



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV MATERIÁLOVÝCH VĚD A INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING

NÁHRADA MATERIÁLU ARMOX

REPLACEMENT OF ARMOX MATERIAL

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Daniel Klíč

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Eva Molliková, Ph.D., Paed IGIP

BRNO 2019

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav materiálových věd a inženýrství
Student: **Daniel Klíč**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Eva Molliková, Ph.D., Paed IGIP**
Akademický rok: 2018/19

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Náhrada materiálu Armox

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Student popíše použití materiálu Armox na různé typy pancířů a rešeršní formou pojedná o možnostech – materiálových, technologických i ekonomických – jeho náhrady jiným materiálovým systémem.

Cíle bakalářské práce:

- Popsat materiál Armox a jeho typy z pohledu materiálového, technologického i ekonomického.
- Uvést jeho možné aplikace v praxi.
- Představit materiály, které by mohli Armox nahrazovat.
- Posoudit, jestli by pro vybranou aplikaci bylo vhodnější použít Armox nebo jiný materiálový systém.

Seznam doporučené literatury:

ASKELAND, Donald and Pradeep FULAY. The Science and Engineering of Materials. 5th ed. UK: Thomson, 2006. ISBN 0-534-55396-6.

CALLISTER, William. Material Science and Engineering, An Introduction. GB: John Willey and Sons, 2003. ISBN: 0-471-22471-5.

HAZELL, Paul J. ARMOUR: Materials, theory, and design. CRC Press, 2015. DOI: 10.1201/b18683. ISBN 9781482238303.

MCCAULEY, James. Ceramic armor materials by design. Westerville: The American Ceramic Society, 2002, 652 s. ISBN 1-57498-148-X.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Ivo Dlouhý, CSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

Abstrakt

Materiál Armox vyráběný firmou SSAB je nejběžněji používaná značka pancíře. Existují ale i další firmy a značky pancířů, které dosahují skvělých mechanických a technologických vlastností. Cílem této práce je porovnání materiálu Armox s ostatními materiály po technologické, mechanické a ekonomické stránce, posouzení a navrhnutí možné náhrady za tento materiál. Zdrojem informací pro tuto práci byly informace od výrobců, konzultace s firmou Tatra Defence Vehicle a.s., Vojenským výzkumným ústavem a s dodavateli pancířů. Byly zjištěny vhodné materiály pro každou třídu tvrdosti dle zmíněných kritérií, ze kterých by po užším porovnávání a testování mohla vzniknout náhrada.

Klíčová slova

Pancíř, Armox, náhrada, technologické a mechanické vlastnosti

Abstract

Material Armox, made by SSAB company, is most common brand of armour materials. However, there are other companies and brands which are achieving great technological and mechanical attributes. Objectives of this thesis are comparison of materials by technological, mechanical and economical point of view, considering and suggesting possibilities of Armox substitution. Sources of information for this bachelor thesis were manufacturers datasheets, consultations with Tatra Defence Vehicle, Vojenský výzkumný ústav and with providers of these materials. For each hardness class were found suitable materials. These materials can be, after testing, good substitution.

Keywords

Armour, Armox, substitution, technological and mechanical attributes

Bibliografická citace:

KLÍČ, Daniel. Náhrada materiálu Armox [online]. Brno, 2019 [cit. 2019-05-27]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/117565>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav materiálových věd a inženýrství. Vedoucí práce Eva Molliková.

Prohlášení

Tímto prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Náhrada materiálu Armox jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí bakalářské práce a s použitím uvedené literatury a podkladů.

V Brně dne: **21.5.2019**

.....
podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucí své bakalářské práce Ing. Evě Mollikové, Ph.D., Paed IGIP za cenné rady, připomínky a odbornou pomoc při zpracování mé práce.

V Brně dne: **21. 5. 2019**

.....
podpis autora

Obsah

1	Cíle práce	9
2	Úvod.....	10
2.1	Historie pancířů.....	10
2.2	Hrozby pro pancíře	15
3	Materiály na pancíře	18
3.1	Uvažované materiály	18
3.2	Chemické složení.....	19
3.2.1	Doprovodné prvky škodlivé	19
3.2.2	Doprovodné prvky prospěšné.....	20
3.3	Mechanické vlastnosti.....	22
3.3.1	Tvrдость.....	22
3.3.2	Houževnatost	23
3.3.3	Pevnost	24
3.4	Dělení materiálu.....	27
3.4.1	Řezání plamenem	27
3.4.2	Řezání plazmou	28
3.4.3	Řezání laserem.....	30
3.4.4	Řezání abrazivním vodním paprskem	30
3.5	Ohýbání.....	31
3.6	Svařování	34
3.7	Balistická odolnost.....	37
3.8	Další hodnotící hlediska.....	40
3.8.1	Ekonomické hledisko	40
3.8.2	Kvalita povrchu a dodávané rozměry	41
4	Vyhodnocení	43
5	Závěr	44

1 CÍLE PRÁCE

Cílem této bakalářské práce je nalezení možné náhrady materiálu Armox, který se používá jako pancíř pro obrněná vozidla. Práce je zaměřená na:

- Uvedení čtenáře do problematiky pancířů, jejich historie a možné hrozby pro pancíře, a tudíž i pro celé vozidlo a posádku.
- Nalezení a možných náhrad za Armox a představit tyto materiály čtenáři.
- Popsání jednotlivých technologických procesů, které se aplikují na tyto materiály a následné porovnání vlastností jednotlivých materiálů z hlediska použití těchto procesů.
- Porovnání jednotlivých mechanických vlastností Armoxu a jeho možných náhrad, včetně balistické odolnosti, která je pro některé typy pancířů velice důležitým kritériem
- Posouzení ostatních hledisek, například ceny, kvality povrchu, dostupnosti a možných rozměrů plátů.

2 ÚVOD

2.1 Historie pancířů [1],[2],[3],[4],[5]

První obrněné vozy, pokud nepočítáme vozové hradby husitů a návrhy Leodarda Da Vinciho, vznikaly v první světové válce. Díky zákopům se dalo získat jen malé území za velkých ztrát pěchoty. Spojenci se proto snažili vymyslet dopravní prostředek, který by splňoval jak ochranu (Ústřední mocnosti rozestavovali kulometry MG 08 s ráží 7,7 mm) tak i mobilitu (zákopy byly velmi široké a byly pokryté ostnatými dráty, takže je kolové vozidlo nemohlo jednoduše překonat). Díky těmto požadavkům vzniklo první obrněné vozidlo – britský tank Mk I a jeho varianty (obr. 2.1.1 [1]), který vznikl až na velký nátlak Winstona Churchilla.



Obr. 2.1.1 Tank Mk V překonává zákop [1]

Mk I měl pancíř ve předu tlustý 10 mm, po stranách 8 mm a 6 mm na střeše. První bitva, ve které byly tanky nasazeny byla bitva na Sommě 15. září 1916, kde však nebyly brány jako hlavní bitevní prostředek. V bitvě u Cambrai v listopadu 1917 bylo nasazeno 476 tanků proti 1003 německým dělům. Bitvu přežilo 297 tanků, přičemž jen 65 jich bylo zničeno dělostřelbou a 114 jich uvízlo nebo mělo mechanickou poruchu. Tanky dokázaly získat skoro 7 kilometrové území za 17 dní se ztrátou 40000 jednotek pěchoty. Oproti III. bitvy u Yper, kde se podobných výsledků dosáhlo za 3 měsíce se ztrátou 400000 vojáků.

Ve druhé světové válce se produkce tanků mnohonásobně zvýšila nejen aby se nahradily ztráty, ale také jako odpovědi na rychlý vývoj protipancéřových zbraní a lépe ozbrojeným tankům na obou stranách. V tabulce 2.1.1 [2] můžeme vidět vývojový závod mezi Německem a Sovětským svazem v letech 1934 až 1945.

Tab. 2.1.1 Porovnání významných Německých a Sovětských tanků ve druhé světové válce [2]

Německo			Sovětský svaz		
Tank	Hlavní zbraň	Pancíř	Tank	Hlavní zbraň	Pancíř
Panzer I	2 x 7.92mm kulomet	7–13mm	T-26	45mm kanón	6–15mm
Panzer II	2cm kanón	10–14mm později 15–35mm	T-34 Model 42	76.2mm kanón	47–65mm
Panzer III	37/50mm kanón	30–50mm	KV	76.2mm kanón	90–120mm
Panzer IV	75mm kanón	10–80mm	T-44	85mm kanón	120mm
Panther	75mm kanón	15–120mm	T-34/85	85mm kanón	47–90mm
Tiger I	88mm kanón	60–100mm	IS2	122mm kanón	95–160mm
Tiger II	88mm kanón	80–180mm			

Můžeme si zde povšimnout stabilního růstu ráže zbraní a tloušťky pancířů-vývoje obrany jako odpověď na větší hrozby. Například tank IS2 byl vyvinut jako reakce na Tiger II. Střela od IS2 ráže 122 mm dokáže lépe prostřelit 80-180 mm tlustý pancíř v porovnání s ráží 76,2 mm. Sověti zjistili, že tloušťka pancíře 47-90 mm, tanku T-34 není dostačující proti dělu ráže 88 mm, proto posílili pancíř na 95-160 mm.

KANÓN VERSUS PANCÍŘ - I			
POROVNÁVACÍ TABULKA PRŮRAZNOSTI PANCÍŘE PŘI DOPADU STŘELY VE 30% ODCHYLCE OD PRAVÉHO ÚHLU (VZDÁLENOST, Z NIŽ STŘELA S VELKOU ÚŠŤOVOU RYCHLOSTÍ JIŽ NEDOKÁŽE PRORAZIT PANCÍŘ, SE MĚNÍ V ZÁVISLOSTI NA VZDÁLENOSTI CÍLE A ÚHLU DOPADU STŘELY)			
SOMUA KANÓN	NEDOKÁŽE PROBÍT Z 1000 M		Pz Kw III PANCÍŘ
PANCÍŘ	NEDOKÁŽE PROBÍT ZE 200 M		KANÓN
MATILDA II KANÓN	NEDOKÁŽE PROBÍT ZE 1200 M		Pz Kw III PANCÍŘ
PANCÍŘ	NEPROBÍJE ANI Z BEZPROSTŘEDNÍ BLÍZKOSTI		KANÓN
SOMUA PANCÍŘ	DVOJÚČELOVÉ 88MM POLNÍ DĚLO		
	PROBÍJE ZE VZDÁLENOSTI 2000 M		KANÓN
MATILDA II PANCÍŘ	PROBÍJE ZE VZDÁLENOSTI 2000 M		
SOMUA 47MM KANÓN PROTIPANCÉŘOVÝ S ÚŠŤOVOU RYCHLOSTÍ 823 M/S 60MM PANCÍŘ	MATILDA II 40MM KANÓN PROTIPANCÉŘOVÝ S ÚŠŤOVOU RYCHLOSTÍ 853 M/S 70MM PANCÍŘ	Pz Kw III 37MM KANÓN PROTIPANCÉŘOVÝ BALISTICKÝ S ČEPIČKOU S ÚŠŤOVOU RYCHLOSTÍ 745 M/S 30MM PANCÍŘ	DVOJÚČELOVÉ 88M POLNÍ DĚLO 88MM KANÓN PROTIPANCÉŘOVÝ S ÚŠŤOVOU RYCHLOSTÍ 811 M/S

Obr. 2.1.2 Kanón versus pancíř [2]

Obrázek 2.1.2 [2] demonstruje souboj tanků – z jaké vzdálenosti je jeden tank schopný prostřelit druhý a naopak. Zatímco francouzský tank Somua dokázal prostřelit německý tank Pz Kw III až ze vzdálenosti 1 km, německý tank by se musel přiblížit na vzdálenost 200 m aby dokázal ohrozit tank Somua. Hlavní příčinou této skutečnosti je tenký pancíř a relativně slabý kanón německého tanku.

Celkově můžeme posoudit z vývoje tanků, že klíč úspěchu za druhé světové války bylo vyvinout tlustší pancíř proti silnějším rážím.

Ve válce ve Vietnamu rozhodovala především pěchota a palebná síla, ale stále zde byla potřeba chránit jednotky při transportech a obrněné transportéry se stávaly velice důležitými. Obrněné transportéry procházely vývojem: u střešních kulometů vznikly štíty, které byly původně z měkké oceli, ale později z pancířů ze starých vozidel (obr. 2.1.3 [1])

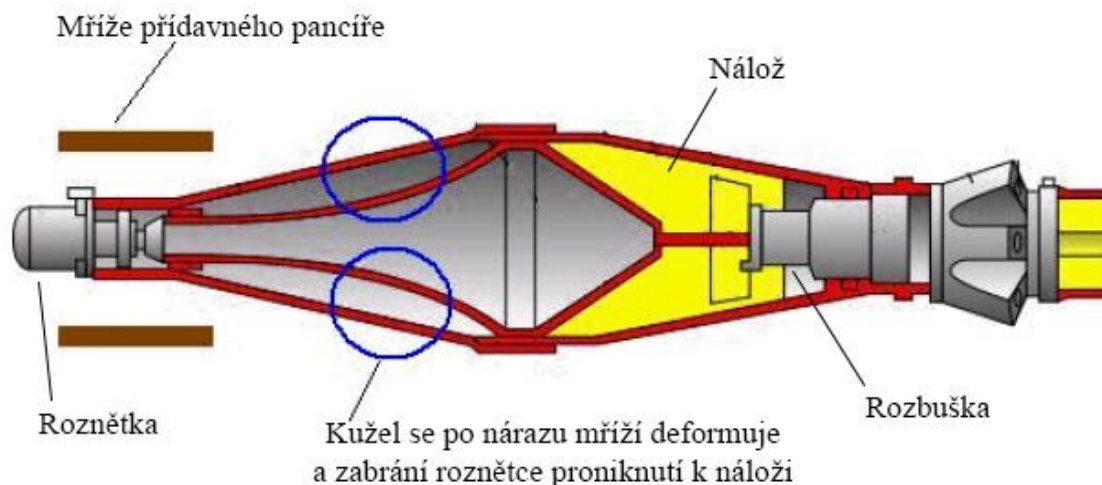


Obr. 2.1.3 Pásový obrněný transportér M113 s krytem kulometu [1]

V roce 1966 další modifikace obrněných transportérů byla instalace těsných mříží na M113 v roce 1966 na ochranu proti protitankovým střelám, s cílem vyvolat explozi před vozidlem a díky tomu ušetřit pancíř hlavnímu nárazu. I když zde mříž nebyla natolik úspěšná, později se vyvinula a přídatné mřížové pancéřování se používá dodnes (obr. 2.1.4 [3]). Toto pancéřování může i zcela zabránit detonaci některých druhů střel, například proti ručnímu protitankovému granátu (RPG). Když granát zasáhne mezeru mezi mřížemi, tak se mezi ně zaklíní, střela se promáčkne a roznětka na špičce granátu nemůže iniciovat výbuch, schéma této situace je znázorněno na obr. 2.1.5 [1].



Obr. 2.1.4 Pandur II Armády České republiky s přídatným mřížovým (slatovým) pancéřováním [3]



Obr. 2.1.5 Schéma funkce slatového pancéřování zabrání detonaci RPG [1]

V dnešní době jsou největším nebezpečím pro obrněné transportéry miny. Poškození způsobené minami je pro obrněné transportéry horší než pro tanky, poněvadž mají tenčí pancíř a převážejí více lidí, což způsobuje více zranění/smrtí.

Zatímco je snaha spíše předejít výbuchům a detekovat miny včas, tak se také přidává houževnatý pancíř na podvozek ve snaze ochránit posádku.

V průběhu Arabsko-izraelského konfliktu (od roku 1945 doposud) byl jako odpověď na kumulativní hlavice¹ raket vynalezen reaktivní pancíř (obr 2.1.6 [4]) který se skládá z výbušnin umístěných mezi pláty pancířů. Při zásahu hlavicí nálož vybuchne a střela je odvrácena tlakovou vlnou, což zabrání penetraci pancíře. Díky tomu vzniká velké nebezpečí pro pěchotu doprovázející tank, která může být zraněna šrapnely z pancéřování.



