

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Kvalita výroby částí zemědělských strojů v závislosti na
použitém materiálu

bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce: prof. Ing. Miroslav Müller, Ph.D.

Bakalář: Martin Kiesewetter

Praha 2018

Tento list nahradíte originálem zadání

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Martin Kiesewetter

Inženýrství údržby

Název práce

Kvalita výroby částí zemědělských strojů v závislosti na použitém materiálu

Název anglicky

Production quality of parts of agricultural machines depending on used material

Cíle práce

Cílem bakalářské práce je zhodnotit základní vlastnosti používaných materiálů a jejich vliv na kvalitu výroby částí zemědělských strojů ve vybraném podniku se zaměřením na hodnocení povrchu používaných plechů.

Podstatou práce je analýza vzorků dodávaných plechů od různých výrobců se zaměřením na splnění základních požadavků na mechanické vlastnosti plechů a jejich povrchové jakosti. Výsledkem práce bude doporučení optimalizace výběru plechu pro modelovou výrobu.

Metodika

Současný stav řešeného problému (literární rešerše).

Závěry a přínos práce.

Tento list nahradíte originálem zadání

Doporučený rozsah práce

cca 30 stran

Klíčová slova

Ekonomická analýza, hodnocení povrchu, plech, technologie výroby

Doporučené zdroje informací

BEČKA, J. Tribologie. Praha : ČVUT, 1997.

Časopis: Research in Agricultural Engineering, International Journal of Solids and Structures, Journal of Materials Processing Technology, Surface and Coating Technology, Journal of Industrial and Engineering Chemistry, Strojírenská technologie, Journal of material science, The Journal of Physical Chemistry, International Journal of Fatigue, Journal of materials processing technology, Polymer Degradation and Stability, Manufacturing technology

FIALA, J., MENTL, V., ŠUTTA, P. Struktura a vlastnosti materiálů. Praha : Academia, 2003.

FRANK, L., KRÁL, J. Metody analýzy povrchů iontové, sondové a speciální metody. Praha : Academia, 2002.

GOODMAN, J. W. Statistical Optics, John Willyams & Sons, INC., New York, 2000.

HRUŠKA, K. Diagnostika Jakosti a Vlastností Materiálu 1. vyd. Praha: Vydav. norem, 1989.

MALHOTRA, V.M., Nicholas J Carino. Handbook On Nondestructive Testing of Concrete 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, 2004.

NÁHLÍK, J. Diagnostika Materiálů 1. vyd. Praha: VŠCHT, 1990.

PERNIKÁŘ, J., TYKAL, M., VAČKÁŘ, J. Jakost a metrologie. Brno: Akademické vydavatelství CERM, 2001.

Předběžný termín obhajoby

2017/18 LS – TF

Vedoucí práce

doc. Ing. Miroslav Müller, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra materiálu a strojírenské technologie

Elektronicky schváleno dne 4. 1. 2017

doc. Ing. Miroslav Müller, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 23. 1. 2017

prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan

V Praze dne 26. 03. 2018

Čestné prohlášení

„Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci na téma: Kvalita výroby částí zemědělských strojů v závislosti na použitém materiálu vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů. Jsem si vědom, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Jsem si vědom, že moje bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí.

Jsem si vědom, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.“

V Praze dne:

.....

Martin Kieseewetter

Poděkování

Děkuji:

prof. Ing. Miroslavu Müllerovi, Ph.D. za odborné vedení práce a vstřícný přístup ke konzultacím obsahujícím věcné poznámky.

Ing. Pavlu Doubkovi, Ph.D. za pomoc s praktickou částí práce a možnost vypracovat ji v podniku Kadlec s.r.o.

Všem členům rodiny, kteří mě i v nelehkých chvílích mého studia dokázali motivovat k ještě většímu studijnímu nasazení.

Abstrakt: Cílem této bakalářské práce je vyhodnocení problémů povrchové jakosti u velkoformátových plechů používanými ve firmě Kadlec s.r.o. k výrobě modelové řady krmných vozů. Výsledkem práce jsou metody sloužící ke zjišťování stavu dodávaného materiálu do firmy Kadlec s.r.o., které by měly pomoci eliminovat počty opravovaných krmných vozů z důvodu nevyhovující jakosti finálního laku. Jednotlivé metody z teoretické části byly konzultovány s vedením společnosti a na základě jejich vyhodnocení byla vybrána zkouška materiálových vlastností, měření drsnosti a zavedení hodnocení kvality dodávaných plechů podle jednotlivých dodavatelů. Hodnocení a výběr jednotlivých variant byl zaměřen na jednoduchost provedení a následné zavedení do výroby, spolu s co nejpříznivějším ekonomickým výsledkem pro firmu.

Klíčová slova: Ekonomická analýza, hodnocení povrchu, plech, technologie výroby

Production quality of parts of agricultural machines depending on used material

Summary: The aim of the bachelor thesis is evaluation surface quality by large-format sheets plates, which are used in the company Kadlec s.r.o. for production model line feed wagons. The results of the bachelor thesis are methods, which are used for detection material state which is supplied to the company Kadlec s.r.o. These methods should eliminate numbers of repaired feed wagons of unsatisfactory quality of final paint. The individual methods from the theoretical part were consulted with the company management and on the basis of their evaluation were chosen material properties test, roughness measurement and quality evaluation of the supplied sheet plates according of individual suppliers. The evaluation and selection of individual variants was aimed on simplicity of implementation to the company and subsequent introduction into production, together with the most favourable economic result for the company.

Keywords: Economic analysis, surface evaluation, sheet metal, production technology

Obsah

1	Úvod.....	1
2	Cíl práce	3
3	Metodika.....	4
3.1	Výroba ve firmě Kadlec s.r.o.....	4
3.2	Zpracování velkoformátových plechů	6
3.2.1	Skladování a příprava polotovarů.....	6
3.2.2	Tváření za studena (stáčení a ohýbání)	6
3.2.3	Úprava povrchu (tryskání)	7
3.2.4	Úprava povrchu (lakování)	8
3.2.5	Zhodnocení procesu výroby	9
3.3	Základní materiálové portfolio výroby v Kadlec s.r.o.....	9
3.4	Velkoformátové „bramové“ plechy	10
3.5	Technologie výroby velkoformátových plechů	11
3.5.1	Postup lití.....	11
3.5.2	Krystalizátor	12
4	Praktické řešení situace ve firmě Kadlec s.r.o.....	15
4.1	Metody zjišťování jakostních parametrů plechů pro Kadlec s.r.o.....	15
4.1.1	Mechanické vlastnosti	15
4.1.1.1	Zkoušky plechů	16
4.1.1.2	Tažnost	16
4.1.1.3	Pevnost.....	17
4.1.1.4	Houževnatost	17
4.1.1.5	Pružnost.....	18
4.1.1.6	Zkoušky mechanických vlastností	18
4.1.1.7	Statická zkouška tahem dle ČSN EN ISO 6892-1 (420310).....	19
4.1.1.8	Zkouška ohybem	22
4.1.1.9	Zkouška stříhem	23
4.1.1.10	Zkouška krutem.....	23
4.1.2	Zjišťování kvality povrchu	24
4.1.2.1	Tvrдость a její měření.....	24

4.1.2.2	Drsnost povrchu	26
4.1.3	Vliv jakosti povrchu polotovaru na výrobek.....	26
4.1.3.1	Vliv jakosti opracování na výslednou povrchovou úpravu.....	27
4.1.3.2	Vliv tvarové přesnosti polotovarů na výsledný produkt	28
4.1.3.3	Mechanické vlastnosti a jejich vliv na výrobu.....	29
4.2	Možnosti firmy Kadlec s.r.o. v měření technických parametrů plechů.....	30
4.2.1	Měření tvrdosti povrchu.....	30
4.2.2	Tahová zkouška.....	32
4.2.3	Měření drsnosti povrchu	33
4.2.4	Zavedení evidence jakosti povrchu plechů dodavatelů	34
5	Závěr	36
6	Seznam zdrojů:	38
7	Seznam obrázků.....	40

1 Úvod

Společnost Kadlec s.r.o. je středně velká rodinná firma, která působí na trhu více jak 25 let. V roce 1993 byla založena panem Bohuslavem Kadlecem z původní státní traktorové stanice Turnov. Společnost se zabývá výrobou strojních součástí od malých svařenců až po velké několikatunové svařované celky. Široké portfolio výroby společnosti Kadlec tvoří části zemědělských strojů, a to především pro zahraniční trh, na kterém jsou největšími odběrateli německé a nizozemské společnosti. Přibližný roční obrat firmy Kadlec s.r.o. se pohybuje okolo 200 mil. Kč. V současné době je ve společnosti více jak 70 kmenových zaměstnanců, z nichž většina zde pracuje více jak 15 let. Mezi hlavní výhody zajišťující společnosti Kadlec dobrou konkurenceschopnost v oboru jsou dlouholeté zkušenosti s danou výrobou, a tedy vysoká kvalita práce a výrobků ve společnosti.

Jak již bylo uvedeno výše, převážnou část produkce tvoří svařované ocelové konstrukce (sestavy), které jsou dále povrchově upravovány mokrou (Kadlec), nebo práškovou (externě), barvou nebo jinou technologií povrchových úprav, např. zinkováním apod. Základní používaná metoda svařování je MIG. Všichni svářeči jsou certifikováni dle EN 287-1:2012. Firma Kadlec s.r.o. má ve výrobě zavedeno a splňuje požadavky ISO 9001:2000.

Jedním ze základních výrobků tvořících základní výrobní portfolio společnosti jsou krmné vozy pro ustájený dobytek, tzv. „Solomixy“, resp. základní rámy pro výše zmíněné výrobky. Typický představitel kompletního krmného vozu je na (obr. 1.)

Obrázek 1 Krmný vůz odběratelské firmy Trioliet „Solomix“



Zdroj: Kadlec s.r.o.

Solomix je v podstatě objemná nádrž sloužící např. k rozmělnování siláže a jejímu přímému výdeji do krmných žlabů pro hospodářská zvířata nebo současně pro podestýlání ustájeným zvířatům. Většina těchto vozů je konstruována jako poloautomat, který pomocí obsluhy jedním pracovníkem obstará práci za 4 až 8 lidí

V rámci produkce solomixů je jedním ze základních problémů, se kterými se výroba ve společnosti potýká, špatný povrch používaných plechů pro výrobu. Kvalita povrchu použitého plechu je rozhodující pro kvalitu povrchové úpravy lakováním. V případě nekorektní jakosti povrchu dochází ke zvýšení nákladů na výrobu v řádu několika desítek procent.

2 Cíl práce

Cílem práce je vyhodnocení problému s velkoformátovými plechy používanými ve firmě Kadlec s.r.o. k výrobě modelové řady krmných vozů. Hodnocení jednotlivých dodavatelů tzv. „teplých“ plechů, tedy plechů vyráběných válcováním za tepla s ohledem na požadovanou kvalitu vyráběných částí zemědělských strojů, kdy cenová politika ve strojírenském průmyslu nutí odběratele vybírat materiály podle nejnižší ceny materiálů, a to i za cenu, že materiály se stejným jakostním listem mají již na první pohled rozdílnou kvalitu povrchu, jiné hodnoty tolerancí tloušťky a v neposlední řadě i různé mechanické vlastnosti.

V teoretické části je zpracována literární rešerše výrobního procesu ve společnosti Kadlec s.r.o. se zaměřením na stěžejní produkty společnosti. V praktické části práce je provedena analýza plechů od různých dodavatelů (výrobců) plechů se zaměřením na kvalitu povrchu a jím ovlivněnou ekonomiku procesu výroby. Výsledkem této práce je návrh doporučení výběru polotovarů určených k výrobě určité řady výrobků tak, aby se do budoucna minimalizovala zmetkovitost, oprávky povrchové úpravy, a tím i snížila, resp. stabilizovala ekonomika procesu výroby krmných vozů.

3 Metodika

Metodika bakalářské práce je založena na analýze problému s velkoformátovými plechy, používanými ve firmě Kadlec s.r.o. k převážné části výroby. Na základě této analýzy budou stanoveny varianty scénářů vedoucí k řešení dané problematiky a k výběru finálního řešení, vhodného pro aplikaci ve firmě Kadlec s.r.o.

