

ИЗСЛЕДВАНЕ И МОДЕЛИРАНЕ НА ТРАЙНОСТТА И ПРОИЗВОДИТЕЛНОСТТА НА МЕТАЛОРЕЖЕЩИ ИНСТРУМЕНТИ ПРИ ОБРАБОТВАНЕ НА РОТАЦИОННИ ДЕТАЙЛИ ВЪРХУ CNC СТРУГОВЕ С РОБОТИЗИРАНО ЗАХРАНВАНЕ

Николай Колев*, Ирина Александрова, Христо Метев

Технически университет – Габрово, България

**кореспондиращ автор: nikipkolev@abv.bg*

INVESTIGATING AND MODELING THE DURABILITY AND PERFORMANCE OF METAL CUTTING TOOLS WHEN MACHINING ROTARY WORKPIECES ON ROBOTICALLY POWERED CNC LATHES

Nikolay Kolev*, Irina Alexandrova, Hristo Metev

Technical University of Gabrovo, Bulgaria

**Corresponding author: nikipkolev@abv.bg*

Abstract

The article presents the results of a study of the durability and performance of metal cutting tools with replaceable carbide inserts of a new type from the ISCAR company when processing steel 42CrMoS4-QT on CNC lathes with robotic power supply. Theoretical-experimental models for tool life and process performance reflecting the influence of cutting speed V_c , m/min, feed f , mm/rev and depth of cut a_p , mm where obtained and corresponding graphical dependencies where constructed. The analysis of the obtained results shows that the influence of the cutting depth is the strongest. The constructed models and graphical dependences allow, with sufficient accuracy, to predict the durability and performance at a certain range of variation of the cutting modes.

Keywords: durability, productivity, cutting mode, CNC lathes with robotic feed.

ВЪВЕДЕНИЕ

Индустрията е един от най-мощните двигатели на европейската икономика. Тя носи 20% от брутния вътрешен продукт на Европейския съюз. Затова най-трудният въпрос от 15 години насам е как европейската индустрия да остане конкурентоспособна в битката за пазари с други производители. Концепция, която доскоро търсеше отговор на този въпрос, е Индустрия 4.0 [2,10,12,16]. Днес предизвикателствата пред европейската индустрия са не по-малки от тези след кризата от 2011 г. Това води до появата на нова област, която заема място сред клю-

човите политики в дневния ред на Европа и това е Индустрия 5.0. Характерните особености на тази технологична революция са свързани с:

- изработване по поръчка и създаване чрез моделиране на продукти с по-висока степен на персонализация, които се адаптират по-добре към нуждите на клиента [7,10,13];

- замяна на човешкия фактор с роботизирани системи при повтарящи се операции или такива, които са опасни за здравето [2,9,11];

- бързина и качество, свързани с внедряването на нови технологични процеси, инструменти и материали [5,6,13,14,15];

- опазване на околната среда, което е свързано с възможността за използване на възобновяеми енергии и производствени технологии, изискващи по-малко ресурси и намаляване на отпадъчните емисии при създаване на по-устойчиви продукти [10,11,14].

На голяма част от тези особености на Индустрия 5,0 отговор дават CNC машини с роботизирано хранване. Те намират все по-широко приложение в различни сектори на производството поради множеството предимства спрямо CNC машини, обслужвани от оператори. Роботизираното хранване дава възможност за висока производителност при непрекъснатост на производството без нужда от почивка или смени. Това води до значително увеличение на производителността и снижаване на себестойността на крайното изделие [2,17]. Докато операторите се нуждаят от почивки и имат ограничено работно време, роботите могат да работят при непрекъснат режим, като по този начин се намалява до минимум престоят на машината [17] и се понижават значително разходите за труд. Въпреки че първоначалната инвестиция в роботизираното оборудване може да е висока, дългосрочните разходи за труд значително се намаляват. Операционните разходи за работа са по-ниски в сравнение с разходите за заплати, осигуровки и други ползи за оператори [4]. Роботите имат подобрена прецизност и са способни да извършват задачи с висока точност и повторяемост, което намалява риска от грешки и води до по-високо качество на продукцията. [3,9]. Модерните роботизирани системи притежават голяма гъвкавост и адаптивност и могат лесно да бъдат препрограмирани и адаптирани за различни задачи и операции. Това позволява бърза смяна на технологичните процеси, което е особено полезно в производствени среди с честа смяна на продуктите [2,5,6,8,18].

