



ORBITAL FORMING TECHNOLOGY AT THE COMPACTING OF POWDER MATERIALS

Stanislav Rusz,¹ Josef Bořuta, Radim Lukáš, Pavel Dostál

***Summary:** Orbital forming technology is applied to hot and semihot forming of the complicate shape part and to compacting materials. The material flow is realized by radial and transversal motion together. By orbital motion of the upper die and vertical motion of the bottom die material is transferred from area of active plastic deformation to area of passive plastic deformation. In the edge parts of semi product arise the compressive stress that leads to increase of deformation in the comparison with classical technology. This technology was provided for compacting of powder steels choice sorts.*

1. Úvod

V doposud používaných metodách plastického tváření kovů vykonává nástroj zpětně přímkový pohyb (technologie kování, tažení, stříhání apod.) nebo pohyb otáčivý (technologie válcování). Dané pohyby nástroje neumožňují vždy dosáhnout požadovaného geometrického tvaru a geometrické přesnosti součásti přičemž vystupuje do popředí požadavek na vyvození značného tlaku od tvářecího nástroje. Na základě těchto požadavků byla vyvinutá nová technologie plastického tváření jejíž podstata je založená na přizpůsobení pohybů tvářecího nástroje rozměrům vyráběné součásti. Výkyvný pohyb horního nástroje je prováděn společně s vertikálním pohybem spodní zápustky, čímž dochází v místě styku tvářeného materiálu s nástrojem k průniku válcové a šroubové plochy. Je dosaženo několikanásobně vyššího tlaku oproti klasickému způsobu při stejné velikosti tvářecí síly. Tato tvářecí technologie byly nazvána orbitálním tvářením. Daná technologie je především využívána v sériové a hromadné výrobě tvarově členitých součástí s vysokou přesností, jejíž výroba třískovým obráběním by si vyžádala daleko vyšší strojní časy i daleko vyšší materiálovou spotřebu a v širokém měřítku ke zhutňování materiálů, zejména na bázi prášku.

2. PODSTATA TECHNOLOGIE ORBITÁLNÍHO TVÁŘENÍ

Zpevňovací proces v technologii orbitálního tváření má velmi významnou úlohu. Zároveň se zvyšováním pevnosti dochází i ke zvyšování hodnot tvrdosti, což umožňuje v mnoha případech používat jako výchozí materiál ocel s nižšími hodnotami mechanických vlastností (např. nízkolegovaná ocel) a v konečné fázi tvářecího procesu docílit požadovaných vyšších hodnot těchto parametrů (odpovídajících např. oceli vysokolegované) /1/. Výrobek

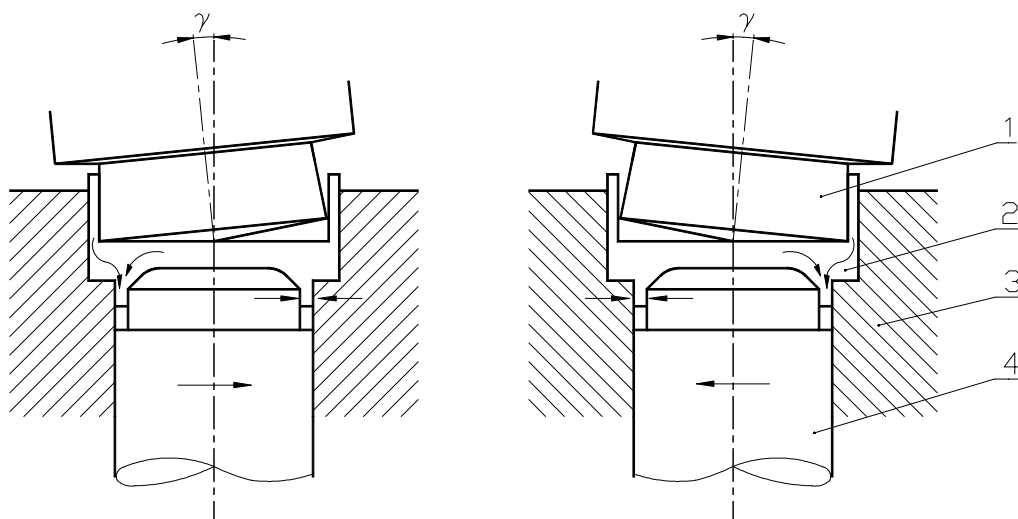
¹ Doc. Ing. Stanislav Rusz, CSc., VŠB – Technická univerzita Ostrava

² Ing. Josef Bořuta, CSc., Vítkovice výzkum a vývoj, spol. s r. o.