3.1 Výroba ve firmě Kadlec s.r.o.

Jak již bylo uvedeno v kapitole 1, firma Kadlec s.r.o. se zabývá strojírenskou výrobou částí zemědělských strojů. Podstatnou většinu polotovarů zde tvoří plechy tloušťek od 2 mm do 30 mm, ze kterých se výsledné produkty skládají. Z toho důvodu jsou právě na ně kladeny vysoké nároky týkající se především jejich geometrické přesnosti a povrchové jakosti. Další, ovšem ne tak velkou skupinou polotovarů, tvoří tyčové materiály: jekly, L-profil, U-profil, T-profil, trubky bezešvé i švové a plné tyče kruhového profilu. Výroba zemědělských strojů ve firmě Kadlec s.r.o. je tvořena tvarovými výpalky vyrobenými pomocí plasmové a laserové dělicí technologie, které se po dalším obrobení svářejí v konstrukční celky (podsestavy) nebo finální výrobky.

Základní technologie zpracování výpalků před svářením jsou ohraňování, zakružování, třískové obrábění, závitování apod. Vypálené a dále technologicky zpracované díly se ve svářecích přípravcích svaří do sestav a tyto svařené sestavy jsou následně mechanicky očištěny od okují a dalších povrchových nečistot v tryskacím zařízení, používajícím ocelové broky. Takto očištěné a připravené výrobky jsou následně povrchově upraveny základní a vrchní barvou.

U poměrně velkého množství výrobků je zjištěna špatná kvalita laku až po vrchním lakování speciální dvousložkovou lesklou barvou. V tuto chvíli je již pozdě a proces opravy laku je následně ekonomicky prodělečný, časově náročný a v neposlední řadě má oprava vliv na proces další výroby a termíny dodávek.

Proces opravy nevyhovujícího laku se skládá z opětovného otryskání již lakovaného dílu, tedy z odstranění původního laku v tryskací kabině. Díl, v našem případě solomix, je

opět navezen za pomoci vysokozdvizného vozíku do tryskací kabiny (*viz obr. 3 vlevo*) ke kompletnímu odstranění vytvrzeného laku. Po této operaci následuje část, kdy jsou pomocí špachtlí tmeleny hluboké povrchové vady plechu, je rozředěn a následně použit speciální stříkací tmel, který je pro výsledné vytvrzení nutné nechat ve stříkací kabině (*viz obr. 3 vpravo*) se zapnutým topením. Teprve po vyschnutí a vytvrzení tmelu se přistupuje, za pomoci vibračních brusek, k úpravě povrchu solomixu.

Bez operace broušení by byla dosavadní oprava povrchu bezúčelná, jelikož by stříkací tmel spolu s tmelem nanášeným špachtlí pouze kopíroval reliéf plechu. Požadované jakosti povrchu se na součásti dosáhne, jak již bylo uvedeno o pár řádků výše, vibrační bruskou s použitím velmi jemného brusného papíru se zrnitostí mezi 3000 – 4000. Konkrétně tato operace je velmi časově a finančně náročná, kdy se v případě základního rámu krmného vozu, při použití nejakostního plechu, jedná o rozsáhlou plochu v řádech několika m² a při průměrné výšce okolo 2 – 2,5 m.

Teprve na takto opravený povrch je možné aplikovat za pomoci lakýrnické pistole základní barvu, po jejímž zaschnutí se teprve může namíchat speciální dvousložková vrchní barva, která splňuje zahraniční normou stanovené požadavky na vyšší mechanickou odolnost a zároveň smí přijít do styku s krmnými směsmi určenými pro hospodářská zvířata. Právě díky těmto specifikacím je tato barva velmi nákladná a pořízení prodražuje i skutečnost, že ji firma Kadlec s.r.o. musí objednávat přímo od zahraničního odběratele krmných vozů.

Pro názornost nákladnosti celého procesu opravy povrchu slouží (*tab. 1*). V průměrném ročním vyráběném množství 250 kusů solomixů je přibližně 25 % těchto krmných vozů vadných z hlediska špatné jakosti povrchu a ještě před expedicí k zákazníkovi musí být opraveny na požadovanou jakost, tento fakt výrobu zatěžuje svou časovou náročností, která s sebou nese i vyšší finanční nároky. Tato fakta pak mají za následek problémy s plněním dodávkových termínů a nemalé ekonomické ztráty.

Tabulka 1 Časová a finanční náročnost oprav povrchu

Operce				
	Tryskání	Tmelení	Broušení	Lakování
Časová náročnost	5h	4,25h	4,5	6
Cena 1h operace	330Kč	330	330	330
Cena operace	1650 Kč	1402,5 Kč	1485 Kč	1980 Kč
Oprava celkem	6517,5 Kč			

Zdroj: Kadlec s.r.o.

3.2 Zpracování velkoformátových plechů

3.2.1 Skladování a příprava polotovarů

Velkoformátové plechy se ve firmě Kadlec s.r.o. používají ve standardních i nestandardních formátech. Nestandardní rozměry plechů se používají zejména při výrobě pláštů „Solomixů“ a to z důvodu velikosti dílů. Základní atypické rozměry dosahují délek 9 a 12 metrů. S ohledem na tento nestandardní formát plechu není možné jeho umístění do krytých regálů, a tak jsou tyto plechy před zpracováním uskladněny v areálu závodu pouze na zemi podložené trámky a z tohoto důvodu dochází k jejich povrchové korozi způsobené povětrnostními vlivy. Tyto plechy se pro další zpracování dělí autogenem pod úhlem na formáty, které lze dále zpracovat v pálicím stroji, který je určen pouze pro formáty 2500 x 6000 mm.

3.2.2 Tváření za studena (stáčení a ohýbání)

Typickou technologií zpracování velkoformátových plechů používaných pro výrobu krmných vozů je zakružování plechů (pláštů krmných vozů). Zakružování pláště je vidět na (obr. 2).

Obrázek 2 Zakružování pláště Solomixu



Zdroj: Kadlec s.r.o.

Jedná se o mechanické průběžné (diskontinuální) ohýbání plechu. Vlivem tahových a tlakových napětí vznikajících na povrchu při zakružování dochází k částečnému odloupení zavalcovaných okují. Jinými slovy jakost povrchu se na polotovaru částečně zhoršuje. Díky těmto skutečnostem nelze na polotovarech v této fázi zpracování s naprostou přesností identifikovat konkrétní vady v celém jejich rozsahu, na základě kterých by se dalo jednoznačně říci, že je povrch třeba opravit než bude lakován. U ohraňovacího lisu nedojde k zvětšení či zhoršení plošných vad vlivem tahových napětí v natahovaných vnějších vláknech. Dochází zde však k lokálním trhlinám v celé délce osy ohybu, které jsou kolmé na již zmiňovanou osu ohybu. Velikost těchto trhlin a jejich množství je dáno především jakostí materiálu, dále volbou rádiusu ohybu a úhlu ohnutí.

3.2.3 Úprava povrchu (tryskání)

Při úpravě povrchu před lakováním pomocí brokování ocelovými broky v tryskacím boxu dojde k úplnému odstranění okují, povrch vlivem abrazivního působení částic zmatní a stane se pro základovou barvu ideálně hrubým. Tryskací a lakovací kabina je znázorněna na (obr. 3). Základní rozměry každé kabiny jsou (4 x 4 x 7,5) m.

Obrázek 3 Tryskací kabina vlevo, lakovací kabina vpravo



Zdroj: Kadlec s.r.o.

Vlivem zmatnění (zdrsnění apod.) povrchu po brokování jsou ovšem velmi dokonale zamaskovány plošné povrchové vady, které jsou dále běžnými způsoby v praxi velmi špatně identifikovatelné. Detail povrchu s povrchovými defekty a bez nich je uveden na (obr. 4).

Obrázek 4 Detail brokovaného povrchu A - bezvadný povrch, B - povrch s vadami



Zdroj: Kadlec s.r.o.

Ke zjištění nevyhovujícího povrchu plechu pro povrchové úpravy dochází až po vlastním nalakování kompletně zhotoveného „Solomixu“. Po zjištění špatné kvality v tento okamžik po nalakování je nutné celý proces výroby povrchové úpravy opakovat včetně aplikace tmelení a broušení povrchu.

3.2.4 Úprava povrchu (lakování)

Povrch po tryskání je ideálním povrchem pro nanášení vrstvy základové barvy, eventuálně stříkacího tmelu. Barva i tmel jsou za pomoci ředidel rozředovány na konzistenci

vhodnou pro stříkání lakýrnickou pistolí. V případě tmelení je tmel po svém zaschnutí broušen, aby se docílilo požadované jakosti povrchu, jinak by pouze jako základní barva a vrchní lak kopíroval nerovnosti lakovaného materiálu. Základní, vrchní barva nebo tmel jsou aplikovány stříkáním v lakovací kabině (viz. obr. 3 vpravo). Pro lakování krmných vozů je od zákazníka předepsána 2k syntetická barva se zvýšenou odolností proti opotřebení, působení UV záření a atestem pro styk s krmnými směsmi pro zvířata.

3.2.5 Zhodnocení procesu výroby

Jak již bylo zmiňováno na začátku, tento postup je pro firmu Kadlec s.r.o. nevýhodný, z toho důvodu je nutné optimalizovat postup výběru základního polotovaru, tedy velkoformátového plechu, ať již hodnocením kvality jednotlivých dodavatelů či vlastní kontrolou v Kadlec s.r.o., na jejímž konci by mělo být rozhodnutí, zda jakost povrchu plechu vyhovuje požadavkům pro jakost povrchu na výrobku. Toto řešení však také není ideální, neboť s ohledem na tolerance rozměrů a jakosti povrchu daných normou ČSN EN 10029 i plechy mající v současnosti povrchové defekty jsou z hlediska zmíněných předpisů v pořádku, tedy nereklamovatelné. Zda použitý plech má nebo nemá akceptovatelné povrchové vady z hlediska následné kvality povrchu po lakování, je zdá se pouze otázkou zkušenosti, kvality výroby a surovin a zřejmě i nákladů na výrobu plechu daným výrobcem.

Dalším možným řešením se v současné době jeví zavést do výrobního procesu tmelení a broušení ještě před operaci finálního lakování. Poslední ze zatím zmíněných variant s jistotou prodraží výrobu „Solomixů“, jelikož zde přibudou nutné režie pracovišť, přibude spotřební materiál a další mzda pracovníků. Plošné zavedení tmelení (s ohledem na cenu) odmítá také koncový zákazník.

3.3 Základní materiálové portfolio výroby v Kadlec s.r.o.

V (tab. 2) je uvedena průměrná roční spotřeba materiálu včetně podílu ve výrobě ve firmě Kadlec s.r.o.

Tabulka 2 Zastoupení hlavních skupin polotovarů ve firmě Kadlec s.r.o. za rok 2017

Polotovar	Hmotnost [x 1000 kg]	Podíl ve výrobě [%]
plechy	480	60%
jäckely a trubky	240	30%
ostatní ocelové polotovary	80	10%

Zdroj: Kadlec s.r.o.

S ohledem na informace uvedené v (Tab. 2) je zřejmé, že zastoupení plechů mezi polotovary v materiálovém toku firmy Kadlec s.r.o. je majoritní.

3.4 Velkoformátové „bramové“ plechy

Velkoformátové plechy používané ve firmě Kadlec s.r.o. jsou jediným možným polotovarem použitelným pro výrobu „Solomixů“ jelikož plechy válcované za studena, které by požadavkům směrem k jakosti povrchu vyhovovaly, nesplňují kritéria v oblasti formátu a tloušťky. Kontinuálně lité bramové ocelové polotovary, řadící se mezi ploché typy výrobků, mající své využití v celé šíři strojírenského průmyslu, jsou tak jediným možným řešením. Výsledné velkoformátové plechy pak nacházejí své uplatnění v lodním průmyslu, zemědělských strojích, dopravním průmyslu, mostních konstrukcích, tlakových nádobách, potrubích určených pro přepravu surovin a jako základ pro tvarové výpalky.

Základem pro kvalitně vyrobené velkoformátové plechy pomocí kontinuálního lití je dokonale zvládnutá technologie výroby kontinuálně zhotovených bram, tedy předlitků, které obsahují přesně požadované chemické složení, ve formátu šířka k tloušťce, zde se pro bramu udává poměr 2,5:1 a vyšší. [1] V ideálním případě by pro firmu Kadlec s.r.o. měla brama mít vysokou vnitřní čistotu a ideální povrch bez vad, aby se tyto vnitřní a povrchové vady dále nepřenašeli do výsledně válcovaných plechů za tepla. Tím by se zvýšila jakost povrchu a do jisté míry zlepšili i mechanické vlastnosti používaných plechů. S ohledem na výrobu bramy pro velkoformátové plechy mohou povrchové vady vznikat už v krystalizátoru a následně se dotvářet v nevhodně nastaveném sekundárním chlazení. Materiál je pak na konci tažných válců řezán hořákem nebo dělen mechanicky na požadované délky a včetně vad postupuje po válečkovém dopravníku k vyrovnávacím pecím.

