki kąty zaostrzenia, które podane są wyżej na str. 8.

d) **Wymiary trzonka noża.** Wymiary te wpływają na „typową” prędkość skrawania w ten sposób, że jest ona większa dla dużych noży, niż dla małych. Z ułożonych przez Taylor'a tablic praktycznych prędkości skrawania dla noży o szerokościach trzonków $\frac{1}{2}''$, $\frac{5}{8}''$, $\frac{3}{4}''$, $\frac{7}{8}''$, $1''$ i $1\frac{1}{4}''$ widać, że prędkość skrawania wzrasta wraz z wymiarami noża tak, że stosunek

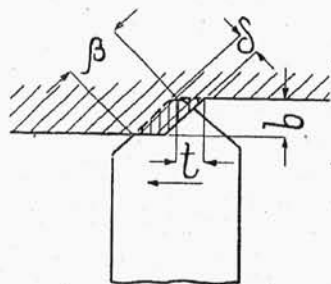
„typowych“ prędkości skrawania przy użyciu noży o szerokości trzonka $\frac{1}{2}$ " i $1\frac{1}{4}$ " stanowi 7 : 8.

e) **Drgania obrabiarki, towarzyszące skrawaniu wióra**, jak to stwierdził Taylor, wpływają ujemnie na prędkość skrawania, przyczem stosunek prędkości skrawania przy spokojnym biegu maszyny do prędkości skrawania przy pracy, której towarzyszą wyraźne miarowe drgania, wynosi 1,15 : 1.

f) **Ochładzanie noża wodą**. Ochładzanie noża wpływa bardzo dodatnio na prędkość toczenia przy skrawaniu stali, przy skrawaniu zaś żeliwa — w mniejszym stopniu. Przez obfite polewanie noża możemy przy skrawaniu stali zyskać na prędkości 40 %, a dla żeliwa — 16 %.

Jako przykład wystarczającego polewania noża wodą podaje Taylor zużycie 12 litrów wody na minutę dla noży o szerokości trzonka 2" do $2\frac{1}{2}$ ".

g) **Przekrój wióra**. Taylor zbadał oddzielnie wpływ szerokości i grubości wióra na „typową“ prędkość skrawania. W tym celu zmieniał stopniowo szerokość wióra przy jednakowej jego grubości, a następnie zmieniał grubość wióra przy stałej jego szerokości. Dla łatwiejszego zobrazowania tego wpływu był użyty nóż o prostolinijnej krawędzi tnącej (rys. 2).



Rys. 2.

δ — grubość wióra,

β — szerokość wióra,

t — posuw noża,

b — głębokość skrawania.

Wynikiem doświadczeń były następujące wzory, wskazujące zależność „typowej“ prędkości skrawania od szerokości i grubości wióra:

Wpływ grubości wióra:

„Typowa“ prędkość $V = \frac{C_1}{\delta^{2/3}}$ dla stali średniej twardości

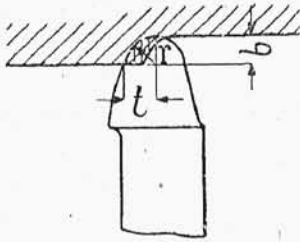
„ „ „ $V = \frac{C_2}{\delta^{9/16}}$ „ „ twardej.

Wpływ szerokości wióra:

$$V = \frac{C_3}{\beta^{7/32}}$$

W powyższych wzorach C_1 , C_2 i C_3 są wielkościami stałymi. Jak widzimy z powyższych wzorów, prędkość „typowa“ zmniejsza się wraz z powiększeniem szerokości i grubości wióra, grubość jednak wióra δ w większym stopniu wpływa na zmianę prędkości skrawania, niż szerokość β .

Dla noża zaokrąglonego typu Taylor'a otrzymał on poniższy wzór na „typową“ prędkość skrawania; we wzorze tym V stanowi funkcję posuwu



Rys. 3.

Dla stali $V =$

$$= \frac{C \left(1 - \frac{0,72}{r^2} \right)}{(0,0394 \ t)^{0,4} + \frac{2,12}{5 + 1,26 \ r} \left(\frac{1,5}{r} \ b \right)^{0,13} + 0,0675 \sqrt{r} + \frac{r}{7,35 \ r + 1,88 \ b}}$$

Dla żeliwa mamy wzór podobny do powyższego. Wzory te są zbyt skomplikowane, żeby je można było stosować w praktyce, to też Taylor ułożył na podstawie powyższego wzoru tablicę prędkości skrawania oddzielnie dla każdej wielkości noża i rodzaju obrabianego materiału. Tablice te można wprost stosować w praktyce. Wróćmy do nich jeszcze.

h) **Zależność prędkości skrawania od czasu trwania toczenia aż do zużycia krawędzi tnącej noża** wyrażona została przez wzór

$$V = \frac{C}{T^{1/8}}$$

gdzie V — prędkość skrawania, C — stała zależna od danych warunków skrawania, T — czas trwania skrawania aż do zużycia krawędzi tnącej noża.

