Изследване мощността на празен ход на главни преводи на металорежещи машини с ЦПУ чрез компютърно симулиране

Петър Ангелов, Красимир Иванов

Investigation of the idle running Power Consumption of CNC Machine Tool Main Drives by Computer Simulations: *This paper presents an approach for determination and investigation of the idle running power consumption of CNC Machine Tool Main Drives using 3D-modeling and virtual prototyping.*
Key words: *Machine Tool Main drives, Power Consumption, Virtual prototyping.*

ВЪВЕДЕНИЕ

Актуален проблем в областта на машиностроенето е повишаването на енергийната ефективност на металорежещите машини (ММ). Решението на този проблем се търси основно в две насоки. Първата е свързана с експлоатацията на ММ и в частност на машините с ЦПУ, където се търси намаляване на консумираната електроенергия в процеса на производство чрез съставяне на оптимални планове и стратегии на обработване, оптимизация на пътя на инструментите или детайла, на режимите на рязане и др.[6, 8].

Втората насока е свързана с проектирането и производството на ММ чрез създаване на енергоспестяващи възли и системи за тях.

Както е известно, един от енергоемките възли на ММ е главният превод. Мощността на електродвигателите за главно движение се избира съгласно уравнението на баланса на мощността[1]:

$$P_{ел} = P + P_{id} + P_a \quad , \qquad (1)$$

където P е полезната мощност на рязане;

P_{id} – мощност за задвижване на празен ход, независеща от полезното натоварване;

P_a – допълнителни разходи на мощност, зависещи от натоварването.

Липсата на данни за мощността за задвижване на празен ход 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 ориентировъчно приета стойност за к.п.д. на превода η ($P_{ел} = P/\eta$) или по аналогия с изпълнени конструкции.

Количествено установяване на мощността за задвижване на празен ход досега е извършвано чрез експериментални енергийни изследвания на ММ[2,3,4] като изследователите са се ориентирали към измерване на консумираната електрическа мощност 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 разходи на мощност.

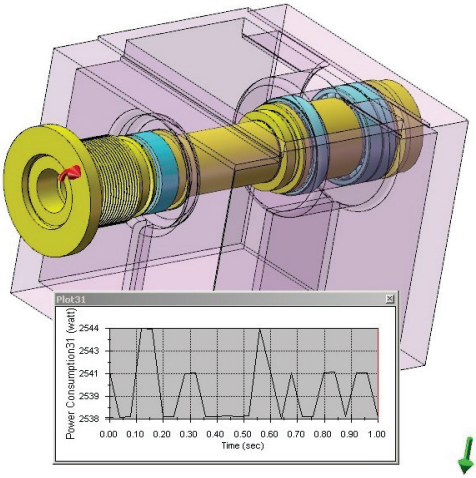
Трудностите при определяне на мощността за задвижване на празен ход при традиционните методи на проектиране са свързани с определянето на масовите и инерционните характеристики на детайлите на ранните стадии на проектиране. Използването на *CAD*-системи и *3D-Solid* моделиране позволява в процеса на 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 определяне и изследване на механичната мощност за задвижване на празен ход на главни преводи на ММ с ЦПУ

чрез създаване на *3D-Solid* модел на превода и изследване на неговото движение с помощта на виртуално прототипиране. Като примери са взети главните преводи на стругове с ЦПУ СТ161 и СТ201, за които се разполага с експериментални данни за мощността за задвижване на празен ход. *3D-Solid* моделите са разработени в среда *SolidWorks* 2010, а изследванията са проведени с пакета *SolidWorks Motion*.

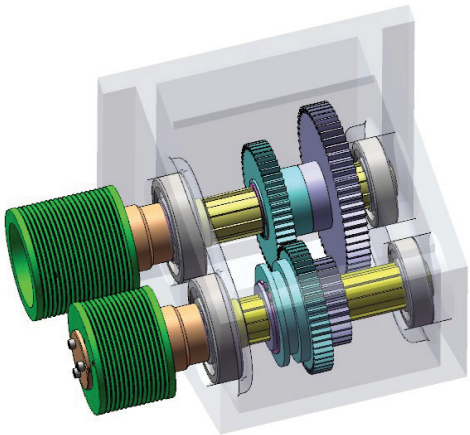
УСЛОВИЯ НА МОДЕЛИРАНЕТО

На базата на конструкторска документация са създадени геометричните *3D-Solid* модели на главните преводи на споменатите по-горе стругове с ЦПУ. Главният превод на струга СТ161 се състои от вретенна кутия (фиг.1), задвижвана от главния 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. Моделите на търкалящите лагери са взети 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 СТ161.

