

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra mechanické technologie

**Hodnocení povrchu volné řezné hrany při použití  
plamenové technologie**

Hardness Evaluation of Free Edge Surface Using Flame  
Cutting Process

Student:

Štěpán Chrapek

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Martin Sondel, Ph.D.

Ostrava 2015

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra mechanické technologie

## Zadání bakalářské práce

Student: **Štěpán Chrapek**  
Studijní program: B2341 Strojírenství  
Studijní obor: 2303R002 Strojírenská technologie  
Téma: **Hodnocení tvrdosti povrchu volné řezné hrany při použití plamenové technologie**  
**Hardness Evaluation of Free Edge Surface Using Flame Cutting Process**

Zásady pro vypracování:

1. Zpracujte studii plamenového řezání uhlíkových ocelí
2. Popište normativní požadavky na tvrdost povrchu volných řezných hran
3. Navrhněte metodiku zkoušení tvrdosti povrchu volné řezné hrany
4. Ověřte vlastnosti vybraného zkušebního materiálu


Seznam doporučené odborné literatury:

KOUKAL, Jaroslav; SCHWARZ, Drahomír; HAJDÍK Jiří. *Materiály a jejich svařitelnost*. Vyd. 1. Ostrava: Český svářečský ústav s.r.o., VŠB-Technická Univerzita, 2009. 241 s. ISBN 978-80-248-2025-5.  
KOUKAL, Jaroslav; ZMYDLENÝ, Tomáš. *Svařování I*. Vyd. 1. Ostrava: VŠB-Technická univerzita, 2005. 136 s. ISBN 80-248-0870-6.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Martin Sondel, Ph.D.**

Datum zadání: 12.12.2014  
Datum odevzdání: 18.05.2015

  
\_\_\_\_\_  
doc. Ing. Petr Mohyla, Ph.D.  
vedoucí katedry



  
\_\_\_\_\_  
doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty



### Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 18. května 2015

.....  
podpis studenta



Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 18. května 2015

.....  
Podpis

Jméno a příjmení autora práce: Štěpán Chrapek

Adresa trvalého pobytu autora práce: Za Vinicí 394, 267 12 Loděnice, okr. Beroun

**ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE**

CHRAPEK Š. *Hodnocení tvrdosti povrchu volné řezné hrany při použití plamenové technologie*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra automatizační techniky a řízení, 2015, počet stran: 43, Vedoucí práce: Ing. Sondel Martin, Ph.D.

Bakalářská práce se zabývá měřením kolmostí a tvrdostí povrchu volné řezné hrany při použití plamenové technologie z celkem 8 taveb uhlíkových ocelí S235 až S460 v rozsahu tloušťek 5 až 200 mm. Uhlíkový ekvivalent u zkušebních vzorků je v rozsahu 0,20 až 0,52 %. V teoretické části bakalářské práce jsou uvedeny technologie a požadavky na tvrdosti povrchu volných řezných hran. Cílem bakalářské práce je ověřit, zda zhotovené vzorky splňují normu ČSN EN 1090-2+A1 respektive její část 6.4.4, která nařizuje tvrdost povrchu tepelně dělených hran pro ocel S235 až S460 380 HV 10 a normu ČSN EN ISO 9013.

**ANNOTATION OF MASTER THESIS**

CHRAPEK Š. *Hardness Evaluation of Free Edge Surface Using Flame Cutting Process*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Control Systems and Instrumentation, 2015, number of pages: 43, Thesis head: Ing. Sondel Martin, Ph.D.

This thesis deals with measuring perpendicularity and surface hardness free cutting edge technology, using flame from a total of 8 heats of carbon steel S235 to S460 in a range of thicknesses from 5 to 200 mm. The carbon equivalent in test samples is in the range from 0.20 to 0.52%. In the theoretical part are given the technology and the requirements of the free surface hardness of cutting edges. The aim of this thesis is to verify if manufactured samples fulfill the norm EN 1090-2 + A1 or its part 6.4.4, which mandates a surface hardness thermally divided edges for steel S235 to S460 380 HV 10 and the norm ČSN EN ISO 9013.



## Obsah

Seznam použitých značek a symbolů .....	8
1. Úvod .....	9
1.1 Plamenové řezání uhlíkových ocelí .....	9
1.1.1 Vlastnosti materiálu podmiňující řezání kyslíkem .....	10
1.1.2 Technika řezání .....	11
1.1.3 Postup řezání.....	11
1.1.4 Zařízení pro řezání kyslíkem .....	11
1.1.5 Druhy plamenů.....	12
1.1.6 Seřízení plamene pro řezání.....	13
1.1.7 Kvalita řezů .....	14
1.2 Uhlíkové oceli .....	14
1 Termíny a definice řezání plamenem vysvětlené pomocí obrázků.....	15
2.1 Termíny vztahující se k procesu řezání zpracovávaného kusu.....	16
2.2 Termíny vztahující se ke zpracovanému kusu po ukončení řezání .....	17
2.3 Typy řezů .....	18
2.3.1 Přímý řez .....	18
2.3.2 Tvarový řez .....	19
2.4 Rychlost řezání .....	19
2.5 Šířka řezné spáry .....	19
2.6 Skluz .....	20
2.7 Úchylka kolmosti nebo úchylka úhlu.....	20
2.8 Výška prvku profilu.....	21
2.9 Průměrná výška prvků profilu .....	21
2.10 Natavení horní hrany .....	22
2.11 Drážkování.....	22
2 Normativní požadavky na tvrdost povrchu volné řezné hrany .....	23
4. Experimentální část.....	24
4.0 Úvodní problematika k tématu .....	24
4.1 Zkušební materiál a podmínky řezání .....	25
4.2 Kolmost .....	28
4.3 Systém zařazování ocelí do skupin.....	30
4.4 Metodika zkoušení tvrdosti povrchu volné řezné hrany.....	31
4.5 Ověření vlastností zkušebních vzorků.....	36



5. Závěr.....	38
Poděkování.....	39
Seznam použité literatury.....	40
Seznam použitých obrázků a tabulek.....	42



## Seznam použitých značek a symbolů

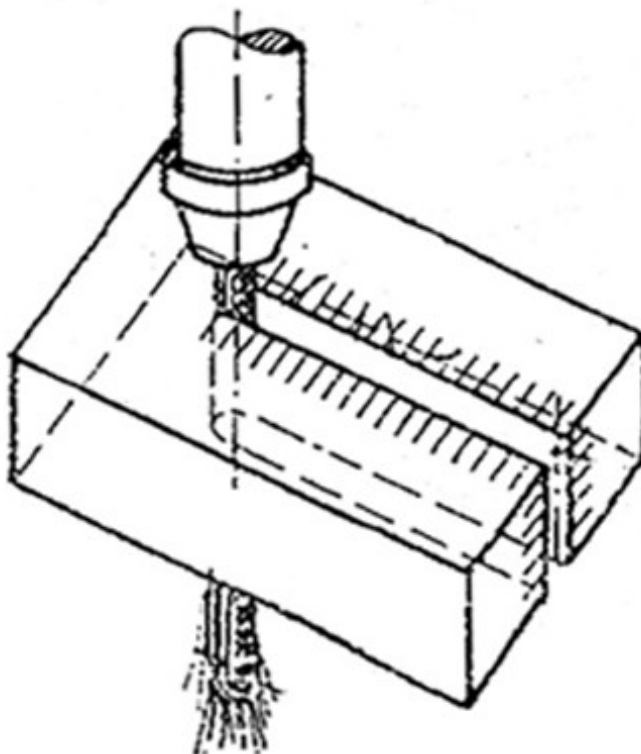
Symbol	Význam	Jednotky
Ac3	Začátek překrystalizace austenitu na ferit	-
a	Tloušťka řezu	[mm]
$\Delta a$	Zmenšení tloušťky řezu	[mm]
$C_{ev}$	Uhlíkový ekvivalent	[%]
c	Hloubka drážky	[mm]
CEN	Evropský výbor pro normalizaci	
ČSN	Česká technická norma	-
ČSN EN	Česká verze evropské normy	-
HV10	Tvrдость podle Vickerse při zatížení 10 kg	-
HV10 <sub>max</sub>	Maximální hodnota tvrdosti podle Vickerse při zatížení 10 kg	-
ISO	International Organization for Standardization	-
n	Skluz	[mm]
r	Natavení horní hrany	[mm]
$R_{eh}$	Mez kluzu	[MPa]
Rz5	Průměrná výška prvků profil	[mm]
t	Tloušťka řezaného materiálu	[mm]
TNI	Technická organizační informace	-
u	Úchylka kolmosti nebo úchylka úhlu	[mm]
$\beta$	Úhel šikmého řezu	[°]



## 1. Úvod

### 1.1 Plamenové řezání uhlíkových ocelí

Řezání kovů kyslíkem je v dnešní době postaveno na úroveň třískového obrábění. Při správném použití této technologie je kvalita povrchu řezaného kyslíkem velmi dobré kvality, takže v některých případech není nutno dále povrch opracovávat. Takto vznikl pojem **přesné řezání**. Hořlavé plyny používané pro svařování plamenem a řezání kyslíkem jsou např.: acetylen, vodík, směs propan- butanu, svítiplyn, metan. Pro plamenové řezání uhlíkových ocelí je důležitá rychlost hoření topného plynu. Největší rychlost hoření i největší výkon plamene určuje množství acetylenu (nastane velká koncentrace tepla). Mezi výhody řezání kyslíkem patří například možnost použití pod vodou a to díky speciálnímu hořáku. Řezání plamenem je vhodné pro silnější materiály.[1]



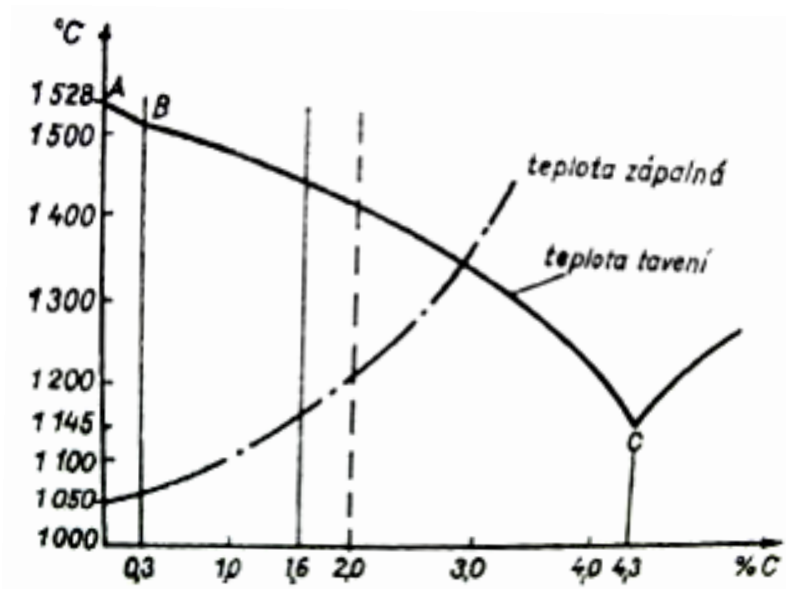
Obr. 1. Schematické znázornění metody řezání kyslíkem [5]

### 1.1.1 Vlastnosti materiálu podmiňující řezání kyslíkem

- Materiál, který je zahřátý na zápalnou teplotu musí hořet v kyslíkovém proudu.
- Zápalná teplota musí být nižší než bod tavení - materiál shoří, dříve než dojde k roztavení.
- Bod tavení strusky (oxidu) materiálu musí být menší než bod tavení. To proto, aby se struska dala vyfoukat.