³ Ing. Pavel Dostál, Ostravská univerzita

⁴ Ing. Jaroslav Vidiševský, VŠB – Technická univerzita Ostrava

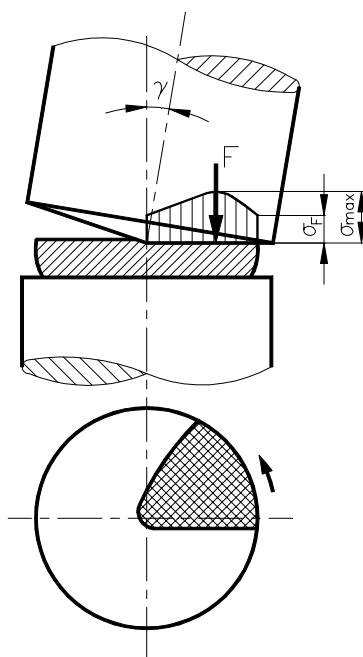
má finální vlastnosti, které by nemohly být docíleny žádnými jinými výrobními technologiemi. Na obr. č. 1 je schematicky uveden princip technologie orbitálního tváření.



Obr.1: Princip technologie orbitálního tváření

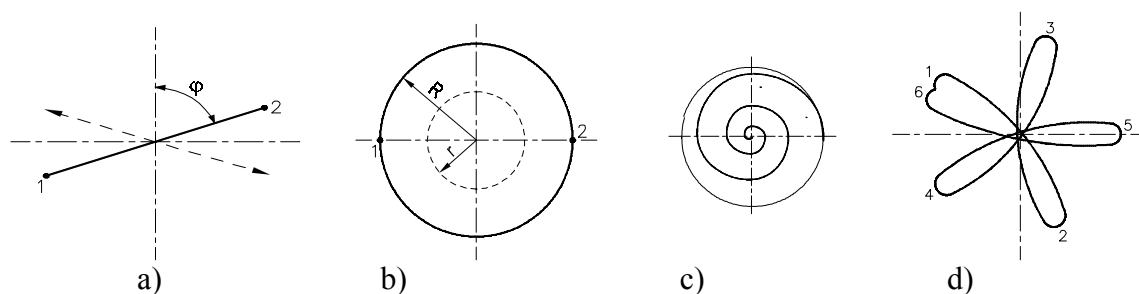
3. KINEMATICKÁ ANALÝZA ORBITÁLNÍHO POHYBU

Kinematická analýza popisuje pohyb bodu na prodloužené ose nástroje v rovině rovnoběžné s rovinou tváření, resp. tvářenou plochou součásti. Osa nástroje, resp. její bod koná pohyb, který je definován jako výsledek pohybů bodu po kružnici a po přímce. Při pohybu po přímce, obvodová rychlost (n) je prakticky nulová, rychlost po přímce – radiální je přenášena excentrickým ložiskem na osu nástroje. Její velikost je závislá na velikosti složky obvodové rychlosti daného ložiska (v_x). Úhel výkyvu (vychýlení osy nástroje) od normály k tvářené ploše se mění v závislosti na rychlosti po přímce v intervalu $\gamma_{\min} - \gamma_{\max}$ ($0-2^\circ$) (viz obr.2).



Obr.2: Silovo - napěťové poměry u orbitálního tváření

Základní druhy pohybů horního nástroje



Obr.3: a) pohyb po přímce b) po kružnici c) po spirále d) meridiánový

V uvedeném schématu jsou použity následující označení jednotlivých pohybů: $\mathbf{n}$ [m.s^{-1}] – rychlost pohybu po kružnici, $\mathbf{z}$ [m.s^{-1}] – rychlost pohybu po přímce, γ [$^\circ$] je úhlem sklonu osy nástroje. Při pohybu po přímce je obvodová rychlost $\mathbf{n}$ nulová, pohyb po přímce je přenášen pomocí excentrického ložiska na osu nástroje a jeho velikost je odvislá od velikosti složky obvodové rychlosti daného ložiska (v_x). Úhel výkyvu se mění v závislosti od rychlosti po přímce v intervalu $\gamma_{\min} - \gamma_{\max}$ (obr.3a).