Главният превод на струг СТ201 се състои от двустепенна скоростна кутия и вретенна кутия, свързани чрез предавка с поликлинов ремък. Моделът на скоростната кутия (фиг.2.) е разработен с всички подробности като моделите на зъбните колела и търкалящите лагери са взети от библиотеката *Toolbox*. Моделът на вретенната кутия е подобен на този на струга СТ161 като се различава от него по някои конструктивни размери.



Фиг.2. 3D-Solid модел на скоростна кутия

На базата на геометричните модели, чрез пакета *SolidWorks Motion,* се създават кинематични и динамични модели на главните преводи за изследване на тяхното движение. Въз основа на поставените в геометричните модели ограничения за сглобяване автоматично се създават съответните кинематични двоици. В зависимост от целите на изследването моделите се допълват с поставяне на елементи като: двигатели, пружини, демпфери, външни сили и моменти, гравитация и контакт между тела или

повърхнини, с моделиране на триенето между тях.

За изследване на мощността за задвижване на празен ход в модела на главния превод на струга СТ161 (фиг.1) вретенните опори са моделирани като еластични опори с триене чрез елементи от типа „контакт" между лагерите и вретенната кутия. Приета е коравина на едноредовите радиално-аксиални сачмени лагери в предната опора j = 8 *DaN*/μm, а на двуредния ролков лагер в задната опора – j = 70 *DaN*/μm [1]. За всички лагери е зададен максимален коефициент на демпфиране h = 40 *N.s*/*m* [12] и степенен показател за определяне на демпфиращата сила n = 1,5 [10]. Динамичният коефициент на триене в лагерите е приет по препоръки на *SKF*: за едноредните сачмени радиално-аксиални лагери μ = 0,0015, а за двуредния ролков лагер - μ = 0,0011 [9].

В задния край на вретеното, с ремъчната шайба се свързва двигател за въртеливо движение. Като резултат от симулациите се търси необходимата мощност на този двигател при различни честоти на въртене.

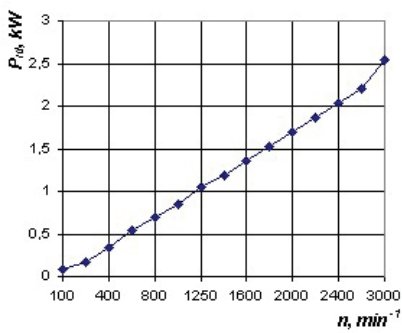
В модела се включва и действието на гравитация с ускорение g=9,80665 m/s^2 [10].

При моделиране на скоростната кутия на струга СТ201 освен споменатите елементи се моделират и зъбните предавки, като за всяка предавка в геометричния модел се поставя ограничение от типа „предавка" (*Gear Mate*) и действието на кутията се моделира отделно за всеки подобхват на честотите на въртене. Вретенната кутия на струга СТ201 се моделира по същия начин, както при струг СТ161.

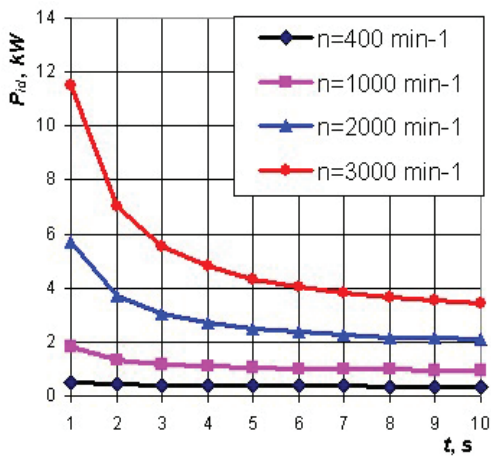
РЕЗУЛТАТИ ОТ ИЗСЛЕДВАНЕТО

За двата струга е изследвана необходимата механична мощност за задвижване на празен ход в периода на установено движение при различни честоти на въртене и в период на ускоряване до зададени честоти на въртене за интервали от време от 1*s* до 10*s*.

За струга СТ161 зависимостта на мощността за задвижване на празен ход от честотата на въртене на вретеното $P_{id} = f(n)$ при установено движение е показана на фиг.3, Вижда се, че тази зави-симост е близка до линейна и по характер съвпада с получената по експериментален път в [4].

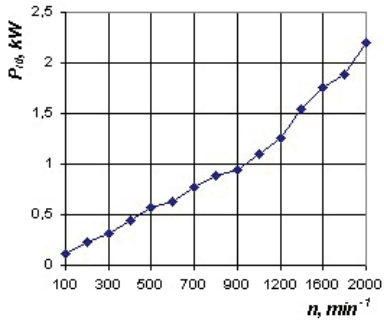


Фиг.3. Зависимост *Pid = f(n)* за струг СТ161.

