

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

krawędź tnącą w ciągu każdego okresu jej pracy, trudnością osiągnięcia dostatecznie sztywnego zamocowania gryzów o znacznej długości a małej średnicy, wreszcie trudnością wykonania i kosztownością narzędzia. Biorąc pod uwagę te różnorodne czynniki, można w przybliżeniu rozpatrywać pracę gryza jako jednoczesną pracę kilku noży tokarskich (tytu, ile zębów gryza w danej chwili uczestniczy w skrawaniu), lecz, wprowadzając odpowiednie poprawki, wynikające z wyżej wymienionych odmiennych warunków skrawania. A mianowicie za odpowiednią dla gryzów prędkość skrawania można uważać prędkość o jakieś 50% do 100% wyższą od średnich prędkości toczenia, a to ze względu na to, że każdy ząb gryza pracuje z przerwami i dzięki temu lepiej się ochładza. Natomiast opór skrawania przy gryzowaniu będzie o jakieś 25% do 50% większy, niż przy toczeniu, a to ze względu na mniej odpowiednie kąty skrawania gryza w porównaniu z nożami tokarskimi.

Nie posiadamy dotychczas wyczerpujących doświadczeń nad pracą gryzów. Te jednak dorywcze doświadczenia, które były dokonywane, wskazują, iż posługiwanie się w praktyce wyżej zaznaczoną analogią z pracą noży tokarskich przy uwzględnieniu wyżej podanych współczynników jest zupełnie wystarczające.

Dla orientacji można przytoczyć następujące polecone prędkości obwodowe gryzowania dla gryzów średniej wielkości przy zwyczajnem chłodzeniu; mają one jednak tylko bardzo względne znaczenie. („Zasady obróbki metali” cz. I. H. Mierzejewski).

Tablica prędkości obwodowej gryza w m/min.

Materiał obrabiany	Ż e l i w o				Ż e l a z o k u t e i s t a l							
	Zwykłe		Twarde		30-40 kg/mm ²		50-70 kg/mm ²		80-90 kg/mm ²			
	węgl.	szybk.	węgl.	szybk.	węgl.	szybk.	węgl.	szybk.	węgl.	szybk.	węgl.	szybk.
Żdzieranie wzdłużne	10-16	18-30	8-10	10-16	18-22	24-30	12-18	15-25	6-10	12-18		
„ obwodowe	8-14	15-25	6-8	8-12	16-20	20-26	10-16	14-22	6-10	10-15		
„ zębów	8-12	14-20	4-6	8-10	10-16	16-24	8-14	12-20	4-8	8-12		
Gryzow. na gładko	12-20	24-38	18-12	14-18	20-25	34-45	14-18	24-32	8-12	16-22		
„ gwintów	—	—	—	—	10-15	16-20	6-10	12-18	2-4	6-12		

Posuw gryza zależy od samego gryza, mocy obrabiarki i przekroju warstwy skrawanej. Jest rzeczą oczywistą, że powinien on być każdorazowo określony w zależności od wymienionych trzech czynników; wobec tego wszelkie przepisy, dawane zgóry, nie można uważać za prawidłowe. Tu można tylko dla orientacji zaznaczyć, iż w zależności od wymienionych czynników dla najczęściej pospolitych wypadków prędkość posuwu waha się w granicach 12 do 300 mm na minutę, zaś grubość wióra, skrawana przez jeden ząb gryza — 0,02 do 0,25 mm. Niedawno dokonane zostały przez Leeuw'a



nr. 275

doświadczenia nad gryzowaniem przy użyciu gryzów o małej liczbie zębów bardzo energicznie chłodzonych (55 l. wody na minutę). Doświadczenia te dały wyniki o wiele przewyższające przeciętne normy, jak to wskazuje załączona tablica. (H. Mierzejewski „Zasady obróbki metali“, cz. I).

Kształt gryza	Średnica gryza mm	Szerokość gryza mm	Liczba zębów gryza	Pochylenie linii śrub. zębów	Głębokość gryzowania mm	Szerokość gryzowania mm	Prędkość obwodowa gryza m/min.	Prędkość przesuwowa mm/min.	Przebieg skrawania
Walcowy . .	89	152	9	25°	3,18	127	140	775	Chł. b. energ.; pow. gładka
" . . .	"	"	"	"	0,51	"	"	184	" " " wyjątk. "
" . . .	"	"	"	"	6,35	"	25,4	508	Na sucho. Po przesuwie 65 mm gryz spalony.
" . . .	"	"	3	69°	4,76	"	143	775	Chł. b. energ.; pow. gładka
Krażkowy .	160	25,4	16	pochyłe	6,35	25,4	255	775	" " " " "
Do kół zębat. (3,5 mod.) .	89	—	—	—	7,5	∞ 5	61	2845	Chł. b. energ. Ogólny przesuw gryza 170 m.

Wydajność powyższą można osiągnąć tylko na specjalnej gryzarce przy zużyciu około 80 K. M.

W praktyce, o ile gryzy są odpowiednio znormalizowane i wypróbowane i gryzarka nie jest dostatecznie zbadana, należy przyjąć z pierwszej z powyższych tablic przeciętną wartość na prędkość obwodową gryza, zaś największy dopuszczalny posuw dla każdego poszczególnego wypadku można określić drogą prób, zaczawszy pracę od najmniejszego posuwu i stopniowo w biegu maszyny (jeżeli na to pozwala jej konstrukcja), powiększając go aż do chwili, kiedy albo zaczyna ślizgać się pas, albo też występują zbyt duże drgania gryza, albo wreszcie otrzymujemy nie dość gładką powierzchnię obrabianą.

