

MODELY TVORENIA TRIESKY PRI HRUBOVACÍCH A DOKONČOVACÍCH SPÔSOBOCH OBRÁBANIA

MODELS OF CHIP FORMATION BY FINISHING AND ROUGHING OPERATIONS

Zdenko LIPA, Alexander JANÁČ, Eva KUCHÁRIKOVÁ

Autori: Prof. Ing. Zdenko Lipa, CSc., Prof. Ing. Alexander Janáč, CSc.,
Ing. Eva Kucháriková
Pracovisko: Ústav výrobných technológií, Katedra obrábania a montáže,
Materiálovotechnologická fakulta STU
Adresa: J. Bottu 25, 917 24 Trnava, Slovenská republika
Tel.: +421 33-5521019
E-mail: zdenko.lipa@stuba.sk, alexander.janac @ stuba.sk,
eva.kucharikova@stuba.sk

Abstract

Článok vychádza z pojmu technológia obrábania. Všíma si pojem trieska a je rozdelený na dve časti. V prvej časti rozoberá modely tvorenia triesky pri hrubovacích spôsoboch obrábania ako sú geometrické modely, modely uplatňujúce princíp minima deformačnej energie i princíp sklzových a prúdových čiar. Na základe určenia tzv. Merchantovej konštanty C uvádza ich vzájomné pozorovanie i porovnanie s experimentálnymi výsledkami. V druhej časti rozoberá modely tvorenia triesky pri dokončovacích spôsoboch obrábania. Modely tvorenia mikrotriesok znázorňuje podľa predpokladaného tvaru brúsneho zrna a to pre model brúsneho zrna v tvare gule a v tvare kryštálu. Záverom sa konštatuje, že teória tvorenia triesok nie je ešte uzavretou časťou analytickej teórie obrábania.

The paper deals with technological concept of machining. It explains the term chip and it is divided into two chapters. In first chapter the models of chip formation by roughing operation such as geometric models, models applying principle of minimum deformation energy as well as principle of slip and flow lines are analyzed. Based on determining Merchant constant C the paper observes and compares these models and verifies it with experimental results. In second chapter the paper deals with models of chip formation by finishing operations. Based on abrasive grain's shapes such as sphere and crystal shapes the models of microchips formation are illustrated. The final statement is that the theory of chip formation in analytical field of machining is still not accomplished.

Key words

tvorenie triesky, model, hrubovacie spôsoby obrábania, dokončovacie spôsoby obrábania

chip formation, model, finishing operation, roughing operation

Úvod

Budeme vychádzať z pojmu technológia obrábania. Technológia súvisí s pojmom technika. Oba pojmy majú rovnaký slovný základ pochádzajúci z gréčtiny. Grécke techné znamená „vedieť ako“, ale aj „zručnosť“. Teda sú to „vedomosti, znalosti o zostrojovaní“. Potom ešte logos znamená „veda, náuka“. V niektorých jazykoch oba tieto pojmy technika a technológia v podstate splývajú, v iných predstavujú dva rôzne pojmy. Môžeme potom hovoriť o širšom a užšom význame pojmu technológia. Užší význam tohto pojmu bol zaužívaný v slovenčine. Technológia podľa užšieho významu slova sa zaoberá hľadaním a získavaním nerastov, ako surovín, ďalej spracovaním týchto surovín na polotovary (polovýrobky) a napokon spracovaním polotovarov na hotové výrobky včítane ich pospájania do funkčných (požadovaných) celkov. Technológia sa takto výlučne odvíja len od výroby. Technológia podľa širšieho významu slova (čo je zaužívané napr. v angličtine a prenikaním angličtiny k nám, preniká k nám postupne i širší význam pojmu technológia) v podstate znamená to, čo technika, resp. týmto pojmom sa pojem technológie môže do slovenčiny prekladať i keď situácia s pojmami technológia a technika je trochu zložitejšia. Ericssonovi (tvorcovi mobilných telefónov) sa pripisuje výrok: „Najdôležitejšia je komunikácia medzi ľuďmi, všetko ostatné je technológia“. Podľa širšieho významu slova technológia môžeme hovoriť napr. o informačných technológiách a podobne. Čiže podľa širšieho významu slova technológia tu ide o akúkoľvek tvorbu produktu (nielen hmotného). Z toho potom vyvstávajú otázky ako: je technológia veda alebo umenie. Ak má technológia objekt bádania a metódy bádania, tak je vedou (a je tomu vskutku tak i keď technológia má aj svoju praktickú, aplikačnú, či čisto realizačnú stránku).