Po ohřátí na válcovací teplotu jsou bramy s již vzniklými vadami dopravovány na válcovací tratě, kde bývají během válcování dohřívány na válcovací teplotu, přičemž je polotovar tvářen na požadovaný rozměr. V této fázi může docházet k rozšiřování vad, vměstnávání zoxidovaných částí povrchu (okují) do materiálu, které po tryskání ve firmě Kadlec s.r.o. odpadávají a mají za následek vznik nevyhovující jakosti povrchu. [1]

3.5 Technologie výroby velkoformátových plechů

Technologie plynulého odlévání oceli, je moderním způsobem výroby oceli, jejímž produktem je předlitek, v tomto případě brama určená k dalšímu zpracování. Tato technologie je používána od roku 1950 díky snížení energetické náročnosti a velké produktivitě oceli. Tento způsob je v současné době nejrozšířenějším a nejúčinnějším, a tak jsou požadavky kladeny především na zdokonalení procesu za účelem maximální až úplné eliminace vad vznikajících při této technologii vně nebo uvnitř materiálu.

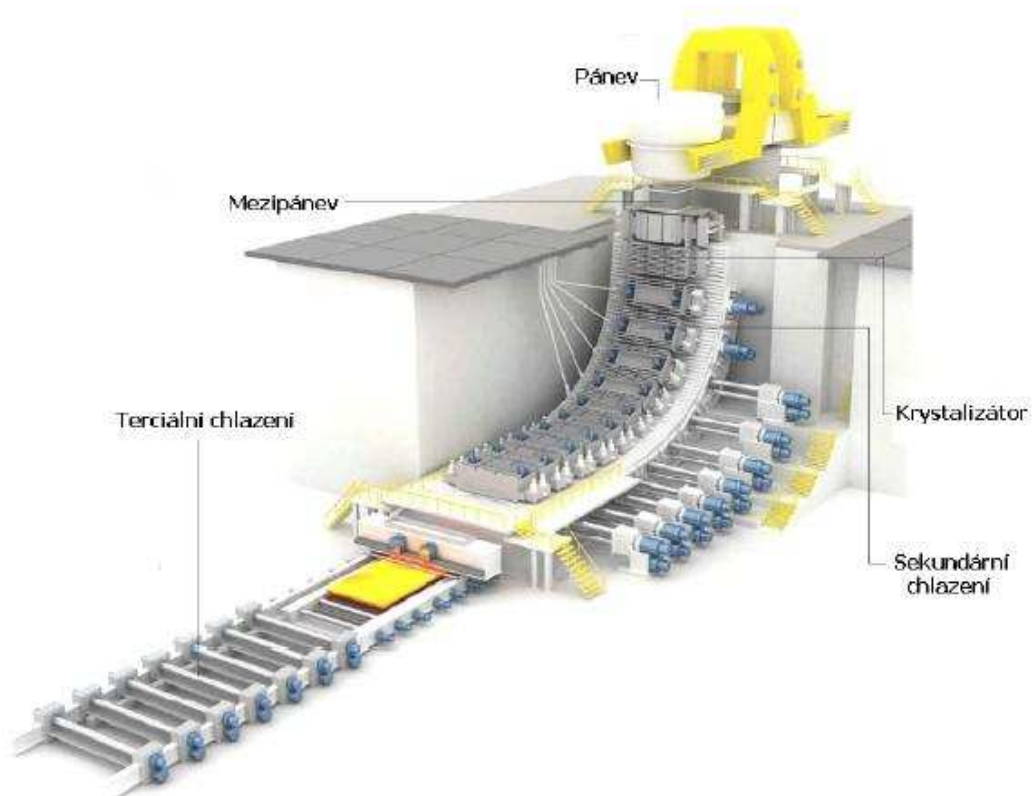
3.5.1 Postup lití

Roztavená ocel je nalita do pánví, ve kterých je v moderních ocelárnách dopravena na pracoviště pánvové metalurgie, kde je podrobena mimopecnímu zpracování. Z pracoviště pánvové metalurgie putuje již upravená ocel ke stroji pro kontinuální lití (*obr. 5*). Zde je ocel přelívána do mezipánve zařízení pro kontinuální lití. Z mezipánve vtéká tavenina do pánve a následně do vodou chlazeného měděného krystalizátoru na (*obr. 6*), kde začíná tuhnutí povrchu taveniny a postupně pokračuje v chladicí zóně za průchodu mezi tažnými válci. V některých zařízeních může následovat rovnací prvek. Za rovnacím prvkem či přímo za tažnými válci je umístěno dělicí zařízení, na které navazuje válečková trať, po které je předlitek z kontinuálního lití dopravován do skladu nebo horkou cestou k dalšímu zpracování.

Tekutá ocel musí být z mezipánve doplňována do krystalizátoru ve stejném množství, jaké je odváděno z krystalizátoru pomocí tažných válců. Při nedodržení této základní podmínky by došlo k potrhání povrchu předlitku či k jeho úplnému přetržení. Již samotné potrhání licí skořepiny je velmi nežádoucí, jelikož má za následek vznik velkého množství povrchových vad, jež si s sebou polotovar nese celou dobu až po zpracování, které se ve firmě

Kadlec s.r.o. snaží v co největší míře eliminovat. Výsledná lící rychlost závisí na parametrech: velikosti profilu, tvaru profilu a třídě odlévané oceli. Obvykle se tato rychlost pohybuje v rozmezí $0,3 - 8 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ s časem celkového lití v rozmezí $0,5 - 1,5$ hodiny, kvůli omezení nadměrných tepelných ztrát v mezipánvi. Na konci této linky je doposud celistvá brama dělena dělicím zařízením na jednotlivé kusy. [1]

Obrázek 5 Linka pro kontinuální odlévání oceli

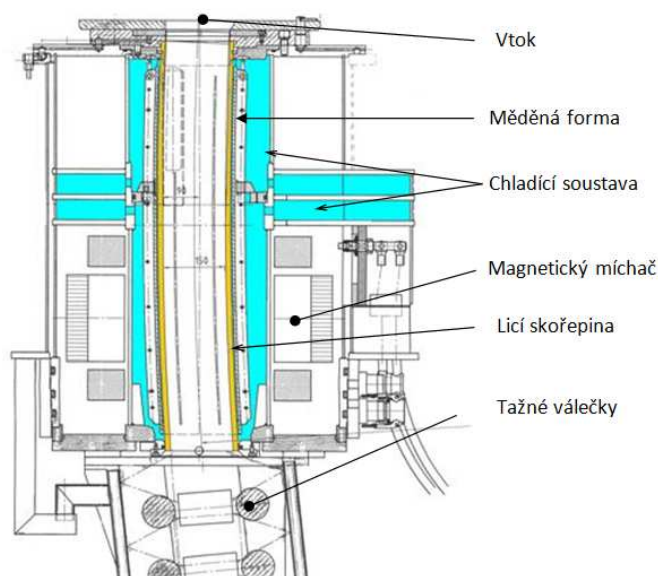


Zdroj: <http://docplayer.cz/docs-images/58/42227555/images/3-0.png> [2]

3.5.2 Krystalizátor

Má za úkol na čerstvé tavenině vytvořit lící skořepinu dostatečné pevnosti a síly, aby dokázala udržet obsah tekutého jádra před zavedením lícího proudu do zóny sekundárního chlazení. Zásadními prvky jsou: tvar, tloušťka lící skořepiny, stejná teplota skořepiny během posuvu, a to vše pokud možno bez vnitřních a povrchových vad, s minimální pórovitostí a co nejmenším počtem nekovových vměstků.

Obrázek 6 Schéma krystalizátoru



Zdroj: <http://ottp.fme.vutbr.cz/users/stetina/habilitace/image/image050.jpg> [3]

Krystalizátor na (obr. 6) je průchozí forma, která má ve svých stěnách zabudovanou soustavu vodního chlazení. Vnitřní povrch této formy je vyroben z velmi čisté měděné slitiny, a tak musí být zajištěno velmi kvalitní chlazení kvůli správnému odvodu tepla. Tato slitina mědi obsahuje chrom nebo nikl, který výslednou slitinu vytvrzuje, a tak se stává otěruvzdornou. Tato otěruvzdornost je třeba, aby se zamezilo otěru mědi do vznikající licí skořepiny, a tím předešlo povrchovým vadám předlitku vzniklým otěrem měděné vložky. Přesná definice přestupu tepla z předlitku do krystalizátoru je veliký a zásadní problém, jelikož se zde jedná o jednu z okrajových podmínek, kterou zatím nejde s přesností určit. Za pomoci matematických modelů pracujících s obdobně obtížně stanovitelnými okrajovými podmínkami jako je tato, lze i tak analyzovat děje v krystalizátoru.

Hladina taveniny v krystalizátoru je pokryta souvislou vrstvou licího prášku, který zde plní funkci ochrany proti oxidaci a zároveň se taví a stéká po stěnách krystalizátoru, kde funguje jako mazivo mezi vznikající licí skořepinou a měděnými plochami vnitřku krystalizátoru.

Uvnitř krystalizátoru dochází k intenzivnímu chlazení, jež je kombinací těchto třech druhů: vedením, konvekcí a sáláním. Právě krystalizátor odebírá z celého procesu kontinuálního lití nejvíce tepla, udává se hodnota v rozmezí 10 až 30 % veškerého tepla.

Licí skořepina vzniká již v horní části krystalizátoru, kde dochází k jeho přímému styku s taveninou a právě zde je oblast intenzivního odvodu tepla z roztavené oceli. Postupem takto vzniklé skořepiny skrze krystalizátor narůstá její tloušťka a vlivem stálého chlazení dochází k smršťování vznikajícího předlitku. Tím se mezi stěnou krystalizátoru a předlitkem vytváří mezera, do které zatéká již natavený licí prášek a vytváří mazací vrstvu. Tato vrstva postupuje spolu s kůrou vzniklého odlitku a v chladnějších částech krystalizátoru opět tuhne a stále se zvětšující mezerou nakonec vypadává. Vlivem zatečení licího prášku mezi krystalizátor a předlitek spolu se stále se zvětšujícím smrštěním předlitku dochází ke zhoršení odvodu tepla a tím k opětovnému ohřevu kůry, která se pod ferostatickým tlakem prohýbá směrem ke krystalizátoru a dochází k jejímu praskání. Takto vzniklé praskliny se plní taveninou a narůstá objem předlitku. Až v dolní části krystalizátoru je licí skořepina natolik pevná, že již odolává ferostatickému tlaku a nevznikají trhliny. Mezera mezi skořepinou a stěnami krystalizátoru vzniklá smrštěním a odpadnutím zatuhlého licího prášku se vyplní plynem. [1]

4 Praktické řešení situace ve firmě Kadlec s.r.o.

4.1 Metody zjišťování jakostních parametrů plechů pro Kadlec s.r.o.

V následující kapitole jsou shrnuty standardní postupy měření mechanických vlastností materiálu, které mohou sloužit k posouzení již dodaného materiálu do firmy Kadlec s.r.o. S ohledem na zaměření práce jsou níže uváděné kapitoly orientovány na plechy.

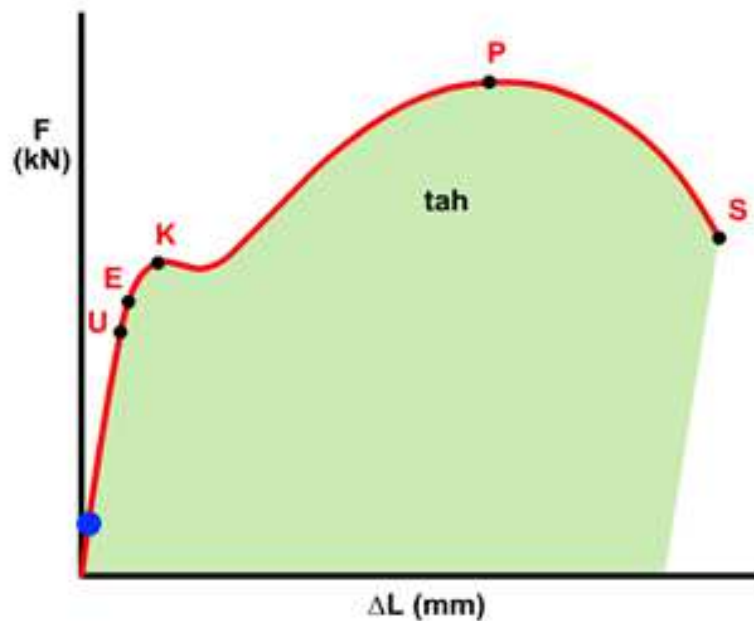
Jakost dodávaného plechu se ve firmě posuzuje dle normy ČSN EN 10029, která předepisuje tolerance povrchové i rozměrové. Pro firmu je pak jakostním plechem ten, který v rámci výše zmiňované normy splňuje tvarové i povrchové tolerance plus požadované mechanické vlastnosti a neobsahuje pokud možno žádné povrchové vady, které jsou nejčastěji tvořeny zaválcováním okují do povrchu teplého plechu během jeho vlastní výroby. Bohužel do doby než okuje opustí povrch plechu nelze stoprocentně říct, že tento daný plech má požadovanou jakost. Jak již bylo několikrát zmíněno, definitivní kvalita jakosti povrchu plechu se projeví až po finálním lakování lesklou vrchní barvou.

