Изследване влиянието на производителността на рязане върху специфичната консумирана енергия при струговане

Иван Колев, Стефан Велчев, Красимир Иванов, Симеон Гечевски

Abstract

The paper presents an better mathematical model which approximates the dependency of the specific consumed energy by the MRR using data from experimental research. The approximation of this dependency using a mathematical model allows forecasting the energy consumption and seeking ways for its lowering.

Keywords: *Mathematical model, MRR, specific energy consumed.*

ВЪВЕДЕНИЕ

В продължение на десетилетия икономиките в света и най-вече в Европа са се развивали бързо благодарение на неограничените възможности за евтини енергия и ресурси. От промишленото потребление на електроенергия в Европа през 2008 г може да се заключи, че за производството на метални изделия са изразходвани около 14,3 % или 164 млрд. kWh [5,6]. Ако се приеме, че едно 4-членно домакинство потребява 3500 kWh годишно, то консумираната енергия за производство на метални изделия се равнява на около 46,9 млн. домакинства. В същото време се наблюдава тенденция към по-енергоемки технологии за преработка, изискващи нарастване на производството на енергия, което от своя страна се отразява неблагоприятно върху околната среда. Във връзка със замърсяването на околната среда Европейския парламент прие някои документи [2,3] за създаване на рамка за определяне изискванията за екодизайна на енергопотребяващите продукти, към които се отнасят и металорежещите машини.

Намаляването на потреблението на енергия изисква познаване на нейната консумация, като функция на машината и параметрите на технологичния процес [1]. Съществуват проучвания, основани главно на приблизителни изчисления, но нито документацията на металорежещите машини, нито съществуващите методи на оценка биха дали съществен резултат. В някои публикации, като [4] и др. е установена връзката между енергията, необходима за рязане на материала и ефективността на фрезова машина при различни условия на рязане, но предлаганите математични модели са твърде сложни. Сравнително прост модел, описващ специфичния разход на енергия за отделяне на 1 cm^3 от срязвания слой на материала е даден в [8]:

$$SEC = C_o + \frac{C_1}{MRR}, \text{ kJ/cm}^3 \qquad (1)$$

където MRR е производителността на рязане, cm^3/s;

C_o и C_1 - специфични коефициенти за съответната машина.

В [7] моделът (1) е приложен за описване на специфичния разход на енергия при обработване на няколко струга с ЦПУ и фрезови машини при различни обработвани материали. Въпреки, че коефициентът на корелация на моделите е сравнително добър (над 0,9) този модел не отговаря на физичната същност на зависимостта на специфичния разход на енергия от производителността на машината. От структурата на модела се вижда, че при увеличаване на производителността специфичният разход клони към постоянна стойност, което влиза в противоречие с физичната същност на зависимостта, а коефициентът C_1, както отбелязват авторите, не съответства на мощността P_o на изразходваната енергия на машината при неподвижно вретено.

Целта на настоящата работа е провеждане на експериментално изследване и разработване на подобрен математичен модел за влиянието на производителността на рязане върху специфичната консумирана енергия при обработка на стругове с ЦПУ.

МАТЕМАТИЧЕН МОДЕЛ, АПРОКСИМИРАЩ ЗАВИСИМОСТТА НА СПЕЦИФИЧНАТА КОНСУМИРАНА ЕНЕРГИЯ ОТ ПРОИЗВОДИТЕЛНОСТТА НА РЯЗАНЕ

Мощността на консумираната енергия на струг с ЦПУ може да се изрази чрез зависимостта:

$$P_{ec} = P_o + P_Q, \quad (2)$$

където P_o е мощността на консумираната енергия при неподвижно вретено, kW;

P_Q - мощност на рязане, kW.

Специфичният разход на мощност е

$$e_{ec} = \frac{P_{ec}}{Q} = \frac{P_o}{Q} + \frac{P_Q}{Q}, \quad (3)$$

където Q е производителността на рязане.

Производителността на рязане Q се определя по формулата:

$$Q = v_c . f . a_p, \text{ cm}^3/\text{min}, \quad (4)$$

където v_c е скоростта на рязане, m/min;

f - подаване за оборот, mm/rev;

a_p - дълбочина на рязане, mm.

Изразът $\frac{P_Q}{Q}$, в (3) може да се предположи, че се апроксимира чрез степенна функция

$$\frac{P_Q}{Q} = c_o . Q^{c_1} \quad (5)$$

където c_o и c_1 са коефициенти.

Тогава математичният модел, описващ влиянието на производителността Q върху специфичната консумирана енергия e_{ecs} за системата на главния превод има вида:

$$e_{ecs} = \frac{P_{os}}{Q} + c_{os} . Q^{c_{1S}} \quad (6)$$

а за металорежещата машина моделът е:

$$e_{ecm} = \frac{P_{om}}{Q} + c_{om} . Q^{c_{1m}}, \quad (7)$$

където P_{os} и P_{om} са съответно мощността на консумираната енергия от главния превод и от металорежещата машина при неподвижно вретено;

c_{os}, c_{1S}, c_{om}, c_{1m} - коефициенти в моделите.