Wzór ten może być wyrażony inaczej:

$$\frac{V_1}{V_2} = \sqrt[8]{\frac{T_2}{T_1}}, \text{ czyli}$$

prędkości skrawania są odwrotnie proporcjonalne do pierwiastków ósmego stopnia z czasu tawania skrawania, po którym następuje zużycie krawędzi tnącej noża.

Wzór powyższy jest niezmiernie ważny dla praktyki. Wskazuje on, w jakim stosunku do prędkości „typowej“ t. j. takiej, przy której nóż się spala po 20 minutach skrawania, ma być wybrana praktyczna prędkość toczenia, odpowiadająca żadanemu okresowi czasu trwania nieprzerwanej pracy noża, czyli żadanemu okresowi czasu między jednym i drugim ostrzeniem noża. Ze wzoru tego wynika np., że przy prędkości skrawania o 20% mniejszej, niż prędkość „typowa“, nóż może pracować bez ostrzenia $1\frac{1}{2}$ godziny.

Prędkość skrawania, przy której nóż się zużywa po upływie $1\frac{1}{2}$ -godzinnej nieprzerwanej pracy, uważa Taylor za najbardziej ekonomiczną przy

właściwej organizacji ostrzenia noży, o ile chodzi tylko o zdzieranie, czyli toczenie zgruba. Swoje twierdzenie uzasadnia on dokładną kalkulacją kosztów ostrzenia noży, zużycia stali narzędziowej i t. d. Prędkości tej daje on nazwę „praktycznej”. Można ją obliczyć w zależności od rozmaitych czynników podług wzorów wyżej podanych. Ze względu jednak na zbyt skomplikowany rachunek, którego nie sposób w praktyce stosować, Taylor sam obliczył i doświadczalnie sprawdził tablice „praktycznych” prędkości dla żdzieraków (noży do żdzierania, śrutowania) ze stali szybko tnącej najnowszej, oznaczonej w klasyfikacji Taylor’a № 1; uwzględnił przytem wszystkie używane wielkości trzonka od $\frac{1}{2}$ " do $1\frac{1}{4}$ " szerokości, a jako materiał obrabiany — stal zlewną miękką, średniej twardości i twardą, jak również żeliwo trzech stopni twardości. Prędkości skrawania podane są w tych tablicach w zależności od rozmaitych głębokości skrawania i posuwów. W końcu broszury czytelnik znajdzie tablice, jak również bardziej wygodne w użyciu wykresy „praktycznych” prędkości skrawania dla noży o szerokości trzonka $1\frac{1}{4}$ ". Dla innych wymiarów noży „praktyczne” prędkości skrawania można łatwo obliczyć, biorąc je w odpowiednim stosunku do szerokości trzonka.

Należy pamiętać, że przyjęty przez Taylor’a czas trwania nieprzerwanej pracy noża $1\frac{1}{2}$ godziny jest ekonomiczny dla pewnych tylko warunków pracy; każdy warsztat w zależności od miejscowych warunków i rodzaju robót może uważać inny czas pracy noży za ekonomiczny i odpowiednie „praktyczne” prędkości może otrzymać z powyższych, stosując wzór

$$\frac{V_1}{V_2} = \sqrt[8]{\frac{T_2}{T_1}}.$$

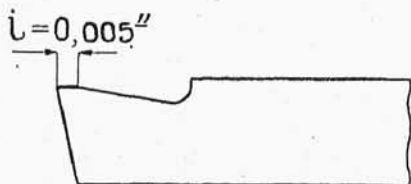
Pamiętać również trzeba, że tablice Taylor’a są ułożone dla jego stali № 1, t. j. takiej, której „typowa” prędkość jest 30 m/min. przy skrawaniu stali średniej twardości. Dla narzędzi ze stali o innej prędkości „typowej” prędkości „praktyczne” ulegają zmianie w odpowiednim stosunku.

i) **Rodzaj noża.** Chociaż pobieżnie, ustalił jednak Taylor prędkości skrawania i dla noży, nieprzeznaczonych do żdzierania (śrutowania). Podaje on mianowicie, że prędkość „praktyczna” **przecinaka** (noża do przecinania) jest 2,7 razy mniejsza, niż „praktyczna” prędkość skrawania żdzieraka o szerokości trzonka $\frac{7}{8}$ ", wskazana w tablicach Taylor’a dla głębokości skrawania 4,8 mm i dla posuwu, równego żądanemu posuwowi przecinaka.

