

ИЗСЛЕДВАНЕ НА НАПРЕГНАТО-ДЕФОРМИРАНОТО СЪСТОЯНИЕ НА КОМБИНИРАНИ ИНСТРУМЕНТИ ЗА ОБРАБОТВАНЕ НА РЕЗБОВИ ОТВОРИ

STUDY OF THE STRESS-STRAIN STATE OF THREAD HOLE MACHINING COMBINED TOOLS

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ КОМБИНИРОВАННЫХ ИНСТРУМЕНТОВ ДЛЯ ОБРАБОТКИ РЕЗБОВЫХ ОТВЕРСТИЙ

eng. Stankov N., MSc; assist. prof. Ivanov A., PhD; assist. prof. eng. Draganov I., MSc
Faculty of Mechanical and Manufacturing Engineering – University of Rousse, Rousse, Bulgaria

Abstract: The stress-strain state of various types combined tools is researched by the finite element method. The influence of certain factors on equivalent stresses and displacements of the instrument structure is determined by planned experiment and statistical analysis.

Keywords: CUTTING TOOLS, INTERNAL THREADS, FINITE ELEMENTS METHOD.

Резюме: Изследвано е напрегнато-деформираното състояние на разработени конструкции комбинирани инструменти по метода на крайните елементи. Чрез планиран експеримент и статистически анализ е определено влиянието на група фактори върху еквивалентните напрежения и преместванията на конструкцията на инструмента.

Ключови думи: МЕТАЛОРЕЖЕЩИ ИНСТРУМЕНТИ, ВЪТРЕШНИ РЕЗБИ, МЕТОД НА КРАЙНИТЕ ЕЛЕМЕНТИ.

1. Въведение.

Комбинираните инструменти са предназначени за цялостна обработка на резбови отвори, като процесът включва преходите свредловане на отвор, формиране на фаска и формообразуване на вътрешна резба чрез фрезоване. Основното им приложение е за обработване на резбови отвори и формообразуване на вътрешни резби в корпусни детайли на обработващи центри с ЦПУ, с три и повече управляеми оси [2, 7, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16].

Чрез разработена методика за проектиране на комбинирани инструменти, са определени параметрите на отделните части от конструкцията на инструмента (свредлова, разстъргваща, фрезова, конична и съединителна част). Чрез CAD системата SolidWorks са разработени тримерни модели на инструментите. За определяне на якостното поведение на разработените инструменти е направено изследване на напрегнато-деформираното състояние на моделите на инструмента по метода на крайните елементи, като за целта е използвана системата CosmosWorks.

2. Изложение.

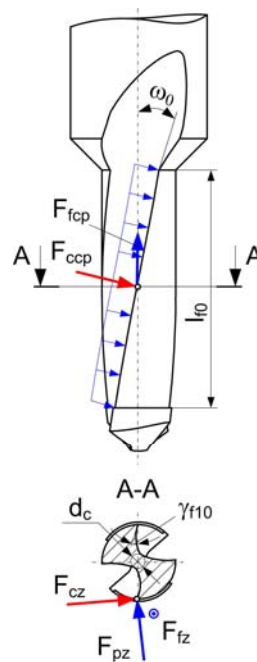
2.1. Изследвани фактори.

Факторите, които са изследвани и оказват влияние върху якостта на конструкцията на комбинирания инструмент са показани на фиг. 1. Това са:

- ъгъл на наклона на стружковите канали ω_0 , °;
- преден ъгъл на фрезовата част γ_{f10} , °;
- диаметър на сърцевината d_c , mm.

Влиянието на тези факторите е определено чрез числен експеримент, представляващ разширен пълен факторен експеримент от типа 2^3 . Чрез експеримента се определят максималните еквивалентни напрежения $\sigma_{екв}^{IV} = f(\omega_0, \gamma_{f10}, d_c)$, определяни по IV якостна теория, преместванията на конструкцията $u = f(\omega_0, \gamma_{f10}, d_c)$, и мястото, където се намира застрашеното сечение на конструкцията на инструмента.

2.2. Моделиране на силовото натоварване на инструмента.



Фиг. 1. Сили, действащи на фрезовата част на инструмента.

Изследва се комбиниран инструмент за обработване на резбови отвори и вътрешни резби M6x1. Дължината на фрезовата част е $1,5xD$, т.е. $l_{f0} = 9mm$, където D е номинален външен диаметър на вътрешната резба.