G. Doświadczenia nad wierceniem.

Jedną z największych prac o wierceniu jest dzieło Codron'a „Expériences sur le travail des machines — outils Foreage t. II“, obejmujące ogromną ilość doświadczeń nad wierceniem rozmaitych metali najrozmaitszymi rodzajami wiertel. Praca ta jednak nie daje prostych wzorów, potrzebnych w praktyce.

Natomiast doświadczenia profesorów Demster-Smith'a z Manchesteru i R. Poliakowa z Moskwy, ogłoszone w № 2 i 3 czasopisma „Werkstatte-Technik“ z r. 1911 i wydane w dziełku: „Демстеръ Смитъ и Р. Поляковъ. Опыты надъ силами, дѣйствующими на спиральныя сверла при работѣ въ чугуны и стали“, doświadczenia nad pracą wiertel krętych, obecnie naj-

więcej w codziennej praktyce stosowanych, dają w niezmiernie prostej formie wszystkie wielkości, potrzebne tak dla konstruktora, obliczającego części wiertarek, jak i dla technika warsztatowego, pracującego na nich.

Autorowie ci ustalili, iż przy wierceniu **stali średniej twardości** (o wytrzymałości 50 kg/mm^2) moment skracający na wrzecionie — M_d w zależności od średnicy wiertła krętego d w mm . i posuwu wiertła t w mm . na jeden jego obrót wyraża się następującym wzorem:

$$M_d = 70 d^{1.8} t^{0.7} \text{ kgmm}$$

nacisk zaś poosiowy:

$$P = 241 d^{0.7} t^{0.6} \text{ kg.}$$

Dla żeliwa średniej twardości:

$$M_d = 31.4 d^{1.8} t^{0.7} \text{ kgmm}$$

$$P = 148 d^{0.7} t^{0.75} \text{ kg.}$$

Wzory powyższe uwidoczniają wpływ średnicy i posuwu wiertła na moment obrotowy i nacisk poosiowy.

Wzory te są również zupełnie wystarczające do określenia ilości energii, zużywanej na wiercenie, a mianowicie: $N = N_1 + N_2$, przy czym N oznacza ogólną ilość energii, zużytej na wiercenie, N_1 — ilość energii, zużywanej na obracanie wiertła i N_2 — ilość energii na posuwanie wiertła w kierunku poosiowym,

N_1 i N_2 zaś za pomocą ogólnie znanych wzorów mechaniki dadzą się określić przez M_d i P w sposób następujący:

$$N_1 = \frac{M_d \cdot n}{7162000} \text{ k. m.}$$

$$N_2 = \frac{P \cdot t \cdot n}{60 \cdot 1000 \cdot 75} = \frac{P \cdot t \cdot n}{4500000} \text{ k. m.}$$

Ponieważ N_2 , jak o tem łatwo się przekonać, wynosi mniej, niż 5% energii N_1 , przeto najczęściej przy obliczeniach w praktyce pomijają energję, zużyta na posuw, a za całkowitą energję, zużyta na wiercenie, uważają energję, zużywaną na obracanie wiertła.

Powyższe wzory na M_d i P , otrzymane przez Demster-Smith'a i Poliakowa w sposób doświadczalny, sami badacze sprawdzili również rachunkiem teoretycznym, upodabniając pracę wiertła do pracy zwyczajnego noża przy skrawaniu, i na tej drodze otrzymali te same wyniki.

Teoretyczne badania, mające na celu określenie najpraktyczniejszej prędkości wiercenia i najodpowiedniejszego posuwu wiertła, dotychczas nie były podejmowane.

Istnieją natomiast praktyczne przepisy, otrzymane na podstawie sze-

regu prób i podawane przez poważniejszych wytwórców wiertel w ich cennikach.

Demster-Smith i Poliakow na podstawie swoich doświadczeń również ułożyli następujące praktyczne wzory dla racjonalnego korzystania z wiertel ze stali szybko tnącej:

dla wiercenia stali średniej twardości (o wytrzymałości 50 kg/mm²):

prędkość obwodowa wiertła $v = 18,3 \text{ m/min.}$

posuw wiertła na 1 obrót wrzeciona $t = 0,084 \sqrt[3]{d} \text{ mm.}$

dla wiercenia żeliwa:

prędkość obwodowa wiertła $v = 14,63 \text{ m/min.}$

posuw wiertła na 1 obrót wrzeciona $t = 0,1 \sqrt[3]{d} \text{ mm.}$

Zgodnie z powyższem zostały przez nich ułożone tablice, wskazujące praktyczne prędkości, posuwy i ilości zużywanej energii dla najczęściej używanych średnic wiertel krętych. Tablice te podane są na końcu.

W swoich doświadczeniach Demster-Smith i Poliakow stwierdzili również, że obecnie stosowany kształt krawędzi tnącej wiertel krętych jest najodpowiedniejszy ze względu na wydajność wiertel i ich trwałość.