Obr. 2.1.6 Reaktivní pancíř na sovětském tanku T-72AV [4]

¹ Náboje, které koncentrují energii do jednoho bodu, obvykle mají tvar kužele.

Ve válce v Iráku se začala používat improvizovaná explozivní zařízení, které byly vyráběny z různých např. kuchyňských potřeb a výbušniny. Díky tomu působily škodu hlavně kinetickou energií a dokázaly napáchat velké škody. Obrněné transportéry a tanky se museli tomuto trendu přizpůsobit. Začalo se opět používat přídatné mřížové pancéřování a podvozky začaly mít tvar do „V“, který má za úkol zabránit kolmému nárazu projektilu a odvrátit část energie výbuchu jiným směrem.

V šedesátých a sedmdesátých letech se začaly vyvíjet kompozitní pancíře, aby se zlepšila ochrana proti nebezpečí a snížila hmotnost vozidel. Kompozitní pancíře se skládají z hutného množství vrstvených dílků. Jedním z nejznámějších kompozitních pancířů je „Chobhamský pancíř“ britské výroby. Ačkoliv je složení tajné ví se, že je z části laminovaný a z části slitina z oceli, keramiky a hliníku. Dodnes se používá armádou Spojených států amerických na tanku M1 Abrams a Britskou armádou na tancích Challenger.

Aby se minimalizovala hmotnost, vyrábějí se některé obrněná vozidla z lehčích slitin. Ale ty však nejsou tolik efektivní kvůli nižší tvrdosti. Proto se na nejdůležitější místa – boky a přední část vozidla – instalují přídatné pancíře vysokých tvrdostí.

Tloušťky pancířů se od první světové války do moderní doby neustále zvětšovaly, ale v dnešní době už se nezvětšují, kvůli limitované hmotnosti a rozměrům vozidel. Avšak díky inovacím jako je reaktivní pancíř a kompozitní materiály se efektivita pancířů mnohonásobně zlepšila.

Pro podvozky vozidel se používají méně tvrdé oceli (obvykle přes 400 HBW) s větší houževnatostí, tyto materiály dobře pohlcují výbuchy od případných min. Lehká obrněná vozidla mají kabinu vyrobenou z oceli s tvrdostí přes 500HBW, tyto materiály mají dobrou balistickou odolnost a dají se tvářet do požadovaných tvarů. Na místa, které potřebují větší balistickou ochranu (dveře, nádrž atd.) se přidávají další vrstvy ocelí (obvykle s tvrdostí přes 600 HBW), aby bylo dosaženo požadované bezpečnosti vozidla a posádky.

2.2 Hrozby pro pancíře [1],[2]

Navzdory širokému spektru nebezpečí, kterému čelí pozemní vozidla, se dá nebezpečí, které hrozí pancíři rozdělit do čtyř základních skupin: Pevný projektil, plasma, oheň a výbuchy.

Protipěchotní střely jsou většinou z měkkého materiálu, občas také s tupou, naříznutou špičkou, který se po zásahu zdeformuje nebo rozpadne a díky tomu dokáže napáchat v těle více škod. Tato munice není příliš účinná proti pancířům. Proto se vyvinul nový typ munice, který používá jak pěchota, tak dělostřelectvo zvaný protipancéřové střely (AP²) Většinu těchto střel používá dělostřelectvo. Pěchota může také používat některé typy ručních granátometů, nebo puškové protipancéřové náboje s ostrou špičkou, vyrobené z tvrzené oceli, nebo z karbidů.

Ačkoliv se zdá, že správná odpověď na větší tloušťku pancíře je zvětšit hmotnost a rychlost projektilu, nastala by časem situace, kdy zpětný ráz výstřelu by byl nezvládnutelný. Proto se začaly vyvíjet kompozitní protipancéřové střely (APCR³), které díky nižší hmotnosti dosahují vyšších rychlostí.

Jiné vylepšení nastalo obalením tvrdého náboje měkkým kovem, který pohltil energii z nárazu a zabránil roztříštění střely. Přes kov se ještě nasadila aerodynamická špička, která zajistila delší

² Armour piercing

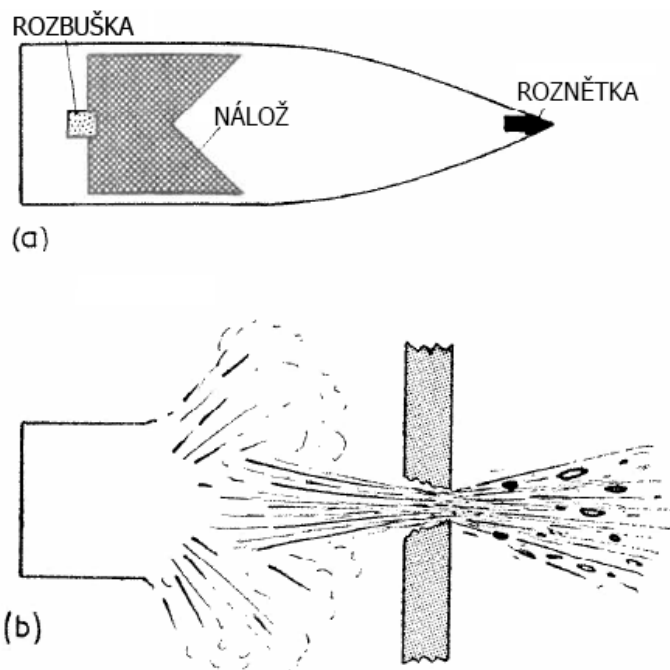
³ Armour piercing composite rigid

dolet a menší ztráty energie za letu. Tato munice má zkratku APCBC⁴. Ale APCR munice má stále větší průraznost než APCBC.

Při větší hmotnosti není jedinou nevýhodou zpětný ráz, ale i ztráta rychlosti zapříčiněná vyšší hmotností. Aby se tomu zabránilo, byla vyvinuta APDS⁵ střela, která při opuštění hlavně, rotací, oddělí jádro střely od zbytku. Díky tomu si ponechá vysokou úst'ovou rychlost (obrázek 2.2.2 [2] – první řádek).

Dalším vývojovým stupněm je přidání křidélek, čímž je střela stabilizována šípově⁶ (APFSDS⁷). Díky této úpravě je střela užší a delší, což vede k lepší průraznosti. Munice se nárazem rozžhaví ale prochází skrz pancíř v jednom kuse. Materiál munice je buď karbid wolframu (WC) nebo ochuzený uran. AP munice bývají velmi efektivní proti homogennímu pancíři. Princip penetrace pancíře je zobrazen na obrázku 2.2.2 [2] na posledním schématu.

Existují také typy munice založené na výbuchu, mezi ně patří HEAT⁸. Tento typ munice funguje na principu, kdy špička náboje poškodí pancíř a následně se roztaví výbušninou, poté roztavená plasma pronikne skrz poškozený pancíř (obr. 2.2.1 [2] a obr. 2.2.2 [2] – druhý řádek) Špička je obvykle z mědi, která má vysokou průraznou schopnost. Tato munice se nazývá také kumulativní a může ji používat i pěchota (RPG).



Obr. 2.2.1 Schéma HEAT munice (a) a propalování HEAT munice skrze pancíř (b) [2]

HESH⁹ munice byla vynalezena v Británii pro ničení betonových pevností a později se začala používat jako protitanková munice. Špička náboje se po nárazu rozmáčkne a díky tomu vybuchne ve velmi těsné blízkosti povrchu pancíře. To způsobí tlakové vlny, díky kterým z druhé strany pancíře odlétají střepiny, které mohou zranit posádku. Ale co HESH dokáže při

⁴ Armour-piercing capped ballistic cap

⁵ Armour-piercing capped ballistic cap

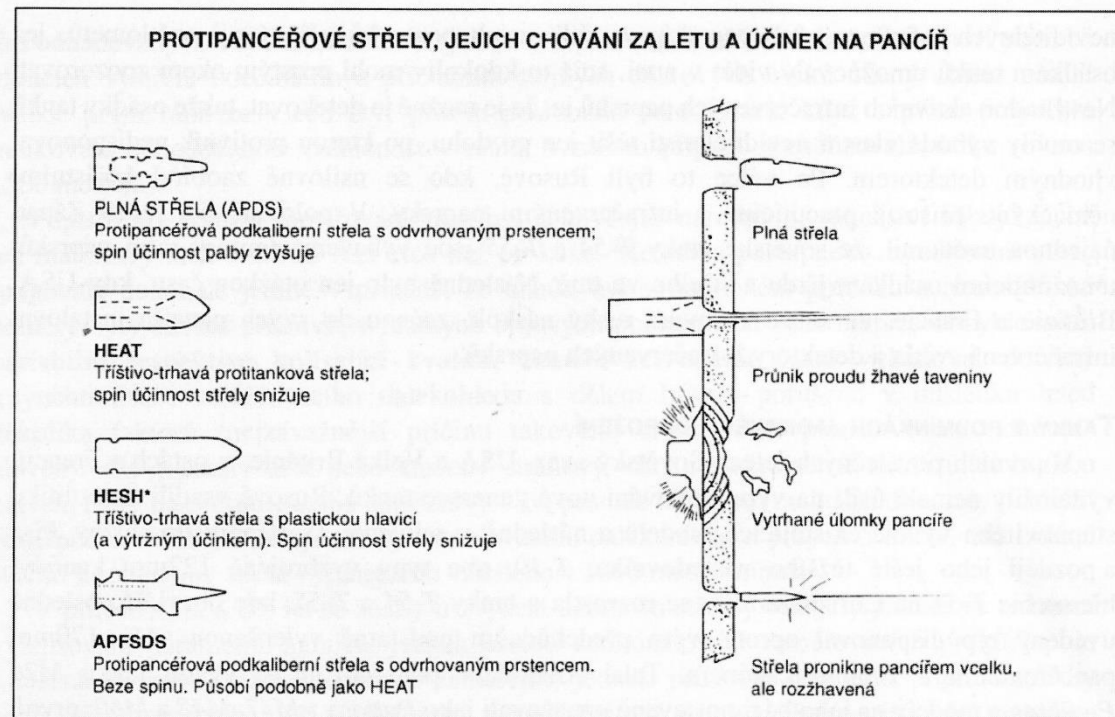
⁶ Pomocí křidélek, bez rotace

⁷ Armour piercing fin stabilised discarding sabot

⁸ High explosive anti tank

⁹ High explosive squash head

výbušném efektu ztrácí na průraznosti, a proto je účinná obrana proti HESH střelám více vrstvý materiál, princip funkce HESH munice je zobrazen na obrázku 2.2.2 [2] na třetím řádku.



Obr. 2.2.2 Protipancéřové střely, jejich chování za letu a účinek na pancíř [2]

3 MATERIÁLY NA PANCÍŘE

3.1 Uvažované materiály [6],[7],[8],[9],[10],[11]

Materiál Armox je jeden z nejdéle komerčně vyráběných pancířů na světě, který vyrábí firma SSAB, která vznikla roku 1978. Pod slovem pancíř si většina konstruktérů obrněných vozidel představí právě Armox. Na trhu ale existují další, neméně kvalitní značky jiných firem.

Armox je značka vysokopevnostních, tvrdých ocelí. Jejich struktura, stejně jako ostatních pancéřových materiálů, je jemnozrnný nízkoteplotně popouštěný martenzit. Vyrábí se v různých tvrdostech s odlišnými mechanickými vlastnostmi, které jsou vhodné pro rozdílné konstrukční prvky.

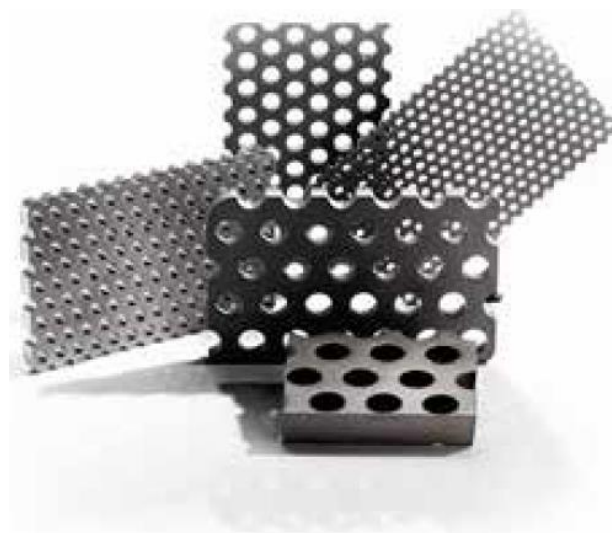
Ramor je od nedávna také vyráběn firmou SSAB a zaměřuje převážně na menší tloušťky pro civilní sektor. Mezi jeho typy patří Ramor 500, 550 a 600.

Armalloy vyráběný firmou z Ruska – EVRAZ. Firma EVRAZ vznikla v roce 1992. Zajímavostí je, že tato firma vlastní vanadový důl v české republice. Evraz vyrábí, mimo jiné, typy pancířů: Armalloy 440T, 500HH, 550HH+ a 650HH.

Materiál Bisalloy se vyrábí v mnoha provedeních, v mé práci vystupují: 440 UHT, HHA 500 a UHH 600. Australská firma Bisalloy vyrábí pancíře od roku 1990. Australské námořnictvo používá pancíře od této firmy pro výrobu ponorek a lodí.

Difender, z dílny německé firmy Dillinger, je na trhu poměrně krátkou dobu, kolem 2 let. Není tolik známý, ale svou novou strukturou dokáže konkurovat tradičně používaným materiálům.

Francouzský materiál Mars, firmy Industeel, která je dceřiná firma společnosti ArcelorMittal, je posuzován ve třídách 600, 300 a 300 perforated¹⁰ (obr 3.1.1 [33]). 300 perforated je děrovaný pancíř, tvrdosti 500 HBW, s dírami menšími než kalibr nábojů. Velkou výhodou tohoto materiálu je nižší hmotnost se zachováním shodných vlastností jako Mars 300.



Obr. 3.1.1 Mars 300 perforated [33]

¹⁰ Děrovaný

Secure je německý materiál, vyráběný firmou Thyssenkrupp, která byla založena již v roce 1891. Z toho materiálu bylo vybráno několik typů a to: Secure 450, 500 a 600.

V této práci jsou sledované pancířové materiály pro porovnávání rozděleny do tří skupin podle jejich tvrdosti a využití:

- Houževnaté materiály s tvrdostí přes 400 HBW
- Materiály s tvrdostí přes 500 HBW
- Materiály s tvrdostí přes 600 HBW

3.2 Chemické složení [12]

Nejdůležitější prvek, který má rozhodující vliv na vlastnosti oceli, je uhlík, který je přítomný ve všech druzích technického železa. Uhlík tvoří s železem intersticiální tuhé roztoky, ve kterých je rozpustnost omezena. Když množství uhlíku přesáhne rozpustnost, začne se vylučovat jako samostatná fáze. Uhlík vyloučený jako cementit dodává železu větší tvrdost ale i křehkost.

Další prvky jsou vždy přítomny v ocelích ve větším či menším množství, které souvisí se surovinami a výrobním procesem. Nazývají se doprovodné prvky. Rozdělujeme je na prvky škodlivé (nečistoty) a prospěšné. Další prvky přidáváme do oceli abychom upravili některé jejich vlastnosti; těmto prvkům říkáme legující prvky.

3.2.1 Doprovodné prvky škodlivé

Síra se dostává do železa z rud a z paliva. Se železem tvoří sulfid železnatý, který způsobuje křehkost v obvyklých teplotách tváření za tepla. Zhoršuje houževnatost a tvárnost ocelí kolem teploty svařitelnosti a zhoršuje difuzi uhlíku při cementování

Fosfor se dostává do železa z použitých surovin. Ovlivňuje rozpustnost uhlíku v oceli, takže místa s větším obsahem fosforu mají menší obsah uhlíku. Také zhoršuje vrubovou houževnatost, zvětšuje sklon k lámavosti za studena a nepříznivě ovlivňuje svařitelnost.