Příkladem ideální oceli pro řezání plamenem můžou být např.: všechny druhy nelegovaných ocelí, nevytvrzené konstrukční oceli, nízkolegované oceli a litiny.

Při vyšším obsahu uhlíku (od 0,3% do 1,6%) je vhodné materiál předeřhřát, nebo žíhat. Zabráni se tak ztvrdnutí a popraskání hran řezu. Čím vyšší je obsah uhlíku, tím větší musí být předeřhřívací teplota. [5]



Obr. 2. Průběh teploty tavení a spalování železa [5]



### 1.1.2 Technika řezání

Řezání plamenem je možno provádět třemi způsoby:

1. Ručními řezacími hořáky
2. Přenosnými ručními řezacími stroji
3. Stacionárními řezacími stroji

### 1.1.3 Postup řezání

K řezání se používá speciální řezací hořák. Materiál, který je řezán, se předehřívá nejprve plamenem (acetylén-kyslík) na zápalnou teplotu řezaného materiálu dokud žár není bílý. Poté je třeba přidat proud téměř čistého kyslíku (99,5 %) na předehřáté místo, který zapříčiní spalování materiálu. Při tomto spalování vzniká teplo, které zahřívá řez do větší hloubky materiálu na zápalnou teplotu, při které nastává hoření materiálu v celé jeho tloušťce. Struska je vyfukována kyslíkem na spodku obrobku. Pomalým pohybem hořáku v žádaném směru vzniká řezná spára.

Kyslíko-acetylénový plamen se během řezání neodstavuje. Studený, nepředehřátý povrch materiálu před místem řezu by nedosáhl spalovací teploty uvnitř obrobku.[3]

### 1.1.4 Zařízení pro řezání kyslíkem

#### **Láhve se stlačenými plyny**

Určeny k přepravě, uskladnění a manipulaci s plyny. Láhve jsou podle druhu plynu označeny barevným pruhem na hrdle láhve. Kyslík o minimální čistotě 99,2% a acetylen, popřípadě vodík, nebo propan-butan.

#### **Redukční ventily**

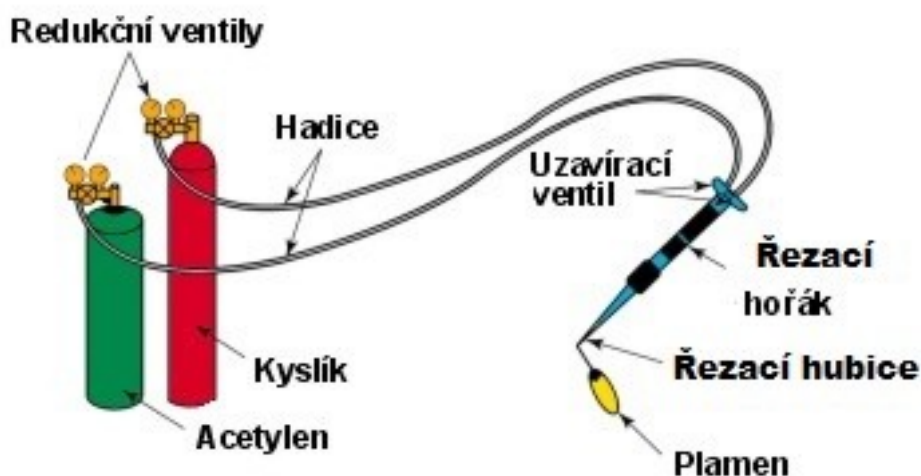
Slouží k pouštění/uzavírání stlačeného plynu, který je dále veden hadicemi.

## Hadice

Slouží k přívodu hořlavého plynu a kyslíku. Hadice pro kyslík mají modrou, popřípadě černou barvu a vnitřní průměr 6-9 mm. Hadice pro acetylén mají barvu červenou a vnitřní průměr 8-14 mm. Hadice musí být dokonale těsné. Délka hadic musí být minimálně 5 m z důvodu bezpečnosti.

## Hořák

Mísí kyslík s hořlavým plynem. Plamen hoří u hubice hořáku. Je opatřen uzavíracím ventilem, kterým redukuje přívod plynu a kyslíku, dále výměnnou řezací hubicí. [5]



Obr. 3. Základní schéma zařízení pro řezání kyslíkem [5]

### 1.1.5 Druhy plamenů

#### Dělení plamene podle poměru mísení složek

**Neutrální:** poměr  $C_2H_2 : O_2 = 1 : 1$ . Kužel je ostře ohraničen, září bíle. Používá se ke svařování a řezání uhlíkových ocelí



**Redukční:** poměr  $C_2H_2 : O_2 = >1 : 1,1$ . Nauhličující plamen, kužel pokryt podle přebytku acetylénu, dlouhý bělavý závoj. Používá se pro oceli o vyšší pevnosti a lehké kovy

**Oxidační:** poměr  $C_2H_2 : O_2 = 1 : >1,1$ . Svařovací kužel je krátký a má modrofialovou barvu. Volný kyslík přichází do styku se svarovou lázní, kterou okysličuje a vypaluje tak legury. Svařují se tak mosazi a bronzy. [5]

### Dělení plamene dle výstupní rychlosti

**Měkký:** výstupní rychlost - 70 až 100 m/s, náchylný ke zpětnému šlehnutí

**Střední:** výstupní rychlost 100 až 120 m/s, zaručuje dobrou jakost svaru

**Ostrý:** výstupní rychlost větší než 120 m/s vysoký dynamický účinek na svarovou lázeň [5]

### 1.1.6 Seřízení plamene pro řezání

Pro nastavení tlaku řezacího kyslíku je třeba:

- otevřít ventil kyslíkové láhve
- otevřít uzavírací ventil redukčního ventilu
- otevřít ventil hořáku kyslíku.

Tlak kyslíku se odvíjí od tloušťky řezaného materiálu a na průměru řezací hubice. Přesné tlaky udává výrobce.

Plamen by měl lehce foukat- nesmí syčet! Nadměrně velký plamen může zanést horní část řezu. Velká vzdálenost trysek od řezaného materiálu způsobuje nepřesnost hran řezu. [2]



### 1.1.7 Kvalita řezů

#### Hlavní faktory ovlivňující kvalitu řezu

- Přesnost a rovnoměrnost vedení hořáku
- Materiál a jeho kvalita
- Tlak a průtočné množství kyslíku a hořlavého plynu

Kvalitou řezů, které jsou prováděny metodami tepelného dělení materiálů, se zabývá norma ČSN EN ISO 9013. Tato norma je určena pro posuzování kvality řezání kyslíkem, plazmou a laserem, přičemž platí omezení tloušťek materiálů dělených kyslíkem, což je 3–300 mm, u plazmy je to 1–150 mm a u laseru 0,5–40 mm. Jejím předmětem jsou řezy svislé (kolmé na povrch plechu) a také řezy šikmé (úkosy) a to v případě přímého i tvarového řezání. V normě ČSN EN ISO 9013 můžeme najít rozměrové i tvarové tolerance výpalků a parametry jakosti řezu. Mezi ně patří například úchytky kolmosti nebo úhlu řezu, parametry drsnosti, stav horní hrany řezu a podobně. ČSN EN ISO 9013 je dokument, který by měla mít každá firma, která provozuje tepelné dělení materiálu nebo výpalky nakupuje. [4]

## 1.2 Uhlíkové oceli

V původních ČSN normách jsou uhlíkové oceli řazeny do tříd 10, 11, 12. Podle nynější evropské normy ČSN EN 10020-1 jsou zařazeny do skupiny 1. Výrobci ocelí garantují u uhlíkových ocelí pouze obsahy C, Mn, Si, P a S. Na svařitelnost ocelí má největší vliv obsah uhlíku. Se zvyšujícím se obsahem uhlíku se sice zvyšuje jejich tvrdost, mez pevnosti a kluzu, ale jejich plastické vlastnosti se snižují. S rostoucím obsahem uhlíku se také zvyšuje náchylnost k zakalení při svařování. Tvrdosti ve struktuře tepelně ovlivněné oblasti svařovaného spoje závisí na obsahu uhlíku. Z této závislosti byla stanovena tvrdost v tepelně ovlivněné oblasti svařovaného spoje uhlíkové oceli 380HV. [2]



Obsah uhlíku je omezen hodnotou  $C \leq 0,25\%$ . Při tomto obsahu uhlíku nemusíme obvykle svarové spoje menších tloušťek předehřívát.

**Tabulka 1** – Přehled mezních tloušťek materiálu a uhlíkový ekvivalent podle IIW [2]

Tloušťka svaru [mm]	Obsah C [%]	$C_{EIIW}$
$S \leq 25$	$C \leq 0,22$	$C_{EIIW} \leq 0,45$
$S \leq 37$	$C \leq 0,22$	$C_{EIIW} \leq 0,41$

V případě, svařování uhlíkové oceli s vyšším obsahem uhlíku je třeba provádět předehřev viz tabulka 2.

