

Interreg



Rakousko-Česká republika

Evropský fond pro regionální rozvoj

STROJÍRENSTVÍ

Materiály ve strojním inženýrství



UNIVERSITY
OF APPLIED SCIENCES
UPPER AUSTRIA



EVROPSKÁ UNIE

OBSAH

1. technické materiály v současné praxi	4
1.1. Charakteristika jednotlivých skupin materiálů	5
2. Všeobecné vlastnosti materiálů	7
2.1. Fyzikální vlastnosti materiálů	7
2.2. Mechanické vlastnosti materiálů	8
2.3. Technologické vlastnosti materiálů	9
2.4. Chemické vlastnosti	10
3. Kritéria pro volbu materiálu	11
3.1. Volba materiálu v procesu návrhu výrobku	13
3.2. Proces volby materiálu	15
3.3. Vztah volby materiálu a technologií	16
3.4. Volba materiálu ve vztahu k životnímu prostředí.....	18
4. Označování materiálů	22
4.1. Rozdělení a označování ocelí podle evropských norem.....	22
4.2. Nelegované oceli	23
4.2.1. Oceli obvyklých jakostí.....	23
4.2.2. Nelegované jakostní oceli.....	23
4.2.3. Nelegované ušlechtilé oceli.....	24
4.3. Legované oceli	24
4.3.1. Legované jakostní oceli.....	24
4.3.2. Legované ušlechtilé oceli.....	25
4.4. Systém zkráceného označování ocelí.....	26
5. Číselné označování ocelí	27
5.1. Označování ocelí v některých členských státech EU	27
5.2. Označování ocelí podle německé normy DIN.....	29
5.3. Světoví producenti oceli	31
6. Hodnocení povrchu materiálů	35
6.1. Hlavní parametry hodnocení.....	36
6.2. Parametry pro 3D hodnocení.....	39
6.3. Srovnání 2D a 3D hodnocení.....	41
7. Měřicí přístroje a programy.....	44

7.1.	Optosurf QS 500	44
7.2.	Software SW 500	45
7.3.	Taylor Hobson Talysurf CLI	46
7.4.	Program Talymap	47
7.5.	Modul Textured Surfaces	48
7.6.	Program Talymap Wear	48
7.7.	Program Step Height Analysis	49
7.8.	Program Twist	49
7.9.	Mitutoyo Surftest SJ-400	50
7.10.	Software Surfpak SJ/SV/PRO	51
7.11.	Program Surfer 9	51
8.	Materiály v současné praxi výroby automobilů I.	52
8.1.	Plechý a pásy z nízkouhlíkových ocelí určené na tažení za studena	54
8.2.	Fyzikálně-metalurgické vlastnosti ocelí při výrobě automobilů	55
8.3.	Oceli bez volných intersticiálních prvků (IF oceli)	56
8.4.	Oceli Bake hardening (BH oceli)	57
8.5.	Mikrolegované oceli (HSLA oceli)	58
9.	Materiály v současné praxi výroby automobilů II.	59
9.1.	Vícefázové oceli (CP, TRIP oceli)	59
9.2.	Dvojfázové oceli (DP oceli)	59
9.3.	Maraging oceli	61
9.4.	Plechý válcované za tepla	62
9.5.	Plechý válcované za studena	63
9.6.	Pozinkované plechy v automobilovém průmyslu	64
9.6.1.	Plechý žárově pozinkované	65
9.6.2.	Plechý elektrolyticky pozinkované	65
9.6.3.	V alkalických koupelích	66
9.6.4.	V kyselých koupelích	66
10.	Nerezové materiály	68
10.1.	Rozdělení ocelí podle chemického složení:	68
10.1.1.	Nerezavějící oceli	69
10.1.2.	Austenitické oceli	69
10.1.3.	Martenzitické oceli	70

10.1.4.	Feritické oceli.....	70
10.1.5.	Austeniticko – feritické (Duplexní) oceli	70
10.2.	Všeobecné charakteristiky nerezových materiálů	71
10.2.1.	Nerezové plechy válcované za studena	71
10.2.2.	Nerezové plechy válcované za tepla.....	71
10.2.3.	Dekorativní plechy.....	71
10.2.4.	Tvarově válcované plechy	72
10.2.5.	Plechy se speciální povrchovou úpravou.....	72
10.2.6.	Podlahové (slzičkové) plechy	72
11.	Švédské oceli.....	73
11.1.	Sortiment švédských ocelí.....	74
11.2.	Současný sortiment švédských ocelí je následující:	75
11.3.	Životní prostředí a recyklace.....	76
12.	Kompozitní materiály I.	78
12.1.	Kompozity na bázi polymerů	78
12.2.	Kompozity s kovovou maticí.....	80
12.3.	Vláknové kompozity	82
13.	Kompozitní materiály II.	83
13.1.	Spékané kovokeramické materiály.....	83
13.2.	Kompozity s keramickou maticí.....	83
13.3.	Monolitní keramické materiály.....	84
13.4.	Keramické kompozity	84
13.5.	Kompozity z uhlíkových vláken.....	85

1. TECHNICKÉ MATERIÁLY V SOUČASNÉ PRAXI

Všeobecně se technické materiály dělí na konstrukční materiály, tj. materiály na výrobu technických konstrukcí (součástí strojů, stavební dílce, elektrotechnické prvky apod.) a pomocné materiály, které slouží k výrobě, zpracování konstrukčních materiálů (oleje, pohonné hmoty, formovací látky, chemická činidla, chladíče kapaliny atd.). U technických materiálů je nutné systematizovat jejich kvalitativní vlastnosti. K tomuto účelu slouží veličiny, které stanovují základ pro hodnocení a měření. Jde o atomové, mechanické, tepelné, chemické, elektrické, magnetické, akustické, optické veličiny. V procesu výroby se hodnotí chování materiálů prostřednictvím technologických vlastností, které určují možnost jejich zpracování do požadovaného tvaru nebo možnost dosažení požadovaných užitkových vlastností, např. slévateľnost, kalitelnost, apod. Stejně tak technologické vlastnosti je třeba posuzovat podle standardních měřidel na základě normalizovaných metod a jednotek [10], [12], [14], [71].

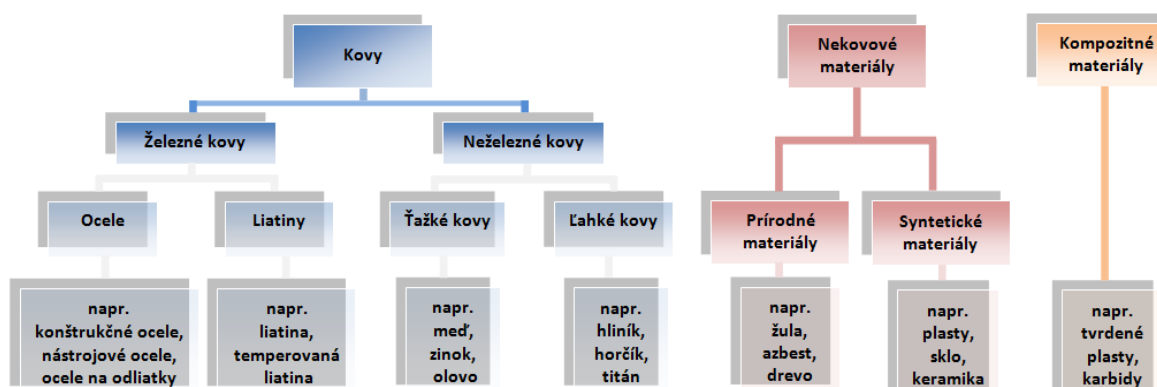
V současné době známe přibližně 20 000 slitin technických kovů, z toho 12 000 slitin železa s legujícími prvky, jako je C, Mn, Si, Cr, Ni, Mo, V, Nb, Ta, Ti, Zr a nečistotami O, S, P apod.

Slitin hliníku je známých asi 2 000 s přídavnými kovy, např. Cu, Mg, Si, Zn, Mn, Ni, Sn, Fe, Pb, Zr a škodlivými nečistotami O, H. Slitin mědi bylo vytvořeno asi 5 000 s přídavnými kovy, např. Zn, Sn, Al, Mn, Ni, Fe, Pb, Zr a nečistotami O, H. Slitiny dalších kovů mají využití v rozličných oblastech průmyslu. Hlavní skupiny materiálů používaných v současné praxi jsou znázorněny na obr. 1.1.



Obr. 1.1 Hlavní skupiny materiálů [71]

Další možnosti rozdělení technických kovů jsou založené na požadovaných fyzikálních vlastnostech, praktickém využití a z dalších hledisek jejich použití. Rozdělení viz obr. 1.2.



Obr. 1.2 Rozdělení materiálů do skupin [71]

1.1. Charakteristika jednotlivých skupin materiálů

Oceli: jsou kujné slitiny železa, obsahující krom železa i malé množství uhlíku, jehož obsah leží pod hranicí 2,14 %, tj. pod hranicí rozpustnosti v austenitu. Legované ocele dále obsahují přísady ušlechtilých kovů. Ocele jsou hlavním konstrukčním materiálem pro stroje, motory, konstrukce, hlavně pro jejich mechanicky silně namáhané díly, jako hřídele, ozubená kola, šrouby, pružiny, čepy a hřídele [11], [19], [26], [27].

Litiny: jsou slitiny železa a uhlíku (2,14% až 6,67% C) s dobrou slévateľností. Používají se k odlévání tvarově složitých dílů, např. motorových skříní a částí převodových skříní.

Těžké neželezné kovy: (hustota $\rho > 5 \text{ kg}\cdot\text{dm}^{-3}$), jsou např. měď, zinek, chrom, nikl, stříbro, cín, wolfram. Používají se samostatně pro svoje specifické vlastnosti nebo v slitinách.

Lehké kovy: (hustota $\rho < 5 \text{ kg}\cdot\text{dm}^{-3}$), patří sem hliník, hořčík a titán. Mají při malé hustotě poměrně velkou pevnost a dobrou odolnost vůči korozi. Z hliníku se vyrábějí písty motorů a lehké díly automobilů a letadel.

Přírodní materiály: patří sem např. žula, slída, diamanty, dřevo, slonová kost, bavlna, vlna, hedvábí. Ve strojírenství se používá např. žula jako rýsovací deska. Má malou tepelnou vodivost a oproti litinové desce větší teplotu.

Syntetické materiály: sem patří velká skupina makromolekulárních polymerů jednoduchých organických látek, nazývaných plasty a takéž sklo a keramika. Plasty jsou lehké, voděodolné, elektricky nevodivé, tepelně dobře izolující a chemicky odolné. Mechanické vlastnosti jsou různé, některé plasty jsou elastické a některé jsou tuhé a křehké. Tepelná odolnost plastů je malá. Použití plastů je rozmanité od pneumatik až po ozubená kola. Keramické materiály se používají pro svoji tvrdost a odolnost proti otěru jako řezné destičky, trysky a kluzné těsnící kroužky.

Kompozitní materiály: se skládají z více druhů různých materiálů. Sklolamináty jsou tvořené **umělou živicí** a tkaninou ze skleněných vláken. Jsou houževnaté, lehké a pevné. Používají se na výrobu nádrží, kajaků, desek plošných spojů pro desky elektroniky nebo také bazénů. Dalším typem kompozitních materiálů jsou spékané karbidy (SK) nebo také tvrdokovy. Mají tvrdost zrn karbidů a houževnatost pojivového kovu. Používají se na výrobu řezných destiček obráběcích nástrojů.

Výroba materiálů: materiály se získávají převážně z přírodních surovin. Suroviny se nacházejí v ložiskách zemské kůry. Kovy se získávají z kovových rud, plasty se vyrábějí převážně z ropy a zemního plynu. Tepelnými a chemickými procesy se získává ze surovin materiál. Materiál přichází do strojírenské výroby ve formě polotovarů, např. profilů, plechů nebo drátů. Přírodní materiály se odebírají přímo z přírodních ložisek, např. žula z kamenolomu.

Pomocné látky a energie: při výrobě dílů a montáži celků jsou potřebné pomocné látky a energie pro pohon strojů a tepelné procesy. Např. při soustružení součástek je potřebná obráběcí (řezná) kapalina k chlazení a mazání ostří nástroje, mazivo pro mazání ložisek soustruhu a elektrická energie pro pohon motorů a napájení řídicího systému.

2. VŠEOBECNÉ VLASTNOSTI MATERIÁLŮ

2.1. Fyzikální vlastnosti materiálů

Hustota

Hustota látky je podíl její hmotnosti m a objemu V . U plynů se udává hustota za normálního atmosférického tlaku [8], [10], [11].

Teplota tání

Teplota tání je teplota, při které se látka začíná (za normálního tlaku) tavit. Nejvyšší teplotu tání směsný karbid, skládající se ze čtyř dílů karbidu tantalu TaC a jednoho dílu karbidu zirkonu ($4000\text{ }^{\circ}\text{C}$), dále pak diamant ($3\,816\text{ }^{\circ}\text{C}$) a grafit ($3\,530\text{ }^{\circ}\text{C}$). Čisté kovy mají přesnou teplotu tání. Slitiny, např. oceli mají jedinou teplotu tání jen při určitém poměru složení (v eutektickém bodu), jinak přechází z pevného do kapalného skupenství v určitém intervalu teplot (mezi křivkami likvidus a solidus v rovnovážném diagramu).

Elektrická vodivost

Elektrická vodivost je schopnost vést elektrický proud a odpovídá proudu při jednotkovém napětí. Dobrymi vodiči jsou stříbro, měď a hliník. Používají se jako materiály na výrobu vodičů. Látky, které proud nevedou, se nazývají izolanty. Patří k nim plasty, sklo, keramika.

Teplotní délková roztažnost

Teplotní součinitel délkové roztažnosti α udává prodloužení délky Δl tělesa o délce 1 m při změně teploty $\Delta t = 1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Délková roztažnost Δl musí být zohledněna např. u měřidel a vestavěných dílů nebo odlitků, jejichž tepelné smrštění po odlití se musí vyrovnávat rozměrovým přírůstkem.

Tepelná vodivost

Tepelná vodivost je míra schopnosti látky vést tepelnou energii. Velkou tepelnou vodivost mají kovy, především měď, hliník a železo, příp. ocel. Nízkou tepelnou vodivost mají plasty, sklo a vzduch. Používají se k tepelné izolaci.

2.2. Mechanické vlastnosti materiálů

Působením sil na materiál (pevné těleso) vzniká deformace, která je v závislosti na vnitřní struktuře materiálu trvalá (plastická), nebo dočasná, pružná (elastická). List pily z kalené nástrojové ocele je možné rostoucí silou ohýbat a potom klesající silou vrátet zpět do výchozího tvaru, protože je elastický. Jeho struktura se při deformaci nemění, jen se nepatrně mění vzdálenosti atomů v krystalové mřížce. V určitém rozpětí deformace se chovají některé materiály po určitou dobu (každý materiál se periodickým namáháním unaví) téměř ideálně elasticky. Tato vlastnost se nazývá plasticita (tvárnost,

tažnost, kujnost) materiálu. Převážně plasticky tvárné jsou např. ocel zahřátá na kovací teplotu nebo čisté železo [13], [14], [15].

Elasticko-plastické deformační chování

Tyč z nelegované konstrukční oceli vykazuje při ohybu jak elastickou, tak plastickou deformaci. Po velké deformaci se tyč vrátí do původního tvaru jen částečně. Zůstává zachována trvalá plastická deformace. Elasticko-plastické deformační chování vykazuje mnoho materiálů, např. nekalené ocele, slitiny mědi a hliníku. Různé materiály mohou mít elastické, plastické a elasticko-plastické deformační chování.

Houževnatost, křehkost, tvrdost

Jako houževnatý označujeme materiál, který je možné elasticko-plasticky deformovat, deformace však klade velký odpor. K velmi houževnatým materiálům patří konstrukční a nerezavějící oceli. Křehký materiál je možné jen nepatrně deformovat, a to velkou silou, protože není možné měnit jeho krystalovou strukturu. Při větší deformaci materiál praskne a následně se rozlomí nebo rozpadne na víc částí. Křehké jsou tvrdé materiály jako drahokamy, sklo, keramika a určitým způsobem i zakalené uhlíkové oceli (s velkým množstvím martenzitu ve struktuře). Tvrdost materiálu je odpor proti vniknutí cizího tělesa a posuzuje se podle velikosti vtisku vytlačeného zkušebním tělesem při určitém tlaku nebo nárazové energii. Nejtvrdší je karbid bóru B₄C a diamant. K tvrdým materiálům patří spékané karbidy, drahokamy a materiály na bázi Al₂O₃ (korund), karbidy (karborundum SiC, TiC), sklo, keramika a zakalená ocel (obsahující ve struktuře martenzit). K měkkým materiálům patří hliník a měď. Velkou tvrdost musí mít nástroje, kluzné a třecí plochy.

2.3. Technologické vlastnosti materiálů

Technologické vlastnosti jsou charakteristiky zpracovatelnosti materiálů různými technologickými postupy [16], [18], [19].

Slévatelnost: je schopnost materiálu vytvořit řídkou taveninu, která úplně vyplní lící formu a při tuhnutí netvoří dutiny. Dobře slévatelné jsou různé druhy litin, slitin hliníku na odlitky, slitin mědi a zinku a slitin zinku.

Tvářitelnost: je schopnost materiálu plasticky se deformovat působením sil. Způsoby tváření za tepla jsou např. válcování za tepla a kování. K tváření za studena patří např. válcování za studena, ohýbání, ohraňování a hluboké tažení.

Dobře tvárnit je možné oceli s nízkým obsahem uhlíku, slitiny hliníku a mědi určené k tváření. Litiny není možné tvářit.

Obrobitelnost: je vhodnost materiálu pro třískové obrábění. Udává, zda a za jakých podmínek může být materiál třískově obráběn, např. soustružený, frézovaný nebo broušený. Jako hodnotící kritéria obrobitelnosti slouží dosažená jakost povrchu obrobené plochy, podmínky (obtížnost) třískového obrábění a životnost nástroje.

Kovové materiály jsou převážně dobře obrobitelné, hlavně nelegované a nízkolegované oceli a litiny, slitiny mědi a slitiny hliníku. Špatně obrobitelné jsou elastické materiály a houževnaté materiály, jako je čistá měď, čistý hliník, nerezavějící ocel a titán a velmi tvrdé materiály, např. kalené ocele.

Svařitelnost: je vhodnost materiálu pro sváření nebo naváření. Dobře svařitelné jsou nelegované a nízkolegované oceli s nízkým obsahem uhlíku. Speciálními postupy je možné svařovat i vysoko legované ocele, slitiny a slitiny mědi.

Kalitelnost a zušlechťování: je schopnost materiálu získat vhodným tepelným zpracováním větší tvrdost nebo pevnost. Kalit je možné většinu ocelí, vytvrzovat je možné některé druhy slitin a slitin hliníku.

2.4. Chemické vlastnosti

Chemické vlastnosti materiálů jsou důležité z hlediska odolnosti proti vlivům prostředí, agresivních látek a vysokých teplot (ve smyslu podpory chemických účinků okolního prostředí) na materiál.

Korozní chování – popisuje chování materiálu v prostředí vlhkého vzduchu, průmyslové atmosféry, vody nebo jiných agresivních látek. Narušení struktury začínající na povrchu materiálu způsobené chemickými a elektrochemickými procesy se nazývá koroze. Proti korozi jsou odolné nerez oceli a většina měděných a hliníkových materiálů. Vůči korozi způsobené vlhkým vzduchem nebo průmyslovou atmosférou nejsou odolné nelegované a nízko legované oceli a litiny. Tyto materiály rezavějí. Úpravou povrchu nátěrem, nebo jiným ochranným povlakem je možné vzniku koroze zabránit na dlouhou dobu [21], [22], [23]. Další chemickou vlastností je odolnost proti tvorbě okují. Popisuje chování materiálu při vysokých teplotách na vzduchu. U některých materiálů, např. plastů, je třeba kromě toho dbát na hořlavost a respektovat při použití nejen teplotní ztrátu pevnosti, ale i teplotu vznícení. Plasty také mění svoje vlastnosti působením slunečního záření, hlavně jeho UV složky.

