

**АНАЛИЗ НА ИЗСЛЕДВАНИЯТА НА ВЪРТЯЩ МОМЕНТ ПРИ  
РЕЗБОФОРМИРАНЕ С РАЗЛИЧНИ ВИДОВЕ МЕТЧИЦИ****Христо Радев**  
*hradew81@abv.bg***Христиан Митев**  
*hristian\_mitev@abv.bg***Христо Якимов**  
*Yakimov.h@abv.bg**катедра МТТ, ТУ-Габрово, 5300, БЪЛГАРИЯ***ANALYSIS OF TAPPING TORQUE STUDIES  
WITH DIFFERENT TYPES OF TAPS****Hristo Radev**  
*hradew81@abv.bg***Hristian Mitev**  
*hristian\_mitev@abv.bg***Hristo Yakimov**  
*Yakimov.h@abv.bg**Department of Mechanical Engineering and Technologies, Technical university Gabrovo***Abstract**

*Thread forming is one of the most common technological tasks in mechanical engineering. The purpose of the article is to present an experimental comparative analysis of the torque obtained in the formation of internal threads with different designs of taps working by cutting, plastic deformation and a combination of the two methods.*

**Keywords:** taps, forming tap, cutting-deformation tap, torque, thread.

**ВЪВЕДЕНИЕ**

Формообразуването на вътрешни скрепителни резби с метчици е технологичен проблем, свързан с възникването на големи въртящи моменти и сили на рязане. За облекчаване на работните условия и постигане на необходимата геометрична точност и грапавост на обработената повърхнина се използват редица методи сред които са прилагането на мажещо - охлаждащи течности, на различни видове покрития, компютърни симулации и др.

Анализът на предимствата и недостатъците и качествената оценка на обработването на резби в непластични материали [1], [10] показват, че за обезпечаване на високо качество на вътрешните резби по отношение на геометрична точност, грапавост и якостни параметри е целесъобразно изследването на въртящия момент с различни видове метчици.

В статията е направен анализ и сравнение на въртящия момент, получен при формообразуването на вътрешни резби с раз-

лични конструкции метчици. Представени са и резултатите от изследване и сравнение на въртящия момент при обработката на резба М8 с режещ, деформиращ и режещо – деформационен метчик в материал С45.

**ИЗЛОЖЕНИЕ**

Основните резултати, получени при обработване на резби, са свързани с изследване и моделиране на въртящия момент и силата на рязане и влиянието им върху качеството на инструментите. Важността на изследването на въртящия момент е свързана основно с възможността за счупване на инструментите поради увеличаване на усилията на рязане по време на резбонарезния процес. От друга страна, големината на силата на рязане има пряка връзка с грешките в стъпката и качеството на резбовия профил.

Модели за прогнозиране на въртящ момент и сила на рязане са представени в [2, 4, 6, 7, 13]. Као и Съдърланд [4] са анализирали въртящия момент и силата на рязане при обработка с метчик на резба в детайли

от стомана SAE1018 (EN1.7218), доказвайки, че запълването със стружки на стружковите канали може да бъде отговорно за значителна част от счупванията в процеса на резбонарязване, като то може да бъде намалено чрез оптимизиране на геометрията на метчика.

Армарего и Чен [2] са предложили модел чрез компютърна симулация за определяне на въртящия момент и силата на рязане, верността на който е проверена експериментално. Авторите установяват, че силата и въртящият момент могат да бъдат предвидени, но са необходими повече изследвания за прогнозиране на небалансираната нормална сила, както и за определяне на влиянието на ъгъла на подема на винтовата линия върху въртящия момент.

Занг и др. [18] са акцентирали върху изследване на резбонарязването при наличие на вибрации с цел намаляване на въртящия момент. Според авторите има оптимална амплитуда, респективно честота на трептенето, при които настъпва минимален въртящ момент. Сравнени са две ситуации – обработка без вибрации и с наличието на вибрации, и е доказано намаляването на въртящия момент при използване на вибрации. Влияние оказва и формата на вълната, като квадратните вълни имат по-голямо влияние отколкото синусоидните.

Точното определение на въртящия момент и силата на рязане е сложно, и няма общ модел, който да опише влиянието на входните фактори.

Пузович и Кокотович [13] са разработили стратегия за симулация на процеса резбонарязване, използвайки математични модели за въртящия момент и подавателната сила при обработка на резби с метчици M8 и M10. Авторите са отчели влиянието на смущаващи фактори, като откъртване на ръбове и износване на инструмента.