D. Doświadczenia nad obróbką za pomocą tarcz szmerglowych.

Ujęcie doświadczeń nad pracą tarcz szmerglowych w ścisłe wzory jest jeszcze trudniejsze, niż dla innych narzędzi, a to ze względu na zbyt dużą różnorodność gatunków szmerglu lub materiałów zastępczych, np. karborundu, alundu i t. d., a także materiałów wiążących jego ziarno, dalej z powodu różnej grubości samych ziaren, podatności obrabianego materiału, stopnia zanieczyszczenia powierzchni tarcz szmerglowych i t. p.

Toteż wskażę tu tylko parę cząstkowych doświadczeń, które rzucają pewne światło na pracę tarcz szmerglowych i uzupełniają te dane praktyczne, które otrzymujemy z cenników fabryk szmerglu.

Codron w swoim dziele „Expériences sur le travail des machines-outils” opisuje swoje doświadczenia. Jako na najwięcej obchodzące praktyka wyniki tych doświadczeń, mogę wskazać na dane o zużyciu energii przy skrawaniu wiórów kamieniem szmerglowym.

Na 1 konia mechanicznego i godzinę otrzymał on:

0,57 kg	wiórów żelaza zlewnego
0,39 kg	„ stali
0,2 kg	„ żeliwa
0,02 kg	„ stali zahartowanej.

Dla porównania tej pracy z pracą noża tokarskiego wystarczy wskazać, iż na 1 konia mechanicznego i godzinę daje nóż tokarski średnio 8,5 kg wiórów stali zlewnej i 17 kg wiórów żeliwa, czyli, że podług Codron'a kamień szmerglowy przy obróbce stali zużywa mniej więcej 20 razy więcej, a przy obróbce żeliwa prawie 80 razy więcej energii, niż nóż tokarski.

Prof. S. Schlesinger w pracy swojej „Die Festigkeit der künstlichen Schmirgel-und Carborundum-Scheiben, ihre Arbeitsleistung und ihre Wirtschaftlichkeit im Werkstattbetriebe“ przytacza wyniki swoich obszernych doświadczeń nad pracą tarcz szmerglowych. Z powyższych wyników podaje w streszczeniu te, które mogą tu nas interesować.

Próby dokonywane były na szlifierce do wałków przy użyciu tarczy o średnicy 500 mm i szerokości 50 mm. Napęd otrzymywała tarcza od silnika elektrycznego o mocy 26 k. m. (zamiast przewidzianego w zwykłych warunkach silnika 10 k. m.). Jako materiał obrabiany użyta była zwyczajna stal (osiowa) o wytrzymałości 50 kg na 1 mm² i żeliwo. Stosowane były 3 rozmaite prędkości obwodowe tarczy, a mianowicie:

$$v = 25 - 30 - 35 \text{ m/sek.},$$

trzy rozmaite posuwy stołu na 1 obrót wałka:

$$w = 12 - 18 - 24 \text{ mm},$$

wreszcie posuw tarczy szmerglowej w kierunku prostopadłym do osi obrabianego wału utrzymany był w granicach

$$t = 0,01 \text{ do } 0,16 \text{ mm}.$$

Wyniki doświadczeń Schlesingera nad szlifowaniem **stali**.

1. Przeciętna wydajność w ilości wiórów skrawanego metalu na 1 kg. zużytego szmerglu z tarczy:

$w = 12 \text{ mm}$,	$t = 0,01 \text{ mm}$,	wydajność 36 kg wiórów na 1 kg szmerglu
$w = 24 \text{ „}$	$t = 0,01 \text{ „}$	18 „ „ „ „ „
$w = 12 \text{ „}$	$t = 0,14 \text{ „}$	9 „ „ „ „ „
$w = 24 \text{ „}$	$t = 0,14 \text{ „}$	4,5 „ „ „ „ „

Największa wydajność, osiągnięta w najdogodniejszych warunkach przy prędkości obwodowej $v = 29 \text{ m/sek.}$, posuwie wału $w = 12 \text{ mm}$ i posuwie tarczy $t = 0,01 \text{ mm}$, wyniosła 190 kg wiórów na 1 kg zużytego szmerglu. Przy posuwie tarczy $t = 0,14 \text{ mm}$ i tych samych pozostałych warunkach wydajność ta, wyniosła 28 kg.

2. Największa wydajność, osiągnięta przez tarczę, wynosiła 20 kg wiórów stali na godzinę.

3. Siła obwodowa na powierzchni tarczy dosięga najwyżej 80 kg.

4. Przeciętne zużycie energii w *kgm* na 1 gram wiórów:

przy	$\left\{ \begin{array}{l} v = 25 \text{ m/sek.} \\ t = 0,02 \text{ mm} \\ w = 12 \text{ mm} \end{array} \right.$	$E = 1930 \text{ kgm/g.}$
przy	$\left\{ \begin{array}{l} v = 25 \text{ m/sek.} \\ t = 0,14 \text{ mm} \\ w = 12 \text{ mm} \end{array} \right.$	$E = 635 \text{ kgm/g.}$
przy	$\left\{ \begin{array}{l} v = 25 \text{ m/sek.} \\ t = 0,14 \text{ mm} \\ w = 24 \text{ mm} \end{array} \right.$	$E = 525 \text{ kgm/g.}$
przy	$\left\{ \begin{array}{l} v = 35 \text{ m/sek.} \\ t = 0,02 \text{ mm} \\ w = 12 \text{ mm} \end{array} \right.$	$E = 2070 \text{ kgm/g.}$
przy	$\left\{ \begin{array}{l} v = 35 \text{ m/sek.} \\ t = 0,14 \text{ mm} \\ w = 12 \text{ mm} \end{array} \right.$	$E = 685 \text{ kgm/g.}$
przy	$\left\{ \begin{array}{l} v = 35 \text{ m/sek.} \\ t = 0,14 \text{ mm} \\ w = 24 \text{ mm} \end{array} \right.$	$E = 540 \text{ kgm/g.}$

