

Vliv povrchu na užité vlastnosti výrobku

KŘÍŽ, Antonín, Doc.Dr.Ing., ZČU Plzeň, Univerzitní 22, 306 14 Plzeň, Česká republika

Anotace

Povrch součásti je třeba chápat v kontextu s jeho mnoha funkcemi. Nejdůležitějšími vlastnostmi jsou mechanické, fyzikální a chemické. V praxi nejsou jednotlivé vlastnosti uplatňovány samostatně, ale vždy ve vzájemné kombinaci a tím je ztíženo posuzování jednotlivých vlivů. V minulosti byla pozornost povrchu věnována pouze v souvislosti s drsností, geometrickou přesností. V současné době je snaha popsat vlastnosti povrchu komplexně v širších souvislostech. Byla vytvořena speciální metodika hodnocení, která se nazývá integrita povrchu. V uvedeném článku jsou zachyceny jednotlivé sledované faktory i s jejich specifiky ve vazbě na výsledné užité vlastnosti.

Klíčová slova

Integrita povrchu; obrobený povrch, zbytková napětí, mikrostruktura povrchu, zpevněný povrch

1. Úvod

Finální vlastnosti výrobků jsou do značné míry ovlivňovány vlastnostmi povrchových a podpovrchových vrstev. Objem provozních lomů v současnosti tvoří více než z 90% lomy způsobené únavou materiálu. Únavové poškození materiálu má nejčastěji svoje iniciační místo na povrchu součásti. Výjimkou bývají některé významné strukturní, metalografické i konstrukční chyby (vměstky, trhliny, povrchově překalená vrstva materiálu, zápichy aj.), které mohou přesunout iniciaci dále od povrchu. Z tohoto důvodu je nutné vlastnostem povrchu věnovat značnou pozornost. Zanedbání kontroly kvality a poté údržby na první pohled bezproblémové součásti může v budoucnosti znamenat velké materiální ztráty, nebo dokonce úrazy s vážnými následky. Z tohoto důvodu je nutné povrchu věnovat více pozornosti a dokázat včas eliminovat příčiny vedoucí k rozvoji uvedených poškození. Tato pozornost je o to důležitější, jestliže je součást tepelně zpracovávána, za účelem získání vyšších tvrdostí. Při cementování a kalení jsou sice v povrchových oblastech iniciována tlaková napětí, která přechází poměrně náhle v tahová. Tento průběh je obdobný i u nitrídaných popř. povrchově kalených součástí. Vedle tepelného zpracování povrchů je nezbytné věnovat pozornost i procesu jeho vzniku. V tomto případě právě třískové obrábění má největší vliv na jakost povrchu a následné komplexní vlastnosti. Tyto komplexní vlastnosti jsou v současné době postižitelné a hodnoceny díky tomu, že již delší dobu existuje tzv. „integrita povrchu“. Následující kapitola se věnuje metodice hodnocení povrchu právě tak, jak vyžaduje tento komplexní přístup. V dalších kapitolách jsou uvedeny praktické ukázky významu stavu povrchu a to jak z hlediska tepelně ovlivněného povrchu tak i jeho stavu po třískovém obrábění popř. dalších doprovodných procesech.

1. Pojem integrity povrchu

Na povrch součásti v procesu výroby, montáže (i používání a s tím spojených degradačních procesů mnohdy zakončené destrukcí) působí v tomto průběhu mnoho vlivů. Tyto vlivy lze rozdělit na vnější a vnitřní vlivy. Mezi vnější jsou zahrnuty tyto 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 jsou tvořeny:

- Zbytkovým napětím
- Morfologií povrchu (drsnost)
- Materiálovými a mechanickými vlastnostmi povrchu (tvrdost, zpevnění, strukturní stav, povrchová úprava např. vrstvy, povlaky)
- Přítomností povrchových a podpovrchových vad a heterogenní struktura (uhlík v litině, vměstky, řediny)

Pro komplexní popis těchto vlivů se u odborné veřejnosti vžil pojem „integrita povrchu“. Cílem není pouze zahrnout všechny tyto vlivy, ale zejména uvést je do souvislostí. Čím komplexněji jsou jednotlivé vlivy zahrnuty, tím reálnější dávají obraz a poskytují informace o reálném stavu povrchu, neboť v praxi také nepůsobí odděleně. Problematika je natolik složitá, že některé vlivy mohou mít na konečné vlastnosti dokonce protichůdné účinky. Pro integritu povrchu budou nejdůležitější vnitřní vlivy, jelikož je lze volbou materiálu, nebo technologie přímo ovlivnit ve výrobě a tím dosáhnout vysokých užitečných vlastností. Vnější vlivy vytváří okrajové podmínky pro uživatele, jejichž dodržením se výrazně prodlouží trvanlivost popř. kvalita použití daného výrobku.

2. Zbytková napětí

Tato kapitola byla zařazena z toho důvodu, že v současnosti se pozornost v souvislosti s integritou povrchu vztahuje především ke stanovení zbytkových napětí. Měření zbytkových napětí je velmi složitý proces a ještě výrazně složitějším zůstává porozumět dosaženým hodnotám. Jak zachytí názorné příklady, je velmi obtížné jen na základě provedených měření popsat procesy, které se v materiálu odehrály a také není jednoznačně možné z těchto výsledků vyvodit nějaké obecné závěry. Na druhou stranu je zřejmé, že v celé technologické praxi se lze setkat s řadou případů, kdy ve výrobku vznikají vnitřní napětí, která jsou tak značná, že může dojít ke vzniku mikrotrhlin, jindy, je-li úroveň pnutí srovnatelná s pevností i k porušení celého výrobku. Vedle tepelného a chemicko-tepelného zpracování jde i o důsledky intenzivního tváření za studena, hrubovacích, ale i dokončovacích metod obrábění - broušení, svařování, pájení, odlévání, depozice tenkých vrstev aj.

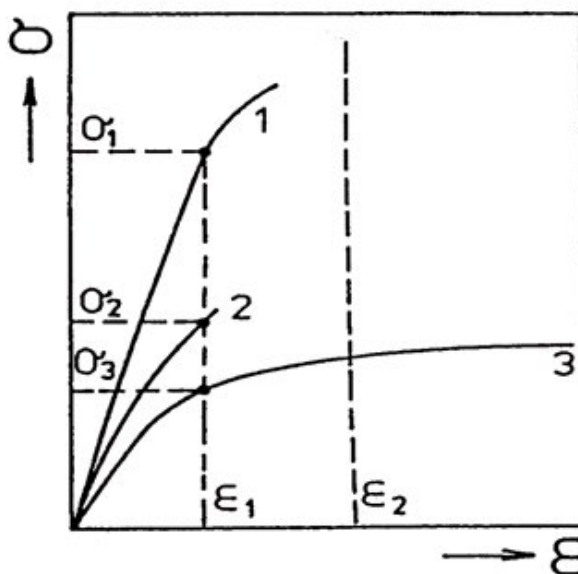
Z hlediska časového působení vnitřních napětí lze sledovat dvě skupiny:

- dočasná vnitřní napětí
- zbytková vnitřní napětí

Dočasná vnitřní napětí působí pokud trvá příčina, která je vyvolala. Touto příčinou nejčastěji bývá nerovnoměrné teplotní pole mezi povrchovými a vnitřními částmi výrobku. Poté pružná deformace vzniklá lokální rozdílnou dilatací vytváří dočasné vnitřní napětí, které trvá pokud se nevyrovnají teploty v celém objemu výrobku. Stejně dočasný charakter může mít i vnitřní pnutí vznikající během ohřevu nebo ochlazování kovu, ve kterém dochází k nehomogenní deformaci z důvodu nerovnoměrného průběhu fázové transformace [1].

