

СИЛОВІ ПАРАМЕТРИ МАШИН З АБРАЗИВНИМ ІНСТРУМЕНТОМ

Юрій Абрашкевич, Володимир Рашківський, Андрій Поліщук, Олена Човнюк

Київський національний університет будівництва і архітектури
03680, Повітрофлотський проспект, 31, Київ, Україна, e-mail: abrashkevich@voliacable.com

POWER OF THE MACHINE'S ABRASIVE TOOL

Yuriy Abrashkevich, Volodymyr Rashkivsky, Andriy Polishchuk, Olena Chovnyuk

Kyiv national University of Construction and Architecture, Povitroflotsky Prospect 31, Kyiv, Ukraine
03680, Povitroflotsky avenue, 31, Kiev, Ukraine, e-mail: abrashkevich@voliacable.com

АНОТАЦІЯ. У статті наведені підходи до визначення оптимальних співвідношень тангенціальних та нормальних зусиль різання та зачищення, що впливають на енергоефективність машин з абразивним робочим інструментом.

Ключові слова: потужність ручної машини, абразивний армований круг, нормальне та тангенціальне зусилля, робоча швидкість, швидкість подачі.

АННОТАЦИЯ. В статье приведены подходы к определению оптимальных соотношений тангенциальных и нормальных усилий резания и зачистки, влияющие на энергоэффективность машин с абразивным рабочим инструментом.

Ключевые слова: мощность ручной машины, абразивный армированный круг, нормальное и тангенциальное усилие, рабочая скорость, скорость подачи.

ABSTRACT. Purpose. The paper presents the basic approaches to the determination of the optimal proportions of normal and tangential cutting force and stripping influencing the energy efficiency of machines with an abrasive working tool

Key words: power hand machines, reinforced abrasive wheel, normal and tangential force operating speed, feed rate

ВСТУП

Абразивні армовані круги в поєднанні з ручними, переносними і стаціонарними машинами набули масового поширення в будівництві та інших галузях народного господарства [1...5].

Одним з основних параметрів машини, які визначають її масу і продуктивність виконання відрізних і зачисних операцій, є потужність приводу [5].

МЕТА РОБОТИ

У статті наводяться результати досліджень з визначення силових параметрів машин, робочими органами яких є абразивні армовані круги.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

У процесі досліджень було прийнято, що траєкторія руху будь-якої точки, розташованої на робочій поверхні абразивного кру-

га, близька до кола, так як швидкість його подачі мала в порівняно з коловою. Крім того, враховано, що руйнування оброблюваного матеріалу проводиться тільки за рахунок дії тангенціальних сил P_z , рівномірно розподілених по всій площі контакту і пов'язаних з нормальними силами P_y відношенням

$$P_z = K_T P_y,$$

де K_T – коефіцієнт трансформації.

Робота, витрачена на руйнування матеріалу при різанні і зачистці, може бути визначена із залежності

$$dA_o = P_z d\tilde{l}_k \quad (1)$$

або

$$dA_o = q_v dV = q_v \tilde{H} a_c d\tilde{l}_k, \quad (2)$$

де q_v – коефіцієнт пропорційності (енергоємність), який визначається експериментально і дорівнює роботі, яка витрачається на руйнування одиничного об'єму матеріалу; \tilde{H} – висота абразивного круга, м; dV –

елементарний об'єм матеріалу, що руйнується, m^3 ; $d\tilde{l}_k$ – елементарна довжина площадки по дузі контакту, м;

$a_c = \frac{V_n}{V_p} \int_0^{l_k} d\tilde{l}_k \sin \alpha_0$ – глибина зрізу, відпо-

відна площині поверхні \tilde{l}_k , м; $\alpha_0 = \frac{l_k}{R_0}$ –

центральный кут, який характеризує розмір зони контакту, рад.

З (1) и (2)

$$P_z = R_0 q_v H \frac{V_n}{V_p} \left(1 - \cos \frac{l_k}{R_0} \right), \quad (3)$$

де R_0 – радіус кола, м; V_n – швидкість подачі, м/с; V_p – колова швидкість, м/с.

Потужність, що витрачається на різання і зачистку, дорівнює

$$N_{\text{эф}} = P_z V_p = R_0 q_v H V_n \left(1 - \cos \frac{l_k}{R_0} \right). \quad (4)$$

Значення величин довжин дуг контакту при різанні металопрокату і гірських порід абразивними армованими кругами наведені в таблиці.