Z powyższych doświadczeń wypływa wniosek, iż w celu otrzymania jak *największej oszczędności w zużyciu tarczy szmerglowej* przy szlifowaniu stali należy stosować dużą prędkość obwodową tarczy, a małe posuwy stołu (wałka obrabianego) i tarczy. Dla otrzymania zaś *największej oszczędności w zużyciu energii* przy szlifowaniu stali należy stosować duże posuwy stołu i tarczy. Prędkość zaś obwodowa tarczy w tym wypadku jest prawie obojętna.

Wyniki doświadczeń Schlesingera nad szlifowaniem żeliwa:

1. Przeciętna wydajność w ilości wiórów skrawanego metalu na 1 *kg* zużytego szmerglu z tarczy:

$w = 12 \text{ mm}$,	$t = 0,01 \text{ mm}$	—	wydajność 30 <i>kg</i> wiórów na 1 <i>kg</i> szmerglu
$w = 24 \text{ „}$	$t = 0,01 \text{ „}$	—	20 „ „ „ „
$w = 12 \text{ „}$	$t = 0,14 \text{ „}$	—	60 „ „ „ „
$w = 24 \text{ „}$	$t = 0,14 \text{ „}$	—	35 „ „ „ „

Największa wydajność, osiągnięta w najdogodniejszych warunkach przy prędkości obwodowej $v = 25 \text{ m/sek.}$, posuwie stołu $w = 12 \text{ mm}$ i posuwie tarczy $t = 0,14 \text{ mm}$, wyniosła 180 *kg* wiórów na 1 *kg* szmerglu. Przy posuwie $t = 0,01 \text{ mm}$ i tych samych innych warunkach wydajność ta wyniosła 50 *kg*. Otrzymaliśmy tu więc wyniki *odwrotne* w stosunku do wyników przy szlifowaniu stali.

2. Największa wydajność, osiągnięta przez tarczę, wynosiła 50 kg wiórów żeliwa na godzinę.

3. Siła obwodowa na powierzchni tarczy — jak dla stali.

4. Przeciętne zużycie energii w *kgm* na 1 gram wiórów cokolwiek większe, niż dla stali, a mianowicie:

$$\begin{array}{l} \text{przy } \left\{ \begin{array}{l} v = 25 \text{ m/sek.} \\ t = 0,02 \text{ mm} \\ w = 12 \text{ mm} \end{array} \right. \quad E = 2180 \text{ kgm/g.} \\ \\ \text{przy } \left\{ \begin{array}{l} v = 25 \text{ m/sek.} \\ t = 0,14 \text{ mm} \\ w = 12 \text{ mm} \end{array} \right. \quad E = 540 \text{ kgm/g.} \\ \\ \text{przy } \left\{ \begin{array}{l} v = 25 \text{ m/sek.} \\ t = 0,14 \text{ mm} \\ w = 24 \text{ mm} \end{array} \right. \quad E = 350 \text{ kgm/g.} \\ \\ \text{przy } \left\{ \begin{array}{l} v = 35 \text{ m/sek.} \\ t = 0,01 \text{ mm} \\ w = 12 \text{ mm} \end{array} \right. \quad E = 2230 \text{ kgm/g.} \\ \\ \text{przy } \left\{ \begin{array}{l} v = 35 \text{ m/sek.} \\ t = 0,14 \text{ mm} \\ w = 12 \text{ mm} \end{array} \right. \quad E = 690 \text{ kgm/g.} \\ \\ \text{przy } \left\{ \begin{array}{l} v = 35 \text{ m/sek.} \\ t = 0,14 \text{ mm} \\ w = 24 \text{ mm} \end{array} \right. \quad E = 480 \text{ kgm/g.} \end{array}$$

Wpływający z tych wyników doświadczeń Schlesingera nad szlifowaniem żeliwa wniosek co do oszczędności w użyciu szmerglu różni się od wniosku, otrzymanego dla stali, a mianowicie: *największą oszczędność szmerglu otrzymujemy tu, stosując dużą prędkość obwodową tarczy przy małym posuwie stołu, lecz przy dużym posuwie tarczy, t. j. przy dużej głębokości skrawania.* Wniosek zaś co do *oszczędności w użyciu energii* przy szlifowaniu żeliwa jest ten sam, co i dla stali.

W celu porównania tych wyników prac Schlesingera z doświadczeniami Codron'a, zużycie energii, wyrażone w *kgm/g.*, przerachowuję na konie mechaniczne. Wówczas otrzymujemy:

przy szlifowaniu stali:

1 koń mechaniczny daje na godzinę 0,13 do 0,51 kg wiórów;

przy szlifowaniu żeliwa:

1 koń mechaniczny daje na godzinę 0,12 do 0,77 kg wiórów.