Разпределението на силите, действащи върху фрезовата част е съгласно схемата показана на фиг. 1, където:

- F_{fcp} - средна тангенциална сила в N;
- F_{ccp} - средна осова сила, N;
- F_{cz} - тангенциална сила, действаща на един зъб от фрезовата част, N;
- F_{pz} - радиална сила, действаща на един зъб от фрезовата част, N;
- F_{fz} - осова сила, действаща на един зъб от фрезовата част, N.

При известна стойност на $F_{ccp} = 100N$, определена аналитично, се определят и силите, действащи на всеки профилен зъб z_0 при три различни стойности на $\omega_0 = 5^\circ, 15^\circ$ и 25° .

Броят на профилните зъби при дължина на фрезовата част $1,5xD$ и $z_0 = 8$. Тогава стойностите на силите, действащи върху един профилен зъб се определят по зависимостите:

$$(1.1) \quad F_{cz} = \frac{F_{fcp}}{z_0} = \frac{100}{8} = 12,5 N$$

$$(1.2) \quad F_{pz} = 0,8.F_{cz} = 0,8.12,5 = 10 N$$

$$(1.3) \quad F_{fz} = 0,28.F_{cz} \cdot \text{tg} \omega_0$$

$$(1.4) \quad F_{fz} = 0,28.12,5.tg5 = 0,306 \text{ N}$$

$$(1.5) \quad F_{fz} = 0,28.12,5.tg15 = 0,938 \text{ N}$$

$$(1.6) \quad F_{fz} = 0,28.12,5.tg25 = 1,632 \text{ N}$$

2.3. Изследване по метода на крайните елементи.

Изследването включва следните етапи [9]:

- опростяване на тримерния модел – фиг. 2;

Опростяването на модела е свързано с премахване на затилованията на свредловата, фрезовата и коничната част, и намаляване дължината на съединителната част, което не влияе върху преките резултати.

- избор на материал на конструкцията;

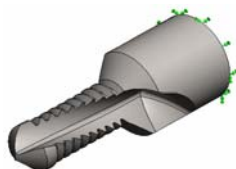
Материалът, който е приет в *CosmosWorks* е инструментална стомана от типа *AISI Type A2 Tool Steel*.

- задаване на закрепването – фиг. 3;

Закрепването е реализирано, чрез ограничаване на всички степени на свобода на напречната равнина, представляваща окръжност. Предпоставка за това е принципът на Сен-Венан [1, 8].



Фиг. 2. Опростен геометричен модел.



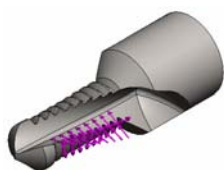
Фиг. 3. Задаване на закрепването.

- задаване на натоварването – фиг. 4;

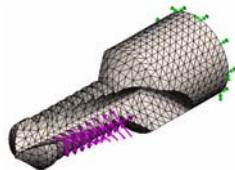
Зададени са съсредоточени сили (*CosmosWorks* ги преобразува в равномерно разпределен товар) във всеки зъб, действащи по режещия ръб и насочени в три направления – нормално на цилиндричната повърхнина, тангенциално на цилиндричната повърхнина и по надлъжната ос.

- дискретизиране на модела – фиг. 5.

За дискретизиране на модела са използвани тетраедърни, изопараметрични крайни елементи. Направени са изчисления при две гъстоти на мрежата. При първата, големината на крайните елементи е $0,750 \text{ mm}$, а при втората $0,325 \text{ mm}$.

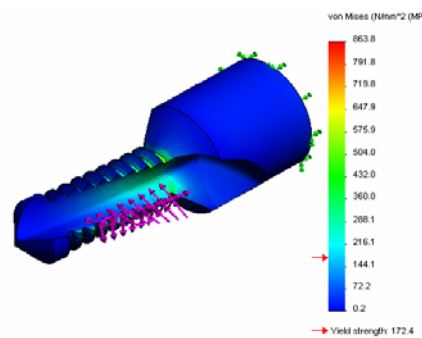


Фиг. 4. Задаване на натоварването.



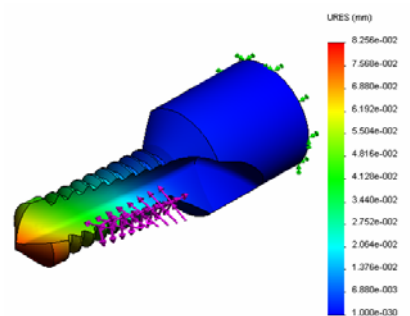
Фиг. 5. Дискретизиране на модела.

