WEAR AND DEGRADATION OF CUTTING KNIVES IN HARVESTING CUTTERS

Bednář R., Votava J., Červinka J.

Department of Agriculture, Food and Environmental Engineering, Faculty of Agronomy, Mendel University in Brno, Zemědělská 1, 613 00 Brno, Czech Republic

E-mail: xbedna@node.mendelu.cz

ABSTRACT

The cutting system of mobile harvesting cutters represents the priority mechanism of the whole unit. It consists of a stationary as well as moving part, which act as counterparts while performing a cut. The final quality of chopped straw is by far and large dependent on the appropriate setting of the mechanism. Vitals aspects comprise the right choice of basice material as well as heat processing of the very cutting knife and its counterpart, respectively.

We have analysed three different blades which are in regular use with harvesting cutters type Claas and Toron 50. Trials have been divided according to various work areas into the laboratory area, followed by the operational area. During laboratory tests we carried out the measurement of microhardness for the the respective blades. Further on, we tested our samples in abrasion tests using abrasive cloth, in compliance with the norm ČSN 01 5084, followed by a chemical analysis of the individual samples. Then we concentrated on metalographic cuts, which were made in order to analyze the individual structural phases, subsequently we also measured the microhardenss of the phases.

During operational tests the blades were used in the process of harversting maize for subsequent silage. We observed the catherogies of weight loss and blade geometry changes.

The major result of this study is a comparative analysis focusing on the quality of the individual blades and recommendations in terms of future research areas.

Key words: harvesting cutter, blade, chopped straw, quality

ÚVOD

Sklízecí řezačky traktorové i samojízdné jsou klíčovým článkem sklizně pícnin. Z hlediska současných pracovních postupů má sklízecí řezačka prioritní postavení v této oblasti.

Pícniny zaujímaly v České republice na orné půdě v roce 2009 plochu 406 161 ha, z toho kukuřice na zeleno a siláž byla sklizena z 179 777 ha. Vojtěška byla sklizena ze 72 509 ha, zbytek plochy tvořily travní porosty. [1]

Samojízdné sklízecí řezačky jsou naprosto nenahraditelné při sklizni kukuřice. [2,3] Jelikož jsou na řezanku kladeny vysoké nároky (na přesnost její délky), musí obsluha řezačky dbát zvýšené pozornosti především na seřízení a naostření řezacího ústrojí. Broušení řezných čepelí je již v drtivé většině případů prováděno automaticky. [2]

Řezná čepel je brána jako spotřební materiál a tudíž má svoji omezenou životnost. Po opotřebování se celá sada čepelí na řezném bubnu vymění za nové. Tato operace je však velmi finančně i časově náročná. V běžném zemědělském provozu již ovšem není možné sledovat kvalitu materiálu a tepelného zpracování čepelí před samotnou instalací do řezacího ústrojí. Zda-li čepele splňují veškeré požadavky, které jsou na ně kladeny (houževnatost, schopnost odolávat abrazivnímu opotřebení, odolnost uchování konstantní geometrie břitu, atd.) se ukáže až teprve při samotném provozu. V případě, že čepele nejsou schopny odolávat vysokému zatížení během řezného procesu (dochází k jejich nadměrnému otupení), nastává nejen snížení kvality řezanky, ale rovněž nárůst spotřeby pohonných hmot. Za předpokladu, že výkon motoru u těchto strojů se pohybuje okolo 400 kW je každé navýšení spotřeby pohonných hmot nežádoucí finanční zátěží. Tento aspekt by si měli uvědomit především výrobci a dodavatelé nejen řezných čepelí pro sklízecí řezačky.

MATERIÁL A METODY

Bubnové řezací ústrojí tvoří prioritní část celého sklízecího stroje. Po mechanické stránce jde o dokonale vyváženou soustavu, kde na rotujícím bubnu jsou umístěny řezné čepele. Jelikož se jedná o vysoce namáhané součásti, je kladen vysoký důraz především na základní materiál a jeho tepelné zpracování.

Cílem tohoto příspěvku je rozbor základního materiálu u 3 řezacích nožů:.

