Nestabilní procesy v povrchových vrstvách tvářených produktů

Unstable processes in the surface layers of forming products

Jiří Hrubý

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie, 17. listopadu č.p. 15, PSČ 708 33, Ostrava - Poruba, tel.: +420597323118, email: jiri.hruby@vsb.cz

Abstrakt: Během tváření kovů vzniká v kontaktních vrstvách deformovaného materiálu a nástroje řada dynamických procesů strukturních přeměn. Ve tvářeném polotovaru jsou vlivem exponované tepelné a deformační energie dominantní procesy mající na výslednou mikrostrukturu pozitivní nebo degradační vliv. Procesy dynamické rekrystalizace, adiabatické skluzové pásy, lokalizace plastické deformace mají často v povrchových vrstvách velmi vysoký prostorový a časový gradient. Povrchové vrstvy tvářecího nástroje jsou v kontaktu s polotovarem vystaveny zejména cyklickým tepelným a mechanickým procesům abraze, která významně přispívá ke zkrácení životnosti jeho funkčních ploch.

Klíčová slova: povrchové vrstvy; tváření kovů; degradační procesy

Abstract: During the metal forming arise several dynamic processes of structural transformations in the contact layers between the deformed material and tools. In the deformed material are, due to the exposed heat and strain energy, dominant processes having for the final microstructure positive or degradation effect. Dynamic recrystallization processes, adiabatic shear bands, localization of plastic deformation have often very high dimensional and temporal gradient in the surface layers. Surface layers of the forming tool are in contact with the material surface especially cyclic thermal and mechanical abrasion processes, which contribute significantly shortens the service life of its functional areas.

Keywords: surface layers; metal forming; degradation processes

1 ÚVOD

Během tváření kovových slitin vzniká v kontaktních vrstvách deformovaného materiálu a nástroje řada dynamických procesů strukturních přeměn. Nesprávné podmínky tváření, zejména kovací teplota a parametry toku materiálu mohou vést k iniciaci nestabilního vývoje mikrostrukturních fází uvnitř objemu, ale především v povrchových vrstvách plasticky deformovaného polotovaru. Vlivem exponované tepelné a deformační energie dominují procesy mající na výslednou mikrostrukturu pozitivní nebo degradační vliv. Procesy dynamické rekrystalizace, adiabatické skluzové pásy, lokalizace plastické deformace mají v povrchových vrstvách velmi vysoký rozměrový a časový gradient. Výsledný nestabilní stav mikrostruktury má negativní vliv na následující technologie zpracování, hlavní měrou na procesy povrchových úprav a výslednou kvalitu výrobku.

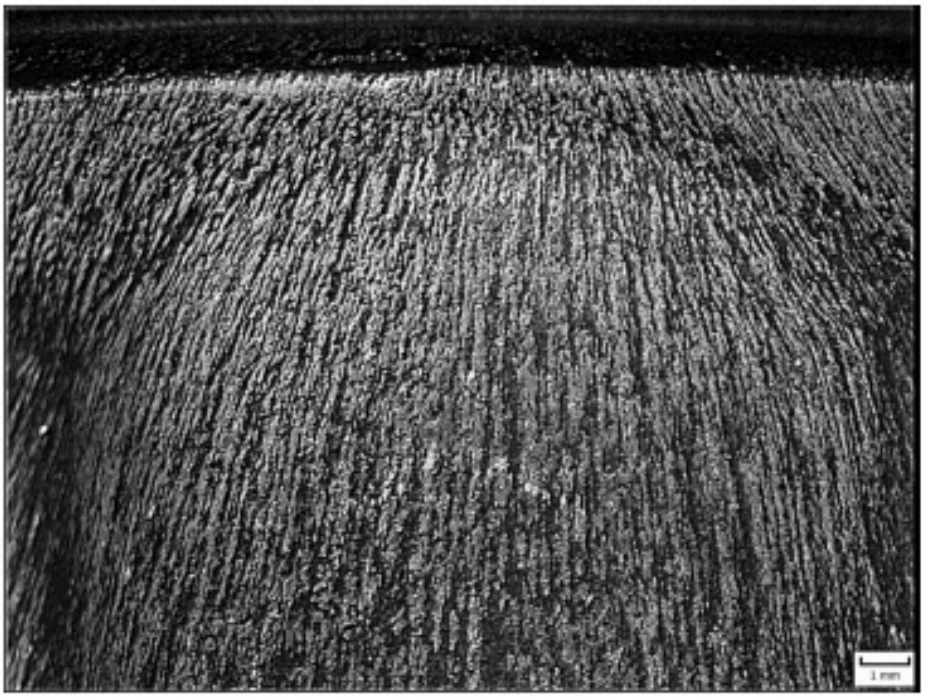
Povrchové vrstvy tvářecích nástrojů jsou v kontaktu s polotovarem vystaveny zejména cyklickým tepelným a mechanickým procesům abraze, která významně přispívá ke zkrácení životnosti jejich funkčních ploch. Mechanismus abraze funkční plochy nástroje v průběhu plastického toku materiálu zahrnuje výskyt adhesních kovových vazeb, které vytvoří korozní zplodiny, které následně kovovou vazbu plasticky deformují. Jako výsledný produkt je destrukce materiálu nástroje v kontaktní zóně. Poškození adhesní hranice během plastické deformace se realizuje dislokačním skluzem a probíhá plynule v rámci jednotlivých cyklů zatěžování [1].