Pohyb po kružnici je charakterizován jako pohyb nástroje s konstantním úhlem sklonu osy nástroje k tvářené ploše součásti s nulovou rychlostí radiálního pohybu a konstantní transversální rychlostí (obr.3b). Složením pohybů po přímce a po kružnici obdržíme dráhu pohybu kterého trajektorie závisí na vzájemném poměru radiální a transversální rychlosti /2/. Při složení pohybu po přímce a po kružnici obdržíme dráhu pohybu, jehož tvar trajektorie závisí na vzájemném poměru radiální a transversální rychlosti. U pohybu po spirále (obr.3c) je okamžitá rychlost transversální (n) větší jako rychlost radiální (z). U meridiánového pohybu je tomu opačně (obr.3d).

3.1 DEFINICE RYCHLOSTI POHYBU

Pro področší analýzu pohybu po křivce, která je definována vektory rychlostí – $\mathbf{n}$ po kružnici a $\mathbf{z}$ po přímce je vhodné tyto rychlosti rozložit na jednotlivé složky v osách předem stanoveného souřadnicového systému lokalizovaného v dotykovém (pevném) bodě průsečíku osy horního nástroje s osou dolního nástroje /3/.

Výsledná rychlost pohybu bodu je součtem jednotlivých složek rychlostí radiální a transversální – $\mathbf{v} = \mathbf{z} \times \mathbf{n}$

$$\begin{aligned} \mathbf{z}: \quad z_x &= -r\omega_1 \cdot \sin \varphi \\ z_y &= r\omega_1 \cdot \cos \varphi \quad [\text{m.s}^{-1}] \end{aligned} \quad \mathbf{n}: \quad \begin{aligned} n_x &= R_2\omega_2 \cdot \cos \psi \cdot \cos \varphi \\ n_y &= R_2\omega_2 \cdot \cos \psi \cdot \sin \varphi \quad [\text{m.s}^{-1}] \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \mathbf{v}: \quad v_x &= R_2\omega_2 \cdot \cos \psi \cdot \cos \varphi - r\omega_1 \cdot \sin \varphi \\ v_y &= R_2\omega_2 \cdot \cos \psi \cdot \sin \varphi + r\omega_1 \cdot \cos \varphi \quad [\text{m.s}^{-1}] \end{aligned} \quad (2)$$

Okamžitá poloha bodu na trajektorii meridiánového pohybu

Pro vyjádření okamžité polohy bodu je nutné vyjádřit jednotlivé proměnné závislé na čase, jako funkci času a následně integrovat.

$$\varphi = \omega_1 t, \quad \psi = \omega_2 t, \quad r = n \cdot t \Rightarrow r = t \cdot R_2 \cdot \omega_2 \cdot \cos \omega_2 t \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \mathbf{v}: \quad v_x &= R_2 \omega_2 \cdot \cos \omega_2 t \cdot \cos \omega_1 t - r \omega_1 \cdot \sin \omega_1 t \\ v_y &= R_2 \omega_2 \cdot \cos \omega_2 t \cdot \sin \omega_1 t + r \omega_1 \cdot \cos \omega_1 t \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \mathbf{s}: \quad s_x &= \int v_x dt = \int (R_2 \omega_2 \cdot \cos \omega_2 t \cdot \cos \omega_1 t - r \omega_1 \cdot \sin \omega_1 t) dt \\ s_y &= \int v_y dt = \int (R_2 \omega_2 \cdot \cos \omega_2 t \cdot \sin \omega_1 t + r \omega_1 \cdot \cos \omega_1 t) dt \end{aligned} \quad (5)$$

