

Diagnostika stavu obrobeného povrchu na základě sledování třísky

Švec, Jan, Ing., Katedra technologie obrábění, Západočeská univerzita v Plzni,
Univerzitní 22, 306 14 Plzeň, +420377638512, visis@kto.zcu.cz

Janda, Zdeněk, Ing., Katedra technologie obrábění, Západočeská univerzita v Plzni,
Univerzitní 22, 306 14 Plzeň, +420377638516, zjanda@kto.zcu.cz;

Řehoř Jan, Ing., Ph.D., Katedra technologie obrábění, Západočeská univerzita v Plzni,
Univerzitní 22, 306 14 Plzeň, +420377638500, rehor4@kto.zcu.cz;

Příspěvek pojednává o vztahu integrity obrobeného povrchu a technologii obrábění. Hlavní snaha autorů byla zaměřena na možnost sledovat tento vztah v závislosti na studiu vzniklé třísky. Cílem příspěvku je naznačit další možný přístup k praktickému hodnocení stavu povrchu vzniklého obráběním.

⇒ Klíčová slova: integrita obrobeného povrchu, tříska, obrábění

1 Úvod

V současné době je možno díky výkonným strojům a produktivním nástrojům obrábět dříve těžkoobrobitelné materiály a přitom dosáhnout kvalitního finálního povrchu. Praxe ale také dokazuje, že většina problémů se strojními součástmi je spojena právě s povrchovými vrstvami. Hlavní podíl na těchto problémech je způsoben únavou materiálu. Pro odběratele je tedy důležité, aby měly dodány pouze součásti s takovým povrchem, jenž kvalitativně splňuje požadavky na něj kladené pro daný účel použití. Pro dodavatele to naopak znamená vyrábět součásti nejenom v požadované jakosti, ale hlavně s parametry integrity povrchu, které si žádá odběratel. S rostoucími požadavky na výrobky, převážně v energetickém a dopravním průmyslu, a s přibývajícimi moderními materiály lze očekávat, že právě na vlastnosti povrchové vrstvy bude kladen čím dál tím větší důraz.

Znalost vlivů řezných podmínek na integritu povrchu je stěžejní pro kontrolu kvality obrobku. Řezný proces je takový proces, při kterém se v podstatě téměř všechna energie spotřebuje pro tvoření třísek. Tříska je sice vedlejším produktem obrábění, ale většina zkoumaných parametrů řezného procesu velmi souvisí s třískou. Navíc v sobě nese informaci o aktuálním stavu bříty nástroje, který také velmi ovlivňuje výsledný obrobený povrch.

2 Tvoření třísky

Při tvorbě třísky je nutné znát řezný proces, který je realizován v soustavě stroj-nástroj-obrodek. Proces tvorby třísky se liší podle toho, zda je obráběný materiál krystalický nebo nekystalický. Při obrábění krystalických materiálů (což jsou především kovové materiály) je obráběný materiál plasticky přetvářován a vznikající tříska je tvářená [5].

V závislosti na stupni plasticity obrobeného materiálu je krystalický materiál při řezání třísky více či méně tvářen. Stupeň plasticity materiálu závisí na jeho chemickém složení, krystalické stavbě, teplotě, deformační rychlosti a stavu napjatosti [4].

Parametry ovlivňující tvorbu třísky jsou následující:

- Geometrie nástroje
- Řezná rychlost
- Posuv a hloubka řezu
- Řezné prostředí
- Fyzikální vlastnosti obrobeného materiálu

Tyto parametry nejen že velmi ovlivňují utváření třísky, ale také velmi ovlivňují výsledné parametry integrity povrchu. Jelikož tříska i výsledný obrobený povrch vznikají v oblasti primární plastické deformace, lze proto předpokládat, že je mezi těmito vazbami vztah, na základě kterého by bylo možné hodnotit integritu povrchu pomocí utvořené třísky.

3 Integrita obrobeného povrchu

Z hlediska výroby má zásadní význam znalost mechanismu vytváření nového povrchu součástí, protože umožňuje pochopit povahu a vlastnosti takto vytvořeného povrchu, dává možnost pro zlepšení použitých procesů a případně umožňuje vytvoření obrobených ploch bez poruch.