1. řezná čepel pro sklízecí řezačky Toron 50,
2. řezná čepel pro sklízecí řezačky Claas Jaguar 870 SPEEDSTAR,
3. řezná čepel pro sklízecí řezačky Claas Jaguar 870 SPEEDSTAR (na sklizeň vojtěšky).

U daných vzorků je provedena analýza mechanických vlastností a opotřebení jednotlivých čepelí. Příspěvek je tvořen částí laboratorní a praktickou. Během laboratorních zkoušek byly provedeny tyto testy:

- měření tvrdosti na povrchu čepele (metoda HRC – makrotvrdost),
- měření abrazivního opotřebení na brusném plátně dle ČSN 01 5084,
- stanovení chemického složení jednotlivých materiálů,
- proveden metalografický rozbor a měření mikrotvrdosti jednotlivých strukturních částí.

Praktická část:

- úbytek hmotnosti jednotlivých vzorků,
- měření změny geometrie řezné čepele při sklizni kukuřice.

VÝSLEDKY A DISKUSE

Měření tvrdosti čepelí metodou HRC

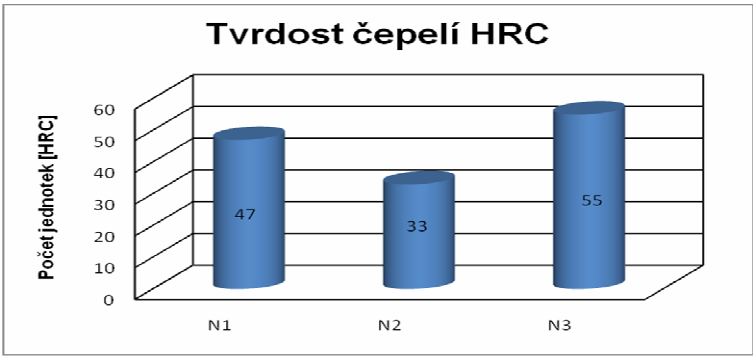
Jedná se o klasickou metodu měření, kdy je do základního materiálu vtlačován diamantový kužel o vrcholovém úhlu 136°. V závislosti na tepelném zpracování a tudíž tvrdosti daného vzorku je odečtena hodnota přímo na ukazateli. Měření bylo prováděno na celých čepelích z důvodu různorodosti tepelného zpracování. Výsledky tvrdosti jsou uvedeny na Obr.1.

Značení jednotlivých čepelí:

N1……. čepel pro sklízecí řezačky Toron 50

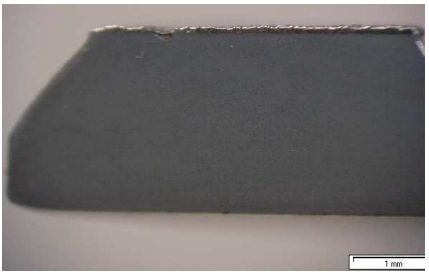
N2……. čepel pro sklízecí řezačky Claas Jaguar 870 SPEEDSTAR

N3……. čepel pro sklízecí řezačky Claas Jaguar 870 SPEEDSTAR (na sklizeň vojtěšky)



Obr. 1 Tvrdost jednotlivých čepelí

Tepelné zpracování u jednotlivých vzorků bylo provedeno vždy jinou technologií. U prvního vzorku N1 se jedná o zakalení a popuštění pouze břitové části čepele. Tuto skutečnost jednoznačně potvrdil fakt, kdy ve střední části čepele byla naměřena hodnota pouze 10 HRC. U vzorku N2 se jedná o konstantní tvrdost v celém průřezu čepele. Vzorky N3 jsou specifické svým nástřikem na zvýšení abraze a celkového opotřebení. Měření tvrdosti bylo prováděno pouze na tomto nástřiku. Na Obr. 2 je znázorněn profil čepele N1 a N2.