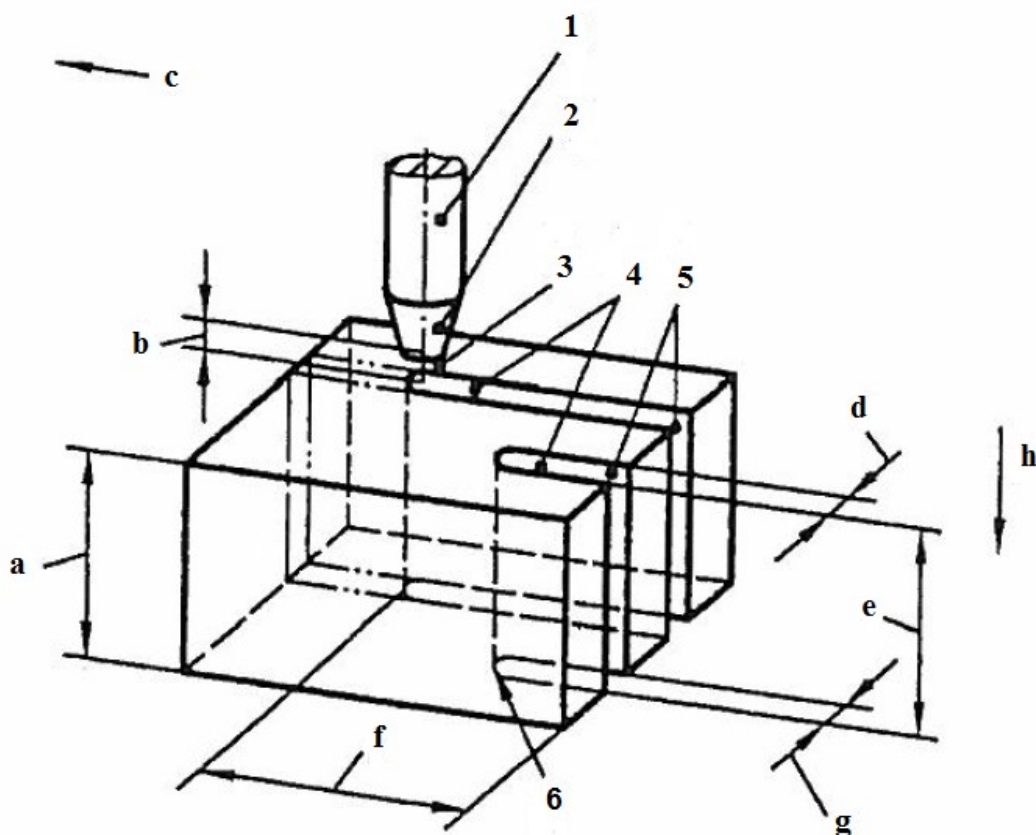
**Tabulka 2** – Teploty předehřevu dle obsahu uhlíku [2]

Obsah uhlíku (%)	Teplota předehřevu (°C)
0,20 – 0,30	100 – 150
0,30 – 0,45	150 – 275
0,45 – 0,8	275– 425

## 1 Termíny a definice řezání plamenem vysvětlené pomocí obrázků

Kvalita řezaných povrchů je definována normou ČSN EN ISO 9013. Norma popisuje požadavky na vzhled a geometrii tepelně řezaných hran. Patří mezi ně zvrásnění, odchylka od kolmosti a šikmosti, výška a drsnost. Norma ČSN EN ISO 9013 ukládá i postup a způsob měření a hlavní požadavky na měřidla, kterými se určují charakteristické veličiny povrchu řezu. Norma také udává podmínky pro použití měřidel na přesné a hrubé měření, polohu měření a dovolené odchylky např.: od kolmosti, výšky prvku profilu přídavek na opracování. [7]

## 2.1 Termíny vztahující se k procesu řezání zpracovávaného kusu



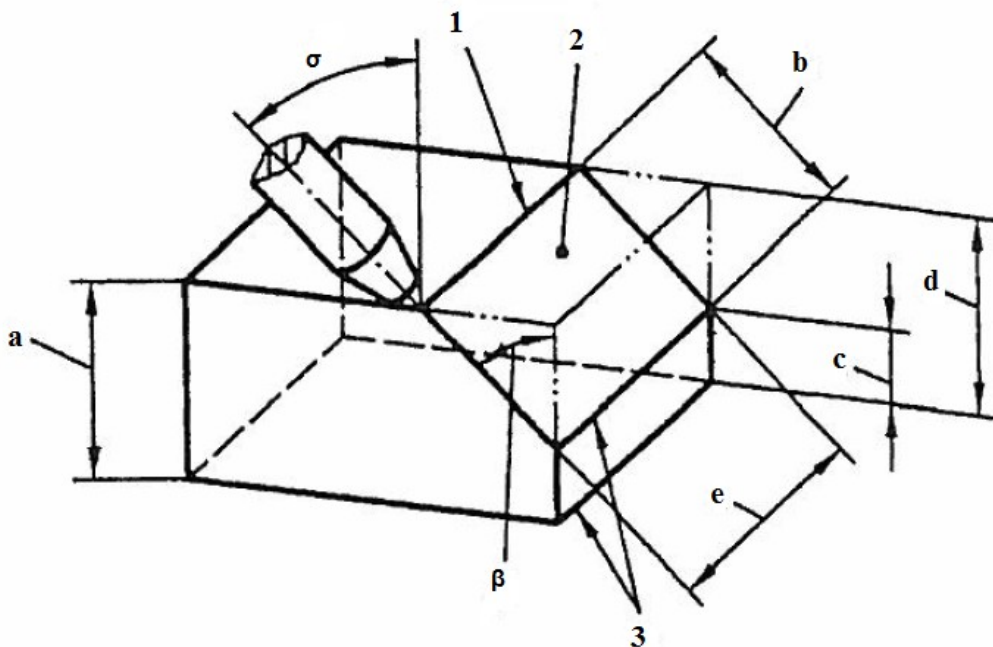
Vysvětlivky:

- |                |                                     |
|----------------|-------------------------------------|
| 1 Řezací hořák | a Tloušťka zpracovávaného kusu      |
| 2 Hubice       | b Vzdálenost trysky                 |
| 3 Plamen       | c Směr posunu                       |
| 4 Řezná spára  | d Šířka řezné spáry na horní ploše  |
| 5 Začátek řezu | e Řezná tloušťka                    |
| 6 Konec řezu   | f Délka řezu                        |
|                | g Šířka řezné spáry na spodní ploše |
|                | h Směr řezání                       |

Obr. 4. Termíny vztahující se k procesu řezání zpracovávaného kusu [6]



## 2.2 Termíny vztahující se ke zpracovanému kusu po ukončení řezání



Vysvětlivky:

1 Horní hrana řezu

2 Povrch řezu

3 Dolní hrana řezu

a Tloušťka řezaného kusu

b Tloušťka řezu (první možnost)

c Výška kořenové plochy/tloušťka řezu  
(první možnost)

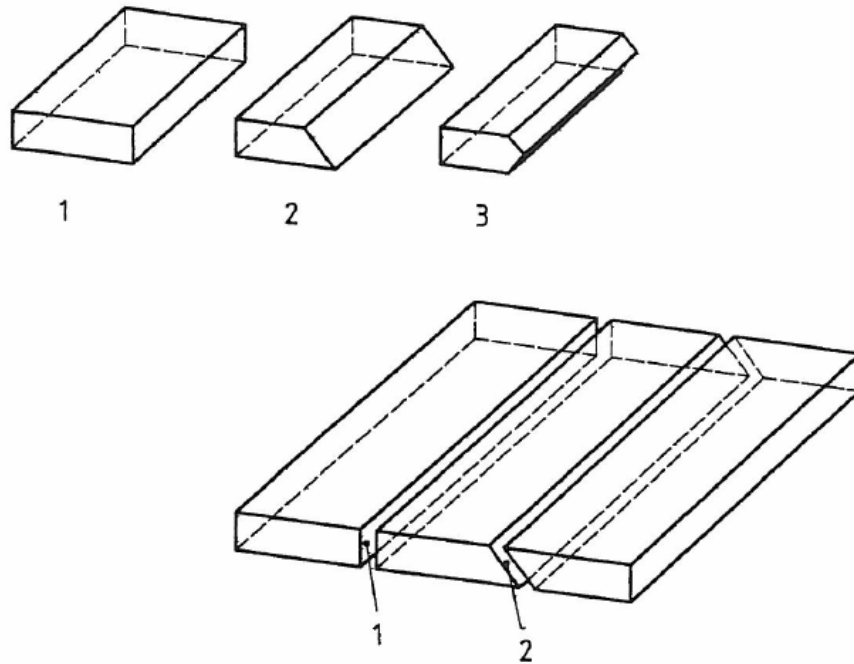
d Tloušťka řezu (druhá možnost)

e Délka řezu

*Obr. 5 Termíny vztahující se ke zpracovanému kusu po ukončení řezání [6]*

## 2.3 Typy řezů

### 2.3.1 Přímý řez



Vysvětlivky:

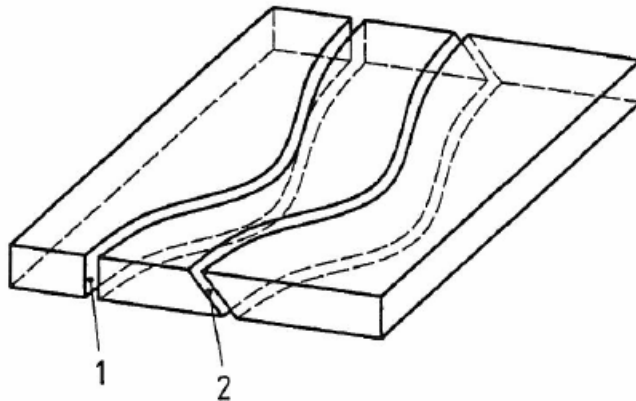
1 Svislý řez

2 Šikmý řez

3 Šikmý řez

*Obr. 6 Typy přímého řezu [6]*

### 2.3.2 Tvarový řez



Vysvětlivky:

1 Svislý řez

2 Šikmý řez

*Obr. 7 Typy tvarových řezů [6]*

### 2.4 Rychlost řezání

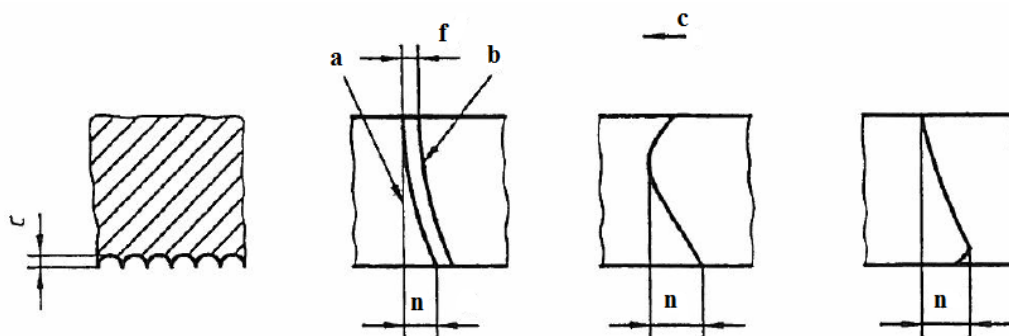
Relativní rychlost mezi nástrojem, tj. řezacím hořákem a zpracovávaným kusem.  
[6]

