

Прогнозиране на консумираната мощност на главни преводи на стругове с ЦПУ чрез симулационно моделиране

Петър Ангелов, Красимир Иванов

Power Consumption Forecast of CNC Lathe Main Drives by Computer Simulations: This paper presents an approach for forecast and investigation of the mechanical power consumption of CNC Lathe Main Drives using 3D-modeling and digital prototyping.

Key words: CNC Lathe Main drives, Power Consumption, Digital prototyping.

ВЪВЕДЕНИЕ

Повишаването на енергийната ефективност на металорежещите машини (ММ) и в частност на машините с ЦПУ се търси основно в две насоки. Едната е свързана с намаляване на консумираната електрическа енергия в процеса на експлоатация чрез съставяне на оптимални планове [6, 7, 9, 10], а другата – със създаване на енергийно-ефективни ММ чрез проектиране и производство на енергоспестяващи възли и системи за тях [14].

В [11] са предложени някои основни принципи за изграждане на структурата на енергийно-ефективни ММ, които позволяват чрез дефиниране на производствената програма и технологичните процеси, за които е предназначена машината, да се извършва избор на кинематична структура, подходящи компоненти, системи за управление и степен на автоматизация.

В [8] е предложен подход за симулиране на консумацията на електрическа енергия чрез моделиране на взаимодействието между компонентите на ММ, като е отделено внимание основно на охладителната система.

Като е известно, един от енергоемките възли на ММ е главният превод. Липсата на данни за мощността за задвижване на празен ход, както и за допълнителните загуби на мощност, затруднява точното определяне на мощността на задвижващия електродвигател в процеса на проектиране. Затова мощността на двигателя най-често се избира в зависимост от необходимата максимална мощност на рязане и ориентиrowъчно приета стойност за к.п.д. на превода или по аналогия с изпълнени конструкции.

Количествено установяване на консумираната мощност досега е извършвано чрез експериментални енергийни изследвания на ММ [2, 3, 4] като изследователите са се ориентирали към измерване на мощността на консумираната електрическа енергия при установен режим на работа. Този подход не дава възможност да се разграничат механичните разходи на мощност от електрическите в главния превод и неговата система за управление. Освен това в литературата липсват опитни данни за разпределение на разходите на мощност между механизмите на главния превод, както и данни за консумираната мощност в периода на ускоряване на превода. Не е известно и изменението на електрическите загуби на мощност.

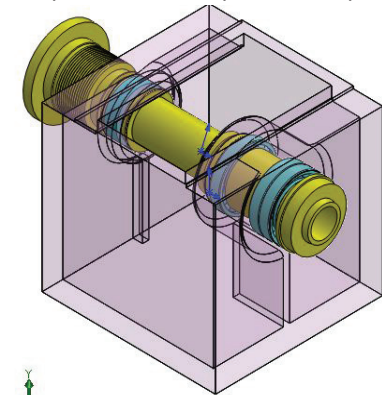
Трудностите при определяне на необходимата мощност за задвижване на главния превод при традиционните методи на проектиране са свързани с определянето на масовите и инерционните характеристики на детайлите при ранните стадии на проектиране. Използването на CAD-системи и 3D-Solid моделиране позволява в процеса на проектиране да се разполага с такива данни, което от своя страна дава възможност за изследване на движението на механични системи чрез компютърни симулации.

В настоящата работа се предлага един подход за прогнозиране и изследване на механичната мощност за задвижване на главни преводи на стругове с ЦПУ чрез използване на 3D-Solid модел на превода и изследване на неговото движение с помощта на софтуер за кинематичен и динамичен анализ. Като пример е взет

главният превод на струг с ЦПУ СТ161, за който се разполага с експериментални данни за мощността на консумираната електрическа енергия при струговане [2]. 3D-Solid моделът е разработен в среда SolidWorks 2012, а изследванията са проведени с пакета SolidWorks Motion [5].

УСЛОВИЯ НА МОДЕЛИРАНЕТО

На базата на конструкторска документация е създаден геометричният 3D-Solid модел на главния превод на споменатия по-горе струг с ЦПУ. Главният превод на струга СТ161 се състои от вретенна кутия (фиг.1), задвижвана от регулируем електродвигател посредством предавка с поликлинов ремък. Вретеното, заедно с монтираните на него детайли, с изключение на вретенните лагери, е моделирано като един детайл с оглед намаляване на обема на пресмятанията и съкращаване на времето за симулации. За търкалящите лагери са използвани геометрични модели от библиотеката Toolbox на SolidWorks. В модела на вретенната кутия като сглобена единица, с помощта на ограничения за сглобяване, са отнети пет степени на свобода на вретеното и е осигурена само една ротация около собствената му ос.



