

Литература.

1. Логачева, А. И. Аддитивные технологии производства ответственных изделий из металлов и сплавов (обзор) / А. И. Логачева, Ж. А. Сентюрина, И. А. Логачев // Перспективные материалы. – 2015. – № 5. – С. 5–15.
2. Зленко, М. А. Аддитивные технологии в машиностроении / М. А. Зленко, А. А. Попович, И. Н. Мутылина. – С-Пб.: Изд-во политехн. ун - та, 2013. – 222 с.
3. Фомин, В.М. Микроструктура при лазерном сплавлении металлических порошков / В.М. Фомин, А.Г. Маликов, А.М. Оришич, А. О. Токарев// Новости материаловедения. Наука и техника. – 2015. – №3 (15). С. 25 – 31.
4. Шишковский, И. В. Лазерный синтез функционально-градиентных мезоструктур и объемных изделий. – М.: ФИЗ-МАТЛИТ, 2009. – 424 с.
5. Хасуи А., Моригаки О. Напыление и наплавка – М.: Машиностроение, 1985. –240 с.
6. Anyakin, M., Optimal conditions for process of rapid prototyping / M. Anyakin, P. Kondrashov, A. Mukhoid, A. Stepura, V. Kovalenko // Laser Technologies in Welding and Materials Processing. Kiev/ E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU. P.135-141
7. Пилипчук, А. П. Использование самофлюсующихся сплавов для создания деталей методом селективного лазерного спекания / А. П. Пилипчук, О. Г. Девойно, Ю.А. Грибков, Н.И. Луцко // Вестн. Воен. Акад. Респ. Беларусь. – 2016. – № 1(50). – С. 165–174.

**ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ РЕЗАНИЯ НА ЭНЕРГОЗАТРАТЫ ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ  
ОБРАБОТКЕ**

*С. И. Петрушин, д.т.н., проф., Р.Х. Губайдулина, к.т.н., доц., Ш.С. Нозирзода, студент  
Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского  
Томского политехнического университета  
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. (8384-51)7-77-61  
E-mail: victory\_28@mail.ru*

*Введение*

Любой технологический процесс, при котором изменяются свойства материала или форма изделия, требует определенных затрат электрической энергии. Из традиционных способов формообразования наиболее энергоэффективными являются методы лезвийной обработки резанием. Так, если принять за единицу количество электроэнергии, расходуемой на снятие с заготовки единицы объема при точении, то для шлифования эта величина возрастет в сто раз, а для электрохимических и электрофизических способов обработки – в тысячу раз и более [1]. Поэтому при разработке современных технологий необходимо соизмерять получаемый положительный эффект от их внедрения с возникающими затратами электроэнергии. С другой стороны, в традиционных способах механической технологии расходы на электроэнергию зависят от условий обработки и в первую очередь от режима резания. Рассмотрим этот вопрос применительно к точению черных металлов сборными резцами с механическим креплением сменных многогранных пластин [2].

*Результаты и обсуждение*

Под энергозатратами  $H$  на механическую обработку понимается расход количества электрической энергии на снятие одного килограмма стружки [1]:

$$H = \frac{N \cdot \tau}{W \cdot \lambda} \text{ кВт.·час/кг}, \quad (1)$$

где  $N$  – мощность, затрачиваемая на резание, кВт;

$\tau$  – время резания, час;

$W$  – объем снятой стружки за время резания, м<sup>3</sup>;

$\lambda$  – плотность обрабатываемого материала, кг/м<sup>3</sup>.

Величинам  $N$  и  $W$  соответствуют известные выражения [1]

$$N = \frac{P_z \cdot V}{60 \cdot 1020}; \quad (2)$$

$$W = 60 \cdot 10^{-6} \cdot V \cdot t \cdot S \cdot \tau, \quad (3)$$

где  $P_z$  – тангенциальная составляющая силы резания, Н;

$V$  – скорость резания, м/мин;

$t$  – глубина резания, мм;

$S$  – продольная подача, мм/об.

Подставив выражения (2) и (3) в формулу (1) и приведя все величины к единой размерности, получим:

$$H = \frac{P_z}{3,67 \cdot t \cdot S \cdot \lambda} \quad (4)$$

Для дальнейшего анализа воспользуемся данными работы [2], где для условий наружного продольного точения серого чугуна марки СЧ 25 ( $\lambda = 7,15 \text{ кг/М}^3$ ) резцами, оснащенными трехгранными пластинами из твердого сплава ВК 6.

Как следует из выражения (4) для расчета энергозатрат необходимо знать составляющую силу резания  $P_z$ .