Za najogólniejszy wniosek z tych doświadczeń może być uważaną wskazówka, że duża prędkość obwodowa tarczy szmerglowej jest polecana nie tylko ze względu na skrócenie czasu obróbki, ale także i dla oszczędności samego szmerglu, tembardziej, że stosowanie dużej prędkości obwodowej tarczy nie pociąga za sobą wzrostu zużycia energii.

II. ZASTOSOWANIE WYNIKÓW DOŚWIADCZEŃ NAD SKRAWANIEM METALI DO OKREŚLANIA WYDAJNOŚCI OBRABIAREK I DO KALKULACJI CZASU OBRÓBK.

Ogólne uwagi. Znaczne postępy w umiejętności określania należytej prędkości i oporu skrawania metali, jak również wzrost wydajności narzędzi dzięki zastosowaniu stali szybko tnącej, były pobudką do ściślejszego określania wydajności obrabiarek. Potrzebę tę zaczęto jeszcze żywiej odczuwać z chwilą powstania nowych silnych typów obrabiarek. Określenie obrabiarki tylko przez jej zasadnicze wymiary geometryczne obecnie już w bardzo niewystarczający sposób ją charakteryzuje. Dwie tokarki o tej samej wysokości kłów mogą się bardzo różnić od siebie pod względem wydajności. Toteż w celu określenia obrabiarki zaczęto stosować obok jej zasadniczych wymiarów także największą ilość energii mechanicznej, jaką jest ona w stanie przerobić, t. j. zamienić na pracę skrawania. *Stąd wydajność obrabiarek jest równoznaczna z ilością energii, spożytkowanej przez nią; ilość energii zaś jest prawie ściśle proporcjonalna do ilości skrawanych wiórów w jednostce czasu.*

Znajomość równoznaczników spożytkowanej przez rozmaite typy obrabiarek energii, wyrażonych w ilości zdejmowanych w jednostce czasu wiórów, daje również bardzo prosty, choć niezupełnie dokładny, sposób określenia zużycia energii lub określenia wydajności obrabiarki bez uciekania się do złożonych mierniczych przyrządów.

Wystarczy przy próbie obrabiarki stwierdzić, iż jest ona w możności dać przewidzianą w jej charakterystyce ilość wiórów określonego materiału, albo też ustalić, iż jest ona w możności dać ilość wiórów, odpowiadającą wskazanej ilości energii — w wypadkach, gdy wydajność maszyny jest scharakteryzowana przez ilość spożytkowanej energii w koniach mechanicznych.

Poznanie wydajności obrabiarki, wyrażonej w ilości spożytkowanej energii w koniach mechanicznych lub też w postaci równoważnika energii — w ilości wiórów, zdjętych w jednostce czasu, wraz ze znajomością dopuszczalnych prędkości skrawania daje możność ściśle określić czas, potrzebny na wykonanie określonej pracy na danej obrabiarce. W ten sposób możemy dokładnie kalkulować czas obróbki i dawać robotnikowi odpowiednie wska-

zówki, mające na celu możliwie całkowite wyzyskanie wydajności obrabiarki, co jest właśnie cechą charakterystyczną najnowszej organizacji warsztatu, a podstawą słynnego systemu Taylor'a.

W dalszym ciągu będę się starał dać najprostsze metody określania równoważników energii mechanicznej, wyrażonych w ilości skrawanych w jednostce czasu wiórów, jak również i kalkulacji czasu obróbki dla zasadniczych odmian obrabiarek na podstawie wyżej przytoczonych doświadczeń nad skrawaniem.

A. Równoważniki energii mechanicznej, wyrażone w postaci ilości wiórów.

Równoważnik energii, wyrażony w ilości wiórów, dla tokarek i wytaczarek.

Przyjmujemy, zgodnie z wynikami doświadczeń Taylor'a, następujące przeciętne wartości oporu skrawania w stosunku do 1 mm² przekroju wióra (opór właściwy):

dla żeliwa $p = 50$ do 140 kg, a dla najczęściej używanego żeliwa średniej twardości $p = 90$ kg/mm²

dla stali $p = 100$ do 230 kg/mm², a dla najczęściej używanej stali średniej twardości $p = 180$ kg/mm².

Stosując wyżej podane wartości do wypadku toczenia na tokarce, możemy otrzymać równoważnik energii mechanicznej w ilości wiórów w sposób następujący. Wychodząc z podstawowego określenia pracy, jako iloczynu siły przez drogę, otrzymujemy wzór następujący:

$$N = \frac{f \cdot p \cdot v}{75 \cdot 60 \cdot \eta},$$

przyczem N oznacza energję, spożytkowaną i zmierzoną na kole pasowem tokarki w koniach mechanicznych, f — przekrój wióra w mm², v — prędkość skrawania w m na minutę, p — opór właściwy skrawania w kg na mm², η — sprawność tokarki (stosunek energii, zużywanej bezpośrednio na nożu, do energii, oddawanej tokarce przez koło pasowe).

Wskazanemu w powyższym wzorze przekrojowi wióra f mm² i prędkości skrawania v m/min., a więc i ilości spożytkowanej energii N k. m. odpowiada ciężar wiórów, zdejmowanych w przeciągu jednostki czasu, np. godziny, dający się określić z następującego wzoru:

$$G = \frac{f \cdot v \cdot 1000 \cdot 60 \cdot \Delta}{1000000} \text{ kg}$$

przyczem Δ wyraża ciężar 1 dm³ skrawanego metalu.