2 NESTABILNÍ MIKROSTRUKTURA V POVRCHOVÝCH VRSTVÁCH VÝKOVKŮ

K nejčastějším projevům nestabilního plastického toku do vývoje mikrostruktury je vznik adiabatických smykových pásů. Dalším obvyklým projevem je lokalizace plastického toku. Za vysokých rychlostí deformace nemůže být teplo, generované plastickou deformací, odvedeno do chladnějšího okolí. Důsledkem místního zvýšení teploty, vyvolaného adiabatickým teplem, je lokalizace plastické deformace a místní pokles napětí plastického toku. V povrchových vrstvách polotovaru tvářeného zatepla je v podmínkách kontaktu s nástrojem o příliš nízké teplotě velmi vysoký gradient tepelných dějů. Výsledný efekt při nestabilním plastickém toku adiabatických skluzových pásů se v mikrostruktuře projeví výskytem ostrých skluzových linií podél vláken dynamické textury v plasticky deformovaném materiálu. Při velké intenzitě se projeví praskáním uvnitř skluzového pásu, za mírnějších podmínek

lze pozorovat fázovou transformaci či rekrystalizaci s nehomogenní lokalizací mikrostrukturních složek s výrazně vyšší a nižší okamžitou plasticitou při nízkých teplotách tváření [2].

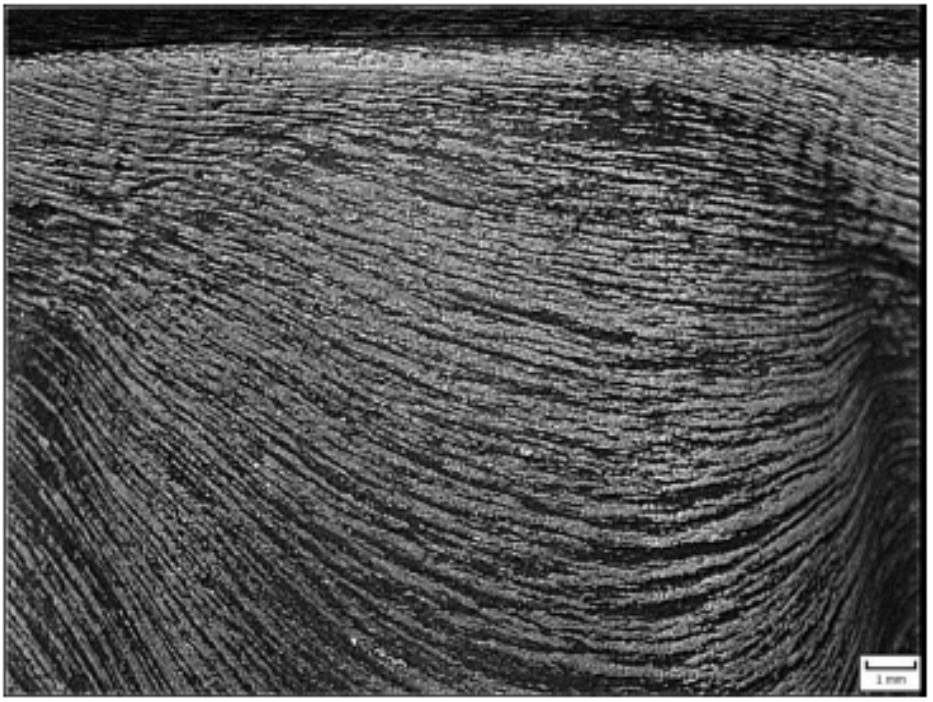
Obr. 1 Vrásnění na povrchu mořeného výkovku