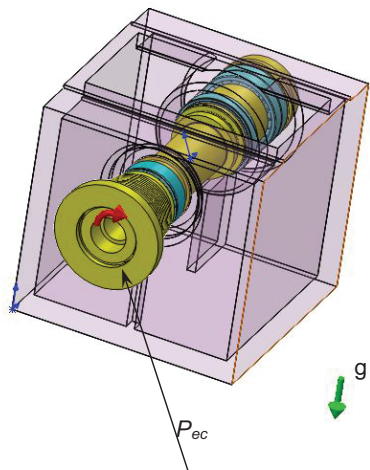
Фиг.1. 3D-Solid модел на вретенна кутия на струг с ЦПУ СТ161

лагерите и вретенната кутия. Приета е коравина на едноредовите радиално-аксиални сачмени лагери в предната опора $j = 8 \text{ DaN}/\mu\text{m}$, а на двуредния ролков лагер в задната опора $- j = 70 \text{ DaN}/\mu\text{m}$ [1]. За всички лагери е зададен максимален коефициент на демпфиране $h = 40 \text{ N.s/m}$ [15] и степенен показател за определяне на демпфиращата сила $n = 1,5$ [13]. Динамичният коефициент на триене в лагерите е приет по препоръки на SKF: за едноредните сачмени радиално-аксиални лагери $\mu = 0,0015$, а за двуредния ролков лагер $- \mu = 0,0011$ [12].

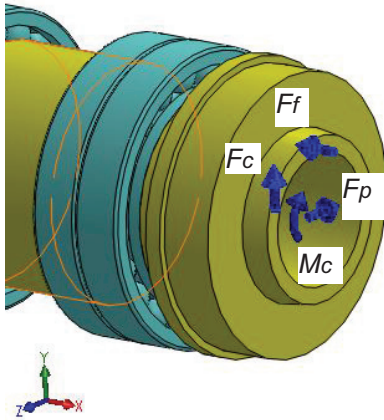
С ремъчната шайба в задния край на вретеното се свързва двигател за въртливо движение (фиг.2), на който, като резултат от симулациите, се търси консумираната мощност при различни честоти на въртене и различно натоварване.

За отчитане на влиянието на собственото тегло на подвижните детайли в модела се включва и действието на гравитация с ускорение $g = 9,80665 \text{ m/s}^2$ [13].

На базата на геометричният модел, чрез пакета SolidWorks Motion, е създаден кинематичен и динамичен модел на главния превод за изследване на неговото движение. В динамичния модел, вретенните опори се моделират като еластични опори с триене чрез елементи от типа „контакт“ между



Фиг.2. Моделиране на електродвигател и гравитация



Фиг.3. Моделиране на работното натоварване

а силата на подаване F_f – 20% от главната сила ($F_f = 0,2.F_c$).

Симуляционното моделиране е проведено с помощта на матрицата на планиране на опитите, използвана при експерименталното изследване на посочения главен превод. Главната сила на рязане е определена в точките от факторното пространство, прието за провеждане на «диагоналните» експерименти, проведени чрез вариране с дълбочината на рязане, подаването и скоростта на рязане [2].

За целите на дигиталния експеримент главната сила на рязане се заменя с динама (съсредоточена сила, минаваща през оста на вретеното и въртящ момент).

При всеки опит се симулира работата на главния превод в продължение на 5 сек., от които първите две секунди са за ускоряване на вретеното на празен ход до честотата на въртене за съответния опит, а останалите три – за работа под действие на силите на рязане.

РЕЗУЛТАТИ ОТ ИЗСЛЕДВАНЕТО

С помощта на пакета SolidWorks Motion е изследвана необходимата механична мощност за задвижване на вретеното при различни сили на рязане и различни честоти на въртене.