Опыты по выявлению влияния режимов резания на силу резания выполнялись резцом конструкции ВА3, оснащенным трехгранной пластиной правильной формы с задним углом 01331-160308 К6 ГОСТ 19045-80 со следующими геометрическими параметрами:  $\alpha = 6^\circ$ ,  $\gamma = 5^\circ$ ,  $\varphi = 90^\circ$ ,  $\varphi_1 = 30^\circ$ ,  $\lambda = 0^\circ$ ,  $r = 0,8 \text{ мм}$ . Базовое сочетание параметров режима резания:  $V = 1,0 \text{ м/с}$ ,  $t = 2 \text{ мм}$ ,  $S = 0,57 \text{ мм/об}$ . Работа без СОЖ. Каждая экспериментальная точка повторялась не менее пяти раз. Скорость резания изменялась в пределах от 0,33 до 1,67 м/с (рис.1).

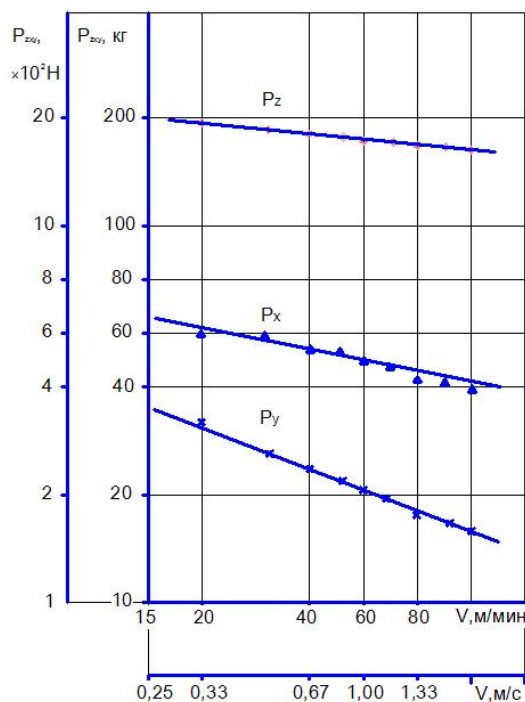


Рис. 1. Влияние скорости резания на составляющие силу резания: СЧ25-ВК6; резец – ВА3, квадратная пластина с задним углом,  $\varphi = 90^\circ$ ;  $t = 2 \text{ мм}$ ;  $S = 0,57 \text{ мм/об}$ .

Опыты показали экспериментальные исследования, что с увеличением скорости резания все составляющие силу резания монотонно уменьшаются, причем медленнее остальных составляющая  $P_z$ , а интенсивнее –  $P_y$ . Соответствующие аппроксимационные формулы имеют вид:

$$P_z = 235,6 V^{-0,07}; \quad (5)$$

$$P_y = 122,4 V^{-0,44}; \quad (6)$$

$$P_x = 138,0 V^{-0,27}. \quad (7)$$

Результаты экспериментов влияния глубины резания и подачи на силу резания представлены на рис.2а, – для составляющей силу резания  $P_z$ , на рис.2б – для составляющей  $P_y$  и на рис.2в – для  $P_x$ .

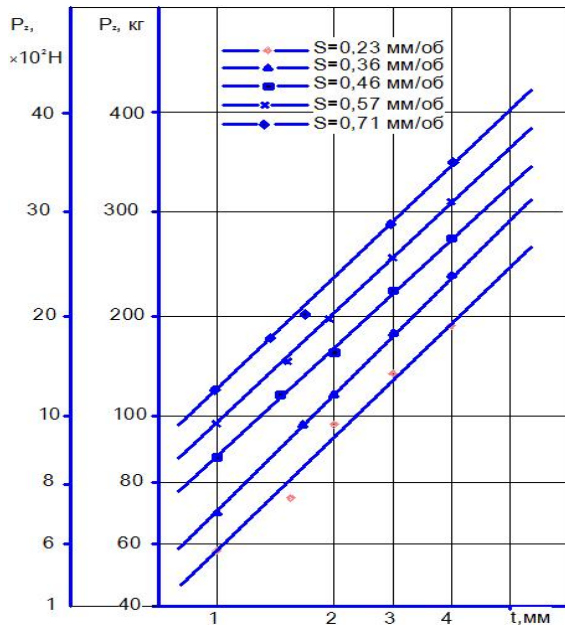


Рис.2а. Влияние глубины резания и подачи на составляющие  $P_z$  СЧ25-ВК6, резец – ВА3, трехгранная пластина с задним углом,  $V=1,0$  м/с