Michael F. Ashby [2] v práci Materials Selection in Mechanical Design sestavil soubor materiálových map. Představují závislosti nejdůležitějších materiálových vlastností pro základní skupiny materiálů: kovy, keramiku, skla, polymery, elastomery a hybridní materiály (kompozity, pěny, přírodní materiály). V souboru sestavených materiálových map stanovil závislosti, a to: Youngův modul - měrná hmotnost materiálu, Youngův modul - pevnost v tahu, specifický Youngův modul - specifická pevnost v tahu, ztrátový součinitel - Youngův modul, tepelná vodivost - elektrický odpor, tepelná vodivost - rozptyl tepla, koeficient tepelné roztažnosti - Youngův modul, pevnost - maximální operační teplota, koeficient tření za sucha vůči oceli a Youngův modul - relativní náklady na jednotku objemu.

3.KRITÉRIA PRO VOLBU MATERIÁLU

Primárním požadavkem při volbě vhodného materiálu jsou téměř vždy jeho pevnostní charakteristiky. Důležité je optimálně skloubit materiálové charakteristiky (pevnost, houževnatost, odolnost vůči cyklickému zatěžování, opotřebení, působení teploty, koroze, atd.) s užitkovými vlastnostmi budoucího dílu či systému, [71].

Krom materiálových charakteristik však musí být při výběru materiálu zvažována i další kritéria pro volbu materiálu, zejména:

Technologie výroby – krom podmínky realizovatelnosti technologií pro daný výrobek by měly být při výběru materiálu uplatňovány zejména poznatky o vlivu na složení, strukturu a mechanické vlastnosti. Přednost by měly dostávat – pokud to umožní další kritéria – bezodpadové technologie, např. prášková metalurgie, přesné odlévání, umožňující maximálně využít materiál a potlačit na minimum obrábění, tedy technologii spojenou s nejvyššími náklady [13], [24], [25].

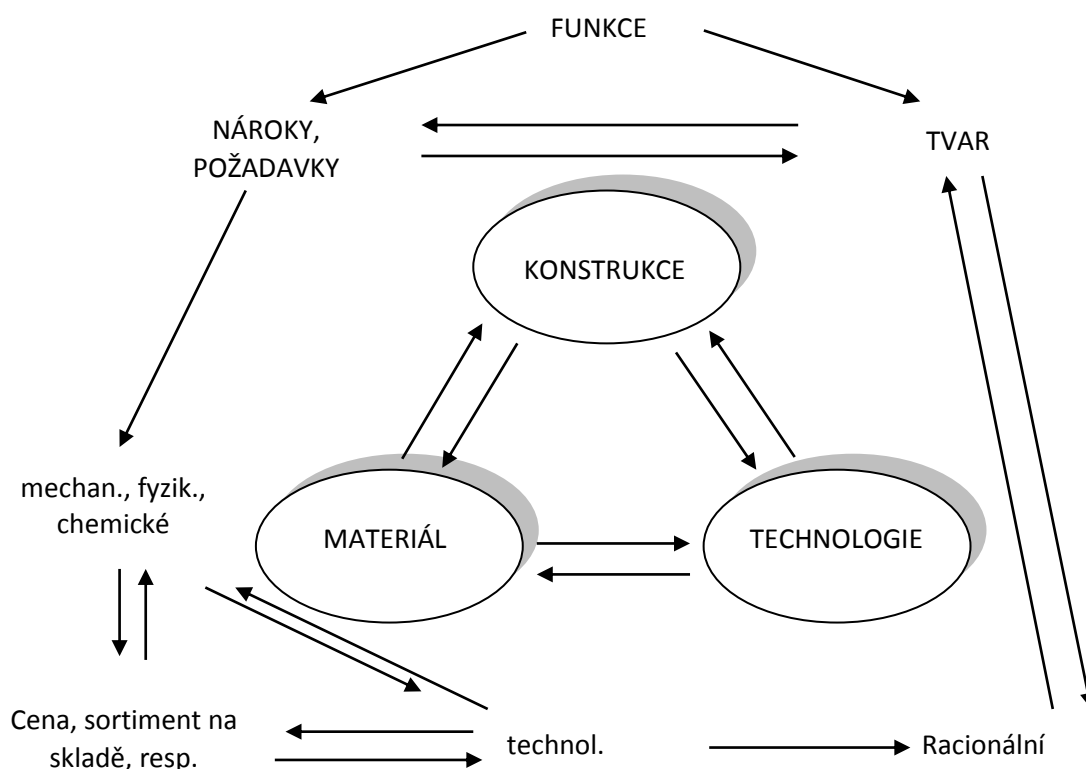
Materiálové a výrobní náklady – ekonomičnost volby je komplexní problém a zdaleka se netýká jen ceny zvoleného materiálu a technologie jeho zpracování. Např. náhrada oceli litinou hliníku nebo polymerním materiálem se na první pohled může zdát nepřiliš cenově výhodná. Do výpočtu ekonomičnosti volby je ale nutné zahrnout např. i nižší náklady na dopravu, povrchovou úpravu, obrábění.

Ekonomičnost použití zvoleného materiálu – opět se jedná o mnohostranný problém. Dopad zvoleného materiálu na životní prostředí (přímý nebo nepřímý) má mnoho aspektů a je obtížně kvantifikovatelný. Mimo jiné je třeba k tomuto hledisku přiřadit i možnost recyklace vybraného materiálu.

Další kritéria – mezi ně patří např. nutnost zvážit sortiment polotovarů a dostupných materiálů, omezení výrobních zařízení, která jsou k dispozici, věrohodnost vstupních dat, t.j. do jaké míry zkouška definuje vlastnosti materiálu, jak dobře vzorek simuluje poměry v reálné součástce, znalost zatížení a prostředí, atd.

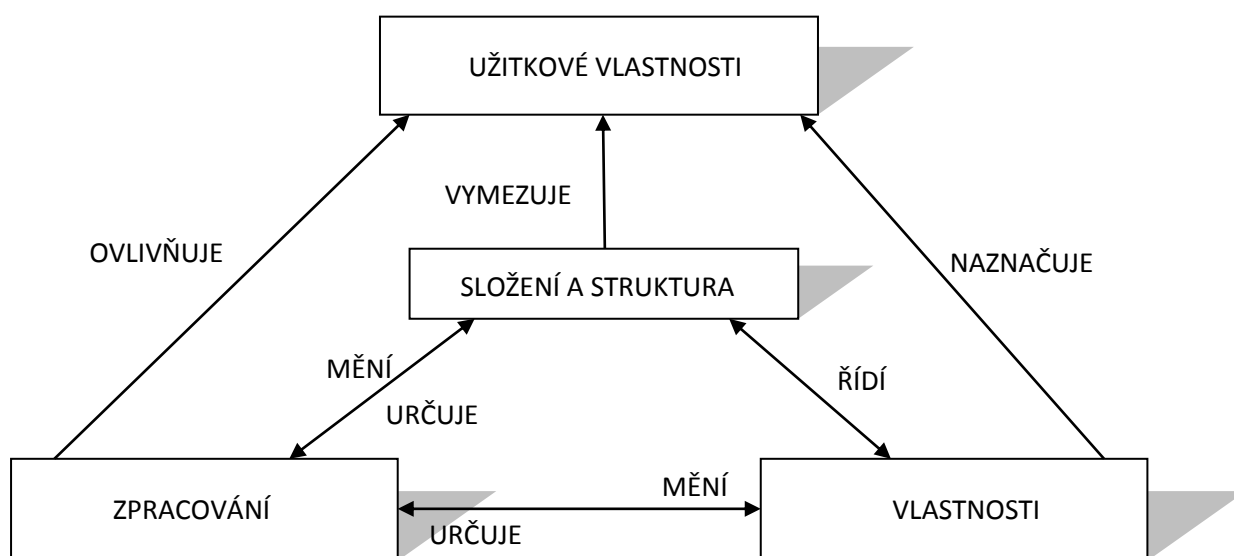
Volba materiálu je složitý proces a velké množství dostupných materiálů ji do jisté míry ještě komplikuje, není však hlavní příčinou jeho složitosti. Při volbě materiálu je třeba zvažovat celou řadu různých hledisek a jejich vzájemné vztahy a ovlivnění. Např. vztah materiálu (jeho technologických, mechanických, fyzikálních a chemických vlastností, jeho ceny, sortimentu, atd.), technologií (hlavně racionálnost výroby) a konstrukce (tvar a funkce výrobku, nároky na něj kladené). Dále je třeba zvažovat materiálové a výrobní náklady, energetickou a surovinovou náročnost, možný dopad volby materiálu na životní prostředí ve výrobním i užitelském cyklu, včetně např. možnosti recyklace materiálu [28], [32], [42].

Volba materiálu pro daný výrobek nemůže probíhat nezávisle na technologii, kterou je nutné použít k vytvoření daného výrobku (jeho tvaru, povrchu, atd.). Funkce výrobku, jeho konstrukce, materiál a technologií navzájem reagují (obr. 3.1). Funkce výrobku (např. přenos zatížení, tepla, skladování energie, apod.) určuje výběr materiálu, který je schopný požadované parametry splnit. Technologie je ovlivněná vlastnostmi použitého materiálu (jeho tvárnost, obrobitelnost, svařitelnost, slévatelnost, možnosti tepelného zpracování, atd.). Použitá technologie zase ovlivňuje možnost docílení požadovaného tvaru, přesnost tvaru, kvalitu povrchu a samozřejmě cenu.



Obr. 3.1 Vztah mezi vlastnostmi výrobku (tvarem, funkcí), materiálem a technologií [28]

Konstrukce výrobku (jeho tvar) limituje výběr použitelného materiálu a technologie. Čím je návrh komplikovanější, tím je specifikace užší a interakce větší.

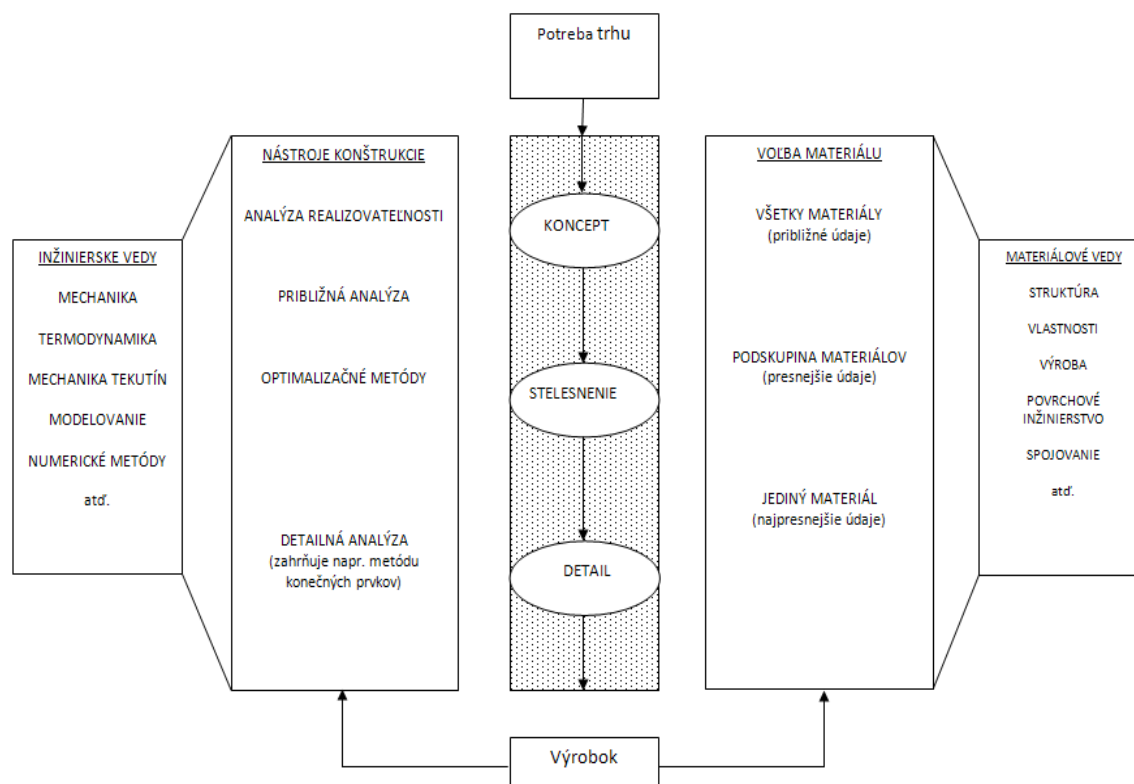


Obr. 3.2 Vztah mezi složením a strukturou materiálu, jeho zpracováváním, vlastnostmi a užitkovými vlastnostmi výrobku [28]

Jak vyplývá z obr. 3.2, vlastnosti materiálu jsou určeny jeho složením a strukturou, které jsou ovlivňované (měněné) použitou technologií (např. zpevňování při tváření za studena) a naopak diktují výběr technologie. Složení a struktura materiálů jsou dané primárními a sekundárními technologiemi a jsou limitující pro dosažení požadovaných užitkových vlastností výrobku. Krom struktury a složení materiálu jsou užitkové vlastnosti výrobku ovlivněné vlastnostmi použitého materiálu a technologií jeho zpracování. Do celého systému vzájemných interakcí (užitkové vlastnosti – technologií – složení, struktura a vlastnosti materiálu) potom vstupují ekonomické parametry, t.j. především náklady na použitý materiál a technologii a není možné pominout dopad všech reagujících prvků na životní prostředí.

3.1. Volba materiálu v procesu návrhu výrobku

Návrh nového výrobku je interaktivní proces začínající určitým nápadem a končící výrobkem, který původní myšlenku nebo požadavek trhu naplňuje (obr. 3.3). Mezi začátkem a koncem tohoto procesu jsou tři stádia navrhování – koncepční, ztělesňující a detailní návrh [33], [34], [35].



Obr. 3.3 Vývojový diagram návrhu nového výrobku [28]

V první etapě koncepčního návrhu konstruktér v první řadě zvažuje všechny alternativní pracovní principy nebo schéma funkcí, které systém bude zabezpečovat. V etapě ztělesnění návrhu zkoumá funkční strukturu a analyzuje jednotlivé činnosti, včetně návrhu rozměru jednotlivých dílů systému. Tato etapa končí projektem (výkresem sestavy) jako podkladem pro detailní návrh. Levá část obrázku naznačuje nástroje a vedené disciplíny, které má konstruktér k dispozici, resp. které využívá.

Z obrázku je zřejmé, že i volba materiálu probíhá v souladu s konstrukčním návrhem ve třech úrovních, s cílem vybrat materiál optimálně zabezpečující uživatelské vlastnosti výrobku. V první fázi, v etapě koncepčního návrhu, je zvažována široká skupina materiálů, které splňují základní podmínky omezení, např. pracovní teplotu, odolnost proti korozi v daném prostředí apod. Na základě požadovaných vlastností se rozhodujeme, zda bude součástka z kovu, plastu, keramiky nebo kompozitu. Současně taktéž určíme, zda kovová součást bude použita v litém, či tvárném stavu.

V druhé etapě vybíráme zúženou skupinu materiálů, které nejlépe vyhovují požadavkům, např. na nejlacinější technologii sváření, vhodnou povrchovou úpravu, cenu, atd. V rámci detailního návrhu se potom seznam kandidátů zúží na jeden, výjimečně několik nejlépe vyhovujících materiálů a taktéž technologií. Každému z uvedených kroků volby odpovídají jiné nároky na úroveň materiálových dat. V etapě koncepčního návrhu konstruktér potřebuje jen přibližné údaje o co největším množství materiálů, zvažuje různé koncepční varianty. V druhé etapě pracuje s přesnějšími údaji,

kteře poskytují materiálové databáze.

Ve fázi detailního návrhu jsou třeba co nejpřesnější údaje o jediném, případně několika materiálech. V některých případech nepostačí údaje z norem, či od výrobců a je třeba informaci doplnit, např. vlastními laboratorními zkouškami. I tak se může stát, že výrobek v provozu nevyhoví (funkčně nebo z důvodu nevhodného materiálu) a celý proces návrhu se vrací (s informacemi, které havárie nebo nefunkčnost poskytla) o jednu, či víc úrovní.

3.2. Proces volby materiálu

Volba materiálu se zpravidla realizuje ze dvou možných důvodů:

- výběr materiálu a technologií pro nový výrobek (původní návrh)
- hodnocení alternativních materiálů a výrobních postupů pro už existující výrobek

S novým výrobkem jsou obvykle spojené nové pracovní principy, proto je pro výběr optimálního materiálu a technologií třeba zvažovat co nejširší okruh možných kandidátů [44], [45], [46]. V druhém případě je situace poměrně jiná, v závislosti na důvodu zvažované náhrady. Důvody pro přehodnocení a případnou následnou inovaci stávajícího materiálu, či technologií je celá řada. Mezi hlavní patří:

- potřeba přizpůsobit se požadovaným funkčním či parametrickým změnám výrobku v souvislosti s variantním návrhem
- snaha o snížení podílu ceny materiálu na výrobku
- snížení výrobních nákladů
- využití předností nového materiálu či technologií
- řešení problémů spojených s technologií zpracování materiálu
- aplikace doporučení vyplývajících z fraktografické analýzy porušených výrobků.

V případě, že vybíráme materiál pro nový výrobek, měli bychom postupovat takto:

- definovat funkci, kterou výrobek bude muset zabezpečit a přenést ji na požadované materiálové vlastnosti (pevnost, korozní odolnost, atd.) a další faktory, jako je cena, či dostupnost materiálu
- definovat výborné požadavky (velikost a složitost dílu, požadované tolerancí, kvalitu povrchu, počet vyrobených dílů, atd.)

- porovnat požadované vlastnosti s parametry a vlastnostmi co nejširší palety materiálů a vybrat několik takových, které by mohly vyhovovat. Je užitečné při několika dominantních vlastnostech stanovit minimální, příp. maximální hodnoty, které kandidující materiály musí u těchto vlastností splňovat
- posoudit vybrané materiály detailněji (např. jejich dostupnost v daných rozměrech polotovarů, ceny, chování ve výrobě, atd.)
- na základě výsledků detailního posouzení skupiny materiálů vybrat jediný materiál a určit data a specifikaci třeba pro konstrukci.

Při náhradě materiálu u už existujícího výrobku by měl být použit následující postup:

- charakterizovat užité vlastnosti, výrobní požadavky a cenu stávajícího materiálu
- určit, které charakteristiky by měly být zlepšeny
- vyhledat alternativní materiál a (nebo) technologii, podobně jako v předcházejícím případě (bod 3 až 5) a jeho (jejich) parametry detailně porovnat se stávajícím.

3.3. Vztah volby materiálu a technologií

Jedná se o velmi úzký a současně dost komplikovaný vztah, protože ve většině případů existuje několik resp. celá řada výrobních procesů, kterými danou součástku můžeme vyrobit. Základem je zvolit takový materiál a technologii, aby výsledkem byla maximální kvalita vyráběné součástky a současně její nejnížší cena. Výběr optimálních technologií je komplikovaný množstvím činitelů, které je třeba zvažovat, jako např. množství vyráběných dílů, tvarovou náročnost, požadavky na povrchovou drsnost a přesnost, dostupnost výrobního zařízení, dopad technologií na životní prostředí, ekonomickou náročnost, atd. [40], [41], [42], [43].

Volba materiálu určuje oblast technologií, které můžu být pro výrobu daného dílu použité. Přehled nejčastěji používaných technologií pro zpracování určité skupiny materiálů je uvedený v tab. 3.1, podle [80]. Při výběru materiálu je taktéž třeba zvažovat další aspekty jako jsou velikost součástky, tvar, složitost, toleranci, kvalitu povrchu a výrobní náklady. Z těchto hledisek jsou klíčovými faktory pro posouzení vhodnosti jednotlivých technologií zejména doba cyklu (čas potřebný k výrobě jednoho kusu), kvalita (požadované tolerancí, drsnost povrchu, nepřítomnost trhlin, pórů, vměstků, apod.), flexibilita (možnost rychle přizpůsobit danou technologii pro výrobu jiného výrobku, či variantu toho jistého výrobku), využitelnost materiálu a výrobní náklady.