Technológie môžeme klasifikovať (zatriedovať) z rôznych hľadísk. Môžeme hovoriť o *teoretickej technológii* a o *praktickej technológii*. Ak máme na mysli jednotiace hľadisko, používame jednotné číslo (jedna technológia), napríklad Strojárska technológia. Ak máme na mysli mnohorakosť a rozličnosť, rozdielnosť, tak používame množné číslo (mnohé technológie), napríklad Strojárske technológie alebo Technológie strojárskej výroby a podobne. Technológie môžu byť tiež konvenčné (tradičné) a nekonvenčné (netradičné), ďalej môžu byť hrubovacie (výkonové, silové) a dokončovacie (jemné, presné). Tých hľadísk môže byť ešte viac.

Technológia ako proces prináša zmeny na východiskovom stave materiálu a výsledkom je konečný stav materiálu, teda výrobok. Tieto zmeny môžu byť vnútorné a vonkajšie (tvarové). Vnútorné zmeny sú zmeny skupenstva, štruktúry alebo chemického zloženia. Vonkajšie zmeny sa dejú odobratím, pridaním alebo premiestnením materiálu.

Obrábanie je založené na princípe, že mechanickými, fyzikálnymi (elektrickými, akustickými, optickými a inými) a chemickými spôsobmi zo zvoleného polovýrobku získame výrobok (súčiastku) odoberaním prebytočného materiálu vo forme triesok, úlomkov, iskier alebo kvapiek (roztaveného kovu a i.).

A) Tvorenie triesky nástrojom s definovanou geometriou rezného klina

1. Pojem triesky pri obrábaní nástrojom s definovanou geometriou rezného klina

Hlavným produktom obrábania je súčiastka a odobratý materiál (triesky, úlomky, iskry, kvapky) sú vedľajším produktom obrábania. Triesky vznikajú pri obrábaní húževnatých materiálov, úlomky pri obrábaní krehkých materiálov, iskry pri brúsení, kvapky pri elektrochemických a iných spôsoboch obrábania. Treba však podotknúť, že niektorí bádatelia z oblasti obrábania aj úlomky pokladajú za triesky. My budeme v ďalšom texte pod trieskou

rozumieť tú časť obrábaného materiálu, ktorá sa pri obrábaní z obrábaného materiálu odstraňuje a to vo forme presne definovaného geometrického telesa, pričom ak sa nezmenia podmienky obrábania, tak si triesky ako geometrické telesá zachovávajú svoj prierez (hrúbku a šírku) a dĺžku majú náhodnú.

Tvorenie triesky je zložitý proces a je predmetom výskumu analytickej teórie rezania, ktorá je súčasťou teórie obrábania.

Proces tvorenia triesky je predmetom záujmu mnohých bádateľov už viac ako 125 rokov. Hoci bolo sformulovaných viacero náhľadov a z toho plynúcich modelov tvorenia triesky, predsa táto záležitosť nie je ešte uzavretá a stále sa v tejto oblasti báda. Prvé veľmi zjednodušené náhľady sú postupne spresňované. Problém je v tom, že poznatky z teórie pružnosti a pevnosti nemožno jednoducho aplikovať, lebo pri procese rezania nielenže nejde o jednoduché namáhanie (ťah, tlak, strih), ale rýchlosti deformácie sú o niekoľko rádov vyššie ako pri namáhaní konštrukčných súčiastok ba i tvárnených súčiastok.

2. Doterajšie modely tvorenia triesky

Doterajšie modely možno zatriediť do niekoľkých skupín.

2.1 Geometrické predstavy tvorenia triesky

Prvkami geometrického modelu tvorenia triesky sú: hĺbka rezu a_p , uhol čela (pre ortogonálne rezanie – hobl'ovanie stačí aj nástrojový ortogonálny uhol čela γ_0) rezná rýchlosť v_c , hrúbka triesky a_t . Vypočítavanými parametrami sú: stlačenie triesky K , uhol medznej roviny deformácie φ_1 , rýchlosť odchodu triesky v_t , uhlové pretvorenie γ , rýchlosť deformácie, uhol textúry $\varphi_2 = \varphi_1 + \psi$, rýchlosť strihu v_s . Patria tam modely Timeho a Piispanena.