Pokud i po odstranění vnějšího impulsu (externí silové působení či nemechanická příčina) část vnitřních pnutí ve výrobku přetrvává, hovoříme o zbytkových napětích či pnutích. Zbytkové napětí je tedy jedním z mnoha druhů, vznikajících v důsledku nehomogenní deformace a lze je obecně definovat jako víceosé napětí, působící ve výrobku po velmi dlouhou dobu přesto, že všechny jeho části mají stejnou teplotu a na výrobek již nepůsobí žádné vnější síly. Z uvedeného vyplývá následující možnost klasifikace zbytkových pnutí *podle příčin jejich vzniku*:

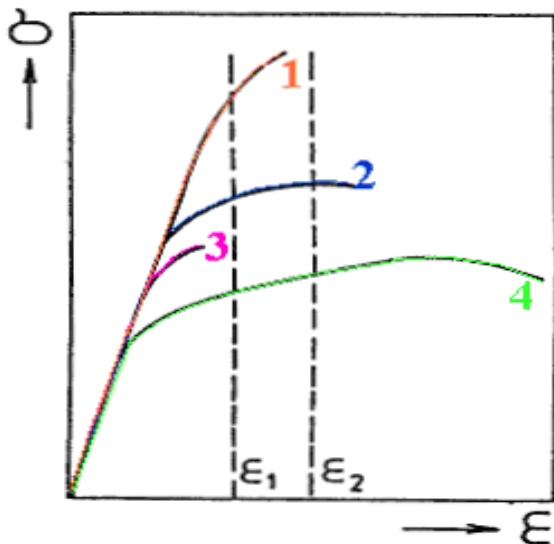
- tepelná zbytková pnutí - vyvolaná různými teplotními gradienty uvnitř výrobku či rozdílnými teplotními koeficienty roztažnosti jednotlivých částí výrobku nebo strukturálních složek
- deformační zbytková pnutí - např. obráběním jsou povrchové vrstvy deformovány intenzivněji než vnitřní části výrobku.
- strukturální zbytková pnutí - nehomogenní strukturální transformace je doprovázena objemovými změnami (např. transformace austenitu na ferit nebo objemově rozdílnější transformace austenitu na martenzit)



Obr. 1 - Deformační závislosti 1-ocel; 2-šedá litina; 3-hliník [1]

Úroveň napětí je určována velikostí elastické deformace vyvolané objemovými změnami ve výrobku. Pojem vnitřního napětí tedy plně odpovídá pojmu vnitřní elastické deformace, neboť ta tento jev zcela kontroluje. Dále je pak napětí funkcí modulu pružnosti E .

Přiblížení tohoto procesu lze provést na třech rozdílných materiálech (obr. 1) Velikost vnitřních napětí je jednoznačně určena hodnotami E_1 , E_2 , a E_3 (Youngova modulu). Při stejné hodnotě vyvolané pružné deformaci ε_1 je vnitřní pnutí v napětí litině σ_2 přibližně poloviční a u velmi plastického hliníku σ_3 je dokonce asi třetinové při porovnání s ocelí - σ_1 . Z diagramu je patrný vliv plasticity materiálu na jeho odolnost proti vzniku trhlin. Jestliže deformace dosáhne ε_2 , potom u materiálu s vyšší pevností (ocel)



Obr. 2 - Deformační závislosti oceli 1-kalená; 2-popouštěná; 3-kalená z vysoké teploty; 4-žíhaná

vzniklá úroveň vnitřních napětí způsobí lom, kdežto hliník s podstatně nižší pevností se neporuší. Tyto souvislosti jsou patrné i u stejného materiálu, který díky tepelnému zpracování nebo i díky zpevnění povrchu následkem plastické deformace dosahuje různých modulů pružnosti. Změnou modulu pružnosti a v této souvislosti se změnou vnitřního napětí dochází také ke změně kritického rozměru trhliny. Kritický rozměr trhliny se snižuje a to má za následek, že u materiálu, kde ve vyžíhaném stavu nedocházelo k jejímu rozvoji po zakalení nebo po povrchovém zpevnění dochází k iniciaci poškození.

Tyto poznatky vyplývající z postupu tepelného zpracování oceli jsou zachyceny na obr. 2. Úroveň vnitřních napětí vyvolaná deformací ε_1 vede k lomu pouze u oceli kalené z vysoké teploty. Při nárůstu deformace na ε_2 se ocel správně zakalená poruší později. Větší plastická schopnost popuštěné a žíhané oceli snižuje náchylnost oceli k uvažovaným trhlinám v souvislosti s jejich podkritickou velikostí.

Tyto poznatky jsou velmi důležité i v případě posuzovaných příčin vzniku defektů. Při zvyšující se tvrdosti, která způsobuje navíc i nárůst křehkosti vzrůstá neúměrně i vnitřní napětí v souvislosti s různými procesy, které by odezněly plastickou deformací. Tato napětí pak mají za následek rozvoje trhlin. Vnitřní napětí je v materiálu snižováno plastickou deformací. Čím má materiál větší mez pružnosti, tím je napětí větší. Jestliže může materiál vykonat plastickou deformaci, pak v případě, že má na deformaci čas i prostor, jejím rozvojem snižuje vnitřní napětí. Jestliže tento čas není k dispozici např. při rychlých popř. velkých přísunech namáhání, nebo při zablokování dislokací po hranicích zrn a jiných překážkách, pak dochází k eliminaci napětí rozvojem nového povrchu tj. vznikem mikrotrhlin a trhlin. Jejich rozvoj se realizuje rychlostí zvuku v kovech tj. až 5000m/s. Při prvotním uvolnění napětí jde trhlina nejkratší cestou až po částečném vyčerpání dochází k tomu, že jde cestou nejmenšího odporu tj. sleduje více strukturální slabost materiálu[2]. Tento případ je vidět i v následující praktické části, kde je sledována trhlina.