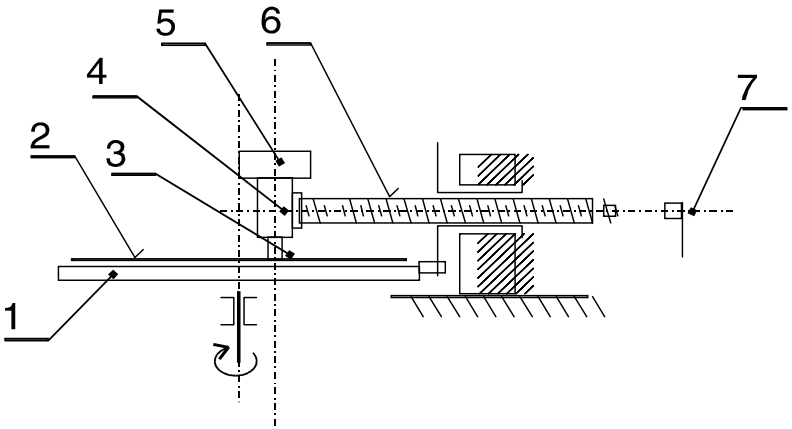
Obr.2 Čepel N1 *Povrchový nástřik čepele N3*

Zkušební zařízení s brusným plátnem

Pro test odolnosti vůči abrazivnímu opotřebení byla zvolena zkouška na brusném plátně.

Tato zkouška je normalizována dle ČSN 01 5084 (Obr. 3).

Zkušební přístroj s brusným plátnem se sestává z rovnoměrně se otáčející vodorovné desky (1), na kterou se upevňuje brusné plátno (2). Zkušební těleso (3) je drženo upínací hlavicí (4) a je přitlačováno k brusnému plátnu silou vyvozenou závažím (5). Dále se sestává ze zařízení (6) umožňující radiální posuv vzorku a koncového vypínače (7). Testované těleso je během zkoušky posunováno od středu ke kraji brusného plátna a částí svého povrchu neustále přichází do styku s brusným plátnem.



Obr. 3 Zkušební zařízení s brusným plátnem

***Technická data přístroje**:*

- délka třecí dráhy: 50 m,
- průměr otáčející se desky: 480 mm,
- max. kluzná rychlost zkušebního tělesa: 0,5 $m.s^{-1}$,
- rozsah měrných tlaků: 0,32 $N.mm^{-2}$,
- radiální posuv zkušebního tělesa: 3 $mm.ot^{-1}$.
- brusné plátno korundové zrnitost 200.

Pro tento test byly připraveny 3 zkušební vzorky, vždy od každé čepele. Tyto vzorky byly vyříznuty pokaždé z břitové části čepele, aby bylo zachováno měření v oblasti nevětšího namáhání. K této přípravě byla použita metalografická pila Mikron 110.

V každém intervalu měření abrazivního opotřebení je délka dráhy 50 metrů. Po tomto intervalu byly vzorky očištěny, s následným vážením na elektronických vahách, kde byl zjištěn jejich hmotnostní úbytek Tab.1. Jakmile velikost dráhy dosáhla 250 m, bylo brusné plátno nahrazeno plátnem novým.

Tab.1 Hmotnostní úbytky při zkoušce na brusném plátně

Číslo měření	Hmotnostní úbytky testovaných vzorků [mg]			
	Etalon 11 373	N1	N2	N3
1	235	123	159	151
2	258	130	155	155
3	242	127	163	149
Průměr	**245**	**127**	**159**	**152**
Poměrná odolnost proti opotřebení **Φ**	**1**	**1,9**	**1,5**	**1,6**

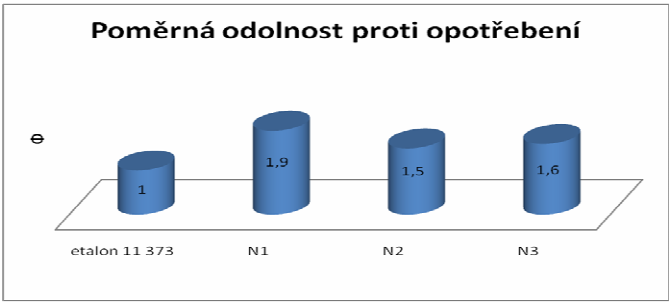
Poměrná odolnost proti opotřebení **Φ** byla stanovena podle vztahů:

hmotnostní – $\Phi_m = \frac{m_{et}}{m_{vzo}}$

kde: m_{et} – hmotnostní úbytek etalonu [mg]

m_{vzo} – hmotnostní úbytek vzorku [mg]

Na Obr.4 je znázorněna poměrná odolnost proti opotřebení jednotlivých vzorků. Hodnota etalonu je brána jako 1. To znamená, že vzorek N1 (zakalený a popuštěný břit) dosahuje 1,9x lepší odolnost než etalon.