Tab. 3.1 Použitelnost výrobních procesů pro vybrané materiálové skupiny [80]

Technologie	Litina	Uhlíkové ocele	Legované ocele	Nerezová ocel	Al a jeho slitiny	Cu a jej slitiny	Zn a jeho slitiny	Mg a jeho slitiny	Ti a jeho slitiny	Ni a jeho slitiny	Těžkovatitelné kovy	Plastomry	Duromery
Lití / formování													
Lití do pískových forem	•	•	•	•	•	•	-	•	-	•	-	X	X
Přímé lití do keramických forem	-	•	•	•	•	•	-	-	-	•	-	X	X
Přímé lití do kovových forem	X	X	X	X	•	-	•	•	X	X	X	X	X
Vysokotlaké lití	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	•	-
Lití na spalitelný model	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	•	X
Výroba forem foukáním	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	•	X
Odstředivé lití	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	•	X
Kování/objemové tváření													
Zpětné protlačování	X	•	•	-	•	•	•	-	X	X	X	X	X
Pěchování za studena	X	•	•	•	•	•		-	X	-	X	X	X
Zápustkové kování	X	•	•	•	•	•	X	•	•	-	-	X	X
Lisování spékání (PM) ^a	X	•	•	•	•	•	X	•	-	•	•	X	X

Protlačování za tepla	X	•	-	-	•	•	X	•	-	-	-	X	X
Rotační kování	X	•	•	•	•	-	-	•	X	•	•	X	X
Obrábění													
Obrábění z polotovarů	•	•	•	•	•	•	•	•	-	-	-	-	-
Elektrochemické obrábění	•	•	•	•	-	-	-	-	•	•	-	X	X
Elektrojiskrové obrábění (EJO)	X	•	•	•	•	•	-	-	-	•	-	X	X
Drátové EJO	X	•	•	•	•	•	-	-	-	•	-	•	X
Lisování													
Tváření plechů	X	•	•	•	•	•	-	-	-	-	X	X	X
Tvarování zahřáté folie	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	•	X
Kovotisk	X	•	-	•	•	•	•	-	-	-	-	X	X

3.4. Volba materiálu ve vztahu k životnímu prostředí

Dopad zvoleného materiálu na životní prostředí má mnoho aspektů a je obtížně kvantifikovatelný. Přímý vliv (např. toxicita) musí být samozřejmě vyloučený. Toxická vlastnost má řada prvků i anorganických a organických sloučenin. Toxické účinky různých látek můžeme zásadně rozdělit na *akutní* a *následné*, v druhé skupině se dále rozlišují účinky *mutagenní*, *karcinogenní* a *teratogenní*. Podrobným účinkem kovů na lidský organismus se postupně rozšiřuje soubor těch, které jsou pro zdraví škodlivé. Vedle nedávno identifikovaných toxických kovů, jako jsou Hg, Be, As a Pb, je dnes za škodlivé považovaných dalších dvanáct kovů. K prokazatelně škodlivým už při stopových množstvích patří As, Cd, Hg, Se a Th, zatímco toxicita jiných kovů (Co, Ni, Pb, V, Zn) závisí

velikosti a množství dávek. V poslední době se například velmi diskutuje o vlivu hliníku na stařeckou demenci. Na rozdíl od některých extrémně toxických, ale i degradabilních sloučenin, jakými jsou např. kyanidy, omezují se možnosti zneškodnění kovových odpadů jen na extrakci kovů nebo na jejich vázání do minimálně rozpustné formy. Problematice toxických prvků v kovech je věnována poměrně velká pozornost a ze zjištěných údajů jsou ihned vyvozovány důsledky [63], [64], [65].

Mezi hlavní nepřímé vlivy patří zejména:

- surovinová náročnost, těžba a zpracování surovin
- energetická náročnost
- bezpečnost a dlouhodobá spolehlivost konstrukce
- možnost recyklace.

V toxikologii polymerů jsou významné účinky zbytků monomerů, aditiv a látek vznikajících při likvidaci polymerů. Z celé řady škodlivých monomerů (např. vinylchlorid, akrylonitril, metylmetakrylát apod.), je nejdůležitější první uvedený karcinogenní monomer, jehož obsah se v polyvinylchloridu omezuje na 1 mg/kg.

Metalurgie, chemie a další průmyslová odvětví zatěžují životní prostředí odpady, které nemohou být recyklovány do základní technologie. Většina metalurgických postupů vytváří všechny druhy odpadů – plynné (oxidy uhlíku, dusíku a síry), tekuté (odpadové vody, kaly) a tuhé (struska, prachové úlety). Jedním z ekologických parametrů pro posuzování průmyslových plynných emisí je měrná spotřeba primární energie, vztahující se k určitému sortimentu výrobků.

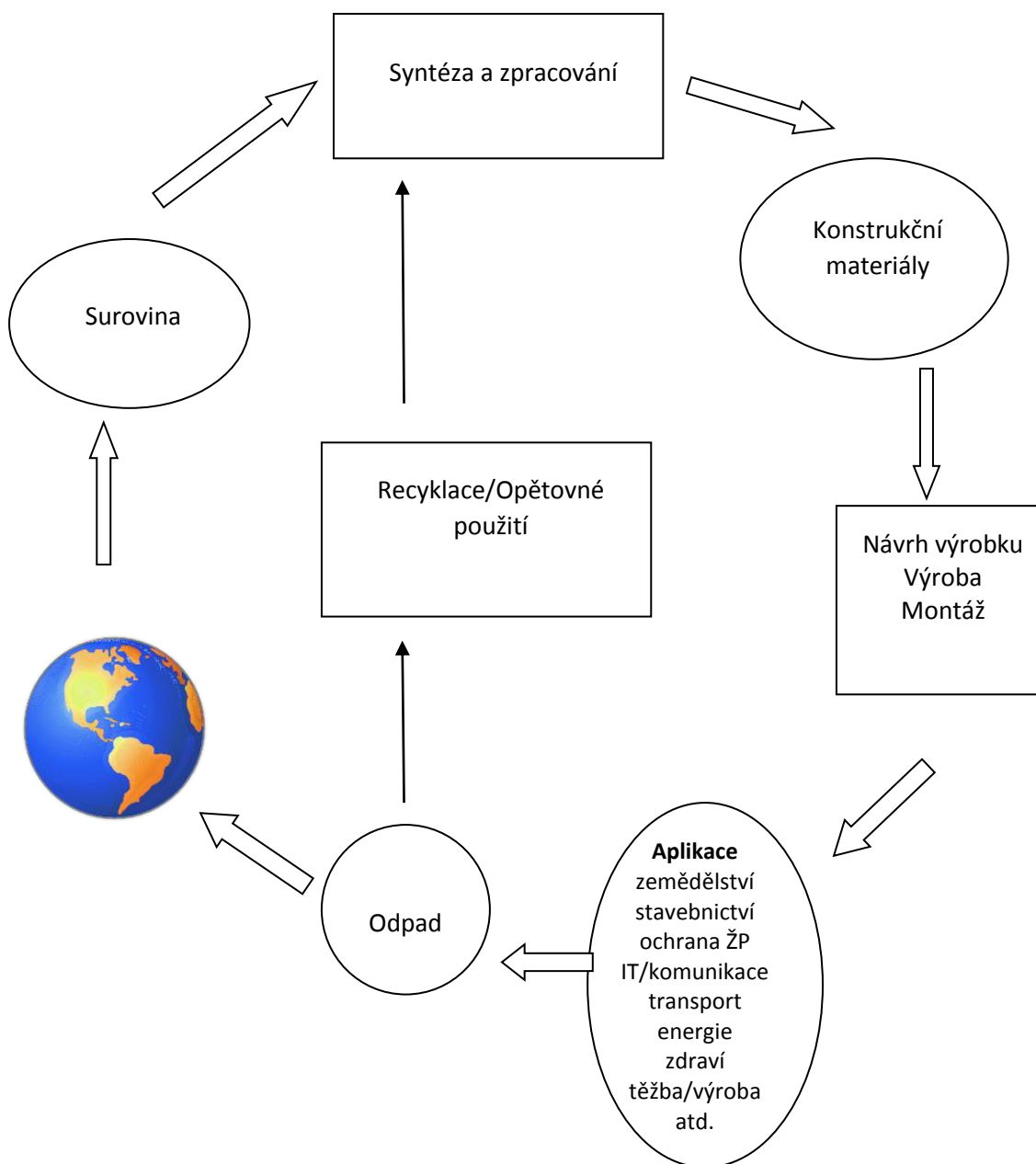
Z jednotlivých skupin materiálů jsou prakticky úplně recyklovatelné oceli. To je však spojeno s řadou problémů a zvýšenými náklady např. v souvislosti s tříděním a čištěním odpadu třískového obrábění nebo tříděním vratného odpadu. Známým problémem vratného odpadu ocelí je rostoucí obsah mědi a povrchově aktivních prvků. Neželezné kovy jsou recyklovatelné asi z 90 %, neobsahují různá plniva (křída, mastek, sklo, apod.) přidávané pro zlepšení mechanických vlastností; reaktoplasty není možné recyklovat. Elastomery (kaučuk, guma) se recyklovat nedají, ale hledají se pro ně dodatečné možnosti uplatnění, ke kterým např. patří použití dřevěné gumy při stavbě cest.

Příslibem pro blízkou budoucnost jsou výrobky ulehčující recyklaci. Ty musí splňovat několik následujících **základních pravidel**:

- používat materiály, které jsou recyklovatelné nebo použitelné pro jiný účel,
- minimalizovat počet materiálů v jednom výrobku, nebo používat z hlediska recyklace kombinovatelné materiály,
- nekombinovatelné materiály spojovat demontovatelným způsobem,
- označovat plasty.

Novým vývojovým směrem jsou degradabilní materiály, především organické, teda plasty, které se můžou začlenit do přírodního koloběhu látek. V degradačním procesu se uplatňují hydrolytické, oxidační a fotodegradační mechanismy, které vedou k rozštěpení molekulárních řetězců na kratší útvary, které snadno podléhají biodegradaci působením mikroorganismů. Degradabilní plasty se mohou rozkládat kdekoli ve volné přírodě, přednostně na suchozemských skládkách nebo na hladinách moří. K velmi účinné biodegradaci dochází při kompostování degradabilních plastů, která vede k vzniku humusu. Kompostové hnojivo je možné využít k pěstování některých polnohospodářských plodin, které jsou základní surovinou právě pro výrobu degradabilního plastu, která je založená na kombinaci rostlinných a syntetických surovin. Tým se vhodný polymerní materiál začleňuje do uzavřeného přírodního cyklu bez škodlivých dopadů na ekologii. Některá omezení tohoto vývojového směru můžou vyplynout z jeho rozporu s požadavky dlouhodobé životnosti výrobku.

Na obr. 3.4 je schematicky znázorněný typický materiálový cyklus. Snahou je, aby množství nerecyklovatelného odpadu bylo minimální (na obrázku znázorněné slabší šipkou).



Obr. 3.4 Typický materiálový cyklus [71]

Recyklace materiálů (výrobků) má celou řadu praktických podob, od renovačních postupů umožňujících opětovné opotřebení dílu (např. naváření vrstev na opotřebované díly), navzdory recyklaci v podobě využití opotřebovaného výrobku jako suroviny k výrobě materiálu pro nový výrobek, až po energetické využití (např. spalování plastů).

Klasický koloběh materiálu s variantními kroky recyklace ve výrobním cyklu (zpracování výrobního odpadu v primárním okruhu), při exploataci výrobku (sekundární okruh – procesy regenerace), využití výrobku po skončení jeho životnosti (terciální okruh) až po transformaci výrobku na jiný materiál či energii.

4.OZNAČOVÁNÍ MATERIÁLŮ

Jednotlivé druhy materiálů se běžně označují značkami sestavenými buď z písmen nebo číslic nebo kombinací písmen a číslic. Oceli jsou v každé zemi, která je vyrábí, označovány jednak podle národních technických norem a jednak firemními značkami jednotlivých výrobců. Firemními značkami se označují oceli, které nejsou dosud v příslušné zemi standardizované nebo oceli standardizované z důvodu rozeznání původu výrobců. Systémy označování v jednotlivých zemích se velmi liší. V poslední době však zvažují jednotlivé země Evropského společenství ve stále větší míře označování dle EN, čímž se označování materiálů postupně sjednocuje. V technické dokumentaci pocházející z těchto zemí se však i nadále velmi často setkáváme s označením dle národní technické normy [51], [52], [53], [71].

4.1. Rozdělení a označování ocelí podle evropských norem

Rozdělení a označování ocelí se v Evropě sjednocuje na základě evropských norem (EN). Těmito normami jsou povinni se řídit všichni členové CEN. Členy jsou národní normalizační organizace 18 zemí Evropy, konkrétně Belgie, Dánsko, Finsko, Francie, Irsko, Island, Itálie, Lucembursko, Německo, Holandsko, Norsko, Portugalsko, Rakousko, Řecko, Španělsko, Švédsko, Švýcarsko, Velká Británie, tedy prakticky všechny země západní Evropy. Tyto normy však postupně přebírají i další evropské země včetně České a Slovenské republiky. V České republice jsou vydávány jako ČSN EN a nahrazují dosavadní normy ČSN. Postupně se tak EN stanou normami celoevropskými. Proto je nutné se s nimi seznámit.

Rozdělení ocelí je dané evropskou normou EN 10020-88 (ČSN EN 10020-94), v které se definuje:

- pojem ocel na tváření,
- rozdělení druhů oceli podle chemického složení na nelegované a legované,
- rozdělení do hlavních skupin jakosti na základě vlastností a účelu použití.
- Systémy zkráceného označování oceli jsou uvedené v evropské normě:
- EN 10027-1-92 a jejího doplňku IC 10-93 (informační oběžník), převzatého do ČSN pod označením ČSN ECIS IC 10-95. Systémy číselného označování uvádí EN 10027-2-92 (ČSN EN 10 027-2-95).

Jako oceli na tváření se označují materiály, jejichž hmotnostní podíl železa je větší než obsah kteréhokoli jiného prvku, a které obsahují méně než 2 % C a obsahují jiné prvky. Některé chromové oceli obsahují víc než 2 % C, avšak hodnota 2 % se obecně považuje za hraniční hodnotu pro rozlišení mezi ocelí a litinou.

Při rozdělení ocelí podle chemického složení na nelegované a legované se vychází z minimálních obsahů prvků předepsaných normou nebo dodacími podmínkami. Pokud je pro prvky předepsaná jen maximální hodnota obsahu v tavenině, je s výjimkou Mn pro rozdělení ocelí na nelegované a legované rozhodujících 70 % této nejvyšší hodnoty. Pro mangan platí v tomto případě jako mezní obsah 1,80 %. U vícevrstvých a plátovaných výrobků je rozhodující chemické složení základního materiálu.

- **Nelegované oceli** jsou ty, jejichž určující obsahy jednotlivých prvků v žádném případě nedosahují mezní obsahy uvedené v tabulce mezních obsahů legujících prvků pro rozdělení ocelí na nelegované a legované.
- **Legované oceli** jsou takové, jejichž obsahy jednotlivých prvků minimálně v jednom případě dosahují nebo překračují mezní obsahy uvedené v tabulce mezních obsahů legujících prvků pro rozdělení ocelí na nelegované a legované.

4.2. Nelegované oceli

4.2.1. Oceli obvyklých jakostí

Oceli obvyklých jakostí jsou oceli s požadavky na jakost, jejichž splnění nevyžaduje zvláštní opatření při výrobě. Musí splňovat následující podmínky: nejsou určeny na tepelné zpracování, přičemž podle EN 10020 se žádný druh žíhání (např. normalizační žíhání) nepovažuje za tepelné zpracování, požadavky, které je nutné dodržet pro nezpracovaný nebo normalizačně žíhaný stav jsou v souladu s hodnotami uvedenými v tabulce mezních hodnot pro oceli obvyklých jakostí, s výjimkou obsahu Si a Mn nejsou stanovené žádné obsahy legujících prvků [12], [71].

4.2.2. Nelegované jakostní oceli

Nelegované jakostní oceli jsou všechny nelegované oceli, které nejsou zahrnuté ve skupinách ocelí obvyklých jakostí a ušlechtilých ocelí. Tyto oceli nemají stanovenou rovnoměrnou reakci na tepelné zpracování a žádné požadavky na stupeň čistoty co se týče nekovových vměstků. V porovnání s oceli obvyklých jakostí jsou na ně kladené přísnější nebo dodatečné požadavky (např. ohledně náchylnosti ke křehkému lomu, velikosti zrna, tvárnosti), takže jejich výroba vyžaduje zvláštní péči.

4.2.3. Nelegované ušlechtilé oceli

Nelegované ušlechtilé oceli vykazují, na rozdíl od jakostních ocelí, vyšší stupeň čistoty. Většinou jsou určeny pro zušlechťování nebo povrchové kalení a vyznačují se tím, že rovnoměrněji reagují na toto zpracování. Požadovaných vlastností je dosahováno přesným stanovením chemického složení a podmínkami výroby a zkoušení - často v kombinaci a v zúžených mezích (vysoce nebo úzce vymezená pevnost nebo kalitelnost v spojení s vysokými požadavky na tvářitelnost, svařitelnost, houževnatost apod.).

Mezi nelegované ušlechtilé oceli patří:

- oceli s požadavky na nárazovou práci v zušlechtěném stavu,
- oceli s požadavkem na hloubku zakalené vrstvy nebo povrchovou tvrdost v zakaleném nebo povrchově zakaleném, příp. popuštěném stavu,
- oceli s požadavky na velmi nízké obsahy nekovových vměstků (i oceli, pro které je možné tento obsah dohodnout).
- oceli s předepsaným maximálním obsahem P a S = 0,020 % v tavenině a 0,025 % v hotovém výrobku (např. dráty pro vysoce namáhané pružiny),
- oceli s minimálními hodnotami nárazové práce KV > 27 J na vzorcích při -50 °C,
- oceli pro jádrové reaktory s vymezením obsahu Cu = 0,10 %, Co = 0,05 %, V = 0,05 % při analýze hotového výrobku,
- oceli s předepsanou minimální hodnotou elektrické vodivosti > 9 S m/mm²,
- feriticko-perlitické oceli s předepsaným minimálním obsahem C = 0,25 %, které pro dosažení vytvrzení obsahují ještě pro nelegované oceli přípustné obsahy jednoho nebo více mikrolegujících prvků, např. V, Nb,
- oceli pro výztuž do betonu.

4.3. Legované oceli

4.3.1. Legované jakostní oceli

Do této skupiny patří oceli určené pro podobné účely jako nelegované jakostní oceli, ale aby vyhovovaly zvláštním podmínkám použití, obsahují legující prvky v obsazích, které z nich činí legované oceli. Tyto oceli nejsou obecně určeny pro zušlechťování a povrchové kalení. Patří k nim:

- svařitelné jemnozrnné konstrukční oceli pro ocelové konstrukce včetně tlakových nádob a potrubí, které vyhovují následujícím požadavkům:
 - pro t = 16 mm je předepsaná mez kluzu Re < 380 MPa

- obsahy legujících prvků musí ležet pod mezními hodnotami, uvedenými v tabulce mezních obsahů pro rozdělení legovaných svařitelných jemnozrnných konstrukčních ocelí na jakostní a ušlechtilé oceli,
 - minimální hodnota nárazové práce KV podíl při $-50\text{ }^{\circ}\text{C} = 27\text{ J}$.
- oceli legované jen Si nebo Si a Al se zvláštními požadavky na magnetické a elektrické vlastnosti,
 - oceli určené pro výrobu kolejnic, a banských výztuží,
 - oceli pro za tepla nebo za studena válcované ploché výrobky, které jsou určeny pro náročnější tvářením za studena a jsou legované jednotlivě nebo v kombinaci B, Nb, Ti, V nebo Zr, podobně jako dvoufázové oceli,
 - oceli legované jen Cu.

4.3.2. Legované ušlechtilé oceli

Mezi tyto oceli patří oceli, u kterých se požadované vlastnosti - často v kombinaci a v zúžených mezích - dosahují přesným stanovením chemického složení a zvláštními podmínkami výroby a zkoušení. Patří sem zejména nerezavějící oceli, žáruvzdorné a žárupevné oceli, oceli na valivá ložiska, nástrojové oceli, oceli na ocelové konstrukce a na stavbu strojů, oceli se zvláštními fyzikálními vlastnostmi atd. [71].

4.4. Systém zkráceného označování ocelí

V tab. 4.4 je uvedený systém označování ocelí.

Tab. 4.4 Schéma systému označování ocelí podle EN 10027-1, EN 10 027-2 a IC-10 [71]

Značka oceli v normě							
Základní symboly (EN 10027-1)				Přídavné symboly IC-10			
Písmeno	Vlastnosti		Oceli		+	Ocelové výrobky	
	Obsah uhlíku	Legující prvky	Skupina 1	Skupina 2			
Značka dle EN 10 027-1, číselné označení dle EN 10 027-2							

Skupina 1 - Značky vytvořené na základě použití a mechanických a fyzikálních vlastností ocelí

Skupina 2 - Značky vytvořené na základě chemického složení oceli

A- Příklady symbolů pro zvláštní požadavky

B - Příklady symbolů pro druhy povlaků

C - Příklady symbolů pro stavy zpracování

5. ČÍSELNÉ OZNAČOVÁNÍ OCELÍ

Pro všechny oceli obsažené v evropských normách se stanoví číslo podle systému uvedeného v EN 10027-2. Tato čísla platí jako doplňková ke značkám ocelí podle EN 10027-1. Kompetentní pro přidělování čísel je Evropský registrační úřad se sídlem v Düsseldorfu. Žádost o přidělení čísla oceli vyráběné podle národních norem je nutno podávat prostřednictvím kompetentního národního místa, tab. 5.1.