Napětí mohou být tahová či tlaková. Podle objemu, ve kterém napětí dosahují rovnováhy, se rozdělují na[3]:

a) Zbytková napětí I. druhu – zasahují celý objem součástky, či její podstatnou část, t.j. mají makroskopický charakter. K těmto napětím patří i napětí v nekonečně tenké, ale rozsáhlé oblasti. Porušením kompaktnosti součásti (např. jejím rozdělením) dojde ke změně její makrogeometrie.

b) Zbytková napětí II. druhu – zasahují objem několika krystalových zrn. Tato napětí jsou podmíněna anizotropií zrna a v polykrystalických kovech jsou homogenní v oblasti několika jednotlivých zrn. Porušením kompaktnosti součásti (např. jejím rozdělením) nemusí dojít ke změně její makrogeometrie.

c) Zbytková napětí III. druhu – projevují se v objemu několika atomových vzdáleností a dosahují rovnováhy jen v dostatečně velké části zrna. Porušením kompaktnosti součásti (např. jejím rozdělením) nikdy nedojde ke změně její makrogeometrie.

V technické praxi se pod pojmem zbytkové napětí rozumí **vždy zbytkové napětí I. druhu**. Někdy se zbytková napětí označují jako technologická napětí, neboť vznikají v důsledku působení technologických procesů při výrobě strojních částí.

Zbytkové napětí může pod povrchem vznikat jen tehdy, pokud dojde v povrchové vrstvě k plastické deformaci. Smysl zbytkového napětí (tah či tlak) závisí od způsobu vzniku plastické deformace (druh obrábění, geometrie nástroje...atd.).

2.1 Aplikační vazby povrchové integrity

V současné době se vlivy mající dopad na povrch zkoumají odděleně. Jak již bylo popsáno, je zcela jisté, že mezi těmito vlivy existuje vzájemná souvislost a to již z toho důvodu, že v praxi také nepůsobí odděleně.

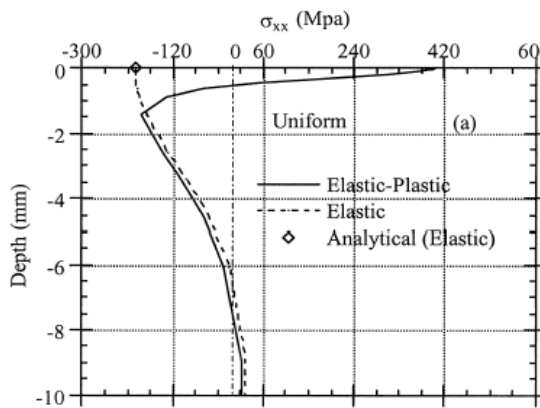
Nelze s určitostí tvrdit, zda např. zvýšená hladina zbytkových napětí způsobí porušení povrchové vrstvy, popř. nepovede k destrukci celé součásti. I při porovnávání stejných součástí vyrobených z různých či jinak tepelně zpracovaných materiálů, které by měly hypoteticky stejnou hladinu zbytkových napětí nelze předpokládat, že k porušení dojde se stejnou statistickou pravděpodobností. V tomto případě je důležité společné působení jak zbytkových napětí, tak i morfologie povrchu a materiálových vlastností. Proto je nutné, aby se integrita povrchu soustředila i na další vlastnosti a nezůstala pouze u stanovení zbytkových napětí.

Pokud jsou na více měřených površích se stejnou povrchovou morfologií změřeny zvýšené hladiny zbytkových napětí, ještě na základě tohoto zjištění nelze předpokládat, že se zvýší nebezpečí porušení. Tato zbytková napětí jednak mohou být tlaková a jednak mohou být eliminována elasticko-plastickými procesy v materiálu. Tlaková napětí vedou k uzavírání povrchových defektů a proto vedou ke zvýšení užitných vlastností. V tomto případě je přesto zapotřebí sledovat průběh zbytkových napětí, neboť v podpovrchových oblastech jsou iniciována napětí tahová a ta mohou vyvolat celou řadu problémů, nejčastěji přesun únavového iniciačního centra pod povrch. Vyšší hladina zbytkových napětí má také za následek vyšší nebezpečí korozního napadení. V případě tahových složek se může iniciovat i koroze pod napětím. Z uvedených důvodů je zapotřebí začít sledovat zbytková napětí nejen na povrchu, ale i pod povrchem a dávat tyto výsledky do souvislostí s praktickými poznatky.

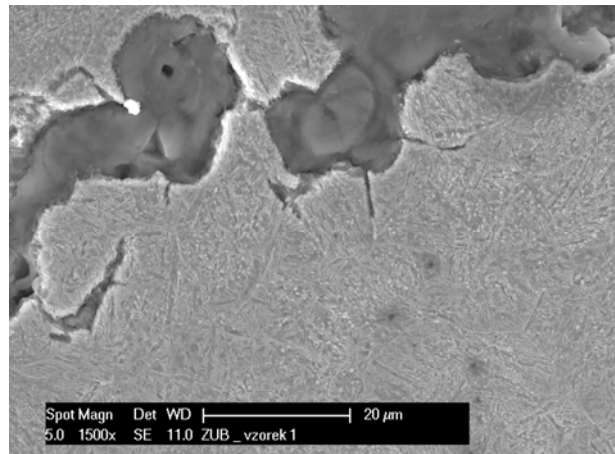
Prosazení integrity povrchu do praxe je velkým problémem nejen z důvodů přenositelnosti metodiky, ale také z hlediska zjištěných hodnot a jejich dopadu na kvalitu výrobku. Nelze předpokládat, že budou, zejména za nynějších ekonomických podmínek, vyřazovány jako zmetky jinak bezvadné výrobky jen na základě zjištění, že není dosažena požadovaná hodnota stavu povrchu. Dalším předpokladem obtíží je absence jednotící teorie, která by umožnila jednotlivé vlivy mezi sebou porovnat a kvantifikovat.

2.2 Praktické příklady vlivu zbytkových napětí

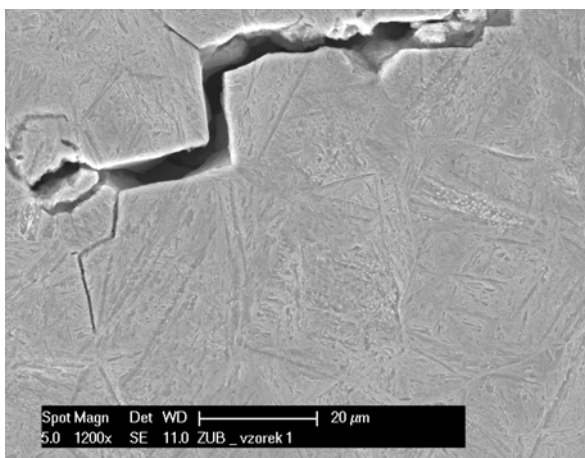
Prvním z příkladů, kde se projevuje vliv zbytkových napětí na výsledné vlastnosti je vznik brusných prasklin u cementovaných ozubených kol. Tyto defekty nebyly iniciovány bezprostředně od povrchu, ale z hloubky cca 0,7 mm pod povrchem. Jak dokumentuje ilustrativní graf průběhu zbytkového napětí, je na broušeném povrchu nepříznivé tahové napětí, které s hloubkou přechází v tlakové složky.



Obr. 3 – Hloubkové rozložení zbytkového napětí iniciovaného vneseným teplem od broušení[6]



Obr. 4 – Lokalita pod povrchem, kde byl iniciován rozvoj poškození.