Резултатите, които се получават в *CosmosWorks* имат вида, показани на фиг. 6 и фиг. 7. На фиг. 6 е показано разпределението на еквивалентното напрежение $\sigma_{екв}^{IV}$. Тук може да се определи кое е застрашеното сечение. Както се очаква, това е сечението между фрезовата и коничната част. На фиг. 7 е показано разпределението на преместванията на конструкцията u . Максимални премествания се получават при върха на инструмента. В дясно на фигурите се намира цветова скала, по която става отчитането на стойностите на еквивалентните напрежения и преместванията. Местата от конструкцията, които са в по ярки цветове, съответстват на максимални напрежения или премествания.



Фиг. 6. Разпределение на еквивалентните напрежения

$\sigma_{екв}^{IV}$



Фиг. 7. Разпределение на преместванията u .

Получените резултати за $\sigma_{екв}^{IV}$ и u , от изследването по метода на крайните елементи са дадени в табл. 1.

Табл. 1. Резултати за еквивалентните напреженията $\sigma_{екв}^{IV}$ и преместванията u , при изследване на тримерни модели с различни комбинации на факторите.

№ на опита	Фактори			Решение 1, големина на KE – 0,750 mm		Решение 2, големина на KE – 0,325 mm	
	$\omega_0, ^\circ$	$\gamma_{п0}, ^\circ$	d_c, mm	$\sigma_{екв}^{IV}, \text{MPa}$	$u, \mu\text{m}$	$\sigma_{екв}^{IV}, \text{MPa}$	$u, \mu\text{m}$
	Реална стойност						
1	25	10°	0,877	560	58,9	700	60,1
2	5°	10°	0,877	852	90,2	960	93,5
3	25°	0°	0,877	600	56,8	690	58,4
4	5°	0°	0,877	680	86,5	920	89,4
5	25°	10°	0,693	690	64,3	780	66,2
6	5°	10°	0,693	962	96,2	1160	100
7	25°	0°	0,693	690	61,5	760	63,5
8	5°	0°	0,693	1009	91,0	1120	94,6
9	25°	5°	0,785	630	61,0	720	62,9
10	5°	5°	0,785	865	89,3	1050	92,5
11	15°	10°	0,785	835	81,9	960	84,6
12	15°	0°	0,785	825	78,4	920	81,0
13	15°	5°	0,877	825	77,5	880	80,0
14	15°	5°	0,693	855	82,6	1010	85,4

2.4. Статистическа обработка на данните.

Чрез статистически анализ е определено влиянието на факторите върху еквивалентните напрежения и преместванията на конструкцията на инструмента. За описване на взаимното влияние на факторите, съгласно табл. 1 и за определяне на еквивалентните напрежения $\sigma_{екв}^{IV}$ и преместванията u се използват математични модели, получени чрез регресионен анализ [6]. Значимостта на коефициентите на моделите са определени по критерия на Стюдънт, а значимостта на самия модел е определена по критерия на Фишер. Статистическата обработка на данните е извършена с програмата *STATGRAPHICS Centurion XV*.

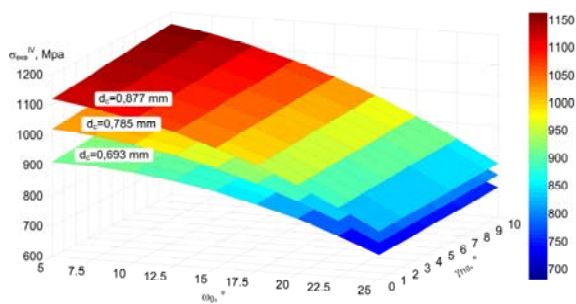
Получени са следните математични модели за определяне на $\sigma_{екв}^{IV}$ и u :

$$\begin{aligned}
 \sigma_{екв}^{IV} = & 942,5 - 156.(0,1.\omega_0 - 1,5) + \\
 & + 15.(0,2.\gamma_{f10} - 1) - 68.(10,869.d_c - 8,533) - \\
 (1.7) \quad & - 6,25.[(0,1.\omega_0 - 1,5).(0,2.\gamma_{f10} - 1)] + \\
 & + 31,25.[(0,1.\omega_0 - 1,5).(10,869.d_c - 8,533)] - \\
 & - 56,5.(0,1.\omega_0 - 1,5)^2, \text{ МПа}
 \end{aligned}$$