Довжину дуги контакту при зачистці периферією круга можна визначити за формулою

$$l_{\text{кзп}} = R_0 \left(1 + \frac{V_n}{V_p} \right) \sqrt{1 - \left(1 - \frac{t_3}{R_0} \right)^2}, \quad (5)$$

де t_3 – глибина врізання абразивного круга в оброблювану поверхню (рис. 1), що пов'язана із зусиллям притиснення P_B співвідношенням

$$t_3 = 0,28 \cdot 10^{-3} P_B^{0,52}, \quad (6)$$

яке отримано експериментально.

Довжина дуги контакту при зачистці торцем поверхні круга (рис.1) може бути отримана з виразу

$$\tilde{l}_{\text{кзт}} = R_0 \Psi \sqrt{1 + \frac{V_n^2}{V_p^2}}, \quad (7)$$

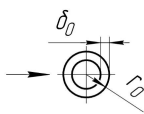
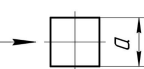
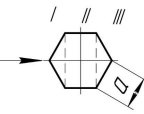

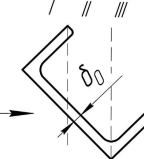
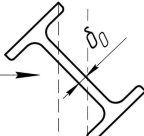
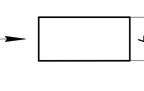
де Ψ – кутовий розмір зони контакту абразивного круга з оброблюваним матеріалом, рад.

При зачистці, наприклад, зварного шва шириною b у разі $\alpha = 0$ $\Psi = 2 \arcsin \frac{b}{2R_0}$,

а якщо $\alpha \neq 0$, то $\Psi = 2 \arccos \left(1 - \frac{t_3}{R_0 \sin \alpha} \right)$.

Таблиця. 1. Характеристики профілів

Table 1. Specifications profiles

Метало-прокат	Схема різання	Аналітичний вираз для довжини дуги контакту
Труба		$\tilde{l}_k = \sqrt{2r_0 \delta_0}$, де $\sqrt{1 + \frac{r_0}{l_0}}$ \tilde{l}_0 – радіус кола
Квадрат		$\tilde{l}_k = 2R_0 \arcsin \frac{a}{2R_0}$
Шестигранник		$\tilde{l}_{k1} = 2R_0 \arccos \frac{h_0 \sqrt{3}}{R_0}$ $\tilde{l}_{k2}^{\text{max}} = 2R_0 \arcsin \frac{a \sqrt{3}}{2R_0}$ $\tilde{l}_{k3} = 2R_0 \arcsin \frac{2a - h_0}{R_0}$
Кутик		$\tilde{l}_k = \delta_0 \sqrt{2}$
Швелер		$\tilde{l}_{k1} = 2\delta_0 \sqrt{2}$ $\tilde{l}_{k2} = \tilde{l}_{k3} = \delta_0 \sqrt{2}$
Двогавр		$\tilde{l}_{k1} = \tilde{l}_{k3} = 2\delta_0 \sqrt{2}$ $\tilde{l}_{k2} = \delta_0 \sqrt{2}$
Гірська порода		$\tilde{l}_k = R_0 \arccos \left(1 - \frac{h}{R_0} \right)$, де h – глибина різання, R_0 – радіус кола

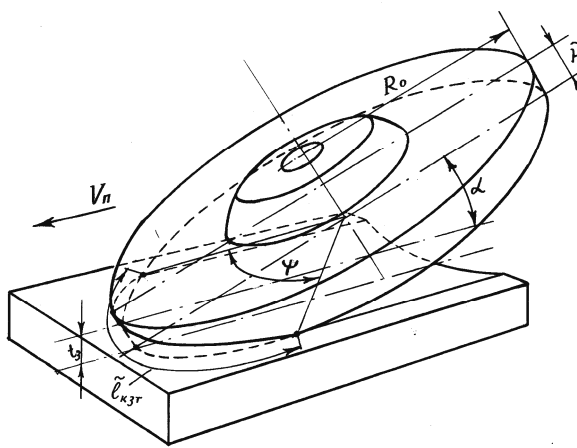


Рис. 1. Схема роботи зачисного круга

Fig1. Chart of work of stripping circle

Потужність ручної машини, яка витрачається на подачу робочого органа

$$N_{\text{под}} = P_{\text{под}} V_n; \quad (8)$$

$$P_{\text{под}} = (P_{zv} + P_{yv}), \quad (9)$$

де P_{zv} и P_{yv} – відповідно сума проєкцій на вісь, яка збігається з напрямком подачі, тангенціальних і нормальних сил, H .