Tab. 5.1 Čísla ocelí se tvoří následovně [71]

X.	XX	XX(XX)
Číslo hlavní skupiny materiálů 1 - ocel 2 až 9 mohou být přidělena jiným materiálům.	<u>Číslo skupiny ocelí - označují se podle tab. čísel ocelí</u>	Pořadové číslo. V současnosti se pro pořadové číslo předpokládají dvě místa, místa uvedené v závorce jsou připravené pro budoucí použití.

5.1. Označování ocelí v některých členských státech EU

I když členské země EU postupně přecházejí na jednotné označování ocelí podle evropských norem, setkáváme se stále ve velké míře s označováním ocelí podle zvyklostí jednotlivých zemí. Oceli se označují ve všech zemích, které je vyrábějí, jednak podle technických norem a jednak podnikovými označeními jednotlivých výrobců. Dále se budeme věnovat systémům označování podle technických norem v SRN, Francii, Velké Británii, Itálii, Španělsku a Belgii. Uvádíme též starší označení, se kterým se v technické dokumentaci stále setkáváme.

Jednotlivé druhy ocelí se označují značkami sestavenými buď z písmen nebo číslic nebo písmen a číslic. K vytvoření systému označování se volí různá kritéria, z nichž nejběžnější je chemické složení. U některých systémů je to pevnost v tahu, jinde je to pouze sériové číslo se znakem skupiny oceli podle účelu použití apod. Písmena použitá ve značce legované oceli označují zpravidla hlavní legující prvky. Jak vyplývá z tab. 5.3, používala se v různých státech pro jednotlivé prvky různá písmena. V současné době se toto v zemích EU sjednotilo.

Tab. 5.3 Označování ocelí ve vybraných zemích EU [71]

Prvek	Chemická značka	SRN	Francie	Itálie	Španělsko
Hliník	Al	Al	A	A	Al
Bór	B	B	B	-	B
Uhlík	C	-	-	-	-
Kobalt	Co	Co	K	K	Co
Chróm	Cr	Cr	C	C	Cr
Měď	Cu	Cu	U	-	Cu
Mangan	Mn	Mn	M	M	Mn
Molybden	Mo	Mo	D	D	Mo
Dusík	N	N	Az	Az	N
Niob	Nb	Nb	Nb	-	Nb
Nikl	Ni	Ni	N	N	Ni
Fosfor	P	P	P	-	P
Olovo	Pb	Pb	-	-	Pb
Křemík	Si	Si	S	S	Si
Titán	Ti	Ti	T	T	Ti
Vanad	V	V	V	-	V
Wolfram	W	W	W	-	W
Zirkonium	Zr	Zr	Zr	-	Zr

Pozn.: U francouzských a italských ocelí se uvedené značky používaly asi do poloviny osmdesátých let. V současnosti značky odpovídají německým.

5.2. Označování ocelí podle německé normy DIN

V SRN se oceli označují dvěma způsoby:

- jen číselným, kterým se určuje číslo materiálu (Werkstoffnummer),
- kombinací číslic a písmen.

Pro tento způsob vytvoření značky jsou oceli rozdělené do skupin podle tab. 5.4.

Tab. 5.4 Rozdělení ocelí do skupin [71]

Nelegované oceli (uhlíkové)			Legované oceli	
Tepelně nezpracované, krom normalizačního žíhání	Určené na tepelné zpracování		Nízkolegované - obsah legujících prvků do 5 %	Vysokolegované - obsah legujících prvků nad 5 %
Neušlechtilé oceli	Jakostní oceli	Ušlechtilé oceli		

Označování nelegovaných neušlechtilých ocelí

- 1. znak - velké písmeno označující způsob odlévání oceli
 - U - neuklidněná ocel
 - R - uklidněná nebo polouklidněná ocel
 - RR - zvlášť uklidněná ocel
- 2. znak - písmena St
- 1. znak - dvojčíslí udávající nejmenší pevnost v tahu v kp/mm^2
- 2. znak - číslo skupiny jakosti, oceli jsou rozdělené podle obsahu P a S, případní i C,
číslo skupiny jakosti se oddělí od čísla udávajícího nejmenší pevnost vodorovnou čárkou.

Uvedené čtyři znaky tvoří základní značku oceli, která může být doplněná ještě doplňkovými znaky:

před 1. Znakem

- E – ocel vyrobená v elektrické peci
- M - ocel vyrobená v martinské peci
- Y - ocel vyrobená v kyslíkovém konvertoru

mezi 1. a 2. znakem

- Q - zvlášť vhodná na odstřihování
- Z - vhodná na tahání tyčí
- P - vhodná na kování v zápustkách nebo na kovacích strojích
- Ro - určená na výrobu potrubí za posledním znakem
- U - dodání ve stavu po vyválnování
- N - dodání v normalizačně žíhaném stavu.

Označování nelegovaných jakostních ocelí

U těchto ocelí se v označení nachází střední obsah uhlíku.

- 1. znak - písmeno C
- 2. znak - číslo udávající stonásobek středního obsahu uhlíku.

Označování nelegovaných ušlechtilých ocelí

- 1. znak - písmena Ck
- 2. znak - číslo udávající stonásobek středního obsahu uhlíku

Označování nízkolegovaných ušlechtilých ocelí

- 1. znak - číslo udávající stonásobek středního obsahu uhlíku
- 2. znak - chemické značky legujících prvků, uspořádaných za sebou podle jejich středního obsahu v oceli; uvedené jsou jen prvky, které jsou významné pro označení oceli, příp. pro rozlišení podobných ocelí.
- 3. znak - střední obsah legujících prvků vyjádřený násobkem skutečného středního obsahu podle tab. 5.5.

Tab. 5.5 Přehled obsahu legujících prvků vyjádřeného násobkem skutečného středního obsahu [71]

Legující prvky	Koeficient
Cr, Co, Mn, Ni, Si, W	4
Al, Cu, Mo, Ti, V	10
P, S, N	100

Označování vysokolegovaných ocelí

U těchto ocelí se při vyjádření obsahu hlavních legujících prvků udává jejich skutečný obsah. Na rozdíl od nízkolegovaných ocelí je prvním znakem písmeno X.

- 1. znak - písmeno X
- 2. znak - číslo udávající stonásobek středního obsahu uhlíku
- 3. znak - chemické značky významných legujících prvků
- 4. znak - číslo udávající přibližný střední obsah hlavních legujících prvků.

5.3. Světoví producenti oceli

V posledních letech vyprodukovala Čína 567,8 miliónů tun oceli, takže se na světové produkci podílela téměř z poloviny. Druhé místo obsadilo Japonsko následované Ruskem, které na třetím místě vystřídalo Spojené státy. Výroba oceli v Severní Americe se propadla o téměř 34 procent a v Evropě o zhruba 23 procent (viz tab. 5.8, obr. 5.12). [60]

Ocelářský průmysl se začíná pomalu zotavovat s postupným oživením světové ekonomiky. Výroba oceli meziročně stoupla o 30 % na 106,4 miliónů tun. Ve srovnání se 117 milióny tun v posledním období se však výroba podle agentury Reuters snížila. Podle analytika Johna Lichtensteina ze společnosti Accenture by měla světová produkce a poptávka po oceli opět stoupnout o zhruba deset procent, čímž by se výroba vrátila na úroveň z let 2008 až 2010. [71]

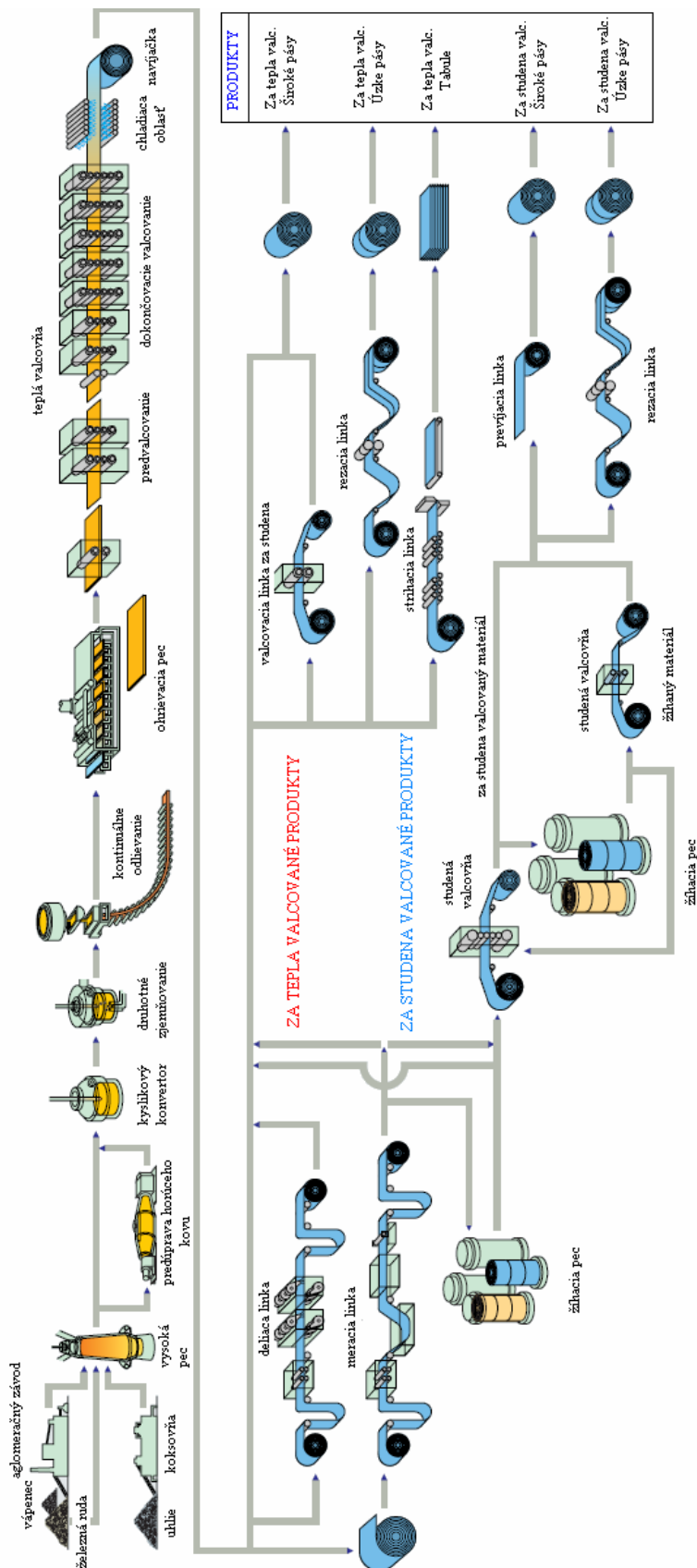
Členové WorldAutoSteel :

- Arcelor Mittal – Luxembourg
- Baoshan Iron & Steel Co. Ltd. – China
- China Steel Corporation – China
- Hyundai-Steel Company – South Korea
- JFE Steel Corporation – Japan
- Kobe Steel, Ltd. – Japan
- Nippon Steel Corporation – Japan
- Nucor Corporation – USE

- POSCO – South Korea
- SeverStal – Russia/USE
- Sumitomo Metal Industries, Ltd. – Japan
- Tata Steel & Corus – India, UK, Netherlands
- ThyssenKrupp Stahl AG – Germany
- USIMINAS – Brasil
- United States Steel Corporation – USE
- Voestalpine Stahl GmbH – Austria

Tab. 5.8 80 největších světových producentů oceli za rok 2008, mmt – produkce v miliónech tun [60]

2008		2007			2008		2007		
Rank	mmt	Rank	mmt	Company	Rank	mmt	Rank	mmt	Company
1	103.3	1	116.4	ArcelorMittal	41	6.9	40	7.4	Jiuquan Steel
2	37.5	2	35.7	Nippon Steel ¹	42	6.9	41	7.3	Salzgitter ⁵
3	35.4	5	28.6	Baosteel Group	43	6.8	43	6.9	voestalpine
4	34.7	4	31.1	POSCO	44	6.5	39	7.8	Jianlong Group
5	33.3	NA	31.1	Hebei Steel Group	45	6.5	44	6.8	BlueScope
6	33.0	3	34.0	JFE	46	6.4	46	6.4	Metallinvest
7	27.7	11	20.2	Wuhan Steel Group	47	6.4	47	6.4	Beitei Steel
8	24.4	6	26.5	Tata Steel ²	48	6.1	60	5.2	Guofeng Steel
9	23.3	8	22.9	Jiangsu Shagang Group	49	6.1	51	6.1	SSAB
10	23.2	10	21.5	U.S. Steel	50	6.0	56	5.4	Erdemir
11	21.8	8	23.8	Shandong Steel Group	51	5.9	54	5.9	AK Steel
12	20.4	12	20.0	Nucor	52	5.9	52	6.1	Mechel
13	20.4	13	18.6	Gerdau	53	5.7	53	6.0	Nanjing Steel
14	19.2	15	17.3	Severstal	54	5.6	42	7.0	Ilyich
15	17.7	17	16.2	Evrast	55	5.4	61	5.0	Tonghua Steel
16	16.9	14	17.9	Riva	56	5.3	56	5.6	Xinyu Steel
17	16.0	NA	16.2	Anshan Steel	57	5.2	57	5.5	HKM ⁶
18	15.9	16	17.0	ThyssenKrupp ³	58	5.1	NA	4.5	Sanming Steel
19	15.0	18	14.2	Maanshan Steel	59	5.0	59	5.3	CSN
20	14.1	20	13.8	Sumitomo Metal Ind	60	4.7	63	4.6	HADEED
21	13.7	19	13.9	SAIL	61	4.5	68	4.4	Tianjin Tiantie Group
22	12.2	23	12.9	Shougang Group	62	4.4	72	4.0	Hebei Jinxi Group
23	12.0	21	13.3	Magnitogorsk	63	4.3	62	5.0	Steel Dynamics
24	11.3	30	9.7	Novolipetsk	64	4.3	69	4.1	Pingxiang Steel
25	11.3	26	11.1	Hunan Valin Group	65	4.3	65	4.5	Ezz Group
26	11.0	27	10.9	China Steel Corporation	66	4.0	71	4.1	Nisshin
27	10.4	22	13.1	Techint ⁴	67	4.0	70	4.1	Tianjin Steel
28	10.0	28	10.1	IMIDRO	68	3.9	64	4.6	Zaporizhstal
29	9.9	NA	11.6	Industrial Union of Donbass	69	3.8	NA	3.0	JSW Steel
30	9.9	29	10.0	Hyundai Steel	70	3.7	73	4.0	Lion Group
31	9.8	34	8.8	Baotou Steel	71	3.7	75	3.5	AHMSA
32	9.2	31	9.3	Taiyuan Steel	72	3.7	NA	3.0	ICDAS
33	9.0	33	9.0	Anyang Steel	73	3.6	NA	4.3	SIDOR ⁶
34	8.2	32	9.1	Metinvest	74	3.6	78	3.5	Hangzhou Steel
35	8.2	37	8.1	Celsa	75	3.5	NA	2.7	Hebei Jingye Steel
36	8.1	38	8.1	Kobe Steel	76	3.5	77	3.5	Chongqing Steel
37	8.0	35	8.7	Usiminas	77	3.4	NA	2.7	Commercial Metals
38	7.5	45	6.6	Panzhihua Steel	78	3.4	74	3.6	Essar Steel
39	7.5	50	6.2	Rizhao Steel	79	3.4	79	3.5	Tokyo Steel
40	7.4	NA	7.6	Benxi Steel	80	3.1	NA	3.2	Vizag Steel



Obr. 5.12 Výrobní procesy ocelových plechov [71]

6.HODNOCENÍ POVRCHU MATERIÁLŮ

Povrch průmyslových součástek nebo obrobků si můžeme představit jako fyzickou hranici mezi obrobkem a okolitým prostředím. Reálný povrch obrobku definují mezinárodní normy (ISO) jako soubor charakteristických vlastností, které fyzicky existují a oddělují vlastní obrobek od okolního prostředí. Je chybné předpokládat, že povrch obrobku má čistě mechanický charakter. Ve skutečnosti je stejně správná představa i elektromagnetického povrchu obrobku. [92]

Uvedeme některé další definice, které jsou v souladu s ISO:

- **reálný mechanický povrch** je mezní oblast určená kulovým dotykem s poloměrem r ; geometrické místo středů ideálního kulového dotyku, též s poloměrem r , odvalujícího se po reálném povrchu obrobku,
- **reálný elektromagnetický povrch** je geometrické místo efektivních odrazových bodů reálného povrchu obrobku, elektricko-magnetického záření se stanovenou vlnovou délkou.

Norma ISO 4287 je v současnosti hlavní platnou mezinárodní normou, která uvádí pojmy, definice a parametry povrchu. Tyto parametry odpovídají různým částem signálu, který se generuje dotykem.

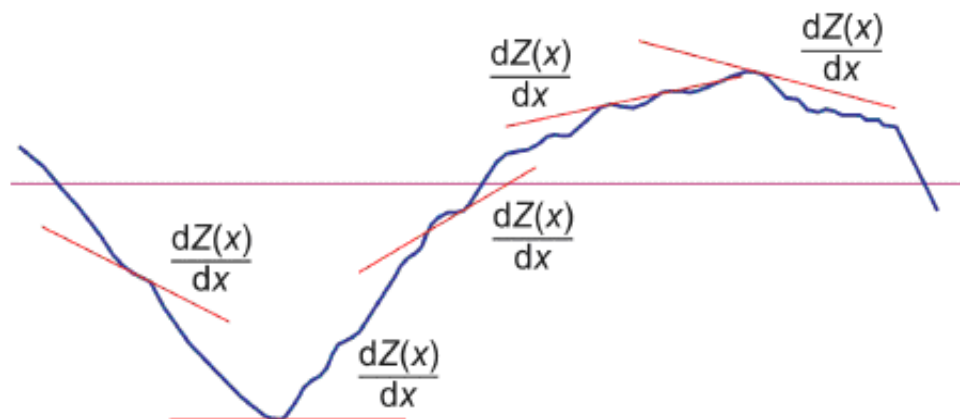
Parametry se označují různými písmeny:

P – primární profil,
R – profil drsnosti,
W – profil vlnitosti.

6.1. Hlavní parametry hodnocení

Výška profilu $Z(x)$ – je to hodnota souřadnice $Z(x)$ v libovolném místě x . [92]

Místní sklon dZ/dx – je to sklon profilu v místě x , obr. 6.1.

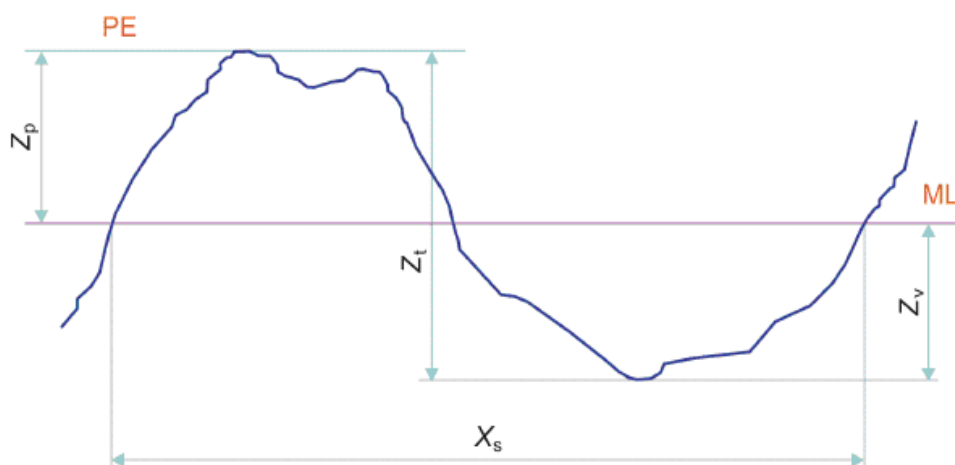


Obr. 6.1 Místní sklon [92]

Výstupek profilu – je část profilu spojující jeho dva sousední průsečíky se střední čarou profilu, uvažovaná směrem ven z materiálu.