2.2 Uplatnenie princípu minima deformačnej energie

Do modelu tvorenia triesky sa aplikovali silové pomery. Tak sa mohol vymedziť aj tretí uhol η a uhol vnútorného trenia η_v , ktoré sa stali prvkami modelu (Ernst-Merchant, Merchant, a i.). Hľadáním minima výslednej reznej sily ako funkcie uhlu medznej roviny deformácie sa našla podmienka pre uhol medznej roviny deformácie ako vypočítavaného parametra modelu.

2.3 Uplatnenie princípu sklzových a prúdových čiar

Model podľa Krystoffa a Lee-Shaffera vychádza z prejudikovania uhla medzi výslednicou reznej sily a medznou rovinou deformácie, odtiaľ sa potom uhol medznej roviny deformácie už dá vypočítať.

2.4 Porovnanie jednotlivých modelov s experimentálnymi údajmi

Uvedené jednotlivé modely v kapitolách 2.1 až 2.4 poskytujú vzťah najmä pre výpočet polohy medznej roviny deformácie (danej uhlom φ_1). Preto porovnanie urobíme cez tento uhol medznej roviny deformácie. Na porovnanie jednotlivých modelov navzájom (s ohľadom na spomínaný uhol φ_1) nám môže poslúžiť Merchantov model kde platí $2\varphi_1 + \eta - \gamma_0 = C$, kde γ_0 je nástrojový ortogonálny uhol čela a C je konštanta (tzv. Merchantova) a každý iný výpočet uhla φ_1 podľa ďalších modelov môžeme dostať rôznymi modifikáciami Merchantovej konštanty C . Údaje sú v tabuľke č.1. Údaje z tabuľky č.1 možno porovnať s experimentálne zistenými údajmi, pričom pri obrábaní oceli SAE 4340 nástrojom SK P 20 pri podmienkach :

hlbka rezu $a_p = 1$ mm, posuv $f = 0,2$ mm, rezná rýchlosť $v_c = 200$ m/min, $\gamma_0 = 10^\circ$, pri ďalších podmienkach : $\eta = 36^\circ$, $\eta_v = 30^\circ$, $\alpha = +5^\circ$ je uhol medzi smerom max. šmykových napätí a šmykovou rovinou, $C = 75^\circ$, $K = 2$, $\xi = 20^\circ$, sú vypočítané uhly φ_1 , pričom ξ je Zorevov pomocný uhol rezu. Experimentálne bola zistená hodnota $\varphi_1 = 25^\circ$. K tejto hodnote sa najviac blíži φ_1 podľa Merchantovho vzorca a najviac vzdialené je φ_1 podľa Stablera. Dobrú zhodu s experimentálnou hodnotou ukazujú aj vzťahy podľa Shaw-Cook-Finnieho, Hucksa, Weisza i Zoreva. Pravda, toto je iba jeden príklad, na základe ktorého nemožno urobiť všeobecné závery, ale aj tak možno usúdiť, že vzťahy opierajúce sa o bohatú experimentálnu bázu budú najúspešnejšie (Merchant, Shaw-Cook-Finnie).

Tabuľka 1

Autor vzorca	Modifikácia C	Vzorec pre φ_1	Vypočítaná hodnota φ_1
1) Merchant (r.1945)	-	$\varphi_1 = \frac{C - \eta + \gamma_0}{2}$	$24,5^\circ$
2) Time (r.1870)	$C = 180^\circ - \eta - 2\psi_1 + \gamma_0$	$\varphi_1 = 90^\circ - \psi_1 + \gamma_0$	29°
3) Brix (r.1896)	$C = 180^\circ - \eta - 2\eta_v + \gamma_0$	$\varphi_1 = 90^\circ - \eta_1 - \eta_v + \gamma_0$	34°
4) Zvoryklin – Herman (r.1893, 1907)	$C = 90^\circ - \eta_v$	$\varphi_1 = 45^\circ - \frac{\eta}{2} - \frac{\eta_v}{2} + \frac{\gamma_0}{2}$	17°
5) Ernst – Merchant (r.1940)	$C = 90^\circ$	$\varphi_1 = 90^\circ - \psi_1 + \gamma_0$	32°
6) Krystoff-Lee- Shafer (r.1939, 1951)	$C = 90^\circ - \eta + \gamma_0$	$\varphi_1 = 45^\circ - \eta + \gamma_0$	19°
7) Stabler (r.1951)	$C = 90^\circ - \eta$	$\varphi_1 = 45^\circ - \eta + \frac{\gamma_0}{2}$	14°
8) Hucks (r.1951)	$C = 90^\circ + \eta + \gamma_0 - \arctg 2\mu$ $\mu = \operatorname{tg} \eta$	$\varphi_1 = 45^\circ - \frac{\arctg 2\mu}{2} + \gamma_0$	27°
9) Shaw-Cook- Finnie (r.1957)	$C = 90^\circ - \mu + \gamma_0 + 2\alpha$	$\varphi_1 = 45^\circ - \eta + \gamma_0 + \alpha$	24°
10) Weiss (r.1957)	$C = 109,4^\circ - \eta + \gamma_0$	$\varphi_1 = 54,7^\circ - \eta + \gamma_0$	$28,7^\circ$
11) Zorev (r.1957)	$C = 90^\circ - \xi$	$\varphi_1 = 45^\circ - \frac{\eta - \gamma_0 + \xi}{2}$	22°