З урахуванням (3)

$$P_{zv} = -q_v \tilde{H} \frac{V_n}{V_p} \int_0^{\tilde{l}_k} \sin \alpha_0 \cos \alpha_0 d\tilde{l}_k; \quad (10)$$

$$P_{yv} = -q_v \tilde{H} \frac{V_n}{V_p} \int_0^{\tilde{l}_k} \sin^2 \alpha_0 d\tilde{l}_k.$$

Після інтегрування та підстановки в (8) та (9)

$$N_{\text{под}} = \frac{R_0}{2} q_v \tilde{H} \frac{V_n^2}{V_p} x \left(\frac{\tilde{l}_k}{R_0} - \frac{1}{2} \sin 2 \frac{\tilde{l}_k}{R_0} + \sin^2 \frac{\tilde{l}_k}{R_0} \right). \quad (11)$$

Із порівняння (11) і (4) видно, що $\frac{N_{\text{под}}}{N} \ll 1$, так як значення $\frac{V_n^2}{V_p}$ невелике,

тобто потужність, що витрачається на подачу робочого органа машини, можна не враховувати.

Експериментальна перевірка отриманих теоретичних залежностей проводилася на спеціальних стендах. Схеми розподілу зусиль, що діють на абразивний круг при різанні труб, листового металопрокату, гірських порід і зачистці, наведено на рис. 2.

Вимірювання вертикальної P_B і горизонтальної P_X складових зусиль різання проводилося за допомогою тензометричного столу.

Точка прикладання результуючих сил, що виникають в процесі різання, розташована на лінії, яка з'єднує центри круга і труби (рис. 2, а)

$$\varphi_{\text{тр}} = \arccos \left(\frac{R_0 - r_0}{R_0 + r_B} \right); \quad (12)$$

$$P_y = P_B \cos \varphi_{\text{тр}} + P_x; \quad (13)$$

$$P_z = P_x \cos \varphi_{\text{тр}} + P_B \cos \varphi_{\text{тр}},$$

де r_B – внутрішній радіус труби.

При різанні матеріалів з постійною висотою силові параметри визначаються зі схеми (рис. 2, б)

$$\varphi_1 = \frac{1}{2} \left[\pi - \arccos \left(1 - \frac{h}{R_0} \right) \right]; \quad (14)$$

$$P_y = P_B \sin \varphi_1 + P_x \cos \varphi_1; \quad (15)$$

$$P_z = P_B \cos \varphi_1 + P_x \cos \varphi_2.$$

При зачистці (рис. 2, в)

$$P_z = P_x; \quad (16)$$

$$P_y = P_B \sin \alpha_3.$$

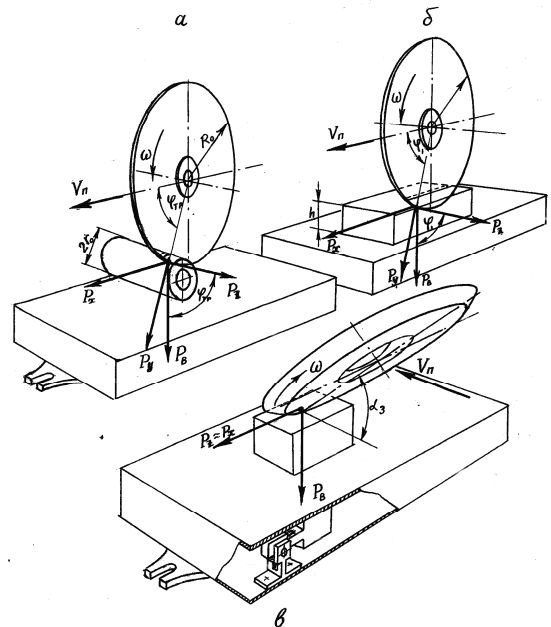


Рис. 2. Схема вимірювання зусиль, що діють на абразивний круг при різанні: а – труби, б – листового металу і в – зачистці

Fig.2. Chart of measuring of efforts, which operate on an abrasive circle at cutting: a – of pipe, b – sheet-metal and c – stripping

При визначенні тангенціальних і нормальних зусиль у формулах (13), (15), (16) підставляються значення P_x і P_B , що отримані в процесі тензометрування і відповідній максимальній довжині дуги контакту.

На рис. 3 показані залежності тангенціальних зусиль від робочих швидкостей, подачі і довжини дуги контакту при різанні, а на рис. 4 експериментальні дані, отримані при зачистці.

