

УДК 621.91.01

Петрушин С.И., профессор, д.т.н.

(ЮТИ ТПУ, г. Юрга),

Шамарин Н.Н., аспирант

(ЮТИ ТПУ, г. Юрга).

Petrushin S.I., professor, doctor of engineering sciences

(IUTI TPU, Iurga),

Shamarin N.N., graduate student

(IUTI TPU, Iurga).

## ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

### ENERGY EFFICIENCY OF MACHINING

#### Аннотация

Установлено, что механическая обработка резанием заготовок деталей машин является наиболее экономичной технологией с точки зрения затрат электроэнергии по сравнению с современными технологиями. Получена развернутая формула для расчета энергозатрат, учитывающая влияние режима резания, радиуса при вершине, формы сменной многогранной пластины и ее износа. На примере точения серого чугуна сборными резцами показано, что резание с большими подачами (силовое резание) более энергоэффективно, чем резание с большими скоростями (скоростное резание).

#### Abstract

Machining of machine parts is the most cost-effective technology in terms of electricity consumption compared to current technologies. Was found a complex formula for calculating the energy consumption, which accounts for the effect of cutting conditions, the radius at the vertex, geometry of indexable insert and its wear. During the monitoring the process of turning cast iron was found that working with high feed more energy efficient than cutting with high cutting speeds.

#### Введение

Проблемам энергосбережения и эффективности использования энергетических ресурсов во всем мире уделяется наибольшее внимание. Одним из важнейших факторов интенсификации и повышения эффективности производства является режим экономии энергопотребления производимой продукции. Особенно это актуально для энергоемких промышленных отраслей экономики [1-3]. Рассмотрим этот вопрос для машиностроительной отрасли. 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 [4]. 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 [5].

#### Результаты и обсуждение

Под энергозатратами  $H$  на механическую обработку понимается расход количества электрической энергии на снятие одного килограмма стружки [4]:

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

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 [9]

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

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

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 [5], где для условий наружного продольного точения серого чугуна марки СЧ 25 ( $\lambda = 7,15$  кг/м<sup>3</sup>) 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 ВАЗ, оснащенный трехгранной пластиной правильной формы с задним углом 01331-160308 К6 ГОСТ 19045-80 со следующими геометрическими параметрами:  $\alpha = 6^\circ$ ,  $\gamma = 5^\circ$ ,  $\varphi = 90^\circ$ ,  $\varphi_1 = 30^\circ$ ,  $\lambda = 0^\circ$ ,  $r = 0,8$  мм. Базовое сочетание параметров режима резания:  $V = 1,0$  м/мин,  $t = 2$  мм,  $S = 0,57$  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).

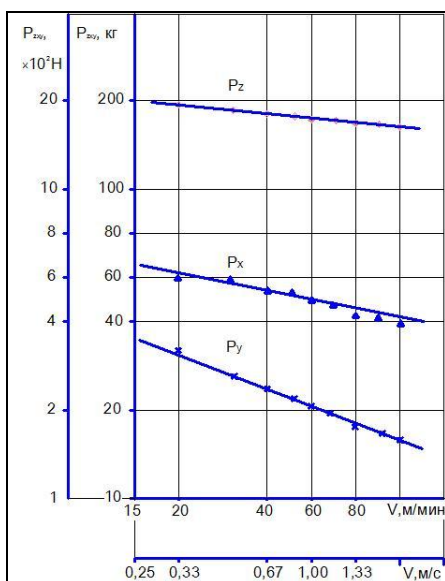


Рис.1. Влияние скорости резания на составляющие силы резания: СЧ25-ВК6; резец – ВАЗ, квадратная пластина с задним углом,  $\varphi = 90^\circ$ ;  $t = 2$  мм;  $S = 0,57$  мм/об.

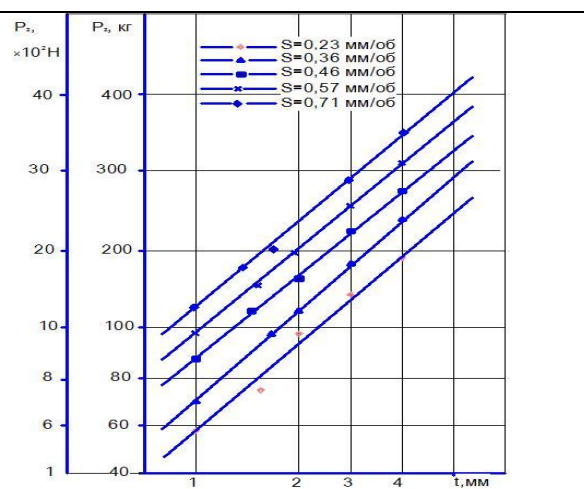


Рис.2а. Влияние глубины резания и подачи на составляющие  $P_z$

СЧ25-ВК6, резец – ВАЗ, трехгранная пластина с задним углом,  $V = 1,0$  м/с

Экспериментальные исследования показали, 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:

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

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

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

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

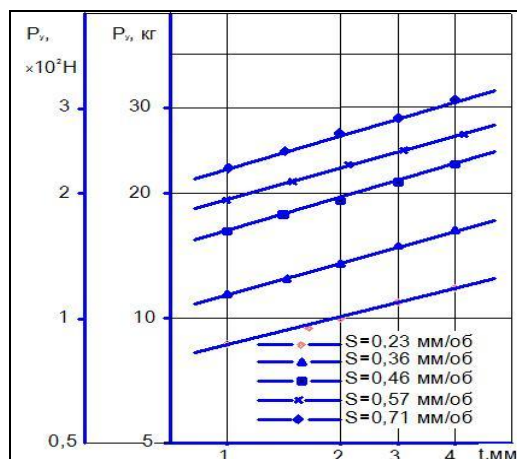


Рис.2б. Влияние глубины резания и подачи на составляющие  $P_y$   
 СЧ25-ВК6, резец – ВАЗ, трехгранная пластина с задним углом,  $V = 1,0$  м/с

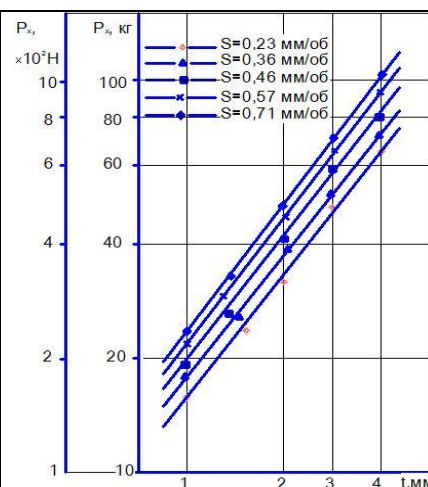


Рис.2в. Влияние глубины резания и подачи на составляющие  $P_x$   
 СЧ25-ВК6, резец – ВАЗ, трехгранная пластина с задним углом,  $V = 1,0$  м/с

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

$$P_z = C_{Pz} \cdot t^{X_{Pz}} \cdot S^{Y_{Pz}}; \quad (8)$$

$$P_y = C_{Py} \cdot t^{X_{Py}} \cdot S^{Y_{Py}}; \quad (9)$$

$$P_x = C_{Px} \cdot t^{X_{Px}} \cdot S^{Y_{Px}}. \quad (10)$$

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

$$P_z = 145,7 \cdot t^{0,85} \cdot S^{0,68}; \quad (11)$$

$$P_y = 28,9 \cdot t^{0,29} \cdot S^{0,78}; \quad (12)$$

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

Заметим, что в формулу (4) скорость резания непосредственно не входит, но ее влияние на энергозатраты передается через составляю-

щую  $P_z$ . Если подставить в нее выражение (5) и численные значения постоянных величин, то получим:

$$H = 0,787 \cdot V^{-0,07} \text{ кВт-час/кг.} \quad (14)$$

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

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

Анализ выражений (14) и (15) 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 сроке службы инструмента. Так, если на энергозатраты скорость резания влияет в степени 0,07, то на стойкость – в степени 4,2 [5].

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:

$$H = 0,0735 \cdot V^{-0,07} \cdot t^{-0,15} \cdot S^{-0,32} \cdot r^{0,01} \cdot K_{\phi P_z} \cdot K_{h P_z}. \quad (16)$$

Значения поправочных коэффициентов в формуле (16) приведены в таблице 1 и 2. Формула (16) 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

Значение поправочного коэффициента на форму пластины

Форма пластины	$K_{\phi P_z}$
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 современных 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. Полученные формулы могут быть использованы для разработки норм энергопотребления в производственно-хозяйственной деятельности предприятия.
- На примере точения серого чугуна сборными резцами со сменными многогранными пластинами показано, что резание с большими подачами (силовое резание) более энергоэффективно, чем скоростное (резание с большими скоростями), что позволит повысить рентабельность производства и конкурентоспособность производимой продукции.

Список литературы

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. Климова Г.Н. Энергосбережение на промышленных предприятиях.– Томск: Изд-во ТПУ, 2008.–181с.
3. Ушаков В.Я. Энергосбережение и повышение энергетической эффективности: социально-экономические, организационные и правовые аспекты. Томск: Изд-во ТПУ, 2011.–280с.
4. Грановский Г. И., Грановский В. Г. Резание металлов. – М.: Высшая школа, 1985. – 304 с.
5. Петрушин С. И., Грубый С. И. Обработка чугунов и сталей сборными резцами со сменными многогранными пластинами. – Томск: Изд-во ТПУ, 2000. – 156 с.