

ZOBECNĚNÁ TOLERANCE TVARU, POLOHY A ROZMĚRU

Ing. Antonín KNÁPEK

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, fakulta strojní, katedra Kontroly a řízení jakosti (doktorand), 17. listopadu 15/2172, 708 33, Ostrava – Poruba, tel. +420 737 032 957, e-mail: antonin.knapek@seznam.cz

Anotace:

V tomto článku je nastíněna nová definice tolerance tvaru, polohy a rozměru obecných ploch v prostoru.

Abstract:

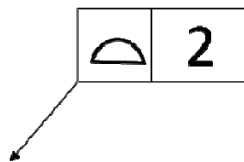
This article shows a new definition of shape, position and dimensional tolerances of free-form general surfaces.

Úvod

Ještě donedávna převažovaly na výrobcích většinou „jednoduché“ plochy typu rovina či válec a bývaly vůči sobě v „rozumných“ pozicích, rovnoběžné nebo vzájemně kolmé. Tyto prvky měly své specifické tolerance tvaru a polohy: rovinnosti, přímosti, válcovitosti, rovnoběžnosti, kolmosti, obvodového házení a podobně.

Mnoho současných výrobků má však již převážně tvary obecných ploch. Je to kvůli požadavkům zákazníků a díky novým výrobním možnostem. Stále je však požadována vysoká přesnost jejich výroby. Tvarově složité jsou komponenty vaší rychlovarné konvice, tvarově komplikované a navíc extrémně přesné jsou, například, lopatky „turba“ ve vašem „TDí“. Automobilový průmysl je vůbec „rájem“ pro obecné plochy. Schválně zkuste na karoserii vašeho automobilu nalézt kousek rovinné plochy, případně něco vzájemně kolmého!

Pro tolerování přesnosti obecných ploch v současnosti existuje jak v [1.] [2.] tak ve [3.] toleranční značka „tolerance tvaru obecné plochy“, takže vše vypadá v naprostém pořádku. Bohužel, není tomu tak.



Existuje totiž zásadní rozdíl ve vyhodnocování tvaru ploch „klasických“ (rovina, válec) resp. jejich tolerancí (rovinnost, válcovitost) a ploch obecných (splíny). Zatímco v případě objektu tvaru roviny či válce vyhodnocujeme opravdu pouze tvar, nezávisle na jejich velikosti (rozměru), v případě obecné plochy mícháme dohromady toleranci tvaru i rozměru! Jak je to možné?

Vše je patrné po důkladném prostudování následujícího obrázku, převzatého z [1.]:

Symbol	Example	Interpretation	Graphical Interpretation According to ISO 1101
		TF: Toleranced feature. TZ: Tolerance zone. TF: The cylindrical surface. TZ: The space between two coaxial cylinders with radial distance 0,2 mm.	
		TF: Any line in the curved surface parallel with the projection plane of the view. TZ: Two lines in a plane parallel with the projection plane of the view. The lines are equidistant to the nominal profile. The distance between the limiting lines is 0,3 mm.	
		TF: The curved surface. TZ: The space between two surfaces. The surfaces are equidistant to the nominal surface. The distance between the limiting surfaces is 0,05 mm.	

14

15

V případě vyhodnocování válcové plochy, resp. tolerance válcovitosti se skutečná plocha porovnává, doslovně přeloženo z předchozího obrázku (The cylindrical surface), se dvěma soustřednými válci s poloměry rozdílnými o hodnotu šířky tolerančního pole. Ovšem absolutní poloměr, resp. průměr, těchto válců není nijak specifikován. Ve skutečnosti uvedené hraniční válce jsou ekvidistantní střednímu průměru válcové plochy, což ovšem není hodnota průměru válce z výkresu či modelu, nýbrž „průměrný průměr“ skutečné válcové plochy. Skutečnou plochu tedy sice porovnáváme s teoretickou plochou popsanou rovnicí nekonečně dlouhého válce, ovšem průměr tohoto ideálního válce se přizpůsobí průměru skutečného válcového objektu a tak se vyhodnocuje opravdu pouze tvar.

V případě objektu typu obecná plocha (The curved surface) je to zdánlivě stejné – skutečná plocha musí ležet mezi dvěma ekvidistantními plochami kolem tzv. „jmenovité“ plochy (orig. nominal surface). Jádrem problému je však v tom, že za tuto „jmenovitou plochu“ se považuje přímo plocha CAD modelu, u níž se však žádné rozměrové přizpůsobení CAD modelu ke skutečně naměřeným bodům NEPROVÁDÍ!

Následek je z metrologického hlediska fatální - pakliže, například, tutéž válcovou díru zatolerujeme jednou tolerancí válcovitosti a podruhé tolerancí tvaru obecné plochy (proč totiž ne?), obdržíme po vyhodnocení měření téže plochy **ROZDÍLNÉ VÝSLEDKY!** Nepřizpůsobením CAD modelu skutečné velikosti skutečného tělesa v případě obecné plochy, mícháme dohromady toleranci tvaru s tolerancí rozměru!