Przez zestawienie tych dwóch wzorów znajdujemy zależność G od N , a mianowicie:

$$\frac{G}{N} = \frac{f \cdot v \cdot 1000 \cdot 60 \cdot \Delta \cdot 75 \cdot 60 \cdot \eta}{1000000 \cdot f \cdot p \cdot v} = 270 \frac{\Delta \cdot \eta}{p}.$$

Podstawiając w powyższy wzór wartości Δ , η i p , otrzymamy właśnie **równoważnik energii w ilości wiórów** dla danego zespołu warunków skrawania.

Stąd dla **miękkiego żeliwa**, dla którego $\Delta = 7,2 \text{ kg/dem}^3$ i $p = 90 \text{ kg/mm}^2$ przy pracy na przeciętnej tokarce o sprawności $\eta = 0,75$, otrzymamy:

$$\frac{G}{N} = 270 \frac{7,2 \cdot 0,75}{90} = 16,2 \text{ kg},$$

a dla **stali średniej twardości**, dla której $\Delta = 7,8 \text{ kg/dem}^3$ $p = 180 \text{ kg/mm}^2$

$$\frac{G}{N} = 270 \frac{7,8 \cdot 0,75}{180} = 8,78 \text{ kg}.$$

Ponieważ mamy tu wartości przybliżone, możemy wzory te zmienić w sposób dostępniejszy dla pamięci:

Dla miękkiego żeliwa:

$$\frac{G}{N} = 17 \text{ kg}.$$

Dla stali średniej twardości:

$$\frac{G}{N} = 8,5 \text{ kg}.$$

Inaczej mówiąc na 1 konia mechanicznego, spożytkowanego na kole pasowym przeciętnej tokarki, wypadła około 17 kg. wiórów żeliwa miękkiego w ciągu jednej godziny, a dla stali średniej twardości — o połowę mniej.

Jest to najogólniej wyrażony przybliżony równoważnik energii w postaci ilości wiórów.

Równoważnik ten może być wyrażony w sposób jeszcze bardziej przystępny dla praktyki, a przede wszystkim dla samego tokarza lub kalkulatora czasu obróbki. W tym celu ciężar wiórów można zastąpić przez iloczyn przekroju wióra i prędkości skrawania, t. j. przez $f \cdot v$.

Z powyżej podanego wzoru na N otrzymujemy:

$$f \cdot v = \frac{N \cdot 75 \cdot 60 \cdot \eta}{p} = 4500 \frac{N \cdot \eta}{p}.$$

Dla $\eta = 0,75$ i przyjmując $p = 50$ do 140 kg/mm^2 , otrzymujemy dla żeliwa:

$$f \cdot v = 25 N \text{ do } 65 N;$$

średnio przy $p = 90 \text{ kg/mm}^2$

$$\underline{f \cdot v = 40 \text{ N.}}$$

Dla **stali** zaś przy $p = 100$ do 230 kg/mm^2

$$f \cdot v = 15 \text{ N do } 35 \text{ N;}$$

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

$$\underline{f \cdot v = 20 \text{ N.}}$$

Uproszczone te wyrażenia na $f \cdot v$ będą podstawą dla wszystkich następnych przybliżonych obliczeń rozmaitych typów obrabiarek.

Stosując je, można w niezmiernie prosty sposób dokonywać przybliżonych obliczeń, związanych z wydajnością obrabiarek. Np., wiedząc, iż dana tokarka jest w możności wykorzystać 6 koni mechanicznych na kole pasowym, możemy odrazu znaleźć największy przekrój wióra, dajmy na to, ze stali średniej twardości, skrawany na powyższej tokarce przy prędkości naprzykład 18 metrów na minutę, a mianowicie:

$$f \cdot v = 20 \text{ N} = 20 \cdot 6 = 120, \text{ skąd}$$

$$f = \frac{120}{v} = \frac{120}{18} = 6,6 \text{ mm}^2.$$

Odwrotnie, pragnąc skrawać wiór ze stali średniej twardości o przekroju przypuścimy 10 mm^2 , odrazu znajdujemy największą dopuszczalną ze względu na moc tokarki prędkość skrawania

$$V = \frac{120}{10} = 12 \text{ m/min.}$$

Równoważnik energii mechanicznej, wyrażony w ilości wiórów dla gryzarek.

Różnice pomiędzy pracą gryzów i noży tokarskich zostały wyjaśnione poprzednio. Uważając — jak i poprzednio — gryz za zespół kilku noży tokarskich, równoważnik energii w ilości wiórów dla gryzarek możemy określić w ten sam sposób, jak i dla tokarek. Wystarczy ze względów, wymienionych poprzednio, równoważnik ten przyjąć jako równy $\frac{1}{2}$ do $\frac{3}{4}$ równoważnika dla tokarek.

W ten sposób dla $\eta = 0,75$ otrzymujemy:

dla żeliwa

$$f \cdot v = 12 \text{ N do } 45 \text{ N,}$$

średnio $\underline{f \cdot v = 20 \text{ N do } 30 \text{ N}}$ dla żeliwa miękkiego;

dla stali zaś

$$f \cdot v = 7 \text{ N do } 25 \text{ N},$$

średnio $f \cdot v = 10 \text{ N do } 15 \text{ N}$ dla stali średniej twardości.