úhlové rychlosti ω_1 a ω_2 [rad.s⁻¹] jsou konstantní, $R_2 = \text{konst.}$

Po integraci obdržíme

$$\begin{aligned} \mathbf{s}: \quad s_x &= R_2 \omega_2 \cdot \left[\frac{\sin((\omega_2 - \omega_1) \cdot t)}{2 \cdot (\omega_2 - \omega_1)} + \frac{\sin((\omega_2 + \omega_1) \cdot t)}{2 \cdot (\omega_2 + \omega_1)} \right] + r \cdot \cos(\omega_1 \cdot t) + C \\ s_y &= R_2 \omega_2 \cdot \left[\frac{\sin((\omega_1 - \omega_2) \cdot t)}{2 \cdot (\omega_1 - \omega_2)} - \frac{\sin((\omega_1 + \omega_2) \cdot t)}{2 \cdot (\omega_1 + \omega_2)} \right] + r \cdot \sin(\omega_1 \cdot t) + C \end{aligned} \quad (6)$$

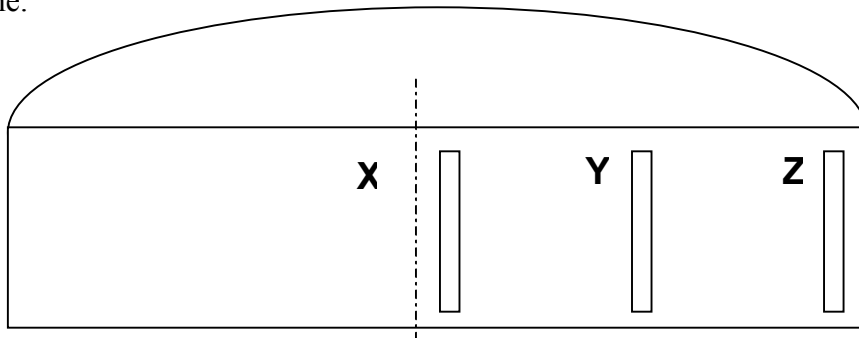
$$\begin{aligned} \mathbf{v}: \quad v_x &= R_2 \omega_2 \cdot \cos \omega_2 t \cdot \cos \omega_1 t - (t \cdot R_2 \cdot \omega_2 \cdot \cos \omega_2 t) \omega_1 \cdot \sin \omega_1 t \\ v_y &= R_2 \omega_2 \cdot \cos \omega_2 t \cdot \sin \omega_1 t + (t \cdot R_2 \cdot \omega_2 \cdot \cos \omega_2 t) \omega_1 \cdot \cos \omega_1 t \end{aligned} \quad (7)$$

Při změně úhlu výkyvu γ obdržíme:

$$\begin{aligned} \mathbf{v}: \quad v_x &= R_2 \omega_2 \cdot \cos \omega_2 t \cdot \cos \omega_1 t - (t \cdot R_2 \cdot \omega_2 \cdot \cos \omega_2 t) \omega_1 \cdot \sin \omega_1 t \\ v_y &= R_2 \omega_2 \cdot \cos \omega_2 t \cdot \sin \omega_1 t + (t \cdot R_2 \cdot \omega_2 \cdot \cos \omega_2 t) \omega_1 \cdot \cos \omega_1 t \end{aligned} \quad (8)$$

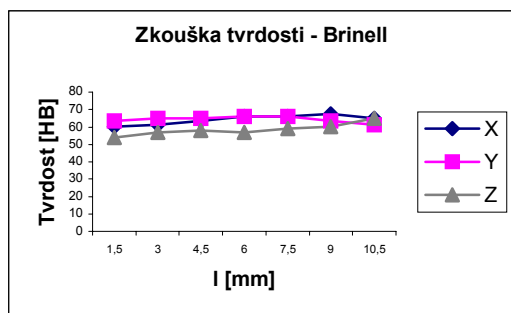
4. VYUŽITÍ TECHNOLOGIE ORBITÁLNÍHO TVÁŘENÍ KE ZHUTŇOVÁNÍ PRÁŠKOVÝCH POLOTOVARŮ

Příprava vzorků pro samotné měření tvrdosti probíhala ve dvou fázích. Nejdříve byly vybrané vzorky středem rozřezány na rozbrušovací pile. Následně na horizontální kruhové brusce došlo k odstranění otřepů a tepelně ovlivněné vrstvy, postupným broušením obou polovin vzorku až na zrnitost 200. Po této operaci byl vzorek připraven pro měření tvrdosti. Z hlediska objektivity výsledků byla tvrdost měřena v několika vrstvách pod povrchem vzorku (viz obr.4), aby bylo zřejmé, jak se materiál zhutňuje od povrchu ke spodu a od středu k okraji vzorku v závislosti na způsobu zhutnění, které bylo prováděno jedno nebo oboustranně.