Поради спецификата си машините с роботизирано хранване предоставят възможност за обслужване на няколко работни места от един оператор. Това налага необходимостта да се познава трайността на инструментите с цел задаване

на „живот“, който да бъде число, кратно на вместимостта на роботизираната станция, за да може да бъде съвместена смяната на инструментите със зареждането на магазина с детайли и по този начин да се намали времето на работния цикъл.

Един от най-често използваните материали за изработване на тежко натоварени детайли върху CNC стругови машини е закалена средно въглеродна нисколегирана стомана 42CrMo4+QT [15,18]. Наличието на хром, манган и молибден в състава ѝ допринася за нейната висока якост, издръжливост и устойчивост на износване.

Цел на настоящата работа е изследване и моделиране на трайността и производителността на металоурежащи инструменти със сменяеми твърдосплавни пластини при обработване на стомана 42CrMo4+QT върху CNC стругови машини с роботизирано хранване.

ИЗЛОЖЕНИЕ

За да се изследва и моделира влиянието на елементите на режима на рязане върху трайността и производителността на урежащите инструменти с металокерамични сменяеми пластини при обработване на стомана 42CrMoS4-QT, е използван CNC струг HARRIS C400 със станция за роботизирано хранване FANUC BOXI Raptor Auto Loader (фиг. 1). В качеството на смазочно-охлаждаща течност е използван 6% разтвор на FUCHS ECOCOOL MACH 300.

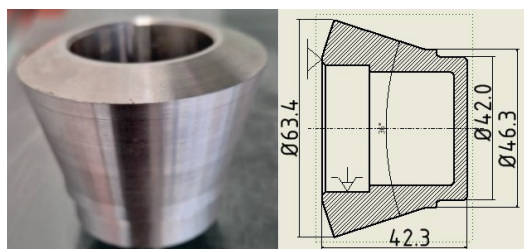


Фиг. 1. Работно пространство на CNC струг HARRIS с роботизирана станция за хранване BOXI Raptor Auto Loader

Опитните образци (фиг. 2) са изработени от стомана 42CrMo4+QT с твърдост HRC=34.3, якост на опън $f_y \geq 850$ MPa и химичен състав, представен в табл.1.

Табл. 1 Химичен състав на стомана 42CrMoS4-QT, %

C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	P	Cu
0.405	0.239	0.652	0.110	0.894	0.180	0.012	0.227

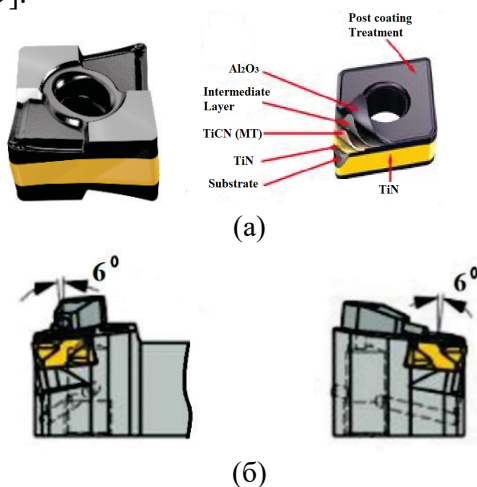


Фиг. 2. Опитни образци

Обработването е извършено с мета-локерамични сменяеми пластини CXMG 12T508 M3P IC8150 на фирма ISCAR [20], установени в призматичен държач PCLXL 2525 – 12M [21] (фиг. 3 б), като са осигурени следните геометрични параметри:

- ✓ главен установъчен ъгъл $\kappa_r = 95^\circ$;
- ✓ спомагателен установъчен ъгъл $\kappa'_r = 5^\circ$;
- ✓ главен заден ъгъл $\alpha_0 = 6^\circ$;
- ✓ радиус при върха на инструмента $r_\varepsilon = 0.8$ mm.

Пластините са с CVD покритие ($\text{TiCN} + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiCN} + \text{TiN}$) (фиг. 3 а), което осигурява устойчивост на пукнатини, на износване по предната и задната повърхнина, както и адхезия към основата [19].



Фиг. 3. Металокерамична пластина CXMG 12T508 M3P IC8150 със CVD покритие (а) и начин на установяването им в държача (б)

Проведен е планиран експеримент с три фактора по оптимален ортогонален централно-композиционен план от вида $N=2^3 + 3.2+1$.