V tabulce 3.2.1 jsou znázorněny negativní vlastnosti fosforu a síry v závislosti na množství prvku v železe.

Tab. 3.2.1 Vlastnosti škodlivých přídavných prvků v závislosti na množství v železe [12]

% Fosfor	Síra
0,30	Přísada ke zvýšení obrobiteľnosti
0,20	
0,10	Křehkost za červeného žáru
0,09	
0,08	
0,07	
0,06	
0,05	
0,04	
0,03	
0,02	
0,01	

Přísada ke zvýšení obrobiteľnosti (0,10 - 0,30 % Fosfor)
 Křehkost za studena (0,09 - 0,10 % Fosfor)
 Horní hranice u běžných uhlíkových ocelí (0,06 % Fosfor)
 Horní hranice u kotlových ocelí (0,05 % Fosfor)
 Horní hranice u ušlechtilých ocelí (0,04 % Fosfor)
 Hranice pro svař. Dráty (0,03 % Fosfor)
 Od tohoto obsahu se zvyšuje citlivost k popouštění křehkosti a k praskání svarů (0,02 - 0,03 % Fosfor)

3.2.2 Doprovodné prvky prospěšné

Mangan patří mezi austenitotvorné prvky a je základní dezoxidační a odsiřovací přísada. Větší část je rozpuštěna ve feritu, kde mírně zvětšuje jeho pevnost a houževnatost. Zcela malá část je rozpuštěna v cementitu a zvětšuje jeho stabilitu. Zvyšuje prokalitelnost ocelí a odolnost proti jejímu popouštění. Při tepelném zpracování je nutné dodržovat austenitizační teplotu, kvůli náchylnosti na zhrubnutí zrna.

Křemík je feritotvorný prvek. Množství křemíku v oceli do 0,5 % se považuje jako dezoxidační přísada, poté už je legujícím prvkem. Zcela se rozpouští ve feritu, kde zvyšuje jeho pevnost. Zhoršuje tvárnost oceli za studena. Křemík zvyšuje prokalitelnost, ale méně než chrom či mangan. Křemík ve větším množství zlepšuje magnetické vlastnosti.

Chrom se řadí mezi feritotvorné prvky. U nízkolegovaných ocelí se využívá chrom na zvýšení prokalitelnosti. Musí se však zvýšit kalící teplota, protože prokalitelnost oceli zvyšuje jen chrom rozpuštěný v austenitu a karbidy chromu, které jí naopak snižují se rozpouští až při vyšších teplotách. Chromové oceli jsou odolné proti popouštěním. Aby byla zaručená korozivzdornost musí ocel obsahovat minimálně 11,7 % chromu rozpuštěného v základní kovové hmotě. Chrom, mimo jiné, zlepšuje žáruvzdornost, zvyšuje odolnost proti opotřebení a pomáhá k odolnosti proti vodíkové křehkosti.

Nikl je austenitotvorný prvek. Zvyšuje prokalitelnost při tepelném zpracování, ale podstatně méně, než mangan či chrom. Nikl zvyšuje pevnost více než chrom ale méně než křemík či mangan. Také zvyšuje houževnatost. U normalizačně žíhaných ocelí zjemňuje perlit. Používá se u ocelí, které mají mít vysokou houževnatost při nízkých teplotách.

Molybden se řadí mezi feritotvorné prvky. Část je rozpuštěna ve feritu, kde zvyšuje tvrdost a část tvoří karbidy. Po zakalení zvyšuje stabilitu martenzitu – posouvá výše popouštěcí teploty. Tento vliv je možno využít u zakalených ocelí, pokud je třeba žíhat na snížení pnutí při vyšších teplotách. U konstrukčních ocelí molybden snižuje popouštěcí křehkost. Také zvyšuje žárupevnost a ve větším množství odolnost proti bodové korozi.

Bor zpomaluje difuzi uhlíku, protože se ukládá na hranicích zrn. Tento prvek má oproti ostatním prvkům velký vliv na prokalitelnost. Avšak je účinný pouze v ocelích s nižším obsahem uhlíku. Tvoří s dusíkem nitridy, ve větším množství zvyšuje odolnost proti korozi a je důležitou součástí korozivzdorných ocelí s velkým elektrickým odporem. Zde však slouží jako doprovodný prvek pro odstranění dusíku.

Vanad je feritotvorný prvek. Tvoří s uhlíkem karbid VC, který má vysokou tvrdost. Při nízkém obsahu v oceli se používá ke zjemnění zrna a zpomaluje růst austenitických zrn. Při větším množství vanadu se zvyšuje žárupevnost, tvrdost a obsah kolem 5 až 8% vanadu mají rychlořezné oceli.

V tabulkách 3.2.2, 3.2.3 a 3.2.4 jsou uvedené chemické složení uvažovaných pancířových materiálů.

Tab. 3.2.2 Chemické složení houževnatých pancířů

Max [%]	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	B	Al	V
Armox 440T [13]	0,21	0,5	1,2	0,010	0,003	1,0	2,5	0,70	0,005		
Armloy 440T [14]	0,26	0,5	1,5	0,020	0,005	1,0	1,0	0,50	0,003	0,05	
Bisloy Armour UHT 440 [15]	0,25	0,6	1,4	0,025	0,005	1,2	0,5	0,35	0,002		
Difender 400 [16]	0,32	0,5	1,2	0,015	0,005	2,0	2,0	0,70			
Difender 450 [17]	0,25	0,5	1,6	0,015	0,005	2,0	2,5	0,70			
Secure 450 [18]	0,20	0,5	1,6	0,020	0,005	1,0	2,3	0,70			0,05

Tab. 3.2.3 Chemické složení pancířů s tvrdostí okolo 500 HBW

Max [%]	mm	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	B	Al
Armox 500T [19]		0,32	0,4	1,2	0,010	0,003	1,0	1,8	0,70	0,005	
Armloy 500HH [20]	<34	0,32	1,0	1,0	0,020	0,005	1,5	1,5	0,50	0,003	
	>34	0,32	1,0	1,0	0,020	0,005	1,6	2,0	0,50	0,003	
Armloy 550HH plus [21]		0,46	1,0	1,0	0,020	0,005	1,0	2,0	0,50	0,003	0,06
Bisloy Armour HHA 500 [15]		0,32	0,5	0,8	0,025	0,005	1,2	0,5	0,30	0,002	
Difender 500 [22]		0,32	0,5	1,2	0,015	0,005	2,0	3,7	0,70		
Ramor 500 [23]		0,35	0,7	1,5	0,015	0,010	1,0	2,0	0,70	0,005	
Ramor 550 [24]		0,36	0,7	1,5	0,015	0,010	1,5	2,5	0,80	0,005	
Secure 500 [25]	<50	0,32	0,4	1,0	0,015	0,005	1,5	0,7	0,50		0,11
	>50	0,32	0,4	0,5	0,015	0,005	1,5	3,7	0,60		0,05

Tab. 3.2.4 Chemické složení pancířů s tvrdostí nad 600 HBW

Max [%]	mm	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	B	Al
Armox 600T [26]		0,47	0,70	1,00	0,010	0,005	1,5	3,0	0,70	0,005	
Armox Advance [27]		0,47	0,70	1,00	0,010	0,002	1,5	3,0	0,70	0,005	
Armalloy 650UHH [28]		0,46	1,00	1,00	0,020	0,005	1,0	2,0	0,50	0,003	0,06
Bisalloy Armour UHH 600 [15]		0,45	0,35	0,50	0,020	0,005	1,2	1,0	0,30	0,002	
Mars 300 [29]	<25	0,55	1,00	0,70	0,010	0,002	0,4	2,4	0,50		
	>25	0,55	1,00	0,70	0,010	0,002	0,4	4,5	0,50		
Mars 600 [30]		0,50	1,00	1,00	0,010	0,002	0,5	2,4	0,50		
Ramor 600 [31]		0,40	0,70	1,50	0,015	0,010	1,0	2,5	0,80	0,005	
Secure 600 [32]		0,40	0,80	1,50	0,025	0,010	1,5	1,5	0,50	0,005	

Z výše uvedených tabulek si lze povšimnout zvýšení tvrdosti s větším množstvím uhlíku. A také toho, že čím více má materiál legujících prvků, tím tvrdší je. Porovnávat chemické složení bez znalostí dalších úprav, například tepelného zpracování, je bezpředmětné. Pro nalezení vhodné náhrady jsou důležitější mechanické vlastnosti, které jsou důsledkem složení a následných úprav materiálů.

3.3 Mechanické vlastnosti [34]

3.3.1 Tvrdost

Tvrdost je vlastnost materiálu vyjádřena odporem proti proniknutím do jeho povrchu jiným tělesem. Při zkoušce tvrdosti se povrch materiálu zatěžuje tlakem od cizího tělíska z velmi tvrdého materiálu a výsledek působení se vyjádří jako hodnota tvrdosti. Hodnota tvrdosti závisí na pružných a plastických vlastnostech materiálu, tvarech a rozměrech vlačovaného tělesa, třením, rychlosti a síly vlačování.

Vlastnosti materiálu závisí na více faktorech:

- Na struktuře kovu, vazbách a mřížkových poruchách
- Mikrostruktuře kovu, především velikostí zrna, nerovnoměrnosti struktury a příměsi v materiálu
- Na vnitřních napětích v kovu vyvolaných tvářením za studena, tepelným zpracováním apod.
- Na teplotě a rychlosti zatěžování.
-

Díky jednoduchosti zkoušení tvrdosti se dají provádět zkoušky kdekoli a tím pádem není vždy nutné převážet vzorky do laboratoří). Kov se neporuší jako při většině mechanických zkoušek a zkouškou se ovlivní jen velmi malý objem na povrchu materiálu. Pomocí zkoušky tvrdosti můžeme zjistit i jiné mechanické vlastnosti (nejčastěji se tvrdost používá ke zjištění meze pevnosti)

Tvrdot se zkouší vícero metodami, které se podle principu rozdělí na: vnikací, vrypové a odrazové.

U vnikací metody se zatlačuje přesně definované těleso z různých tvrdých materiálů do zkoušeného vzorku. Měřidlem tvrdosti je velikost vytlačené rýhy. Nejznámější a nejpoužívanější jsou Brinellova (používá se kalená kulička – HBS, nebo kulička z karbidů – HBW), Rockwellova (při zkoušce se používá diamantový kužel – HRA, HRC, nebo kalená kulička – HRB) a Vickersova (čtyřboký diamantový jehlan – HV) metoda.

Principem vrypové metody je vryp diamantového tělíska určitého tvaru, zatíženým určitým závažím do hladce vyleštěného povrchu. Hodnota tvrdosti se zjistí ze šířky vrypu (Martensova metoda). Tyto metody se v praxi příliš nevyužívají

Při odrazových metodách se měří výška odrazu tělíska určitého tvaru a hmotnosti od vzorku (Shoreova metoda). Tato metoda se používá na zkoušení velmi tvrdých materiálů.

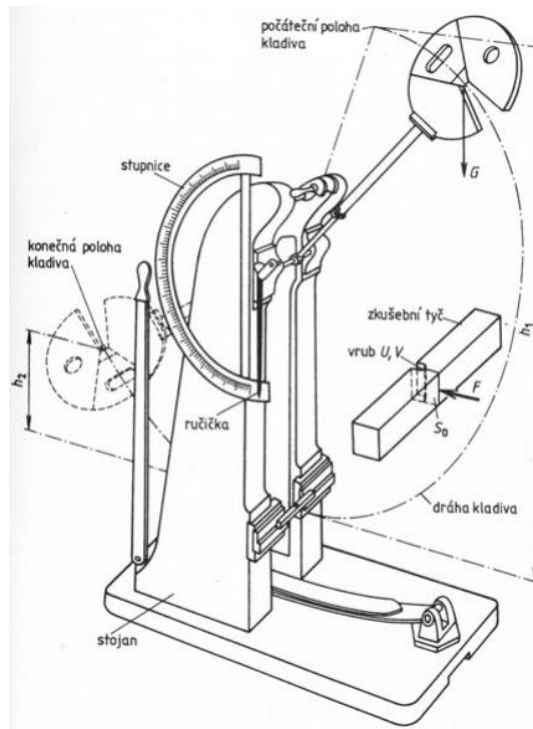
3.3.2 Houževnatost

Houževnatost je mechanická vlastnost, která vznikla kombinací pevnosti a plastičnosti. Představuje energii (mechanickou), spotřebovanou na plastickou deformaci a porušení materiálu. Každá deformace vyžaduje určitou mechanickou práci a velikost této práce je měřítkem houževnatosti – čím vyšší je spotřebovaná práce, tím vyšší je houževnatost materiálu. Tato veličina má význam v konstrukci, jako odolnost proti vzniku křehkých lomů a v technologii jako míra odporu kovu proti tváření. Opakem houževnatosti je křehkost. Křehké kovy se před porušením jen nepatrně plasticky deformují, a proto mají malou houževnatost.

Houževnatost se zkouší na Charpyho kladivu (obr. 3.3.1 [35]). Je definována jako práce spotřebovaná na zlomení zkušebního tělíska při stanovených podmínkách zkoušky. Mezi podmínky zkoušky patří: způsob namáhání – trojbodový symetrický ohyb, rychlost zatížení (4,5-7m/s), teplota experimentu a tvar zkušebního tělesa (obvykle čtyřhran o rozměrech 10x10x55mm) a tvar, hloubka a ostrost vrubu.

Tělíska je položeno na podpěry a úderem kyvadlového kladiva se zlomí. Kladivo má v původní výšce potenciální energii, která se v nejnižším bodě všechna přemění na kinetickou, v té samé chvíli udeří do tělíska. Poté kladivo pokračuje v pohybu a stoupá. Velikost spotřebované práce je přímo úměrná výchylce kladiva po úderu, a proto se mechanicky vlečenou ručičkou zaznamená.

Kromě spotřebované práce můžeme ze vzhledu lomu posoudit, zda šlo o křehký nebo o tvárný lom.



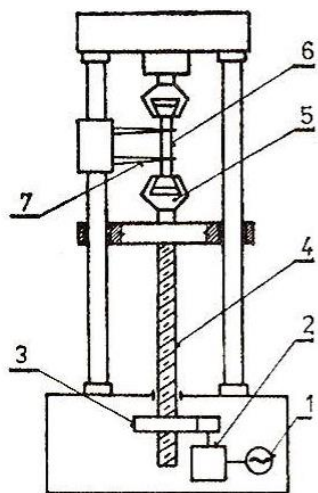
Obr. 3.3.1 Schéma zkoušky Charpyho kladivem [35]

3.3.3 Pevnost

Pevnost může být definována jako odolnost materiálu proti trvalému porušení soudružnosti. Číselně se vyjadřuje napětím, při kterém se materiál rozdělí na dvě nebo více částí. Pevnost se rozlišuje dle způsobu namáhání na pevnost v tahu, tlaku, ohybu, krutu a stříhu.

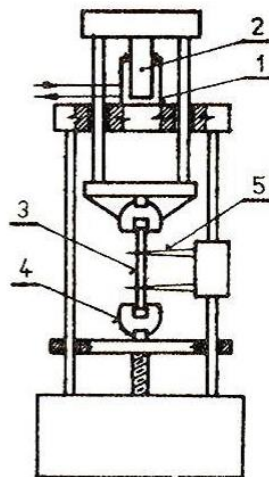
Obvykle se pod pojmem pevnost myslí pevnost v tahu, která je nejvíce používaná jak v praxi, tak i ve výzkumu a vývoji materiálů.

Zkouška jednoosým tahem je základní mechanická zkouška, pomocí níž lze zjistit základní mechanické vlastnosti materiálu: pevnost v tahu, mez kluzu, tažnost a kontrakci. A výsledkem zkoušky je tahový diagram, z něhož lze určit základní napěťové a deformační charakteristiky. Na obrázku 3.3.2 [35] je možné vidět schéma trhacího stroje.