Prędkość „praktyczna” **noży do nacinania gwintu** jest 4 razy mniejsza w stosunku do żdzieraka.

Niewiele znajdziemy u Taylor’a wiadomości o pracy noży ze stali **narzędziowej zwyczajnej, węglistej**. Zachowanie się tej ostatniej przy skrawaniu posiada tę właściwość, że krawędź tnąca noża nie ulega natychmiastowemu spaleniowi bez uprzedniego stępienia, jak to ma miejsce przy użyciu

stali szybko tnącej, lecz przeciwnie, stopniowo się stępią, dając coraz mniej dokładną powierzchnię obróbki i zużywając coraz więcej energii. Ripper



Rys. 4.

czasie otrzymuje się wymienione stępienie, wyrażają się w funkcji tego czasu, jak następuje:

$$\frac{V_1}{V_2} = \sqrt[5]{\frac{T_2}{T_1}}$$

Wogóle za „praktyczne” prędkości skrawania przy użyciu stali narzędziowej zwyczajnej można uważać prędkości mniejsze od „praktycznych” prędkości toczenia przy użyciu noży ze stali szybko tnącej najnowszej № 1 i mianowicie w stosunku 5 : 30, jak o tem już była mowa wyżej.

Kończąc o skrawaniu wiórów przy żdzieraniu, należy zwrócić uwagę, iż z tablic „praktycznych” prędkości Taylor’a wynika, że największą wydajność danego noża, wyrażoną w objętości wiórów na jednostkę czasu, możemy otrzymać przy skrawaniu wióra o największym możliwym przekroju. Inaczej mówiąc, *ekonomiczniej jest ze względu na nóż zdejmować większy przekrój wióra z mniejszą prędkością, niż odwrotnie.*

Prędkość wykańczania. Prędkość skrawania przy wykańczaniu obrabianej powierzchni na czysto nie była przedmiotem doświadczeń Taylor’a. Robili to inni, np. Poliakow, badając za pomocą mikrofotografii czystość powierzchni wykończonej przy rozmaitych wielkościach posuwu noża i rozmaitych prędkościach skrawania. Otrzymano największą czystość powierzchni przy prędkości około 10 m. na minutę. Wchodzą tu w grę czynniki natury całkowicie miejscowej, jak przeznaczenie wykończonej powierzchni. To też praktyk, pragnący wybrać odpowiednie prędkości skrawania przy wykończeniu, nie ma innej drogi, jak wypróbować, przy jakiej największej prędkości skrawania i jakim posuwie otrzymuje się żadaną gładkość powierzchni dla każdego rodzaju materiału obrabianego, i kierować się otrzymaniami na podstawie tych prób wielkościami. Jako przykład, często spotykany w praktyce, można przytoczyć wykończenie stalowych wałów nożem o zlekka zaokrąglonej krawędzi tnącej przy prędkości toczenia 10 do 12 m. na minutę i przy posuwie 0,2 do 0,3 mm na 1 obrót wrzeciona. Stosują również, osobliwie przy pracy nożami o szerokiej prostej krawędzi tnącej na wytaczarkach i strugarkach, duże posuwu około 10 mm. Wybór sposobu wykańczania

zależy w dużej mierze i od tego, czy po wykończeniu na tokarce, wytaczarce lub strugarce przedmiot ma być jeszcze szlifowany lub frezowany itp.

Opór skrawania przy toczeniu i struganiu. Znajomość sił, zużywanych na skrawanie metali (oporu skrawania), jest potrzebna przede wszystkim konstruktorowi obrabiarek do obliczenia wytrzymałości ich części, niezbędna jest ona jednak i technikowi, korzystającemu z obrabiarek w warsztacie, w celu określenia i wypróbowania ich wydajności.

Cały szereg badaczy, jak Nicolson, Fischer, Codron, Taylor, Ripper i in. zajmowali się tą kwestją i otrzymali rezultaty prawie jednakowe.

Taylor ujął je w następujące wzory:

Dla żeliwa.