Všechny změny, které nastávají v povrchové vrstvě součásti, lze shodně posuzovat jako změny jakosti. Tyto změny se potom mohou dávat do vztahu s budoucí funkcí dokončené plochy a využívají se pro hodnocení její integrity. Integrita povrchu je proto odrazem podmínek, za kterých funkční plocha vzniká, bere v úvahu důsledky působení technologických metod na jakost obrobené plochy a dává je do vztahu k funkčním požadavkům na celý výrobek.

Studium vlastností povrchové vrstvy napomáhá hodnocení vlivů technologických procesů a pracovních podmínek na jakost, tj. na vlastnosti povrchové vrstvy. Z tohoto důvodu je proto nutné sledovat jednotlivé parametry integrity obrobeného povrchu a podle jejich výsledných hodnot optimalizovat řezné a technologické podmínky tak, aby se jakost obrobeného povrchu blížila k ideální [10].

Problém i obsah integrity funkčních ploch součástí byl definován již začátkem 70tých let, kdy bylo ukázáno, že je nutné dávat do souvislosti podmínky technologických operací s požadavky jakosti, spolehlivosti a životnosti součástí i zařízení. První práce na tomto úseku byly zaměřeny na opracování vysoce pevných ocelí. Zatím neexistuje způsob, kterým lze komplexním způsobem zhodnotit nově vytvořenou plochu z hlediska její integrity. Řada údajů o obrobené ploše se sice již běžně zjišťuje, pro jiné jsou zpracovány postupy a navrhována potřebná zařízení. Zatím nejspolehlivější zkouškou integrity je vlastní provoz. V následujícím odstavci jsou uvedeny některé činitele, které mohou ovlivňovat obrobený povrch součásti a o kterých můžeme hovořit jako o složkách integrity obrobeného povrchu.

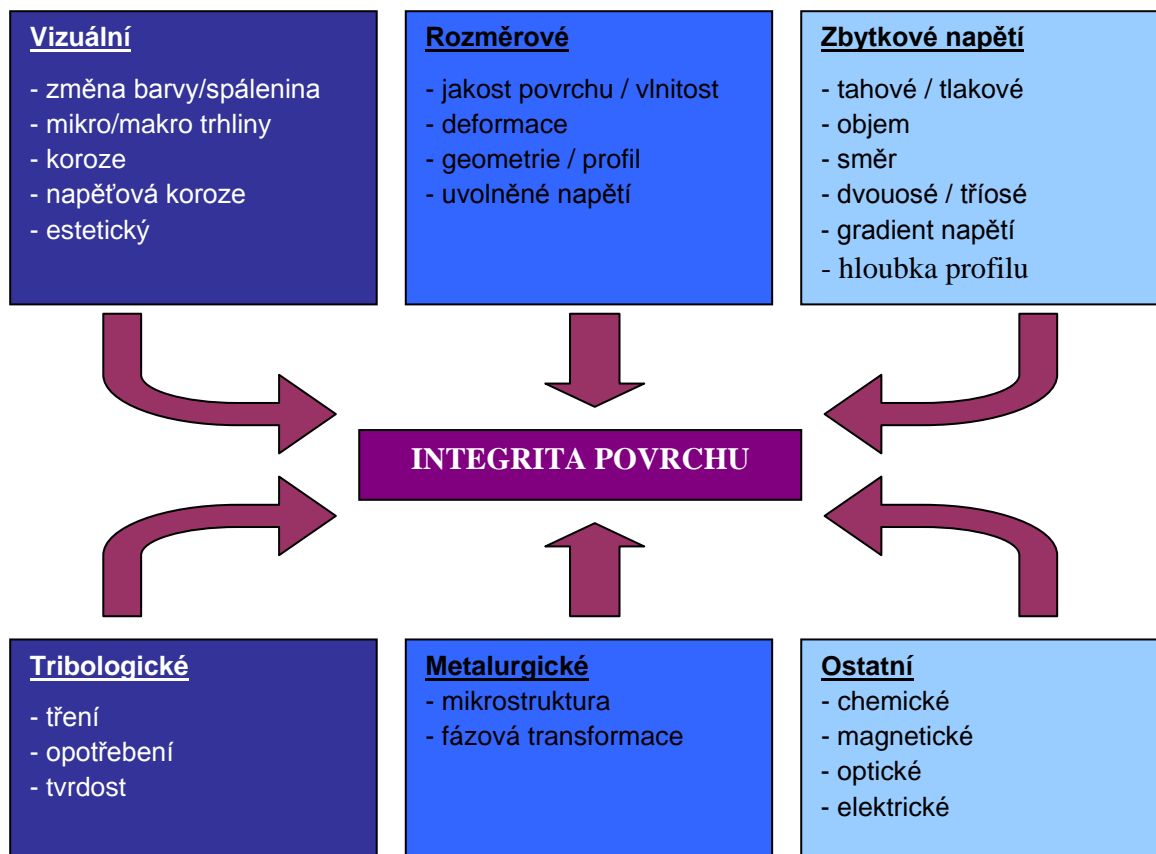
Na povrch součásti v procesu výroby, montáže a používání působí mnoho vlivů, které mohou ovlivňovat stav povrchu, případně mohou vést k rozvoji poškození. Tyto vlivy lze rozdělit na vnější a vnitřní:

Vnější vlivy:

- mechanické (provozní napětí)
- chemické (koroze)
- fyzikální (záření, bludné proudy apod.)
- kombinace více vlivů (koroze pod napětím, elektrochemická koroze, ale také technologické procesy např. obrábění, tepelné zpracování, tváření)

Vnitřní vlivy:

- zbytková napětí
- morfologie povrchu (drsnost)
- materiálové a mechanické vlastnosti povrchu (tvrdost, zpevnění, strukturní stav, povrchová úprava např. vrstvy, povlaky)
- přítomnost povrchových a podpovrchových vad a heterogenní struktura (uhlík v litině, vměstky, řediny)



Obr. 1 Šest skupin klíčových faktorů, které definují integritu obrobeneho povrchu [14]
 Fig. 1 Six groups of key factors that define the surface integrity of a finished material [14]

3.1 Jakost obrobeneho povrchu

Jakost obrobeneho povrchu je možné posuzovat podle následujících hledisek, která vycházejí ze základních požadavků kladených na obrobeneý povrch: [1]

- drsnost obrobeneho povrchu
- vlastnost povrchové vrstvy
- přesnost rozměru a tvaru

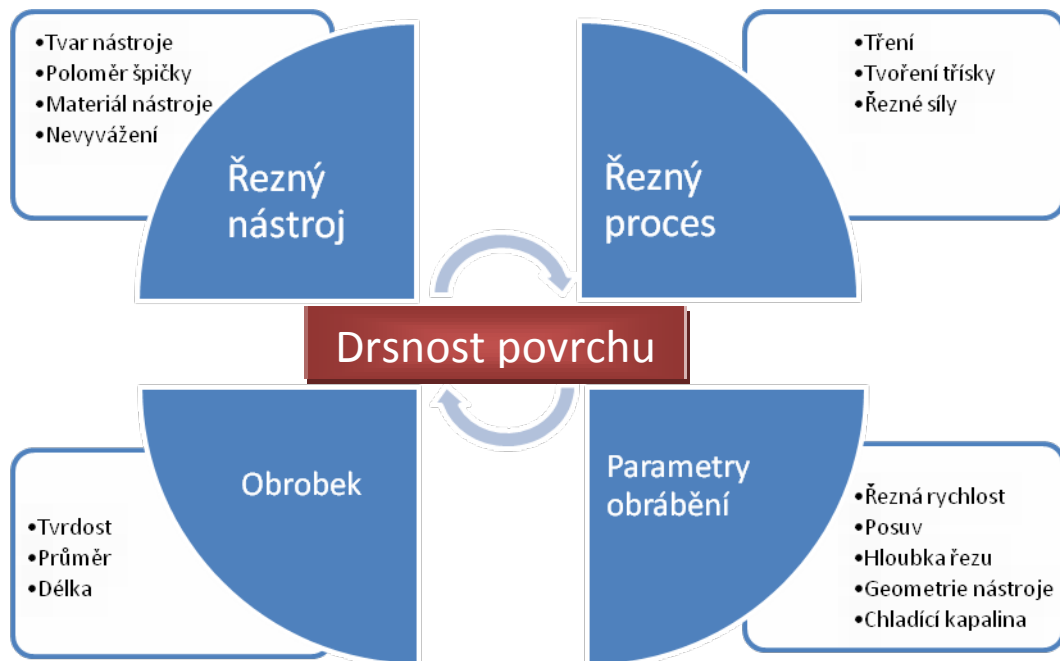
Drsnost je bezprostředně ovlivněna procesem obrábění. Nejvýraznějšími prvky tohoto vlivu jsou řezná rychlost, geometrie břitu, druh řezného materiálu, opotřebení břitu atd.