### 2.5 Šířka řezné spáry

Vzdálenost mezi povrchy řezu na horní hraně řezu nebo pokud nedošlo k natavení horní hrany, bezprostředně pod tímto natavením hrany, způsobené řezacím paprskem.  
[6]

## 2.6 Skluz

Skluz ( $n$ ) znamená průmět vzdálenosti mezi dvěma body skluzové rýhy ve směru řezání – viz obrázek 8. [6]



a Referenční přímka

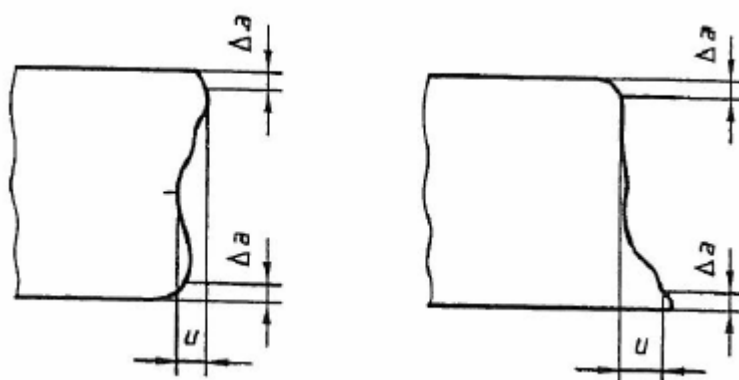
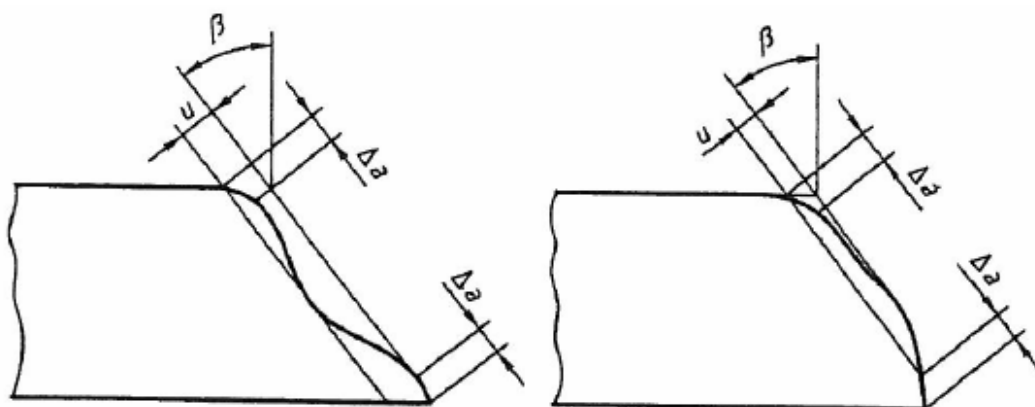
b Skluzová rýha

c Směr posuvu

Obr. 8 Skluzová rýha [6]

## 2.7 Úchylka kolmosti nebo úchylka úhlu

Úchylka kolmosti nebo úchylka úhlu ( $u$ ) je vzdálenost mezi dvěma rovnoběžnými přímkami (dotýkajícími se řezného povrchu), mezi které je vepsán profil povrchu řezu. Přímkami svírají s povrchem řezaného materiálu určený úhel (tj.  $90^\circ$  v případě svislých řezů). Úchylka kolmosti nebo pravoúhlosti zahrnuje nejen úchylky kolmosti, ale také úchylky rovinnosti. Obrázky 9 a 10 ukazují maximální skutečné úchylky v rámci toleranční třídy. [6]

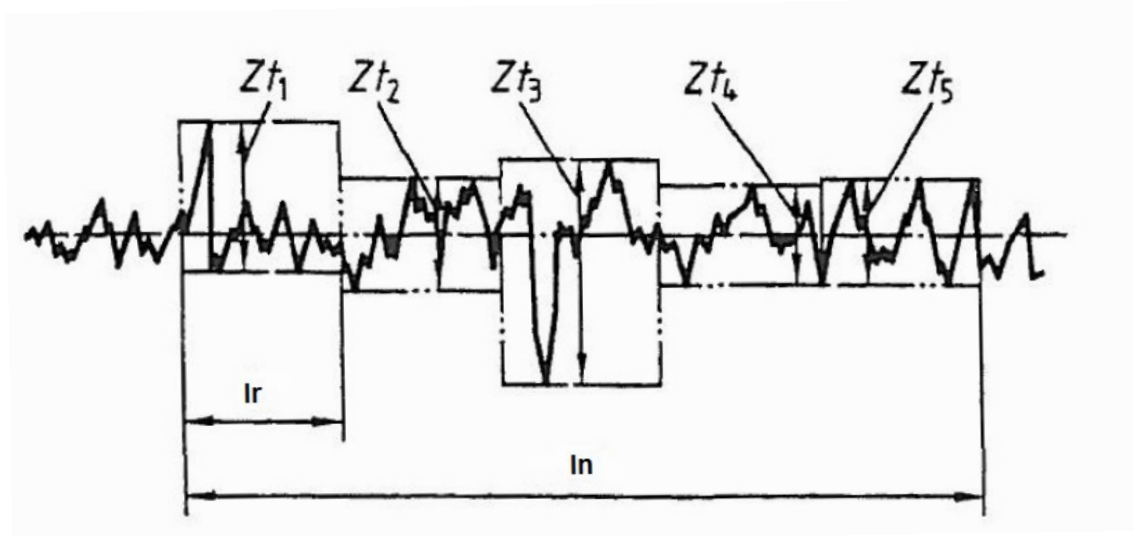
Obr. 9 Maximální skutečná úchylka  $u$  svislého řezu [6]Obr. 10 Maximální skutečná úchylka  $u$  šikmému řezu [6]

## 2.8 Výška prvku profilu

Výška prvku profilu ( $Z_t$ ) je součet výšky výstupku a hloubky prohlubně prvku profilu a je dána normou ISO 4287:1997. [6]

## 2.9 Průměrná výška prvků profilu

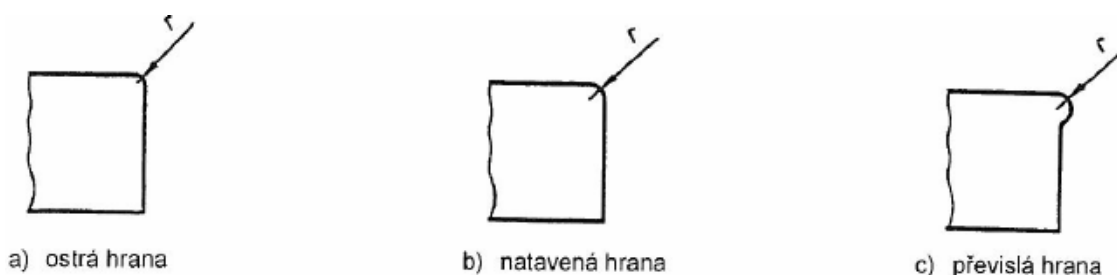
Průměrná výška prvků profilu ( $Rz_5$ ) je aritmetický průměr z dílčích výšek prvků profilu na pěti za sebou následujících délkách viz obrázek 11.  $Z_{t_1}$  až  $Z_{t_5}$  charakterizuje jednotlivé prvky profilu, kde  $l_n$  je celková vyhodnocovaná délka a  $l_r$  je základní délka ( $1/5$  z  $l_n$ ). [6]



Obr. 11 Průměrná výška profilu [6]

## 2.10 Natavení horní hrany

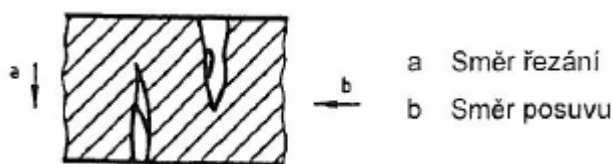
Natavení horní hrany ( $r$ ) je veličina, která charakterizuje tvar horní hrany řezu viz obrázek 12. Horní hrana může být: a) ostrá, b) natavená, c) převislá. [6]



Obr. 12 Natavení horní hrany [6]

## 2.11 Drážkování

Drážkování rozumíme jako vzniku prohlubenin, zářezů nepravidelné šířky, hloubky a nepravidelného tvaru, hlavně ve směru řezné tloušťky, jenž zhoršuje homogenní povrch řezu. [6]



Obr. 13 Drážkování [6]

## 2 Normativní požadavky na tvrdost povrchu volné řezné hrany

Norma ČSN EN 1090-2+A1 uvádí v kapitole 6.4.4, že pro konstrukční oceli, pokud je stanoveno, musí být tvrdost povrchů volných hran v souladu s tabulkou ... V tomto případě se musí kontrolovat způsobilost procesů, které vedou k místní tvrdosti (tepelné dělení, stříhání, děrování). Aby se dosáhla požadovaná tvrdost povrchů volných hran, musí se materiál, pokud je třeba předežhřát. [8]

**Tabulka 3-** Dovolené maximální hodnoty tvrdosti (HV 10) [8]

Normy výrobků	Pevnostní třída oceli	Hodnoty tvrdosti
EN 10025-2 až 5	S235 až S460	380
EN 10210-1, EN 10219-1		
EN 10149-2 a EN 10149-3	S260 až S700	450
EN 10025-6	S460 až S690	
POZNÁMKA Tyto hodnoty se použijí podle EN ISO 15614-1 pro jakost ocelí, které jsou uvedeny v TNI CEN ISO/TR 20172		



## 4. Experimentální část

### 4.0 Úvodní problematika k tématu

Stavební průmysl prodělává v posledním desetiletí nejdůležitější změny s ohledem na povinnost označovat stavební výrobky značkou CE ve všech členských zemích Evropské unie a v Evropském hospodářském společenství. Od 1.7.2013 má výrobce za účelem prodeje stavebního výrobku v Evropské unii povinnost vypracovat tzv. prohlášení o vlastnostech (DoP – Declaration of Performance) a připojit označení CE, pokud se na výrobek vztahuje harmonizovaná norma nebo pro výrobek bylo vydáno evropské technické posouzení.