„Vedlejším produktem“ uvedeného stavu je skutečnost, že neexistuje samostatná tolerance rozměru pro případ obecných ploch. Nejen že tedy podle současných definicí tolerance tvaru obecné plochy nejsme schopni o obecné ploše prohlásit, zda má správný tvar, nejsme dokonce ani schopni o ní prohlásit, zda je větší či menší!

Praktický dopad? V případě vyhodnocování tvarové a rozměrové správnosti prvních výlisků z forem je z hlediska budoucího nastavení optimálních procesních parametrů či případných oprav ve formě zcela zásadní potřeba rozlišit chyby rozměru (nesprávná velikost dutiny formy, nesprávně stanovené smrštění) od chyb tvaru (nesprávné vyhřívání a chlazení, chybný tvar dutiny formy). Tyto dvě základní kategorie chyb výlisků se totiž řeší rozdílnými postupy a prostředky a jejich nesprávné určení způsobuje, vzhledem ke značným cenám forem, také značné finanční ztráty.

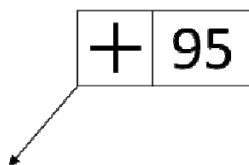
Právě snaha o dosažení stejných výsledků měření „klasických“ i obecných tvarů nezávisle na jejich vyhodnocování a potřeba jednoznačného odlišení vyhodnocování tvaru, rozměru a polohy byla významným faktorem pro vznik tohoto článku. Výsledkem jsou univerzální tolerance tvaru, rozměru a polohy nezávislé na tvaru prvku samotného.

Součinitel tvaru obecné plochy

Návrh nové metodiky měření tvaru technických součástí spočívá v doplnění současné definice plochy tvaru také o proceduru rozměrového přizpůsobení („zoomování“) CAD modelů při jejich sesouhlasení s naměřenými body.

Matematicky je součinitel zobecněné tolerance tvaru definován pomocí statistické charakteristiky korelace, tedy jako bezrozměrná veličina [%], která nabývá hodnot z intervalu $< 0 ; 1 >$, kde nule odpovídá naprostá neshoda tvaru a jedničce naopak naprostá shoda.

- Možnost snadného vytvoření univerzálních tříd přesnosti 90%, 95%, 99% apod., které umožňují vzájemně porovnávat přesnost tvaru libovolných výrobků.
- Skutečné hodnoty součinitele tvaru leží v otevřeném intervalu $(0 ; 1)$, tedy bez hraničních hodnot 0 a 1, což je v souladu s pozorovanou realitou. Ve skutečnosti každý CAD model lze nějak „napasovat“ (součinitel tvaru > 0) na libovolný mrak naměřených bodů tělesa, takže součinitel nemůže dosáhnout hodnoty 0. Naopak naprosté shody skutečné součástky s CAD modelem také nelze dosáhnout ani u sebelepších etalonů (součinitel tvaru < 1). Opět soulad s realitou.
- Tolerance tvaru je definována jako nejnižší dovolená hodnota součinitele tvaru, např. 95%. Toleranční značka by v takovém případě mohla vypadat například takto:



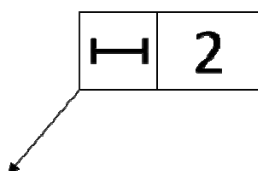
Nevýhodou součinitele tvaru je nutnost použití 3-D měřicího systému s patřičným programovým vybavením. Ovšem ani dnes už obecné plochy bez těchto prostředků měřit nelze.

Součinitel rozměru obecné plochy

Návrh nové definice součinitele rozměru (velikosti) obecné plochy není ničím složitějším, než konstantou, kterou se násobí a tak přizpůsobuje rozměr CAD modelu k naměřenému mraku bodů při proceduře jejich optimálního sesouhlasení.

Prakticky součinitel rozměru obecné plochy říká, kolikrát je skutečné těleso větší či menší než jeho správný rozměr daný jeho CAD modelem. Je to tedy opět bezrozměrné číslo z intervalu $(0, +\infty)$, kdy hodnota 1 znamená naprosto přesný rozměr, hodnota z intervalu $(0, 1)$ znamená skutečnou plochu menší než CAD model a hodnota z intervalu $(1, +\infty)$ naopak skutečnou plochu větší než CAD model. Pro lepší názornost doporučuji tento koeficient uvádět v procentech.

Tolerance rozměru pak budiž definována jako šířka intervalu této konstanty. Tedy, například, pro interval součinitele rozměru 99-101% by předpis tolerance mohl vypadat třeba takto:



Úvod do tolerance polohy obecné plochy

Po předchozí kapitole se již zdá, že bychom snad již mohli vystačit pouze s popisem tvaru a rozměru. Přesto však podvědomě cítíme, že pojem „poloha“ ve smyslu pozice "něčeho" vůči "něčemu", nemůžeme jen tak zrušit.

Představme si, že potřebujeme vyřešit běžný problém výrobce automobilů – zjištění skutečné polohy dveří (obecného tvaru) vůči zbytku karoserie (jak jinak, také obecného tvaru) po jejich montáži. Například pomocí optického skeneru naskenujeme povrch dveří i okolních dílů karoserie a získáme datový soubor, mrak měřících bodů. Tento mrak bodů rozdělíme na dvě podoblasti: dveře a zbytek karoserie.