Vlastnosti povrchové vrstvy jsou vyjádřeny hlavně strukturálními změnami, stupněm zpevnění, které jsou úměrné velikosti zbytkových napětí.

Přesnost rozměru a tvaru je dána vlastní přesností stroje, tuhostí systému S-N-O a dalšími faktory, které ale působí nepřímo na technologický proces.

3.1.1 Drsnost povrchu

Drsnost povrchu je přímo ovlivněna procesem řezání, řeznými podmínkami, zvoleným nástrojem, atd. Drsnost obrobeneho povrchu představuje souhrn nerovností povrchu s relativně malou vzdáleností. Do drsnosti povrchu se ale nepočítají vady obrobene plochy, jako jsou např. trhliny v obrobene ploše. Drsnost je vhodné posuzovat ve směru kolmém na převládající nerovnost povrchu. Parametry, které ovlivňují drsnost povrchu, jsou zobrazeny na následujícím obrázku.



Obr. 2 Parametry ovlivňující drsnost povrchu
Fig. 2 Parameters, which influence surface roughness

Drsnost povrchu lze dále vyjádřit mnoha parametry, přičemž pro kvalitní nadefinování a posouzení povrchu je vhodné, ba dokonce nutné, aby bylo uváděno několik jejích parametrů zároveň. Mnohdy jsou ale publikovány různé články a studie, kde je jako ukazatel drsnosti povrchu uváděn pouze parametr R_a , který samotný nemá velkou vypovídající hodnotu. Dalším možným „parametrem“, který charakterizuje povrch je abbottova křivka. Ta vyjadřuje de facto strukturu povrchu a dá se jí charakterizovat únosnost povrchu. Abbottova křivka má obecně velkou vypovídající schopnost o daném povrchu obrobku.

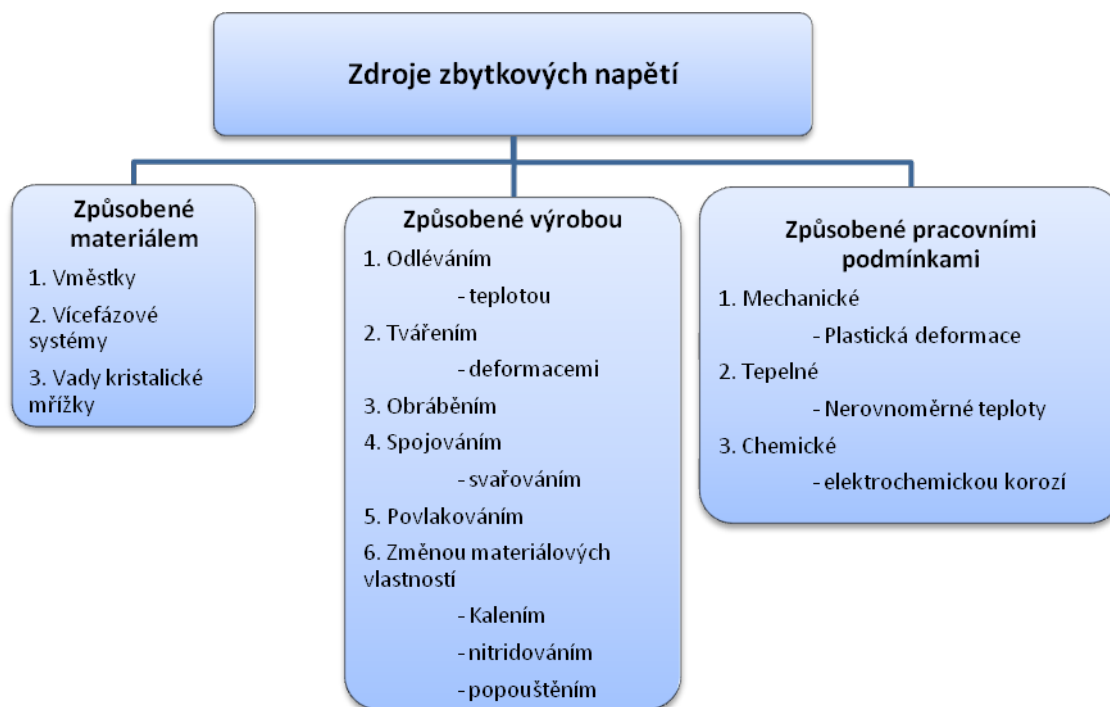
3.1.2 Zbytkové napětí v povrchové vrstvě obrobku