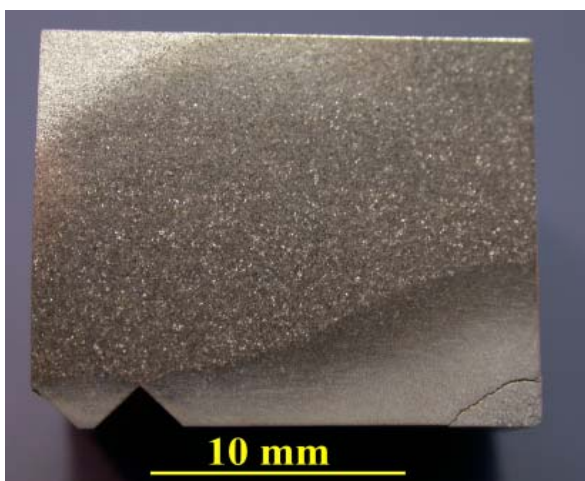


Obr. 5 – Oblast, kde se trhлина šířila po hranicích původních austenitických zrn.

Na obr. 4 je zachycena lokalita, kde v cementovaném povrchu došlo k prvotní iniciaci. Tato lokalita je dána jednak zbytkovým napětím, které bylo generováno následkem kalení a jednak následkem broušení. Na obr. 5 je zachycen „dojezd“ trhliny. Energie šíření trhliny je již natolik nízká, že je její vznik reálný pouze na oslabených původních hranicích austenitických zrn. Při snížení zbytkového napětí vlivem popouštění na vyšší teplotu popř. snížením broušením vneseného napětí by zamezilo vznik tohoto rozvoje poškození.

do větší hloubky. Následkem toho bylo v materiálu iniciováno vysoké zbytkové napětí, které vedlo k rozvoji trhlin (obr. 6).

Dalším příkladem, kde povrchové kalení sehrálo negativní roli ve vazbě se zbytkovým napětím a rozvojem trhlin je případ AXA držáků soustružnických nožů. Následkem nevhodné rychlosti induktoru došlo k prokalení oceli 12050



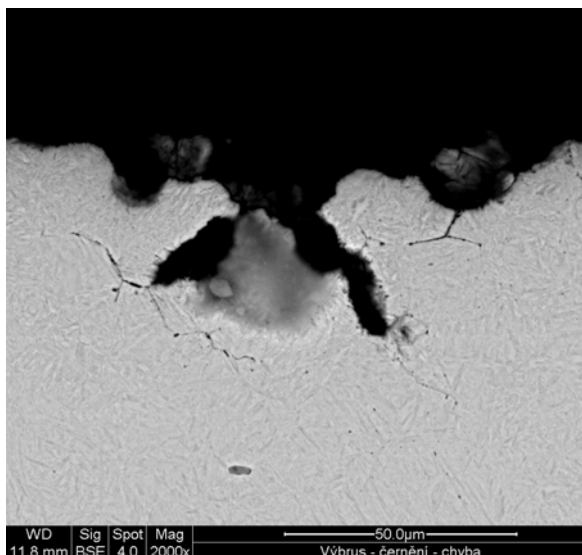
Obr. 6 – Trhлина u povrchově kaleného vzorku



Obr. 7 – Struktura byla tvořena hrubými zrn, jehlicovitou fází a troostitem

Jak bylo uvedeno v teoretické části, o povrchovém stavu mnohdy rozhoduje více faktorů. V tomto případě to byla předepsaná vysoká tvrdost povrchu. Konstruktor u oceli 12050 vyžadoval povrchovou tvrdost 59+2HRC. Polotovár nebyl důsledně protvářen a větší velikost zrna spolu s vyřádkováním podpořilo vznik trhlin v důsledku nedodržení technologie tepelného zpracování. V základné oblasti byly martenzitické jehlice velké, proto se iniciovalo vysoké napětí. Na tuto oblast navazovala nevhodná struktura tvořená troostitem a jehlicovitým feritem vedlo toto napětí k rozvoji sledovaného poškození.

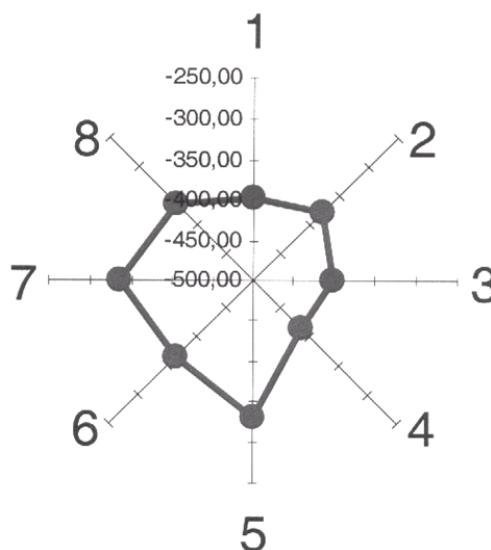
Dalším ukázkovým případem, kdy zbytkové napětí spolu se stavem povrchu vedlo k rozvoji poškození je případ černění. Vzorek byl před černěním povrchově kalen a posléze broušen. Pak následovala operace černění. Její součástí je také omývání povrchu v roztoku kyseliny solné, aby se povrch odmastil. Jak zachycuje obr. 8, došlo působením roztoku popř. i roztoku louhu při černění k degradaci povrchu. Tato degradace byla vyvolána následkem vysokého zbytkového napětí na povrchu. Stále se řeší mezi dodavatelem a odběratelem, kdo zapříčinil vznik těchto defektů a zakázka se neuzavřela a přesunula se do reklamačního řízení. Odpověď na tuto jednoduchou otázku je velmi složitá, neboť zvýšením zbytkového napětí a to ať při kalení nebo broušení vede ke zvýšení tzv. „aktivační energie“, která má za následek zvýšenou reaktivitu. Proto obdobně, jako se při metalografickém zviditelnění struktury naleptávají hranice zrn, tak dochází při černění k naleptání povrchových oblastí, kde jsou buď nečistoty (oxidy), nebo kde je vysoké zbytkové napětí.



Obr. 8 – Příčný výbrus povrchově zakaleného a černěného povrchu v místě defektu.

Předchozí případy poukazyvaly na praktický dopad zbytkového napětí na výsledné vlastnosti jejichž degradací došlo k rozvoji poškození.

Následující případ demonstruje obtížnost vyhodnocení zbytkových napětí a přiřazení dosaženým hodnotám konkrétních vlastností a predikci vlastností. Jestliže zbytkové napětí je tlakové popř. tahové, tak lze učinit ještě nějaké závěry. Nelze posuzovat, povrchový stav pouze z hodnoty, zbytkového napětí, která jednou vyšla -279MPa a podruhé -485MPa. Jak dokumentuje tab.1, byly tyto hodnoty změřeny pomocí RTG analýzy na jednom vyvrtaném otvoru v jedné hloubce po obvodě. Protože se jednalo o ocel 12050, která má perliticko-feritickou strukturu, tak větší vliv než stav nástroje měla strukturální heterogenita.