С второто събираемо на моделите (6) и (7) се отчита консумираната енергия съответно на входа на системата на главния превод и входа на машината без консумираната енергия, съответно с мощности P_{os} и P_{om}. Предложените модели (6) и (7) отговарят на физичната същност на зависимостта $e_{ec} = f(Q)$, т.е. с увеличаване на производителността на рязане специфичната консумирана енергия намалява, а при $Q = 0$, $P_{ec} = P_o$.

При обработване на резултатите от експерименталните изследвания ще бъдат сравнени моделите (6) и (7) с тези предложени от W. Li и S. Kara [8]:

$$e_{ecs} = c_{os} + \frac{c_{1s}}{Q} \quad (8)$$

$$e_{ecm} = c_{om} + \frac{c_{1m}}{Q} \quad (9)$$

където c_{os}, c_{om}, c_{1s}, c_{1m} - коефициенти в моделите.

УСЛОВИЯ НА ИЗСЛЕДВАНЕТО

Експерименталните изследвания са проведени на два струга СТ 161 и СТ 201. Условно единият струг СТ 161 е означен, като СТ 161-1, а другият - СТ 161 -2. Обработваните заготовки на струг СТ 161-1 и СТ 201 са от стомана 17 Г2 САФ с твърдост 186 НВ, като опитите са проведени със стругарски нож с държач PSSNL2525-12 и пластина SNMM120408 от инструментален материал 4225.Съобразно възможностите на избрания инструмент и обработвмания материал се прие следното вариране на елементите на режима на рязане - $v_c = 30 \div 290$ m/min; $f = 0{,}068 \div 0{,}625$ mm/rev и $a_p = 1 \div 3$ mm. Мощността е измервана с трифазен анализатор на електрически величини Quainter C. A. 8334 на френската фирма Chauvin Roux. Обработваните заготовки на струг СТ 161-2 са от стомана 40Х (GOST 4534) с твърдост 200-210 НВ. При изследването е използван стругарски нож с държач SSBCR 2525-12 и пластина SCMT 120408 PM, от инструментален материал 4215. Мощността е измервана с ватметри PM1200 на фирмата „Schneider". Елементите на режима на рязане варират като следва: $v_c = 70 \div 500$ m/min; $f = 0{,}09 \div 0{,}464$ mm/rev и $a_p = 1 \div 3$ mm.

РЕЗУЛТАТИ ОТ ИЗСЛЕДВАНЕТО

Изследването е проведено при различни производителности на рязане, получени чрез изменение на елементите на режима на рязане. При струговете СТ161-1 и СТ201 е измервана консумираната мощност на входа на главния превод, а на струг СТ161-2 са измервани едновременно с два ватметъра мощностите на входа на главния превод и на входа на машината.

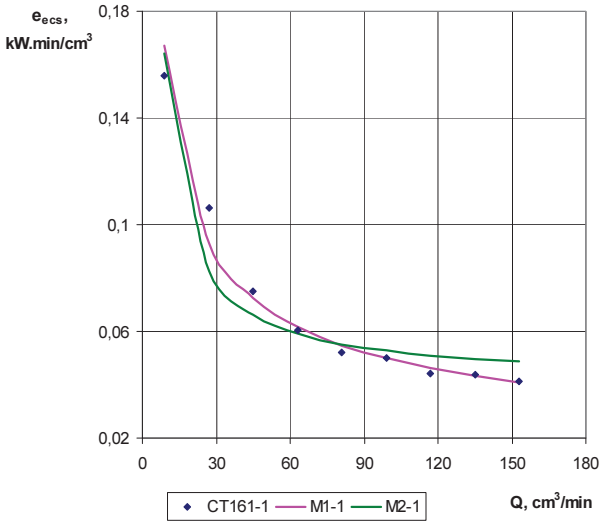
Коефициенти на математичните модели и статистически критерии за главни преводи Табл.1

№	Струг с ЦПУ	Модел (6)				Δe_{ecs} %	Модел (8)			Δe_{ecs} %
		P_{os}	c_{os}	c_{1s}	R^2		c_{os}	c_{1s}	R^2	
1.	СТ 161-1	0,388	0,3065	-0,4127	0,9730	12,5	0,0416	1,1016	0,9249	22,5
2.	СТ 161-2	0,638	0,1736	-0,2594	0,9787	9,8	0,0499	1,0477	0,9372	22,1
3.	СТ 201 I обхват	0,307	0,3140	-0,3556	0,9504	15	0,0564	1,0627	0,8722	26,1
4.	СТ 201 II обхват	0,149	0,9346	-0,5546	0,9557	8,5	0,0374	3,4976	0,9856	10,8