Stosując wymienione wzory, należy przyjmować wyższe wartości $f \cdot v$ dla gryzów jak najbardziej zbliżonych do noży tokarskich, np. dla dużych tarcz gryzowych z prostymi wstawionymi nożykami, mniejsze zaś dla gryzów o drobnych zębach i skomplikowanym profilu.

W tych wzorach f i v mają inne znaczenie, niż we wzorach dla noży tokarskich.

Tu v oznacza prędkość posuwania się obrabianego przedmiotu wyrażoną w metrach na minutę, a f — przekrój skrawanej warstwy materiału z danego przedmiotu, mierzony prostopadle do ruchu przedmiotu.

Istota rzeczy tak przy gryzarkach, jak i przy tokarkach pozostaje ta sama, bo i tu i tam $f \cdot v = 0,001$ objętości wiórów w mm^3 , zdjętych w ciągu minuty, czyli objętości wyrażonej w cm^3 . Wzory powyższe, chociaż przybliżone, jednak w zupełności są zgodne z wynikami doświadczeń. Nadają się one również do obliczeń, związanych z wydajnością obrabiarki.

Np., wiedząc, iż dana gryzarka jest w możności wykorzystać 5 koni mechanicznych na kole pasowym i posiada współczynnik sprawności $\eta = 0,75$, możemy odrazu znaleźć przesuw stołu gryzarki na minutę przy zgryzowywaniu warstwy stali średniej twardości o szerokości 100 mm i grubości 5 mm w sposób następujący:

$$f \cdot v = 13 \text{ N} = 13 \cdot 5 = 65,$$

$$f = 100 \cdot 5 \text{ mm}^2 = 500 \text{ mm}^2,$$

$$v = \frac{65}{500} = 0,13 \text{ m/min.}$$

Odwrotnie, znając v , można określić największy przekrój wióra f . Należy jednak pamiętać, że otrzymane przy takim przybliżonym obliczeniu dane powinny być następnie sprawdzone przy uwzględnieniu jeszcze innych czynników, zależnych od samego gryza, a nie od mocy gryzarki, o czym jeszcze będzie mowa.

Równoważnik energii, wyrażony w ilości wiórów dla strugarek.

Dla strugarek dążenie otrzymania równoważnika energii w postaci ilości wiórów nie jest właściwe. Tu praca skrawania jest przerywana przy powrotnym ruchu stołu. Również w zależności od długości ruchu stołu zmieniają się czynniki, związane ze stratą czasu na zmianę kierunku ruchu. Znaczną część energii pochłania również przesuwanie samego przedmiotu obrabianego.

Dlatego też wydajność strugarki dogodniej jest określać nie ilością energii, przenoszonej przez koło pasowe, lecz największą siłą skrawania, liczoną na powierzchni stołu, t. j. w przypuszczeniu, że ciężar obrabianego przedmiotu jest żaden.

Zależności czynników, określających pracę strugarek, dają się ująć w proste i same przez się zrozumiałe wzory:

$$N = \frac{[f \cdot p + (Q + q) \cdot 0,05] \cdot v}{75 \cdot 60 \cdot \eta} \text{ k. m.}$$

$$P = \left(\frac{\eta \cdot N \cdot 75 \cdot 60}{v} - 0,05 \cdot q \right) \text{ kg}; \quad f = \frac{P - Q \cdot 0,05}{p} \text{ mm}^2$$

przyczem: N — energia w k. m. na pasie,

f — przekrój wióra w mm^2 ,

p — opór właściwy skrawania w kg/mm^2 ,

η — sprawność obrabiarki,

v — prędkość skrawania, t. j. ruchu stołu w m/min. ,

P — największa siła skrawania na powierzchni stołu w kg ,

q — ciężar stołu w kg ,

Q — ciężar struganego przedmiotu w kg ,

0,05 — współczynnik tarcia w prowadnicach stołu.

Na podstawie powyższych wzorów otrzymujemy następujące proste wyrażenia dla określania przekroju wióra przy skrawaniu na strugarce, dla której dopuszczalna siła skrawania na powierzchni stołu P jest znana:

$$f = \frac{P - 0,05 \cdot Q}{90} \text{ mm}^2 \text{ — dla żeliwa miękkiego;}$$

$$f = \frac{P - 0,05 \cdot Q}{180} \text{ mm}^2 \text{ — dla stali średniej twardości.}$$

O ile P nie jest znane, a natomiast wiadoma jest moc N , możemy otrzymać na przekrój wióra wzory analogiczne, jak dla tokarek $f \cdot v = 40 N$ lub $f \cdot v = 20 N$. Dla strugarek wzory te ulegają zmianie ze względu na rozchód energii na przesuwanie ciężaru stołu i obrabianego przedmiotu. Ponieważ moc N strugarki zużywa się nie tylko na skrawanie wióra, lecz w pewnej części także na przesuwanie stołu i przedmiotu obrabianego, przeto w lewej części tych wzorów oprócz przekroju wióra $f \text{ mm}^2$ musimy wstawić wyrażenie, odpowiadające temu dodatkowemu rozchodowi energii, a więc:

$$\left[f + \frac{0,05 (Q + q)}{90} \right] \cdot v = 40 N \text{ — dla żeliwa miękkiego;}$$

$$\left[f + \frac{0,05 (Q + q)}{180} \right] \cdot v = 20 N \text{ — dla stali średniej twardości.}$$

Stąd mamy ostatecznie:

$$f = \left[\frac{40 \cdot N}{v} - 0,00055 (Q + q) \right] \text{ mm}^2 \text{ — dla żeliwa miękkiego;}$$

$$f = \left[\frac{20 \cdot N}{v} - 0,00028 (Q + q) \right] \text{ mm}^2 \text{ — dla stali średniej twardości.}$$

Dla dłutownic i strugarek poprzecznych obliczenia będą zupełnie analogiczne, co będzie jeszcze wskazane na przykładach.