4.1.1 Mechanické vlastnosti

Jsou souhrnem vlastností materiálu, jež daný materiál charakterizují z hlediska působení vnějších zatížení. Tyto základní vlastnosti materiálu zásadně ovlivňuje okolní teplota a v neposlední řadě i jeho krystalická struktura. Změny těchto vlastností materiálů mohou probíhat pozvolně nebo skokově. Základní mechanické vlastnosti jsou pevnost, pružnost, houževnatost a plastičnost. Mezi další mechanické vlastnosti se řadí např. tvrdost materiálu, odolnost proti tečení apod. Pevnost je v podstatě napětí, kterým se materiál brání působení vnější síly, resp. porušení svojí celistvosti. Pružnost představuje schopnost materiálu vrátit se po odlehčení do původního tvaru. Houževnatost představuje odolnost materiálu vůči rázům a křehkému porušení. Plastičnost (tažnost) je schopnost materiálu k trvalému plastickému přetvoření a je procentuálním poměrem prostého prodloužení k původní délce. Pevnost, pružnost a tažnost materiálu se hodnotí pomocí statické zkoušky tahem dle EN ISO 6892, která patří mezi základní zkoušky pro hodnocení mechanických vlastností materiálů. Základní hodnoty získané z této zkoušky jsou mez kluzu, mez pevnosti v

tahu, tažnost a kontrakce. Mez kluzu je v grafu tahové zkoušky označena jako R_e , což je na (obr. 7) hodnota napětí v bodě K a označuje nám místo vzniku prvních plastických deformací. Mez pevnosti, která se označuje jako R_m , pevnost v tahu je na (obr. 7) označená bodem P, který vyjadřuje hodnotu, kdy smluvní napětí dosáhne hodnoty svého maxima. V tomto místě se na zkušební vzorku začíná tvořit lokální zúžení neboli krček. [4][5][6]

Obrázek 7 Pracovní diagram zkoušky tahem



4.1.1.1 Zkoušky plechů

Mechanické zkoušky materiálů lze rozdělit podle:

- způsobu zatěžování na zkoušky dynamické a statické
- druhu namáhání na zkoušky tlakové, tahové a ohybové
- zjišťovaných vlastností na zkoušky tvrdosti, únavy a pevnostních vlastností
- teploty a prostředí [5][6]

4.1.1.2 Tažnost

Jak již bylo zmiňováno, tažnost je formulována jako procentuální poměr prodloužení zkušební vzorku vůči původní délce téhož vzorku. Tažnost materiálu lze brát jako základní ukazatel tvárnosti materiálu a je typickou vlastností většiny kovů. [4] Touto vlastností kovy disponují v širokém pásmu teplot, a tak je nezbytnou při použití technologií, jako jsou

například tváření kovů za studena / za tepla či konkrétně při výrobě hutních polotovarů dále používaných ve firmě Kadlec s.r.o.

4.1.1.3 Pevnost

Je uváděna jako schopnost materiálu odolávat trvalé deformaci bez poškození a porušení celistvosti. Tato vlastnost je snadno měřitelná jako síla působící na přesně definovanou plochu. Tím získáme pomocí výpočtu velmi přesnou hodnotu napětí potřebnou k porušení nebo přetržení materiálu. [4][5][6] Více v odstavci věnovanému tahové zkoušce.

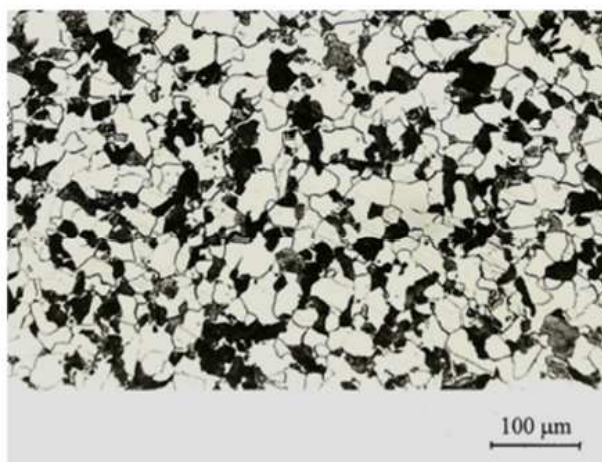
Pevnost materiálu je v konstrukčním využití materiálů nejdůležitější vlastností. S ohledem na její velikost je možné dané materiály správně použít při konstrukci větších celků. Jedná se zde o vhodné použití pro konkrétní potřeby konstrukce s ohledem na pevnost a zároveň optimalizaci ceny výrobku na základě vhodně zvolených materiálů a konstrukce. Celkově vzato nám pevnost materiálu udává, jak velkému zatížení můžeme součást vystavit, aby její doba použitelnosti byla co nejdelší.

4.1.1.4 Houževnatost

Schopnost daného materiálu zůstat při zátěži celistvým, tedy dostatečně pevným, při současném zachování jeho tvárnosti. Tato vlastnost se dá také vyjádřit jako mechanická energie, která je potřebná pro plastickou deformaci materiálu. Toto kritérium je dále používáno jako měřítko houževnatosti materiálů. [4][5][6] Pro konstrukční využití je využívána především odolnost vůči křehkému lomu.

Ve firmě Kadlec s.r.o. se proto dbá na správné užití materiálů zejména pro tváření za studena, kdy se vlivem velkých tvářecích sil přesouvá materiál v polotovaru za účelem dosažení požadovaného tvaru výsledného výrobku. Tyto síly jsou o to větší, čím větší je houževnatost materiálu, která je dána pevností vazeb krystalů uvnitř tvářeného materiálu. U ocelí platí pravidlo, čím jemnější struktura (viz obr. 8), tím větší houževnatost materiálu. [7] Díky použití správného materiálu a vhodné technologie pro tváření lze předejít znehodnocení jak samotného polotovaru vlivem popraskání v tvářených plochách, či případnému zničení nástroje, jež nebyl dimenzován na tak velké silové zatížení a v neposlední řadě i poruše nebo dokonce znehodnocení pohyblivých částí stroje.

Obrázek 8 Příklad jemnozrnné struktury oceli



Zdroj: http://docplayer.cz/storage/25/6568795/1521292241/kMGAha4f_VL3goSOhQb5gA/6568795.pdf [7]

4.1.1.5 Pružnost

Vyjadřuje odolnost materiálu vůči vnějším silám působícím před vznikem trvalých plastických deformací, se pružně deformovat. Na první pohled se může zdát, že vlivem zatěžujících sil materiál mění svůj objem. Ovšem po odlehčení se materiál vrátí do svého původního tvaru před působením vnějších zatěžujících sil (*viz odpružení na obr. 14*). Celý tento proces je zcela vratný, pokud během působení vnějších zatěžujících sil není překonána mez napětí materiálu rovna mezi elasticity. Po překročení této meze v materiálu vznikají trvalé plastické deformace. Pružnost jednotlivých materiálů lze posuzovat pomocí modulu pružnosti E , jež má pro každý materiál jinou hodnotu. [5][6] Největší problém v oblasti pružných deformací nastává ve výrobě Kadlec při operaci ohýbání, resp. ohraňování a operaci zakružování plechů, kdy je potřeba s tímto faktorem počítat již při tvorbě výrobního postupu pracovníky technické přípravy výroby, kteří přesně stanoví výsledný úhel, rádius přetočení tak, aby po výsledném odpružení měl polotovar požadovaný tvar dle výkresové dokumentace.

4.1.1.6 Zkoušky mechanických vlastností

Ke zjištění důležitých informací o materiálu slouží materiálový list dodávaný spolu s hutním polotovarem, ovšem pro ověření těchto údajů nebo následnou identifikaci materiálu nám slouží právě zkoušky mechanických vlastností materiálu. Jak již bylo uvedeno,

můžeme zkoušky mechanických vlastností rozdělit do několika skupin. Například na zkoušky statické, kde dochází k lineárnímu nárůstu zatěžující síly nebo dynamické, kde se působení zatěžujících sil omezí na zlomky vteřin. [5][6]

Oproti tomu zkoušky tvrdosti také nazývané jako vnikací, jsou založené na vtláčování zkušebních tělísek do zkoumaného materiálu. Následně jsou tyto průniky do měřeného materiálu vyhodnocovány sérií standardizovaných postupů, z jejichž výsledků je určena tvrdost materiálu, na základě které lze odhadnout některé z dalších mechanických vlastností. [4]

Zkoušky mechanických vlastností lze provádět na zkušebních vzorcích nebo v případě měření tvrdosti povrchu polotovaru po kalení přímo na povrchu kaleného dílu mimo budoucí funkční plochu. Zkušební vzorky vyráběné ze zkoumaného materiálu, například pro statickou zkoušku tahem, musí mít přesně stanovené rozměry dle normy ČSN EN ISO 6892-1. Ve většině případů tak mají zkoušené vzorky tvar tyče. A jelikož je převážná část zkoušek mechanických vlastností destruktivní, tak je výsledkem měření popis poškození nebo výpočtem vyčíslené hodnoty vycházející z měření průběhů zkoušek. Konkrétní rozměry zkušebních vzorků pro konkrétní zkoušky je třeba hledat v příslušných normách v odborné literatuře. [4][5][6]

4.1.1.7 Statická zkouška tahem dle ČSN EN ISO 6892-1 (420310)

Jedná se o jednu ze základních statických zkoušek, jejíž přesný průběh včetně tvorby a přípravy polotovaru je přesně popsán v normě ČSN EN ISO 6892-1. Tato zkouška je prováděna na univerzálním statickém trhacím stroji, kdy je zkušební vzorek upnut ve zkušebním stroji. Vzorek je v univerzálním trhacím stroji zatěžován tahovou silou způsobenou konstantní rychlostí posuvu příčnicku do přerušení vzorku. Data získaná na základě provedení této zkoušky se dále používají pro výpočty vlastností materiálu, které jsou podstatné pro určení vhodnosti materiálu. Ve Firmě Kadlec s.r.o. by mohla sloužit ke zjištění materiálových vlastností v případech náhlých problémů s materiálem při tváření za studena např. praskání při ohybu. Zkušební vzorek by pak byl zhotoven pomocí laserové dělicí technologie přímo z dodaného materiálu a pomocí jemného frézování obroben na

„funkčních“ plochách dle příslušné normy ČSN EN ISO 6892. Takto zhotovený zkušební vzorek by byl odeslán k externímu vyhodnocení.