B) Tvorenie triesky nástrojom s nedefinovanou geometriou rezného klina

3. Pojem mikrotrieska

Odoberané častice pri dokončovacích spôsoboch obrábania budeme nazývať mikrotriesky z tých istých dôvodov pre ktoré sme zaviedli pojmy mikroobrábanie a mikrorezania. Za mikrotriesky budeme považovať všetky oddelené častice či už sebe podobné alebo sebe nepodobné (rozdrobené, tak je to u obrábaní krehkých materiálov, kde sa mikrotrieska rozdrobí).

4. Modely tvorenia mikrotriesky

Ak niektoré rezné klíny (zrná) mikrorezného nástroja (môžeme ho tak označiť) pri obrábaní húževnatého, pevného materiálu majú vhodný tvar, geometriu a vhodnú hĺbku rezu (väčšiu ako polomer zaoblenia reznej hrany) tak mikrotriesky môžu vzniknúť procesom obdobným ako pri hrubovacom obrábaní jednoklenným nástrojom. Rozdiel býva najmä v geometrii. Pri hromadnom mikrorezaní majú rezné klíny spravidla záporné uhly čela (značných absolútnych hodnôt) a teda dochádza k masívnejšej plastickej deformácii odoberanej vrstvy v primárnej zóne plastickej deformácie a tiež aj v sekundárnej zóne plastickej deformácie.

Odoberanie materiálu pri hromadnom mikrorezaní je konglomerátom rezania, zadierania, odomieľania, ulamovania, trenia a deformovania odoberanej vrstvy a to tak pri nízkorýchlostnom, tak pri vysokorýchlostnom hromadnom mikrorezaní. Rozdiel je v tom, že pri vysokorýchlostnom hromadnom mikrorezaní je väčšia rýchlosť plastickej deformácie a v konečnom dôsledku tým aj väčší vývin tepla a vyššia teplota rezania.

Modely tvorenia mikrotriesok možno znázorniť viacerými spôsobmi podľa predpokladaného tvaru brúsneho zrna:

- model brúsneho zrna v tvare gule
Brúsne zrno svojím spôsobom vytvára žliabok vytláčaním materiálu na strany a tlačení materiálu pred sebou. Materiál pred rezným klinom (zrnom) je silne stlačený a pripomína nárstok pri individuálnom rezaní. Priečny profil žliabku sa zhoduje s profilom zrna.
- model brúsneho zrna v tvare kryštálu
Brúsne zrno svojím spôsobom taktiež vytvára žliabok podobne ako u predchádzajúceho modelu. Zrno možno modelovať ako kryštál s ostrými hrotmi a uhlami hrán 90° resp. 120° alebo ako kryštál so zaoblenými hrotmi s tými istými uhlami hrán. Zrno môže mať aj viac hrotov (napr. 2 v lichobežníkovom profile).

Spoľahlivé informácie o zvláštnostiach procesu tvorenia triesky pri mikrorezaní možno získať zatiaľ len experimentálne. Spoľahlivou metódou skúmania javov tvorenia triesky pri mikrorezaní je fixácia zóny rezania „okamžitým“ zastavením mikrorezania. Boli na to vyvinuté prístroje i metódy najmä pre individuálne rezanie. Pre vysokorýchlostné hromadné rezanie bol problém práve v reznej rýchlosti, ktorá vysoko prevyšuje reznú rýchlosť pri individuálnom mikrorezaní. Preto bolo potrebné vyvinúť metodiku fixácie vhodnú pre takéto podmienky.