Obr. 2 Povrch mořeného výkovku v poz. 1 na obr. 1 (zvětšení 3,5x)

Pro predikci tohoto nepřípustného procesu bylo navrženo několik kritérií. Základním prvkem je porovnání vzájemné závislosti růstu napětí díky zpevnění s poklesem napětí vlivem ohřevu. Pokud je výsledný odečet záporný (pokles napětí převládá), je velmi pravděpodobná přítomnost adiabatických skluzových pásů. Lokalizace plastické deformace je méně intenzivní forma adiabatických skluzových pásů. Makroskopicky se projeví formováním zaoblených deformovaných vln podél vláken plastického toku zejména u materiálů s vysokým obsahem perlitu. Perlit je pak v daném případě uspořádán v lamelách podél vláken jako složka s výrazně nižší plasticitou ve feritové okolní matrici. V povrchových vrstvách se zpravidla tento efekt projeví pod úhlem 35–40°

k ose hlavních napětí. Podle tvaru kontaktní plochy lze, zejména v prvních operacích povrchových úprav, sledovat charakteristickou kresbu vrásnění v celkovém pohledu na příkladu výkovku po moření (obr. 1) a při zvětšení 3,5x na jeho čelním mezikruží (obr. 2 a 3).



Obr. 3 Povrch mořeného výkovku v poz. 2 na obr. 1 (zvětšení 3,5x)

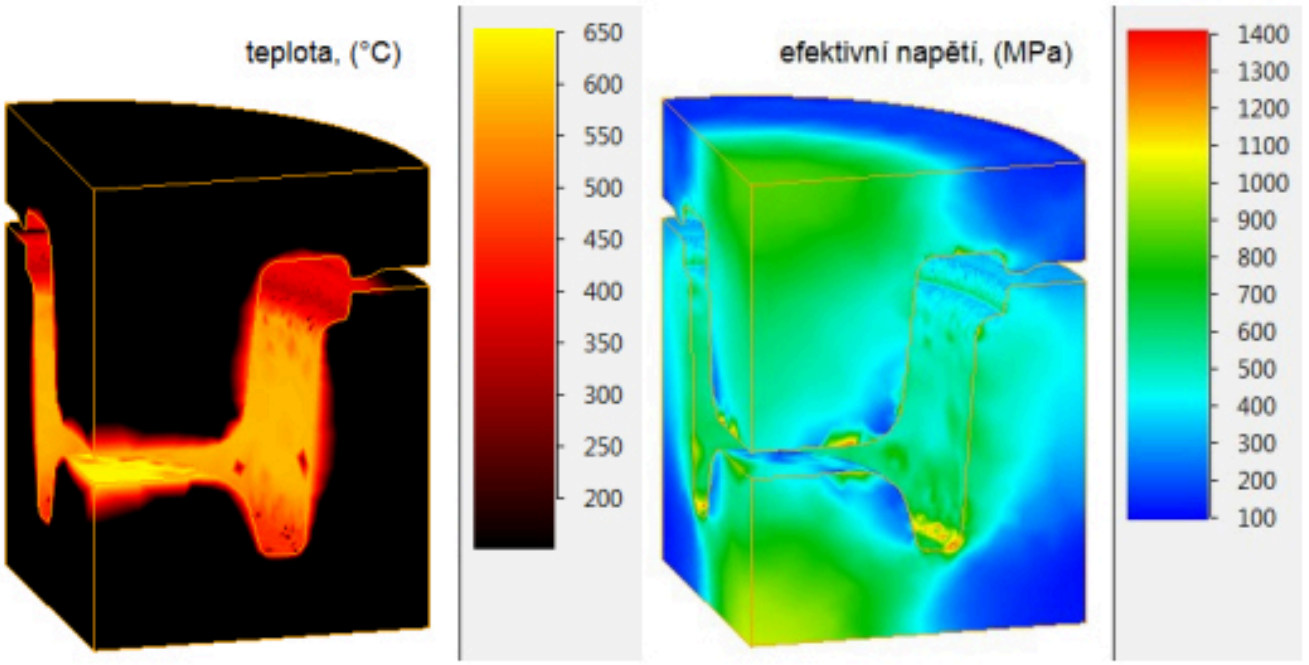
Textura vrásnění vznikající na povrchu výkovku vykovaného v nesprávném tepelném režimu je po povrchových předúpravách mořením a příslušné prodlevě dané např. přepravou doprovázena po vláknech důlkovou korozí a zpevněným povrchem. To výrazně a nevratně konzervuje projev takové komplexní nestability tvařitelnosti. U představeného vzorku jde kromě nevhodného chemického složení především o nedodržení předepsaných tvářecích teplot, teplot předehřevu kovací zápustky a tepelných režimů při následném tepelném zpracování.