Чен и Смит [6] са разработили математични модели за въртящия момент, подавателната сила и мощността на рязане, които позволяват тяхното анализиране в преходните и стационарните процеси. Предложен е и модел за прогнозиране на въртящия момент и подавателната сила при машинно нарязване на резби. Изследванията са направени на метчици в стомана S1214(EN 1.0715) с инструменти без покритие, както

и с покритие от TiN, които се различават по геометрията на режещата си част.

Проучванията върху ефективността на износоустойчивите покритията са проведени с фокус върху въртящия момент и подавателната сила на рязане [3,9,11,16]. Въз основа на това Боумич и др. [3] провеждат експериментални изследвания за определяне на температурата, въртящия момент и микротвърдостта при нарязване на резби M8 с метчици с диамантено DCL покритие и без покритие в автомобилни компоненти, изработени от Al-Si сплав 319Al с използване на минимално количество MOT, както и без смазване. Резултатите показват, че сухото нарязване е съпроводено с незабавна повреда на инструмента, поради адхезията на алуминия при увеличаване на въртящия момент. Инструментът с диамантено покритие е с увеличена трайност и генерира по-нисък среден въртящ момент, дължащ се на намаляване на адхезията на алуминия, и осигурява високо качество на резбата. Максималният въртящ момент обаче е 2,4 пъти по-голям от този при нарязване на резба с метчик от HSS без покритие. Малкият коефициент на триене е отговорен за избягването на натрупването на наслойка, а минимално количество на MOT намалява температурата и осигурява минимална адхезия на алуминия към метчика, а в резултат и по-малки стойности на въртящия момент.

Стейнингер и др. [16] изследват въртящия момент и силата на рязане при нарязване на резби с твърдосплавни метчици с различни покрития от TiCN, CrN и TiB<sub>2</sub>, както и на два вида DLC покрития. Резултатите показват, че най-нисък въртящ момент, висока производителност и минимална грапавост се постигат при използване на инструменти с DLC покрития.

Узун и Коркут [17] изследват въртящ момент при нарязване на резби в аустенитна неръждаема стомана AISI 304 (EN 1.4301) с метчици с различни диаметри при различни условия на рязане. Авторите установяват, че въртящият момент има основно влияние върху производителността на рязане, като отчитат счупванията на инструмента при обработка. Освен това се наблюдава и натрупана наслойка върху режещите ръбовете на инструментите.

Рибейро и др. [14] изследват въртящия момент и силата на рязане при обработка с режещ и валцоващ метчик МЗ в сплав Ti-6Al-4V. Авторите установяват, че въртящият момент и силата са по-малки при валцоване отколкото при рязане.

Сикуейра и др. [15] изследват въртящия момент и силата на рязане при обработката на материал SAE1020 (EN1.0044) с метчици с различен ъгъл на подема на винтовата линия ( $15^\circ$  и  $35^\circ$ ) и с метчици с прави канали, като са използвани инструменти с покритие и без покритие. Авторите установяват, че силата на рязане намалява с нарастване на скоростта на рязане, като тази тенденция е по-силно изразена при инструменти с по-голям ъгъл на винтовата линия.

Фрометин и др. [9] провеждат изследване на въртящия момент, микротвърдостта и температурата на рязане, като са използвали девет марки масла и два вида емулсии на водна основа с 5% и 20% концентрация. Установено е, че ефективността на МОТ изразяваща се в силата на триене, зависи основно от добавките в маслата и в по-малка степен от вискозитета им.

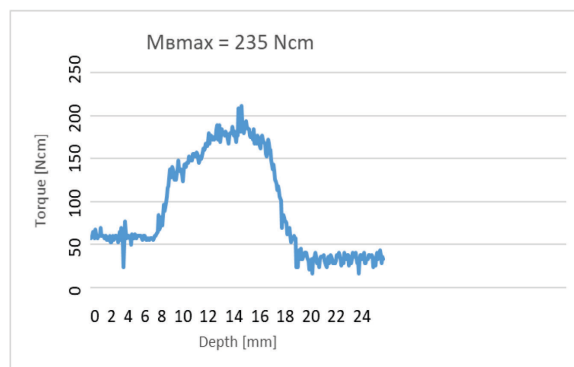
Силите и моментите при валцоването на резба са по-високи от силите при нарязване на резба и това може да доведе до значителна повреда на валцоващите метчици. В тази връзка, Карвало и др. [5] са изследвали въртящия момент и силата на рязане в зависимост от скоростта на формоването при обработка на магнезиева сплав АМ60 с метчици с покритие и без покритие. Резултатите показват, че въртящият момент е по-голям при обработка с инструменти без покритие, а силата на рязане е постоянна при ниските стойности на скоростта на формоване. Най-добър профил на резбата обаче е постигнат, когато са използвани инструменти без покритие при обработка с високи стойности на скоростта на формоване.