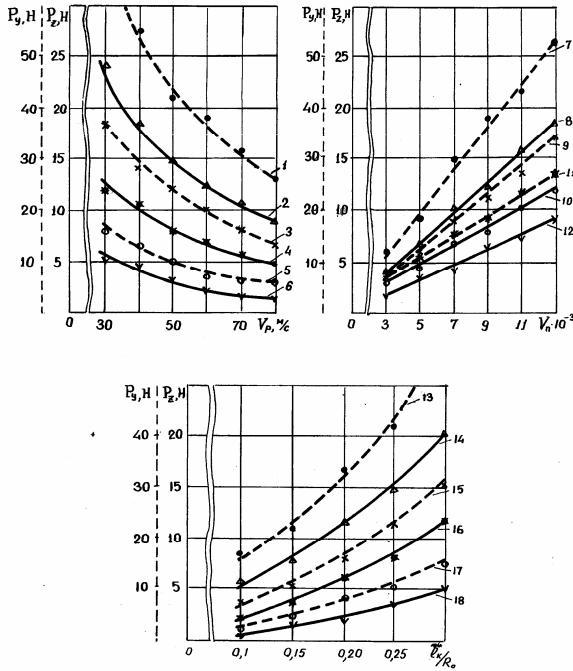


Рис. 3. Залежності нормальних P_y і тангенціальних P_z зусиль від режимів роботи (V_p, V_n) і довжини дуги контакту $\frac{l_k}{R_0}$ при різанні: ---- – теоретичні залежності; •; Δ; ∇; x; ○; * – експериментальні дані: 1, 2, 13, 14 – $V_n = 1,3 \cdot 10^2$ м/с; 3, 4, 15, 16 – $V_n = 0,7 \cdot 10^2$ м/с; 5, 6, 17, 18 – $V_n = 0,3 \cdot 10^2$ м/с; 11, 12 – $V_p = 80$ м/с; 7, 8 – $V_p = 40$ м/с; 9, 10 – $V_p = 60$ м/с

Fig.3. Dependences of normal P_y and tangential efforts P_z on office (v_p, v_n) and length of arc of contact $\frac{l_k}{R_0}$ hours at cutting: ---- – are theoretical dependences; •; Δ; ∇; x; ○; * – are experimental data: 1, 2, 13, 14 – $v_n = 1,3 \cdot 10^2$ m/s; 3, 4, 15, 16 – $v_n = 0,7 \cdot 10^2$ m/s; 5, 6, 17, 18 – $v_n = 0,3 \cdot 10^2$ m/s; 11, 12 – $v_p = 80$ m/s; 7, 8 – $v_p = 40$ m/s; 9, 10 – $v_p = 60$ m/s

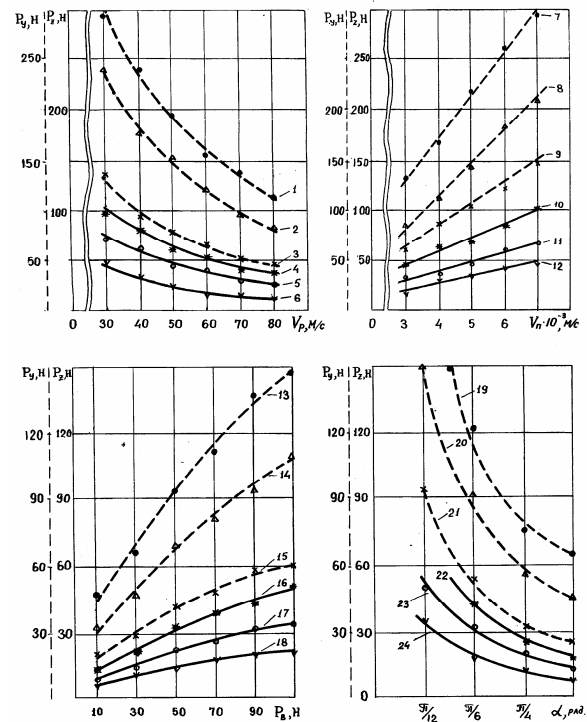


Рис. 4. Залежності нормальних P_y і тангенціальних P_z зусиль від режимів роботи (V_p, V_n), зусилля притискання P_B і кута нахилу (α) круга до оброблюваної поверхні при зачистці: ---- – теоретичні залежності; •; Δ; ∇; x; ○; * – експериментальні дані: 1, 4, 13, 16, 19, 22 – $V_n = 7 \cdot 10^{-3}$ м/с; 2, 5, 14, 17, 20, 23 – $V_n = 5 \cdot 10^{-3}$ м/с; 3, 6, 15, 18, 21, 24 – $V_n = 3 \cdot 10^{-3}$ м/с; 7, 10 – $V_p = 40$ м/с; 8, 11 – $V_p = 60$ м/с; 9, 12 – $V_p = 80$ м/с