#### *Dělení materiálu*

Při dělení materiálu musí být splněny požadavky na geometrické tolerance, maximální tvrdost a dodržení přímosti volných hran uvedené v normě ČSN EN 1090-2+A1. Používané způsoby dělení jsou: řezání pásovou a kotoučovou pilou, stříhání, řezání vodním paprskem a tepelné řezání. Dále viz kap. 6.4.1 EN 1090-2+A1.

#### *Tepelné dělení*

Způsobilost procesu tepelného dělení se musí pravidelně kontrolovat. Ze základních výrobků se zhotoví 4 vzorky následujícím způsobem:

- přímý řez nejtlustšího základního výrobku
- přímý řez nejtenčího základního výrobku
- ostrý úhel z reprezentativní tloušťky
- zakřivený oblouk z reprezentativní tloušťky.

Provede se měření na přímých vzorcích každý o délce min. 200 mm a zkontroluje se splnění požadované jakostní třídy. Jakost řezaných povrchů musí být v souladu s ČSN EN ISO 9013, tzn., že pro třídu provedení EXC4 je odchylka kolmosti a odchylka úhlu „u“ v tolerančním poli 3, a střední výška profilu „Rz 5“ je v tolerančním poli 3.

#### *Tvrdost povrchů volných hran*

Pokud je stanoveno, musí být tvrdost povrchů volných hran konstrukčních ocelí v souladu s tabulkou 10 (ČSN EN 1090-2+A1). Například pro plech z oceli skupiny 1.2 dle TNI CEN ISO/TR 15608 je maximální dovolená tvrdost 380 HV10. V tomto případě se kontroluje způsobilost procesů, vedoucích ke změně lokální tvrdosti (tepelné dělení, stříhání, děrování). [12]



## 4.1 Zkušební materiál a podmínky řezání

V rámci praktické části hodnocení tvrdosti volné řezné hrany bylo nejmenovanou firmou připraveno celkem 8 zkušebních těles z celkem 8 taveb a to z ocele: S460 tloušťky 10 a 65mm, S355 tloušťky 5, 10, 68 a 200mm a S235 tloušťky 150 a 5mm. Chemické složení ocelí je uvedeno v tabulce č. 3., která uvádí legující prvky a uhlíkový ekvivalent  $C_E$  podle IIW. Uhlíkový ekvivalent byl vypočten podle rovnice 1. Část těles rozměrů  $a * 200 * 50 \text{ mm}$  byla zhotovena na plamenovém řezacím stroji CORTINA DP 4000, který je zobrazen na obrázku č. 14, a jeho parametry jsou uvedeny v tabulce č. 4. Druhá skupina zkušebních těles byla vyrobena na plamenovém řezacím stroji OMNIMAT L 4600, který je uveden na obrázku č. 15 a jeho parametry v tabulce č. 5.

**Tabulka 4-** Chemické složení a uhlíkový ekvivalent  $C_E$  (IIW) ocelí použitých ke zkoušce

Číslo vzorku	Ocel	Chemické složení [%]						
		C	Mn	Si	P	S	Cu	Ni
1	S460N	0,190	1,620	0,210	0,016	0,003	0,050	0,040
2	S460N	0,180	1,650	0,590	0,015	0,001	0,020	0,020
3	S355J2+N	0,170	1,370	0,350	0,017	0,003	0,020	0,020
4	S235JR+N	0,138	1,060	0,320	0,010	0,004	0,016	0,052
5	S355J2W+N	0,154	1,440	0,460	0,014	0,004	0,310	0,030
6	S235JR+N	0,122	0,370	0,250	0,015	0,007	0,070	0,030
7	S355J2W+Z25+5	0,153	1,470	0,370	0,030	0,002	0,330	0,030
8	S355J2+N	0,168	1,410	0,420	0,010	0,003	0,012	0,047
Číslo vzorku	Ocel	Cr	Mo	V	Ti	Al	N	Cev
1	S460N	0,090	0,006	0,074	0,002	0,026	0,008	<b>0,51</b>
2	S460N	0,050	0,009	0,081	0,004	0,025	0,008	<b>0,49</b>
3	S355J2+N	0,050	0,001	0,004	0,004	0,045	0,005	<b>0,41</b>
4	S235JR+N	0,030	0,005	0,003	0,002	0,038	0,004	<b>0,33</b>
5	S355J2W+N	0,470	0,003	0,004	0,004	0,028	0,005	<b>0,51</b>
6	S235JR+N	0,050	0,004	0,003	0,002	0,024	0,006	<b>0,20</b>
7	S355J2W+Z25+5	0,500	0,004	0,005	0,004	0,034	0,006	<b>0,52</b>
8	S355J2+N	0,017	0,005	0,002	0,004	0,038	0,005	<b>0,41</b>

$$C_E = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr+Mo+V}{5} + \frac{Ni+Cu}{15} \quad (1)$$



*Obr. 14 Plamenový řezací stroj CORTINA DP 4000 [9]*

**Tabulka 5-** Parametry řezacího stroje CORTINA DP 4000 [9]

Rok výstavby	2003
Šířka pracovního stolu	3300 mm
Délka pracovního stolu	20 000 mm
Maximální řezací tloušťka	200 mm
Řezací rychlost	120 – 3000 mm/min



*Obr. 15 Plamenový řezací stroj OMNIMAT L 4600 [9]*

**Tabulka 6-** Parametry řezacího stroje OMNIMAT L 4600 [9]

Rok výstavby	2003
Rekonstrukce	2014
Šířka pracovního stolu	3600 mm
Délka pracovního stolu	25 000 mm
Maximální řezací tloušťka	250 mm
Řezací rychlost	120 – 3500 mm/min



## 4.2 Kolmost

Měření se musí provádět na kartáčovaných řezech, očištěných od oxidů a mimo oblastí s vadami. Jako posuzované úseky pro měření přímosti jsou brány horní a dolní strana zpracovávaného kusu po tepelném dělení. Musí být rovné a čisté.

Počet a umístění měřících míst závisí na tvaru a velikosti zpracovávaného kusu a někdy také na předpokládaném použití. Následující údaje mohou být použity jako doporučené. Povrchy řezů se zařazují do tolerančních polí maximálně naměřených hodnot. Při výběru měřících míst musí být vzata do úvahy skutečnost, že maximální hodnoty průměrné výšky prvků profilu a úchylky kolmosti nebo úhlové úchylky se mohou nacházet v různých místech řezu. Pokud se naměřené hodnoty nacházejí u dolní hranice tolerančního pole, musí být provedena dodatečná měření, vzhledem k neurčitosti vizuálního výběru místa s očekávanou maximální naměřenou hodnotou. Pokud se naměřené hodnoty nacházejí u horní hranice tolerančního pole nebo pokud jsou nějaké pochybnosti ohledně některých výsledků měření, musí být provedena doplňková měření na stejném počtu dodatečných měřících míst. Toleranční pole pro úchylku kolmosti nebo úhlovou úchylku  $u$  jsou uvedena v tabulce 7.

**Tabulka 7-** Úchylka kolmosti nebo úhlová úchylka dle ČSN EN ISO 9013 [7]

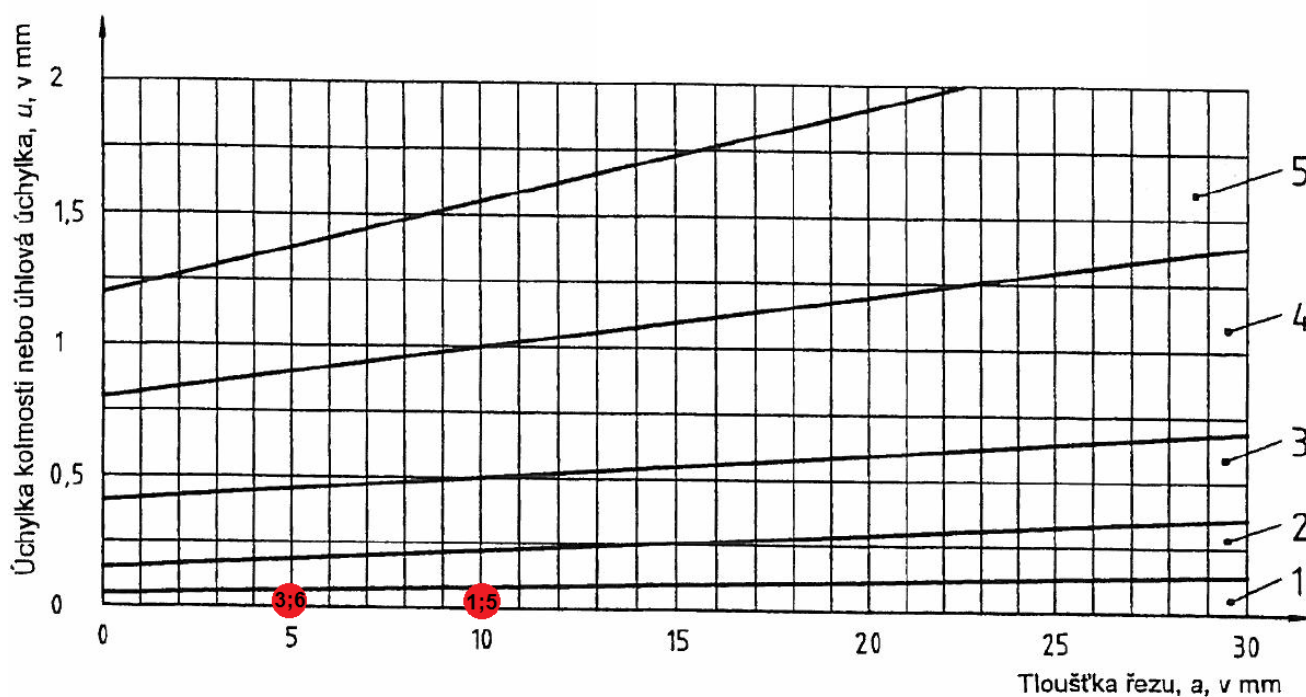
Toleranční pole	Úchylka kolmosti nebo úhlová úchylka, $u$ mm
1	$0,5 + 0,003a$
2	$0,15 + 0,007a$
3	$0,4 + 0,01a$
4	$0,8 + 0,02a$
5	$1,2 + 0,035a$