Mechanický univerzální trhač stroj

1 — elektromotor, 2 — převodovka,
3 — ozubené kolo s maticí,
4 — pohybový šroub, 5 — upínací
hlava, 6 — zkušební těleso,
7 — snímač prodloužení zkušebního
tělesa



Hydraulický univerzální zkušební stroj

1 — hydraulický válec, 2 — píst,
3 — zkušební těleso, 4 — upínací
hlava, 5 — snímač prodloužení
zkušebního tělesa

Obr. 3.3.2 Schéma trhačho stroje pro zkoušku tahem [35]

U některých nízkolegovaných, měkkých ocelí se projevuje tzv. výrazná mez kluzu – vzorek se trvale deformuje bez zvýšení tahového napětí – která lze spatřit na tahovém diagramu. Při plynulém přechodu z elastické do elasticko-plastické oblasti deformace se na křivce diagramu nezobrazuje žádná výrazná nesouvislost. V těchto případech se musí mez kluzu vyjádřit jako dohodnutá veličina. Zjišťuje se měřením deformace pomocí průtahoměru anebo přímo z diagramu.

Mez kluzu R_e je nejdůležitější mechanická vlastnost, protože charakterizuje odolnost kovových materiálů proti vzniku plastické deformace, která je nepřijatelná v částech strojů a konstrukcích. Proto se tato hodnota používá jako základní kritérium pro výpočet dovoleného namáhání. Hodnota meze kluzu závisí na chemickém složení a struktuře kovu. Zmenšováním střední velikosti zrna se hodnota meze kluzu zvyšuje.

Mez pevnosti R_m je největší napětí, které nastane před porušením zkušební tyče. Hodnota R_m je důležitá základní materiálová vlastnost, podle které se porovnávají a kategorizují materiály, avšak je méně vhodná pro konstrukční výpočty. Její předností je, že dá lehce odměřit. Velikost R_m je dána chemickým složením a strukturou kovu. Její hodnota je na rozdíl R_e ovlivněná vnitřními procesy, které se odehrávají při plastické deformaci ve struktuře.

Tažnost A je charakteristikou plastických vlastností materiálu, je definována jako poměr prodloužení ku původní délce vyjádřený v procentech.

V tabulkách 3.3.1, 3.3.2 a 3.3.3 jsou uvedeny mechanické vlastnosti pancířů, které byly získány z informací od výrobců

Tab. 3.3.1 Mechanické vlastnosti houževnatých pancířů s tvrdostí nad 400 HBW

	Tvrdost [HBW]	Nárazová práce [J/-40°C]	Smluvní mez kluzu R _{p0,2} [MPa]	Mez pevnosti R _m [MPa]	Tažnost A ₅	Tažnost A ₅₀
Armox 440T [13]	450	45	1050	1400	10	12
Arm alloy 440T [14]	450	22	1175	1380	13	-
Bis alloy Armour UHT 440 [15]	445	22	1150	1450	-	14
Difender 400 [16]	405	27	950	1150	10	-
Difender 450 [17]	450	35	1100	1250	10	-
Secure 450 [18]	440	40	1100	1350	8	-

Tab. 3.3.2 Mechanické vlastnosti pancířů tvrdosti nad 500 HBW

	Tvrdost [HBW]	Nárazová práce [J/-40°C]	Smluvní mez kluzu R _{p0,2} [MPa]	Mez pevnosti R _m [MPa]	Tažnost A ₅	Tažnost A ₅₀
Armox 500T [19]	480	32	1250	1600	8	10
Arm alloy 500HH [20]	506	27	1310	1655	10	-
Arm alloy 550HH plus [21]	550	-	1517	2068	8	-
Bis alloy Armour HHA 500 [15]	506	16	1350	1640	-	14
Difender 500 [22]	505	24	1300	1500	8	-
Ramor 500 [23]	525	20	1450	1700	7	-
Ramor 550 [24]	570	16	1550	1850	7	-
Secure 500 [25]	505	25	1300	1600	9	-

Tab. 3.3.3 Mechanické vlastnosti pancířů s tvrdostí nad 600 HBW

	Tvrdost [HBW]	Nárazová práce [J/-40°C]	Smluvní mez kluzu R _{p0,2} [MPa]	Mez pevnosti R _m [MPa]	Tažnost A ₅	Tažnost A ₅₀
Armox 600T [26]	605	12	-	-	-	8
Armox Advance [27]	640	-	-	-	-	-
Arm alloy 650UHH [28]	630	-	1585	2240	8	-
Bis alloy Armour UHH 600 [15]	605	8	1500	2050	-	-
Mars 300 THD4 [29]	605	12	1500	2200	9	-
Mars 300 THD5 [29]	630	9	1600	2300	7	-
Mars 600 [30]	617	23	1450	2150	10	-
Ramor 600 [31]	605	12	1650	2000	7	-
Secure 600 [32]	605	15	1500	2000	8	-

V tabulce 3.3.1 jsou vypsány hodnoty mechanických vlastností pro houževnaté materiály. Hlavním kritériem houževnatých pancířů je nárazová práce, kterou má největší Armox 440T. Druhý nejlepší výsledek má Secure 450, který má větší mez kluzu a menší tažnost – menší elastickou deformaci při výbuchu. Pro tyto pancíře se provádí měření tzv. dynamické výchylky, které se měří výbuchem trhaviny pod pevně upevněným vzorkem, které jsem z nedostatku zdrojů nezahrnul do své práce.

Pro materiály s tvrdostí okolo 500 HBW, které se nachází v tabulce 3.3.2, je rovněž důležitá houževnatost, kterou má největší opět materiál od firmy SSAB – Armox 500T. Tento materiál má však ale nejnižší tvrdost. Nejvyšší tvrdosti dosahují materiály Ramor 550 a Armalloy 550HH plus. Avšak Tyto materiály mají velmi nízkou nárazovou práci, kterou firma EVRAZ pro Armalloy 550HH plus ani neuvádí, 550HH plus má ale největší mez pevnosti, a to skoro až o 25%. Z porovnání tvrdosti, houževnatosti a pevnosti dosahují nejlepších výsledků materiály Armalloy 500HH, Difender 500 a Secure 500.

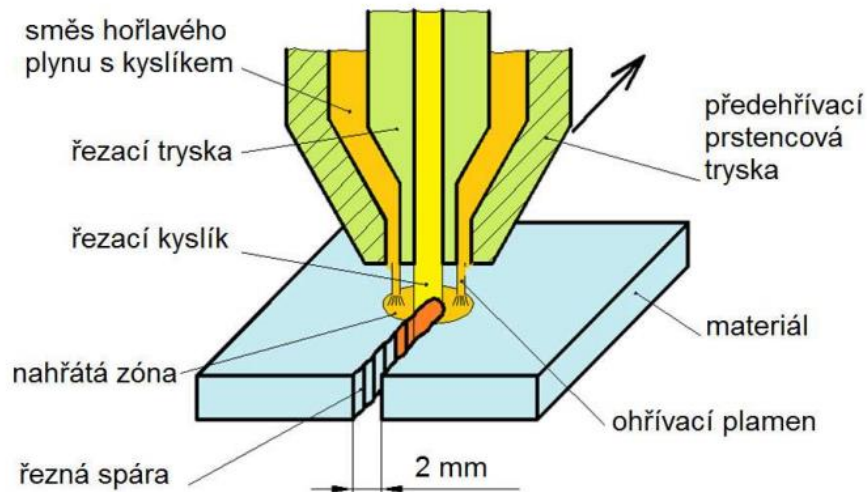
V tabulce 3.3.3 se nacházejí mechanické vlastnosti materiálů and 600 HBW porovnávání vlastností velmi tvrdých materiálů má největší tvrdost Armox Advance, výrobce ale žádné jiné mechanické vlastnosti neudává. Druhou největší tvrdost a největší mez pevnosti mají materiály Mars 300 THD5 a Armalloy 650UHH. Za povšimnutí stojí také Mars 600 se svou velmi vysokou houževnatostí, která značně ovlivňuje jeho technologické vlastnosti.

3.4 Dělení materiálu [35],[36],[37]

Dělení materiálu je velmi důležitým technologickým procesem. Všechny tyto materiály jsou děleny tepelně nebo nekonvenčními způsoby pro svou vysokou tvrdost. Nejčastěji se řeže Laserem, plamenem, plasmou a vodním paprskem. Tyto metody nahrazují i ostatní metody obrábění, vypalují se např. i díry a zkosené hrany.

3.4.1 Řezání plamenem

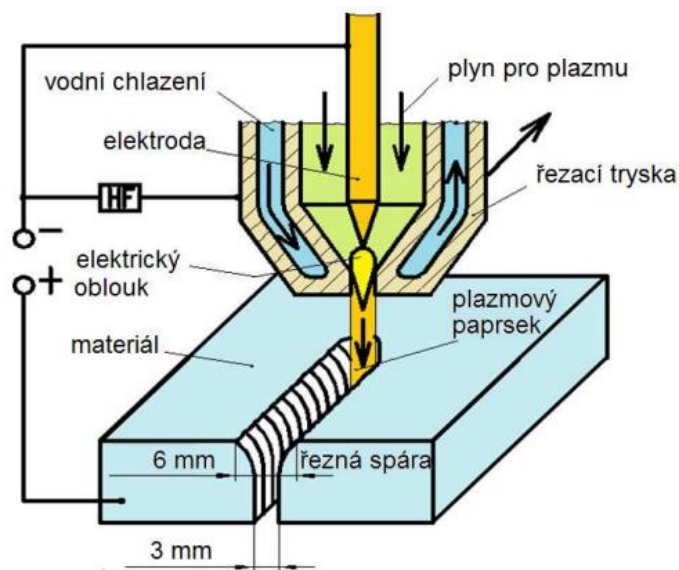
Je nejstarší a nejpoužívanější způsob tepelného dělení materiálů. Který se dá provozovat jak strojně, tak ručně. Většinou se používá směs kyslíku a acetylenu. Šířka řezu se pohybuje mezi 2-6 milimetry. Je nevhodná pro řezání menších tlouštěk materiálu (pod 5 mm), kvůli možnému zakřivení. Může se však používat až do tloušťky 50-60 mm. Tento způsob řezání má díky vysokému přívodu tepla a malé řezné rychlosti Tepelně Ovlivněnou Zónu (TOZ) 4-10 mm. V této oblasti dochází ke ztrátě mechanických vlastností materiálu, které byly způsobeny tepelným zpracováním (např. kalením). Při řezání plamenem a jeho následném ochlazení může docházet ke tvorbě trhlin díky vysokým rozdílům teplot, proto je nutné materiál předeřít na určitou teplotu a po řezu teplotu udržovat. Na obrázku 3.4.1 [39] můžeme vidět schéma řezání plamenem.



Obr. 3.4.1 Schéma řezání plamenem [39]

3.4.2 Řezání plazmou

Při plazmovém řezání se přivádí plyn (H, He, Ar, N, O) kolem netavící wolframové elektrody, kde ionizuje a přemění se v plazmu. Poté naráží na materiál, kde se kinetická energie přemění na teplo a materiál je odpařován a následně vyfukován pryč ze spáry (obr. 3.4.2 [39]). Plazma dosahuje velmi vysoké teploty (16-20 tisíc °C). Tímto způsobem se může dosahovat velmi vysokých rychlostí (až 10x vyšších než u řezání plamenem) a díky tomu je TOZ velká 5 mm. Plazma vytváří řeznou spáru 3-4 mm širokou. Výhodou plazmy je možnost řezání pod vodou, kde vzniká minimální TOZ, a navíc snižuje hluk a produkci škodlivých zplodin. Řezání plazmou se může používat do tloušťky okolo 30 mm a materiál se opět přehřívá, aby se zamezilo tvoření trhlin.



Obr. 3.4.2 Schéma řezání plazmou [39]

V tabulkách 3.4.1, 3.4.2 a 3.4.3 jsou uvedeny doporučené teploty předehřevu pro pancéřové materiály při řezání plasmou nebo plamenem.

Tab. 3.4.1 Tabulka doporučeného předehřívání pro dělení plasmou nebo plamenem pro houževnaté materiály ve stupních celsia

Tloušťka [mm]	0	10	20	30	40	50
Armox 440T [40]		20		170*		
Armalloy 440T [14]		20	66	100	125	
Bisalloy Armour UHT 440 [41]		20		50		
Difender 400 [42]		20	40	60		
Difender 450 [42]		20	50	100		
Secure 450 [45]			20		75	

Tab. 3.4.2 Tabulka doporučeného předehřívání pro dělení plasmou nebo plamenem pro tvrdé materiály ve stupních celsia

Tloušťka [mm]	0	10	20	30	40	50
Armox 500T [40]	20			175*		
Armalloy 500HH [20]	20	100	125	150		
Armalloy 550HH plus [21]		100				
Bisalloy Armour HHA 500 [41]	20	50		75		
Difender 500 [42]	20	125	150			
Ramor 500 [44]	20	100	150			
Ramor 550 [44]	100					
Secure 500 [45]	20		100	125	150	175*

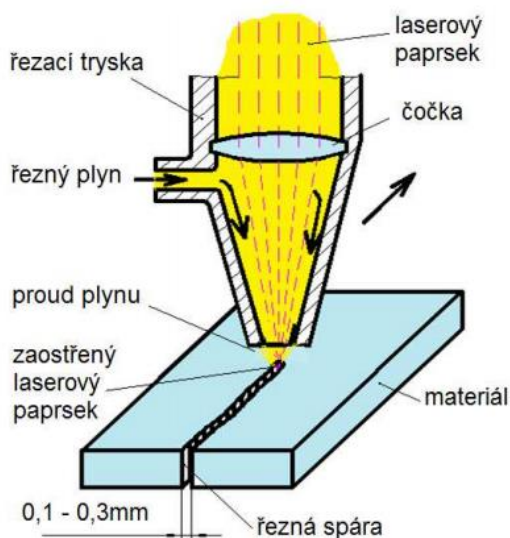
Tab. 3.4.3 Tabulka doporučeného předehřívání pro dělení plasmou nebo plamenem pro materiály s tvrdostí nad 600HBW ve stupních celsia

Tloušťka [mm]	0	10	20	30	40	50
Armox 600T [40]		170*				
Armox Advance [40]						
Armalloy 650UHH [28]	100					
Bisalloy Armour UHH 600 [41]	20	50	75			
Mars 300 [43]		20	100			
Mars 600 [43]						
Ramor 600 [44]						
Secure 600 [45]		100	150		175*	

Teploty označené hvězdičkou se udržují 2 minuty za každý milimetr tloušťky materiálu. Materiály, které jsou proškrtnuté, nebo tloušťky bez označení teploty předehřevu se nedoporučují řezat plamenem a plasmou, nýbrž vodním paprskem.

3.4.3 Řezání laserem

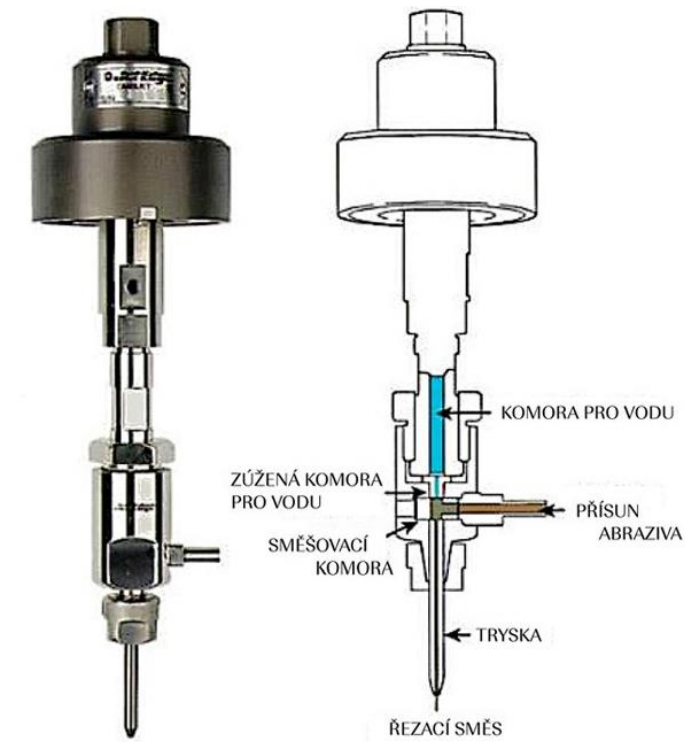
Laserový paprsek vzniká v rezonátoru. Optický rezonátor je prostor tvořený soustavou zrcadel a aktivním prostředím (plynem, pevnou látkou). Zde se světelný paprsek zkoncentruje a prochází přes polopropustné zrcadlo. Vzniklý paprsek má danou vlnovou délku ($0,1 \div 10 \mu\text{m}$). Do hlavice, kterou prochází paprsek je dodáván plyn, který může řezání buď urychlovat, vytlačovat taveninu z řezu, nebo řez ochlazovat. Schéma dělení laserem je na obrázku 3.4.3 [39]. Řezná spára laseru bývá velmi malá, obvykle do 1 mm a TOZ ne více než 3 mm. Díky dobré automatizaci může mít plynulé řízení v 5 osách a dokáže řezat zkosení a přesné, malé díry. Laser je vhodný do 20 mm tloušťky materiálu pancíře.