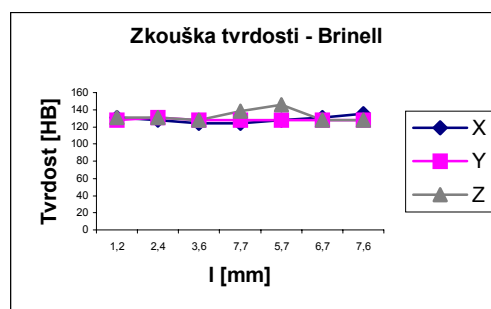


Obr.4: Schéma vzorku s označením jednotlivých oblastí měření

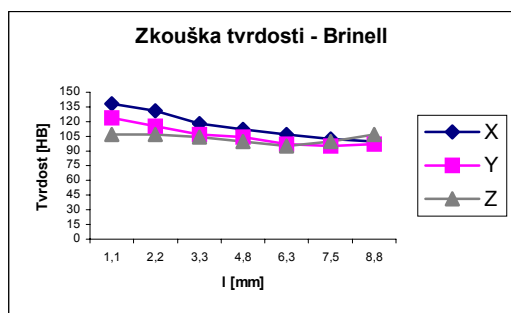
Tvrdość se měřila metodou podle Brinella (HRB), kuličkou $\phi 2.5\text{mm}$ při zatížení 62,5kg na měřicím stroji .Lucznik. Tuto metodu jsme zvolili pro velký rozsah naměřených tvrdostí, přičemž rozdíl mezi nejměkčím a nejtvrdějším vzorkem byl až trojnásobný. Příklady grafického vyjádření rozložení tvrdosti v jednotlivých místech průřezu jsou uvedeny na následujících obrázcích. Zhutnění je uvedeno u dvou druhů materiálů



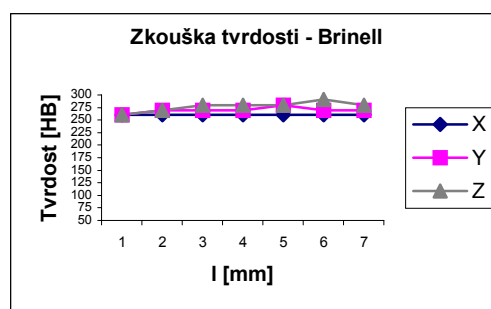
Obr.5a: Rozložení tvrdosti u vzorku z čistého Fe (před zhutněním)



Obr.5b: Rozložení tvrdosti u vzorku z čistého Fe (po zhutnění)



Obr.6a: Rozložení tvrdosti u vz. s 99,28Fe a 0,72 Sn (před zhutněním)



Obr.6b: Rozložení tvrdosti u vz. s 99,28Fe a 0,72 Sn (po zhutnění)

4.2 VYHODNOCENÍ PROVEDENÝCH MĚŘENÍ TVRDOSTI

Vzorek 1 a,b (viz obr.5a,b)

Chemické složení: 100%Fe

Vzorek 2.0., který je v nezhotoveném, výchozím stavu, má rovnoměrné rozložení tvrdosti v celém průřezu a to v rozmezí 54-67 HB. Vzorek 2.1 byl dvojnásobně zhotoven postupným úběrem 1,5 a 1,5 mm. Bylo dosaženo velmi dobrého zhutnění v rozmezí 128-146 HB v celém objemu vzorku. Jelikož se jedná o čisté Fe, tyto velikosti jsou nižší než u zhutňování práškových ocelí. Dosažené zhutnění odpovídá plně požadavkům pro následné tváření daného polotovaru. Relativně nižší tvrdost je způsobena nepřítomností infiltrantu /4/ (přísady), která právě umožňuje nárůst tvrdosti. Zajímavým poznatkem je dosažení nižší tvrdosti v okrajové části nezpevněných vzorků, oproti vzorkům zhotoveným, kde v okrajových částech dochází k podstatnému nárůstu tvrdosti. Daný jev je podmíněn použitím technologie orbitálního tváření, kdy právě v okrajových částech vzorků se vyskytuje tlakové napětí, umožňující dosahovat daleko vyšších hodnot úběru a tím i zhutnění oproti klasické

technologii, aniž dochází k porušení pěchovaného vzorku. Proces zhutňování proběhl oboustranně.