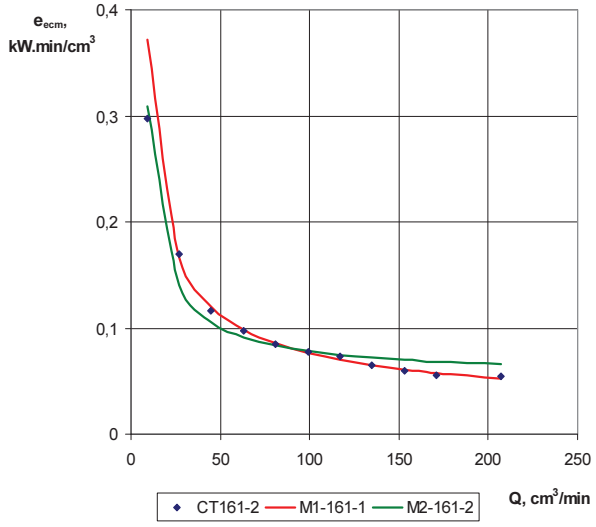
Коефициенти на математичните модели и статистически критерии за струг СТ 161 – 2 Табл.2

№	Струг с ЦПУ	Модел (7)				Δe_{ecm} %	Модел (9)			Δe_{ecm} %
		P_{om}	c_{om}	c_{1m}	R^2		c_{om}	c_{1m}	R^2	
1.	СТ 161-2	2,256	0,2539	-0,3380	0,9992	4,3	0,0552	2,2857	0,9702	23,7

Експерименталните данни са обработени с компютърна програма, в резултат на което са получени коефициентите на моделите, дадени в табл.1 и табл. 2. За оценка на математичните модели по отношение на адекватност в табл. 1 и табл. 2 са



Фиг.1. Зависимост $e_{ecs} = f(Q)$ за струг CT161-1



Фиг.2. Зависимост $e_{ecm} = f(Q)$ за струг CT161-2

дадени коефициента на детерминация R^2 и максималната относителна грешка $|\Delta e_{ec}|$. Сравнявайки моделите (табл.1, табл.2) се установява, че моделите (6) и (7), освен че отговарят на физичната същност на изследваната зависимост, осигуряват значително по-малка относителна грешка и по-голям коефициент на детерминация с изключение на СТ201-II обхват по отношение на R^2.

На фиг.1 е показана графично зависимостта на специфичната консумация на мощност от производителността на рязане за главния превод на струг СТ161-1, а на фиг. 2 – зависимостта, отнасяща се за цялата консумирана мощност на струг СТ161-2. Посочените точки на фигурите съответстват на дискретните стойности от опитните изследвания, а с непрекъсната линия е показана геометричната интерпретация на моделите (6) и (8) (фиг. 1) и моделите (7) и (9) (фиг. 2). Вижда се, че моделите (6) и (7) апроксимират значително по-добре опитните данни в сравнение с моделите (7) и (9). По подобен начин изглежда геометричната интерпретация и на другите модели, представени в табл. 1 и табл. 2.

ИЗВОДИ

Чрез експериментални изследвания и математично обработване на опитните данни при използване на физични и статистически критерии е получен и предложен подобрен математичен модел, апроксимиращ много добре зависимостта на специфичната консумирана мощност от производителността на рязане.

Полученият математичен модел може да се използва за прогнозиране на специфичната консумирана мощност на металорежещите машини и определяне на оптимални условия за минимален разход на енергия.

ЛИТЕРАТУРА

[1]. Dietmair, A., Verl, A. Energy Consumption Forecasting and Optimisation for Tool Machines, March 2009, Modern Machinary Science Journal, 62-67.

[2]. Directive 2005/32/EC of the European Parlament and the Council. Offizial Journal of the European Union, 22.07.2005, L 191/29.

[3]. Directive 2009/125/EC of the European Parlament and the Council. Offizial Journal of the European Union, 31.10.2009, L 285/10.

[4]. Draganescu, F., Gheorghe, M., Doicin, C.V. Models of machine tool efficiency and specific consumed energy. J. Mater. Process. Techol., 2003, №141, 9 –15.

[5]. European Commission.(2010) Energy – yearly statistics 2008, Eurostat Statistical Books. ISSN 1830-7833.

[6]. Duflou, J. R. , Kellens, K , Renaldi , Guo, Y , Dewulf, W. Critical Comparison of Methods to Determine the Energy Input for Discrete Manufacturing Processes. CIRP Annals - Manufacturing Technology 61,iss.1, 2012, 63–66.

[7]. Kara, S., Li, W. Unit Process Energy Consumption Models for Material Removal Processes. CIRP Annals - Manufacturing Technology 60, 2011, 37–40.

[8]. Li, W., Kara, S. An Empirical Model for Predicting Energy Consumption of Manufacturing Process: A Case of Turning Process, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture, September 2011, 225, 1636-1646.

За контакти:

Проф. д-р инж. Иван Колев, Катедра “Технология на машиностроенето и металорежещи машини”, Русенски университет “Ангел Кънчев”, тел.: 082-888 544, e-mail: kolev@uni-ruse.bg

Докладът е рецензиран