Obr. 3.4.3 Schéma řezání laserem [39]

3.4.4 Řezání abrazivním vodním paprskem

Materiál se dělí kinetickou energií vysokorychlostního a vysokotlakého vodního paprsku do kterého se přivádí nebo vstříkuje brusivo (olivín, granát). Voda bývá stlačena až na 345 MPa a objemový průtok vody se pohybuje mezi 1,2 a 5,2 l/min. Šířka řezu může být i 0.5 mm. Nevzniká zde žádná TOZ a tato metoda může být použita pro všechny tloušťky pancířů, to z ní dělá nejvhodnější metodu pro dělení pancířů. Schéma řezání abrazivním vodním paprskem je zobrazeno na obrázku 3.4.4 [38].



Obr. 3.4.4 Schéma řezání vodním paprskem [38]

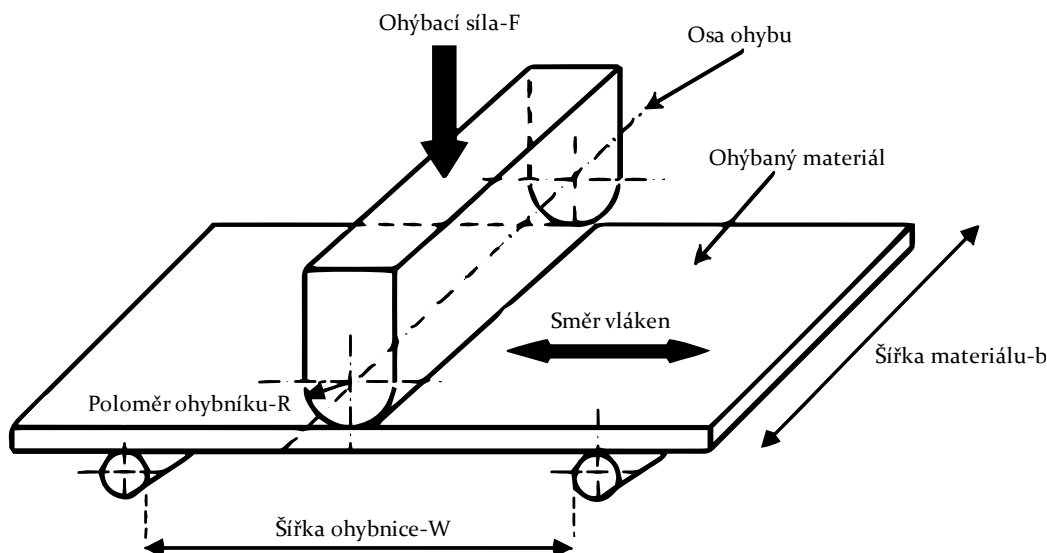
Každá skupina materiálů, rozdělená podle tvrdosti má trochu odlišné požadavky na dělení. Ale vesměs jsou nároky podobné, a proto nebudou vyhodnocovány.

3.5 Ohýbání [40],[41],[42],[43],[45]

Ohýbání patří mezi nejdůležitější operace s pancíří. Tímto procesem lze minimalizovat počet potřebných dílů, což vede k méně svarům. Nižší počet svarů je zde žádoucí, jelikož nimi spojená místa jsou náchylnější na poškození střelou. V dnešní době se výrobci spolu s dodavateli snaží dosáhnout konstrukcí z co nejméně dílů.

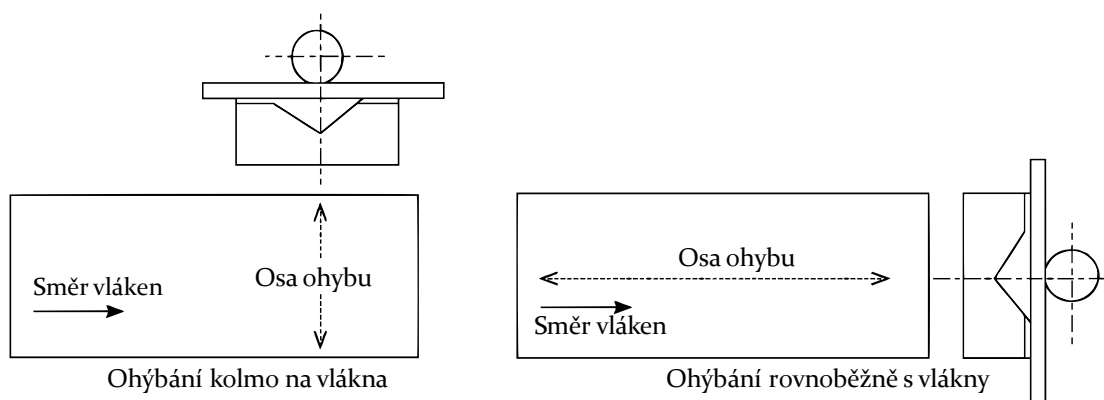
Každý plát pancíře má vyražené své identifikační číslo, tato část materiálu se umísťuje do míst, kde nevadí ztenčení stěny, a v nichž nedochází k ohybu ani jiným následným úpravám, protože hrozí riziko prasknutí materiálu. Tato část materiálu se také neohýbá ani se na ní nekonají žádné jiné úpravy, jelikož při nich hrozí riziko prasknutí materiálu.

Čím tvrdší materiál se ohýbá, tím větší je zpětné odpružení, například při ohybu Armoxu 500 na úhel 90° se materiál ohne na 70°. Také se tvrdší materiály nedokážou ohnout do tak malých poloměrů jako měkkí pancíře a je na jejich ohyb potřeba větších sil.



Obr. 3.5.1 Schéma procesu ohýbání [43]

Plochy ohýbaného materiálu jsou nejdříve očištěny a zbrúšeny, tím se hrany zbaví TOZ, v níž má materiál jinou tvrdost. Ty se následně se zaoblí, aby nevznikaly koncentrátoři napětí. Ohybník a ohybnice jsou před lisováním mazány, aby materiál lépe tekla do ohybnice a aby v materiálu nevznikala zbytečná napětí. Díky dobrému mazání se zmenší odpružení i síla potřebná k ohýbání. Pancíře, stejně jako ostatní válcované oceli by se měli mít osu ohybu kolmo na směr vláken. Pokud je osa ohybu rovnoběžně s vlákny, lze dosáhnout jen větších minimálních poloměrů. Na obrázku 3.5.1 [43] je zobrazeno schéma ohýbání a na obrázku 3.5.2 [41] je srovnání ohýbání po a proti směru vláken.



Obr. 3.5.2 Rozdíl mezi ohýbání kolmo na vlákna a po směru vláken [41]

Poloměr ohybníku R a šířka ohybnice W jsou nejdůležitější parametry pro ohýbání pancířů. Poloměr ohýbaného materiálu, je trochu menší než ohybníku a šířka ohybnice ovlivňuje sílu potřebnou k ohýbání a odpružení. Čím je větší šířka ohybnice, tím menší je síla potřebná k ohýbání, ale na úkor většího odpružení.

V tabulkách 3.5.1, 3.5.2 a 3.5.3 jsou udávány minimální poloměry ohybníku pro ohyb na 90°, ale menší úhel tolik neovlivňuje potřebnou sílu a odpružení oproti šířce ohybnice nebo tvrdosti materiálu.

Výpočet ohybové síly závisí nejen na délce ohybu, tloušťce plátu, šířce ohybnice, ale také na postupně měnícím se ohybovém momentu, který se považuje za největší při ohybovém úhlu 120° bez použití mazání.

Tab. 3.5.1 Tabulka doporučených minimálních poloměrů a šířek ohybnice pro houževnaté materiály

	Tloušťka [mm]	R/t		W/t		Odpružení [°]
		kolmo vláknům	k Rovnoběžně k vláknům	kolmo vláknům	k Rovnoběžně k vláknům	
Armox 440T [40]	<8	4	4	10	10	
	8-15	4	4	10	12	11-18
	>15	4,5	5	12	14	
Armalloy 440T [14]		4	5	12	12	-
Bisalloy Armour UHT 440 [41]	<20	4	5	17	19	10-15
	>20	5	6			
Difender 400 [42]	<8	5	7			
	8-15	7	9			
Difender 450 [42]	<8	4	5			
	8-15	5	6			
Secure 450 [45]	<8	4	5			
	8-15	5	6			

Tab. 3.5.2 Tabulka doporučených minimálních poloměrů a šířek ohybnice pro materiály s tvrdostí okolo 500 HBW

	Tloušťka [mm]	R/t		W/t		Odpružení [°]
		kolmo vláknům	k Rovnoběžně k vláknům	kolmo vláknům	k Rovnoběžně k vláknům	
Armox 500T [40]	<8	4	4	10	12	
	8-15	4	4	12	14	12-20
	>15	5,5	6	16	18	
Armalloy 500HH [20]		6	6	12	16	
Armalloy 550HH plus [21]		-	-	-	-	-
Bisalloy Armour HHA 500 [41]	<20	5	8	18	20	15-20
	>20	6	9	18	20	15-20
Difender 500 [42]	<8	6	8			
	8-15	8	10			
Ramor 500 [44]		6	6	16-20	16-20	18-25
Ramor 550 [44]		6	6	16-20	16-20	20-27
Secure 500 [45]	<8	6	8			
	8-15	8	10			

Tab. 3.5.3 Tabulka doporučených minimálních poloměrů a šířek ohybnice pro materiály s tvrdostí přes 600 HBW

	Tloušťka [mm]	R/t		W/t		Odpružení [°]
		kolmo k vláknům	Rovnoběžně k vláknům	kolmo k vláknům	Rovnoběžně k vláknům	
Armox 600T [40]	-	-	-	-	-	-
Armox Advance [40]	-	-	-	-	-	-
Armalloy 650UHH [28]	-	-	-	-	-	-
Bisalloy Armour UHH 600 [41]	-	-	-	-	-	-
Mars 300 [43]	-	-	-	-	-	-
	t<4	8	10			
Mars 600 [43]	4-6	12	10	2*R+3t		
	6-9	14	12			
	t>9					
Ramor 600 [44]	-	-	-	-	-	-
Secure 600 [45]	-	-	-	-	-	-

Armox 440T umožňuje nejmenší poloměry, tudíž se dá ohýbat nejlépe, ostatní houževnaté materiály jsou na tom velmi podobně, kromě materiálu Difender 400, který má, na svou poměrně menší tvrdost, o trochu větší minimální poloměr ohybu.

Mezi materiály s tvrdostí okolo 500 HBW se opět umístil nejlépe Armox 500T. Ostatní materiály mají poměrně větší minimální poloměry a Armalloy 550HH plus výrobci nedoporučují ohýbat.

Porovnání materiálů s tvrdostí nad 600 HBW není složité, jediný materiál, který jde, podle výrobců, ohýbat je Mars 600 a díky tomu se z něho možno zhotovovat celé kabiny a nemusí sloužit jen jako přídatný pancíř.

3.6 Svařování [46],[47],[48],[49],[51],[52]

Svařování je posledním z hlavních technologických procesů výroby pancířů, protože materiály se spojují převážně svařováním.

U všech druhů uvedených materiálů je svařitelnost zaručená za určitých podmínek. Mohou se svařovat jakýmkoliv konvenčním způsobem. Většina pancířů jsou nízkolegované oceli, tj. oceli s obsahem legujících prvků, bez uhlíku, do 5%. U těchto materiálů hrozí vodíkové zkrěhnutí.

Odolnost vůči vodíkovému praskání je vyjádřena uhlíkovým ekvivalentem. CET (3.6.1) a CEV (3.6.2) jsou dva nejvíce běžné typy ekvivalentů. CEV se používá pro oceli s obsahem C nad 18 %. Jestli CEV nepřekročí 0,45% pro tloušťku pancíře 4 mm může se svařovat bez předehřevu [47]. Zatímco CET zvýrazňuje úlohu C a reálnou tloušťku materiálu. CET je dnes asi nejvíce používaný uhlíkový ekvivalent.

Z uhlíkového ekvivalentu lze posoudit nutnost předehřevu, aby nevznikaly vodíkové trhliny (za studena).

$$CET = C + \frac{(Mn + Mo)}{10} + \frac{(Cr + Cu)}{20} + \frac{Ni}{40} \quad (3.6.1)$$

$$CEV = C + \frac{Mn}{6} + \frac{(Mo + Cr + V)}{5} + \frac{(Ni + Cu)}{15} \quad (3.6.2)$$

V tabulkách 3.6.1, 3.6.2 a 3.6.3 jsou napsány uhlíkové ekvivalenty pro srovnávané materiály. Někteří výrobci neměli dohledatelný uhlíkový ekvivalent, vzorce (3.6.3) a (3.6.2) počítají s reálným podílem materiálů a výrobci sdělují jen maximální množství, proto nebylo možné zbylé uhlíkové ekvivalenty dopočítat.

Tab. 3.6.1 Uhlíkové ekvivalenty houževnatých pancířů

	CET [%]	CEV [%]	Přehřev
Armox 440T [13]	0,41	0,70	ANO
Arm alloy 440T [14]		0,61	ANO
Bisalloy Armour UHT 440 [15]	0,30	0,58	ANO
Difender 400 [16]			
Difender 450 [17]			
Secure 450 [18]	0,42	0,74	ANO

Tab. 3.6.2 Uhlíkové ekvivalenty pancířů tvrdosti přes 500 HBW

	CET [%]	CEV [%]	Přehřev
Armox 500T [19]	0,50	0,77	ANO
Arm alloy 500HH [20]		0,74	ANO
Arm alloy 550HH plus [21]		0,86	ANO
Bisalloy Armour HHA 500 [15]	0,40	0,61	ANO
Difender 500 [22]			
Ramor 500 [23]			
Ramor 550 [24]			
Secure 500 [25]	0,47	0,72	ANO

Tab. 3.6.3 Uhlíkové ekvivalenty pancířů s tvrdostí přes 600 HBW

	CET [%]	CEV [%]	Předeřev
Armox 600T [26]	0,60	0,85	ANO
Armox Advance [27]	0,66	0,93	ANO
Armalloy 650UHH [28]		0,86	ANO
Bisalloy Armour UHH 600 [15]	0,52	0,75	ANO
Mars 300 [29]		0,83	ANO
Mars 600 [30]		0,77	ANO
Ramor 600 [31]			
Secure 600 [32]	0,55	0,80	ANO

Dle uhlíkového ekvivalentu vyplývá, že čím tvrdší je pancíř, tím více je náchylnější k vodíkovému praskání. U některých výrobců nebylo možné získat uhlíkové ekvivalenty a jejich výpočet nebyl možný z důvodu neznalosti přesných hodnot podílu prvků, byly známy jen jejich maximální obsahy. Teoreticky by měl Bisalloy Armour UHT 440 být nejméně náchylný vůči vodíkovému praskání. Nejvíce pak Armox Advance. Všechny pancíře se však svařují obtížněji než klasické měkké oceli a potřebují předeřev.