На фиг.4 е показано изменението на прогнозираната механична мощност на главния превод $P_{пр}$ в зависимост от натоварването при различни честоти на въртене. С увеличаване на изчислената мощност на рязане $P_{си}$, прогнозираната мощност на главния превод нараства, като остава винаги по-голяма от

Предният край на вретеното се натоварва с компонентите на силата на рязане (фиг.3). Главната сила на рязане F_c се определя по формулата:

$$F_c = C_{F_c} \cdot a_p^{x_{F_c}} \cdot f^{y_{F_c}} \cdot v_c^{n_{F_c}}$$

където a_p е дълбочината на рязане, mm ;

f - подаване, mm/rev ;

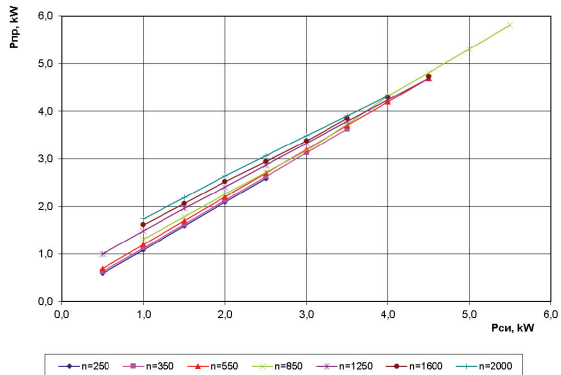
v_c - скорост на рязане, m/min ;

x_{F_c} , y_{F_c} , n_{F_c} - степенни показатели,

а изчислената мощност на рязане – по формулата:

$$P_c = \frac{F_c \cdot V_c}{60 \cdot 10^3}, kW.$$

Прието е нормалната сила на рязане F_p да е 40% от главната сила ($F_p = 0,4.F_c$),



Фиг.4. Зависимости $P_{пр}=f(P_{си})$ при различни честоти на въртене

изчислената поради отчитането на механичните загуби от триене в лагерите. При това зависимостите са близки до линейни.

С увеличаване на скоростта на рязане прогнозираната мощност също нараства.

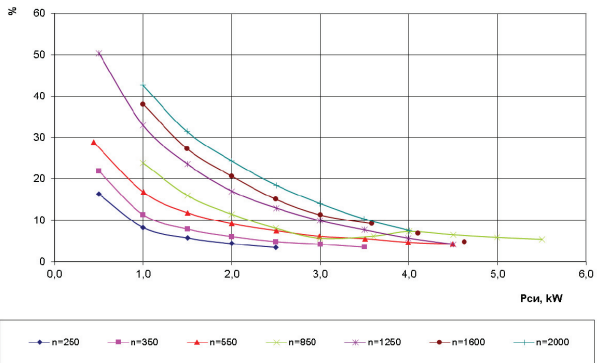
На фиг.5 е показано изменението на относителния дял на механичните загуби в зависимост от мощността на рязане при различни честоти на въртене. С нарастване на мощността на рязане относителният дял на механичните загуби намалява т.е., к.п.д. на превода се увеличава.

На фиг.6 е показано изменението на прогнозираната мощност в зависимост от производителността на формообразуване (MRR) при различни честоти на въртене. Резултатите показват, че при една и съща скорост на рязане прогнозираната мощност нараства с увеличаване на производителността. Разликата между прогнозираните стойности за мощността, представени чрез линии и изчислените стойности за мощността на рязане, представени чрез точки, нараства с увеличаване на скоростта на рязане.

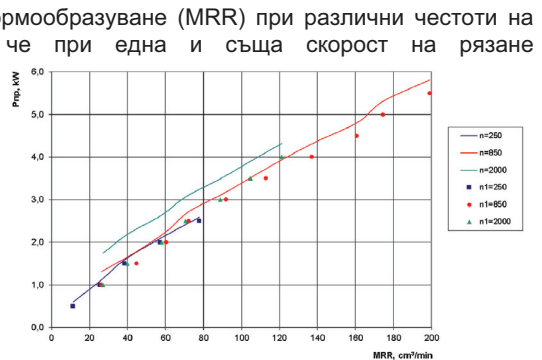
На фиг.7. е показано изменението на прогнозираната мощност в зависимост от честотата на въртене при различни мощности на рязане. При една и съща изчислена мощност на рязане, с увеличаване на честотата на въртене прогнозираната мощност на главния превод нараства, като тази тенденция е по-ясно изразена при по-малките мощности на рязане.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