Като управляващи фактори са избрани скоростта на рязане V_c , m/min, подаването f , mm/rev и дълбочината на рязане a_p , mm. Нивата на вариране на управляващите фактори са посочени в табл. 2.

Въз основа на предварителна информация е приет вид на модела:

$$Y_{g(g=1,2)} = b_0 + \sum_{i=1}^3 b_i X_i + \sum_{i=1}^3 \sum_{i < j} b_{ij} X_i X_j + \sum_{i=1}^3 b_{ii} X_i^2 + b_{123} X_1 X_2 X_3, \quad (1)$$

където: $Y_1 = L$, mm; $Y_2 = T$, s; $X_1 = V_c$, m/min; $X_2 = f$, mm/rev; $X_3 = a_p$, mm.

Трайността е определена като дължина на изминатия път L , mm при обработване на повърхнините при конкретен режим на рязане, като в качеството на критерий на износване е приета грапавост на обработената повърхнина - $Ra = 2,0 \mu\text{m}$ [3,4], която се измерва с профиломер TESA Rugosurf 20 (фиг. 4)



Фиг. 4. Установка за измерване на грапавостта на образците

Като критерий на производителността е прието общото време (основно и спомагателно) T , s за изминаване на пътя до достигане на зададената грапавост.

Определените стойности на трайността и времето са представени в табл. 3.

Табл. 2 Нива на управляващите фактори

Управляващи фактори		Нива на факторите		
кодирани	натурални	-1	0	+1
x1	V_c , m/min	180	230	280
x2	f , mm/rev	0.15	0.20	0.25
x3	a_p , mm	2.0	2.5	3.0

Табл. 3 План на експеримента и експериментални данни

№	x ₁	x ₂	x ₃	Y ₁ (L), mm	Y ₂ (T), s
1.	-1	-1	-1	67742	25675
2.	1	-1	-1	65170	15960
3.	-1	1	-1	47547	17710
4.	1	1	-1	46312	11250
5.	-1	-1	1	61740	14040
6.	1	-1	1	61225	8925
7.	-1	1	1	42237	9576
8.	1	1	1	42360	6174
9.	-1	0	0	52170	14800
10.	1	0	0	51465	9490
11.	0	-1	0	63455	14060
12.	0	1	0	45077	9855
13.	0	0	-1	53439	15918
14.	0	0	1	50055	8875
15.	0	0	0	51888	11408

Обработването на експерименталните резултати е извършено в съответствие с методиката, изложена в [1], в последователността:

- определяне на коефициентите на модела;
- проверка за значимост на коефициентите на регресия по t – критерия на Стьюдент;
- определяне на множествения коефициент на корелация R^2 ;
- проверка на значимост на множествения коефициент по критерия на Фишер.

Резултатите от изследванията са обработени с програмния продукт QstatLab и са получени следните модели:
 $L=180927.94-43.958.V_c-68821.8a_p-84458.5f+9932.4a_p^2+170.75V_cf$; (2)

$$T=135369.7-361.156V_c-15992.2a_p-415683f + 0.3532V_c^2+453800f^2+382.9V_cf+27300a_pf+24.84V_ca_p. \quad (3)$$

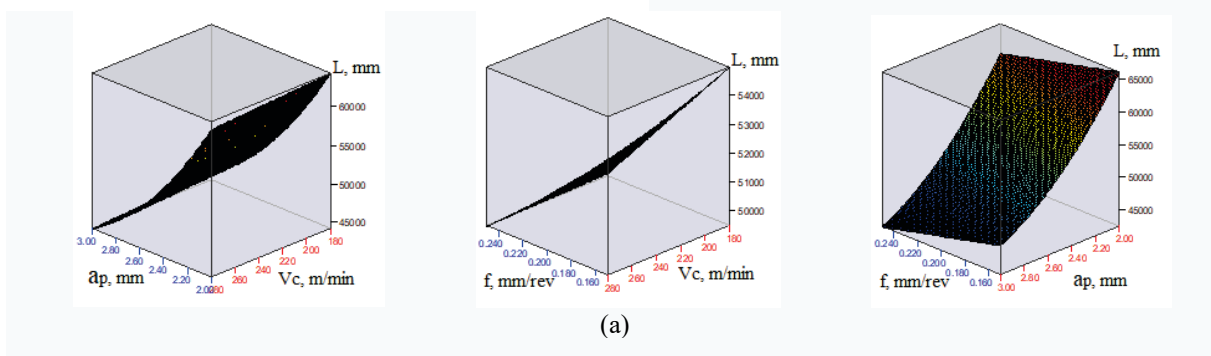
Получените модели описват с достатъчна точност връзката на трайността и производителността с елементите на режима на рязане V_c , f и a_p , като стойностите на множественият коефициент на корелация са съответно $R_1^2=0.9971$ и $R_2^2=0.98617$.