Skluzové pásy vznikají při velkých deformačních rychlostech, jaké nastávají při tváření vysokými energiemi nebo při střihání vysokými rychlostmi. Tyto procesy lokalizují plastickou deformaci, takže lokalizovaný deformační ohřev, který ji provází, působí odpevnění materiálu. To vede k další lokalizaci deformace. Smykové pásy často předcházejí rychlé nebo nevratné porušení u dynamických tvářecích procesů. Experimentálně byl potvrzen vliv inkluzí na koalescenci mikroskopických defektů smykovými pásy. Vznik pásů je silněji závislý na tepelných vlastnostech materiálu, než na napěťovém a deformačním stavu.

3 TEPELNÉ A MECHANICKÉ OPOTŘEBENÍ PLOCH TVÁŘECÍCH NÁSTROJŮ

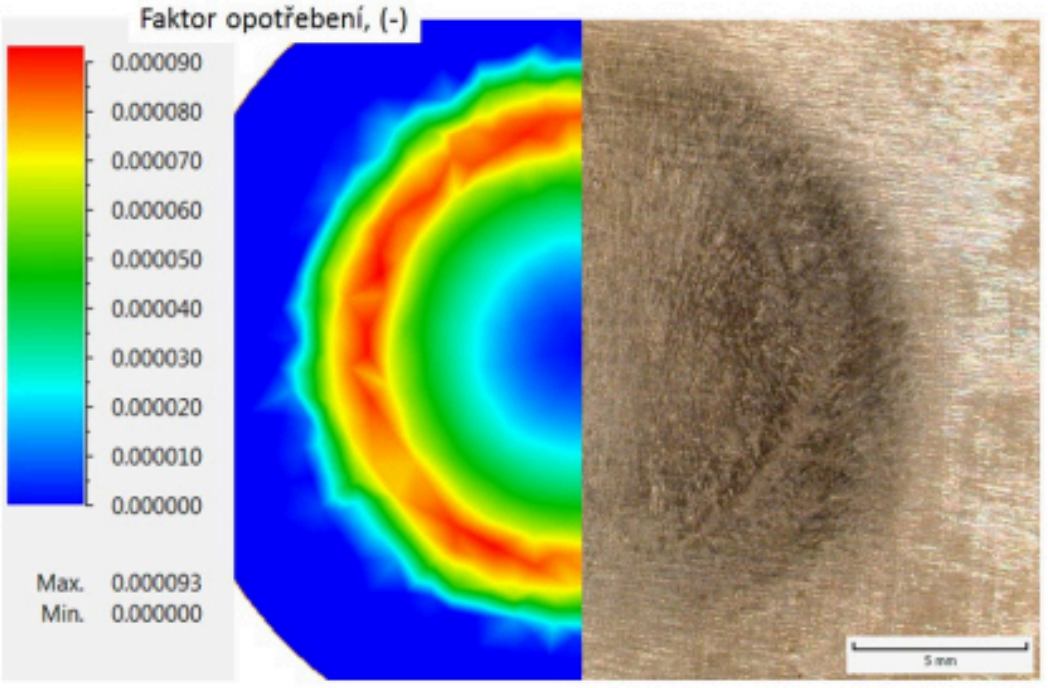
Funkční a upínací části tvářecích nástrojů jsou během svého funkčního nasazení vystaveny namáhání, které vzniká na základě řady tepelně mechanických procesů vznikajících v cyklickém režimu tváření. Účinky plynoucí z dynamické povahy plastického toku materiálu během technologického procesu tváření jsou projevem působení časově proměnných sil a jimi vyvozených deformací. V čase cyklu jednotlivých operací tváření to vede k mechanickému opotřebení, k tepelné a především k mechanické únavě (obr. 4).