Obr. 9 – Rozložení zbytkového napětí po obvodu vyvrtaného otvoru

	Vzorek 1		Vzorek 2		Vzorek 3		Vzorek 4		Vzorek 5	
bod	1A	1B	1A	1B	1A	1B	1A	1B	1A	1B
$\sigma(AK), MPa$	-279	-398	-375	-366	-303	-300	-314	-485	-252	-331
lin W, deg	1,67	1,67	1,70	1,67	1,65	1,77	1,71	1,69	1,74	1,71

Tab.1 – Hodnoty tlakových zbytkových napětí u vyvrtaného otvoru oceli 12050

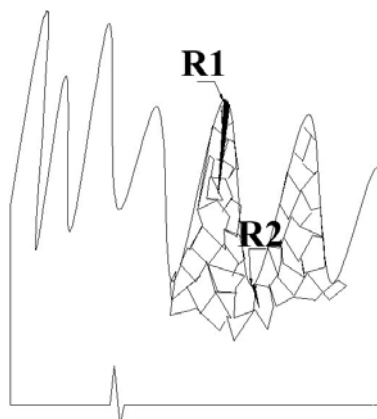
Z uvedených poznatků vyplývá, že ačkoliv se celá řada odborných prací velmi precizně věnuje naměřeným hodnotám zbytkových napětí, přesto nelze na základě těchto výstupů jednoznačně

posoudit povrchový stav. Je zcela nemyslitelné vytvářet nějaké hypotézy o tom, jak se součást s tímto zbytkovým napětím bude chovat v praxi a předikovat její užité vlastnosti.

3. Příčná metalografická studie

Americká norma popisující integritu povrchu zahrnuje také výsledky z příčného metalografického rozboru. Jak vyplývá z citované normy, hodnotí se změna struktury a hloubka, do které je tato změna rozpoznatelná. Tento popis je velmi stručný a nepostihuje v žádném případě souvislosti mezi povrchovým stavem a vlastnostmi povrchu. Na obr. 10 je zachycen stav povrchu, kde je vyznačen vliv nejen přítomných trhlin, ale také velikosti zrn. Jestliže jsou trhliny v místech jemnozrnné struktury, která je pozměněná např. rekrytalizačními procesy, pak bude lomová houževnatost větší, než u struktury hrubozrnné.

Rovněž konečné vlastnosti ovlivňuje přítomnost povrchových a podpovrchových trhlin. Tyto trhliny spolu s velikostí zrna se projeví nejen při kontaktním silovém namáhání povrchu, ale také v případě korozního působení. Tyto souvislosti jednoznačně patří do komplexního hodnocení integrity povrchu. Na tomto příkladu je doloženo, jaké má hodnocení integrity povrchu slabiny, neboť neposkytuje jednoznačné souvislosti, ale pouze souhrn výsledků, které mohou mít zcela odlišné praktické dopady. Tyto chybějící souvislosti jsou zachyceny i v dalších případech.



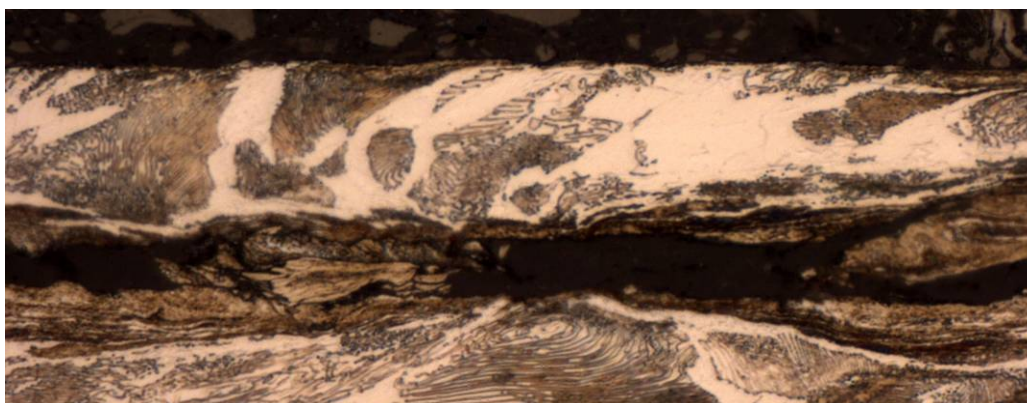
Obr. 10 – Reálný stav povrchu



Obr. 11 – Stopy zpevnění povrchu a „vytržení“ povrchu u litiny následkem vrtání speciálním nástrojem

Jak dokumentuje metalografický výbrus vyvrtaného otvoru do litiny ČSN422420 (obr.11) lze získat také cenné informace o stavu povrchu. Na tomto snímku je zachycena lokalita v níž došlo k odtržení povrchu. Norma pojednávající o integritě povrchu a předepisující metalografickou studii neposkytuje předpis, jak sledovat a dle čeho vyhodnocovat povrchový stav. Proto je prozatím jediná možnost provádět porovnání s dalšími povrchy a také tyto výsledky komplexně zahrnout do celkového hodnocení.

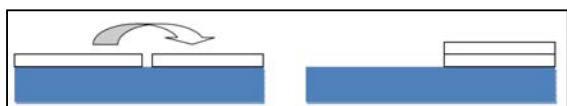
Další, co příčná metalografická studie umožnila zjistit, je skutečné chování obrobeného materiálu během vrtání. Jak dokumentují následující snímky, na povrchu probíhají procesy, které nelze pouze posuzováním drsnosti popř. stanovením přesnosti rozměrů postihnout.



Obr. 12 - Ukázka odtrhávání a následného vtačování třísky do materiálu. Zvětšení 500x

Princip tohoto odtržení je zachycen na obr.č. 13. Takovýto povrch má špatné vlastnosti, které se projeví nejen na jeho přesnosti, ale především při dalším kontaktním namáhání. Při měření již uvedených zbytkových napětí např. metodou RTG difrakce jsou získány zcela odlišné hodnoty, které

nekorrespondují se skutečností i se stavem obrobeného povrchu. Vedle uvedeného překlápění dochází také k lokálnímu ulpění třísky a následkem toho je opět nerovnoměrný povrchový stav (obr. 14).