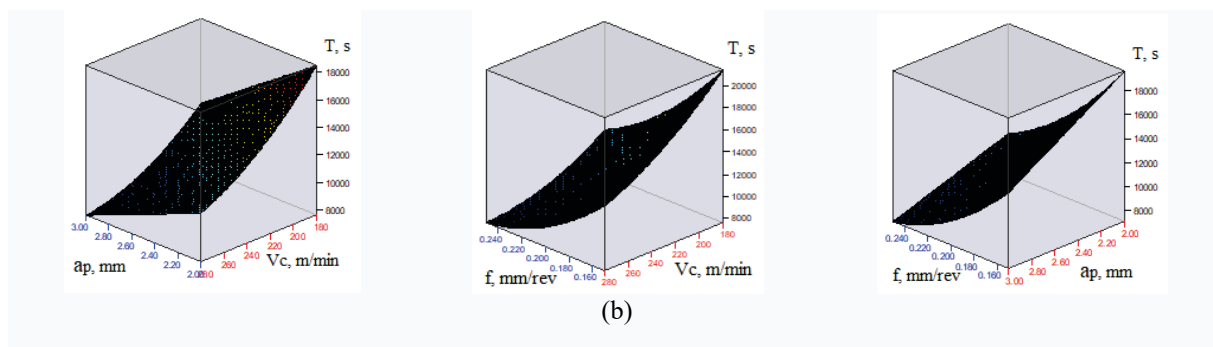
Графичната интерпретация на получените модели е показана на фиг. 5.

За определяне на влиянието на управляващите фактори върху трайността и производителността на изследвания инструмент е проведен дисперсионен анализ (ANOVA). Графичната интерпретация на това влияние е показана на фиг. 6 и фиг. 7.

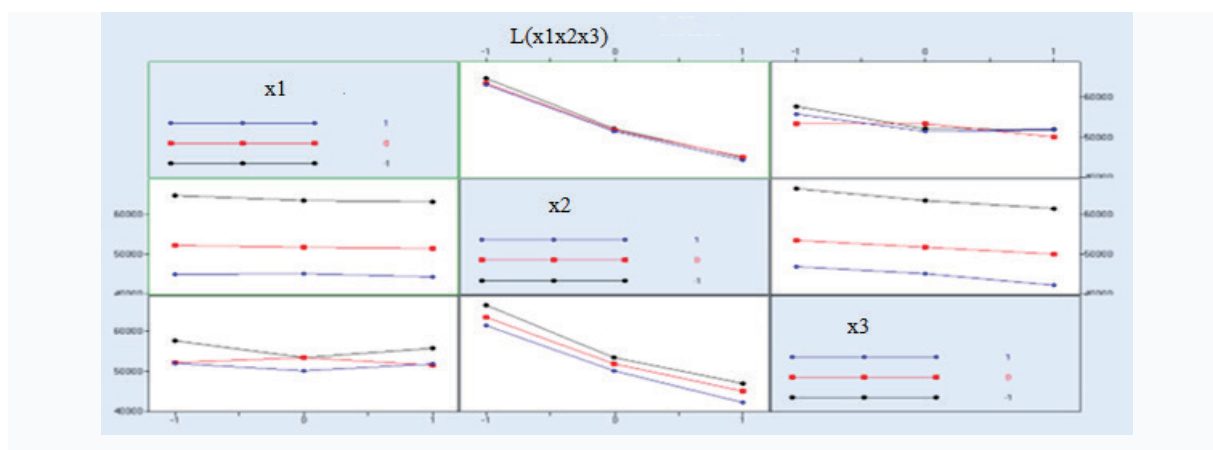
Анализът на получените теоретико-експериментални модели показва, че най-голямо влияние върху трайността и производителността на изследваната пластина оказва дълбочината на рязане a_p , като с увеличаването ѝ трайността намалява, но се увеличава производителността.