Superponované dynamické faktory opotřebení a únavy rozhodují o provozní životnosti tvářecích nástrojů, jejíž prediktivní analýzu nelze zakládat na stejně velkých účincích statického působení. Působení stavu napjatosti a účinků kontaktních reakcí v libovolném místě objemu nebo plochy tvářecího nástroje lze v kterémkoli okamžiku pracovního cyklu účinně analyzovat např. metodou konečných prvků. Pak je možné identifikovat časový průběh namáhání v kritickém bodě povrchu nebo na průřezu tělesem nástroje [3].



Obr. 4 Příklad expozice teploty a efektivního napětí v kovacím nástroji

Predikce hodnot abrazivního opotřebení nástroje výpočtem jsou zpravidla sestavovány na základě několika základních předpokladů. Výkon třecích sil v průběhu plastické deformace indukovaný na funkční ploše polotovaru je v rovnováze s výkonem plastické deformace v exponované ploše kontaktu. Hloubku opotřebení nástroje v daném bodě povrchu během intervalu kontaktu lze teoreticky stanovit dle vztahů (1) pro tlakově nebo trakčně závislý model [1]:



Obr. 5 Faktor opotřebení oceli 60WCrV7 a snímek lokality ze stereomikroskopu

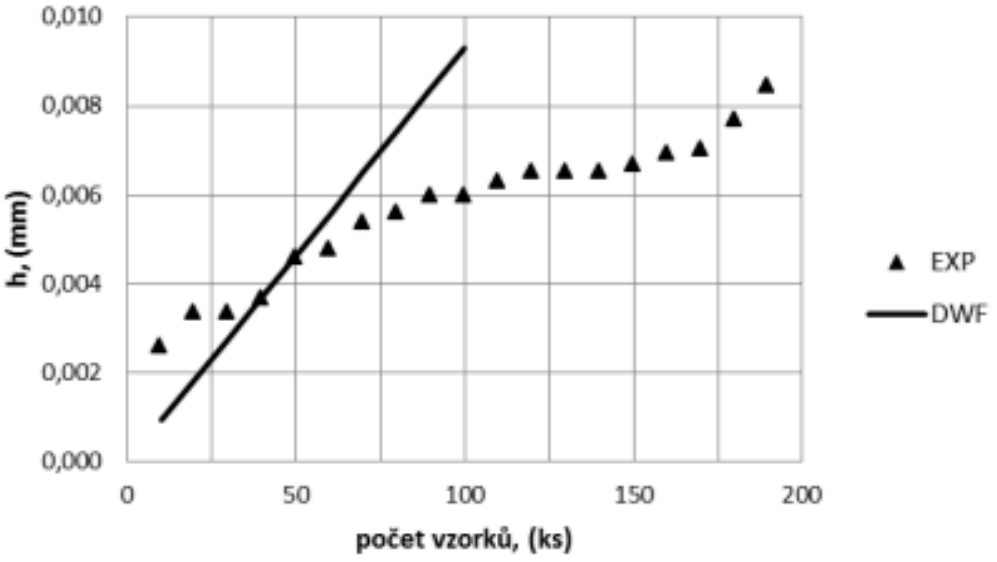
$$h = \int_0^t \frac{a \cdot p \cdot v_x}{\overline{\sigma}} dt \,, \quad h = \int_0^t \frac{a \cdot \tau \cdot v_x}{\overline{\sigma}} dt \,. \tag{1}$$

kde: h – hloubka opotřebení nástroje [mm],
$\overline{\sigma}$ – dovolené napětí na povrchu nástroje [MPa],
a – empirický koeficient [-],
p – kontaktní tlak [MPa],
τ – smykové napětí deformovaného materiálu v bodě kontaktu [MPa],
t – doba trvání kontaktu [s],
v_x – relativní tangenciální rychlost v bodě kontaktu [mm/s].