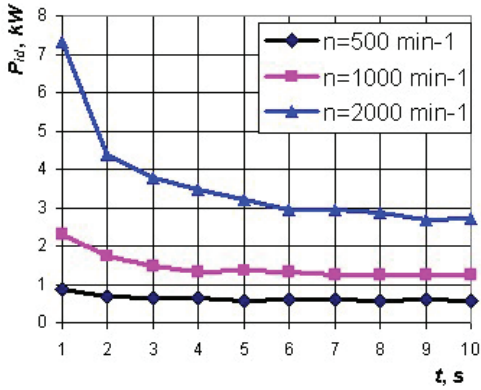


Фиг.4. Зависимости Pid = f(t) за струг СТ161

На фиг.4 са дадени зависмости за изменение на мощността за задвижване на празен ход при ускоряване на превода. Вижда се, че тази мощност зависи от честотата на въртене, до която трябва преводът да се ускори и от времето за ускоряване. При по-високите честоти на въртене мощността, необходима за ускоряване за кратък период от време, значително превишава мощността при установено движение на празен ход.

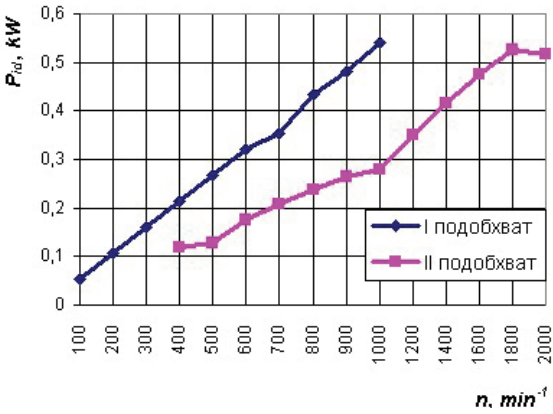


Фиг.5. Зависимост Pid = f(n) за вретенната кутия на струг



Фиг.6. Зависимости Pid = f(t) за вретенната кутия на струг СТ201

За струга СТ201 мощността за задвижване на празен ход е изследвана поотделно за вретенната и за скоростната кутия. На фиг.5 е показана зависимостта $P_{id} = f(n)$ за вретенната кутия в режим на установено движение, а на фиг.6 – зависимости $P_{id} = f(t)$ за периода на ускоряване до няколко честоти на въртене.



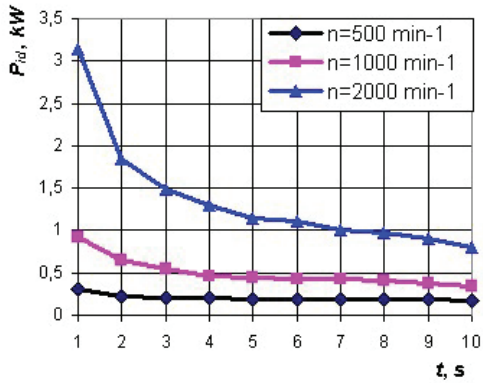
Фиг.7. Зависимости Pid = f(n) за скоростната кутия на струг СТ 201

Експериментът със скоростната кутия е проведен за двата подобхвата при едни и същи скорости на въртене на вретеното. Получените резултати за периода на установено движение са показани на фиг.7. Характерът на получените зависимости се потвърждава от експерименталните изследвания на този струг [4].

Може да се каже, че при една и съща скорост на въртене на вретеното разходите на мощност на празен ход при включен I подобхват са по-големи отколкото при работа на II подобхват.

Освен това резултатите от проведените симулации със скоростната и вретенната кутия показват, че за задвижване на вретеното се изисква значително по-голяма мощност отколкото за задвижване на скоростната кутия.

Характерът на зависимостите $P_{id} = f(t)$ за периода на ускоряване на скоростната кутия е подобен на този за вретенната кутия (фиг.8).



Фиг.8 Зависимости Pid = f(t) за скоростната кутия на струг СТ201

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Получените резултати показват, че изложеният подход може да се използва при проектирането на главни преводи за ММ с ЦПУ. Той дава възможност чрез виртуално прототипиране да се получава информация за мощността за задвижване на празен ход, както по време на установено движение, така и при ускоряване на превода 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]. Енчев, П. Енергетични изследвания на металорежещи машини с автоматична скоростна кутия. // Науч. Тр. На ВТУ «А. Кънчев», Русе, т.XXVII, серия 2, 1985, 14 – 18.

[3]. Енчев, П. Енергетични изследвания на металорежещи машини. // Науч. Тр. На ВТУ «А. Кънчев», Русе, т.XXXV, 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 ooptimizationin manufacturing. Int. Journal of sustainable engineering, vol. 2, №2, June 2009, 123 – 133.

[7]. 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.

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

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

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

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

[12]. 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.: 082-888 237, e-mail: pangelov@uni-ruse.bg

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

Докладът е рецензиран