Prohlubenina profilu – je část profilu spojující jeho dva sousední průsečíky se střední čarou profilu, uvažovaná směrem do materiálu.

Prvek profilu - je výstupek profilu a s ním spojená prohlubenina profilu, obr. 6.2.



Obr. 6.2 Prvek profilu [92]

PE – prvek profilu, ML – střední čára

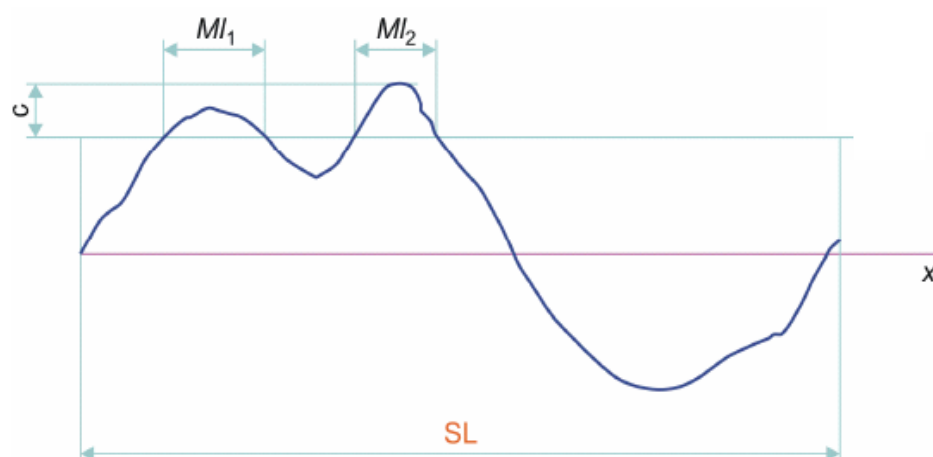
Výška výstupku profilu Z_p – je vzdálenost mezi střední čarou profilu a nejvyšším bodem výstupku profilu, obr. 6.2.

Hloubka prohlubeniny profilu Z_v – je vzdálenost mezi střední čarou profilu a nejnižším bodem prohlubeniny profilu, obr. 6.2.

Výška prvku profilu Z_t – je součet výšky výstupku a hloubky prohlubeniny prvku profilu, obr. 6.2.

Rozestup prvku profilu X_s – je délka úseku střední čáry profilu obsahující prvek profilu, obr. 6.2.

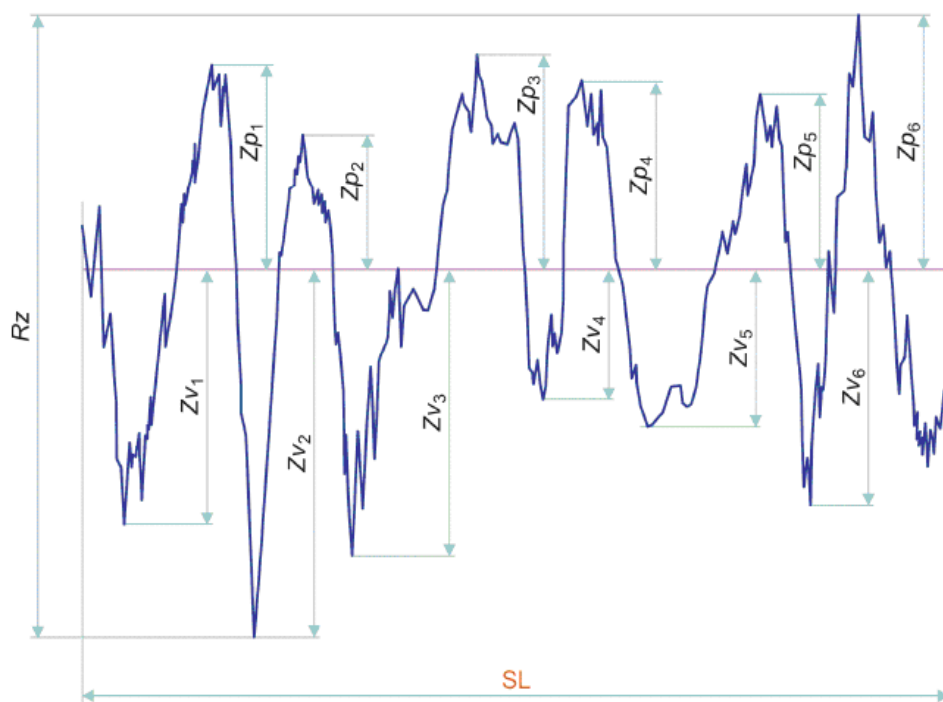
Délka materiálu profilu na úrovni c $MI(c)$ – je součet délek úseků vytvořených řezem rovnoběžným se střední čarou profilu na úrovni c oddělením výstupků profilu v rozsahu základní délky, obr. 6.3, [92].



Obr. 6.3 Délka materiálu [92]

$MI(c) = MI_1 + MI_2$, SL – základní délka

Výška největšího výstupku profilu P_p , R_p , W_p – je největší výška výstupku profilu Z_p v rozsahu základní délky, obr. 6.4. [92]



Obr. 6.4 Základní délka (příklad profilu drsnosti) [92]

Hloubka největší prohlubeniny profilu P_v , R_v , W_v – je největší hloubka prohlubeniny profilu Z_v v rozsahu základní délky.

Největší výška profilu P_z , R_z , W_z – je součet největší výšky výstupku Z_p a největší prohlubeniny profilu Z_v v rozsahu základní délky.

Střední výška prvku profilu P_c , R_c , W_c – je střední hodnota výšek prvků profilů Z_t v rozsahu základní délky

$$P_c, R_c, W_c = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m Z_{t_i} \quad (6.1)$$

Celková výška profilu P_t , R_t , W_t – je součet výšky největšího výstupku profilu Z_p a hloubky největší prohlubeniny profilu Z_v na vyhodnocované délce. [92].

Střední aritmetická odchylka profilu P_a , R_a , W_a – je střední aritmetická hodnota absolutních odchylek profilu $Z(x)$ v rozsahu základní délky

$$P_a, R_a, W_a = \frac{1}{l} \int_0^l |Z(x)| dx \quad (6.2)$$

6.2. Parametry pro 3D hodnocení

Amplitudové parametry využívané při prostorovém hodnocení, odvozené z 2D parametrů podle ISO 4287:

- S_e – průměrná aritmetická odchylka povrchu
- S_q – průměrná kvadratická odchylka povrchu
- S_t – celková výška povrchu
- S_p – maximální výška výstupků
- S_v – maximální hloubka prohlubenin
- S_z – výška určená z deseti bodů povrchu
- S_{sk} – šikmost křivky rozdělení výšek
- S_{ku} – špičatost křivky rozdělení výšek

Plošné a objemové parametry:

- S_{mr} – nosný průměr v dané hloubce – udává se s mezní hodnotou a referenčním údajem.
- S_{dc} – výškový rozdíl řezů povrchem – je určovaný dvěma mezními hodnotami udávanými v %. [9]
- S_{mvr} – střední hodnota poměru nezaplňného objemu – objem materiálu povrchu, který se získá měřením prostoru mezi imaginární horizontální rovinou přeloženou v největší hloubce profilu povrchu a body povrchu.
- S_{mmr} – střední hodnota poměru materiálového objemu – celkový objem materiálu povrchu, který se získá měřením prostoru mezi imaginární horizontální rovinou přeloženou v největší hloubce profilu povrchu a body povrchu, [12], [92].

Prostorové parametry:

- SP_c – počet výstupků na ploše – hustota výstupků mezi dvěma úrovněmi c_1 a c_2 , přičemž c_1 a c_2 jsou mezní roviny definované ve vztahu ke střední rovině 0. c_1 musí být nižší než c_2 . Výstupek se bere v úvahu jen tehdy, když překročí c_2 a přejde pod c_1 . Parametr je vyjádřený počtem výstupků na mm^2 . [9]
- S_{ds} – hustota výstupků povrchu – počet výstupků na mm. Za výstupek je považovaný bod, který je vyšší než 8 sousedních bodů.

- Se_l – délka odpovídající nejrychlejšímu poklesu autokorelační funkce – vyjadřuje množství vlnových délek profilu povrchu. Vysoké hodnoty ukazují na vysoké vlnové délky.
- S_{tr} – průměrný aspekt textury povrchu – průměr nejkratší délky poklesu k největší délce. Pohybuje se od 0 do 1. Pokud se hodnota blíží k 1, povrch je izotropní, pokud se blíží k 0, tak je anizotropní.
- S_{td} – směr textury povrchu – stanovuje hlavní úhel směru textury povrchu. Má význam, pokud je hodnota menší než 0,5. Úhel směru se vyjadřuje ve stupních od -90° do 90° .
- S_{fd} – fraktální dimenze povrchu – ukazuje tvarovou složitost profilu povrchu s využitím teorie fraktální geometrie. Dimenze povrchu se pohybuje mezi dvěma hodnotami při rovinné ploše a třemi hodnotami při složitém tvaru povrchu. Při některých tvarech povrchů se nedá fraktální dimenze stanovit, [92].

Hybridní parametry, které spojují kritéria amplitudových a prostorových parametrů:

- S_{dq} – kvadratický sklon povrchu
- S_{sc} – aritmetický průměr zakřivení výstupků povrchu
- S_{dr} – průměrná rozvinutá styková plocha

Funkční parametry, které charakterizují funkční aspekty povrchu:

- v_{Sk} – hloubka drsnosti jádra – je to rozšířený 2D parametr R_k
- S_{pk} – redukovaná výška výstupků – rozšířený 2D parametr R_{pk}
- S_{vk} – redukovaná hloubka prohlubenin – rozšířený 2D parametr R_{vk}
- S_{r1} – horní materiálový průměr
- S_{r2} – dolní materiálový průměr
- Se_1 – horní plocha (trojúhelníka odpovídající výstupkem)
- S_{s2} – dolní plocha (trojúhelníka odpovídající prohlubeninám)

Parametry R_k

- S_{bi} – index únosnosti
- S_{ci} – index udržení kapaliny v jádru
- S_{vi} – index udržení kapaliny v prohlubeninách

Parametry SURFSTAND

- $V_m(h)$ – objem materiálu v dané hloubce
- $V_v(h)$ – nevyplněný objem v dané hloubce
- V_{mp} – objem materiálu výstupků

- V_{mc} – objem materiálu jádra
- V_{vc} – nevyplněný objem jádra
- V_{vv} – nevyplněný objem prohlubenin

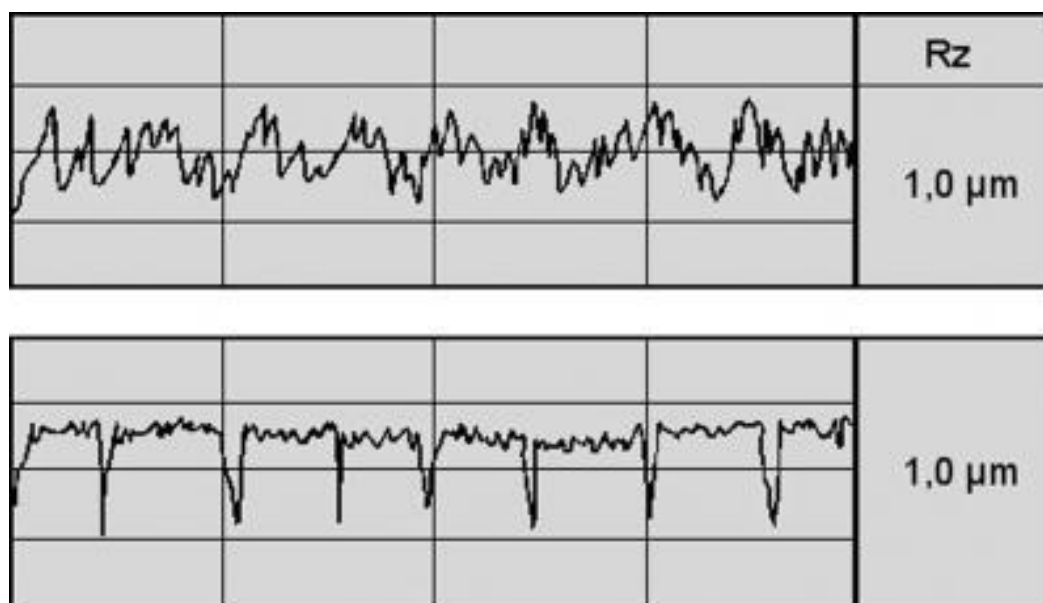
Parametry rovinnosti pro povrch vyrovnaný s využitím metody nejmenších čtverců a filtrovaný filtrem s nízkou propustností:

- FLT_t – odchylka rovinnosti povrchu
- FLT_p – odchylka rovinnosti vztahovaná na výstupek
- FLT_v – odchylka rovinnosti vztahovaná na prohlubeninu
- FLT_q – kvadratická odchylka rovinnosti [12], [92].

6.3. Srovnání 2D a 3D hodnocení

V současné době jsou stále vyvíjené a modernizované 2D i 3D metody hodnocení povrchu. Z hlediska 2D hodnocení jsou stále ve velké míře využívány parametry R_a a R_z , ať už z důvodu lehkého měření průměrných hodnot drsnosti, mezinárodní normalizace, nebo v důsledku srozumitelnosti a faktu, že celá metrologie je na těchto parametrech od začátku postavená. Z hlediska měření drsnosti jsou parametry R_a , R_z stále důležité, ale při posuzování funkčních vlastností jsou prakticky nepoužitelné.

Důvodem je, že různé povrchy mohou mít stejné průměrné hodnoty drsnosti, ale jejich předpoklady pro plnění funkcí jsou úplně jiné. Např. horní profil na obr. 6.16 má lepší předpoklady pro funkci kluzného ložiska než dolní profil. [10]

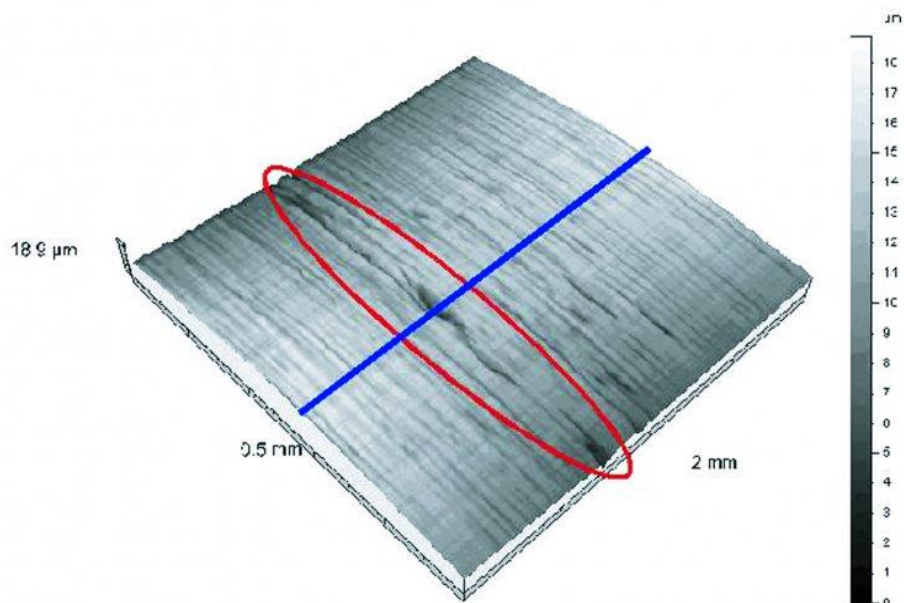


Obr. 6.5 Měření dotykovým profilometrem hodnoty R_z , s rozdílnou funkčností [7]

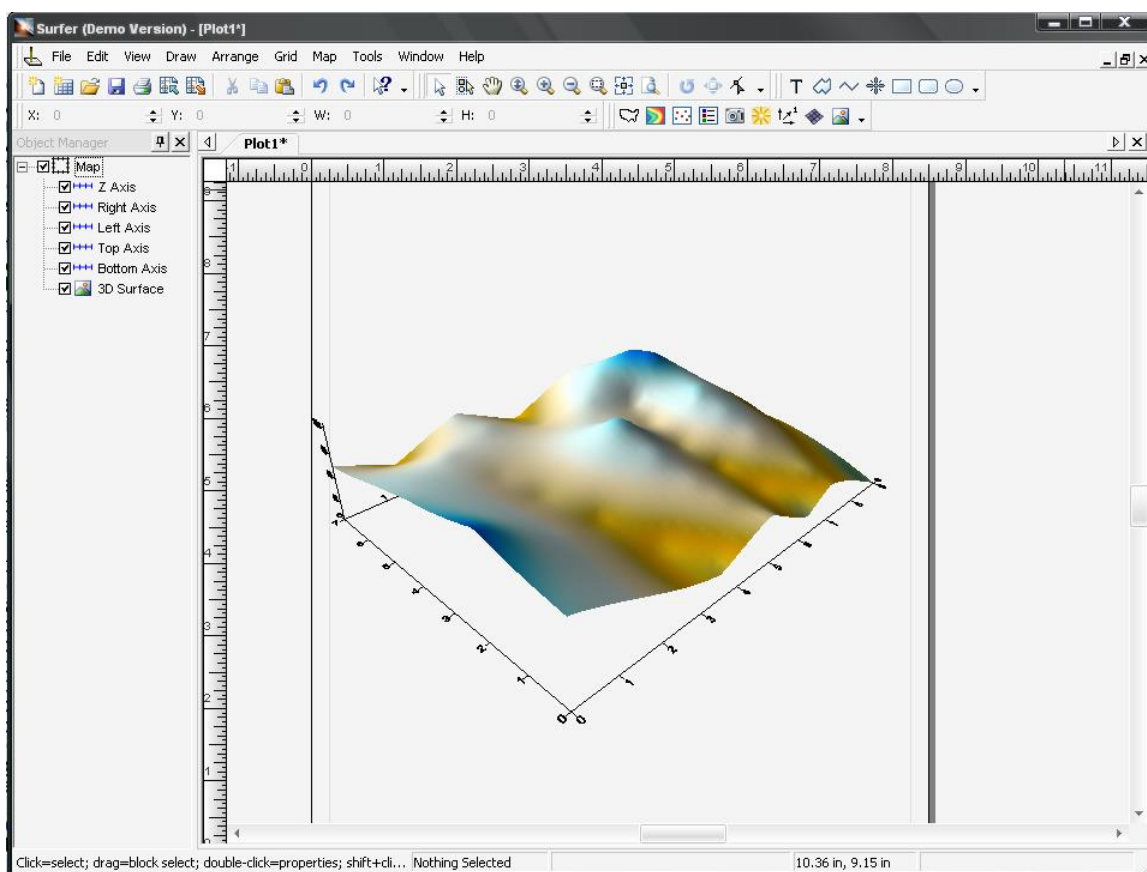
2D parametry tedy nedokážou poskytovat informace o rychlosti opotřebení jednotlivých textur povrchu, o schopnostech udržet mazivo, či o náchylnosti na vznik trhlin způsobených stopami po obrábění. Tedy pro plnohodnotné uplatnění některých parametrů potřebují kromě číselné hodnoty i další informace, jako je právě orientace stop po obrábění. Parametr, který tuto orientaci popisuje, se podobá víc vektoru než skaláru. V případě dvou povrchů s výraznými stejně vysokými výstupky, které budou na jednom povrchu orientované vpravo a na druhém vlevo, budou parametry R_a , R_q stejné. Směr relativního pohybu vzhledem k zatěžovaným hranám bude ale různý. Pokud by byly takovéto povrchy namontované ve špatném směru, mohla by nastat funkční porucha. Důležité je věnovat pozornost nejen jednomu povrchu, ale celému systému, který je tvořený několika povrchy. Posuzování funkce povrchu tedy nemůže být odděleno od systému. [10]

Největší slabinou 2D hodnocení je skutečnost, že výsledky jsou omezené a závislé na poloze kontrolovaného řezu. Měření často ukazuje místo s výraznějšími výškovými odchylkami povrchu. Z jednoho profilu však není možné posuzovat charakter a rozsah větších odchylek, které představují defekty nebo poškození povrchu. 3D měření zabezpečuje mnohem více údajů, což zvyšuje objektivitu hodnocení stavu povrchu. Axonometrické hodnocení umožňuje přesně specifikovat rozsah výraznějších odchylek.