Dostupné prediktivní modely abrazivního opotřebení umožňují na základě teoretických výpočtů vytvářet rozložení tzv. faktoru opotřebení (DWF – Die Wear Factor), zejména lokalizace maxima pro trakční i tlakový model z analýzy metodou konečných prvků podle charakteru expozice toku materiálu v kontaktu – rovnice (1). Odhad hloubky opotřebení, tj. bezrozměrný faktor opotřebení, lze přijmout v prvém přiblížení jen jako kvalitativní odhad. Kvantitativní predikci hloubky opotřebení v délkových mírách lze provést při realizaci experimentálních měření pro konkrétní kombinaci tvářecího nástroje a deformovaného materiálu [3].

Dosavadní výsledky experimentů, prováděných v současné době na pracovišti Katedry mechanické technologie FS VŠB – TU Ostrava, pro kombinace různých slitinových nástrojových ocelí exponovaných v modifikované pěchovací zkoušce lze sestavit obraz opotřebení z analýzy faktoru DWF v komparaci s měřeným úbytkem povrchu funkční plochy nástroje. Na obr. 5 je v levé polovině rozložení tlakového faktoru opotřebení (DWF) po pěchování jednoho válcového vzorku oceli 16MnCr5 na povrchu nástrojové oceli 60WCrV7 v režimu zastudena. Snímek v pravé polovině obr. 5 je ze stereomikroskopické analýzy po expozici 190 vzorků.

Křivku růstu hloubky opotřebení povrchu nástroje v závislosti na počtu tvářecích cyklů je z experimentálních měření možné sestavit a porovnat s teoreticky lineárním průběhem příslušného faktoru opotřebení. V daném případě jde o tlakově exponovaný faktor pro kombinaci již uvedených materiálů polotovaru vzorku a nástroje (obr. 6). Potvrzuje se obecně přijímaný náhled, že nárůst úbytku opotřebovaných vrstev se pro většinu polykrystalických materiálů většinou řídí analogií přibližně polytropického průběhu mechanických vlastností v závislosti na přírůstku obecné změny.



Obr. 6 Hloubka opotřebení oceli 60WCrV7 v kontaktu s materiálem 16MnCr5

4 ZÁVĚR

Odezvou expozice tepelné a deformační energie v povrchových vrstvách tvářeného polotovaru v dynamickém režimu plastické deformace zatepla vyvolávají velmi procesy, které při nedodržení předepsaných nebo chybně navržených technologických podmínek mají na výslednou mikrostrukturu velmi negativní vliv. Procesy dynamické rekrystalizace pak často vedou k nestabilitám typu adiabatické skluzové pásy nebo lokalizace plastické deformace. Výsledný nestabilní stav mikrostruktury má negativní vliv na následující technologie zpracování, zejména v chemických a elektrochemických procesech povrchových úprav finálních ploch výrobků.

Experimentálně podložená predikce opotřebení tvářecích nástrojů má značný význam pro vývoj technologií kontrolované integrity povrchu, zejména v souvislosti s povlakováním funkčních ploch tvářecích nástrojů pro řízený růst a optimalizaci životnosti nástrojových sestav s vazbou na celkové náklady strojní výroby.

Přednáška vznikla za podpory projektu „Vytváření nových sítí a posílení vzájemné spolupráce v oblasti inovativního strojírenství" (reg. č. CZ.1.07/2.4.00/31.0170) z programu OPVK Investice do vzdělávání.

5 LITERATURA

[1] BIBA, N.; STEBUNOV, S.; MUNTINGA, H. Increasing of Tool Life in Cold Forging by Means of FEM Simulation. In: *International Conference «New Developments in Forging Technology» in Fillbach*, Germany, 2005, ISBN 3-88355-342-5.

[2] PETRUŽELKA, J., OČENÁŠEK, V., HRUBÝ, J., LIČKA, S., SONNEK, P. *Analýza procesu tváření za tepla. Integrovaný model*. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2001, ISBN 80-248-0036-5.

[3] HRUBÝ, J., RENTKA, J., SCHINDLEROVÁ, V., KREJČÍ, L., ŠEVČÍKOVÁ, X. Possibilities of prediction of service life of forming tools. *Manufacturing Technology*, June 2013, Vol. 13, No. 2, pp. 178–181, ISSN 1213–2489