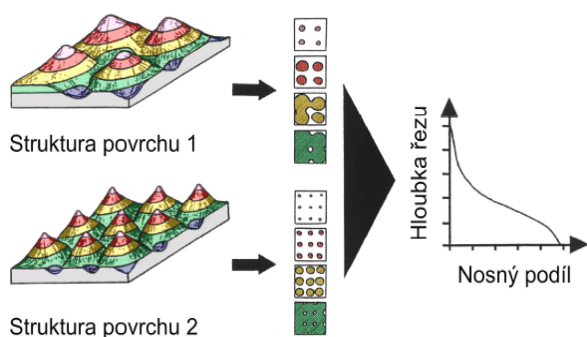
Obr. 13 – Princip odtržení a překlápní třísky, jak bylo zachyceno na obr. 12



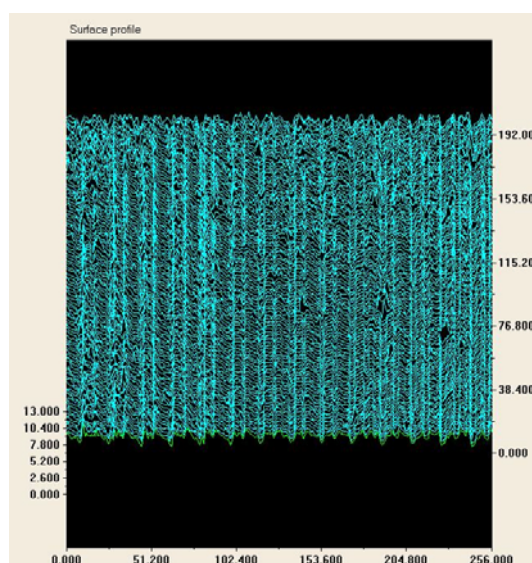
Obr. 14 – Tříška uchycená ve vytvořené stopě po obrábění

4. Morfologie povrchu

Jednu z mála číselných hodnot, které jsou při hodnocení povrchu velmi často využívány, poskytují charakteristiky drsnosti. Nejčastěji se využívá hodnot drsnosti Ra. Hodnoty drsnosti lze velmi rychle a s požadovanou přesností zjistit i pomocí dílenských profiloměrů. Existuje celá řada souvislostí mezi dosaženými hodnotami a praktickými dopady na užité vlastnosti.



Obr. 15 – Dva odlišné povrchy se stejnou hodnotou Abbotovy křivky profilu [7].



Obr. 16 – Záznam povrchu při měření plošné drsnosti

Přesto provedené experimenty i dlouholetá zkušenost ukázaly, že hodnota Ra tj. střední aritmetická úchylka profilu neposkytuje dostatečné množství informací, které by umožnily získat ucelenou představu o stavu profilu a povrchu. Původně se odborníci domnívali, že nejvíce se popisu reálného povrchu přibližuje alespoň hodnota nosné (Abbotovy) křivky profilu. Jak dokumentuje obr.15, nedosahuje tento popis požadované přesnosti[7]. Spoléhat pouze na hodnoty popisující drsnost povrchu z lineárního měření, je nepřesné. Ačkoliv se dostane hodnota, které jsme se naučili rozumět, přesto neposkytuje podrobnější informace o povrchovém stavu.

Moderní přístrojové vybavení dovolí plošně zmapovat povrch a vyhodnotit tzv. plošnou drsnost. Na pracovišti autora je k dispozici konfokální laserový scanovací mikroskop. Dosažené hodnoty plošné drsnosti jsou odlišné od hodnot lineární drsnosti. Tyto nepřesnosti jsou jednak dány technologií (způsobem) měření, tak i charakterem provedeného měření. Na Obr. 16 je zachycen povrch, který měl lineární drsnost Ra 0,6 μm , zatímco zjištěná hodnota plošné drsnosti byla Sa - 0,39 μm . Z uvedených hodnot i poznatků vyplývá, že další hodnota, která bývá často velmi důkladně sledována v rámci integrity povrchu dosahuje jistých nepřesností.

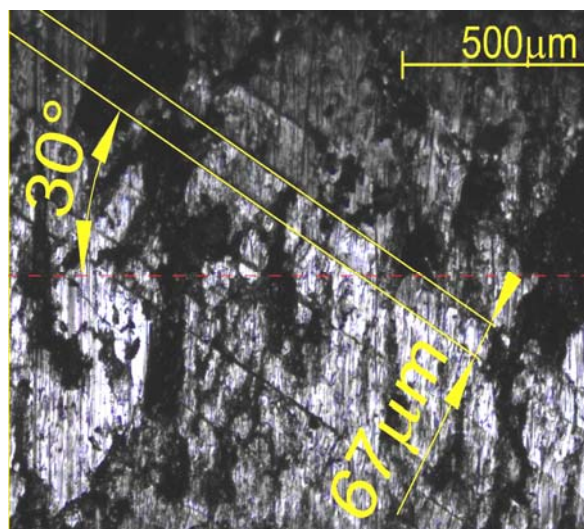
Problematice drsnosti by bylo vhodné věnovat více prostoru, neboť tato hodnota bývá, jak již bylo uvedeno, velmi často považována za charakteristiku, která postihuje povrchový stav. Následující příklad opět dokumentuje, že je velmi obtížné pouze na základě hodnoty drsnosti předpokládat nejen jak povrch vypadá, ale i jaké procesy byly při jeho tvorbě rozhodující.

Na obr. 17 je zachycen povrchový stav otvoru, který byl vrtán speciálním nástrojem. U vrtaného elementu výrazné rovnoběžné stopy zhruba pod úhlem 30° k ose válečku. Jedná se pravděpodobně o povrchovou deformaci materiálu způsobenou fazetkou nástroje při vyjetí nástroje. Jejich přítomnost je prozatím nevyřešena. Jejich rozměr, četnost i nahodilost není ve vazbě na parametry obrábění ani

stav nástroje. Dalším problémem je, že při měření drsnosti nejsou tyto nerovnosti vůbec zahrnuty do hodnocení, které je prováděno v ose vrtané díry. Dalšími a na přesnost měření významným faktorem je přítomnost dalších defektů, které mají jiný směr a nejsou do lineární drsnosti zahrnuty.

5. Mechanické vlastnosti

S ohledem na požadavky kladené na obrobený povrch má analýza mechanických vlastností svoje opodstatnění. Mezi nejčastější mechanické vlastnosti, které jsou popsány konkrétní hodnotou, patří tvrdost popř. mikrotvrdost. Koneční uživatelé očekávají, že povrch by měl vykazovat co největší tvrdost, neboť tím je zajištěna ořezuvzdornost a stálost rozměru. Tento přístup je chybný, neboť vedle tvrdosti záleží i na elasticko-plastických hodnotách, které dokládají, jakou má povrch houževnatost. Jak již bylo uvedeno v souvislosti se zbytkovým napětím, zvýšení tvrdosti má za následek také zmenšení kritického rozměru trhliny. Jestliže obrobený povrch vykazuje stejné defekty, které byly zachyceny na obr. 11; 12; 14, pak zvýšením tvrdosti a to bez ohledu na přítomnost tlakového napětí může vést ke vzniku předčasného poškození nebo únavového porušení. Pro stanovení elasticko-plastických vlastností i E-modulu lze s výhodou využít nanoindentační měření a indentační křivky při větších zátěžných silách. Obr. 18 zachycuje v příčném výbrusu strukturální stav zpevněného povrchu vrtané oceli 12050. Povrch je sice následkem speciálního obrábění zpevněn, avšak na rozhraní mezi touto vrstvou a nezpevněným materiálem dochází k rozvoji trhlin, které mohou iniciovat poškození povrchu a změnu geometrie a rozměru.