V praxi je při analýze rozměrnějšího defektu povrchu často výhodné kombinovat 2D a 3D hodnocení. Při 3D analýze hluboké trhliny, jejíž hloubka se nedá přesně stanovit, je výhodné v tomto místě zaznamenat jeden profil řezu, který umožní vyhodnocení rozměrů trhliny a detailní zaznamenání jejího tvaru, čímž se získají detailnější informace pro rozhodování o vlivu trhliny na funkci povrchu, obr. 6.17.



Obr. 6.6 3D zobrazení povrchu s trhlinou s vyznačením následného 2D řezu [10]



Obr. 6.7 Ukázka 3D zobrazení povrchu v programu Surfer 9 [92]

7.MĚŘICÍ PŘÍSTROJE A PROGRAMY

Výrobci měřicí techniky při vývoji nových produktů kladou velký důraz na zpracování naměřených dat. K měřicím zařízením jsou proto dodávány i moderní speciální počítačové programy. Často jsou tyto programy kompatibilní jen s určeným měřicím přístrojem, přičemž tato kompatibilita platí i opačně. Taková řešení jsou charakteristická pro systémy, ve kterých software nejen vyhodnocuje naměřené údaje, ale provádí i řídicí, monitorovací a kontrolní funkce.

7.1. Optosurf QS 500

Měřicí zařízení Optosurf QS 500, obr. 6.18, využívá metodu rozptýleného světla. Princip této metody spočívá v ozařování povrchu světelnou skvrnou průměru 0,9 mm. Reflektované rozptýlené světlo je snímáno detektorem. Rozptýlení je statisticky vyhodnocováno a výpočtem se získává optický parametr drsnosti S_0 , který zhruba odpovídá parametru úhlu profilu R_dq . Tento parametr vyhodnocuje vertikální i horizontální souřadnici profilu. Měření není závislé na reflexi plochy, tedy tmavé plochy mají stejnou hodnotu drsnosti jako plochy světlé. Je možné měřit všechny funkční plochy na součástkách. Senzor dokáže spolehlivě měřit i v drsných provozních podmínkách a také se dobře vyrovnává s vibracemi.

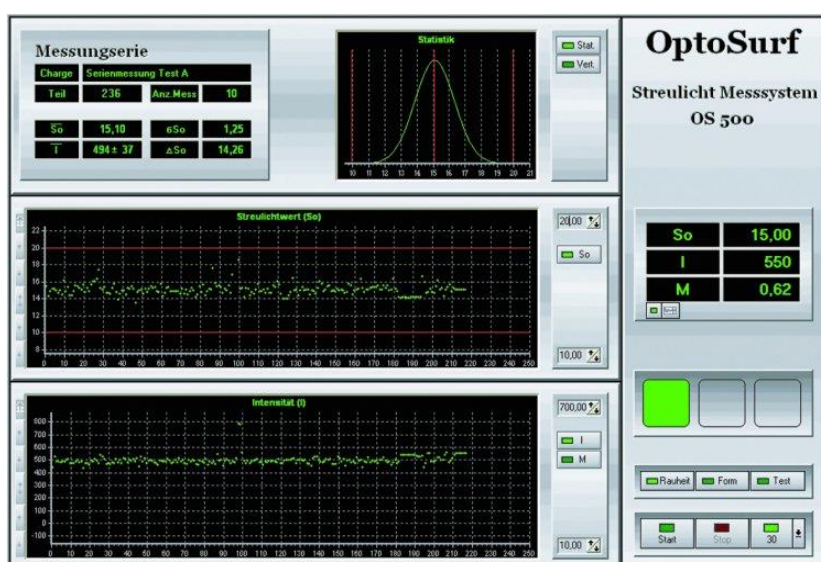


Obr. 6.8 Měření senzorem QS 500 [7]

Měření tímto systémem se používá jako doplňkové měření k tradičním dotykovým měřicím metodám. Ve srovnání s nimi však dosahuje mnohem větší rychlosti měření, která se pohybuje nad hranicí 1000 měření za sekundu. Rychlost měření však není hlavním parametrem, který staví metodu rozptýleného světla před dotykové metody. V praxi je často třeba znát i směr stop nástroje po obrábění nebo rozpoznat způsob opracování. Příkladem může být broušení a finišování klikových hřídelí při výrobě motorů. Výsledkem broušení je struktura vrypů s profilovými špičkami. Při finišování se tyto špičky částečně odstraní, čímž se výrazně zlepší funkční vlastnosti, sníží se tření a opotřebení. Metodou rozptýleného světla lze jednoznačně rozlišit broušené plochy od finišování, zatímco při dotykových metodách existuje oblast překrývání, v níž se tyto plochy rozeznat nedají. [7]

7.2. Software SW 500

Měřicí senzor QS 500 se používá se softwarem SW 500, obr. 6.19, který je určen pro sběr naměřených hodnot, řídí senzor a ukládá tyto hodnoty do SQL datové banky.



Obr. 6.9 SQL datová banka pro ukládání výsledků měření [7]

Vymezením hraničních hodnot lze dosáhnout plně automatizované výroby, přičemž díly přesahující hraniční hodnoty jsou automaticky vyřazovány. Jednoduché statistické funkce vypočítávají z jednotlivých naměřených hodnot střední odchylku, standardní odchylku a maximální odchylku. K tomu je vedena statistika všech nástrojů ve výrobě, čímž je možné dokumentovat průběh výrobního procesu. Senzor na rozptýlené světlo kontroluje výrobní proces a dodává průběžné informace o stavu pracovního stroje. To umožňuje včasné rozpoznání chyb, jako výpadek chlazení, poškození ložisek, opotřebení výrobního nástroje apod.

7.3. Taylor Hobson Talysurf CLI

Měřicí systém určený pro rychlé prostorové měření a hodnocení povrchu s vysokým rozlišením. Umožňuje měření ve třech osách dotykovou i bezdotykovou metodou a následnou analýzu údajů z jednoho řezu profilu i profilu plochy povrchu. Při dotykové metodě se používá indukční dotykový snímač, při bezdotykové laserová triangulační sonda a CLA konfokální snímač. Tyto metody zajišťují prakticky neomezené možnosti při měření struktury povrchu z hlediska jakostí, přesnosti a druhu materiálu. Přístroj je vybaven automatickým posuvem ve všech osách s rychlostí do 30 mm/s. Při dotykovém indukčním měřítku je to 3mm/s. Při měření je možné použít 4 různé měřicí hlavy.

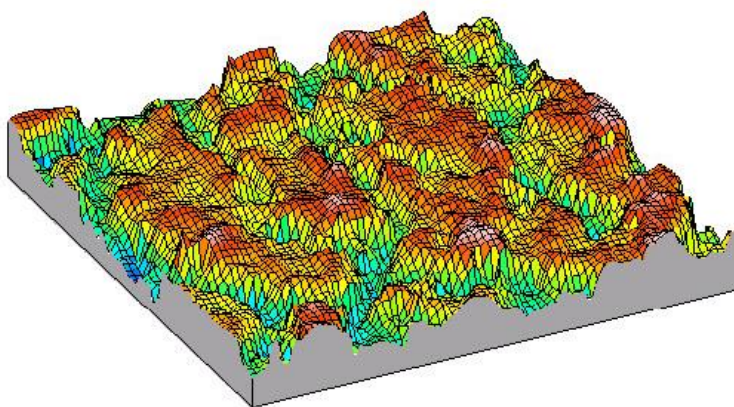
Přestože je tento přístroj speciálně konstruován pro měření 3D, obsahuje také mechanické a analytické prostředky pro komplexní měření 2D. Takže je možné jediným přístrojem monitorovat výzkum a vývoj, provádět studijní analýzy, rutinní inspekce či řídit výrobní procesy, obr. 6.20. [9]



Obr. 6.10 Talysurf CLI 2000 [92]

7.4. Program Talymap

Program Talymap je určen ke zpracování prostorových charakteristik povrchu z údajů získaných dotykovým i bezdotykovým měřením. Umožňuje zobrazit sledovaný povrch několika způsoby, mimo jiné i axonometrickou projekcí s volitelným úhlem pohledu, barevným rozlišením výšek a s nastavitelným zvětšením celku nebo vybrané části povrchu. Je možné měřit ve třech osách, zobrazit inverzi profilu či simulaci opotřebení povrchu. Jednou z největších výhod tohoto programu je jeho univerzálnost z hlediska zpracování dat z různých měřících zařízení, obr. 6.21.



Obr. 6.11 Zobrazení povrchu v programu Talymap [92]

Pro prostorové hodnocení povrchu se využívají amplitudové parametry, parametry popisující materiálový poměr povrchu, parametry vztahující se k nerovnosti a objemové parametry. Dohromady je využíváno 120 parametrů v režimu 2D a 40 parametrů v 3D, přičemž na 3D profilu je možné v libovolném směru označit jeden profil, který je následně možné vyhodnotit 2D funkcemi. K programu Talymap existuje i množství progresivních specializovaných modulů, které jsou určeny pro vyhodnocování parametrů a vlastností povrchu důležitých pro jejich konkrétní funkci, jako např. opotřebení, poškození, eroze povrchu.

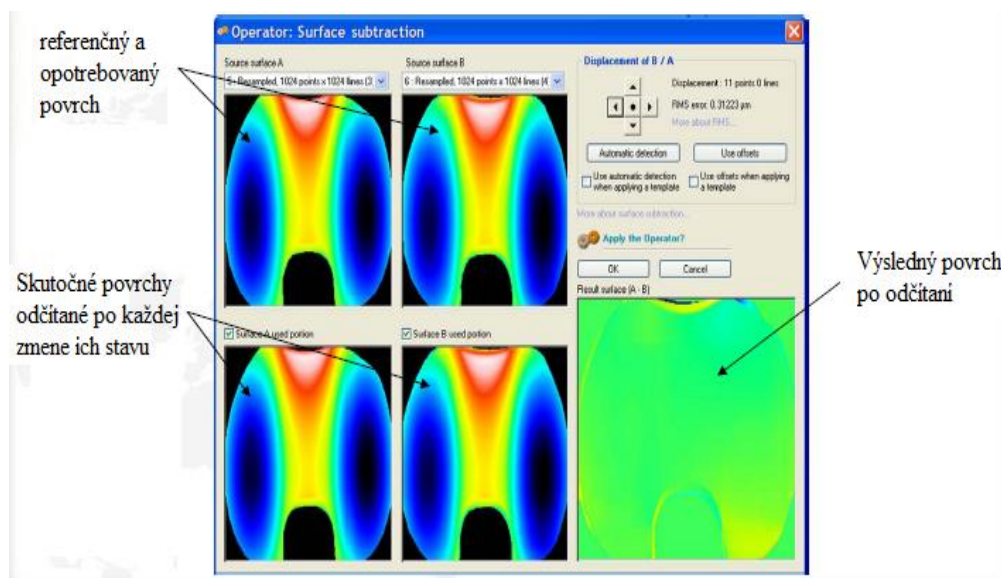
7.5. Modul Textured Surfaces

Tento modul je určen na 3D hodnocení povrchu komplexního podkladového materiálu. Má na starosti výpočet ploch a objemů, maximální a průměrné výšky výstupků a prohlubní vzhledem k výškovému limitu zadanému uživatelem. Tyto údaje jsou důležité z hlediska určení schopnosti povrchu udržet mazivo nebo k predikci životnosti funkčního povrchu při opotřebení. [9]

Pro grafické zobrazení výsledků se používá funkce "Coloured Binary Image", která využívá 256 barev k vytvoření stupnice výšek, nebo 2 barvy při rozdělení povrchu na oblasti nad a pod zvolenou výškovou mezní hodnotou.

7.6. Program Talymap Wear

Slouží k 3D analýze opotřebení povrchu. Před analýzou umožňuje filtraci 3D údajů. Na výběr je mimo jiné i Gaussova metoda, spline metoda, třibodová metoda nebo metoda nejmenších čtverců. Filtrace spočívá v odstranění krátkých vlnových délek, což zlepšuje stabilitu a opakovatelnost. Opotřebení povrchu se vyhodnocuje porovnáním povrchu před a po opotřebení, obr. 6.22.



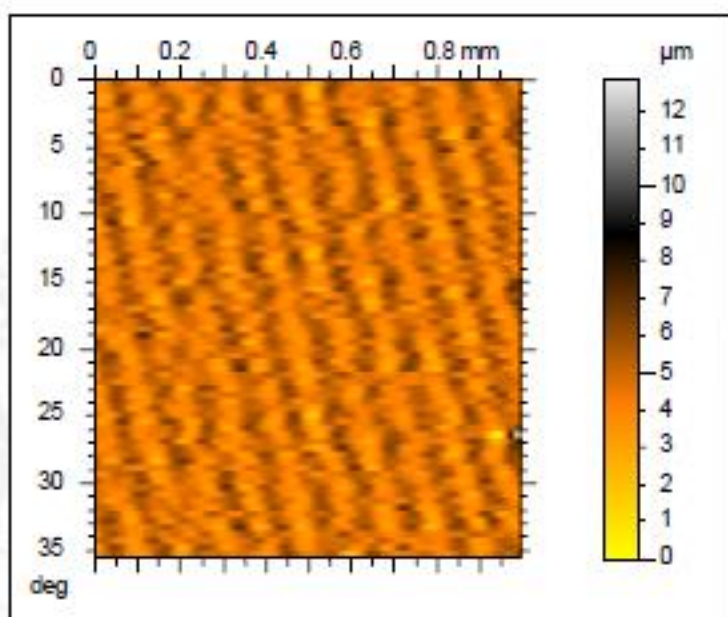
Obr. 6.12 Analýza opotřebení povrchu programem Talymap Wear [92]

7.7. Program Step Height Analysis

Slouží ke stanovení a hodnocení vertikálních rozměrů, např. tloušťky tenkých povlaků, převýšení nebo hloubku mělkých vybrání. Tato analýza je důležitá při nanášení nebo úběru materiálu mechanickými, chemickými nebo jinými metodami. Program dokáže vypočítat průměrnou výšku vybrané oblasti nebo rozdíly ve výškách mezi více oblastmi. Při výběru dvou bodů plochy stanoví jejich vodorovnou vzdálenost, vzájemné převýšení a sklon. Pro výpočty lze použít několik způsobů, včetně interaktivní manuální metody.

7.8. Program Twist

Program na analýzu prostorové textury povrchu využíváný při hodnocení drsnosti a kruhovitosti. Po získání dostatečného množství dat z měření se vytvoří prostorová mapa povrchu. Vlastní analýza textury je pak rozdělena na filtraci a stanovení parametrů. Analýzou dominantní vlnové délky se určí typ filtru a velikost mezní vlnové délky. Pokud se dominantní vlnová délka nenajde, použije se Gaussův filtr a mezní vlnovou délku si zvolí uživatel. V případě vyhodnocení jedné dominantní vlnové délky se údaje zpracovávají filtrem ZBP (Zero Band-Pass) a hodnota mezní vlnové délky je rovna velikosti dominantní vlnové délky, obr. 6.23. [92]



Obr. 6.13 Ukázka filtrovaného povrchu [92]

Údaje profilu povrchu se poté zpracovávají Fourierovou transformací, přičemž se vyhodnocují tyto základní parametry: vlnová délka povrchových stop v axiálním směru, frekvence a směr stop v obvodovém směru, průměrná výšková amplituda. Ze základních

parametrů se potom odvozují další: průměrná hodnota průřezu, gradient a úhel. Analyzovaný povrch je poté možné zobrazit axonometrickými pohledy, obr. 6.24.



Obr. 6.14 Axonometrický spojitý obraz obrobeného povrchu [92]

7.9. Mitutoyo Surftest SJ-400

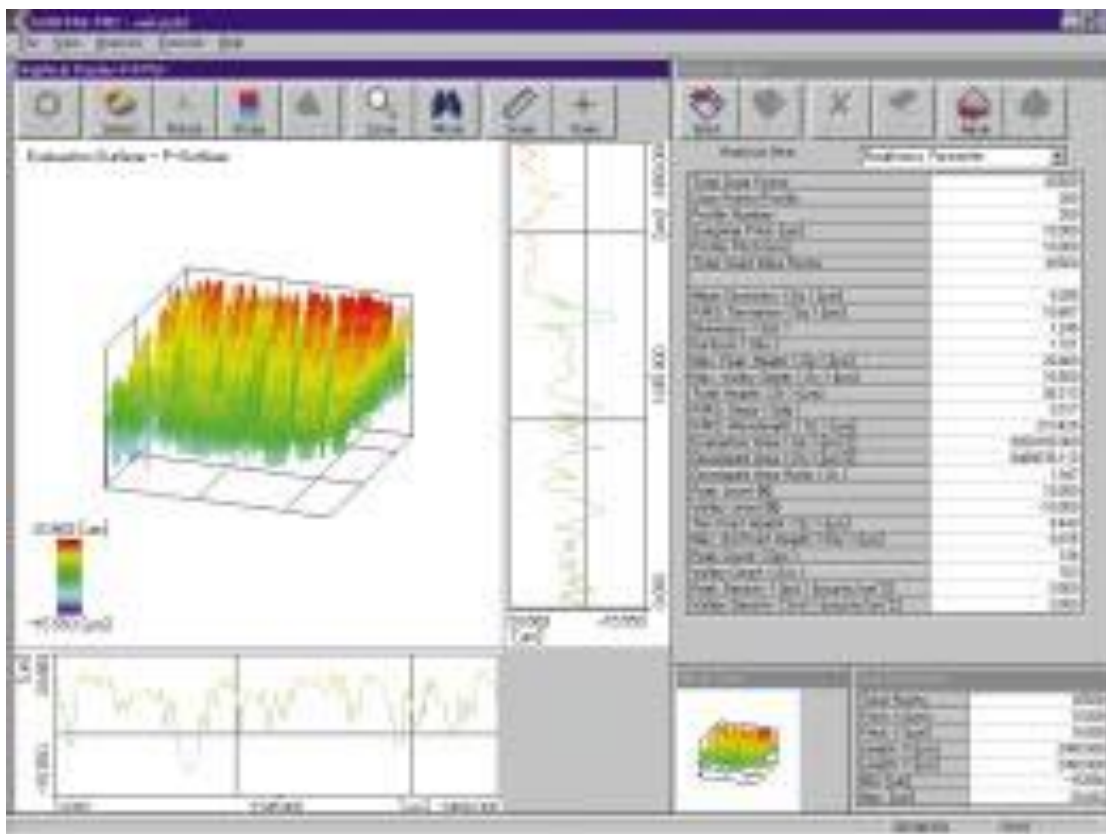
V tomto případě jde o ruční přístroj určený k měření drsnosti, vlnitosti a primárního profilu. Přístroj má vlastní displej pro zobrazování zvolených parametrů. Umožňuje automatickou kalibraci, přestavení sklonu, měření vzhůru nohama, uložení měřicích podmínek. Obsahuje integrované statistické funkce pro vyhodnocení, ale je zde také možnost připojení k vyhodnocovacímu softwaru Surfpak-SJ, obr. 6.25.



Obr. 6.15 Surftest SJ-400 [92]

7.10. Software Surfpak SJ/SV/PRO

K přístrojům Surftest je dodáván software Surfpak SJ/SV/PRO, který zajišťuje ovládání přístroje, vyhodnocení naměřených hodnot a zpracování dokumentace. Tento program dokáže zpracovat velký počet parametrů drsnosti zahrnutých v normách DIN, ISO, JIS, Motif a dalších. Umožňuje různé typy grafických analýz, 3D topografii, zobrazení průřezu profilu, atd., obr. 6.26.



Obr. 6.16 Ukázka vyhodnocení měření programem Surfpak-PRO [92]

7.11. Program Surfer 9

Na rozdíl od předchozích programů, Surfer 9 není spojen s žádným měřicím zařízením a není ani primárně specializovaný na vyhodnocování parametrů drsnosti, či vlnitosti. Dokáže ale transformovat XYZ údaje na obrysové mapy, 3D povrchové mapy, 3D drátové modely, stínované reliéfy, post mapy, vektorové mapy nebo základní mapy a také umí spočítat průřezy, oblasti, či objemy. Vstupní údaje mohou být importovány z velkého množství různých typů souborů, obr. 6.27.

8.MATERIÁLY V SOUČASNÉ PRAXI VÝROBY AUTOMOBILŮ I.

Nové záměry v rozvoji automobilového průmyslu jsou koncipované následovně: zvyšování bezpečnosti posádky, snižování spotřeby paliva, nárůst komfortu a vybavenosti. V perspektivě rozvoje automobilů střední třídy, ekonomické studie vytyčily trend, dosáhnout v roce 2020 spotřeby paliva 2,6 l/100 km. Dosažení takto definovaných kontrastních požadavků je možné jen pomocí snížení hmotnosti automobilu. Zatímco automobil měl v roce 1960 hmotnost asi 2400 kg, hmotnost automobilu střední kategorie v roce 2000 dosahovala hodnotu cca 1450 kg, přičemž v roce 2020 by měla poklesnout na hodnotu 870 kg, což činí v porovnání s rokem 2000 snížení o 40%.