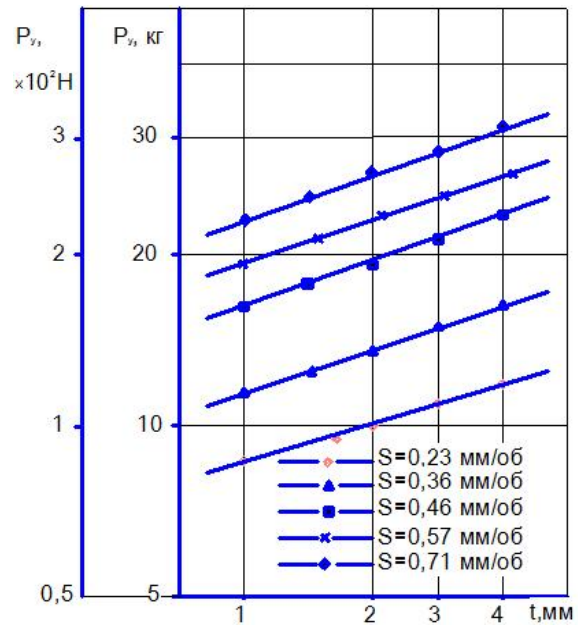


Рис.2б. Влияние глубины резания и подачи на составляющие  $P_y$  СЧ25-ВК6, резец – ВА3, трехгранная пластина с задним углом,  $V=1,0$  м/с

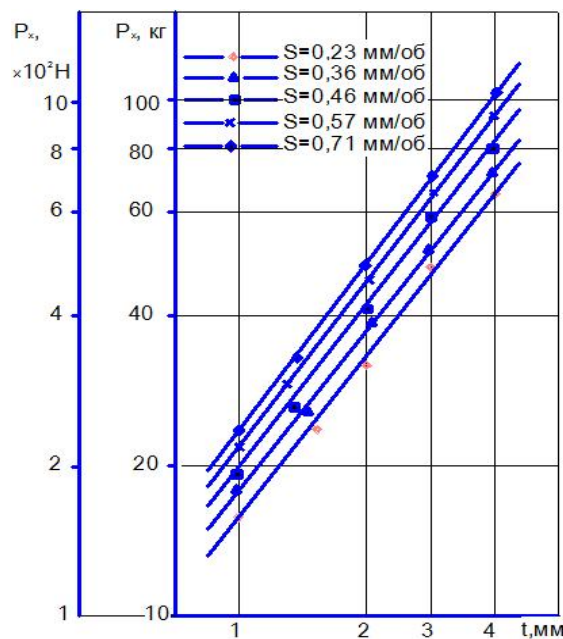


Рис.2в. Влияние глубины резания и подачи на составляющие  $P_x$  СЧ25-ВК6, резец – ВА3, трехгранная пластина с задним углом,  $V=1,0$  м/с

Из приведенных рисунков следует, что между подачей и глубиной резания отсутствует взаимовлияние и в качестве математической модели можно принять выражение вида

$$P_z = C_{Pz} \cdot t^{X_{Pz}} \cdot S^{Y_{Pz}};$$

$$P_y = C_{Py} \cdot t^{X_{Py}} \cdot S^{Y_{Py}};$$

$$P_x = C_{Px} \cdot t^{X_{Px}} \cdot S^{Y_{Px}}.$$

Обработка результатов опытов по «классическому» методу дала общие для глубины резания и подачи зависимости следующего вида:

$$P_z = 145,7 \cdot t^{0,85} \cdot S^{0,68}; \quad (8)$$

$$P_y = 28,9 \cdot t^{0,29} \cdot S^{0,78}; \quad (9)$$

$$P_x = 28,9 \cdot t^{1,13} \cdot S^{0,36}. \quad (10)$$

Заметим, что в формулу (4) скорость резания непосредственно не входит, но ее влияние на энергозатраты передается через составляющую  $P_z$ . Если подставить в нее выражение (5) и численные значения постоянных величин, то получим:

$$H = 0,787 \cdot V^{-0,07}, \text{ кВт-час/кг}. \quad (11)$$

Аналогично можно получить зависимость энергозатрат от глубины резания и подачи путем подстановки (8) в (4):

$$H = \frac{0,397}{t^{0,15} S^{0,32}}, \text{ кВт-час/кг}. \quad (12)$$

Анализ выражений (11) и (12) показывает, что энергозатраты снижаются при интенсификации режима резания. Наиболее эффективным средством их понижения является повышение величины подачи, менее эффективным – повышение глубины резания. Повышение скорости резания, хотя и приводит к некоторой экономии энергии, дает слабый эффект и к тому же неблагоприятно отражается на срок службы инструмента.

Так, если на энергозатраты скорость резания влияет в степени 0,07, то на стойкость – в степени 4,2 [2].