Obr. 4 Poměrná odolnost proti opotřebení jednotlivých vzorků

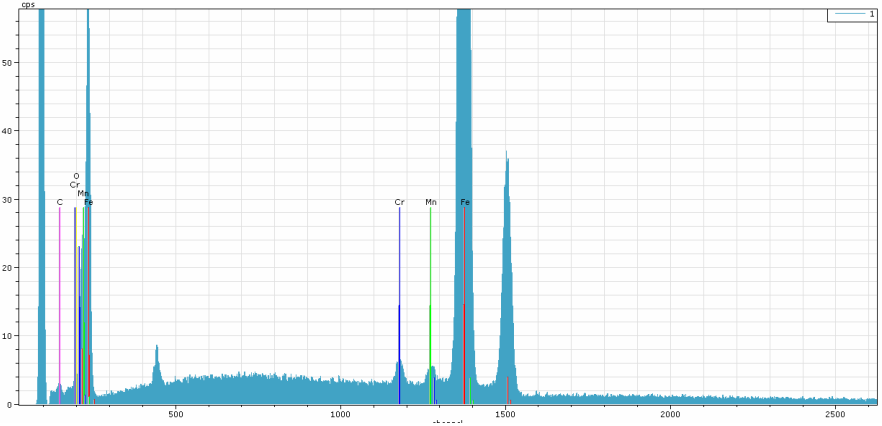
Analýza prvkového složení

K mikroanalýze prvkového složení byl použit elektronový rastrovací mikroskop VEGA II XMU (Tescan) ve spojení s energiově dispersním mikroanalyzátorem QUANTAX 800. Měření prvkového složení vzorku se provádělo ve třech ploškách při přístrojovém zvětšení 100x. Urychlovací napětí činilo 30 kV. Hodnoty měření jsou hmotové koncentrace na 100 %. Výsledky chemického složení jednotlivých kovových povlaků jsou uvedeny v Tab.2. Jedná se o průměrnou hodnotu ze třech měření.

Tab.2 Chemické složení testovaných vzorků

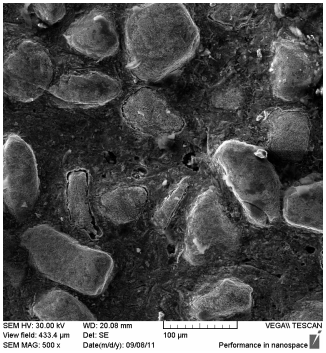
spectrum	Al [%hm]	Cr [%hm]	Mn [%hm]	Fe [%hm]	Co[%hm]	Ni [%hm]	W[%hm]
N1	0,01	0,85	1,05	97,01	0,03	0,01	0
N2	0	0,53	1,67	96,13	0,07	0	0,01
N3	3,15	12,17	0,38	7,07	3,19	41,23	35,36
N3-částice	0	1,18	0	0,98	0,63	7,01	92,47
N3- matrice	2,37	20,02	0,32	18,54	4,16	57,13	4,97

Ke kvantitativní analýze byly využity intenzity čar jednotlivých chemických prvků viz. Obr.5, které slouží pro vyhodnocovací software.



Obr. 5 EDS spektrum čepele N1 výsledky chem. složení viz Tab.2

Fotografická dokumentace z elektronového mikroskopu viz Obr. 6 ukazuje na rovnoměrné rozmístění karbidů v základní kovové matrici.