Analýza hmotnosti současného automobilu střední třídy poukázala na následné poměrné rozložení hmotnosti základních skupin a vybavení: karosérii – 26 %, podvozek 23 %, motor 21 %, tekutá média 5 %, elektrická zařízení 8 % a ostatní 17 %.

Průměrná hmotnost evropského vozidla v roce 2000 byla 1100 kg v této materiálové skladbě: ocel a litina (62 %), neželezné kovy (Al, Mg) a jejich slitiny (8 %), plasty (10 %), guma (5 %), sklo (3 %), textil a protihluková izolace (4 %), kapalina a jiné materiály (8 %).

Z předmětných analýz vyplývá, že 62 % z celkové hmotnosti osobního automobilu dnes připadá na ocel, resp. litinu a 30 % z výrobní ceny automobilu představují náklady na materiál. Důsledkem studií je, že intenzivní pozornost automobilových konstruktérů se zaměřuje především na redukci hmotnosti nejpoužívanějšího materiálu - oceli, která tvoří základ konstrukčních částí (karosérie, podvozková skupina, motor, atd.). Chrysler uvádí pro budoucnost následující záměry v poměrném snižování hmotnosti automobilu: karosérie (-50 %), podvozek (- 50 %), motor (- 10 %), palivový systém (- 55 %).

Na výzvy vyplývající z ekonomických studií, jakož i požadavků automobilových konstruktérů a výrobců, reagovalo hutnictví výzkumem a vývojem materiálů a technologií ve dvou zásadních směrech: materiály a technologie pro stavby ultralehkých karosérií na bázi Al, resp. na ocelovém základě. Vzhledem k tomu, že světová tendence se přiklání s ohledem na nutnou spotřebu energií, potřebných na primárně metalurgické výrobní technologie, na stranu výzkumu a vývoje v ocelových materiálech, bude v dalších částech pozornost zaměřená jen tímto směrem podle [72], [73], [74].

Rozvoj automobilového průmyslu, automatizací výrobních procesů, zaměřujících se na snižování hmotnosti, zvyšování bezpečnosti a korozní odolnosti karosérií automobilů při zvyšování produktivity výroby a snižování výrobních nákladů. Z konstrukčního hlediska a užitkových vlastností finálního výrobku je cílem snížit tloušťky plechů, což předpokládá zvýšení jejich pevnosti a dynamickou nosnost. V současnosti vyráběné ocelové plechy a pásy se dají rozdělit z několika hledisek:

- podle způsobu výroby oceli:
 - odlévané klasicky,
 - odlévané kontinuálně,
 - odlévané ve vakuu
- podle způsobu válcování:
 - válcované za tepla,
 - válcované za studena,
- podle ochrany povrchu:
 - povrchově neupravené (černé),
 - povrchově upravené,
- podle způsobu použití:
 - konstrukční,
 - vhodné k tváření,
 - obalové
 - pro elektrotechnický průmysl
- podle pevnostních a plastických vlastností, chemického a strukturního složení:
 - texturované nízkouhlíkové hliníkem uklidněné oceli (LC, ULC, SULC),
 - oceli bez intersticií (IF oceli),
 - oceli vytvrditelné při vypalování laku (BH oceli),
 - dvofázové oceli (DP oceli),
 - komplexní fázové oceli (CP oceli)
 - vysoce pevné mikrolegované oceli (HSLA)
 - oceli s transformační indukovanou plasticitou (TRIP oceli)
 - martenzitické oceli (M oceli) [71]

Vývoj konstrukčních ocelových materiálů pro automobilový průmysl je vyjádřený na obr. 4.2. Klasické vysokopevné oceli se zvýšenou tvářitelností za studena řady ZStE byly v 80. letech doplněné o fosforem legované oceli řady ZStE-P a dvofázové oceli – DP. V polovině 80. let byly vyvinuty IF (interstitial free) oceli a BH (bake hardening) oceli. Od 90. let jsou vyvíjené i CP (complex phase), RA (residual austenite) oceli s TRIP efektem, SULC (super ultra low carbon) oceli a MS (martensite) oceli. [71], [82].

- Požadavky na ocelové plechy pro automobilový průmysl je možné shrnout do následujících bodů:
 - Pevnostní a plastické vlastnosti
 - Technologická tvářitelnost
 - Svařitelnost
 - Korozní odolnost
 - Vhodný povrch pro povrchové úpravy
 - Nízká hmotnost

8.1. Plechy a pásy z nízkouhlíkových ocelí určené na tažení za studena

Ocelové plechy se vyrábějí válcováním za studena i válcováním za tepla. Z hlediska zpracovaného množství představují podstatnou část produktů plechy válcované za studena. Dodávají se ve formě svitků a tabulí s tloušťkou 0,20 až 2,00 mm. Podle stupně vhodnosti na tváření jsou ocelové plechy válcované za studena rozdělené do pěti skupin [76]:

- MT - jakost vhodná na mírné tažení (CQ)
- ST - jakost vhodná na střední tažení (DQ)
- HT - jakost vhodná na hluboké tažení (DQ)
- VT - jakost vhodná na velmi hluboké tažení (DDQ)
- ZT - jakost vhodná na složité tažení (EDDQ)

Nové rozdělení nízko uhlíkových ocelových plechů pro automobilový průmysl SEE J2329 je uvedeno v tab. 8.1. V tabulce jsou rozdělené plechy podle způsobu výroby: válcované za tepla (Hot Rolled Steel) a válcované za studena (Cold Rolled Steel). Jsou uvedeny minimální požadované vlastnosti, které reprezentují mez kluzu v tahu (Yield) a minimální hodnota exponentu deformačního zpevnění n .

Tab. 1 Rozdělení nízko uhlíkových ocelových plechů pro automobilový průmysl [71]

Old AISI Description		New SAE Classification		Property
Hot Rolled Steels				
CQ	Commercial Quality	SAE J2329	Grade 1	N/A
DQ	Drawing Quality	SAE J2329	Grade 2	Yield: 180-290 MPa n value: 0.16 min.
DDQ	Deep Drawing Quality	SAE J2339	Grade 3	Yield: 180-240 MPa n value: 0.18 min.
Cold Rolled Steels				
CQ	Commercial Quality	SAE J2329	Grade 1	N/A
DQ	Drawing Quality	SAE J2329	Grade 2	Yield: 140-260 MPa n value: 0.16 min.
DQ	Drawing Quality	SAE J-2329	Grade 3	Yield: 140-205 MPa n value: 0.18 min.
DDQ	Deep Drawing Quality	SAE J-2329	Grade 4	Yield: 140-185 MPa n value 0.20 min.
EDDQ	Extra Deep Drawing Quality	SAE J2329	Grade 5	Yield: 110-170 MPa n value 0.22 min

Nové rozdělení ostatních ocelových plechů pro automobilový průmysl podle SEE J2340 je uvedeno v tab. 2

Tab. 8.2 Rozdělení ostatních ocelových plechů pro automobilový průmysl [71]

Old AISI Description	New SAE Classification
Cold Rolled Steels	
Dent Resistant (DR)	SAE J2340 Grades 180A, 210A, 250A, 280A Dent Resistant Non Bake Hardenable
Bake Hardenable (BH)	SAE J2340 Grades 180B, 210B, 250B, 280B Dent Resistant Bake Hardenable
High Strength Solution Strengthened	SAE J2340 Grades 300S, 340S High Strength Solution Strengthened
High Strength Low Alloy (HSLA)	SAE J2340 Grades 300X,Y; 340X,Y;380X,Y High strength low alloy 20X,Y;490X,Y;550X,Y
High Strength Recovery Annealed	SAE J2340 Grades 490R, 550R, 700R, 830R High Strength Recovery Annealed
Dual Phase (DP) (HSS)	SAE J2340 Grades DH/DL 500-1000 MPa Tensile Ultra High Strength Dual Phase
Martensitic Grade M, HSS	SAE J2340 Grade M 800-1500 MPa Tensile Ultra High Strength Low Carbon Martensite

8.2. Fyzikálně-metalurgické vlastnosti ocelí při výrobě automobilů

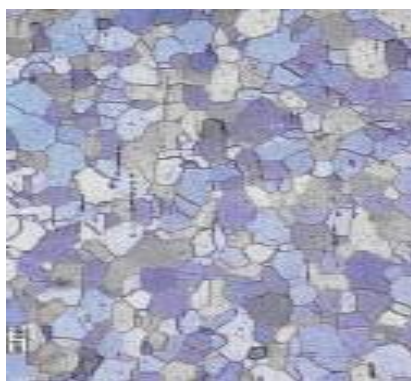
Vlastnosti tenkých ocelových plechů a pásů z nízkouhlíkových ocelí jsou závislé na chemickém složení, způsobu výroby oceli a způsobu výroby plechu. Na ocelové plechy tažných jakostí jsou kladeny přísné požadavky nejen z hlediska mechanických vlastností, ale aj na toleranci tloušťky a na kvalitu povrchu. Tyto faktory ovlivňují strukturu, mechanické a technologické vlastnosti tenkých ocelových plechů tažných jakostí. [71].

Tenké ocelové plechy tažných jakostí jsou vyráběné z ocelí s nízkým obsahem uhlíku (do 0,1 %). Krom uhlíku obsahuje ocel prvky, které se do ní dostávají nedokonalostí hutnických procesů, nebo je do oceli dodáváme záměrně za účelem úpravy vlastností plechu (Mn, Si, P, S, Cu, Ni, Cr, Mo, O, N, Ti, a další), [90], [91].

Strukturu nízkouhlíkových ocelových plechů tažných jakostí tvoří ferit a cementit. Ferit v binární soustavě Fe – C je ohraničený tuhým roztokem uhlíku v železe δ . Ferit v ocelích však rozpouští i jiné prvky, s kterými vytváří buď substituční roztok (Si, Mn, Cr, Ni, Mo, W), nebo adiční tuhý roztok (N, H, O). Ferit je měkká strukturní fáze, proto oceli nízkouhlíkové (feritické) jsou měkké, mají nízkou mez skluzu a pevnosti a vysoké hodnoty tažnosti a kontrakce. Jsou to oceli s vysokou odolností vůči křehkému porušení a dobrými plastickými vlastnostmi. Plastické vlastnosti těchto ocelí jsou závislé na velikosti a tvaru feritického zrna, množství a rozložení nečistot. U ocelových plechů je velikost feritického zrna kompromisem mezi plasticitou a hladkostí povrchu výtažku, [17], [58].

8.3. Oceli bez volných intersticiálních prvků (IF oceli)

Oceli typu IF jsou určeny pro hlubokotažné tvarově složité díly. Pojmenování pro tyto oceli pochází z anglického interstitial free. V češtině to znamená ocel bez intersticií. Vyznačují se vysokými plastickými vlastnostmi, a proto jsou vhodné pro hluboké tažení. Vysoká tažnost se dosahuje velmi nízkým obsahem intersticiálních atomů, vhodnou velikostí feritického zrna a příznivou texturou vznikající při rekrytalizačním žíhání, obr. 8.1. [71].



Obr. 1 Struktura IF oceli [92]

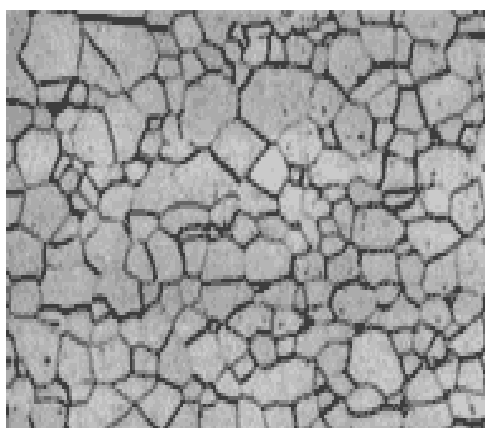
Tyto oceli mají vázané intersticiální prvky (uhlík, dusík) na karbido, nitrido, resp. karbonitridotvorné prvky Al, Ti, Nb, V. Eliminací intersticiálních prvků jejich vázáním na prvky mající k nim vysokou afinitu v průběhu zpracování tekuté oceli, vede k dosažení vynikající lisovatelnosti plechů na finálních výliscích. Volný uhlík v IF ocelích, resp. i v ocelích majících nevázaný uhlík (např. refosforizované oceli) je využitelný pro tzv. bake hardening (BH) efekt [71], [76], [82].

Z metalurgického hlediska IF oceli vyžadují vysokou čistotu a kontrolu morfologie vměstků. V důsledku absence interstitického zpevnění mají nízkou mez kluzu (pod 160 MPa) a jsou plně nestárnoucí.

8.4. Oceli Bake hardening (BH oceli)

Pro plechy na výrobu výlisků složitých tvarů lisováním za studena a následující povrchovou úpravou lakováním jsou z hlediska technologického požadované dobrá lisovatelnost a jednotnost vlastností i z hlediska užitkových vlastností výrobku (tuhost a bezpečnost konstrukcí), vysoká pevnost a dynamická únosnost. Tyto požadavky do značné míry splňují výlisky z BH ocelí [71].

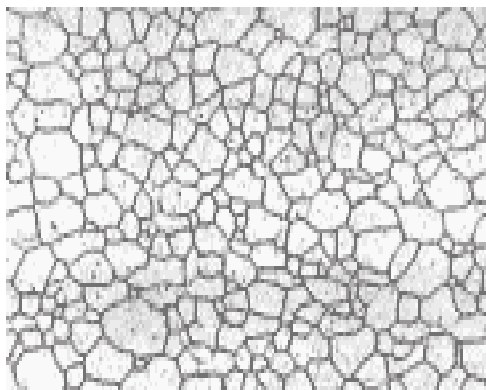
BH oceli mají před lisováním nízkou hodnotu meze kluzu a vysoké parametry plastičnosti. Po vylisování výlisku a nanesení laku dochází v průběhu vypalování laku k deformačně-termickému stárnutí, jehož důsledkem je zvýšení meze kluzu o 30 až 70 MPa a též zvýšení pevnosti. Tím plech získává zvýšenou odolnost vůči deformaci. Aby došlo k BH efektu, musí být splněné zejména fyzikálně-metalurgické podmínky, jako kontrola BH efektu prostřednictvím kontroly rozpuštěného uhlíku ve feritu vyžaduje, aby dusík byl úplně vyvázaný na AlN. Precipitace AlN je kontrolována obsahem Al a N, teplotou svinování, rekrystalizačního žíhání a doprovodnými prvky, obr. 2



Obr. 2 Struktura BH oceli [92]

8.5. Mikrolegované oceli (HSLA oceli)

Mikrolegované oceli (HSLA High Strength Low Alloy) s feriticko-perlitickou strukturou jsou jemnozrnné oceli s malou přísadou (max. 0,15%) jednoho prvku nebo kombinace prvků skupiny Al, Ti, Nb, V. Podstata účinků mikrolegujících prvků souvisí s jejich afinitou k uhlíku a dusíku s rozpustností karbidů, nitridů a karbonitridů v austenitu a feritu a mechanismy zpevňování, obr. 3, [71].



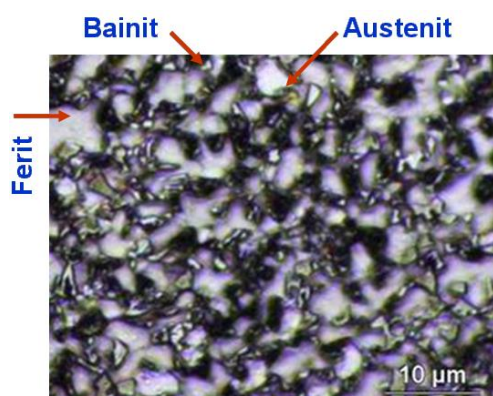
Obr. 3 Struktura mikrolegované oceli [92]

Ocelové plechy mikrolegovaných ocelí se vyznačují jemnou strukturou, zvýšenou svařitelností za studena. Pro mikrolegované oceli je výrazné zpevnění hranicemi zrn (zjemnění zrna) a disperzním zpevněním intermediárních sloučenin (karbidy, nitridy a karbonitridy) mikrolegur.

9. MATERIÁLY V SOUČASNÉ PRAXI VÝROBY AUTOMOBILŮ II.

9.1. Vícefázové oceli (CP, TRIP oceli)

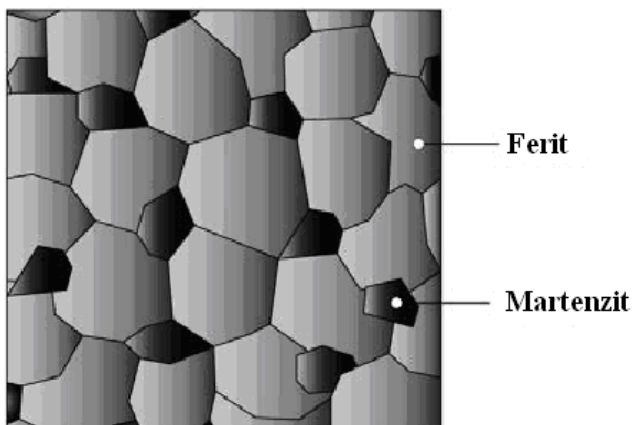
Oceli s efektem transformačně indukované plasticity (TRIP) jsou perspektivním materiálem v oblasti automobilového průmyslu. Vyznačují se dobrými pevnostními vlastnostmi a při tváření za studena vykazují výbornou tažnost. V průběhu jejich plastické deformace dochází k přeměně austenitu na deformačně indukovaný martenzit, který významně přispívá k celkovému zpevňování materiálu. Díky tomu se deformace postupně přerozděluje rovnoměrně po celé deformované zóně a tím nedochází v kritických místech k lokální kumulaci deformace. Podobným způsobem může vznik deformačně indukovaných martenzitických desek zpomalovat šíření trhlin, a tím zlepšovat únavové vlastnosti, obr. 1, [71].



Obr. 1 Struktura TRIP oceli [92]

9.2. Dvojfázové oceli (DP oceli)

Struktura v současnosti vyráběných dvojfázových ocelí používaných k výrobě plechů k tváření za studena je nejčastěji tvořena feritem a martenzitem. Obsah uhlíku se v těchto ocelích doporučuje do 0,13%. Dalšími prvky jsou Mn, Si, případně Mo, Cr nebo V, obr. 2.

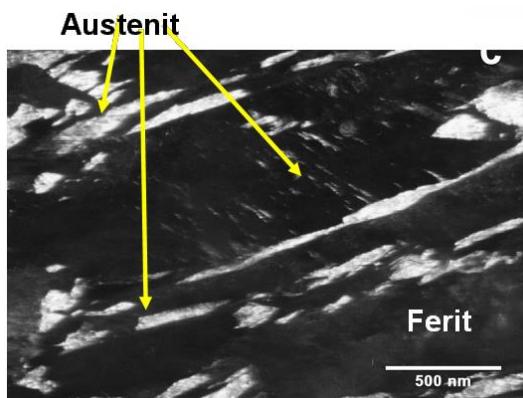


Obr. 2 Struktura DP oceli [92]

Dvojfázové feriticko-martenzitické oceli se vyrábějí metodou interkritického žíhání nebo metodou řízeného ochlazování. Metoda interkritického žíhání spočívá v ohřevu materiálu po válcování za tepla nebo za studena na teplotu v intervalu AC1 až AC3, s nutnou výdrží 5 až 15 minut na této teplotě a v následném řízeném ochlazování nadkritickou rychlostí, která zabezpečí požadované objemové podíly feritu a martenzitu, [71]. Druhý způsob výroby dvojfázových feriticko-martenzitických ocelí spočívá v úpravě technologických podmínek válcovacího procesu za tepla, resp. volbě chemického složení těchto ocelí tak, aby požadovaná dvojfázová feriticko-martenzitická struktura oceli vznikla přímo po válcování za tepla.

9.3. Maraging oceli

Název ocelí maraging vznikl spojením dvou za sebou následujících fázových přeměn, vyvolávající zpevnění (přeměny martenzitické – martensite a stárnutí – aging). Jedná se o nízkouhlíkové oceli s $C < 0,03\%$, $Mn < 0,1\%$, $Si < 0,1\%$, $S < 0,01\%$, $P < 0,01\%$. Zvláště nežádoucí jsou příměsi C, S, N, protože zvyšují hustotu bodů zakotvení dislokací tvořených karbidy a nitridy, které se vylučují hlavně na hranicích zrn. Důsledkem toho se snižují plastické vlastnosti. Podobně působí vměstky na bázi síry, obr. 3 [71].