Obr. 17 – Stopy po nástroji a vytvořené fazetky na obrobeném povrchu

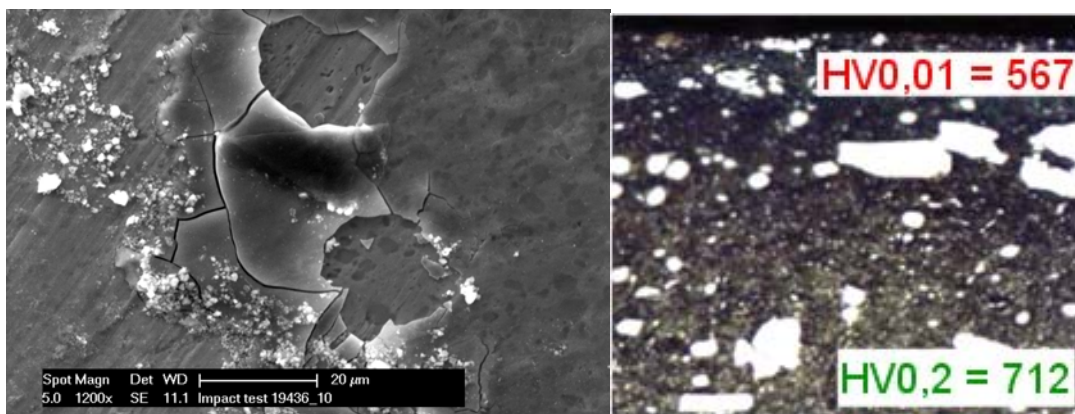


Obr. 18 – Oddělení zpevněného, obrobeného povrchu ve vyvrtané díře u oceli 12050

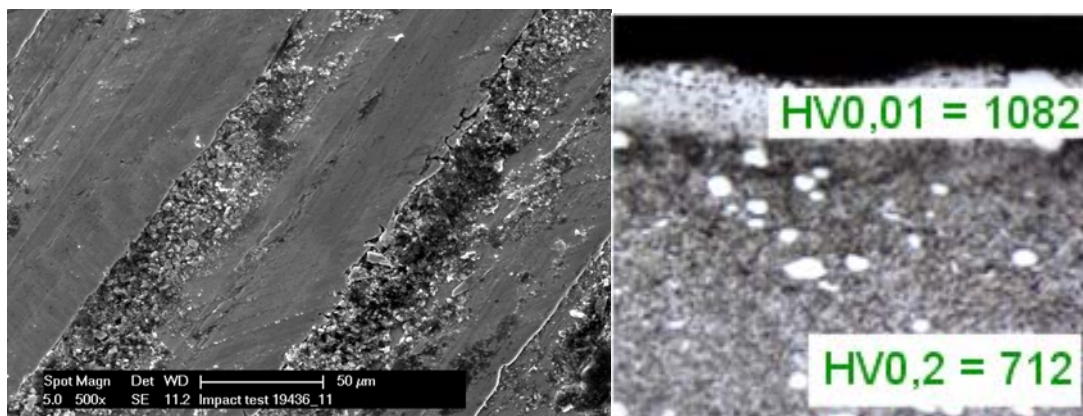
Vedle stanovení nanoindentačních měření poskytující další informace o elasticko-plastických vlastnostech obrobeného povrchu lze využít přednosti vrypové zkoušky. Scratch test, který je v současné době uplatňován především při analýze tenkých ořezuvzdorných vrstev, nachází smysl i u testování obrobených povrchů. Dovoluje komplexně zachytit odolnost proti vnikání hrotu v celé obrobené délce a tak poskytuje informace dostatečné údaje k tomu, aby bylo možné popsat procesy, které během obrábění nastávají. Při hodnocení vytvořené stopy lze také charakterizovat proces poškození iniciovaný v místě vytvořeného vrypu. Tento přístup vystihuje podstatu sledování vlastností přispívající k ucelenému mozaikovitému obrazu. Pro zachycení širokého spektra vlastností lze využít větší metody, které se používají při studiu tenkých vrstev. Na druhou stranu je zapotřebí porozumět dosaženým výsledkům a dát je do správné korelace s dalšími výstupy.

Další možností, která dovoluje sledovat mechanické vlastnosti s přímým dopadem na praktické aplikace, je využití předností Impact testu. Bližší informace o tomto testu jsou uvedeny v druhém publikovaném článku „Využití Impact testu při studiu integrity povrchu“. Podrobnější informace jsou také v práci [8] a rovněž je může poskytnout Ing. Jiří Šimeček, který tuto metodu i hodnocení na pracovišti autora realizuje. Jedním z nejdůležitějších výsledků získatelných z Impact testu je hloubka a laterální plocha krátera. Pokud je provedeno na jednom vzorku několik testů s různým počtem úderů při stejné síle, lze získat představu o chování materiálu při porušení povrchu. Materiály se vyznačují různou mírou tvrdosti, houževnatosti a následkem toho se při porušení povrchu odlišně chovají. Hloubka impact kráterů bývá v řádu μm , proto je měření vhodné provést pomocí laserového konfokálního scanovacího mikroskopu. Impact test je nutné provádět ve více lokalitách vrtaného povrchu, aby bylo možné postihnout jednotlivé změny, které mnohdy nemusí vyplývat ze zjištěné hloubky a plochy krátera, ale z jeho morfologie. Jako příklad souvislosti mezi strukturálním stavem, tvrdostí a morfologií impact krátera poslouží následující příklad vyvrtaného otvoru v oceli 19436.6. V souvislosti s vrtáním docházelo u této oceli nejen s ohledem na řezné podmínky, zkoušený nástroj

jeho geometrii popř. opotřebením, ale také v souvislost i s hloubkou vrtání k odlišnému tepelnému zatížení obrobeneho povrchu. To se projevilo v dosažených vlastnostech.



Obr. 19 – Impact kráter v místě, kde byl vneseno větší množství tepla. Následkem tohoto tepla došlo ke snížení tvrdosti a to se projevilo na charakteru poškození.



Obr. 20 – Impact kráter v místě, kde došlo na povrchu k austenitizaci a následkem toho pak ke znovuzakalení. To se projevilo vyšší tvrdostí. Rázový účinek impactového tělíska vyvolal podstatně menší změny, než v předchozím případě.

Oba snímky obr. 19 a 20 dokumentují souvislost mezi tvrdostí a impactovým cyklickým namáháním. Z jejich výsledku by se mohl udělat mylný závěr, že se zvyšující se tvrdostí dochází ke zvýšení odolnosti proti kontaktnímu namáhání. V uvedeném testu bylo realizováno 10 000 úderů. Z dalších průběhů vyplynulo, že u tvrdších povrchů při větších počtech úderů (100000) došlo k náhlému nárůstu poškození následkem vzniku jejich rozsáhlých „odlupů“ zpevněné vrstvy. Zatímco měkký povrch se postupně zpevňoval a následkem vznikaly drobné a postupující „odlupy“.