Obr. 6 Rozmístění karbidů wolframu v niklové matrici zvětšeno 3 000x

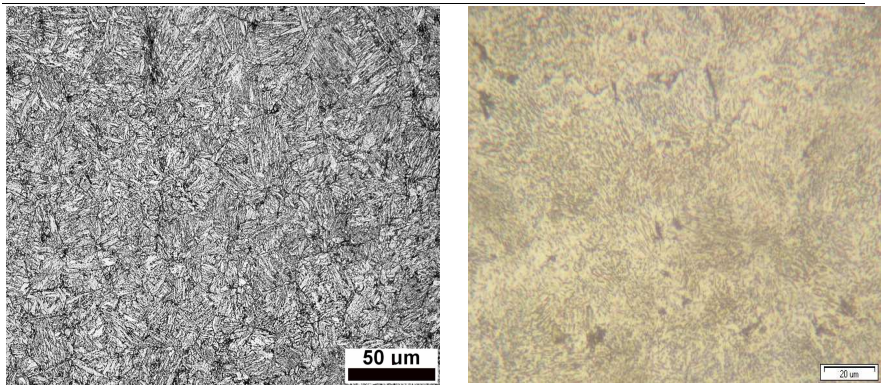
U kovových nástřiků často dochází k vytrhávání celého karbidového zrna z podkladového materiálu. Tento případ je dobře patrný na Obr. 6. Můžeme zde pozorovat trhlinu okolo karbidového zrna. Tento fakt razantně snižuje životnost nástřiku.

Měření mikrotvrdosti a metalografický rozbor strukturních fází

Měření mikrotvrdosti bylo provedeno pomocí Hannemannova mikrotvrdoměru, který je součástí metlografického mikroskopu Neophot 2. Jedná se o klasickou metodu dle Vickerse. Do materiálu je vtlačován diamantový kužel o vrcholovém úhlu 136° silou 0,1 kp. Podle délky úhlopříček je následně odečtena mikrotvrdost HV viz Tab.3.

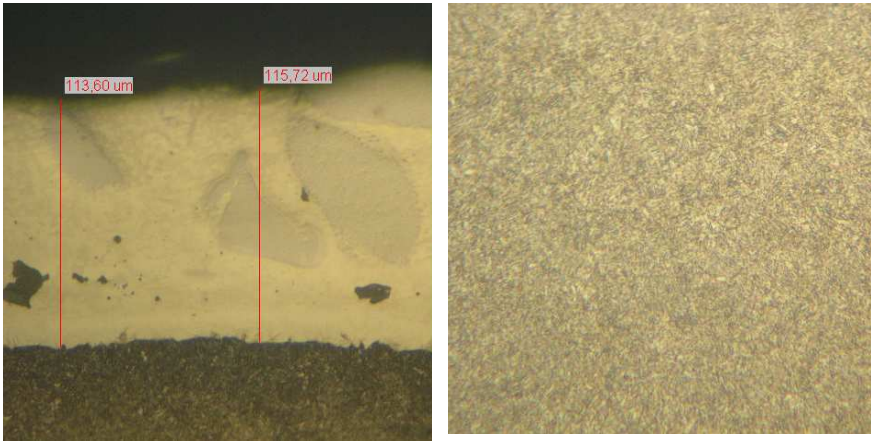
Tab.3. Mikrotvrdosti strukturních fází jednotlivých vzorků

Vzorky	Struktura					
	Martenzit [HV]	Ferit [HV]	Perlit [HV]	Sorbit [HV]	Karbidy [HV]	Matrice [HV]
N1	1122	201	481	-	-	-
N2	-	-	-	644	-	-
N3	-	-	-	-	1790	144



Obr. 7 struktura vzorku N1 – jehlice martenzitu (vlevo) ferit+perlit (vpravo)

Na Obr.7-8 jsou jednotlivé strukturní fáze, které se vyskytují na čepelích N1-N3. Pro sklízecí řezačky Toron 50 (vzorek N1) je patrná popuštěná martenzitická struktura. Čepele pro sklízecí řezačku Claas jsou tepelně zpracovány rovněž kalením, ale k dosažení sorbitické struktury musí být provedeno popouštění v delším časovém úseku.