Svařování se správným tepelným příkonem vede k lepším mechanickým vlastnostem svaru. Je to je den z hlavních faktorů ovlivňujících vlastnosti svaru. Tepelný příkon Q závisí na elektrickém napětí U , proudu I a postupné rychlosti svařování v_s a určuje dodanou energii v závislosti na délce svaru. Celková účinnost navaření η_s vyjadřuje, kolik tepla se přeneso do svaru. Různé metody svařování mají různé účinnosti. Tepelný příkon lze stanovit dle vztahu

$$Q = k \cdot \frac{UI}{v} \cdot 10^{-3} \quad [\text{k} \cdot \text{mm}^{-1}] \quad (3.6.4)$$

Kde:

k koeficient tepelné účinnosti jednotlivých metod svařování

I svařovací proud v ampéremetrech

U svařovací napětí ve voltech

v svařovací rychlost v mm.s-1

Teploty předeřevu můžou být informativně vypočteny ze vztahu

$$T_p = 352 - 100 \sqrt{\frac{C + 2}{CEV^2} + \frac{t \cdot CEV - 6,5}{0,2}} \quad [^\circ\text{C}] \quad (3.6.5)$$

Kde:

C maximální hmotnostní obsah uhlíku v %

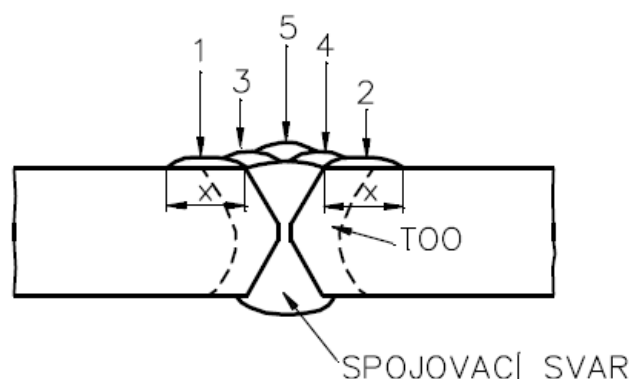
CEV uhlíkový ekvivalent dle vztahu

t tloušťka svařovaného materiálu v mm

Výrobci dodávají své hodnoty přehřevů pro feritické a austenitické přídatné materiály, ale dle Českého obranného standartu (ČOS) jsou pro svařování homogenních pancířů používány austenitické, nebo nízkolegované přídatné materiály.

Místa kde se nachází svarové spoje jsou z hlediska balistické odolnosti zeslabená, se zřetelem na vlastnosti přídatného materiálu a TOZ pancíře. Pokud svařená plocha splňuje „kritéria pravděpodobnosti ochrany 90 %, dle normy STANAG 4569“ [48] nemusí svarový spoj upravovat. Jestli je zvětšení balistické odolnosti nutné, jsou zde dvě varianty:

1. Při svařování je přídatný materiál střídán po vrstvách austenitického – houževnatého typu a neaustenitického typu různých tvrdostí. Jsou to tzv. Svary funkčně gradientních vlastností
2. Při svařování jsou na svarový spoj přidávány krycí vrstvy, jsou to tzv. svary s tvrdonávarem (obr. 3.6.1 [49]).



1 AŽ 5 – VRSTVY TVRDONÁVARU

X – PŘEKRYTÍ TOO TVRDONÁVAREM MIN. 7 MM

Obr. 3.6.1 Schéma provedení tvrdonávaru [49]

3.7 Balistická odolnost [50],[56],[57],[58],[59]

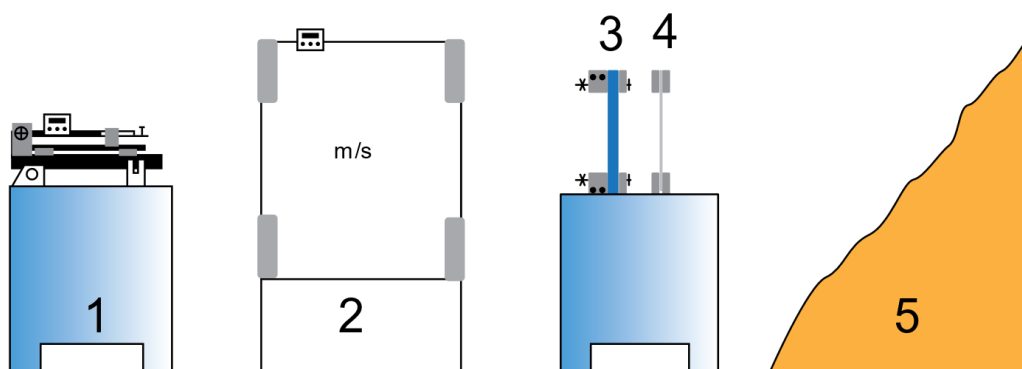
„Balistická odolnost je schopnost materiálu zastavit dopadající projektil nebo střepinu pro danou úroveň ochrany“ [50]

Pancíře potřebují splňovat balistické vlastnosti podle různých norem. Česká armáda se řídí normou STANAG 4569, která určuje úroveň ochrany lehkých obrněných vozidel proti kinetické energii dopadající střely a výbuchům dělostřeleckých granátů. Za hrozby proti

pancírům jsou zde považovány náboje malého a středního kalibru, balistické projektily a šrapnely.

Při vývoji nového obrněného vozidla se nejprve zkouší navrhovaný materiál balistickými zkouškami, poté se vyrobí vozidlo z klasické měkké oceli, aby se zjistila vyrobiteľnosť a aby se zhotovily potřebné přípravky a poté se vyrobí prototyp z pancíře. Dále se balisticky testuje celé vozidlo. Státní dozor zvolí místa na vozidle, která se budou ostřelovat, jsou to např. ohyby, svary nebo jiné koncentrátoři napětí, kde by mohla být větší šance na vznik trhlin, případně by zde mohlo dojít až k průstřelu. Pokud prototyp na některých místech selže, zhotoví se jen upravená část vozidla, nebo opět celý prototyp.

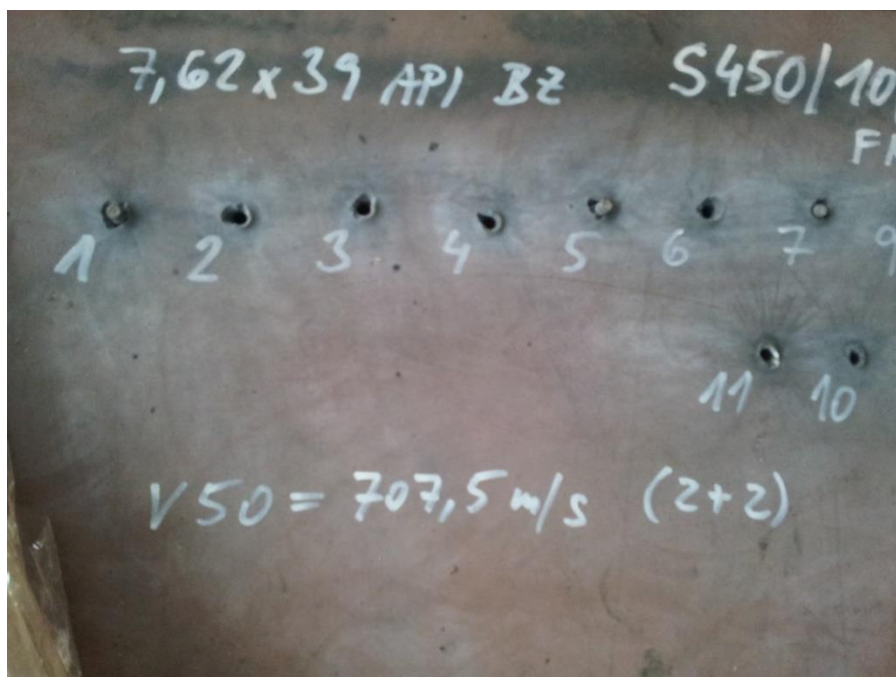
Balistická zkouška probíhá v normalizovaných střeľnicích. Prostor pro střílení se nazývá střeľecký koridor (obr. 3.7.1). Střílí se z balistické stoličky (1), která se skládá z pevně upnuté puškové hlavně se závěrem. Pomocí laseru se zamíří na vzorek (3), který je pevně upnut. Za vzorkem je upnutý tzv. „svědečný list“ (4) - tenký plech z hliníku, jenž detekuje případné průstřely. Střeľecký kanál bývá zakončen písečným valem (5), který zabraňuje odrazům munice. Po výstřelu kulka proletí zařízením pro měření rychlosti (2), které může být i součástí hlavně, a zasáhne vzorek. Poté je označeno místo zásahu, v případě průniku skrz materiál je označen i případný vzniklý otvor ve svědečném listu.



Obr. 3.7.1 Schéma střeľeckého koridoru

Při zjišťování STANAG úrovní je vybrána požadovaná munice a hlaveň, vytyčí se střeľná vzdálenost a naklonění testovaného materiálu. V případě STANAG 2. úrovně se střílí průbojnou municí ráže 7,62 x 39 ze vzdálenosti 30 metrů. Rychlost střeľy je (695 ± 20) m/s. Střílí se třikrát, zásahy tvoří rovnostranný trojúhelník o straně 120 mm. [59]

Balistickými zkouškami se může také zjišťovat tzv. v_{50} , což je průměrná rychlost střeľy, která projde pancířem určité tloušťky municí určité ráže. Toto měření se obvykle provádí dříve, než se měří určité úrovně. Rychlost náboje se ovlivňuje množstvím střeľného prachu, začíná se standartním množstvím, když náboj penetruje materiál, tak se střeľný prach ubírá, když ne, tak naopak přidává. Obvykle se provádí 5 výstřelů, z toho by měly alespoň 2 prostřelit a 2 vzorky neprostřelit materiál. Poté se zprůměrují změřené rychlosti a tím se získá v_{50} . Na obrázku 3.7.2 se nachází vyhodnocený vzorek po balistické zkoušce.



Obr. 3.7.2 Vzorek Secure 450, tloušťky 10,5 mm proti ráže 7,61x39 s vypočtenou v_{50}

Houževnaté pancíře se obvykle balisticky netestují, ale zkouší se tzv. dynamická výchylka, která se zkouší explozí určeného množství trhaviny 0,5 m pod zkoušeným plechem, nad vzorkem jsou umístěny olověné tyče. Po explozi se materiál elasticky vychýlí a poté se vrátí na plastickou výchylku. Dynamická výchylka se určuje podle deformace olověných tyčí a stálá (plastická) výchylka se určuje ze vzorku. Tyto zkoušky se ovšem dělají jen na zakázku, proto nebylo možné získat dostatečné množství výsledků.

Pancíře s tvrdostí přes 500 HBW se vyhodnocovaly na STANAG 2. úroveň, tabulka 3.7.1 ukazuje minimální tloušťky pancířů v mm

Tab. 3.7.1 Minimální možné tloušťky pancířů pro STANAG 4569 2. úrovně v milimetrech

	t [mm]		t [mm]
Armox 500T [58]	10	Armox 600T [60]	8
Armalloy 500HH [51]	12	Armox Advance [60]	7
Armalloy 550HH plus [51]	12	Armalloy 650UHH [51]	6,35
Bisalloy Armour HHA 500 [57]	12	Bisalloy Armour UHH 600 [57]	7,5
Difender 500 [58]	8	Mars 300 [52]	8,5
Ramor 500 [44]	12,2	Mars 600 [52]	8,5
Ramor 550 [44]	10,1	Ramor 600 [44]	-
Secure 500 [25]	12	Secure 600 [32]	10

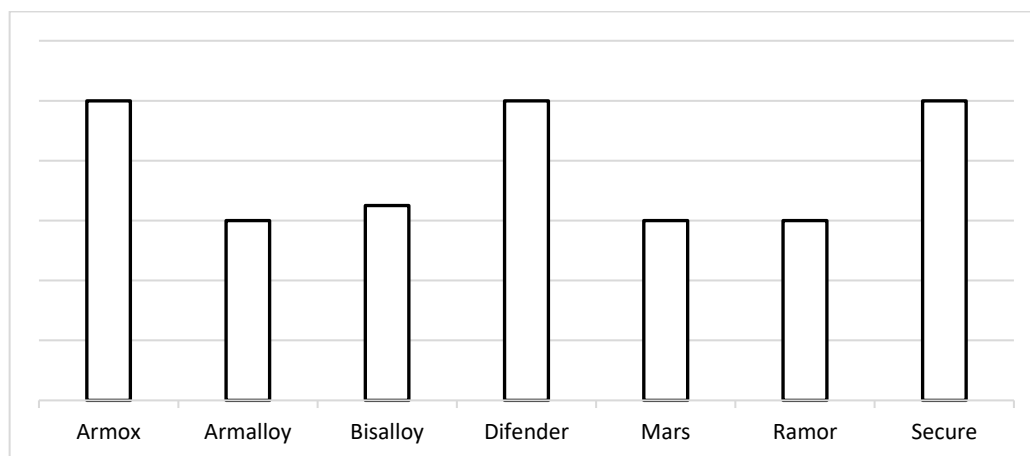
Z hodnot v tabulce 3.7.1 můžeme vidět, že mezi pancíři o tvrdosti kolem 500 HBW dopadl výrazně nejlépe Difender 500, který s tloušťkou 8 mm předstihuje i některé materiály s tvrdostí 600 HBW. Ostatní materiály potřebují, při porovnání s Armoxem 500T, větší tloušťky.

Mezi materiály o tvrdostech přes 600 HBW potřebuje nejmenší tloušťku Armalloy 650HH, který překonává Armox Advance. Bisalloy Armour UHH 600 dosáhl lepších výsledků než Armox 600T. Mars 300 a Mars 600 dosahují přibližně stejných minimálních tlouštěk jako Armox 500T.

3.8 Další hodnotící hlediska [53],[55],[58],[60]

3.8.1 Ekonomické hledisko

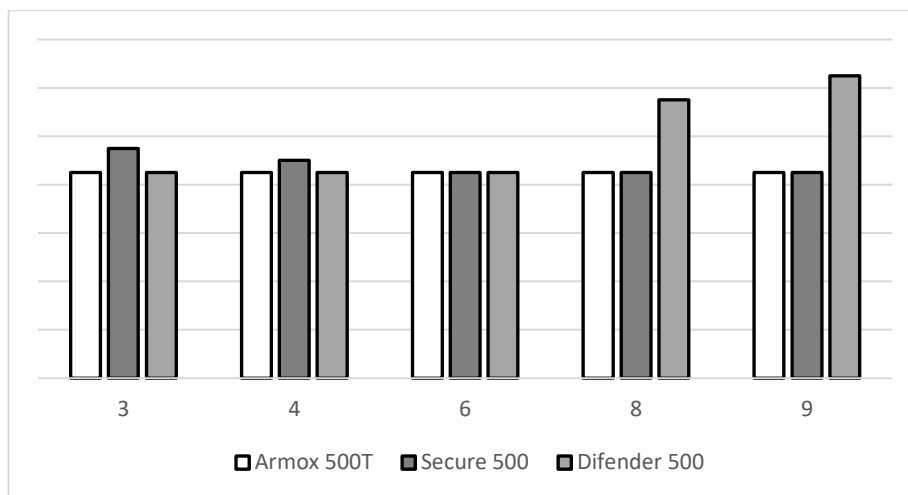
Cena se počítá za tunu materiálu a je závislá na řadě faktorů: na poptávce, kvalitě, značce, dostupnosti a také velmi výrazně na tloušťce pancéřovaného materiálu – nejdražší jsou tenčí plechy a s rostoucí tloušťkou cena mírně klesá. Ceny těchto materiálů jsou tedy proměnlivé a záleží zde na komunikaci mezi dodavatelem a odběratelem, proto nejsou uváděna přesná čísla ale jen koeficienty. Graf 3.8.1 [58], [60] porovnává průměrné ceny značek materiálů.