Zbytková napětí jsou dalším hlavním parametrem zahrnutým v pojmu integrita povrchu. Zbytkové napětí je velmi ovlivněno tvorbou třísky a pružně plastickou deformací v oblasti tvoření třísky. Toto je samozřejmě spojeno s řeznými podmínkami a celým procesem řezání. Na obrázku č. 2 jsou znázorněny zdroje zbytkových napětí.

„Každá technologická operace dosahuje přestavby zbytkových napětí svým vlastním způsobem jen v takovém objemu materiálu, v jakém je schopna vyvolat plastickou deformaci a tepelně jej ovlivnit.“ [1]

Zbytkové napětí se projevuje při všech technologiích obrábění a hlavně po broušení, kdy je obrobek velmi intenzivně tepelně ovlivněn, je rychle ohřát a ochlazen. Ohřátá povrchová vrstva se při ochlazování snaží zmenšit svůj objem, a protože tomu brání spodní vrstvy, vzniká na povrchu napětí tahové a ve spodní vrstvě napětí tlakové. [4] Mimo jiné i z tohoto důvodu se v současné době upouští od technologie broušení, jako dokončovací operace, a nahrazuje se jinými technologiemi, které jsou i mnohem produktivnější.

Zbytkové napětí má důležitou roli pro únavovou pevnost obrobku a je důležité sledovat smysl i velikost těchto napětí. Tahové zbytkové napětí v povrchové vrstvě negativně ovlivňuje únavovou pevnost obrobku a tlaková napětí naopak zvyšují tuto pevnost.

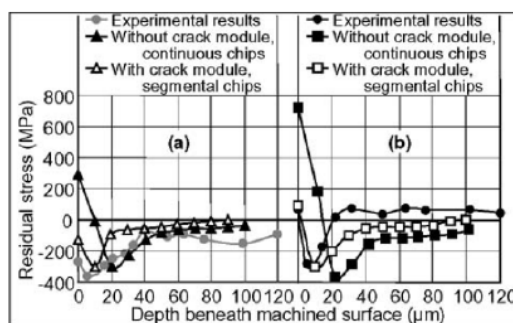


Obr. 3 Zdroje zbytkových napětí
Fig. 3 Sources of residual stresses

4 Vazby mezi tvořením třísky a integritou povrchu

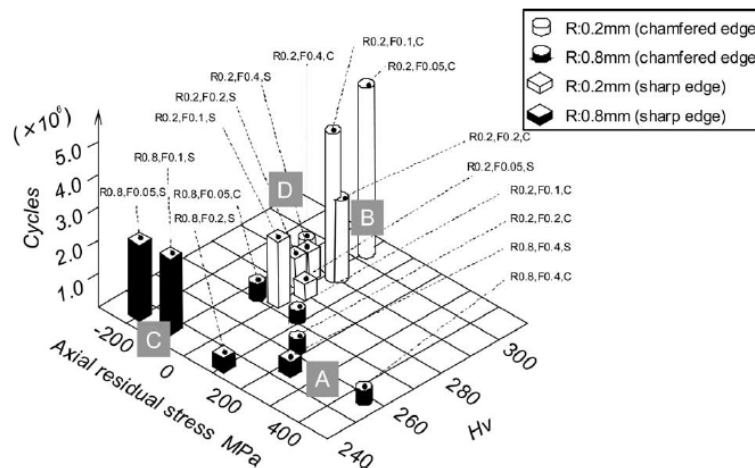
V současné době jsou vlastnosti povrchové vrstvy součástí měřeny a sledovány použitím různých hodnotících parametrů, ale bohužel zatím neexistuje metoda, pomocí které by mohla být povrchová vrstva zhodnocena komplexně. Třísku, jakožto vedlejší produkt obrábění, je možno chápat jako objekt, který je utvářen v místě řezu a při rezném procesu je ve styku s rezným nástrojem a jeho břitem. Tvoření třísky je ovlivněno mnoha faktory, ale mnoho z nich je společných s těmi, které ovlivňují výsledný povrch obrobku. Z dostupných zdrojů byly zjištěny následující poznatky:

Autor Chen L. a kolektiv [6] popisuje ve své studii vliv opotřebení nástroje a tvoření třísky na zbytkové napětí v povrchové vrstvě. Na následujícím obrázku je patrný průběh zbytkových napětí v povrchové vrstvě v závislosti na plynulé nebo segmentující tříске. Při vzniku plynulé třísky jsou zbytková napětí těsně pod povrchem tahová a následně probíhají do tlakových hodnot. Toto může být vysvětleno tím, že při plynulé tříске bylo v obrobku větší teplotní pole, které generuje v obrobené ploše tahová napětí. Naproti tomu vyšší tlaková napětí hlouběji pod povrchem byly pravděpodobně způsobeny vyšším silovým zatížením při obrábění. Naopak při segmentující tříске bylo teplotní i silové zatížení obráběné plochy nižší a jsou pozorována nižší zbytková napětí, které jsou převážně tlakového charakteru.



Obr. 4 Vliv tvaru třísky na zbytková napětí [6]
Fig. 4 Influence of chip form on the residual stress [6]

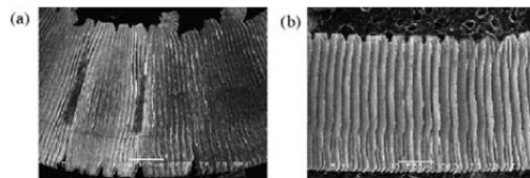
Hiroyuki Sasahara [7] se ve své studii zaměřuje na únavovou životnost obrobku. Dokazuje, že životnost výrobku z hlediska únavy lze o mnoho prodloužit použitím vhodných rezných podmínek. Ve studii jsou porovnávány zejména zbytková napětí, drsnost povrchu a tvrdost povrchové vrstvy obrobku. Na následujícím obrázku jsou vidět výsledky z experimentů.



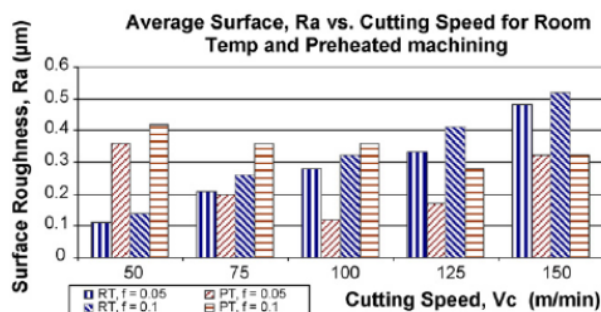
Obr. 5 Únavová životnost obrobku [7]
Fig. 5 Fatigue life of workpiece [7]

Je patrné, že nejlepší výsledky lze dosáhnout při nejnižším zbytkovém napětí (tlakovém) a nejvyšší tvrdosti povrchové vrstvy. Bylo toho docíleno při nízkém posuvu, malém poloměru špičky nástroje a také u nástroje opatřeného fazetkou. Z tohoto experimentu jasně plyne, že pouhou změnou rezných podmínek lze výrazně ovlivnit výsledné vlastnosti obrobku.

Autor Nurul Amin a kolektiv [8] popisují ve své studii vliv přehřátého obrobku při frézování zápustkové oceli AISI D2 na tvoření třísky a drsnost povrchu. U třísky, která byla tvořena na přehřátém obrobku, je patrná její mnohem větší segmentace. Na následujících obrázcích jsou vidět vizuální změny na tříse a jak byla ovlivněna drsnost obrobku.



Obr. 6 Třísky z nepřehřátého obrobku (a) a přehřátého obrobku (b) [8]
Fig. 6 Chip from unpreheated workpiece (a) and preheated workpiece (b) [8]



Obr. 7 Změny drsnosti povrchu [8]
Fig. 7 Changes of surface roughness [8]

Autor Yuan Ning a kolektiv [9] se zabývá ve své studii tvořením třísky při vysokorychlostním obrábění. Studie byla mj. zaměřena na posouzení teploty v místě řezu a jejího vlivu na základě

vizuálního pozorování třísky. Bylo zjištěno, že existuje souvislost se zabarvením třísky a její segmentaci. Ze studie vyplývá, že řezný proces by bylo možné optimalizovat na základě studie třísky.