Záver

Dochádzame k záveru, že teória tvorenia triesky nie je zďaleka uzavretou časťou analytickej teórie rezania, poukazujeme na ďalšie možnosti skúmania (hranice uvedených oblastí deformácie, uplatnenie matematických, fyzikálnych a iných metód skúmania, overenie modernými experimentálnymi metódami i s využitím vyhodnocovania napr. metódou plánovania experimentov a i.). Analytická teória rezania je vývojaschopná a užitočná nielen pre teóriu samu ale i pre prax.

Článok bol pripravený v rámci úlohy VEGA. ***Implementácia diferenciálnych a iných matematických metód do analytickej teórie obrábania.***

Zoznam bibliografických odkazov:

- [1] JANÁČ, A., LIPA, Z., KICKO, J. Determination of several parameters of the chip formation zone in metal cutting. In *Journal of Czech and Slovak Mechanical Engineering*, 1992, roč. 1, č. 2. England: Science Publishing CO Cambridge, 1992, p. 102-104.
- [2] JANÁČ, A., LIPA, Z. Príspevok k teórii vzniku triesky pri obrábání. In *Technológia obrábania v automatickej výrobe. Celoštátna konferencia zo zahraničnou účasťou*. Košice: DT, 1993, s. 44-49.
- [3] LIPA, Z., JANÁČ, A., KICKO, J. Príspevok k určaniu modelu oblasti primárnej deformácie pri obrábání kovov. In *Strojnícky časopis*, 1991, č.2., s. 177-185.
- [4] *Tool Engineers Handbook*. New York-Toronto-London: Mc Graw-Hill, 1989.
- [5] LIPA, Z., JANÁČ, A., BÓNIŠOVÁ, M., DIBALOVÁ, M. Príspevok k fyzikálnej podstate tvorenia mikrotriesok. In *Vedecké práce MtF STU*, 2004, č. 17, s. 121-125.
- [6] LIPA, Z., JANÁČ, A., DIBALOVÁ, M., BÓNIŠOVÁ, M. Zvláštnosti tvorenia mikrotriesok. In *AKADEMICKÁ DUBNICA 2004, medzinárodná vedecká konferencia*. Dubnica nad Váhom: 2004, s. 313-316.
- [7] LIPA, Z., JANÁČ, A., JANÁČ, I., DIBALOVÁ, M. Príspevok k tvoreniu mikrotriesok v nízkorýchlostnom a vysokorýchlostnom hromadnom mikrorezaní. In *Zborník medzinárodná vedecká konferencia FUNKČNÉ PORUCHY 2004*. Trenčín 2004, s.127-129
- [8] Lipa, Z. – Dibalová, M.: Modely tvorenia triesky pri mikrorezaní. In.: *Zborník medzinárodná vedecká konferencia KVALITA A SPOĽAHLIVOSŤ TECHNICKÝCH SYSTÉMOV*. Nitra 2005, s.157-160.
- [9] JANÁČ, A., POKORNÝ, P., ULÍK, O. The roughness by copy milling. In *Annals of DAAAM for 2002. 13.th.int.symposium*. Vienna, 2002, p.233-234.
- [10] POKORNÝ, P. Optimalizácia technologických parametrov pri kopírovacom frézovaní. In *Automatizácia a počítačová podpora predvýrobných etáp, výrobných a technologických procesov. Doktorandský seminár*. Žilina: ŽU 2002, s.108-112.
- [11] PETERKA, J., JANÁČ, A., MOROVIČ, L., POKORNÝ, P. Quality control of free form surfaces. In *Journal of Machine Engineering*, 2006, Vol.6, No.1. Wroclaw, Manufacturing Accuracy Increasing Problems. Optimization, p. 38-43.
- [12] Pokorný, P. – Janáč, A. – Morovič, L.: Stratégie frézovania a presnosť tvarových plôch. In.: *Zborník 6.Medzinárodná vedecká konferencia. ROZVOJ TECHNOLOGIE OBRÁBANIA 2007*, Košice 15-16.11.2007, TU KOŠICE 2007, s.249-252.
- [13] POKORNÝ, P. Návrh optimalizácie posuvovej rýchlosti pri frézovaní. In *Automatizácia a počítačová podpora predvýrobných etáp, výrobných a technologických procesov. Doktorandský seminár*. Žilina: ŽU, 2001, s. 97-101.