Opór właściwy (opór skrawania w stosunku do 1 mm² przekroju wióra)

$$p = \frac{C}{b^{1/15} t^{1/4}} \text{ kg.},$$
 przy czym $C = 88$ do 138 w zależności od wytrzymałości żeliwa, b jest głębokością skrawania w mm i t — posuw noża w mm. Opór całkowity skrawania wióra o przekroju $b t$ mm² wyniesie

$$P = C b^{14/15} t^{3/4} \text{ kg.}$$

lub, odrzucając potęgę $^{14/15}$, otrzymamy

$$P = C b t^{3/4} \text{ kg.}$$

Wogóle opór właściwy p w zależności od wytrzymałości żeliwa i przekroju wióra waha się w granicach od 50 do 140 kg. na 1 mm², a przeciętnie dla żeliwa średniej twardości jest równy:

$$p = 90 \text{ kg/mm}^2.$$

Dla stali.

$$p = \frac{C}{t^{1/15}},$$
 a $P = C b t^{14/15}$, przy czym $C = 100$ do 230 kg. w zależności od wytrzymałości stali. Odrzucając potęgę $^{14/15}$, otrzymamy:

$$P = C b t \text{ kg.}$$

Przeciętnie dla stali średniej twardości bezpieczniejsze jest przyjmować

$$p = 180 \text{ kg/mm}^2.$$

W rzeczywistości zaś dla stali osiowej (o wytrzymałości 50 do 60 kg/mm²) $p = 140$ do 160 kg/mm².

W literaturze technicznej można spotkać prace, mające na celu ustalenie zależności oporu właściwego skrawania od wytrzymałości i ciągliwości skrawanego materiału. Znajdujemy tam jednak sporo rozbieżności i dotychczasowe wyniki tych prac nie są wystarczające dla celów praktycznych.

W bardzo grubym przybliżeniu, ale może wystarczającym dla praktyki

warsztatowej, dają się ująć te wyniki w następujące uproszczone wzory, spotykane w niemieckiej literaturze technicznej:

| | |
|-----------------------|-------------------------|
| dla żeliwa | $p = 5 K \text{ kg.}$ |
| dla stali zlewnej | $p = 3,5 K \text{ kg.}$ |
| dla odlewów stalowych | $p = 2,5 K \text{ kg.}$ |
| dla bronzu | $p = 2 K \text{ kg.}$ |

przyczem K oznacza wytrzymałość danego materiału na ciągnięcie.

Dla **miedzi, mosiądzu, bronzu, glinu** i innych metali brak teoretycznego opracowania praw skrawania dzięki zbyt dużej różnorodności gatunków każdego z nich, jak również i ze względu na mniejsze ich rozpowszechnienie. W zwyczajnej praktyce warsztatowej mamy najczęściej do czynienia ze skrawaniem nieznacznych warstw materiału, który w dodatku jest miękki i daje się skrawać z dużą prędkością, dość, że dokładne ustalenie najwygodniejszej prędkości skrawania i znalezienie siły, potrzebnej dla skrawania, nie odgrywa tu poważnej roli.

B. Zastosowanie omówionych praw skrawania metali przy toczeniu na tokarkach do wytaczarek, strugarek (podłużnych i poprzecznych), dłutownic i gryzarek.

Warunki skrawania metali od wewnątrz, np. na **wytaczarkach**, tem się różnią od warunków skrawania zzewnątrz, że odwijanie się wióra w obu wypadkach jest odmienne. Odwijanie się wióra przy wytaczaniu daje większe ciśnienie na nóż, niż przy toczeniu zzewnątrz. Ciśnienie to jest tem większe, im mniejsza średnica wytaczanego otworu. Dochodzi tu jeszcze inny czynnik, a mianowicie — trudność dania nożowi pracującemu wewnątrz wytaczanego otworu dość mocnej obsady. Trudność ta zwiększa się wraz ze zmniejszaniem się średnicy otworu i powiększaniem jego długości. Stąd naogół szybkość „praktyczna” skrawania przy wytaczaniu jest mniejsza, niż przy toczeniu; jest ona zależna od średnicy otworu toczonego i sposobu umocowania noża.

Warunki skrawania na **strugarkach** (podłużnych i poprzecznych) i **dłutownicach** niczem się nie różnią od warunków skrawania na tokarkach.

Przy pracy **gryzów** wchodzi w grę zbyt wiele ubocznych czynników, które zaciemniają samo zjawisko czystego skrawania; wskutek tego nie posiadamy jeszcze ścisłego sformułowania wpływu tych czynników na prędkość skrawania. Praca gryza różni się od pracy noża tokarskiego większem rozdrobnieniem na wióry skrawanego materiału, brakiem ciągłości pracy każdego z noży gryza, trudnością dostosowania kątów zaostrenia noża do warunków pracy, zmienną grubością wióra zdejmowanego przez tę samą