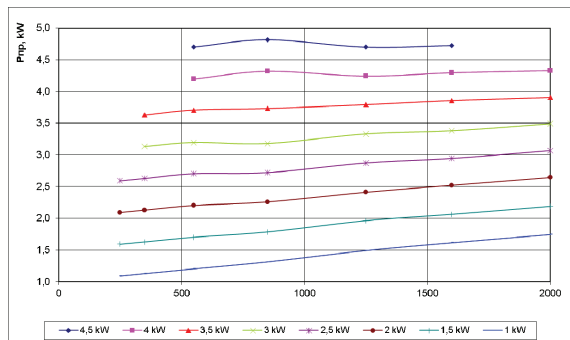
Получените резултати показват, че изложеният подход може да се използва при проектирането на главни преводи за ММ с ЦПУ. Той дава



Фиг.5. Относителен дял на механичните загуби в зависимост от мощността на рязане при различни честоти на въртене



Фиг.6. Зависимости $P_{пр}=f(MRR)$ при различни честоти на въртене



Фиг.7. Зависимости $P_{пр}=f(n)$ при различни мощности

възможност чрез виртуално прототипиране да се получава информация за мощността за задвижване на главния превод като се отчитат и допълнителните загуби на мощност с достатъчна за практиката точност. Това позволява да се извършва и по-обоснован избор на електродвигател за задвижване на главните преводи като се взема предвид не само работното натоварване, а и динамиката на превода.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Велчев, С. Металорежещи машини, част 1. Русе, Печ. База на Русенски университет, 1988.

[2] Велчев, С., Колев, И., Иванов Кр., Ненов Г. Изследване на мощността на консумираната електрическа енергия при струговане. // Науч. Тр. на РУ «А. Кънчев», Русе, т.51, серия 2, 2012, 144 – 152.

[3] Енчев, П. Енергетични изследвания на металорежещи машини. // Науч. Тр. На ВТУ «А. Кънчев», Русе, т.ХХХV, серия 1, 1994, 48 – 52.

[4] Колев, И., Иванов, К., Ненов, Г., Гечевски, С. Изследване коефициента на полезно действие на системата главен превод на стругове с ЦПУ.// Науч. Тр. На Русенски университет, Русе, т.50, серия 2, 2011, 94 – 98.

[5] Cosmos Motion. User's guide, 2004.

[6] Dietmair, A., Verl, A. A generic energy consumption model for decision making and energy efficiency optimization in manufacturing. Int. Journal of sustainable engineering, vol. 2, №2, June 2009, 123 – 133.

[7] Dietmair, A., Verl, A. Energy Consumption forecasting and optimization for Tool Machines. Modern Machinery Science Journal, March, 2009, 63-67

[8] Eisele, C., Schrems, S., Abele, E. Energy Efficient Machine Tools through Simulation in the Design Process. Proceedings of the 18th CIPR International Conference on Life Cycle Engineering. Technical University of Braunschweig, May 2011, 258 – 262.

[9] Heinzl, B., Dorn, Cr., Dimitriou, A. Object-oriented Modelling of Machine Tools for Energy Efficiency Analysis in Production. Vienna University of Technology, 2011.

[10] Herrmann, Ch., Thiede, S. Process chain simulation to foster energy efficiency in manufacturing. CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology. Vol 1, 2009, 221-229.

[11] Neugebauer, R., Wabner, M., Rentzsch, H., Ihlenfeld, S. Structure principles of energy efficient machine tools. CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology. Vol 4, 2011, 136-147.

[12] SKF. General Catalogue. School Edition, 2003.

[13] SolidWorks 2010. On-line help – Motion Studies. www.help.SolidWorks.com.

[14] Sulitka, M., Novotny, L., Sleda, J., Strakos, P., Hudes, J., Smalik, J., Vlach, P. Machine Tool Lightweight design and advanced control Techniques. MM Science Journal, October, 2008, 30 – 34.

[15] Wensing, J. On the dynamics of ball bearings. PhD Thesis. University of Twente, Enschede, The Netherlands, December, 1998.

За контакти:

Доц. д-р Петър Ангелов, катедра ТММРМ, Русенски университет “А. Кънчев”, тел.: 082-888-451, e-mail: pangelov@uni-ruse.bg

Доц. д-р Красимир Иванов, катедра ТММРМ, Русенски университет “А. Кънчев”, тел.: 082-888-451, e-mail: kivanov@uni-ruse.bg

Докладът е рецензиран