6. Korozní testy

Integrita povrchu vedle mechanických a strukturních vlivů zahrnuje i vlastnosti, které jsou již ve složitější kombinaci předchozích vlastností. Mezi tyto faktory patří i chemické vlastnosti, které lze zachytit v korozním chování obrobeneho povrchů. Snahou je zachytit faktory, které mají vliv na rychlost korozního napadení a hledat souvislosti s praxí a degradačními procesy. Jedním rozhodujících faktorů je drsnost povrchu. Lze předpokládat, že povrchy s nižší drsností podléhají korozi menší rychlostí, než povrchy s vyšší drsností, neboť na výstupcích po obrábění obvykle ulpívá větší množství korozních činidel (voda, nečistoty ve vzduchu). Dalším předpokladem urychlujícím korozní poškození drsnějšího povrchu jsou přítomné mikrotrhliny v povrchových oblastech. Velký vliv na průběh korozního napadení má také napěťový stav a s ním spojená aktivační energie. Čím je jemnější zrna popř. větší stupeň deformace, tím je větší aktivační energie a koroze probíhá snadněji. Protichůdnost jednotlivých výsledků a poznatků při jejich sloučení pod označení integrita povrchu se ukazuje u koroze nanejvýš aktuální. Ukázalo se, že z hlediska nízké drsnosti a vysokého stupně protváření povrchu vznikalo rozsáhlejší korozní poškození, než u toho méně kvalitního. Rozhodující je, jaký faktor je dominantní, zda reliéf povrchu tj. drsnost popř. i mikrotrhliny, nebo aktivační energie (obr. 21). Aktivační energie v souvislosti s vnitřním napětím a následnou chemickou degradací

povrchu byla zachycena již na obr. 8. Následkem vyššího vnitřního napětí došlo k lokálnímu zvýšení zbytkového napětí a při moření v roztoku kyseliny solné před černěním k větší degradaci. I tento případ dokumentuje složitost celého procesu.



Obr. 21 - Povrch vyvrtané litiny ČSN 422420 - oblast 1 – pouze vrtáno; oblast 2 – přechodová oblast do tvářeného povrchu; oblast 3 tvářený povrch; 4 – zahlazený povrch.

Bylo by možné jmenovat celou řadu dalších testů, které by svými výsledky přispěly k širšímu poznání a charakteristice povrchu. V případě řezných nástrojů by bylo také užitečné sledovat integritu povrchu popisující stav nástroje, neboť tento vliv je ve vazbě na výsledné vlastnosti obrobenej plochy. Autor článku v minulosti věnoval stavu bříty nástroje vysokou pozornost a dospěl k poznání, že vedle geometrie je důležitá i mikrogeometrie, drsnost a také zbytkové napětí a to nejen na povrchu v případě tenkých vrstev, ale i pod povrchem v místě substrátu. V současné době již byly provedeny první ucelené testy, jejichž cílem je popis integrity povrchu řezného nástroje a vazby na výsledné vlastnosti obrobku rovněž s důrazem na integritu povrchu obrobenej plochy.

7. Závěr

Integrita povrchu zaznamenala značný rozvoj zejména se zvyšujícími se požadavky na kvalitu vytvářených funkčních povrchů. V tomto článku byly nastíněny problémy, kterými se tento mladý obor zabývá a to i v širší vazbě, než jak bylo popsáno v předchozích vydaných článcích autora. S ohledem na složitost problému, nelze brát tento článek jako nějaké dogma. Jeho cílem je nastínit směry vývoje integrity povrchu a také zachytit jednotlivá úskalí a možné chyby při vyhodnocování. Jestliže v jiných oborech platí nutnost kolektivní práce pak v oboru integrita povrchu toto týmové propojení jednotlivých pracovišť je nezbytnou nutností. Výsledky jednotlivých testů, analýz a expertíz musí být posuzovány nejen z hlediska dosažených hodnot, ale především z následných vazeb na výsledný obraz a přínos ke komplexnímu poznání vlastností výrobku. Z tohoto důvodu je zapotřebí získat širší poznatky a ty neustále prohlubovat a to jak korelací v širokém spektru dosažených výsledků, tak i diskusí s dalšími odborníky a pracovišti.

Tento článek vznikl na základě spolupráce s průmyslovými firmami a také z realizace projektů FI-IM4/226 a projektu „Progresivní metody obrábění a integrita povrchu těžkoobrobitelných materiálů v energetice“ SGS-2010-083.

Literatura

- [1] Kraus V.: Tepelné zpracování a slinování. ZČU v Plzni, 1999.
- [2] Neslušan M. a kol. Experimentální metody v trieskovom obrábění 6.2007
- [3] Kříž A. a kol. Integrita povrchu a její význam v praktickém použití Online dostupné na <http://www.ateam.zcu.cz>
- [4] Kříž, A.: Návrh metodik testování vlastností obráběných konstrukčních materiálů. Zpráva pro projekt MPO FI-IM4/226, ZČU v Plzni, 2008.
- [5] Dylag Z., Orloš Z.: Únava materiálu a její zkoušení. Praha 1968
- [6] Koullil, P.N.; Yang, H.T.Y.; Chandrasekar, S.: Simulation of thermal stresses due to grinding. International Journal of Mechanical Sciences 43, 2001, 831 - 851
- [7] Povrchy povlaků [online]. Technická univerzita Liberec, [cit. 2010-06-10]. Dostupné z WWW:<http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/spt/povrchy%20povlaku.pdf>.
- [8] Šimeček J.: Sledování stavu vyvrtaného povrchu speciálními nástroji. Výzkumná zpráva k projektu MPO FI-IM4/226 „Vývoj vrtacích multifunkčních nástrojů pro vysoce produktivní výrobu kruhových otvorů“. ZČU v Plzni, 2009.

Influence of the surface on end-use properties of product

KŘÍŽ, Antonín, Doc.Dr.Ing., Department of Material Engineering and Engineering Metallurgy, ZČU-Plzeň, Univerzitní 22, Plzeň 306 14, Czech Republic

The surface of a component must be understood in the context of its numerous functions. Its most important properties include the mechanical, physical and chemical ones. In service, these properties do not take effect separately but in combinations which make their influence difficult to evaluate. In the past, the surface only received attention in relation to its roughness and geometric accuracy. These days, there are efforts to describe the surface properties comprehensively in a wider context. A special evaluation methodology has been created and became known as the surface integrity.

Surface integrity analysis provides a comprehensive evaluation of the state of surface and its impact on the performance of the part. Obtaining reliable results requires that individual factors are treated with great attention. Fragmentary measurement, partial experiments and their results are not sufficient for evaluating final properties of a component. There are a number of experts engaged in research into this issue at the author's place of work and at the Department of Machining Technology of the University of West Bohemia. In spite of this, or even for this reason, the author sees in the surface integrity concept both a great challenge and a risk, resulting from separation of individual results from the overall context.

Embedding the surface integrity concept into real-world applications still is and will be a cumbersome task, not only due to issues related to transferability of the methodology but also with regard to measured values and their impact on the quality of the product. Another source of difficulties is the absence of a unifying theory which would enable comparison and quantification of individual factors of influence. Despite these problems, valuable findings have been reached both from the academic viewpoint and in terms of practical application and evaluation of surfaces newly created by specially developed "finishing" drills developed and manufactured by the company HOFMEISTER.

Keywords: Surface integrity, Machined surfaces, Residual stresses, Surface microstructure, Strengthened surface