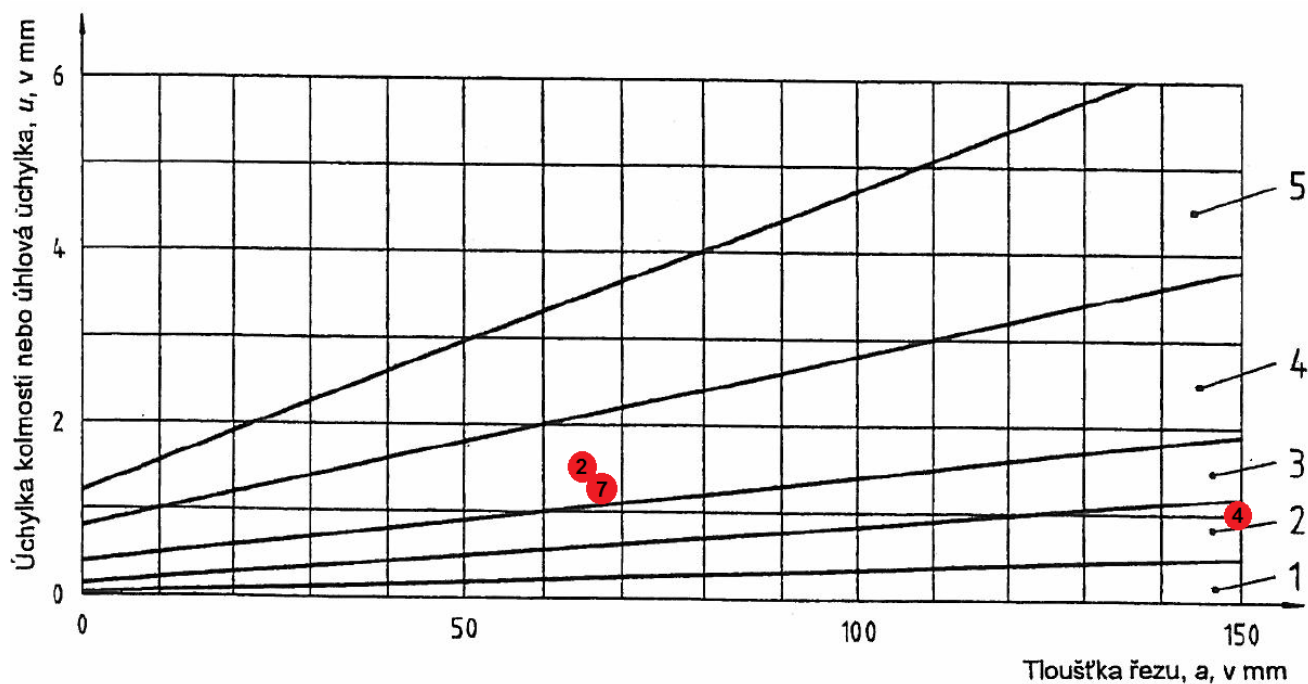
Tabulka 8- Souhrnný přehled zkušebních vzorků a toleranční pole dle ČSN EN ISO 9013

Skupina	Ocel	Tloušťka [mm]	Úchylka kolmosti [mm]	Toleranční pole	Pálicí stroj
1.1	S235JR-	5	0	1	OMNIMAT L 4600
1.1	S275J2	150	1	2	CORTINA DP 4000
1.2	S355JR-	5	0	1	OMNIMAT L 4600
1.2	S355NL	200	1,5-2	-	CORTINA DP 4000
1.3	S460N	10	0	1	OMNIMAT L 4600
1.3		65	1,5	4	OMNIMAT L 4600
1.4	S355J2W	10	0	1	OMNIMAT L 4600
1.4		68	1-1,5	4	OMNIMAT L 4600

Kolmost jednotlivých vzorků je vynesena do obrázků číslo 16 a 17.



Obr. 16 Úchylka kolmosti nebo úhlová úchylka pro tloušťku zpracovávaného kusu do 30 mm [7]



Obr. 17 Úchylka kolmosti nebo úhlová úchylka pro tloušťku zpracovávaného kusu do 150 mm [7]

### 4.3 Systém zařazování ocelí do skupin

Oceli jsou zařazovány do skupin, jak je uvedeno v tabulce 9. V úvahu se berou pouze ty prvky, které jsou stanoveny v materiálových normách nebo specifikacích. Číselné hodnoty stanovené u skupin 1 vycházejí z rozboru tavby těchto materiálů. V tabulce 8 jsou označeny skupiny jednotlivých vzorků. [11]



Tabulka 9- Systém zařazování oceli do skupin dle TNI CEN ISO/TR 15608 [11]

Skupina	Podskupina	Druh oceli
1		Oceli se stanovenou minimální mezí kluzu $R_{eH} \leq 460 \text{ N/mm}^2$ a obsahem prvků v % $C \leq 0,25$ $Si \leq 0,60$ $Mn \leq 1,8$ $Mo \leq 0,70$ $S \leq 0,045$ $P \leq 0,045$ $Cu \leq 0,40$ $Ni \leq 0,5$ $Cr \leq 0,3$ (0,4 pro odlitky) $Nb \leq 0,06$ $V \leq 0,1$ $Ti \leq 0,05$
	1.1	Oceli se stanovenou mezí kluzu $R_{eH} \leq 275 \text{ N/mm}^2$
	1.2	Oceli se stanovenou mezí kluzu $275 \text{ N/mm}^2 < R_{eH} \leq 360 \text{ N/mm}^2$
	1.3	Normalizované jemnozrnné oceli se stanovenou mezí kluzu $R_{eH} > 360 \text{ N/mm}^2$
	1.4	Oceli se zvýšenou odolností proti atmosférické korozi, u kterých obsah prvků může překročit požadavky pro jednotlivé prvky, jak jsou uvedeny pro skupinu 1

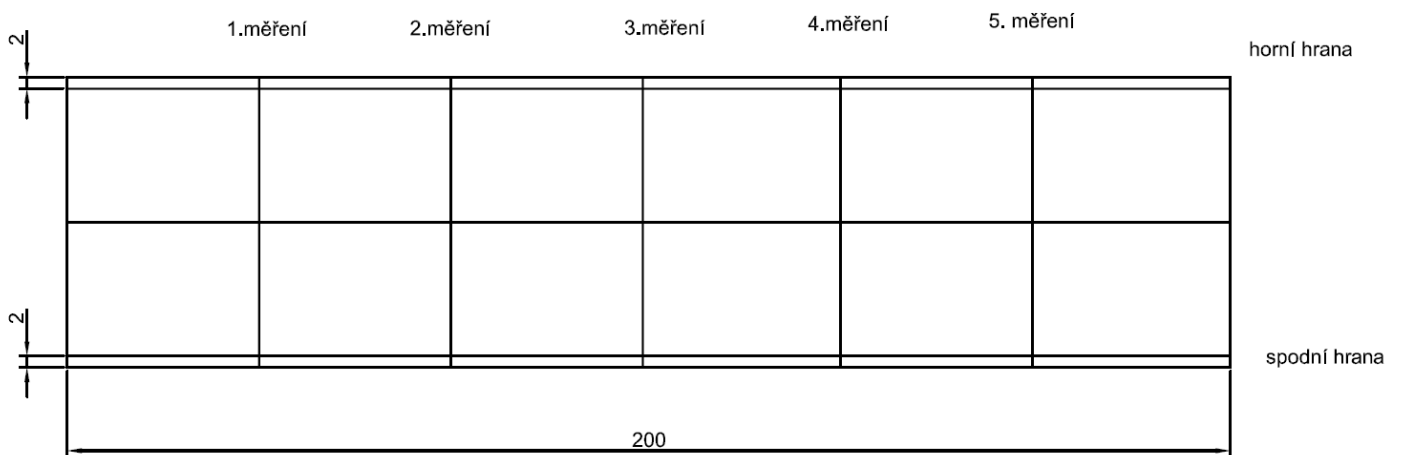
#### 4.4 Metodika zkoušení tvrdosti povrchu volné řezné hrany

Tvrdot zkušebních těles byla měřena Vickersovou metodou podle normy EN ISO 6507-1:2006 při zatížení 98,1 N. Všechna zkušební tělesa byla zbrošena o maximálně 1 mm pod povrch hrany. Vzorky tloušťky  $a = 5 \text{ mm}$  byly měřeny pouze v jednom bodě a to uprostřed. Vzorky tloušťky 10 – 200mm byly měřeny vždy v horním povrchu 2mm od okraje a dolním



povrchu také 2mm od okraje. Počet měřících míst ve středu byl rozdělen podle tloušťky vzorků viz tabulka 6. Každé zkušební těleso bylo přeměřeno pět krát po celé délce 200mm.

K měření tvrdosti byl použit univerzální tvrdoměr ZHU250, firmy Zwick/Roell (obr. 17, 18, 19). Tento univerzální je vhodný pro klasické metody zkoušení tvrdosti jak kovů, tak především i plastů. Jako příklady použití můžeme uvést tvrdost podle Rockwella R, L, M,  $\alpha$  a stanovení tvrdosti vtlačáním kuličky. Dále jej můžeme využít pro všechny běžné optické metody určování tvrdosti (Vickers, Brinell, Knoop) i pro měření hloubky vtisku (Rockwell) dle daných norem v rozsahu zatížení od 1 do 250 kg. Připojení přístroje k PC se zkušebním softwarem testXpert® umožňuje vyhodnocovat a dokumentovat všechny provedené zkoušky a data předávat např. dalším systémům sloužícím ke kontrole kvality. [13]