Pevnost v tahu R_m

Je hodnotou maximálního smluvního napětí, jež je označována jako pevnost v tahu [5], kterou lze matematicky vyjádřit jako poměr největší hodnoty zatěžující síly k původnímu průřezu zkušební vzorku:

$$R_m = \frac{F_{max}}{S_0} \text{ (MPa)} \quad (5.1)$$

Poměrné prodloužení

Je dáno poměrem původní délky k prostému prodloužení vzorku[4] a udává se v procentech:

$$A = \frac{l-l_0}{l_0} * 100 = \frac{\Delta l}{l_0} * 100 \text{ (\%)} \quad (5.2)$$

Kontrakce materiálu

Neboli tvorba krčku je zúžení původního průřezu zkušební vzorku k hodnotě původního průřezu [5], je též vyjádřena v procentech:

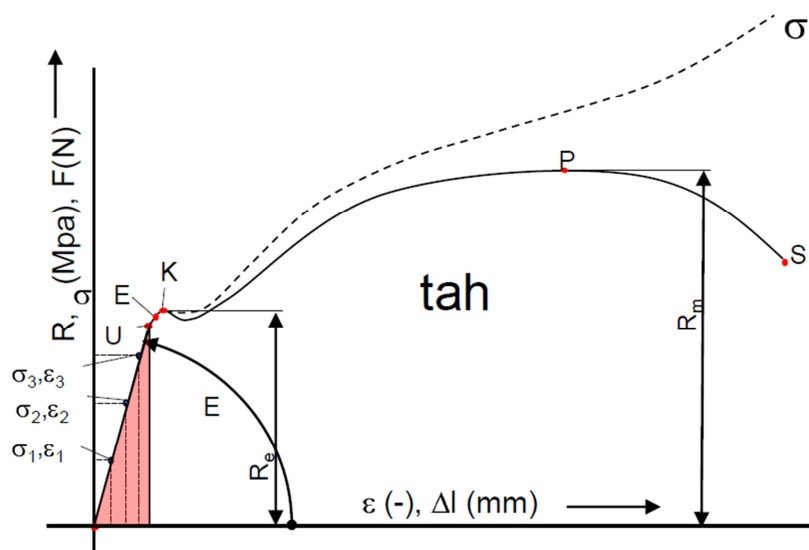
$$Z = \frac{S_0 - S_u}{S_0} * 100 = \frac{\Delta S}{S_0} * 100 \text{ (\%)} \quad (5.3)$$

Průběh celé tahové zkoušky je zaznamenáván v dnešní době již plně elektronicky do pracovního diagramu (*viz obr. 9*). Registrační diagram jasně ukazuje závislost zatěžující síly F na rostoucím prodloužení zkušební vzorku Δl , resp. pracovní diagram závislost rostoucího smluvního napětí R na poměrném prodloužení ϵ . Tvar křivky v grafu je závislý na tvaru zkušební vzorku a zkoušeného materiálu. Například pro houževnatější konstrukční ocel by byl graf více strmý s menším prodloužením Δl a poměrným prodloužením ϵ a méně výraznou mezí kluzu. Pro litinu by pak graf končil již v bodě U , kdy by vzorek praskl.

Z počátku souřadného systému na (*obr. 9*) až do bodu U je přímá závislost mezi rostoucí deformací vzorku a vzrůstající zatěžující silou. V této oblasti platí Hookeův zákon popisující průběh pružné deformace vlivem zatěžující síly, která po odlehčení zmizí. Nad bodem úměrnosti U následuje bod elasticity E , po který až platí pružné deformace bez tvorby

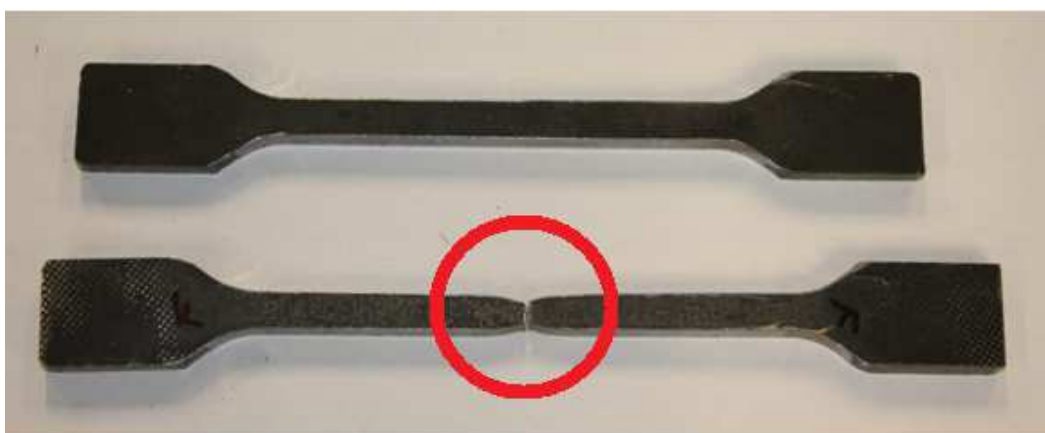
trvalých deformací. V bodě *K*, označovaném jako mez kluzu, dochází k plastickým deformacím, aniž by došlo ke zvýšení zatěžování. V tuto chvíli se začne na zkušební vzorku tvořit krček patrný na (obr. 10). Napětí začne dále růst až do bodu *P*, jenž reprezentuje největší napětí značené jako *R_m*, jímž je mez pevnosti v tahu. *R_m* představuje maximální hodnotu zatížení, které dokáže zkoušený materiál unést. Od tohoto bodu začíná napětí ve zkušební vzorku klesat a dotváří se plastické deformace do doby, než se průřez vzorku ztenčí na kritickou mez a vzorek v bodě *S* praskne. [4][5][6]

Obrázek 9 Pracovní diagram tahové zkoušky pro měkkou uhlíkovou ocel



Zdroj: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/uploads/images/20872/U58AAAAASUV.png>[8]

Obrázek 10 Zkušební vzorek shora před zkouškou, po zkoušce (v kroužku krček)



Zdroj: Kadlec s.r.o.

4.1.1.8 Zkouška ohybem

Své uplatnění nachází při hodnocení materiálů používaných pro ohýbání a při hodnocení svarových či pájených spojů. U houževnatých materiálů, u kterých nehrozí po ohybu porušení, se zkouška z pravidla neprovádí.

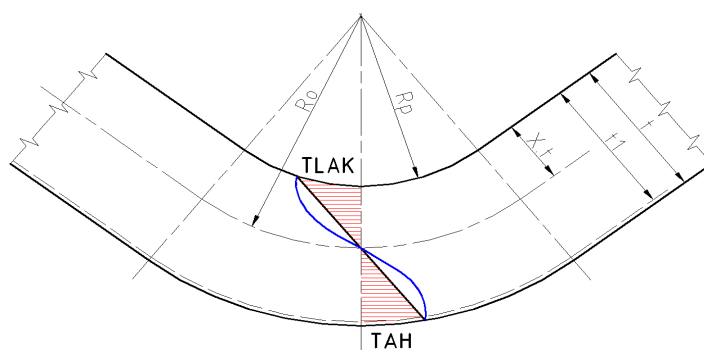
Ve výsledku není zatížení v celém materiálu rovnoměrně rozložené. V okolí osy materiálu toto napětí dosahuje téměř nulových hodnot, oproti tomu v krajních vláknech toto zatížení dosahuje svých maxim. Spojnice bodů s nulovým zatížením je neutrální osa (viz obr. 11) a její poloha je závislá na tloušťce ohýbaného materiálu a zvoleném rádiu ohybu. Díky tomu je posunutí neutrální osy vůči ose materiálu variabilní a je ho nutné pro výpočet rozvinutých délek ohýbaných dílů počítat pro každou tloušťku materiálu a dané rádiu ohybů znovu.

Znalost výpočtu rozvinutého tvaru ohýbaného dílu je ve firmě Kadlec s.r.o. jedna z nejdůležitějších z hlediska výroby. V této firmě se s rozvinutými díly pracuje na NC stáčeče plechů, ohraňovacích, hydraulických a výstředníkových lisech. S ohledem na veliké hodnoty rádiu ohybu je tato zkouška pro společnost Kadlec s.r.o. méně podstatná a provádí se pouze v případě náhlých problémů při výrobě nebo malých poloměrech ohybu vůči tloušťce materiálu.

Zkouška se provádí dle ČSN 42 0361 na zkušební tyči, která je mezi dvěma podporami zatížena přesně uprostřed, kdy se velikost zátěže plynule zvyšuje až do porušení zkušební tyče. Na základě této zkoušky se zjišťuje pevnost v ohybu R_{mo} a průhyb zkoušené tyče. Pevnost v ohybu rovnající se napětí v krajním vlákne při maximálním zatížení pak můžeme spočítat jako podíl maximálního ohybového momentu k modulu průřezu v ohybu. [5]

$$R_{mo} = \frac{M_o \max}{w_o} \text{ (MPa)} \quad (5.4)$$

Obrázek 11 Rozložení a velikost napětí v materiálu



4.1.1.9 Zkouška stříhem

Většina strojních součástí není zatížena pouze jedním druhem namáhání, ale naopak kombinací smykových a normálových napětí. V případě lícovaných šroubů, nýtů, per a klínů převládá smykové napětí nad ostatními, a proto je vhodné ověřovat jejich schopnost právě vůči smykovému namáhání. Dosažení ideálního smyku je téměř nemožné, jelikož vždy díky střížné vůli a plastickým deformacím při začátku stříhu dochází nejprve k ohybu a následně ke stříhu. U zkoušky stříhem se nejedná o zcela běžnou zkoušku. Je vykonávána ve střížných přípravcích na univerzálních zkušebních strojích. [5][6] Výsledná pevnost ve stříhu se posuzuje s výsledkem empirického vztahu:

$$R_{ms} = (0,8 - 1,0) * R_m \text{ (MPa)} \quad (5.5)$$

Tento empirický vztah je velmi zásadním vztahem pro výpočet střížné síly. Ve firmě Kadlec s.r.o. je užíván především k rozhodování, na jaké tonáži výstředníkového lisu bude prováděno stříhání nebo děrování.

4.1.1.10 Zkouška krutem

Cílem zkoušky je se co nejvíce přiblížit namáhání, které odpovídá reálnému namáhání materiálu součástí při běžném provozu. Dle ČSN ISO 7800 se zkušební tyč kruhového průřezu upne mezi pohyblivou a nepohyblivou čelist speciálního stroje, kde je pomocí pohyblivé čelisti zatížena kroutícím momentem. Během zkoušky se zaznamenává počet otáček otočných čelistí do porušení materiálu, ten je pak porovnáván s počtem otáček uvedeným v tabulkách pro daný materiál. Na základě výsledků zkoušky se stanovuje pevnost v krutu a

modul pružnosti ve smyku. Dále je při zkoušce možné určit poměrné zkroucení na jednotku délky tyče viz vzorec (5.7) [5][6]

Pevnost v krutu R_{mk}

Odpovídá největšímu napětí povrchových vláken R_{max} zkušební tyče viz vzorec (5.6)

$$R_{mk} = \frac{M_k \max}{W_k} \text{ (MPa)} \quad (5.6)$$

Poměrné zkroucení ν

$$\nu = \frac{\varphi}{L} \quad (5.7)$$

Tato zkouška je ve firmě Kadlec s.r.o. zcela výjimečná a je prováděna výslovně na přání zákazníka při zavádění nové modelové řady do výroby (například kontrola modulu podvozku krmného vozu).

4.1.2 Zjišťování kvality povrchu

Povrch je nejsvrchnější vrstva, která obaluje každý materiál. Kvalitu povrchu výrazně ovlivňují povrchové a podpovrchové vrstvy. Ve více než 90% objemu provozních lomů je v současné době tvořeno únavovým poškozením. Tato poškození v největší míře vznikají právě z povrchových vad. Při přenesení tohoto problému na bramové plechy používané jako vstupní polotovar ve firmě Kadlec s.r.o. můžeme mluvit o povrchových vadách vznikajících již v průběhu válcování bramy na požadovaný formát plechu. V souvislosti s mechanickým zatížením povrchu jsou horní vrstvy materiálu ohřátého na tvářecí teplotu natahovány a povrchové vrstvy se v tu chvíli plasticky prodlužují. Při postupném chladnutí je naopak děj opačný a povrchové vrstvy, včetně celého objemu, se smršťují. Toto smrštění vyvolává v materiálu pnutí, které může být zvýšené při nedodržení teplot nutných ke strukturním změnám. Na základě těchto skutečností se mohou na povrchu tvořit nové povrchové vady ve formě prasklin povrchu.[9] Správné určení kvality povrchu plechu je v současné době u velkoformátových pohledových dílů ve firmě Kadlec největším a nejzávažnějším problémem.