Obr. 3.8.1 Poměrné znázornění cen jednotlivých značek pancířů [58],[60]

Tento graf je spíše orientační; většina uvedených cen, které je zde uvedeny, pochází od firmy Advanced Armour Engineering, která má sídlo ve Spojených Arabských Emirátech, takže pro evropský trh mohou být ceny odlišné. Ceny materiálu Difender a Secure jsou od evropského dodavatele UnionOcel s.r.o. Zde jsou přesnější výsledky.

Z grafu 3.8.2 [58], který kromě ceny zahrnuje i tloušťku materiálu, se může vyčíst, že Difender 500 stojí více od tloušťky 8 mm než Secure 500 a Armox 500T. Firma Dillinger zvedá cenu záměrně, protože si uvědomuje, že tohoto materiálu není potřeba taková tloušťka jako ostatních materiálů, ale v celkovém hledisku cena celého výrobku vychází podobně.

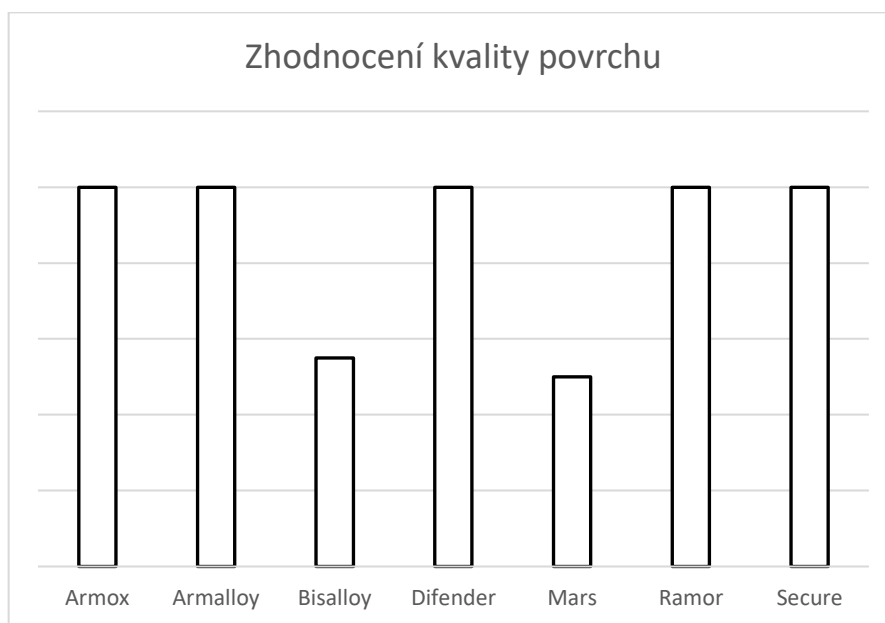


Obr. 3.8.2 Porovnání cen materiálů za tunu v jednotlivých tloušťkách v milimetrech [58]

Další hledisko je dostupnost, například Mars je v české republice vcelku nedostupný materiál, díky nevelkému zájmu firmy Industeel o Českou republiku a také díky dlouhým dodacím lhůtám.

3.8.2 Kvalita povrchu a dodávané rozměry

Kvalita povrchu, která je více než jen vzhled, může rozhodovat o kvalitě řezu, ohybu a možnostech svařování materiálu. Ve firmách, které se zabývají montáží celé vozidel, záleží na dodaných površích, protože si je už sami změnit nemohou. Materiál Mars je kalen po celé ploše najednou, díky tomu má rovnoměrnou mikrostrukturu po celém plátu, ale také na materiálu vznikají otisky od sevření při kalení. Kvalitu povrchu dodavatelé dokáží napravit, ale může to ovlivnit cenu. V grafu 3.8.3 [58], [60] je zobrazeno zhodnocení kvality povrchu daných materiálů.



Obr. 3.8.3 Graf zhodnocení kvality povrchu [58],[60]

V tabulkách 3.8.1, 3.8.2 a 3.8.3 jsou vypsány rozměry, ve kterých se materiály obvykle dodávají. Výrobci jsou schopní dodat i jiné rozměry, ale to by bylo z ekonomického hlediska nepřípustné.

Tab. 3.8.1 Dodávané rozměry pro materiály nad 400 HBW

	tloušťka (mm)	šířka (mm)	délka (mm)
Armox 440T [53]	4,0-80,0	1000-3350	2000-18000
Armalloy 440T [51]	3,6-50,8	1220-2590	2400-12000
Bisalloy Armour UHT 440 [54]	6,0-50,0	<2400	<8000
Difender 400 [42]	6,0-25,0	1000-2500	3000-8000
Difender 450 [42]	6,0-25,0	1000-2500	3000-8000

Tab. 3.8.1 Dodávané rozměry pro materiály nad 500 HBW

	tloušťka (mm)	šířka (mm)	délka (mm)
Armox 500T [53]	3,0-80,0	1000-3350	2000-18000
Armalloy 500HH [51]	4,0-50,8	1220-2590	2400-12000
Armalloy 550HH plus [51]	4,0-12,7	1220-2590	2400-12000
Bisalloy Armour HHA 500 [54]	5,0-50,0	<2400	<8000
Difender 500 [42]	6,0-25,0	1000-2500	3000-8000
Ramor 500 [53]	2,0-30,0	1000-3350	2000-18000
Ramor 550 [53]	3,0-15,0	1000-3350	2000-18000
Secure 500 [25]	4,0-150,0	1250-3200	4000-12000

Tab. 3.8.2 Dodávané rozměry pro materiály nad 600 HBW

	tloušťka (mm)	šířka (mm)	délka (mm)
Armox 600T [53]	4,0-20,0	1000-3350	2000-18000
Armox Advance [53]	4,0-7,9	1000-3350	2000-18000
Armalloy 650UHH [51]	4,0-12,7	1220-2590	2400-12000
Bisalloy Armour UHH 600 [54]	5,5-16,0	<2400	<8000
Mars 300 [55]	3,0-50,0	<2500	<8100
Mars 300 Perforated [55]	3,0-15,0	<1600	<4000
Mars 600 [55]	3,0-20,0	<2500	<8100
Ramor 600 [53]	3,0-6,0	1000-3350	2000-18000
Secure 600 [32]	4,0-40,0	1250-2500	4000-12000

Co se týče délky a šířky tak největší pláty je schopna dodávat firma SSAB pro Armox a Ramor. Většinou ale není potřeba tak velkých kusů, protože vozidla se dělají z více dílů a kvůli obtížné manipulaci. V nejmenších rozměrech se dodává Mars Perforated, ten se však používá jen jako přídavný materiál, takže není potřeba velkých jednotlivých kusů.

Mezi houževnatými materiály se v největších tloušťkách dodává materiál Armox 400T a v nejmenší škále rozměrů materiály Difender – 25 mm, tato tloušťka je však pro většinu výrobků dostačující. Největší škálu tlouštěk má Secure 500, který se vyrábí až ve tloušťce 150 milimetrů. Mezi materiály s tvrdostí nad 600 HBW se v největší tloušťce dodává Mars 300. Materiál Ramor 600 se vyrábí jen do tloušťky 6 mm, díky tomu nedosahuje požadované balistické odolnosti STANAG level 2 a je vhodný převážně pro pancéřování pro civilní sektor.

4 VYHODNOCENÍ

Pancíře jsou vyvíjeny pro ochranu vozidel a posádky. Pancíře od první světové války prošly velkým vývojem jak z hlediska složení, tak konstrukčního provedení. Ze začátku se vývoj ubíral cestou nasadit co možno nejtlustší materiál proti silným rážím. Tohoto ale z hlediska mobility není možné dosáhnout, neboť zesílení ocelového pancíře o jeden milimetr se navýší hmotnost průměrného obrněného vozidla alespoň o 3960 kg [1]. Proto se začaly vyvíjet jiné způsoby pancérování, například reaktivní pancérování a často používaný přídavný pancíř v podobě mříží, tzv. slat, který způsobí detonaci projektilu ve větší vzdálenosti od vozidla, anebo zabrání výbuchu střely úplně.

Ocelové pancíře se používají pro svou schopnost odolat více zásahům do malé oblasti. Používají se převážně tvrdosti 400 až 450 HBW pro podvozky vozidel, které jsou náchylné vůči výbuchům od min a improvizovaných explozivních zařízení. Pancíře s tvrdostí okolo 400 HBW jsou tvrdé a zároveň houževnaté a díky tomu dokáží odolat bezprostředním výbuchům. Pancíře s tvrdostí přes 500 HBW se používají jako základní materiál pro konstrukce, protože má vysokou tvrdost a balistickou odolnost, a přitom se dá relativně dobře zpracovávat. Pancíře s tvrdostí přes 600 HBW mají nejlepší balistické vlastnosti, ale díky vysoké tvrdosti se nedají ohýbat. Používají se pro přídavné plátování míst náchylných na zásah.

Armox je značka ocelových pancířů, která – stejně jako ostatní ocelové pancíře – má jemnozrnnou martenzitickou strukturu získanou nízkoteplotním popouštěním. Tento pancíř je nejznámější a široce používaný materiál pro ocelové konstrukce armádních vozidel. Existují ale alternativy, které tento pancíř mohou nahradit.

Z porovnávání houževnatých pancířů zůstává, dle mého úsudku, nejlepší materiál Armox 440T. Tento materiál má z mechanických vlastností nejvyšší houževnatost v kategorii a druhou nejvyšší mez pevnosti. Také se dá lépe ohýbat než ostatní pancíře s tvrdostí nad 400 HBW. Jako druhý materiál volím Secure 450, který má taktéž velmi vysokou houževnatost a pevnost a zároveň menší tažnost, což způsobí menší prohnutí při zásahu výbuchem. Secure 450 dá ohýbat jen na o trochu větší poloměry. Co se týče ekonomického hlediska, tak oba materiály mají podobné ceny a dostupnost.

Mezi tvrdými materiály se nejlépe umístil Difender 500, který na STANAG 2 potřebuje o 2 milimetry méně materiálu než Armox 500T, tento výsledek dokonce překonává některé pancíře s tvrdostí nad 600HBW. Díky tomu může být vozidlo mnohem lehčí a mít větší mobilitu v akci. Nicméně Armox 500T je houževnatější a díky tomu může být univerzálnějším materiálem. Difender 500 je v tloušťkách pro STANAG 2 dražší za tunu, to se ale vykompenzuje menším množstvím použitého materiálu, tudíž jsou ceny podobné.

Mezi materiály nad 600 HBW má zajímavé kandidáty firma Industeel, která přivádí na trh děrovaný pancíř Mars 300 perforated, tento materiál je mnohem lehčí s výbornými balistickými vlastnostmi. Je ale velmi křehký a nedá se tvářet, může však sloužit jako přídavný pancíř. Jeho nevýhodou je vyšší cena a nedostupnost na českém trhu. Firma Industeel vyrábí také Mars 600, který se i přes svou vysokou tvrdost dá ohýbat a díky tomu se z něj dají vyrábět celé konstrukce. Mars 600 má také velmi malou minimální tloušťku pro STANAG 2. Nevýhoda tohoto materiálu je převážně nedostupnost na českém trhu. Nejmenší minimální tloušťku potřebnou pro úroveň STANAG 2 má materiál Armalloy 650UHH. Tento materiál má také ze všech nejvyšší mez pevnosti. Materiál Armalloy je levnější než Armox, ale dostupnost tohoto materiálu pro český trh je pro mne neznámá. Armox Advance má druhou nejmenší potřebnou tloušťku, avšak dle zjištěných informací to je jeden z nejdražších materiálu na trhu a konstruktéři se jeho použití snaží vyhnout.

5 ZÁVĚR

Ve své bakalářské práci jsem popsal nejčastěji používaný pancíř, známý pod obchodním názvem Armox. Prostudoval jsem podklady o dalších materiálech na pancíře z hledisek, která jsou pro jeho výrobu a aplikaci zásadní. Uvážil jsem ekonomické hledisko a dostupnost materiálů a vyšlo mi, že materiál Armox 400T je mezi svou konkurencí nejlepším kandidátem pro materiály s tvrdostí nad 400 HBW. Jako náhradu pro materiál Armox 500T bych navrhnul materiál Difender 500, protože má výbornou balistickou odolnost. Mezi materiály s tvrdostí nad 600 HBW bych volil buď Armalloy 650UHH, protože má skvělou balistickou odolnost, anebo materiál Mars 300 Perforated, který má úlohu přidavného pancíře s nízkou hmotností.

Pro další směřování této práce bych doporučil pracovat s užším výběrem výše zmíněných materiálů, které bych podrobil důkladnějšímu zkoumání a porovnávání technologických a mechanických vlastností. Pro houževnaté materiály bych doporučil přidat výsledky zkoušek dynamické výchylky, které by přinesly lepší pochopení chování pancířů při výbuchu.

Seznam obrázků

Obr. 2.1.1 Tank Mk V překonává zákop [1]	10
Obr. 2.1.2 Kanón versus pancíř [2]	12
Obr. 2.1.3 Pásový obrněný transportér M113 s krytem kulometu [1].....	13
Obr. 2.1.4 Pandur II Armády České republiky s přidavným mřížovým (slatovým) pancéřováním [3].....	13
Obr. 2.1.5 Schéma funkce slatového pancéřování zabrání detonaci RPG [1].....	14
Obr. 2.1.6 Reaktivní pancíř na sovětském tanku T-72AV [4].....	14
Obr. 2.2.1 Schéma HEAT munice (a) a propalování HEAT munice skrze pancíř (b) [2] .	16
Obr. 2.2.2 Protipancéřové střely, jejich chování za letu a účinek na pancíř [2].....	17
Obr. 3.1.1 Mars 300 perforated [33].....	18
Obr. 3.3.1 Schéma zkoušky Charpyho kladivem [35].....	24
Obr. 3.3.2 Schéma trhacího stroje pro zkoušku tahem [35]	25
Obr. 3.4.1 Schéma řezání plamenem [39]	28
Obr. 3.4.2 Schéma řezání plasmou [39]	28
Obr. 3.4.3 Schéma řezání laserem [39]	30
Obr. 3.4.4 Schéma řezání vodním paprskem [38]	31
Obr. 3.5.1 Schéma procesu ohýbání [43]	32
Obr. 3.5.2 Rozdíl mezi ohýbání kolmo na vlákna a po směru vláken [41]	32
Obr. 3.6.1 Schéma provedení tvrdonávaru [49]	37
Obr. 3.7.1 Schéma střeleckého koridoru	38
Obr. 3.7.2 Vzorek Secure 450, tloušťky 10,5 mm proti ráže 7,61x39 s vypočtenou v_{50}	39
Obr. 3.8.1 Poměrné znázornění cen jednotlivých značek pancířů [58],[60]	40
Obr. 3.8.2 Porovnání cen materiálů za tunu v jednotlivých tloušťkách v milimetrech [58]	41
Obr. 3.8.3 Graf zhodnocení kvality povrchu [58],[60].....	41