5 Závěr

Z dostupných pramenů vyplývá, že pouhou změnou řezných podmínek dochází k výrazným změnám v parametrech integrity obrobeného povrchu. Jelikož tato změna nastává již v oblasti primární plastické deformace, lze předpokládat, že tím bude výrazně ovlivněna i vznikající tříška.

Žádná z dostupných publikací se nezaobírala myšlenkou diagnostiky stavu obrobeného povrchu na základě tvorby třísky. Nicméně na základě rešerší lze předpokládat, že je možné tvar třísky, popřípadě její zabarvení dát do vztahu s jednotlivými parametry integrity povrchu.

6 Použitá literatura

- [1] BUMBÁLEK, Bohumil. INTEGRITA POVRCHU A JEJÍ VÝZNAM PRO POSOUZENÍ VHODNOSTI DANÉ PLOCHY PRO JEJÍ FUNKCI. Kvalita a Geometrické specifikace produktů. 2005.
- [2] MÁDL, Jan. Integrity povrchu po obrábění. Výrobné inženýrstvo. 2008, 2, s. 57. ISSN 13357972.
- [3] DAVIM, J.Paulo. Surface integrity in machining. London : Springer, 2010. 215 s. ISBN 978848828735.
- [4] PŘIKRYL, Z.; MUSÍLKOVÁ, R. Teorie obrábění. Bratislava : STNL, 1982. 240 s.
- [5] KOČMAN, Karel; PROKOP, Jaroslav. Technologie obrábění. Brno : CERM, 2005. 270 s.
- [6] CHEN, L.; ELWARDANY, T.I.; HARRIS, W.C. Modelling the Effects of Flank Wear Land and Chip Formation on Residual Stresses. CIRP Annals - Manufacturing Technology. 2004, 541, s. 9598. ISSN 00078506.
- [7] SASAHARA, Hiroyuki. The effect on fatigue life of residual stress and surface hardness resulting from different cutting conditions of 0.45%C steel. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*. 2005, 45, s. 131136. ISSN 08906955.
- [8] NURUL AMIN, A.K.M, et al. Effects of workpiece preheating on surface roughness, chatter and tool performance during end milling of hardened steel D2. *Journal of materials processing technology*. 2008, 201, s. 466470. ISSN 09240136.
- [9] NING, Yuan; RAHMAN, M.; WONG , Y.S. Investigation of chip formation in high speed end milling. *Journal of Materials Processing Technology*. 2001, 113, s. 360367. ISSN 0136.
- [10] KOČMAN, K. BUMBÁLEK, B., a kol.: Typologie povrchu ploch dokončených vysocepřesnými metodami obrábění. VZ ÚST-FSI, VUT Brno, 2002
- [11] DOSTÁL, F.: Drsnost obrobených ploch; SNTL Praha; 1962
- [12] MÁDL, J., a kol.: Technologie obrábění; skriptum; ČVUT Praha, 2002
- [13] BUMBÁLEK, B., ODVODY, V., OŠTĀDAL, B. Drsnost povrchu. Praha : SNTL, 1989. 340 s. ISBN 80-85825-10-4
- [14] GREZESIK, W.: Advanced machining processes of metallic materials; first edition 2008; Elsevier, Oxford (UK); ISBN 978-0-08-044534-2; 2008

7 Souhrn

Diagnostic of state of machined surface based on chip monitoring

Švec, Jan, Ing., Department of machining technology, The University of West Bohemia, Univerzitní 22, 306 14 Plzeň, +420377638512, visis@kto.zcu.cz

Janda, Zdeněk, Ing., Department of machining technology, The University of West Bohemia, Univerzitní 22, 306 14 Plzeň, +420377638516, zjanda@kto.zcu.cz;

Řehoř Jan, Ing., Ph.D., Department of machining technology, The University of West Bohemia, Univerzitní 22, 306 14 Plzeň, +420377638500, rehor4@kto.zcu.cz;

This article themed „Diagnostic of state of machined surface based on chip monitoring“deals with relation of machined surface integrity and cutting technology. The main endeavour of study authors was the possibility observes this relationship depending on study of chips. The main goal of this article is to indicate the next possible accession to practical assessment of workpiece surface by machining.

⇒ Keywords: surface integrity, chip, machining