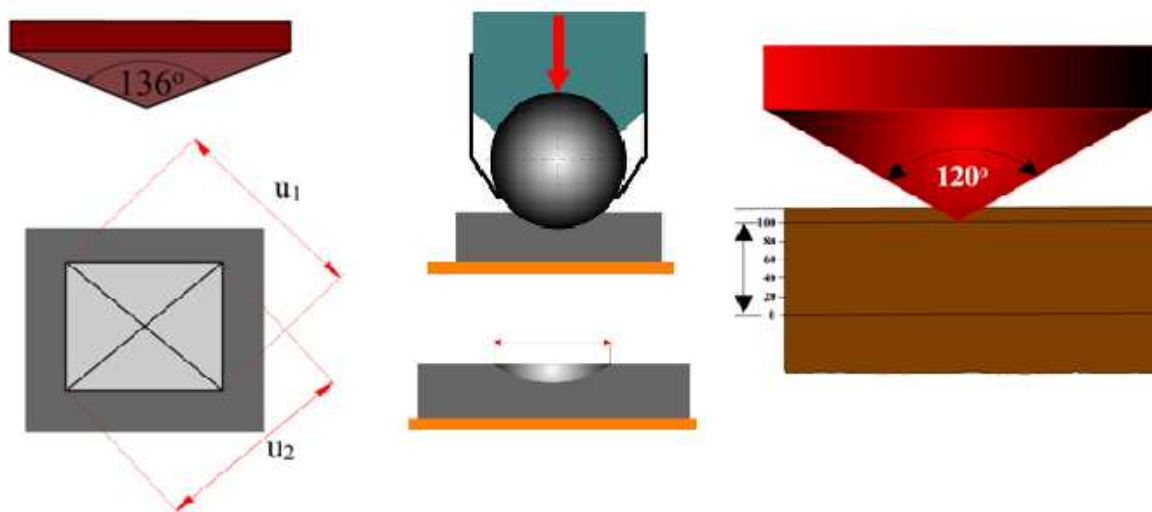
4.1.2.1 Tvrдость a její měření

Definicí tvrdosti je vlastnost materiálu odolávat vnikání cizích těles do povrchu zkoušeného dílu. Tvrдость se poté posuzuje podle vtisku, jaký zanechalo zkušební tělísko

vtlačované do zkoumaného materiálu. Zkušební tělíska mají své specifické tvary (kulička, kužel, jehlan viz obr. 12) a jejich použití záleží na vlastnostech zkoumaného materiálu. Tato tělíska musí být vyrobena z dostatečně tvrdých materiálů, jako jsou kalená ocel, slinuté karbidy nebo diamant. Tato tělíska se umístí jako hrot do zkušebního zařízení a za pomoci předepsaných postupů a sil jsou vtlačována do zkoumaného materiálu. Předností tohoto měření je velká rychlost, při porovnání s ostatními mechanickými zkouškami nedochází k destrukci zkoumaného dílu a lze ho použít na vyrobené díly. Pro tyto výhody jsou zkoušky tvrdosti hojně používány v provozně laboratorních podmínkách. [5][6]

V Kadlec s.r.o. by mohla být zkouška tvrdosti zařazena do procesu naskladňování nových plechů, kdy by vlastní měření měli, po krátkém zaškolení, na starosti pracovníci kontroly. S ohledem na rychlost provedení a nejnižší nákladovost by bylo vhodné provádět tuto zkoušku pomocí Poldi kladívka. V případě využití Brinellovy zkoušky, by bylo v případě velkoformátových plechů třeba vytvářet zkušební vzorky, kdežto za použití Poldi kladívka, by byla zkouška provedena přímo na přijatém plechu.

Obrázek 12 Tvar vnikacích tělísek zleva Vickers, Brinell, Rockwell



Brinellova zkouška tvrdosti

Při zkoušce prováděné dle ČSN EN ISO 6506-1 se do zkoušeného materiálu vtlačuje předepsanou silou ocelová kalená kulička. Výsledkem zkoušky je změření průměru vtisku na zkoušeném dílu a následný orientační výpočet pomocí přibližného vzorce (5.8).

$$HB = \frac{0,4 * F}{\pi * d^2} - 10 \quad (5.8)$$

Výsledná tvrdost vychází v napěťovém tvaru, ale používá se jako bezrozměrné číslo. Pro Brinellovu zkoušku tvrdosti se používají kuličky průměrů $D = 10; 5; 2,5; 2$ a 1mm s použitím do tvrdosti 400HB kalená ocel, 400-450 slinuté karbidy, pro tvrdosti nad 450HB již není použití měření tvrdosti podle Brinella vhodné. [5][6]

4.1.2.2 Drsnost povrchu

Během výroby nabývají strojní součásti a polotovary svých požadovaných rozměrů různými technologiemi. Každá z technologií však zanechává na povrchu dílu či polotovaru stopy, jako například nerovnosti po řezných a brusných nástrojích, v tomto případě otisky válců z válcových tratí pro výrobu velkoformátových plechů běžně používaných firmou Kadlec s.r.o. ve výrobě. Při posuzování kvality povrchu se často mluví o nedokonalosti a struktuře povrchu.

Nedokonalost – vada povrchu vzniká během výrobního procesu, jako jsou například rýhy, koroze, trhliny, nedokonalosti se v hodnocení struktury povrchu nezohledňují.

Struktura povrchu – členěná na složky v závislosti na velikostech roztečí mezi nerovnostmi. Drsnost povrchu je složkou, jež obsahuje nejmenší rozteče nerovností, oproti tomu vlnitost povrchu představuje složku s největší roztečí nerovností a určuje jí základní profil. [6][10]

4.1.3 Vliv jakosti povrchu polotovaru na výrobek

Jakost povrchu je definována jako stav povrchu se svými charakteristickými vlastnostmi (drsnost povrchu, celistvost, pórovitost apod.). Obecně platí, že jakost povrchu pro za tepla válcované plechy musí splňovat požadavky podle ČSN EN 10163-2, která určuje přípustný rozsah nedokonalostí a vad a přípustné postupy při jejich odstraňování. U pohledových dílů, které jsou povrchově upravovány (lakováním, zinkováním, chromováním a dalšími) kopíruje povrchová vrstva tvar a drsnost základního materiálu na který je nanášena.

V případě firmy Kadlec s.r.o. vyrábějící části zemědělské techniky nejsou nároky na výslednou povrchovou úpravu tak vysoké jako např. v případě automobilového průmyslu,

který však používá převážně plechy válcované za studena s přesně definovanou texturou povrchu. Zákazníky požadovaná kvalita povrchu dodávaných lakovaných dílů dnes odpovídá běžnému standardu povrchových úprav, se kterými se setkáváme i v ostatních průmyslových odvětvích (např. automobilový průmysl, nábytkářství apod.). Na stranu druhou požadavky na cílovou cenu, za kterou zákazníci tuto kvalitu povrchu chtějí dostat, jsou s ohledem na vyráběná množství dílů nereálné.

4.1.3.1 Vliv jakosti opracování na výslednou povrchovou úpravu

Jak bylo zmíněno, kvalita povrchu použitého polotovaru je zásadní pro výslednou jakost povrchů finálních lakovaných dílů. To znamená, že nesourodý povrch základního materiálu krmného vozu zákonitě determinuje vlastnosti povrchu finálního laku. Ač jsou krmné vozy určeny právě pro zemědělství, je i zde kladen velký důraz na co možná nejkvalitnější povrch výsledného laku. Kvalitním lakem se rozumí vysoký bezvadný lesk dílu po nalakování, stálobarevnost laku i na slunci, odolnost působení okolního prostředí apod. Nejedná se o takové požadavky jako u plechů válcovaných za studena používaných například v automobilovém průmyslu, kdy ve velké míře odpadají problémy s rozdílnou kvalitou povrchu právě díky válcování za studena, při kterém nevznikají okuje.

V případě velkoformátových bramových plechů používaných v Kadlec s.r.o. jsou velkým problémem právě zmiňované okuje vznikající během válcování. Při výrobě kvalitních plechů je dbáno na včasné odstranění okují, které se snadno odstraní již během vlastního válcování v ocelárně, takže výsledný polotovar si s sebou nese pouze negativ válců z válcovací tratě. Oproti tomu u plechů horší kvality jsou okuje zaválcované přímo do plechu, ze kterého jsou velmi špatně odstranitelné. K jejich oddělení od plechu je potřeba zvolit vhodnou technologii k odstranění povrchových nečistot, kterou je v případě firmy Kadlec s.r.o. tryskání.

Tryskání je abrazivní obráběcí technologií, kdy jsou abrazivní částice vrhány velkou rychlostí na otryskávaný povrch a tím zbavují povrch nečistot. V Kadlec s.r.o. se využívá systém tlakovoddušného tryskání s ocelovými broky. Jedná se o technologii, kdy je do proudu tlakového vzduchu přimícháváno abrazivum, které je tlakem plynů vrháno na čištěný povrch. Pro tuto technologii je tedy nezbytným pracovním médiem stlačený vzduch, který je třeba

důkladně čistit a odstraňovat z něho vlhkost, právě pro eliminaci následné koroze. Ovšem tento vzduch je pak dále dodatečně čištěn a upravován pro použití v dýchacím zařízení pracovníka. [11][12] Ač se to zprvu nemusí zdát, je tryskání velmi nákladnou technologií právě díky nutnosti výroby stlačeného vzduchu, podle zpřísněných parametrů.

Bohužel před tryskáním skutečná jakost povrchu plechu není zcela zřejmá, a tak je nutné povrch polotovaru před vlastním lakováním tmelit a brousit. Ovšem ne zcela vždy se pracovníkům povrchové úpravy podaří na otryskaném povrchu objevit všechna vadná místa, která pak neopravená zvýrazní finální lakovaná vrstva. V tuto chvíli jsou náklady na opravu špatné jakosti nejvyšší. Plochy se špatným povrchem jsou broušeny pro odstranění laku, tmeleny, broušeny za účelem dosažení požadovaného povrchu a opět lakovány. Jak již bylo několikrát zmiňováno v případě Solomixů je používáno speciální dvousložkové základní i krycí barvy, kde se proces následné opravy jakosti oproti použití nitro barvy prodražuje na dvojnásobek.

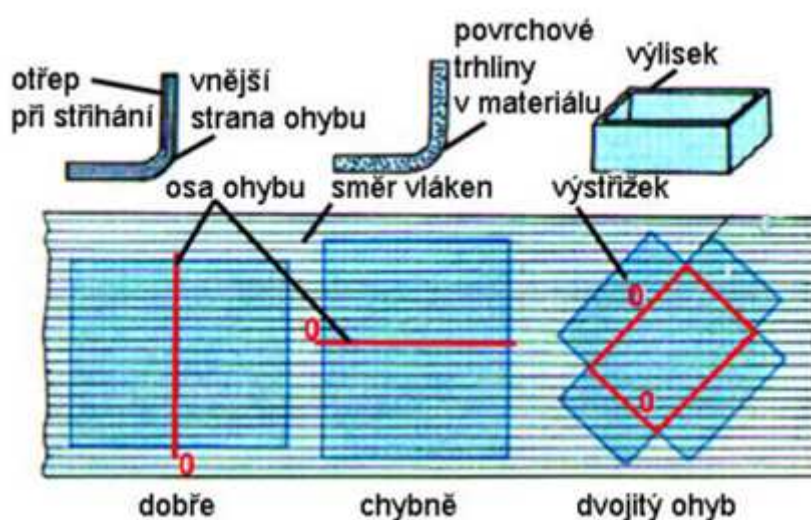
4.1.3.2 Vliv tvarové přesnosti polotovarů na výsledný produkt

Jak již bylo zmíněno výše, výsledný tvar získávají polotovary z velkoformátového Bramového plechu na CNC dělicím plasmovém centru. Ovšem velkoformátové plechy vlivem svých výrobních tolerancí vnášejí do výroby další problémy. Pro firmu Kadlec s.r.o. jsou to zejména tolerance tloušťky materiálu, které jsou výrobcem dle normy převážně dodrženy. Ve valné většině dílů vypálených z těchto plechů následuje jako další operace tváření za studena, ať již stáčení na NC válcové stáčečce plechů či ohýbání na ohraňovacích, hydraulických nebo výstředníkových lisech. Ve všech případech dochází při ohybu materiálu k čárovému styku nástroje s ohýbaným plechem, kdy nám rozdílná tloušťka plechu v celé délce ohybu způsobuje rozdílné hodnoty výsledného úhlu ohnutí a rádiusu zatočení. Tato skutečnost má za následek nutnost dohýbání, rovnání zvlněné části dílu vlivem různých tloušťek v celé délce ohybu, či dokonce úpravu technologického postupu pro konkrétní díl.

Dalším významným parametrem pro následné ohýbání je pak poloha osy ohybu vůči vláknům vzniklým při válcování plechů viz (*obr. 13*). Vhodné umístění polotovaru v pálicím plánu eliminuje vznik trhlin na vnější straně ohybu, zjednodušuje vlastní ohýbání díky stejné velikosti napětí v materiálu při ohýbání, a tím je velikost odpružení materiálu způsobená

pružnými deformacemi relativně stejná. Veškerá další manipulace nutná k výrobě požadovaného tvaru je nežádoucí, ať již z časového či ekonomického úhlu pohledu. Časová stránka věci je v Kadlec s.r.o. sledována z důvodu časové průchodnosti dílu výrobou, a tím vhodného rozplánování výroby od prvotního nákupu polotovaru po konečnou expedici dílu k zákazníkovi. Ekonomická stránka má vliv na výslednou cenu dílu, u které je v rámci konkurenceschopnosti firmy snaha o její co nejmenší hodnotu se zachováním požadovaného zisku.[13][14]

Obrázek 13 Vliv směru válcování na ohýbání



Zdroj: https://www.moodle-trebesin.cz/pluginfile.php/9815/mod_resource/content/0/3.