Równoważnik energii w ilości wiórów dla wiertarek.

Równoważnika energii w postaci ilości wiórów dla wiertarek nie wyrażę specjalnym wzorem, ponieważ wyżej podane tablice Dempster-Smith'a i Poliakowa są zupełnie wystarczające i służą temu samemu celowi.

Równoważnik energii w ilości wiórów dla szlifierek.

Równoważnik energii w postaci ilości wiórów jest wskazany wyżej, gdzie była mowa o doświadczeniach nad szlifowaniem. Przy robotach jednak szlifierskich równoważnik ten może znaleźć zastosowanie, najwyżej dla wypróbowania wydajności rozmaitych gatunków tarcz szmerglowych.

B. Sprawdzanie wytrzymałości części obrabiarek za pomocą obliczeń.

Przystępując do określenia wydajności obrabiarek, zmuszeni jesteśmy raz po raz sprawdzać wytrzymałość ich części. Przytaczam tu najprostsze wzory i różne wiadomości w formie uproszczonej w celu ułatwienia powyższych obliczeń.

Więc przedewszystkiem mechanika daje nam pospolite wzory, wyrażające zależności między oporem skrawania — P kg, promieniem działania tej siły — r mm, momentem obrotowym na wrzecionie — M_d kgmm, prędkością skrawania — v m/min. i spożytkowaną na kole pasowem obrabiarki lub silnika energią — N k. m., a mianowicie:

$$N = \frac{P \cdot v}{75 \cdot 60 \cdot \eta} \text{ k. m.}; M_d = P \cdot r = 716200 \frac{N}{\eta} \text{ kgmm.}$$

Pierwszy z tych wzorów łatwo uprościć, jeżeli przypuścimy, że średnio 1 mm szerokości pasa przenosi siłę 1 kg, co stanowi już wysokie obciążenie pasa. Wobec takiego założenia otrzymujemy:

$$N = 0,7 \cdot b \cdot D \cdot n \text{ k. m.},$$

przyczem b wyraża szerokość pasa w m , D — średnicę koła pasowego w m , n — ilość obrotów koła pasowego na minutę.

Dla obliczenia **kół zębatach** można stosować wzory Levis'a, wskazane w „Polskim Kalendarzu Technicznym“ 1914 r. Cz. I, str. 168 i osobno podane również na końcu książki niniejszej.

Uzupełniając dane Levis'a co do obciążeń bezpiecznych kół zębatach, należy zaznaczyć, że w wypadkach, gdzie chodzi o oszczędność w wymiarach mechanizmów, np. przy konstruowaniu kół zębatach, pracujących z zębatką pociągową suportów tokarek lub wrzecion wiertarek i t. p. lub w magazynach przekładni zębatach, używana jest często na koła zębate stal chromowo-niklowa lub innych podobnych gatunków, które dopuszczają największe obciążenie bezpieczne do $35-40 \text{ kg/mm}^2$.

Przy obliczaniu **wrzecion stalowych**, pracujących na zginanie i skręcanie, stosować można obciążenie bezpieczne $k = 400 \text{ kg/cm}^2$. Dla długich wrzecion, pracujących prawie wyłącznie na skręcanie, np. dla wrzecion wiertarek, dopuszczalne obciążenie wyniesie $k_d = 200 \text{ kg/cm}^2$.

Łożyska wrzecion obliczone są na ciśnienie jednostkowe około $k = 15 \text{ kg/cm}^2$ lub więcej.

Prowadnice suwaków są obciążone przez $k = 20 \text{ kg/cm}^2$ (w węższej części prowadnicy).

Spółczynniki tarcia i sprawności. Przy obliczaniu sprawności przyjmujemy:

Spółczynnik tarcia prowadnic dotartych i smarowanych $i = 0,05$,

Spółczynnik sprawności jednej przekładni zębatej wraz z odpowiednimi łożyskami $\eta = 0,95$ do $0,9$.

Przekładnie ślimakowe należy obliczać osobno.

Ogólny współczynnik sprawności zwyczajnych tokarek, strugarek, gryzarek, wiertarek i t. p. wynosi średnio $\eta = 0,75$.

C. Określenie wydajności obrabiarek i układanie dla nich tablic kalkulacyjnych.

Określenie wydajności tokarek i wytaczarek.

W celu określenia wydajności tokarek lub wytaczarek należy wskazać największą ilość liczonej na kole pasowym energii, jaką obrabiarka jest w stanie wykorzystać. O ile obrabiarka posiada koło pasowe stopniowe, moc należy określić dla wszystkich stopni, ponieważ każdy stopień przenosi inną ilość energii. Należy zauważyć, iż najmniejszy stopień koła pasowego przenosi największą ilość energii, łatwo bowiem się przekonać, że prędkości obwodowe stopni koła pasowego wzrastają szybciej, niż zmniejszają się ich