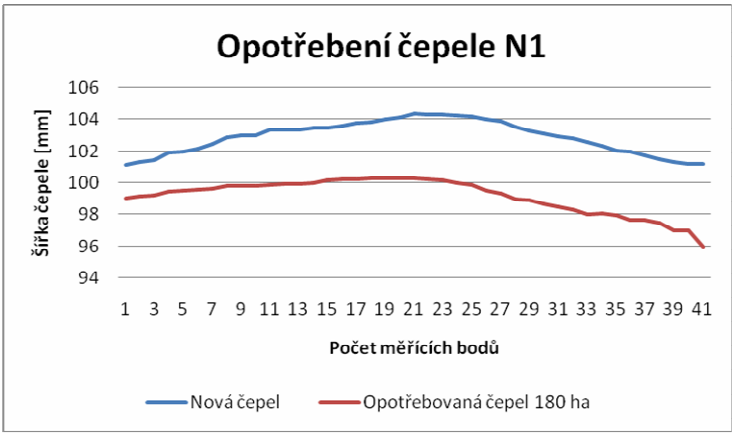


Obr. 8 struktura vzorku N3 – nástřik karbidů (vlevo) sorbit (vpravo)

Změna geometrie řezné čepele během řezného procesu

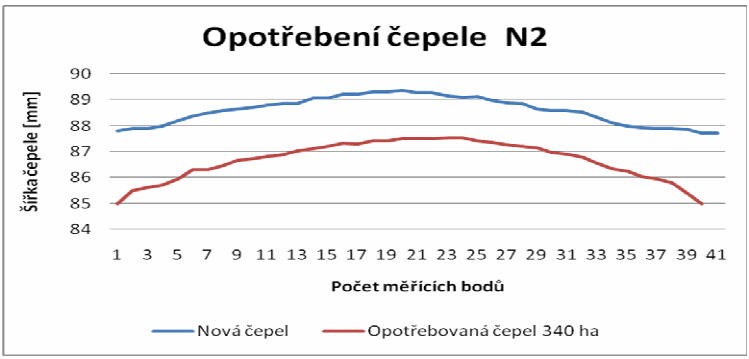
Tento test byl prováděn v reálných podmínkách zemědělského podniku. Měření bylo provedeno jen u sklizně kukuřice, tudíž byly analyzovány pouze čepele N1 a N2. Protože se jedná o značně časově i finančně náročnou operaci, bylo měření zvoleno pouze ve dvou bodech (nová čepel a opotřebení

na konci sklizně). Jelikož měření bylo prováděno u dvou různých zemědělských subjektů, množství sklizených hektarů činilo na čepel N1 180 ha a na čepel N2 340 ha.



Obr.9 Oprotřebení čepele N1 po sklizni 180 ha kukuřice

Postup měření: Nová čepel se umístila do speciálního přípravku na vodorovné ocelové desce. Bylo zvoleno 40 měřících bodů a pomocí hodinkového úchylkoměru byl vytvořen přesný reliéf čepele. Hodnoty jsou graficky zpracovány na Obr. 9-10. Tento postup byl opakován u téže čepele na konci sklizně. Výsledkem je přímé opotřebení a změna geometrie ostří u jednotlivých čepelí.



Obr.10 Oprotřebení čepele N1 po sklizni 340 ha kukuřice

Jak je patrné z Obr. 9 u vzorku N1 docházelo ke značnému opotřebení v pravé části čepele. Tato skutečnost může být zapříčiněna buď špatným upnutím celého nože anebo špatným seřízením brousícího mechanismu.

Pro informaci o hmotnostním úbytku byly čepele rovněž zváženy s přesností na 0,01 kg viz Tab.4. Po sklizni byly čepele očištěny a opětovně zváženy.

Tab.4 Hmotnosti čepelí před a po sklizni

Použité vzorky	Hmotnost nové čepele [kg]	Hmotnost opotřebované čepele [kg]	Hmotnostní úbytek [kg]
Čepel Toron 50 [N1]	2,15	1,81	0,34
Čepel Claas [N2]	1,85	1,72	0,13

Opotřebení břitu čepele během řezného procesu je nežádoucí jev, který má za následek změnu kvality řezanky. Jedná se především o změnu profilu řezanky a její délku. Rovněž stoupá i energetická náročnost na řez. Podobný mechanismus nastává i u abrazivního opotřebení plužních čepelí při orbě. [5]

Dle jednotlivých testů bylo prokázáno, že mezi tvrdostí břitu čepele a jejím opotřebením není přímá závislost. [4] Vzorky N1 vykazovaly tvrdost ostří v zakalené části 47 HRC a odolnost proti opotřebení 1,9x vyšší než etalon. Při reálném řezném procesu ovšem tyto čepele po sklizni 180 ha ztratily až 4 mm ze svého profilu. Hmotnostní úbytek činil 0,34 kg.