Dále „připlácne“ (optimálně sesouhlasíme) oblast karoserie, základnu, na její CAD model. Je to činnost v metrologickém žargonu nazývaná „vyrovnání“.

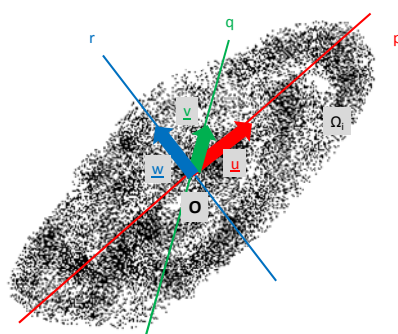
V dalším kroku už pouze PROMÍTNEME všechny naměřené body dveří na jejich CAD model, aniž bychom přitom pohnuli se zbytkem karoserie, základnami. Takto získáme další mrak bodů – průměty skutečně změřených bodů na ideální plochy CAD modelu.

Vyhodnocení polohy dveří spočívá ve vyhodnocení vzájemné polohy dvou obecných mraků bodů. Jak to udělat?

Zástupný souřadný systém v toleranci polohy obecné plochy

Pro hodnocení polohy jednoho objektu vůči jinému je nutné, aby se hodnocený objekt „scvrknul“ do zjednodušené podoby. Praktickým je zjednodušit objekt do úrovně nějakého jeho zástupného souřadného systému, který by umožnil vyhodnotit jak posuny, tak i pootočení. Jak lze takový systém vytvořit a jaké by měl mít vlastnosti?

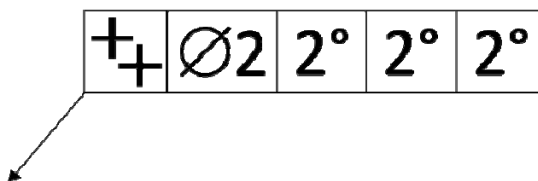
Na jakékoli části tělesa, jejíž poloha nás zajímá, (v našem příkladě na těch dveřích) lze měřením získat konečnou množinu měřicích bodů, nazvěme ji třeba Ω . V této množině lze vždy nalézt lokální ortogonální souřadný systém s počátkem, bodem O a vzájemně kolmými osami i, j, k . Počátek O je definován jako bod, jehož poloha je aritmetickým průměrem poloh všech naměřených bodů množiny Ω . Osa i je definována jako regresní přímka množiny Ω , osa j je regresní přímkou průmětu Ω do roviny s normálou i , osa k je regresní přímkou průmětu Ω do roviny, definované vektory i, j . U obecných 3D množin bodů existuje vždy jen jediný takový lokální systém. Teoreticky jich sice může existovat více (u rovinně symetrických množin dva, u osově symetrických nekonečně mnoho se společnou jednou osou – podélnou osou množiny Ω a u středově symetrických množin Ω nekonečně mnoho se společným jedním bodem – středem symetrie), avšak u mraků z reálných naměřených bodů je pravděpodobnost existence jakékoli symetrie mizivá.



Pakliže takové náhradní lokální souřadné systémy nalezneme v mracích bodů reprezentujících skutečnou a teoretickou polohu oněch dveří z našeho příkladu, pak je možné vyhodnotit jejich skutečnou polohu

Zobecněná tolerance polohy obecné plochy

Tolerance polohy je pak definována jako rozsah největší dovolené délkové a úhlové odchylky. Toleranční značka by mohla vypadat třeba jako na následujícím obrázku. V první kolonce je průměr kulového tolerančního pole, určujícího maximální odchylku počátku množiny Ω a v následujících kolonkách jsou postupně úhly kulových výsečí určující maximální úhlové odchylky primární, sekundární a terciální osy lokálního souřadného systému prvku. Jednotkami odchylky polohy jsou délkové a úhlové jednotky.



Závěr

Ačkoli takto definované tolerance naleznou uplatnění převážně u objektů s tvary obecných ploch, jelikož jsou univerzální pro libovolné obecné plochy, lze jimi popisovat i plochy a vzájemné polohy „klasické“ (rovina, válec, koule, ..., rovnoběžné, kolmé, souosé, ...) a tím pádem jimi mohou být i klasické toleranční symboly zcela nahrazeny.

Seznam použité literatury

- [1] ASME Y14.5M-1994(R2004): *Dimensioning and Tolerancing. Engineering Drawing and Related Documentation Practices*. The American Society of Mechanical Engineers, 1994, 2009
- [2] ASME Y14.5-2009: *Dimensioning and Tolerancing. Engineering Drawing and Related Documentation Practices*. The American Society of Mechanical Engineers, 2009
- [3] ISO 1101: *Geometrical Product Specification(GPS) – Geometrical Tolerancing – Tolerances of form, orientation, location and run-out*. Second edition 2004-12-15

Lektoroval:
Doc. Ing. Jiří Havlík, Ph.D.