# Изследване възможността за автоматично базиране на Т-образен детайл по три призми

Димитър Димитров

***Abstract**: Research the possibility for automatically basing on T-shaped part by three prisms. Consider the influence of the inclination of the prisms on the reliability of indentification details with "T - shaped".*

***Keys words:** accurasy, automatically basing, prisms, "T-shaped" parts*

## ВЪВЕДЕНИЕ

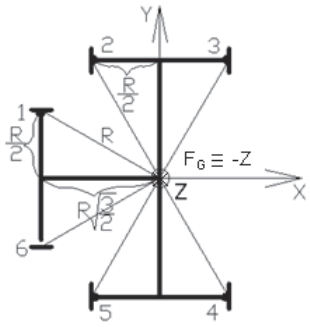
При обработване на детайли с "Т-образна" форма (напр. тройник) обикновено се налага постигането на изисквания за допустимо отклонение във взаимното разположение на обработваните повърхнини от типа на: симетричност на разположение спрямо ос, съосност, перпендикулярност, успоредност и др. Едно подходящо решение, което се е наложило в практиката е базирането на детайла в шест точки по три призми. Предимство на тази схема е, че осигурява еднозначно базиране на детайла с лишаване от всички степени на свобода. Въпросът относно точността на базирането, която се осигурява е разглеждан в специализираната литература по технологична екипировка.[1,2] Отчетено е и влиянието върху точността на ъгълът при върха в общия случай и конкретно при 90º. Установено е, че с увеличаване на ъгъла при върха грешката от базиране във вертикално направление намалява и обратно. Въпросът за влиянието на наклона на призмите върху бързината и надеждността на базирането обаче не е разглеждан. Това е особено важно за технологични процеси, изискващи бързо и надеждно базиране при установяване или автоматично самоустановяване на заготовката под действие на собственото й тегло в приспособлението.

## ИЗСЛЕДВАНЕ НА СИЛОВ МОДЕЛ НА БАЗИРАНЕТО

Разглежда се процеса на базиране на детайл тройник в три призми. За целта се използва модел, за който се приема, че базирането вече е осъществено в пет точки. Детайлът предстои да се добазира и в шестата точка, след което ще е в устойчиво равновесно състояние – покой. Необходимото за целта движение, което би се извършило вероятно представлява сумарно движение или последователни макро- и по-скоро микро- транслационни и ротационни движения до постигане на пълно базиране. При анализирането на това преходно състояние възникват затрудения при прилагане на методите на статиката и кинематиката. Причина е, че в петте контактни точки не се създават еднозначно повтарящи се определи двоици – плъзгащи или въртящи и т.н. и се получава т.нар. геометрична неопределеност. За преодоляването на проблема се въвеждат някои опростявания и допускания. Отчита се, че тройникът е базиран в пет точки, т.е отнети са му пет степени на свобода. Предстои базиране в точка 6. Следователно финалното микродвижение за добазиране може да бъде чисто транслационно или ротационно, или редуващи се такива. Неяснотата относно вида на движението произтича от наклоненото разположение на стената на призмата в точка 1. При вертикална стена в тази точка единствено възможното движение би било ротация спрямо ос, успоредна на Y. При хоризонтална стена – транслация успоредно на Y . Приема се, че в случая условие за да възникне кое да е от тези движения под формата на микропреместване е наличието на подходящи неуравновесени сили. Описаната ситуация е илюстрирана чрез принципната схема (фиг.1) на модела при "поглед отгоре".

В разглеждания модел се приема, че тройникът е идеално твърдо тяло. Размерите на тройника и разположението на базовите точки по двойки 1-6, 2-3 и 4-5

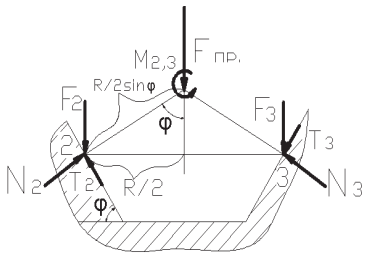
са подбрани, така че всяка двойка точки съвпада с два от върховете на равностранен триъгълник със страна R. Третите върхове на триъгълниците са в обща точка, съвпадаща с центъра на тройника.