Чоудари и др. [7] са разработили модели за прогнозиране на силата на рязане и въртящия момент при формообразуване на резба. Проведени са експериментални изследвания с охлаждане при обработване на месинг, като резултатите показват, че големината на силите зависи от скоростта на формообразуване и големината на прибавката. По-големите стойности на експериментално измерения въртящ момент в срав-

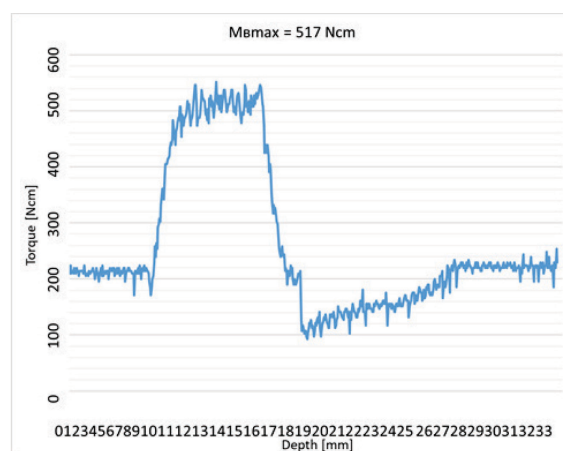
нение с определените по модела се дължат на еластичното възстановяване на материала. Анализът на предложения модел доказва и влиянието на контактния ъгъл, като с неговото увеличаване се увеличава и стойността на въртящия момент.

Александрова и Ганев [1] са разработили нова конструкция режещо-деформационни метчици за обработка на резби. Николова-Пенчева и др. [10] са изследвали въртящия момент при обработка с тези инструменти при прилагането на четири МОТ, показвайки тяхното влияние върху работоспособността на метчиците.

За да се сравни максималният въртящ момент  $M_v$  с различни видове метчици са проведени експериментални изследвания при обработване на резби М8 в стомана С45 с режещ и валцоващ метчик. Като МОТ е използвано вретенно масло MS 10. Големината на въртящия момент е измерена на стенд за изпитване на въртящ момент при постоянна честота на въртене  $n=315 \text{ min}^{-1}$ , а дебелината на детайла е 22 mm.



а)



б)

Фиг. 1. Въртящ момент при обработване на резба М8 с а) режещ метчик; б) валцоващ метчик

**Табл. 1.** Максимален въртящ момент при обработка с различни видове метчици

M <sub>вМах</sub> (Ncm)	Вид метчик		
	Режещ	Валцоващ	Режещо-деформационен
1	244	473	780
2	303	517	600
3	235	423	840

Характерът на изменение на въртящия момент и измерените максимални стойности на момента M<sub>вМах</sub> при различни метчици са представени съответно на Фиг. 1 и в Таблица 1, като резултатите за режещо-деформацията метчик с прави стружкови канали ( $\lambda_s=0^\circ$ ) са въз основа на проведените изследвания в [1], [10].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С оглед практическото приложение на различните конструкции метчици при обработване на различни материали е необходимо да се изберат инструмент и метод на обработка в зависимост от твърдостта на материала и неговата податливост на пластична деформация.

Основните параметри, изучавани от изследователите в процеса на формообразуване на вътрешни резби с метчици, са въртящият момент и силата на рязане. Получените резултати показват голямото влияние на МОТ и вида на покритията върху тези параметри, както и върху износването и трайността на метчиците.

Установено е, че прилагането на МОТ и различни повърхностни покрития водят до намаляване на пластичната деформация на обработвания материал, на силата и мощността на рязане, както и до повишаване на качеството на обработените повърхнини. Намалява се износването на инструмента и се повишава неговата трайност, което от своя страна води до увеличаване на производителността.