Vzorek 2 a, b (viz obr.5a,b)

Chemické složení: 98,28%Fe; 0,72%Sn

Tvrдост ve výchozím stavu se pohybuje v rozmezí 95–138 HB , kde nejtvrdší oblastí je povrch vzorku a nejměkčí je spodní část. Ve srovnání se vzorkem obsahujícím čisté Fe je patrné působení příměsí cínu, kdy po předslinutí je dosaženo dvojnásobných hodnot tvrdosti oproti vzorku s čistým Fe. Zvýšení tvrdosti je dáno zaplněním póru infiltrantem cínu. U železa je dosaženo vyšší zhutnění v první etapě přípravě polotovaru a to větší eliminaci póru než u vzorku s přísadou cínu, kde už v první fázi slinování dochází infiltraci cínu do póru a tím je omezena jejich eliminace /4/. Můžeme konstatovat, že přísada cínu působí pozitivně na zvýšení tvrdosti, ale na zvýšení měrné hmotnosti působí negativně. Při následném dvojnásobném oboustranném zhutnění došlo k nárůstu tvrdostí v rozmezí 260–290 HB rovnoměrně v celé ploše průřezu, přičemž bylo dosaženo velmi příznivých hodnot měrné hmotnosti.

5. ZÁVĚR

Procesem práškové metalurgie byly vyrobeny zkušební vzorky práškových materiálů s využitím metody klasického lisování a slinování. Následně bylo provedeno zhutnění vzorků metodou orbitálního tváření. Chemické složení a rozměry vzorků byly zvoleny ve spolupráci s Metalsintem Dolný Kubín. Dosažené velikosti zhutnění i rozložení tvrdosti po průřezu vzorku dávají dobrý předpoklad pro následné tváření.

Technologie orbitálního tváření umožňuje dosáhnout v polotovarech rovnoměrné zhutnění v celém průřezu vzorku, což je dáno postupným přenášením plastické deformace z aktivního pásma do pásma pasivní plastické deformace. Tímto způsobem dochází k zrovnoměnění celého tvářecího procesu. V první fázi došlo vlivem silového působení v centrální části vzorku (klasické lisování) k největšímu zhutnění právě v této části vzorku. Tato nerovnoměrnost v rozložení zhutnění byla odstraněna v procesu orbitálního tváření.

Dalším novým poznatkem je důležitost vhodných přísad v práškových ocelích, které působí v procesu slinování jako infiltrátory. Prvky jako Cu a Sn nám umožňují dosáhnout daleko většího zhutnění při malém úběru oproti práškovým ocelím bez přísad. Pro úspěšný další vývoj těchto materiálů bude zapotřebí dalších analýz vlivu jednotlivých prvků na vytvoření pevných vazeb mezi zrna, umožňující dosáhnout 98-99% měrné hmotnosti teoretické a tímto docílit potřebných vlastností z hlediska praktického využití těchto materiálů.

6. LITERATURA

- [1] Pregowski, J.: Fundamentals of Sinter Densification During Rotary Cold Repressing, Advances in Powder Metallurgy, Vol.3, 1991
- [2] Standring, P.,M.:Rotary forging, A Technical Review, Metalurgia, Jan.1989,p.11-16
- [3] Donič, T.: Orbitálne tvárnenie zliatiny Al-Mg3, Mezinárodní konference Metal 2000 Ostrava, sborník přednášek na CD, p. no.245
- [4] Randal M. German: Powder metallurgy science, Metal Powder Industries Federation, 1994, Pricenton, New Jersey, p. 242-249.

Uvedené práce byly provedeny v rámci výzkumného záměru FS VŠB-TUO „Výzkum, vývoj a inovace technologií“ – CEZ J 17/98272300010