Vzorky N2 dosahovaly průměrné tvrdosti 33 HRC. Tomu odpovídala odolnost proti opotřebení 1,5x lepší než u oceli 11373 (etalon). Tyto čepele při nasazení do reálných podmínek řezného procesu ovšem změnily svůj profil (rovnoměrně) cca o 2 mm. Hmotnostní opotřebení činilo 0,13 kg. Tato skutečnost je jednoznačným signálem, že jemná sorbitická struktura dokáže mnohem lépe odolávat míjivému zatížení než struktura tvořená jehlicovitým martenzitem.

Vzorky N3 na kterých byl použit nástřik s karbidy wolframu, které byly umístěny v matrici tvořené niklem a hliníkem dosahovaly průměrné tvrdosti cca 55 HRC. Jejich relativní odolnost vůči abrazivnímu opotřebení ovšem dosahovala na brusném plátně pouze 1,6x lepších výsledků než etalon. Je to dáno nedostatečnou velikostí adhezních a kohezních sil mezi samotným zrnem karbidu a matrice. Jak je patrné z Obr.6, okolo karbidu se vytvoří trhlina a následuje vylomení celého zrna. Tento nedostatek razantně snižuje schopnost nástřiku odolávat zvýšenému abrazivnímu opotřebení. Dle chemického složení kovové matrice nástřiku je možné usuzovat na přebytek Fe. Pro další výzkum by bylo vhodné zaměřit se především na kombinaci prvků právě pro kovovou matrici.

ZÁVĚR

Samotný proces řezání je z energetického hlediska značně náročná operace. Jestliže řezná čepel nedokáže odolávat vysokému míjivému zatížení, abrazivnímu a erozivnímu opotřebení, dochází k následné nadměrné změně geometrie břitu (otupení), čímž se energetická náročnost na řez ještě zvýší. Tento aspekt je samozřejmě promítnut do ekonomiky provozu celého stroje.

Každá samojízdná řezačka je vybavena brusným zařízením, které je schopno obnovit geometrii ostří a zachovat tak řezné úhly, na které je řezný mechanismus seřízen. Pakliže materiál a tepelné zpracování samotné čepele ovšem není vhodně zvolen, nelze zachovat kvalitu řezanky v délce celé směny do dalšího broušení. Rapidní snížení kvality řezanky nastává do 1 hod od začátku provozu. Délka řezanky, která je limitujícím faktorem pro fermentační procesy konzervace pícnin se potom neúměrně zvětšuje. V článku jsou předloženy testy čepelí, které byly realizovány jak v laboratorním, tak v reálném prostředí během řezného procesu. Je zde jednoznačně patrná nutnost spolupráce technologů s konečným uživatelem celého stroje. Řezným čepelím by měla být věnována zvýšená pozornost především ze strany výrobců, kteří je dodávají jako náhradní díly.

LITERATURA

1. Hrabě F.: *Pícninářství Travní porosty*, 2009, 154 s. ISBN 978-80-7375-305-4
2. Neubauer a kol.: *Stroje pro rostlinnou výrobu*, Praha, SZN, 1989, 720 s. ISBN 80-209-0075-6
3. Břečka J.: *Stroje pro sklizeň pícnin a obilovin*, Praha, ČZU, 2001, 147 s. ISBN 80-213-0738-2
4. Blaškovič P.,Balla J., Dzimko M.: *Tribológia*. Bratislava: Alfa, 1990. 360 s.
5. Suchánek J. , Kuklík V., Zdravecká E.: *Abrazivní opotřebení materiálu*. Praha: ČVUT, 2007. s. 162. ISBN 978-80-01-03659-4.