Фиг.1. Установяване на тройник в три призми

Трите призми са разположени равномерно през 90º (π/2) в рамките на ½ окръжност. Стените на всяка от призмите са успоредни по между си. Въведена е обемна, правоъгълна, дясно ориентирана координатна система (0XYZ), така че ос X да съвпада с оста на симетрия на точки 1-6, а ос Y съвпада с оста на симетрия, построена между опорни точки (2-3) и (4-5). Прието е всички точки да лежат в равнината 0XY. С $F_G$ е означена сила, равна по големина и съвпадаща по посока (–Z) с теглото на тройника, а нейната приложна точка съвпада с началото на координатната система. Действащата активна сила на теглото $F_G$ се разпределя равномерно във всички опорни точки:

$$F_{1,2,3,4,5} = F_i = \frac{F_G}{5}$$




Фиг.2. Действащи сили и моменти в двойки т. 2-3 и 4-5

Така в двойките точки 2–3 и 4–5 действат еднакви активни сили $F_i$, предизвикващи нормални опорни реакции $N_i$, сили на триене $T_i$ и моменти на триене $M_i$ (фиг.2). За нормалните опорни реакции в тези точки при наклон на призмите φ може да се запише:

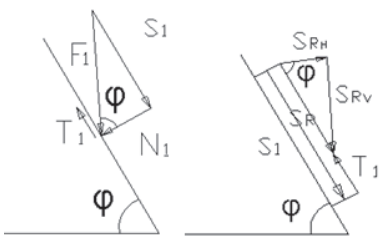
$$N_{2,3,4,5} = \frac{F_{2,3,4,5}}{\cos\varphi} = \frac{F_i}{\cos\varphi} \qquad (1)$$

а за силите на триене, които съответно възникват в същите точки:

$$T_{2,3,4,5} = N_{2,3,4,5} \cdot \mu_0 = \frac{F_i}{\cos\varphi} \cdot \mu_0 \qquad (2)$$

като с $\mu_0$ е означен статичния коефициент на триене (при стремеж за плъзгане) във всяка точка между подвижния и неподвижния елемент. За показаното на фигурата положение спрямо ос на симетрия през опорни двойки 2–3 и 4–5, съвпадаща с ос Y, силите на триене създават съпротивителни моменти. За тях може да се запише:

$$M_{тр2,3,4,5} = T_{2,3,4,5} \cdot \frac{R}{2} = \frac{F_i}{\cos\varphi} \mu_0 \cdot \frac{R}{2} \qquad (3)$$




а) б)

Фиг.3. а) Действащи сили в точка 1 б) определяне и редукция на $S_1$

За определяне на реакцията и съответно силата на триене в точка 1 поради статичната неопределеност на модела са приложени два подхода. При първия (а) е прието, че в точка 1 опорната реакция е същата както и в останалите точки (фиг.2). При втория (b) се приема, че щом като в точка 6 няма базиране съответната част от тройника не може да бъде разглеждана в точка 1 по същия начин както в точки 2-3 и 4-5. В точка 1 частта от подвижната базова

група се разглежда като тяло в покой върху наклонена повърхнина (фиг.3,а). Тогава, съгласно схемата, силата $F_1$ може да се редуцира чрез разлагане и да се представи като векторна сума на $S_1$ и нормалната компонента $N_1$. Следователно:

$$S_1 = F_1 \sin\varphi$$

Като се отчетат особеностите на двата варианта а) от фиг.2 и б) от фиг.3 за нормалните съставни $N_1$ и съответните сили на триене $T_1$ в мястото на контакт между тройника и призмата може да се запише:

а) $N_1 = \dfrac{F_1}{\cos\varphi}$ (от фиг.2) $\rightarrow T_1 = \dfrac{F_1}{\cos\varphi}.\mu_0$

б) $N_1 = F_1 \cos\varphi$ (от фиг.3, а) $\rightarrow T_1 = N_1.\mu_0 = F_1.\cos\varphi.\mu_0$

Ако се разгледат действащите сили на фиг.1 в точки 2,3,4 и 5 спрямо ос Y на въведената КС се установява, че те взимно се уравновесяват. Неуравновесни остават силите, действащи само в точка 1. В такъв случай преместване (плъзгане) на тройника по наклонената повърхнина на призмата е възможно само ако силата $S_1$ е по-голяма от силата на триене $T_1$ (фиг.3б). Това изисква да е изпълнено условието за големината на резултантната сила $S_R$, което се задава с неравенството:

$$S_R = (S_1 - T_1) > 0 \qquad (4)$$

След заместване на $S_1$ и $T_1$ с техните равни от горните изрази при двата варианта се получа:

а) $S_R = F_1.(\sin\varphi - \dfrac{\mu_0}{\cos\varphi})$ (5)

б) $S_R = F_1(\sin\varphi - \cos\varphi.\mu_0)$

За да се изпълни неравенството $S_R > 0$ условието е изразът в скобите също да е по–голям от нула. За двата варианта зависимостта и връзката между наклона φ и $\mu_0$ се задава с неравенствата:

а) $\sin\varphi - \dfrac{\mu_0}{\cos\varphi} > 0 \quad \rightarrow \quad \sin\varphi.\cos\varphi > \mu_0$

б) $\sin\varphi - \cos\varphi.\mu_0 > 0 \quad \rightarrow \quad tg\varphi > \mu_0$

Последните неравенства може да се определят като необходимо условие за да е възможно движение на тройника.