Obr. 18 Schéma odběru tvrdosti zkušebního vzorku tloušťky  $a=10\text{ mm}$



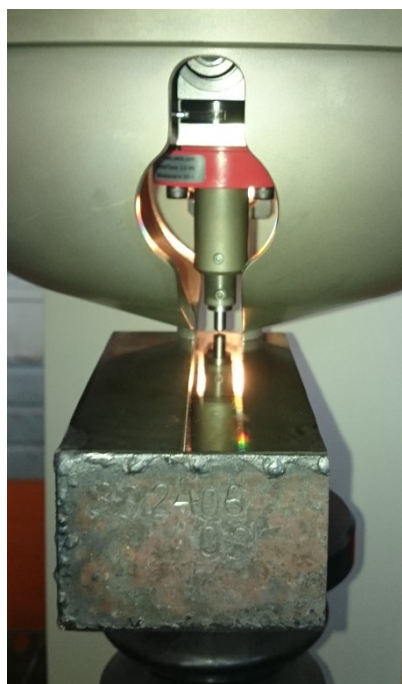


Tabulka 10- Naměřené hodnoty tvrdosti

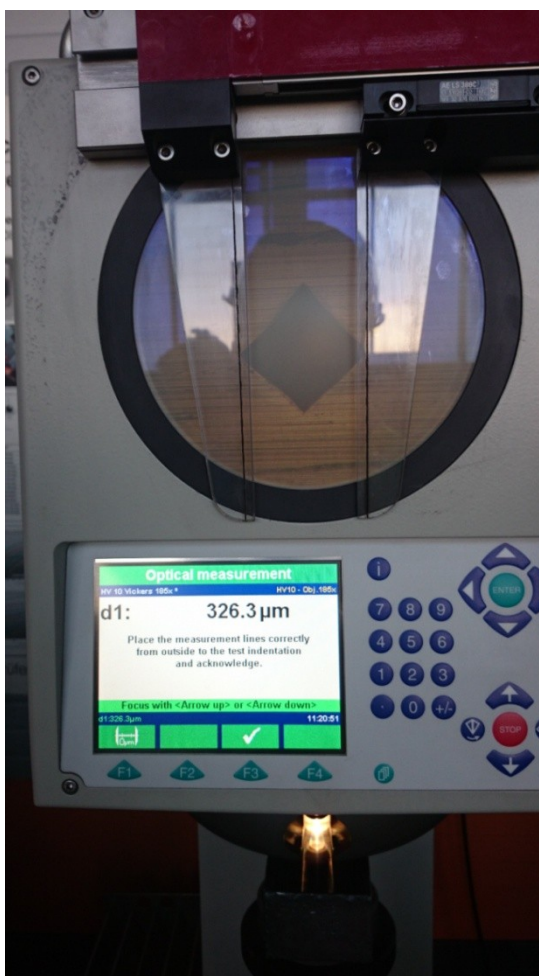
Tloušťka [mm]	Ocel dle EN ISO 10027-1	Odběr tvrdosti	Číslo měření					Průměr HV 10	ČSN EN 1090- 2+A1
			1	2	3	4	5		
10	S460N	horní povrch	251	245	253	250	243	248	SPLŇUJE
		střed	247	252	257	246	251	251	
		spodní povrch	251	252	250	248	255	251	
65	S460N	horní povrch	377	369	359	340	336	356	NESPLŇUJE
		střed	347	354	340	341	340	344	
		střed	372	380	377	367	361	371	
		střed	400	401	404	386	364	<b>391</b>	
		spodní povrch	339	350	351	360	365	353	
5,0	S355J2+N	střed	249	254	248	246	240	247	SPLŇUJE
150	S235JR+N	horní povrch	194	192	184	183	187	188	SPLŇUJE
		střed	196	212	185	181	185	192	
		střed	219	215	195	204	217	210	
		střed	197	182	187	191	183	188	
		spodní povrch	173	173	183	177	183	178	
10	S355J2W+N	horní povrch	267	254	270	270	261	264	SPLŇUJE
		střed	234	228	235	235	241	235	
		spodní povrch	267	273	272	280	282	275	
5,0	S235JR+N	střed	145	149	141	143	145	145	SPLŇUJE
68	S355J2W+Z25+N	horní povrch	326	340	336	322	334	332	NESPLŇUJE
		střed	417	416	403	411	418	<b>413</b>	
		střed	407	413	413	412	417	<b>412</b>	
		střed	423	440	419	437	438	<b>431</b>	
		spodní povrch	440	426	430	425	436	<b>431</b>	
200	S355J2+N	horní povrch	217	216	217	217	218	217	SPLŇUJE
		střed	205	201	205	200	209	204	
		střed	196	197	203	199	202	199	
		střed	210	215	218	208	213	213	
		spodní povrch	221	224	227	227	230	226	