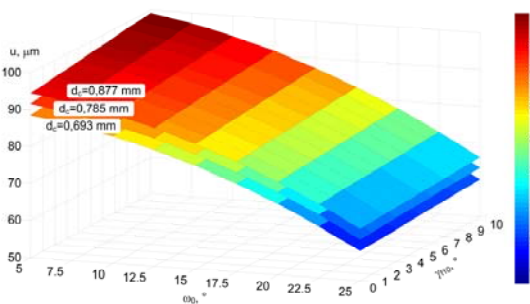
$$\begin{aligned}
 u = & 82,75 - 15,89.(0,1.\omega_0 - 1,5) + \\
 & + 1,75.(0,2.\gamma_{f10} - 1) - 2,83.(10,869.d_c - 8,533) - \\
 (1.8) \quad & - 0,6375.[(0,1.\omega_0 - 1,5).(0,2.\gamma_{f10} - 1)] - \\
 & - 4,64.(0,1.\omega_0 - 1,5)^2, \mu\text{m}
 \end{aligned}$$

Направено е изследване за определяне на фактора, влияещ най-силно върху изменението на еквивалентните напрежения и преместванията на конструкцията на инструмента, т.е. фактора с най-голяма остатъчна дисперсия S_y^2 . Това е ъгълът на наклона на стружковите канали ω_0 .

Графична интерпретация на получените резултати след решаване на уравнения 1.7 и 1.8 е направена с програмата *MATLAB*, като получените диаграми са показани на фиг. 8 и фиг.9 [3, 4, 5].



Фиг. 8. Разпределение на еквивалентните напрежения $\sigma_{екв}^{IV}$.



Фиг. 9. Разпределение на преместванията u .

3. Заключение.

В резултат на получените резултати, са направени следните изводи:

1. Установено е, че с намаляване на ъгъла на стружковите канали ω_0 и увеличаване на диаметъра на сърцевината d_c и предния ъгъл на фрезовата част γ_{f10} , еквивалентните напрежения $\sigma_{екв}^{IV}$ и преместванията на конструкцията на инструмента u нарастват.

2. Определени са факторите, влияещи най-силно върху изменението на напреженията $\sigma_{екв}^{IV}$ и преместванията u на

конструкцията на инструмента. Първи по значимост фактор е ъгълът на наклона на стружковите канали ω_0 , втори е диаметърът на сърцевината d_c и трети е предният ъгъл на фрезовата част γ_{f10} .

3. Изследването по метода на крайните елементи дава предварителна оценка на напрегнато-деформираното състояние на инструмента. Валидирането му е свързано с извършване на експерименти с комбинираните инструменти в реални условия на работа.

4. Литература.

- [1] Зенкевич, О. Метод конечных элементов в технике. Мир, Москва, 1975.
- [2] Иванов, В. Режущи инструменти. Русе, 1998.
- [3] Йорданов, Й. Приложение на Matlab в инженерните изследвания част I. Русе, 2004.
- [4] Йорданов, Й. Приложение на Matlab в инженерните изследвания част II. Русе, 2004.
- [5] Йорданов, Й. Matlab 7. Преобразувания. Изчисления. Визуализация. Техника, София, 2009.
- [6] Митков, Ат., Д. Минков. Математични методи на инженерните изследвания. Русе, 1985.
- [7] Събчев, П. Металорежущи инструменти. Техника, София, 1982.
- [8] Стойчев, Ю. Съпротивление на материалите. Русе, 1986.
- [9] Хаджийски, В., Ст. Стефанов. Компютърен инженерен анализ на машинни елементи с CosmosWorks. Пловдив, 2007
- [10] <http://mt2.bmstu.ru>. Комбинированные резьбообразующие инструменты. 2010.
- [11] www.vargus.com. HTC - Solid Carbide Thread Milling "Thriller" Tool, Thread Milling Handbook. 2010.
- [12] www.kometgroup.com. Threading Systems, Drill thread milling cutter. 2010.
- [13] www.osg-global.jp. Thread Milling Cutter Series, NC Planet Cutter. 2010.
- [14] www.guehring.de. Thread milling cutters, Thread milling cutters with chamfer for countersinking. 2010.
- [15] www.jbo-usa.com. Solid carbide drill thread milling cutter for internal threads. 2010.
- [16] www.reime-noris.de. Thread milling, Thread milling technology. 2010.

Изследванията са подкрепени по договор № BG051PO001-3.3.04/28, „Подкрепа за развитие на научните кадри в областта на инженерните научни изследвания и иновациите“. Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси“ 2007-2013, съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз“.

The study was supported by contract № BG051PO001-3.3.04/28, "Support for the Scientific Staff Development in the Field of Engineering Research and Innovation". The project is funded with support from the Operational Programme "Human Resources Development" 2007-2013, financed by the European Social Fund of the European Union.