Проведена е оптимизация на елементите на режима на рязане, като е определена комбинацията от скорост на рязане V_c , m/min, подаване f mm/rev и дълбочина на рязане a_p , mm, при която се постига максимална трайност или максимална производителност.

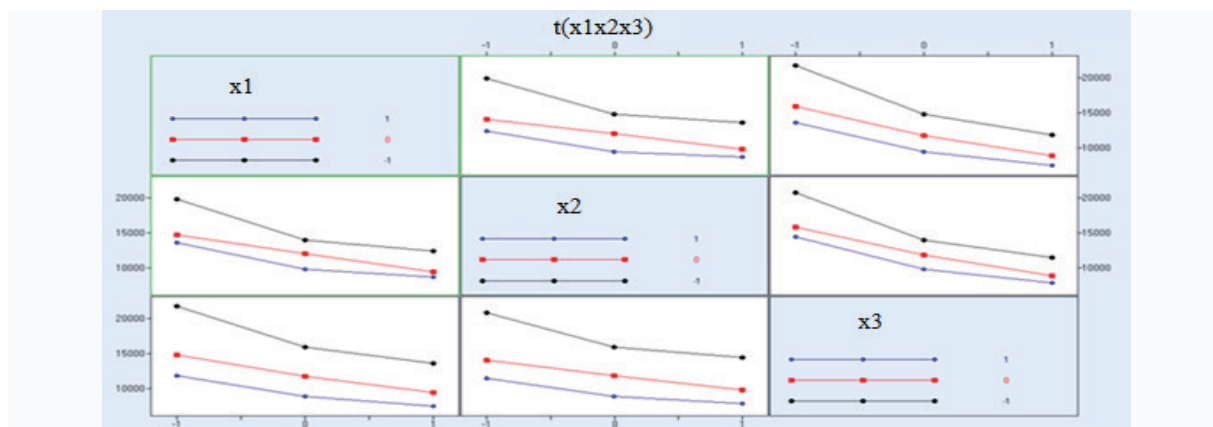




Фиг. 5 Трайност (а) и производителност (б) в зависимост от скоростта на рязане V_c ; подаването f и дълбочината на рязане a_p



Фиг. 6 Влияние на управляващите фактори върху трайността



Фиг. 7 Влияние на управляващите фактори върху производителността

Максимална трайност на инструмента се получават при скорост на рязане $V_c=192$ m/min, подаване $f=0.17$ mm/rev и дълбочина на рязане $a_p=2$ mm. А максимална - производителност при скорост на рязане $V_c=275$ m/min, подаване $f=0.24$ mm/rev и дълбочина на рязане $a_p=2.8$ mm.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1.Изследвана е трайността на метало-режещи инструменти със сменяеми твърдосплавни пластини CXMG при обработване на стомана 42CrMo4+QT върху CNC стругови машини с роботизирано захранване.

2.Получени са теоретико–експериментални модели за трайността и производителността на пластините, отразяващи влиянието на скоростта на рязане V_c , подаването f и дълбочината на рязане a_p при обработване на стомана 42CrMo4+QT, анализът на които показва, че най-силно е влиянието на дълбочината на рязане a_p .

3. Определени са оптималните режими на рязане по отношение на трайността и производителността за изследваната инструмент.

4.Получените теоретико–експериментални модели дават възможност за предсказване с достатъчна точност на трайността и производителността при обработване на детайли от стомана 42CrMo4+QT върху CNC стругови машини с роботизирано захранване.