Силата $S_R$ може да бъде редуцирана и да се представи като векторна сума от хоризонталната съставна $S_{RH}$ и вертикалната съставна $S_{RV}$ (фиг3.б). Хоризонталната съставна $S_{RH}$ на силата $S_R$ е сила, която с големината и посоката си създава условие за хоризонтално преместване (транслация) на тройника по направление на ос Y.

$$S_{R_H} = S_R.\cos\varphi$$

За всеки от двата варианта съставната $S_{RH}$ съответно е:

а) $S_{R_H} = F_1.\left(\sin\varphi - \dfrac{\mu_0}{\cos\varphi}\right).\cos\varphi$

б) $S_{R_H} = F_1.(\sin\varphi - \cos\varphi.\mu_0).\cos\varphi$

Вертикалната съставна $S_{RV}$ на силата $S_R$ е сила, която с големината и посоката си създава въртящ момент - необходим за завъртане на тройника около ос Y и за вертикално преместване на лявата небазирана част от тройника в посока –Z, т.е. за осъществяване на базирането му в точка 6.

$$S_{R_V} = S_R.\sin\varphi$$

За всеки от двата варианта съставната $S_{RV}$ съответно е:

а) $$S_{R_V} = F_1.\left(\sin\varphi - \frac{\mu_0}{\cos\varphi}\right).\sin\varphi$$

б) $$S_{R_V} = F_1.\left(\sin\varphi - \cos\varphi.\mu_0\right)\sin\varphi$$

За да бъде възможно базиращо движение към точка 6 трябва и двете съставни $S_{RH}$ и $S_{RV}$ да имат необходимата големина и посока.

Следователно за да не бъде тройникът в покой е необходимо да се преодолее съпротивлението от триенето като бъдат изпълнени следните две неравенства:

$$\begin{cases} S_{R_H} > T_2 + T_3 + T_4 + T_5 \\ S_{R_V}.\dfrac{R\sqrt{3}}{2} > M_2 + M_3 + M_4 + M_5 \end{cases} \quad (6)$$

След заместване на $S_{RH}$, $S_{RV}$, $T_i$ и $M_i$ със съответните им значения, определени по-горе, преработване и опростяване на неравенствата се получават достатъчните условия за да е възможно движение на тройника:

$$a)\begin{cases} F_1.\left(\sin\varphi - \dfrac{\mu_0}{\cos\varphi}\right).\cos\varphi > 4.\dfrac{F_1}{\cos\varphi}.\mu_0 \\ F_1.\left(\sin\varphi - \dfrac{\mu_0}{\cos\varphi}\right).\sin\varphi..R.\dfrac{\sqrt{3}}{2} > 4.\dfrac{F_1}{\cos\varphi}.\mu_0.\dfrac{R}{2.\sin\varphi} \end{cases} \rightarrow \begin{cases} \dfrac{\sin\varphi.\cos^2\varphi}{(4+\cos\varphi)} > \mu_0 & (7.1) \\ \dfrac{\sin^3\varphi.\cos\varphi.\sqrt{3}}{\left(\sin^2\varphi.\sqrt{3}+4\right)} > \mu_0 & (7.2) \end{cases}$$