Ohýbání.pdf [13]

4.1.3.3 Mechanické vlastnosti a jejich vliv na výrobu

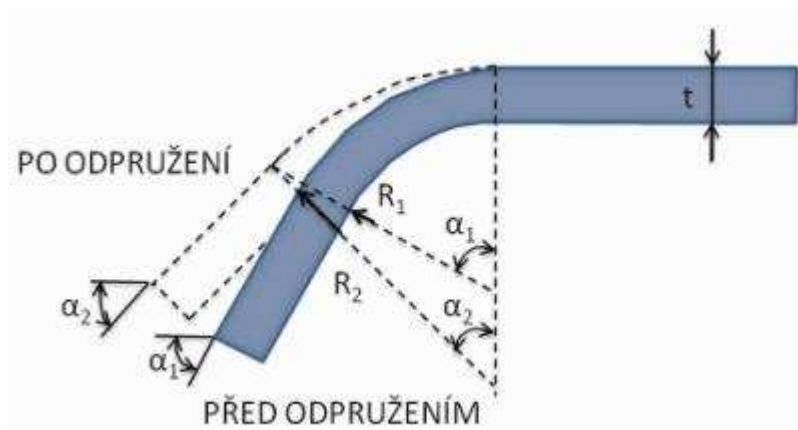
Převážnou produkcí firmy Kadlec s.r.o. jsou svařované sestavy dílů skládající se z 80 % plechových dílů pálených z ocelových plechů na plasmovém či laserovém CNC pálicím stroji, které jsou dále ve většině případů tvářeny za studena a následně svářeny do celků.

Během již zmiňovaného tváření jsou polotovary ohýbány do požadovaných tvarů. Tyto ohyby vznikají díky trvalým plastickým deformacím materiálu způsobeným prací lisů. Kdy jsou vnější vlákna natahována a vnitřní stlačována. Namáhání ohýbaného materiálu je patrné na (obr. 11). Ovšem nelze zapomenout na pružné deformace, které při ohýbání působí a vznikají jako první. Právě pružné deformace jsou při dosahování přesných rozměrů ohýbaných dílů nejvíce nežádoucí, mají za následek následné odpružení materiálu. Toto

odpružení závisící na parametrech nástroje, úhlu ohybu a tvárnosti materiálu je vidět na (obr. 14). [6][15] Lze ho odstranit:

- úpravou geometrie nástroje – což je velmi nákladné a ne vždy vhodné řešení
- přehnutím ohybu o úhel odpružení – metoda, kterou lze využít v praxi přímo na stroji, ovšem je závislá na zkušenosti a kvalifikovanosti obsluhy
- dohnutím materiálu – při vlastním průběhu ohybu se nastaví v závěrečné fázi chodu nástroje větší síla, kterou se do místa ohybu vnesou větší plastické deformace a odpružení materiálu se tím eliminuje částečně nebo úplně [15]

Obrázek 14 Odpružení materiálu



Zdroj: <https://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-odpruzeni-v-plosnem-tvareni.html> [15]

4.2 Možnosti firmy Kadlec s.r.o. v měření technických parametrů plechů

Z výše uvedených a popsanych zkoušek materiálu, byly v následujících podkapitolách vybrány ty, které jsou v této firmě proveditelné a na základě jejichž výsledků je možná alespoň určitá predikce výskytu povrchových vad materiálu.

4.2.1 Měření tvrdosti povrchu

Jak již bylo řečeno v kapitole 4.1.2.1, zkoušky tvrdosti slouží k měření velikosti odporu materiálu vůči vniknutí cizího tělesa. Pokud tuto vlastnost aplikujeme na již zhotovený velkoformátový bramový plech, který je základem výroby ve firmě Kadlec s.r.o. tak za

předpokladu, že tento plech disponuje ekvivalentní povrchovou tvrdostí již při výrobě lze usuzovat, že by procento zaválcovaných okujů mohlo být vyšší nebo nižší v závislosti na výsledné povrchové tvrdosti již finálního polotovaru. V tomto případě by bylo vhodné u vstupních plechů provádět zkoušky povrchové tvrdosti, porovnávat je s příslušným materiálovým listem (*viz. příloha 1*) a na základě výsledku zkoušky vydávat nařízení týkající se zvýšení kontroly obrokovaného dílu před finální povrchovou kontrolou.[5][6]

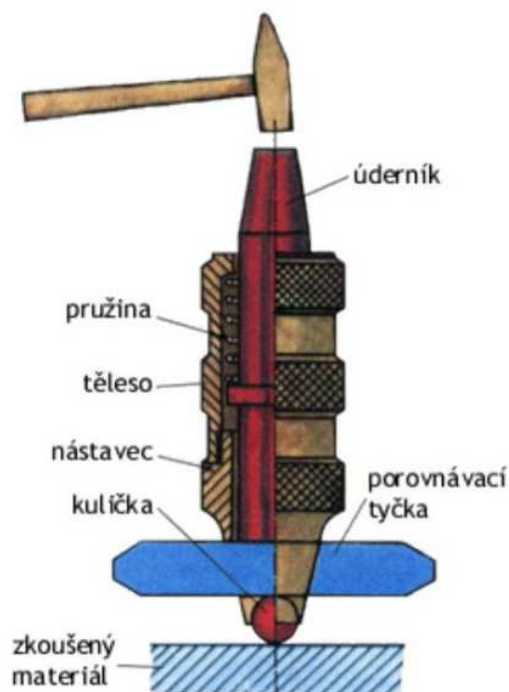
Jako vhodné zkoušky tvrdosti se pro nejběžněji používané „teplé“ plechy z ocelí tříd 11373 a 11523 ve firmě Kadlec s.r.o. jeví statická Brinellova zkouška tvrdosti, která jako vnikací tělísko používá kuličku. Jak již bylo vysvětleno v předcházející kapitole, tato zkouška je vhodná pro měkčí materiály, kterými oceli 11373 a 11523 jsou. Ovšem pro tuto zkoušku je třeba v případě krmného vozu třeba zhotovit zkušební vzorek, jelikož plášť tohoto vozu, pro který by zkouška byla prováděna, má příliš velké rozměry v řádu tisíců milimetrů, nebylo by ho možné umístit do zkušebního zařízení a bylo by nutné tvořit pro tuto zkoušku zkušební vzorky.

Další vhodnou zkouškou se proto nabízí využití dynamické zkoušky tvrdosti pomocí Poldi kladívka. Tato metoda se vyznačuje svou velkou rychlostí, je oproti statickým metodám méně přesná, ale pro dílenské měření tvrdosti zcela postačující a efektivní. Poldi kladívko (*viz obr. 15*) využívá k měření povrchové tvrdosti porovnávací metodu. Zkouška probíhá tak, že je do Poldi kladívka vložena porovnávací tyčka o předem známé tvrdosti, takto připravené kladívko je přiloženo ke zkoušenému materiálu v případě Kadlec s.r.o. lze mluvit přímo o tabuli plechu, která by měla v místě zkoušky ležet na pevné podložce. Poldi kladívko bude přiloženo kolmo na zkoušený materiál a na úderník se udeří běžným kladivem. Ve stejnou chvíli, kdy se zkušební tělísko otiskne do zkoušeného materiálu, zanechá vtisk i v materiálu porovnávací tyčky. Velikosti těchto vtisků se pak porovnají a výsledkem zkoušky je pak resumé, zda je zkoušený materiál tvrdší nebo měkčí než materiál zkušební tyčky. Výhodou této zkoušky je nízká finanční náročnost, co se týče pořizovacích nákladů a velká rychlost provedení.

Obě tyto zkoušky tvrdosti lze ve firmě Kadlec s.r.o. aplikovat bez větších obtíží. Ovšem v případě použití Brinellovi zkoušky by se pro firmu jednalo o větší pořizovací náklady za

zkušební stroj spolu s vybavením a nutnost zřízení pracovního místa věnovaného této zkoušce.

Obrázek 15 Poldi kladívko



Zdroj: <http://www.proinex.cz/en/101-poldi-kladivko.html> [16]

4.2.2 Tahová zkouška

S ohledem na zakružování plášťů krmných vozů na NC stáčečce na obr. 2 a ohýbání na ohraňovacích lisech je třeba znát konkrétní mechanické vlastnosti stáčeného materiálu kvůli velikosti odpružení a správné velikosti nastavení přitlačné síly válců. Materiálový list (viz. příloha č. 1) poskytne potřebné informace, ale bohužel neudá žádné informace o současném stavu konkrétního materiálu. Tímto stavem je takzvané „vystárnutí“ materiálu, které má za následek změnu původních mechanických vlastností [17] dodaných plechů do Kadlec s.r.o. Velikost těchto změn si může firma nechat zjistit za pomoci použití tahové zkoušky, jež byla podrobně vysvětlena v kapitole 4.1.1.7. Jak bylo zmiňováno výše, pro tahovou zkoušku je nutným vybavením drahé univerzální zkušební zařízení. Z tohoto důvodu by bylo možné zkoušku do procesu příjmu materiálu zahrnout pouze jako externí vyhodnocení dodaného vzorku. Zkušební vzorek by byl odebírán přímo z dodaných plechů pomocí CNC plasmového nebo laserového dělicího stroje, který by měl „funkční plochy“ následně obrobena jemným

frézováním na rozměry požadované normou ČSN EN ISO 6892. Na základě výsledků tahové zkoušky se může ve firmě Kadlec s.r.o. rozhodnout o vhodnosti zkoumaného plechu k tváření za studena zastoupeného NC zakružovačkou plechů a NC ohranovacími lisy. Speciálně u ohranovacích lisů budou tyto informace znamenat základ k nutným korekcím ohýbacích sil a dalších parametrů pro dodržení předepsané geometrie ohybů na výkresech.

4.2.3 Měření drsnosti povrchu

Právě drsnost a stav povrchu je jednou z nejdůležitějších veličin a měla by být jedním z nejpečlivěji sledovaných parametrů u dodávaných plechů do firmy Kadlec s.r.o. Důvodem k pečlivému sledování povrchu plechů je požadavek zákazníka dodávat základní polotovary krmných vozů s bezvadnou vrstvou vrchního laku, kde je požadována určitá jakost této povrchové vrstvy. Jak již bylo uvedeno výše, je do firmy Kadlec s.r.o. za tímto účelem dodávána speciální dvousložková vrchní barva přímo od zákazníka.

K měření drsnosti povrchu slouží drsnoměry (viz obr. 16), jejich konstrukce, mobilita, použitelnost, kvalita a v neposlední řadě i výrobce určují výši ekonomické náročnosti na jejich pořízení. V současné době se pořizovací náklady na drsnoměry pohybují v rozmezí desítek tisíc až v řádu několika set tisíc korun. Záleží na konkrétním drsnoměru, jeho provedení a využití.

Přihlédne-li se k plošným parametrům plášťů krmných vozů vyráběných firmou Kadlec s.r.o. a k možným velikostem plošných vad povrchu, pak se jeví lokální měření plechů pomocí drsnoměrů s pracovním rozsahem v řádu pár desítek milimetrů prováděné pouze v jednom místě jako zcela zbytečné. Pro efektivní měření povrchu s takovýmto přístrojem by bylo třeba stanovit speciální postup, kdy by se za pomoci vyššího počtu měření pro jeden kus, stanovovala drsnost povrchu daného plechu. Tento postup měření povrchové drsnosti by mohl sloužit pro statistické vyhodnocení dodávek plechů od jednotlivých dodavatelských firem. Na základě této evidence by bylo možné posuzovat rozdíly jakosti povrchu mezi jednotlivými dodávkami firem a následně tak určit, zda z dlouhodobějšího hlediska dochází k zlepšování či zhoršování kvality povrchu dodávaných plechů.

Jako efektivní řešení současné situace s kvalitou povrchu by se dalo použít zavedení 100% kontroly pohledových částí krmného vozu. Ovšem jak bylo zmíněno výše, rozpoznat

povrchové vady na otryskaném povrchu je velmi obtížné a toto hodnocení povrchu by bylo velmi subjektivním hodnocením.