Благодарности: Това изследване е финансирано от Европейския фонд за регионално развитие в рамките на ОП „Научни изследвания, иновации и дигитализация за интелигентна трансформация“ 2021-2027 г., Проект BG16RFPR002-1.014-0005 Център за компетентност „Интелигентни мехатронни, еко- и енергоспестяващи системи и технологии“.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Alexandrova, I., Fundamentals of engineering research, Vasil Aprilov University Publishing House, Gabrovo, 2003
- [2] Bogue, R., Robots in Industrial Production,"Industrial Robot: An International Journal, Vol. 42 No. 1, 2015, pp. 18-22.
- [3] Groover, M., Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing, Prentice Hall, 2015.
- [4] Gutakovskis Viktors, Eriks Gerins, Janis Rudzitis, Artis Kromanis. The Effect of the Cutting Parameters on the Machined Surface Roughness. Solid State Phenomena. Vol. 260, 2017, pp. 219-226. DOI:10.4028/www.scientific.net/SSP.260.219.
- [5] Karlovski, G., A System for Quick-change Tool Mounting, "Automation of discrete production" no. 5, Sofia, 2023, p.82÷85. ISSN 2682-958
- [6] Karlovski, G., Application for quick-change holders as a way to increase efficiency in the production of workpieces with CNC machines, "Automation of discrete production" no. 5, Sofia, 2023, p. 86÷90. ISSN 2682-9584.
- [7] Karlovski, G., K. Krumov, I. Aleksandrova, S. Tsenkulovski, Improving the Hard Turning Process when Machining Bearing Steels, XXXII International Scientific Symposium "Metrology and Metrology Assurance 2022", Sozopol, 2022,\$31.00 ©2022.
- [8] Karlovski G., and other, Selection of Instrumentation Based on Statistical Analysis. In: 32nd International Scientific Symposium Metrology and Metrology Assurance, MMA 2022, Conference Proceedings, Sozopol, 7-11 September 2022, Code 185634, DOI: 10.1109/MMA55579.2022.9992429, ISBN 978-166548569-2
- [9] Koren, Y., Computer Control of Manufacturing Systems, McGraw-Hill, 1983.
- [10] Kupriyanov O., R. Trishch, D. Dichev, T. Bondarenko. Mathematic Model of the General Approach to Tolerance Control in Quality Assessment. In 3rdGrabchenko's International Conference on Advanced Manufacturing Processes (InterPartner-2021), September 7-10, Lecture Notes in Mechanical Engineering, 2021, pp. 415-423.DOI:10.1007/978-3-030-91327-4_41
- [11] Kuzmanov, T., K. Krumov, Technical preparation of production, EKS-PRESS, Gabrovo, 2013, ISBN 978-954-490-419-7
- [12] Mitev, I.,Optimizing the quantity of liquid phase at the sintering of powder construction materials from system Fe-Cu-Sn, AIP Infrence Proceedings, vol. 2980, 2024, p.060017-1÷060017-7, Scopus
- [13] Mitev, I., S. Tsenkulovski, Local Processing of Non-Metal Materials with Concentrated Energy Flow, 14th ISPC "Environment Technology Resources", Rezekne, Latvia, Volume 3, 2023, pp.183÷186,ISSN 1691-5402 print; ISSN 2256-070X online
- [14] Miteva, I., I.Vinev, I.Mitev, Features of Alloying Matrix of Water-dispersed Iron Powders, 13th International Scientific and Practical Conference, 15.06.2021, Rezekne Academy of Technologies, Rezekne, Latvia., Volume 3, 2021, pp.226÷231, ISSN 1691-5402 print; ISSN 2256-070X online
- [15] Nabil M., O. Taha, T. Elbitar, I. El Mahallawi. Thermomechanical processing of 42CrMoS4 steel. International heat Treatment and Surface Engineering IHSE 2010.vol.4 (2). DOI - 10.1179/174951410X12646901266726, pp. 87-92.

- [16] Nikolova, N., Industry 4.0 - development and consequences for sustainable development of Bulgaria. 13th International Scientific and Practical Conference "Environment. Technology. Resources.", June 17-18, pp. 245-251, 2021, Academy of Technologies, Rezekne, Latvia, Volume III, ISSN 1691-5402 Print, ISSN 2256-070X Online
- [17] Nof, Y., Springer Handbook of Automation, Springer, 2009.
- [18] Saez-de-Buruaga M., L. Gainza, P. Aristimuno, D. Soler, G. Ortiz-de-Zarate, O. Aizpuru, R. Mielgo, P.J. Arrazola. FEM modeling of hard turning 42CrMoS4 steel. 17th CIRP Conference on Modelling of Machining Operations. 82 (2019), pp. 77–82. DOI 10.1016/j.procir.2019.04.059
- [19] <https://www.iscar.com/products.aspx/countryid/1/productid/73>
- [20] <https://www.iscar.com/eCatalog/Item.aspx?cat=3346717&fnum=4232&mapp=IS&GFSTYP=M&srch=1>
- [21] <https://www.iscar.com/eCatalog/Item.aspx?cat=3345534&fnum=4249&mapp=IS&app=0&GFSTYP=M&isoD=1>.