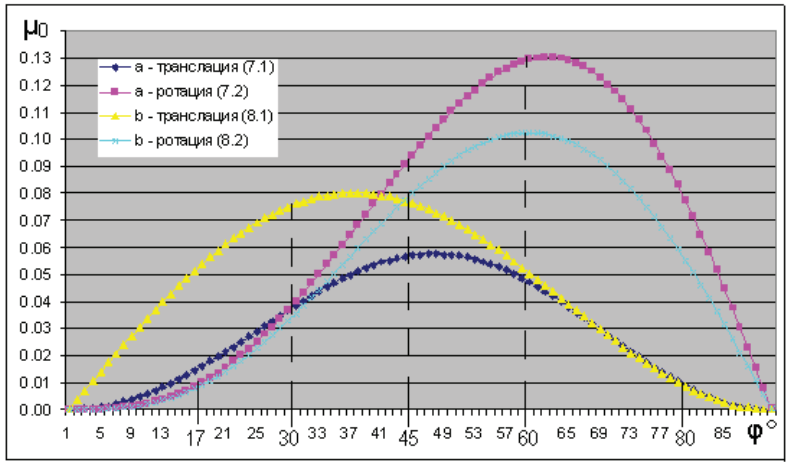
$$b)\begin{cases} F_1.\left(\sin\varphi - \cos\varphi.\mu_0\right)\cos\varphi > 4.\dfrac{F_1}{\cos\varphi}.\mu_0 \\ F_1.\left(\sin\varphi - \cos\varphi.\mu_0\right)\sin\varphi..R.\dfrac{\sqrt{3}}{2} > 4.\dfrac{F_1}{\cos\varphi}.\mu_0.\dfrac{R}{2\sin\varphi} \end{cases} \rightarrow \begin{cases} \dfrac{\sin^2\varphi.\cos^2\varphi}{\left(4+\cos^3\varphi\right)} > \mu_0 & (8.1) \\ \dfrac{\sin^3\varphi.\cos\varphi.\sqrt{3}}{\left(\sin^2\varphi.\cos^2\varphi.\sqrt{3}+4\right)} > \mu_0 & (8.2) \end{cases}$$

Вижда се, че и в двете групи неравенства (a,b) ъгълът на наклон на призмите е обвързан с големината на статичния коефициент на триене в зоната на контакт между подвижния елемент и повърхнините на призмите. Степенните изрази предполагат нелинейност и наличие на екстремуми. Това се вижда и от фиг.4, на която са представени графики за двата варианта (a,b), построени въз основа на окончателните зависимости 7.1, 7.2, 8.1 и 8.2. Графиките са получени като са задавани стойности на ъгъл φ през 1°.

Анализът на графиките за вариант а) показва че:

1) От първото условие, зададено с неравенство (7.1), се установява, че транслацията е възможна само ако се изпълни $\mu_0 \leq 0{,}06$. Това показва, че големината на $S_{RH}$ не е достатъчна за да бъдат преодолени силите на триене $T_i$ в двойките бази 2-3 и 4-5 и на практика начална транслация е малко вероятна.

2) Второто условие (7.2), отчитащо възможността за начална ротация налага по-малки ограничения, т.е. допуска по-големи стойности на $\mu_0$ в по-голям диапазон на наклона. Такова начално движение е по-вероятно.




Фиг.4. Наклон на базите и коефициент на триене при изпълняване на транслация 7.1 и 8.1 и ротация 7.2 и 8.2 за установяване на тройник

Анализът на графиките за вариант b) показва че:

1) От първото условие, зададено с неравенство (8.1), се установява, че транслацията е възможна само ако се изпълни $\mu_0 \leq 0{,}08$ и е по-благоприятно в сравнение с аналогичното условие (7.1) за варианат a).

2) Второто условие (8.2), както и аналогичното (7.2), отчитащо възможността за начална ротация налага по-малки ограничения, т.е. допуска по-големи стойности на $\mu_0$ в по-голям диапазон на наклона. Такова начално движение е по-вероятно.

**ИЗВОДИ**

- От получените резулати и при двата варианта (a,b) следва, че ротацията е по-вероятното и по-възможното движение на тройника в сравнение с транслацията. Транслацията ще е възможна след като се създадат условия за това с по-ниския коефициент на триене при движение-плъзгане в резултат на началната ротация.
- Установена е значителна зависимост на възможността за преместване на тройника от триенето и наклона. Изследването и графиките определят, че наклонът от 45° се очертава и оказва като най-подходящ.
- Автоматично установяване на тройника е възможно. Освен определения наклон за надеждно, автоматично самоустановяване е необходимо и осигуряване на коефициент на триене при стремеж заплъзгане $\mu_0 \leq 0{,}06$.
- Поради статичната неопределеност на модела и направените допускания достоверността на получените резултати следва да се провери експериментално.

**ЛИТЕРАТУРА**

[1] Горошкин, А. Приспособления за металорежещи машини, Техника, С. 1982
[2] Замфиров, Ив. Технологична екипировка. Русе, П. В. на РУ "Ан.Кънчев", 2003
[3] Справочник технолога–машиностроителя,т. 2,под ред.В.Мисожников, М.1985

**За контакти:**

гл.ас. Димитър Димитров, Катедра "ТММРМ" РУ"Ангел Кънчев", ddimitrov@uni-ruse.bg

**Докладът е рецензиран**