Fig.4. Dependences of normal P_y and tangential P_z efforts on office, effort of pinning P_B and angle of slope (α) of circle hours to the processed surface at stripping: ---- - theoretical dependences; •; Δ; ∇; x; ○; * – are experimental data: 1, 4, 13, 16, 19, 22 – $v_n = 7 \cdot 10^{-3}$ m/s; 2, 5, 14, 17, 20, 23 – $v_n = 5 \cdot 10^{-3}$ m/s; 3, 6, 15, 18, 21, 24 – $v_n = 3 \cdot 10^{-3}$ m/s; 7, 10 – $v_p = 40$ m/s; 8, 11 – $v_p = 60$ m/s; 9, 12 – $v_p = 80$ m/s

Аналіз результатів досліджень показує, що основний вплив на величину потужності має швидкість подачі. Відсутність впливу колової швидкості пояснюється тим, що P_z обернено пропорційно V_p . Зі збільшенням товщини стружки, що зрізується, тобто з ростом швидкості подачі або зменшенням

робочої швидкості, нормальні і тангенціальні зусилля збільшуються. Однак при цьому знижується енергоємність обробки, тому що зменшується робота, яка витрачається на диспергування зруйнованого матеріалу.

Експериментально встановлено, що при різанні і зачистці металу $K_T = \frac{P_y}{P_v} = 0,35 \dots 0,4$,

енергоємність $q_v = 3,6 \cdot 10^9 \frac{\text{Дж}}{\text{м}^3}$, а неметалі-

чних матеріалів відповідно $K_T = 0,45 \div 0,5$ і

$q_v = 6 \cdot 10^8 \frac{\text{Дж}}{\text{м}^3}$.

Слід зазначити, що при виконанні зачисних операцій схема роботи визначається специфікою оброблюваного об'єкта. Так, наприклад, зачистку зварного шва доцільно проводити бічною поверхнею внаслідок того, що в цьому випадку довжина дуги контакту максимальна. Разом з тим необхідно також враховувати явища теплових процесів, тобто співвідношення часу проходження ділянкою круга зон нагрівання та охолодження. Встановлено, що сприятливий тепловий режим створюється в разі, якщо виконується умова $\frac{\tilde{I}_k}{R_o} \leq 0,2 \dots 0,3$.

ВИСНОВКИ

В результаті проведених досліджень отримані дані, що дозволяють визначити оптимальні силові параметри машин для виконання обрізних і зачисних операцій абразивними армованими кругами.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Абрашкевич Ю.Д., Смірнов В.М., Пелевін Л.Є., Рашиківський В.П.* Механізація трудомістких процесів. К., 2006, 80 с.
2. *Никулин В.В.* К определению глубины реза зубками барабанных режущих органов // Изв. ВУЗов. Горный журнал, 1966, № 4, с. 91-94.
3. *Маслов Е.Н.* Теория шлифования материалов. М., Машиностроение, 1974, 319 с.
4. *Гуляев К.Ф.* Исследование процесса шлифования торцом круга. Станки и инструмент, 1938, № 3, с. 28-31.
5. *Мачишин Г.* Робочі органи машин та механізмів для очищення поверхонь будівельної техніки / Г. Мачишин // Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. - № 83. - 2014. - С. 69-79.
6. *Абрашкевич Ю.* Вплив теплових процесів на роботоздатність відрізних інструментів / Ю. Абрашкевич, А. Поліщук // Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. - № 81. - 2013. - С. 37-42.

REFERENCES

1. *Abrashkevych Y.D., Smirnov V.M., Pelevin L.E., Rashkivskyy V.P., 2006.* The mechanization of labor-intensive processes. Kyiv, 80. - (in Ukrainian)
2. *Nikulin V.V., 1966.* Determination of the depth of cut of the cutting teeth drum ORTK. Math. Colleges and universities. Mining Journal, № 4, 91-94. - (in Russian)
3. *Maslov E.N., 1974.* Theory of grinding materials. M., Mechanical Engineering, 319. - (in Russian)
4. *Gulyaev K.F., 1938.* Investigation of the process of grinding the end face of the circle. Machines and tools, № 3, 28-31. - (in Russian)
5. *Machyshyn G., 2014.* Robochi organy mashin ta mehanizmiv dlyia ochischniya poverhon budivelnoi tehniky [Working bodies of machines and tools for surface cleaning construction machinery]. Girnichi, budivelni, dorozhni ta meliorativni mashyny [Mining, constructional, road and melioration machines], No.83, 2014, 69-79. - (in Ukrainian)
6. *Abrashkevych Y., Polishchuk A., 2013.* [Effect of thermal processes on workability detachable tools]. Girnichi, budivelni, dorozhni ta meliorativni mashyny [Mining, constructional, road and melioration machines], No.81, 2013, 37-42. - (in Ukrainian)