Проведените изследвания на въртящия момент и силите, както и построените модели на тези параметри са валидни за обработка с метчици с дадена конструкция и конкретен обработван материал. Не са разработени обобщени модели за определяне на въртящия момент и силата на рязане,

които да отчитат влиянието на физико-механичните свойства на обработвания материал, вида на МОТ, геометрията на инструмента и елементите на режима на рязане.

В тази връзка изследването на въртящия момент и силата на рязане за всяка нова конструкция метчици, каквато е новосъздадената конструкция режещо-деформационни метчици представена от [1,10], налага задълбочено и комплексно изследване, за да се докажат режещите качества на инструмента. Също така отчетеният висок въртящ момент на новата конструкция режещо-деформационни метчици налага използване на инструменти с наклонени стружкови канали ( $\lambda_s \neq 0^\circ$ ).

## REFERENCE

- [1] Aleksandrova, I.S., Ganev, G.N. Combined cutting-deforming taps (2013) Strojnicki Vestnik/Journal of Mechanical Engineering, 59 (2), pp. 106-111.
- [2] Armarego EJA, Chen MNP (2002) Predictive cutting models for the forces and torque in machine tapping with straight flute taps. CIRP Ann 51(1):75-78
- [3] Bhowmick, S., M. Lukitsch, A. Alpas. Tapping of Al-Si alloys with diamond-like carbon coated tools and minimum quantity lubrication. Journal of Materials Processing Technology 210, 2010, 2142-2153.
- [4] Cao T, Sutherland JW (2002) Investigation of thread tapping load characteristics through mechanistics modeling and experimentation. Int J Mach Tool Manu 42:1527-1538
- [5] Carvalho AO, Brandão LC, Panzera TH, Lauro CH (2012) Analysis of form threads using fluteless taps in cast magnesium alloy (AM60). J Mater Process Technol 212:1753-1760
- [6] Chen NM, Smith AJR (2011) Modelling of straight-flute machine tapping. Proc Inst Mech Eng B J Eng Manuf 225:1552-1567
- [7] Chowdhary S, DeVor RE, Kapoor SG (2003) Modeling Forces Including Elastic Recovery for internal thread forming. J ManufSci Eng, doi.org/10.1115/1.1619178
- [8] Fromentin G, Poulachon G, Moisan A, Julien J, Giessler J (2005) Precision and surface integrity of threads obtained by form tapping. CIRP Ann 54(1):519-522
- [9] Fromentin, G., A. Bierla, C. Minfray, G.Poulachon. An experimental study on the effects of lubrication in form tapping. Tribology International, 43, 2010, 1726-1734

- [10] Nikolova-Pencheva, M., I. Alexandrova, J. Mitev. Effect of lubricant-coolant fluids on the working performance of taps. Report from the National Conference on Mechanical Engineering, 2019, Varna.
- [11] Oliveira JA, Ribeiro Filho SLM, Brandão LC (2018) Investigation of the influence of coating and the tapered entry in the internal forming tapping process. *Int J AdvManuf Technol* 101:1051–1063
- [12] Popović M, Stoić A, Tanović L (2016) Prediction of tapping forces and torque for 16MnCr5 alloyed steel. *Tehnički vjesnik* 23(3):873–879.
- [13] Puzović R, Kokotović B (2006) Prediction of thrust force and torque in tapping operations using computer simulation. *FME Trans* 34:1–5.
- [14] Ribeiro Filho SLM, Lauro CH, Bueno AHS, Brandão LC (2016) Influence cutting parameters on the surface quality and corrosion behavior of Ti-6Al-4V alloy in synthetic body environment (SBF) using response surface method. *Measurement* 88:223–237.
- [15] Siqueira BS, Freitas SA, Pereira RBD, Brandão LC (2019) Influence of chip breaker and helix angle on cutting efforts in the internal threading process. *Int J Adv Manuf Technol* 102:1537–1546
- [16] Steininger A, Siller A, Bleicher F (2015) Investigations regarding process stability aspects in thread tapping Al-Si alloys. *Procedia Eng* 100:1124–1132.
- [17] Uzun G, Korkut I (2016) The effects of cutting conditions on the cutting torque and tool life in the tapping process for AISI 304 stainless steel. *Mater Tehnol* 50(2):275–280.
- [18] Zhang B, Yang F, Wang J (2003) Fundamental aspects in vibrationassisted tapping. *J Mater Process Technol* 132:345–352.