Была получена развернутая формула для расчета энергозатрат, учитывающая не только влияние режима резания, но также радиуса при вершине  $r$ , формы сменной многогранной пластины и ее износа следующего вида:

$$H = 0,0735 \cdot V^{-0,07} \cdot t^{-0,15} \cdot S^{-0,32} \cdot r^{0,01} \cdot K_{\phi p_z} \cdot K_{h p_z}. \quad (13)$$

Значения поправочных коэффициентов в формуле (13) приведены в таблице 1 и 2. Формула (9) справедлива в следующих диапазонах изменения аргументов:  $V=0,33 - 1,67$  м/с;  $t=1 - 4$  мм;  $S=0,23 - 0,71$  мм/об;  $r=0,8 - 2,6$  мм.

Таблица 1

Значение поправочного коэффициента на величину износа

Износ $h_3$ , мм	$K_{h p_z}$
0,0	1,00
0,5	1,01
0,8	1,02
1,0	1,04
1,2	1,11
1,5	1,27

Таблица 2

Значение поправочного коэффициента на форму пластины

Форма пластины	$K_{ФР2}$
Правильная трехгранная с задним углом	1,00
Правильная трехгранная пластина	1,12
Неправильная трехгранная с отверстием и стружечными канавками	1,10
Квадратная с отверстием и стружечными канавками	1,14
Пятигранная с отверстием и	1,12
Шестигранная с отверстием и стружечными канавками	1,05
Ромбическая с отверстием и стружечными канавками	1,11
Параллелограммная со стружечными канавками правая	0,96

### ВЫВОДЫ

- Механическая обработка резанием заготовок деталей машин является наиболее экономичной технологией с точки зрения затрат электроэнергии по сравнению с такими современными технологиями, как физико-технические методы, включая электрохимическую, электроэрозионную, ультразвуковую, лазерную обработку, методы быстрого прототипирования и другие. Поэтому при внедрении этих «высоких» технологий необходимо учитывать это обстоятельство.
- Получена формула для расчета энергозатрат, учитывающая не только влияние режима резания, но также радиуса при вершине  $r$ , формы сменной многогранной пластины
- На примере точения серого чугуна сборными резами со сменными многогранными пластинами показано, что резание с большими подачами (силовое резание) более энергоэффективно, чем скоростное (резание с большими скоростями).

### Литература.

1. Дульзон А.А., Ушаков В.Я., Чубик П.С. Ресурсоэффективность – основа устойчивого развития цивилизации // Известия Томского политехнического университета. – 2012. – Т.320. – №6. – С.39–46.
2. Boyett J.H., Boyett J.T. Management-Guide: Die Top-Ideen der Management- Gurus.-Munchen: Econ, 1999.–399p.
3. Климова Г.Н. Энергосбережение на промышленных предприятиях.– Томск: Изд-во ТПУ, 2008.–181с.
4. Ушаков В.Я. Энергосбережение и повышение энергетической эффективности: социально-экономические, организационные и правовые аспекты. Томск: Изд-во ТПУ, 2011.–280с.
5. Грановский Г. И., Грановский В. Г. Резание металлов. – М.: Высшая школа, 1985. – 304 с.
6. Петрушин С. И., Грубый С. И. Обработка чугунов и сталей сборными резами со сменными многогранными пластинами. – Томск: Изд-во ТПУ, 2000. – 156 с.
7. Petrushin S.I., Proskokov A.V. Theory of Constrained Cutting: Chip Formation with a Developed Plastic\_Deformation Zone //Russian Engineering Research, 2010. -т. 30 -№ 1 -с. 45–50 (10944362)
8. Petrushin S. I. Differential equation for tool wear // Russian Engineering Research. - 2015 - Vol. 34 - №. 12. - p. 756-762
9. Gubaydulina R. K., Petrushin S. I., Galeeva A. A. Selecting an Economical Variant of the Manufacturing Method of Engineering Product Fabrication under Current Conditions // Applied Mechanics and Materials. - 2014 - Vol. 682. - p. 613-616
10. N. A. Saprykina, A. A. Saprykin Improvement of surface layer formation technology for articles produced by layer-by-layer laser sintering // Applied Mechanics and Materials. vol. 379 (2013). pp. 56-59.
11. N. A. Saprykina, A. A. Saprykin, Influence of Layer-by-layer Laser Sintering Modes on the Thickness of Sintered Layer of Cobalt-chromium-molybdenum Powder, Applied Mechanics and Materials. 1040. (2014).pp.808-811.
12. Belomestnykh V. N., Soboleva E. G. Behavior of Poisson's ratio in the crystal Cu<sub>2</sub>O // Applied Mechanics and Materials. - 2014 - Vol. 682. - p. 170-173.
13. Chinakhov D A, Dependence of Silicon and Manganese Content in the Weld Metal on the Welding Current and Method of Gas Shielding Applied Mechanics and Materials 756 2015 p 92-96