Obrázek 16 Mobilní drsnoměr Elcometer7062 MarSurfPS10



Zdroj: <http://www.elcometer.com/images/stories/SurfacePreparation/SurfaceRoughness/Elcometer-7062-Surface-Roughness-Tester.jpg> [18]

4.2.4 Zavedení evidence jakosti povrchu plechů dodavatelů

S ohledem na kapitulu 3.5 věnovanou právě výrobě velkoformátových plechů by bylo vhodné zavést interní hodnocení jednotlivých dodavatelů tohoto polotovaru s ohledem na požadovanou jakost povrchu. Do firmy Kadlec s.r.o. byly tyto plechy dodávány firmami: ArcelorMittal Ostrava a.s., Azovstal Metallurgical Combine, U. S. Steel Košice, s. r. o., VÍTKOVICE STEEL a.s. Při používání plechů od posledního z řady dodavatelů, tedy VÍTKOVICE STEEL a.s. se do jisté míry zlepšila jakost povrchu dodávaných plechů a je zde patrné i zlepšení ve výkyvech jakosti mezi jednotlivými dodávkami.

Tato varianta výběru plechů vedoucí k zlepšení jakosti se jeví jako velmi vhodnou, z dlouhodobého hlediska nepřináší firmě Kadlec s.r.o. žádné zvýšené interní náklady. Není zde potřeba instalace dalších nových zařízení, doplnění výrobních postupů o nové operace ani potřeba dalších externích zkušebních prací. Veškeré potřebné informace pro hodnocení dodavatelů, a tím kvality jimi dodávaných plechů, jsou dostupné přímo z výrobního systému používaného ve firmě. Těmito parametry jsou: název společnosti dodávající plechy, cena dodávaného plechu a samozřejmě počet hodin strávených pracovníky na nutných opravách špatné jakosti povrchu krmného vozu. Při analýze těchto dat v Kadlec s.r.o. lze zjistit který

z dodavatelů velkoformátových plechů má technologii výroby tohoto polotovaru na nejvyšší úrovni, a díky tomu je nejvhodnějším dodavatelem pro firmu Kadlec s.r.o.

5 Závěr

Cílem bakalářské práce bylo vyhodnocení problému s jakostí velkoformátových plechů používaných ve firmě Kadlec s.r.o. a navržení optimálního výběru těchto polotovarů pro výrobu modelové řady krmných vozů, které ve výrobě firmy tvoří největší zastoupení. Jelikož následná nutnost opravy finální povrchové úpravy znamená vysoké dodatečné náklady. V současné době se provádí pouze vizuální kontrola jakosti povrchu, která není spolehlivá a nedává žádné možnosti pro výběr vhodného materiálu do budoucna. Po zhodnocení možností firmy, které byly nastíněny v této práci a diskuzi se zainteresovanými pracovníky, byly z navržených scénářů postupu vybrány tři vhodné možnosti pro aplikaci ve firmě Kadlec s.r.o.

Prvním vhodným postupem bylo zvoleno zavedení hodnocení dodavatelů velkoformátových plechů – toto hodnocení bude založené na procentuálním výskytu vadných povrchů počítaných na celé krmné vozy. Tedy kolik procent z měsíční produkce krmných vozů bylo potřeba opravovat celkem, kolik z těchto oprav bylo uskutečněno před samotným finálním lakováním a kolik krmných vozů bylo potřeba opravovat až po finálním lakování. Tato metoda hlídání jakosti byla vybrána vedením firmy jako první, z důvodu nejmenší ekonomické náročnosti (okamžitá investice), jednoduchosti provedení a možnosti aplikovat ji i na další firmou odebírané polotovary.

Jako druhý vhodný proces výběru, respektive kontroly materiálu, bylo vedením firmy vybráno měření drsnosti povrchu mobilním drsnoměrem. I u této metody byla rozhodující velmi nízká ekonomická náročnost. Dalším výrazným faktorem, který byl vedoucími pracovníky kladně hodnocen, byla jednoduchost použití této metody a možnost přidat operaci měření povrchové drsnosti pracovníkům úseku kontroly. Pracovníci kontroly by po krátkém zaškolení prováděli měření drsnosti povrchu při naskladňování plechů. Přímo by tak šlo definovat, které materiály jsou pro výrobu v pořádku, a které naopak již představují budoucí riziko. Získané hodnoty by se navíc průběžně evidovaly a ze statisticky vyhodnocených dat by se následně hodnotili jednotliví (nejlepší) dodavatelé vhodného materiálu pro výrobu.

Poslední z vhodných způsobů pro hodnocení vhodnosti materiálu pro výrobu ve společnosti Kadlec s.r.o. byla vybrána tahová zkouška materiálu. U této zkoušky by se jednalo o externí měření zkušebních vzorků. Nebylo by ekonomicky vhodné pořizovat vlastní zkušební zařízení pro vlastní měření. Důvody jsou vysoká pořizovací cena zkušebního zařízení, nutnost vytvoření nového pracoviště a s tím související nutnost vyškolení obsluhy či přijmutí nového pracovníka. Tato metoda navíc neřeší kvalitu povrchu používaných plechů a byla vybrána jako doplňující k předchozím dvěma, a to za předpokladu výskytu neobvyklých problémů při technologickém zpracování materiálu, které souvisí s jeho mechanickými vlastnostmi.

Firmě Kadlec s.r.o. bylo do budoucna doporučeno zkoušet další nové dodavatele teplých plechů, případně se jeví jako rozumné pokusit se o domluvu se zákazníkem odebírajícím krmné vozy na úpravě stávající konstrukce tak, aby bylo možné využít plechy válcované za studena, u kterých problémy s povrchovou jakostí nejsou.

6 Seznam zdrojů:

- [1] ŠTĚTINA, Ing. Josef. *Dynamický model teplotního pole plynule odlévané bramy* [online]. 2007. Dostupné z: <http://ottp.fme.vutbr.cz/users/stetina/disertace/index.htm>
- [2] *Linka pro kontinuální odlévání oceli* [online]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/docs-images/58/42227555/images/3-0.png>
- [3] *Schéma krystalizátoru* [online]. Dostupné z: <http://ottp.fme.vutbr.cz/users/stetina/habilitace/image/image050.jpg>
- [4] HLUCHÝ, Miroslav. *Strojírenská technologie I*. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1984.
- [5] PLUHAŘ, Jaroslav. *Nauka o materiálech*. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1989.
- [6] JOHN A, Bailey. *ASM Metals Handbook Volume 08*. B.m.: ASM Handbook Committee, 2000.
- [7] MICHNOVÁ, Ing Lenka. *Lenka Michnová Úvod do metalografie Metodická příručka*. 2015.
- [8] *Pracovní diagram tahové zkoušky* [online]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/uploads/images/20872/U58AAAAASUV.png>
- [9] KŘÍŽ, Antonín. *Integrita povrchu obrobku* [online]. B.m., nedatováno [vid. 2018-02-20]. Západočeská universita v Plzni. Dostupné z: https://www.opi.zcu.cz/download/profesor_1.pdf
- [10] *Předepisování jakosti povrchu* [online]. [vid. 2018-02-20]. Dostupné z: <https://coptkm.cz/portal/reposit.php?action=0&id=44423&revision=-1&instance=2>
- [11] CMP TRADE S.R.O. *Tryskání* [online]. nedatováno, 7 [vid. 2018-02-20]. Dostupné z: http://www.cmptrade.cz/UserFiles/file/02_Tryskání.pdf
- [12] KREIBICH, Viktor, Jan KUDLÁČEK a Jaroslav ČERVENÝ. *Kovové tryskací prostředky*. www.povrchari.cz [online]. 2010, 8, 19 [vid. 2018-02-20]. Dostupné z: http://povrchari.cz/kestazeni/201008_povrchari.pdf
- [13] KAVKOVÁ D. *OHÝBÁNÍ* [online]. [vid. 2018-03-01]. Dostupné z: https://www.moodle-trebesin.cz/pluginfile.php/9815/mod_resource/content/0/3_Ohýbání.pdf
- [14] DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření Plošné a objemové tváření*. 3. vydání. Brno: AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM, 2013.
- [15] ING. FRANTIŠEK, TATÍČEK PHD, ING. TOMÁŠ, PILVOUSEK, ING. MARTIN, Kubelka. *Odpružení v plošném tváření*. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2011, 5. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-odpruzeni-v-plosnem-tvareni.html>
- [16] *Poldi kladívko* [online]. nedatováno. Dostupné z: <http://www.proinex.cz/en/101-poldi-kladivko.html>

- [17] *Precipitace* [online].
z: https://www.opi.zcu.cz/download/Precipitace09_10.pdf
- [18] *Elcometer7062 MarSurf PS10*.

Dostupné

7 Seznam obrázků

<i>Obrázek 1 Krmný vůz odběratelské firmy Trioliet „Solomix“</i>	1
<i>Obrázek 2 Zakružování pláště Solomixu</i>	7
<i>Obrázek 3 Tryskací kabina vlevo, lakovací kabina vpravo</i>	8
<i>Obrázek 4 Detail brokovaného povrchu A - bezvadný povrch, B - povrch s vadami</i>	8
<i>Obrázek 5 Linka pro kontinuální odlévání oceli</i>	12
<i>Obrázek 6 Schéma krystalizátoru</i>	13
<i>Obrázek 7 Pracovní diagram zkoušky tahem</i>	16
<i>Obrázek 8 Příklad jemnozrnné struktury oceli</i>	18
<i>Obrázek 9 Pracovní diagram tahové zkoušky pro měkkou uhlíkovou ocel</i>	21
<i>Obrázek 10 Zkušební vzorek shora před zkouškou, po zkoušce (v kroužku krček)</i>	21
<i>Obrázek 11 Rozložení a velikost napětí v materiálu</i>	23
<i>Obrázek 12 Tvar vnikacích tělísek z leva Vickers, Brinell, Rockwell</i>	25
<i>Obrázek 13 Vliv směru válcování na ohýbání</i>	29
<i>Obrázek 14 Odpružení materiálu</i>	30
<i>Obrázek 15 Poldi kladívko</i>	32
<i>Obrázek 16 Mobilní drsnoměr Elcometer7062 MarSurf PS10</i>	34

Příloha č 1 Příklad materiálového listu

Železara Smederevo d.o.o.

Radinač

11300 Smederevo

Republika Srbija

INSPECTION CERTIFICATE 3.1 EN 10204:2004
-overenie a ispitivanje-

PURCHASER: PIKARO S.R.O.
(kupač) KOSICE
BELLDVA 3,
TRADING CO: IT BOHEMIA, SPOL. S R.O.
(izvoznik, primalac) PLZEN
DOMAZLICKA CP. 1121/142
PRODUCT: HOT ROLLED SHEETS
(proizvod)
DIMENSIONS: 15.000 X 1300 X 3000
(dimenzije, mm)
QUALITY: S355MC / EN 10149-2/1995
(kvalitet)
Net Weight(kg): 19910

CERTIFICATE No: 41569
(overenie broj)
UGOVOR KUPCA OB13-01948
CONTRACT No. 30HE109502
(ugovor broj.)
T: HR
- EN 10051/2010

PAGE No: 1
(strana br)
DATE OF ISSUE 10/09/2013
(dat. izdavanja)

Transport: U9014KH

COIL No.		Heat No.		MECHANICAL PROPERTIES - MEH. TEH. OSOBINE												
PACK No.		Re	Rm	Re/	A	Impact test			Bend	Hardness	Melt					
(kotar br.)	(sarta)	MPa	MPa	Rm	Elong.	(Zilavost)			(test)	(tvrdoća)	temp.					
(paket br.)					%	1	2	3	5	180°	HRB	HV10				
K31235	853557	385	459	.83	34					+				Y		
K31236	853557	385	459	.83	34					+				Y		
K31237	853557	385	459	.83	34					+				Y		
K31238	853557	385	459	.83	34					+				Y		
K31239	853557	385	459	.83	34					+				Y		

SHEET No.		CHEMICAL COMPOSITION - HEMIJSKI SASTAV (%)														
sarta	br.	C	Mn	Si	P	S	Al	Cu	Cr	Ni	Mo	Ti	V	Nb	N	Dev.
		X 100		X 1000				X 100				X 1000			X 100	
853557	8	114	16	13	5	24	2	2	1	2	12	4	38	6	27	
853557	8	114	16	13	5	24	2	2	1	2	12	4	38	6	27	
853557	8	114	16	13	5	24	2	2	1	2	12	4	38	6	27	
853557	8	114	16	13	5	24	2	2	1	2	12	4	38	6	27	
853557	8	114	16	13	5	24	2	2	1	2	12	4	38	6	27	

We hereby declare that above mentioned products were manufactured in accordance with specifications and contract requirements.

QUALITY ASSURANCE
DOKUMENTARNE KVALITETA

Dokumente

„ŽELEZARA SMEDEREVO“
Odeljenje za analize
AO-04
11300 Smederevo