*Obr. 17 Tvrdoměr Zwick/Roell ZHU250*



*Obr. 19 Detail měření tvrdosti*



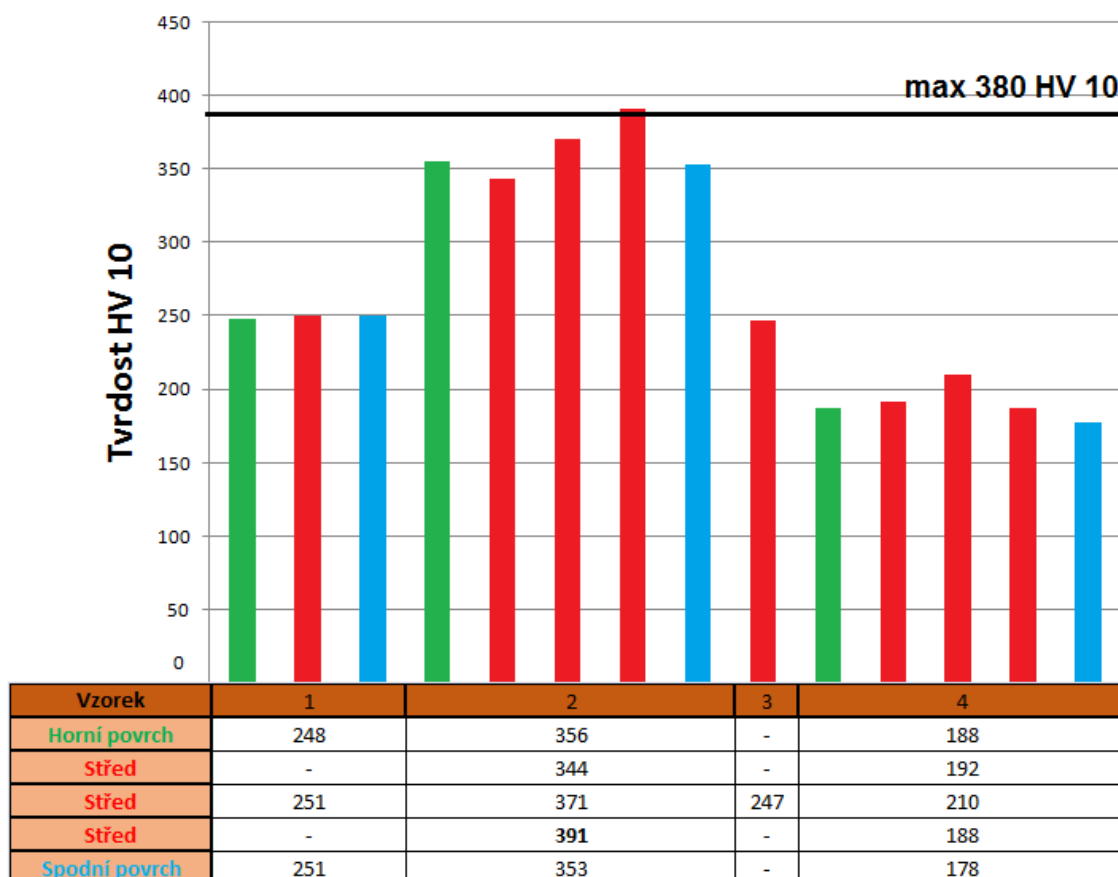
Obr. 20 Vyhodnocení rozměrů vtisku



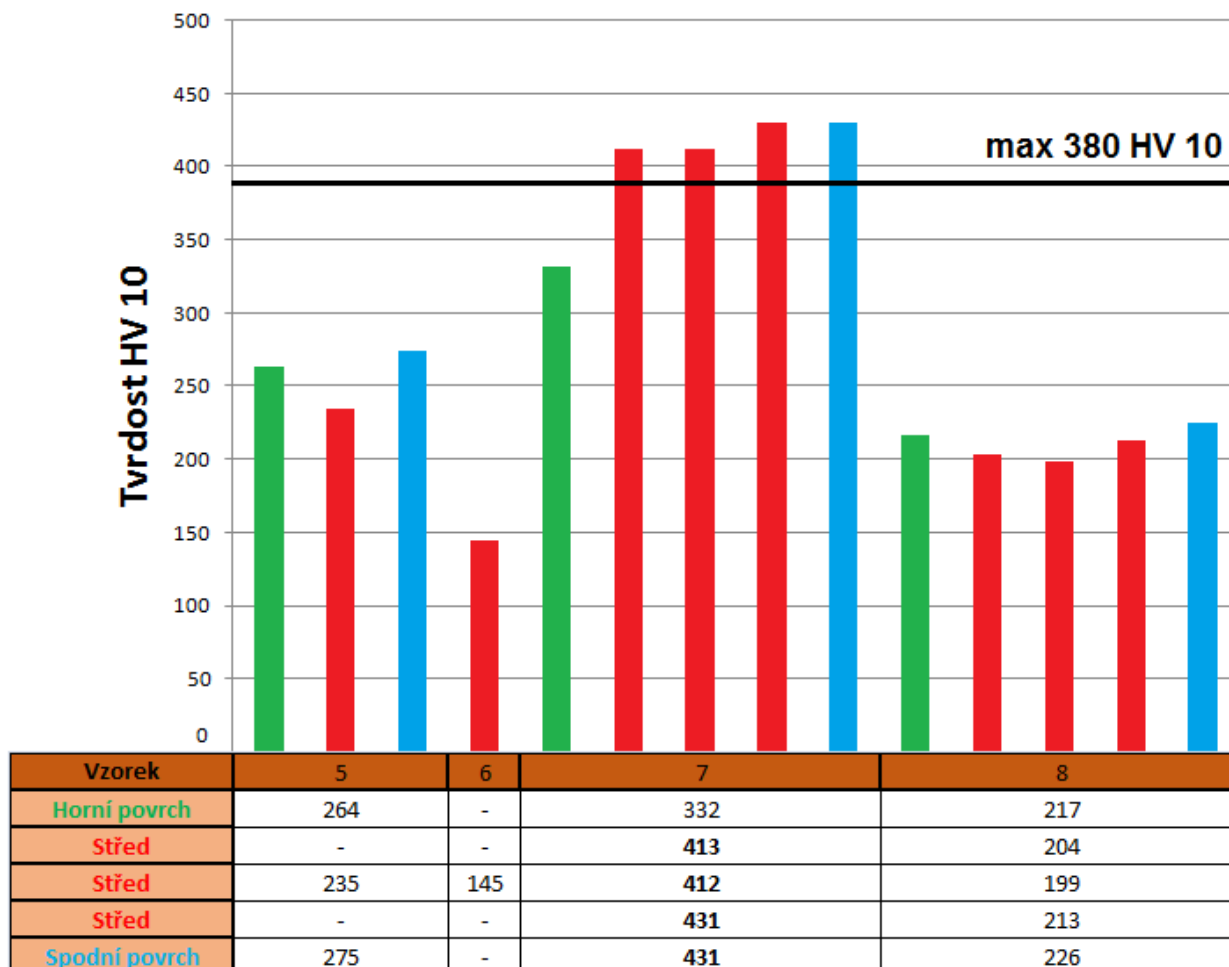
Obr. 21 Vyhodnocení tvrdosti

#### 4.5 Ověření vlastností zkušebních vzorků

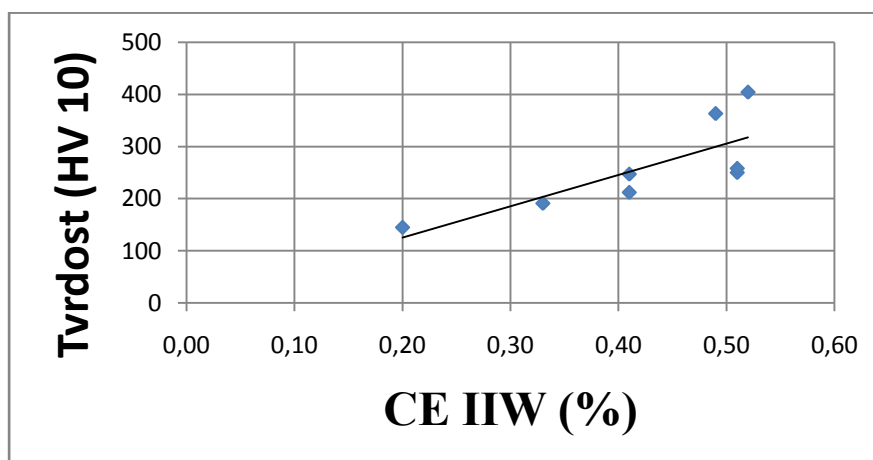
Norma ČSN EN 1090-2+A1 uvádí, že pevnostní třída oceli S235 až S460 musí splňovat podmínku tvrdosti povrchu volné řezné hrany a to 380 HV 10. Z obrázku 22 je zřetelné, že většina zkušebních těles normu splňuje. Normu nesplňuje vzorek číslo 2 a vzorek číslo 7.



Obr. 22 Tvrdosti vzorků vynesené do grafu část 1.



Obr. 22 Tvrdosti vzorků vynesené do grafu část2.



Obr. 23 Vliv uhlíkového ekvivalentu  $C_E$  na tvrdost řezné hrany HV 10 (1)



## 5. Závěr

V této práci jsou shrnuté výsledky měření kolmosti a tvrdosti volné řezné hrany při použití plamenové technologie z celkem 8 taveb uhlíkových ocelí S235 až S460 v rozsahu tloušťek 5 až 200 mm. Uhlíkový ekvivalent u zkušebních vzorků je v rozsahu 0,20 až 0,52 %.

Cílem bakalářské práce bylo ověřit, zda zhotovené vzorky splňují normu ČSN EN 1090-2+A1 respektive její část 6.4.4, která nařizuje tvrdost povrchu tepelně dělených hran pro ocel S235 až S460 380 HV 10. Zkoušky tvrdosti se prováděly na povrchu volné řezné hrany po mechanickém obroušení maximálně 1 mm pod povrch a při zatížení 98,1 N (HV 10). Podle tloušťky zkušebního vzorku byly předurčeny místa měření tvrdosti. U oceli tloušťky 5 mm byla tvrdost měřena pouze ve středu. U oceli tloušťky 10 mm byla tvrdost měřena 2 mm od horního i spodního okraje a ve středu. U oceli tloušťky 65 až 200 mm byla tvrdost měřena 2 mm od horního i spodního okraje a 3 krát ve střední části mezi horním a spodním okrajem. Tuto normu splňují vzorky jakosti: S460 o tloušťce 10 mm, S235 o tloušťce 150 a 5 mm, S355 o tloušťce 5, 10 a 200 mm. Požadovanou tvrdost nesplňuje jakost oceli S460 o tloušťce 65 mm a S355 o tloušťce 68 mm.

Zvolená metodika měření, výsledky a jejich rozsah umožňují charakterizovat pro praxi vliv kvality řezné oceli, způsob a zatížení při měření tvrdosti. Výsledky ukázaly, že úroveň tvrdosti hrany řezané plamenem závisí na chemickém složení řezané ocele, tloušťce a tepelném zpracování. Z obrázku 23 lze usoudit, že čím větší je uhlíkový ekvivalent  $C_E$  (IIW), tím větší je tvrdost řezných hran.

Z uvedených výsledků měření tvrdosti podle navržené metodiky lze konstatovat, že tvrdost tepelně řezané hrany:

- lze s dostatečnou přesností měřit na broušeném čele Vickersovou metodou se zatížením 98,1 N (HV 10)
- závisí na uhlíkovém ekvivalentu  $C_E$  (IIW)
- při daném zařízení, tloušťce a jakosti oceli lze splnit normu ČSN EN 1090-2+A1 za předpokladu, že uhlíkový ekvivalent  $C_E$  (IIW)  $\leq 0,45\%$



## Poděkování

Rád bych tímto poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Martinu Sondelovi Ph.D. za podporu, cenné rady a připomínky při vypracování této bakalářské práce. Dále děkuji všem vyučujícím, kteří mi předali své názory a zkušenosti.



## Seznam použité literatury

- [1] KUČERA, Jan. Teorie svařování. 2. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská, 1991, s. 205-402.
- [2] KOUKAL, Jaroslav a Tomáš ZMYDLENÝ. Svařování I [záznam a]. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2005, 133 s. ISBN 80-248-0870-6.
- [3] KUNCIP-ÁL, Josef. Teorie svařování. Vyd. 1. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1986, 165 s.
- [4] ROUBÍČEK, Martin. Vliv technologických parametrů na vznik vad při tepelném dělení materiálů kyslíkem. [online]. 2009 [cit. 2014-12-13]. Dostupné z: <http://www.konstrukce.cz/clanek/vliv-technologickych-parametru-na-vznik-vad-pri-teplnem-deleni-materialu-kyslikem/>
- [5] Technologie I: Plamenová technologie. In: [online]. Liberec, 2012 [cit. 2014-12-13]. Dostupné z: <http://www.ksp.tul.cz/cz/ksm/obsah/vyuka/materialy.htm>
- [6] ČSN EN ISO 9013. Tepelné dělení - Klasifikace tepelných řezů - Geometrické požadavky na výrobky a úchytky jakosti řezu. 2003. Říjen 2003. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT.
- [7] MRÁZ , PAĽO , VRBENSKÁ. Hodnotenie kvality voľnej tepelne rezanej hrany konštrukčných ocelí podľa EN 1090-2. : 10.
- [8] ČSN EN 1090-2+A1. Provádění ocelových konstrukcí a hliníkových konstrukcí: Technické požadavky na ocelové konstrukce. 2012. Leden 2012. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT.
- [9] ŠTEFANOVIČ, Milan. 2015. Main data of cut shapes and treatment DUO: Cut shapes and treatment DUO technical PASSPORT. Ostrava.
- [10] TNI CEN ISO/TR 15608. Svařování: Směrnice pro zařazování kovových materiálů do skupin. 2008. Praha: Český normalizační institut.
- [11] TNI CEN ISO/TR 15608. Svařování: Směrnice pro zařazování kovových materiálů do skupin. 2008. Praha: Český normalizační institut.





[12] SONDEL, KOUKAL a SCHWARZ. 2013. ZKUŠENOSTI PŘI CERTIFIKACI VÝROBCŮ OCELOVÝCH KONSTRUKCÍ PODLE NOREM EN 1090. : 17.

[13] Zwick/Roell [online]. [cit. 2015-05-16]. Dostupné z:

<http://www.zwick.cz/cs/produkty/tvrdomery/univerzalni-tvrlost-tvrdomery/zhu-250-pro-stanoveni-univerzalni-tvrlosti.html>

## Seznam použitých obrázků a tabulek

- Obr. 1. Schematické znázornění metody řezání kyslíkem [5]*
- Obr. 2. Průběh teploty tavení a spalování železa [5]*
- Obr. 3. Základní schéma zařízení pro řezání kyslíkem [5]*
- Obr. 4. Termíny vztahující se k procesu řezání zpracovávaného kusu [6]*
- Obr. 5 Termíny vztahující se ke zpracovanému kusu po ukončení řezání [6]*
- Obr. 6 Typy přímého řezu [6]*
- Obr. 7 Typy tvarových řezů [6]*
- Obr. 8 Skluzová rýha [6]*
- Obr. 9 Maximální skutečná úchylka u svislého řezu [6]*
- Obr. 10 Maximální skutečná úchylka u šikmého řezu [6]*
- Obr. 11 Průměrná výška profilu [6]*
- Obr. 12 Natavení horní hrany [6]*
- Obr. 13 Drážkování [6]*
- Obr. 14 Plamenový řezací stroj CORTINA DP 4000 [9]*
- Obr. 15 Plamenový řezací stroj OMNIMAT L 4600 [9]*
- Obr. 16 Úchylka kolmosti nebo úhlová úchylka pro tloušťku zpracovávaného kusu do 30 mm [7]*
- Obr. 17 Úchylka kolmosti nebo úhlová úchylka pro tloušťku zpracovávaného kusu do 150 mm [7]*
- Obr. 18 Schéma odběru tvrdosti zkušebního vzorku tloušťky  $a = 10$  mm*
- Obr. 19 Detail měření tvrdosti*
- Obr. 20 Vyhodnocení rozměrů vtisku*
- Obr. 21 Vyhodnocení tvrdosti*



*Obr. 22 Tvrdosti vzorků vynesené do grafu*

*Obr. 23 Vliv uhlíkového ekvivalentu  $C_E$  na tvrdost řezné hrany HV 10*

**Tabulka 1** – Přehled mezních tloušťek materiálu a uhlíkový ekvivalent podle IIW [2]

**Tabulka 2** – Teploty předehřevu dle obsahu uhlíku [2]

**Tabulka 3-** Dovolené maximální hodnoty tvrdosti (HV 10) [8]

**Tabulka 4-** Chemické složení a uhlíkový ekvivalent  $C_E$  (IIW) ocelí použitých ke zkoušce

**Tabulka 5-** Parametry řezacího stroje CORTINA DP 4000 [9]

**Tabulka 6-** Parametry řezacího stroje OMNIMAT L 4600 [9]

**Tabulka 7-** Úchylka kolmosti nebo úhlová úchylka dle ČSN EN ISO 9013 [7]

**Tabulka 8-** Souhrnný přehled zkušebních vzorků a toleranční pole dle ČSN EN ISO 9013

**Tabulka 9-** Systém zařazování oceli do skupin dle TNI CEN ISO/TR 15608 [11]

**Tabulka 10-** Naměřené hodnoty tvrdosti