Seznam tabulek

Tab. 2.1.1 Porovnání významných Německých a Sovětských tanků ve druhé světové válce [2].....	11
Tab. 3.2.1 Vlastnosti škodlivých přídavných prvků v závislosti na množství v železe [12]	20
Tab. 3.2.2 Chemické složení houževnatých pancířů	21
Tab. 3.2.3 Chemické složení pancířů s tvrdostí okolo 500 HBW	21
Tab. 3.2.4 Chemické složení pancířů s tvrdostí nad 600 HBW.....	22
Tab. 3.3.1 Mechanické vlastnosti houževnatých pancířů s tvrdostí nad 400 HBW	26
Tab. 3.3.2 Mechanické vlastnosti pancířů tvrdosti nad 500 HBW	26
Tab. 3.3.3 Mechanické vlastnosti pancířů s tvrdostí nad 600 HBW	26
Tab. 3.4.1 Tabulka doporučeného přehřívání pro dělení plasmou nebo plamenem pro houževnaté materiály ve stupních celsia	29
Tab. 3.4.2 Tabulka doporučeného přehřívání pro dělení plasmou nebo plamenem pro tvrdé materiály ve stupních celsia	29
Tab. 3.4.3 Tabulka doporučeného přehřívání pro dělení plasmou nebo plamenem pro materiály s tvrdostí nad 600HBW ve stupních celsia.....	29
Tab. 3.5.1 Tabulka doporučených minimálních poloměrů a šířek ohybnice pro houževnaté materiály	33
Tab. 3.5.2 Tabulka doporučených minimálních poloměrů a šířek ohybnice pro materiály s tvrdostí okolo 500 HBW.....	33
Tab. 3.5.3 Tabulka doporučených minimálních poloměrů a šířek ohybnice pro materiály s tvrdostí přes 600 HBW	34
Tab. 3.6.1 Uhlíkové ekvivalenty houževnatých pancířů	35
Tab. 3.6.2 Uhlíkové ekvivalenty pancířů tvrdosti přes 500 HBW	35
Tab. 3.6.3 Uhlíkové ekvivalenty pancířů s tvrdostí přes 600 HBW.....	36
Tab. 3.7.1 Minimální možné tloušťky pancířů pro STANAG 4569 2. úrovně v milimetrech.....	39
Tab. 3.8.1 Dodávané rozměry pro materiály nad 500 HBW	42
Tab. 3.8.2 Dodávané rozměry pro materiály nad 600 HBW	42

Seznam symbolů a zkratek

Zkratky:

AP	...	Armour piercing
APCBC	...	Armour piercing capped ballistic cap
APCR	...	Armour piercing composite rigid
APDS	...	Armour-piercing discarding sabot
APDSFS	...	Armour Piercing Discarding Sabot Fin Stabilised
CET	...	Carbon equivalent by IIW
CEV	...	Carbon equivalent
HBW	...	Hardness Brinell wolfram
HEAT	...	(high explosive, anti-tank)
HESH	...	high explosive squash head
HH	...	High hardness
HRC	...	Hardness Rockwell type C
HV	...	Hardness Vickers
IIW	...	International institute of welding
MG	...	Maschinengewehr
Mk	...	Mark
RPG	...	Ruční protipancéřový granát
STANAG	...	Standard agreement
TOO	...	Tepelně ovlivněná oblast
TOZ	...	Tepelně ovlivněná zóna
UHH	...	Ultra-high hardness
UHT	...	Ultra-high toughness
VC	...	Vanadium carbide
WC	...	Wolfram carbide

Symboly:

A	[%]	tažnost
b	[mm]	šířka plechu
C	[%]	množství uhlíku v materiálu
F	[N]	síla
I	[A]	svařovací proud
L ₀	[mm]	původní délka vzorku
L _U	[mm]	délka vzorku po přetrhnutí
m	[kg]	hmotnost
η _s	[%]	účinnost svařované metody
Q	[J]	Tepelný příkon
R	[mm]	poloměr ohýbání
R _e	[Mpa]	mez kluzu
R _m	[Mpa]	mez pevnosti
R _{p0,2}	[Mpa]	smluvní mez kluzu

t	[°C]	teplota
t	[mm]	tloušťka plechu
T _p	[°C]	teplota přehřevu
U	[V]	svařovací napětí
v	[m/s]	rychlost svařování
V ₅₀	[m/s]	průměrná rychlost střely, která projde pancířem
W	[J]	práce
W	[mm]	šířka ohybnice

Literatura

- [1] YAP, Chun Hong Kelvin. *The Impact of Armor on the Design, Utilization and Survivability of Ground Vehicles The History of Armor Development and Use*. Monterey, California. Naval Postgraduate School, 2012. Diplomová práce. Monterey, California. Naval Postgraduate School. Vedoucí práce Christopher Adams, Morris Driels.
- [2] MACKSEY, Kenneth. Tank proti tanku: ilustrovaná historie vzniku obrněných vozidel a popis jejich střetů na bojištích 20. století. Praha: Deus, 2003. ISBN 80-862-1544-X.
- [3] Pandur II AČR verze KBVP-M1 RVS. In: *Wikimedia Commons* [online]. San Francisco, 2004, 25 May 2013 [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/7/7e/KBVP-M1_RVS.JPG/800px-KBVP-M1_RVS.JPG
- [4] Kontakt-V: Explosive reaktive armour. In: *World defence news* [online]. 2011, 25th March 2016 [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: <http://worlddefencenews.blogspot.com/2016/03/kontakt-v-explosive-reactive-armour.html>
- [5] *Winston Churchill*. Praha: Naše vojsko, 2013. Vojenské dějiny ve fotografii. ISBN 978-80-206-1246-5.
- [6] O společnosti SSAB. *SSAB* [online]. Stockholm, 2019 [cit. 2019-05-18]. Dostupné z: <https://www.ssab.cz/ssab-country-sites/about-ssab>
- [7] About EVRAZ. *EVRAZ* [online]. Chicago, 2017 [cit. 2019-05-18]. Dostupné z: <http://www.evrazna.com/Company/tabid/53/Default.asp>
- [8] About Bisalloy: Our Company. *Bisalloy* [online]. Sydney, 2019 [cit. 2019-05-18]. Dostupné z: <https://www.bisalloy.com.au/aboutbisalloy/OurCompany.aspx>
- [9] Dillinger: Dillinger group. *Dillinger* [online]. Dillingen/Saar, 2016 [cit. 2019-05-18]. Dostupné z: <https://www.dillinger.de/d/en/corporate/dillinger/group/index.shtml>
- [10] Industeel: Who we are. *ArcelorMittal* [online]. Le Creusot [cit. 2019-05-18]. Dostupné z: <https://industeel.arcelormittal.com/industeel/who-we-are/high-quality-steels-producer/>
- [11] Our Company: an Overview. *Thyssenkrupp* [online]. Essen, 2018 [cit. 2019-05-18]. Dostupné z: <https://www.thyssenkrupp-steel.com/en/company/>
- [12] PLUHAR, Jaroslav a Josef KORITTA. *Strojírenské materiály*. 2., přeprac. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1977. Řada strojírenské literatury. DT 621.002.3.
- [13] SSAB. *Armox 440T: Data sheet 173*. Stockholm, 2017. Dostupné také z: <https://www.ssab.com/products/brands/armox/armox-440t>
- [14] *Arm alloy 440T Armor Plate: MIL-DTL-12560J Class 4a*. Chicago, 2015. Dostupné také z: <https://www.evrazna.com/Products/SteelPlate/tabid/77/Arm alloy%20440T%20Data%20Sheet.pdf>

- [15] Bisalloy. *Bisalloy Armour: Aussie Made Brochure*. Sydney, 2019. Dostupné také z: <https://www.bisalloy.com.au/Technical/Performance.aspx>
- [16] DILLINGER. *Difender 400: Material data sheet*. Edition February 2017. Dillingen/Saar, 2017. Dostupné také z: <https://www.dillinger.de/d/en/products/proprietary-steels/difender/index.shtml>
- [17] DILLINGER. *Difender 450: Material data sheet*. Edition February 2017. Dillingen/Saar, 2017. Dostupné také z: <https://www.dillinger.de/d/en/products/proprietary-steels/difender/index.shtml>
- [18] ThyssenKrupp. *Secure 450*. Essen, 2014. Dostupné také z: <https://www.thyssenkrupp-steel.com/en/products/heavy-plate/ballistic-steel/secure/productpage-secure.html>
- [19] SSAB. *Armox 500T: Data sheet 195*. Stockholm, 2017. Dostupné také z: <https://www.ssab.com/products/brands/armox/armox-500t>
- [20] EVRAZ. *Arm alloy 500HH Armor Plate: MIL-DTL-46100E*. Chicago, 2015. Dostupné také z: <https://www.evrazna.com/Products/SteelPlate/tabid/77/Arm alloy%20500HH%20Data%20Sheet.pdf>
- [21] EVRAZ. *Arm alloy 550HH+ Armor Plate*. Chicago, 2015. Dostupné také z: <https://www.evrazna.com/Products/SteelPlate/tabid/77/Arm alloy550HHPlusDataSheet.pdf>
- [22] DILLINGER. *Difender 500: Material data sheet*. Edition February 2017. Dillingen/Saar, 2017. Dostupné také z: <https://www.dillinger.de/d/en/products/proprietary-steels/difender/index.shtml>
- [23] SSAB. *Ramor 500: Data sheet 2033*. Stockholm, 2017. Dostupné také z: <https://www.ssab.com/products/brands/armox/ramor-500>
- [24] SSAB. *Ramor 550: Data sheet 2034*. Stockholm, 2017. Dostupné také z: <https://www.ssab.com/products/brands/armox/ramor-550>
- [25] ThyssenKrupp. *Secure 500*. Essen, 2016. Dostupné také z: <https://www.thyssenkrupp-steel.com/en/products/heavy-plate/ballistic-steel/secure/productpage-secure.html>
- [26] SSAB. *Armox 600T: Data sheet 197*. Stockholm, 2014. Dostupné také z: <https://www.ssab.com/products/brands/armox/armox-600t>
- [27] SSAB. *Armox Advance: Data sheet 199*. Stockholm, 2014. Dostupné také z: <https://www.ssab.com/products/brands/armox/armox-advance>
- [28] EVRAZ. *Arm alloy 650UHH Armor Plate: MIL-DRT-32332*. Chicago, 2015. Dostupné také z: <https://www.evrazna.com/Products/SteelPlate/tabid/77/Arm alloy%20650UHH%20Data%20Sheet.pdf>
- [29] INDUSTRIEL, ArcelorMittal. *Mars 300*. Le Creusot, 2018. Dostupné také z: <https://industeel.arcelormittal.com/products/protection-steels/ultra-high-hard-armor-300p/>
- [30] INDUSTRIEL, ArcelorMittal. *Mars 600*. Le Creusot, 2018. Dostupné také z: <https://industeel.arcelormittal.com/products/protection-steels/ultra-high-hard-armor/>
- [31] SSAB. *Ramor 600: Data sheet 2035*. Stockholm, 2018. Dostupné také z: <https://www.ssab.com/products/brands/armox/ramor-600>

- [32] ThyssenKrupp. *Secure 600*. Essen, 2011. Dostupné také z: <https://www.thyssenkrupp-steel.com/en/products/heavy-plate/ballistic-steel/secure/productpage-secure.html>
- [33] INDUSTRIEL, ArcelorMittal. *Perforated Mars 300*. Le Creusot, 2018. Dostupné také z: <https://industeel.arcelormittal.com/products/protection-steels/ultra-high-hard-armor-300/>
- [34] VELES, Pavol. *Mechanické vlastnosti a skúšanie kovov: celoštátna vysokoškolská učebnica pre hutnícke a strojárské fakulty vysokých škôl*. 2. vyd. Bratislava: Alfa, 1989. Edícia hutníckej literatúry (Alfa). MDT 620.17.
- [35] MARTINÁK, Milan. *Kontrola a měření pro 3. ročník středních průmyslových škol strojnických: učebnice pro 3. ročník studijních oborů strojírenská technologie, strojírenská konstrukce, provozuschopnost výrobních zařízení*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1989.
- [36] *Technologie svařování a zařízení: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. Ostrava: ZEROSS, 2001. Svařování. ISBN 80-857-7181-0.
- [37] PLAZMACZ. *Plazma přednosti a nevýhody*. *Plazmacz* [online]. Tábor [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <http://www.plazmacz.cz/plazma-prednosti-a-nevyhody/>
- [38] PKIT Praha s.r.o. - *Tryskací materiály a Tryskací zařízení* [online]. 2008 [cit. 2019-5-19]. Dostupné z: <http://www.pkit.cz/>
- [39] PALÁT, Hynek. *Dělení materiálů*. Opava, 2011. Dostupné také z: https://www.sspu-opava.cz/static/UserFiles/File/_sablony/STT_III/VY_52_INOVACE_I-03-03.pdf
- [40] SSAB. *Workshop recommendations for Armox*. Oxelösund, 2017. Dostupné také z: <https://www.ssab.com/products/brands/armox/armox-product-overview>
- [41] Bisalloy. *Armour plate fabrication: Technical guide*. Sydney, 2016. Dostupné také z: <https://www.bisalloy.com.au/Technical/Fabrication.aspx>
- [42] DILLINGER. *Difender: For safety and security - recommendation for processing*. Dillingen/Saar, 2018. Dostupné také z: <https://www.dillinger.de/d/en/products/proprietary-steels/difender/index.shtml>
- [43] ROYAL, Yves a Antoine PROUST. *User guide for Mars protection steels*. Le Creusot, 2017. Dostupné také z: <https://industeel.arcelormittal.com/services-support/documentstools/grades-tables-user-guides/>
- [44] SSAB. *Ramor protection steels*. Stockholm, 2017. Dostupné také z: <https://www.ssab.com/products/brands/armox/ramor-600?accordion=downloads>
- [45] ThyssenKrupp. *Secure ballistic steels: Processing recommendations*. Essen, 2008. Dostupné také z: <https://www.thyssenkrupp-steel.com/en/products/heavy-plate/ballistic-steel/secure/productpage-secure.html>
- [46] HRIVŇÁK, Ivan. *Zvaritel'nos' oceli*. Bratislava: Alfa, 1979. Edícia strojárskej literatúry (Alfa). MDT 621.791.011.
- [47] JECH, David. *Svařitelnost oceli pro součásti parních turbín* [online]. Brno, 2010 [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=29154. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojírenského inženýrství. Vedoucí práce Martin Juliš.

- [48] PILOUS, Václav. Volba konstrukčních ocelí pro stavební svařované konstrukce podle významu označení. *KONSTRUKCE* [online]. 2013, 1.11.2013, **2013** [cit. 2019-05-19]. ISSN 1803-8433. Dostupné z: <http://www.konstrukce.cz/clanek/volba-konstrukcnich-oceli-pro-stavebni-svarovane-konstrukce-podle-vyznamu-oznaceni/>
- [49] ČOS 343901. *Český obranný standart: Obloukové svařování homogenních ocelových pancířů*. 4. vydání. Praha: Úřad pro obrannou standardizaci, katalogizaci a státní ověřování jakosti, 2017.
- [50] ČOS 343905. *Český obranný standard: Svařování. Obloukové svařování vysokopevnostních ocelí ve výrobě konstrukcí vojenské techniky*. Praha: Úřad pro obrannou standardizaci, katalogizaci a státní ověřování jakosti, 2019.
- [51] EVRAZNA. *Defence: Armor plate*. Chicago, 2015. Dostupné také z: <https://www.evrazna.com/Products/SteelPlate/tabid/77/Default.asp>
- [52] INDUSTEEL, ArcelorMittal. *Mars steels for military applications*. Le Creusot, 2018. Dostupné také z: <https://industeel.arcelormittal.com/services-support/documentstools/brochures/>
- [53] SSAB. *General product information: Strenx, Hardox, ArmoX and Toolox*. Stockholm, 2018. Dostupné také z: <https://www.ssab.com/products/brands/armox/armox-product-overview?dcFilter=&dcSearch=>
- [54] Bisalloy. *Manufacturing tolerance*. Sydney, 2018. Dostupné také z: <https://www.bisalloy.com.au/Technical/Specifications.aspx>
- [55] INDUSTEEL, ArcelorMittal. *Steel Solutions for protection applications*. Le Creusot, 2017. Dostupné také z: <https://industeel.arcelormittal.com/wp-content/uploads/2016/01/Steel-SolutionsProtecAppli-CT-07.2017-BD.pdf>
- [56] NATO – STANAG 4569. Protection levels for occupants of armoured vehicles. 3rd ed. Brussels: NATO, 2014.
- [57] E-mailová korespondence s Dr. Willy Pang, Technical Manager, Bisalloy, [online], 2019,
- [58] Osobní sdělení, Marek Pácalt, UnionOcel, s.r.o., Kopřivnice, 2019.
- [59] Osobní sdělení, Radim Ulman, Vedoucí oddělení technické skupiny, Vojenský výzkumný ústav, s.p., Brno, 2019
- [60] Osobní sdělení, Owen Hall, Business Development Manager – Ballistic Steel, Advanced Armour Engineering, UAE, 2019