Obr. 3 Struktura martenzitické oceli [92]

Tyto podmínky zabezpečují rozpouštění částic v austenitu a současně uvolnění případných napětí, vyvolaných předcházejícím zpracováním. Po kalení tvoří strukturu prakticky bezuhlíkový niklový martenzit, který je charakteristický velkou plasticitou, poměrně nízkou tvrdostí (30 až 35 HRC), pevností v tahu cca 1000 MPa a dobrou obrobiteľnosť. V průběhu stárnutí se v martenzitu vylučují disperzní částice intermetalických fází, obsahujících hlavně Mo a Ti. Jejich účinkem je tvrdost až do 62 HRC. Tyto oceli mají velmi mnoho cenných technologických vlastností, které je možné charakterizovat následovně: vysoká rozměrová stabilita během tepelného zpracování i dlouhodobého provozu; nízký exponent deformačního zpevnění a dobrá plasticita, což umožňuje použití všech druhů tváření za tepla i za studena s vysokými stupni deformace; dobrá obrobiteľnosť, zejména v kaleném stavu; vhodné na vytváření různými způsoby; dobrá svařitelnost.

9.4. Plechy válcované za tepla

Běžně se vyrábějí v tloušťce 2 až 15 mm, extrémně v rozsahu tloušťky 1,5 až 25 mm. Mez pevnosti se přitom může měnit v rozsahu 300 - 1400 MPa, tažnost v intervalu 5 - 50 %. Krom vysoké pevnosti při statickém a dynamickém namáhání se od nich vyžaduje dobrá lisovatelnost za studena a svařitelnost. Jsou vyráběné z konstrukčních a tažných ocelí.

Plechy z konstrukčních ocelí se používají pro výrobu nosných prvků s nižšími požadavky na tváritelnost za studena. Rozsah pevnostních a plastických vlastností je určený hodnotami: $R_{e\ min} = 200$ až 360 MPa, $R_m = 300$ až 650 MPa, $A_{5\ min} = 22$ až 26 %.

Plechy z tažných ocelí se používají pro výrobu konstrukčních prvků, kde se při výrobě vyžaduje velmi dobrá lisovatelnost za studena. Rozsah jejich mechanických vlastností je určený hodnotami: $R_{p0,2\ max} = 250$ až 360 MPa, $R_m = 250$ až 450 MPa, $A_{5\ min} = 29$ až 45 % (Table 1).

Table 1 Za tepla válcované vysocepevné oceli pro automobilové díly [71]

Mechanismus spevnenia		Hlavné prvky	Úroveň Rm [MPa]	Charakteristika	Praktické použitie
Tuhým roztokom (TR)		Si – Mn No Nb+V	490-590	Dobrá ohýbatelnosť	Konstruktčné komponenty rámových dielov Podvozkové časti
Precipitáciou (P)		Nb, Ti, V Nb + Ti Nb + Ti + Cr	490 – 780	Ťažný typ, Vysoké výťažky s obrubou	Konstruktčné komponenty Ráfy kolies Konzoly
Transformáciou (T)	F + M	Si – Mn Si (Cr,P,Mo)	540 – 980	Vysoké predĺženie, nízka medzera sklzu Nízky pomer $R_{p0,2}/R_m$	Podvozkové časti Disky kolies
	F + B	Si – Mn Si – Mn – Nb Cr, Ti + Cr	440 – 780	Vysoké predĺženie	Závesy Držiaky motora
	M + B	Si, Ti	590 – 1100	Vysoká pevnosť	Podvozkové časti Nárazová výstuž dverí
	RA	C, Si Si – Mn Al - Mn (Cr, P)	590 – 980	TRIP typ Vysoké predĺženie Dobrá rovnováha medzi pevnosťou a ťažnosťou	Crash zóny (nárazníky, podvozkové časti, stĺpiky, nárazové výstuže dverí)

9.5. Plechy válcované za studena

Vyrábějí se pro praktické aplikace v tloušťkách 0,50 - 2,00 mm, extrémně 0,30 - 3,00 mm. Pevnost v tahu plechů válcovaných za studena se mění v rozsahu 300 - 1000 MPa, mez kluzu 150 - 800 MPa a tažnost A80= 15 - 50 %, tab. 8.4, [84].

Vlastnosti ocelí pro automobilový průmysl je možné ovládat vhodnou volbou chemického složení, na kterou navazuje ovládání mechanismů zpevňování oceli, mezi které se řadí:

- zpevnění tuhého roztoku intersticiálními a substitučními prvky,
- dislokační zpevnění,
- zpevnění od hranic zrn,
- precipitační zpevnění,
- transformační zpevnění.

Analýza vlivu jednotlivých mechanismů zpevnění na tvářitelnost a vlastnosti především výsledné feritické matrice provedená na základě literárních podkladů poukazuje na tyto skutečnosti: nejsilnější efekt na vlastnosti ocelí vykazuje transformační zpevnění, výsledné vlastnosti oceli závisí na více mechanismech zpevnění současně, přičemž tyto jsou podmíněné volbou chemického složení oceli, [5], [6], [84].

V případě, že se požadují len vysoké pevnostní vlastnosti oceli s minimální plasticitou je jich možné dosáhnout např. kombinací zpevnění tuhého roztoku a transformačního zpevnění s martenzitickou strukturou. Mnohem častější jsou však požadavky kladené na současně vysoké pevnostní a plastické vlastnosti výsledného výrobku, kterých je možné dosáhnout jen kombinací různých mechanismů zpevnění.

Nejefektivnějším příspěvkem zpevnění je strukturální zpevnění dosažené řízenou fázovou transformací, která může být kombinovaná s dalšími příspěvky zpevnění (TR, P a zjemňování zrna). Možnosti ovládání strukturálního zpevnění pomocí řízených fázových transformací jsou realizovatelné:

- v procesech plastických deformací za tepla,
- pomocí řízeného válcování (RV) a řízeného ochlazování (RO),
- v procesech plastických deformací za studena,
- pomocí tepelného zpracování.

Uhlík způsobuje pokles plasticity oceli za studena a zhoršuje svařitelnost, proto je evidentní tendence zaměřením na minimalizaci jeho obsahu v ocelích určených pro automobilový průmysl. Do zavedení technologie vakuování oceli se obsah uhlíku pohyboval $C > 0,05 \%$. Zařazení vakuování do ocelářských technologií umožnilo výrobu ocelí s nízkým obsahem uhlíku, které jsou v závislosti na jeho obsahu klasifikované následujícím způsobem [82]:

- LC oceli (nízko uhlíkové) 0,03 - 0,2 % C
- ELC oceli (extra nízko uhlíkové) 0,01 - 0,03 % C
- ULC oceli (ultra nízko uhlíkové) 0,01 - 0,003 %C
- SULC oceli (super ultra nízko uhlíkové) < 0,003 %

Tab. 8.4 Za studena válcované vysokopevnostní oceli pro automobilové díly [71]

Mechanismus spevnenia		Hlavné prvky	Úroveň Rm [MPa]	Charakteristika	Praktické použitie
Tuhým roztokom (TR) (LC – low carbon)		P – Mn Si – Mn P	340 – 440	Ťažný typ Dobrá lisovateľnosť BH typ	Vonkajšie panely Vnútorné panely Konštrukčné prvky Konzoly, stĺpiky
Tuhým roztokom (TR) (ULC – ultra low carbon)		P – Mn P – Si Mn – P – Si Ti, Nb	340 – 590	Hlbokotažný typ BH typ	Hlboko ťahané časti Vonkajšie panely Vnútorné panely
Precipitáciou (P)		Mn Nb Si – Mn – Nb	390 – 590	Dobrá zvariteľnosť	Vnútorné panely
TR + P		Mn – Ti Si – Mn – P – Nb Cu – Ti	490 – 590	Dobrá ohýbateľnosť Typ s vysokou „r“ hodnotou	Výstuže Konzoly
Transformáciou (T)	M M + B	Mn – Si Mn – Si – P Mn Si – Mn – Nb	490 – 1470	Nízky pomer $R_{m,2}/R_m$ BH typ	Vnútorné panely Konštrukčné prvky Výstuže Nárazníky
	B	Mn – Cr	440 – 590	Vysoké vŕtačky s obrubou Vysoké predĺženie	Konštrukčné prvky Konzoly Výstuže
	RA	Si – Mn	590 – 980	TRIP typ Vysoké predĺženie	Konštrukčné prvky v crash zónach
P + T		Mn – Si – Ti Mn – Si – Ti – Mo	780 – 1470	Ultra-vysoko pevné	Nárazníkové výstuže Nárazová výstuž dverí

9.6. Pozinkované plechy v automobilovom priemyslu

Rozdělení technologie zinkování plechů.

Pozinkované oceli dnes rozhodně není možné zařadit mezi nové materiály. Rozvoj jejich použití v různých oblastech strojařské výroby je v současnosti řadí mezi velmi progresivní komodity. Spotřeba pozinkovaných plechů v období 1975 – 2000 byla zdvojnásobená, zatímco prodej neupravených plechů v tom samém období klesl řádově

o polovinu. K odvětvím, která zpracovávají největší množství pozinkovaného materiálu patří především automobilový průmysl [71].

Při povrchové úpravě ocelových plechů kovovými povlaky má zinek dominantní postavení s ohledem na svoji relativně nízkou cenu a vynikající korozní vlastnosti. Životnost povlaku je úměrná jeho tloušťce a prostředí, v kterém je pozinkovaný plech aplikovaný, [7], [9], [29].

Požadavky kladené na pozinkované materiály: nízká hmotnost, antikorozií odolnost, technologická tvářitelnost, lehká svařitelnost, vhodnost povrchu pro povrchové úpravy, nadprůměrné pevnostní a plastické vlastnosti.

9.6.1. Plechy žárově pozinkované

Žárové zinkování je nejpoužívanější způsob protikorozií ochrany ocelových výrobků. Většinu (více než 50%) produkce využívá automobilový průmysl a stavebnictví. Ke zlepšení korozních vlastností se do povlaku někdy přidává také Al a Si. Pozinkování, zvláště žárové, patří k ekonomicky nejefektivnějším procesům povrchových úprav ocelových úprav ocelových pásů. Vyrábějí se jednostranně a oboustranně pozinkované plechy se stejnou nebo diferencovanou tloušťkou povlaku pro vnitřní, ale i vnější díly karosérie.

Jednou z důležitých požadavků, které musí splňovat žárově pozinkovaný plech z hlediska jeho zpracování v automobilovém průmyslu, je potlačení tvorby zinkového kvetu, který je doprovodným jevem při žárovém pozinkování. Způsoby zabezpečení tohoto požadavku jsou:

- zvýšení rychlosti ochlazování tekutého zinkového povlaku,
- zvětšení počtu krystalizačních center při tuhnutí povlaku,
- snížení obsahu olova v zinkové koupeli pod 0,08%
- použití elektrolytického zinku do koupele,
- lehké převálcování pozinkovaného pásu (0,8 až 1,5 % odstranění).

9.6.2. Plechy elektrolyticky pozinkované

Elektrolyticky způsob pozinkování se používá od roku 1917. Výroba elektrolyticky pozinkovaných ocelových plechů je ve světě podstatně méně rozšířená než výroba plechů žárově pozinkovaných. Jej podíl na světové výrobě pozinkovaných plechů se odhaduje na 10 až 15 % [71], [76], [82].

Elektrolyticky pozinkované plechy mají v porovnání so žárově pozinkovanými plechy několik **výhod**:

- možnost přípravy velmi tenkých zinkových povlaků (už od 0,4 μm),
- poměrně tenký zinkový povlak zajišťuje dostatečnou korozní ochranu základního materiálu pod aplikovaným organickým povlakem,
- galvanický proces neovlivňuje původní mechanické vlastnosti základního materiálu, hlavně jeho hlubokotažnost,
- vyloučený zinkový povlak doplněný konverzní vrstvou zabezpečuje dobrou přilnavost organického povlaku,
- relativně jednoduše je možné vyrábět diferencované a jednostranně pozinkované plechy.

Obvyklá tloušťka elektrolytického povlaku požadovaná automobilovým průmyslem je do 7,5 μm . Plechy elektrolyticky pozinkované využívají alkalický, nebo kyselý elektrolyt a samotné zinkování se proto vykonává ve dvou typech koupelí:

9.6.3. V alkalických koupelích

Zinek je vázaný ve formě alkalického zinečnanu a ve formě komplexního zinečnato alkalického kyanidu. Koupel má velmi dobrou hloubkovou účinnost, jemnozrnnou a kvalitní strukturu povlaku a je lehko obnovitelný. Pro tyto vlastnosti, i přes jedovatost, se použití kyanidových koupelí velmi rozšířilo. Podle použitého složení koupele, leskutvorných přísad a pracovních podmínek se vylučuje vícero druhů povlaků, především matné, pololesklé a lesklé povlaky. Základní složení alkalických zinkovacích koupelí je kyanid zinečnatý, kyanid sodný, hydroxid sodný, siřník sodný a leskutvorné přísady podle potřeby. Katodová proudová hustota koupele je 1 – 6 A.dm², proudový výtažek 70 – 90 %, teplota koupele 20 – 35°C.

9.6.4. V kyselých koupelích

Z těchto jsou nejvýznamnější síranové a fluoroboritanové. Kyselé koupele mají velmi malou hloubkovou činnost a špatnou krycí schopnost. Složení koupele je stálejší než u kyanidových koupelí, je možné využít vysoké proudové hustoty, při kterých pracují koupele s velkým katodovým rudovým výtažkem. Používají se pro zinkování drátů, plechů, pásů a předmětů jednoduchých tvarů.

Základní složkou koupele je síran zinečnatý, síran hlinitý, chlorid amonný a kyselina boritá. Katodová proudová hustota je 1 – 6 A .dm², katodový proudový výtažek 95 – 100 %, teplota koupele 20 – 30°C. Rychlost tvorby povlaků v kyselých zinkovacích koupelích je asi 8x vyšší než u koupelí alkalických.

Stálým rozvojem bezkyanidových, kyselinových koupelí pro zinkování byly dosaženy výsledky, které dovolují v mnohých případech nahradit technologii niklování a chromování. Jsou to hlavně :

- nejedovatost koupele,
- vysoce lesklý povrch,
- velmi odolné a ekonomický výhodné.

10. NEREZOVÉ MATERIÁLY

Oceli, podle způsobu zpracování, tvářené ve formě polotovarů, podle použití konstrukční, podle chemického složení ze strany dodavatele ušlechtilé oceli, kde výrobce zaručuje jejich chemické složení, t.j. minimální i maximální obsah prvků, a podle chemického složení slitinové, které obsahují jeden nebo víc legujících prvků, představují nerezavějící oceli třídy 17, [4], [70], [71].

Rozdělení a označování ocelí se v Evropě sjednocuje na základě evropských norem (EN) a postupně se stávají normami celoevropskými. Rozdělení ocelí je dané evropskou normou EN 100020, v které se definuje:

- pojem oceli k tváření,
- rozdělení druhů ocelí podle chemického složení,
- rozdělení do hlavních skupin jakosti na základě vlastností a účelu použití.

Jako oceli k tváření jsou označované materiály, u kterých hmotnostní podíl železa je větší než kteréhokoli jiného prvku, obsahují méně než 2 % C a obsahují i další prvky.

10.1. Rozdělení ocelí podle chemického složení:

- **Nelegované oceli** - jsou takové, jejichž obsah jednotlivých prvků nedosahuje těchto mezních hodnoty:

○ Mn = 1.65	Si = 0.60	Cu = 0.40	Ni = 0.30
W = 0.30	Co = 0.30	Al = 0.30	V = 0.10
○ Mo = 0.08	Ti = 0.05	Bi = 0.10	Nb = 0.06
Zr = 0.05	Pb = 0.40	B = 0.008	

Hmotnostní podíl prvků je uvedený v %.

- **Legované oceli** – jsou ty, jejichž obsah jednotlivých prvků minimálně v jednom případě dosahuje nebo překračuje vyšší uvedené mezní hodnoty obsahu legujících prvků.

Rozdělení ocelí podle jakosti na základě vlastností a účelu použití, představuje:

- Jakostní skupinu legovaných ušlechtilých ocelí – vlastnosti jsou dosahované předepsaným chemickým složením a zvláštními podmínkami zpracování. Zahrnují legované konstrukční oceli, legované oceli pro tlakové nádoby a zařízení, oceli pro valivá ložiska, nástrojové oceli, rychlořezné oceli, oceli se zvláštními fyzikálními vlastnostmi – feritické Ni oceli.

Podle obsahu legujících prvků se dělí na následující podskupiny:

- korozivzdorné oceli s obsahem Cr min $\geq 10,5$ % a max. obsahem uhlíku 1,2 %,
- rychlořezné oceli s obsahem C $\geq 0,60$ % a Cr = 3,0 – 6,0 %, krom dalších prvků obsahují min. dva z trojice Mo, W, V s celkovým obsahem nad 7 %.

10.1.1. Nerezavějící oceli

Antikorozní oceli jsou chromové slitiny se železem, obsahující 12 - 30 % chromu, až 30 % niklu nebo do 2,4 % manganu při určitém množství molybdenu, křemíku, mědi, titanu, niobu, dusíku a podobně (v množství max. několik procent). Chrom zajišťuje pasivitu těchto slitin a je proto rozhodujícím prvkem pro dosažení odolnosti vůči korozi. Nerezové oceli jsou v některých prostředích náchylné k lokálním druhům koroze (bodová, štěrbinová, mezikrystalická, korozní praskání). Ty však mohou být vyloučené vhodným výběrem oceli v daných podmínkách. I když chrom, nikl, mangan a další slitinové prvky jsou v antikorozních ocelích v poměrně velkém množství, základním prvkem je stále železo a jeho slitina s uhlíkem, tzn. ocel. Nerezové oceli rozdělujeme podle jejich chemického složení a struktury do těchto základních skupin [71]:

- austenitické
- martenzitické (kalitelné)
- feritické
- austeniticko-feritické (duplexní)

10.1.2. Austenitické oceli

Mají ze všech základních tříd nejvyšší odolnost vůči korozi, kterou je možné ještě zvyšovat přidáním molybdenu a mědi. Významnou vlastností je tažnost a houževnatost. Za účelem získání různých vlastností se základní složení upravuje přidáním dalších prvků za účelem:

- celkové odolnosti vůči korozi (chrom, molybden, měď, křemík, nikl)
- kvality mechanických vlastností (dusík)

- obrobiteľnosti (síra, selen, fosfor, olovo, meď)
- odolnosti proti praskavosti svarů (mangan)
- odolnosti proti bodové a šterbinové korozi (molybden, kremík dusík)
- odolnosti proti koroznímu praskání (omezení obsahu fosforu, arzénu, antimonu)
- pevnosti při tečení (molybden, titán, niob, bor)
- žáruvzdornosti (chrom, hliník, kremík, nikl)

10.1.3. Martenzitické oceli

Odolnost vůči korozi je nízká. Mohou nalézt uplatnění ve spojení s kyselinou dusičnou, boritou, octovou, benzoovou, olejovou, pikrovou, s uhličitany, s dusičnany a s louhy. Se stoupající teplotou však jejich odolnost klesá. Odolnost vůči atmosférické korozi je dostatečná jen ve velmi čistém ovzduší.

10.1.4. Feritické oceli

Jsou magnetické a dostatečně tažné. Vyšší obsah chromu zvyšuje jejich odolnost vůči korozi, která je v oxidačních prostředích vyšší než u martenzitických ocelí. Použití - v chemickém průmyslu, v prostředí kyseliny dusičné, v dopravě, vzduchotechnice, architektuře. V některých průmyslových atmosférách však nevyhovují. Nevhodné jsou ve svařovaných konstrukcích.

10.1.5. Austeniticko – feritické (Duplexní) oceli

Jsou odvozené od klasických austenitických ocelí, díky vysokému obsahu chromu a molybdenu mají výbornou odolnost vůči puklinám a korozi. Mikrostruktura duplexu poskytuje vysokou odolnost v lomu vůči korozi pod tlakem, vůči námahové korozi a erozi. Svařitelnost duplexních ocelí je dobrá. [71].

10.2. Všeobecné charakteristiky nerezových materiálů

Odpovídající jakosti v ČSN

- Feritické oceli 17020, 17021, 17022, 17023, 17024, 17040
- Austenitické oceli 17240, 17249, 17352, 17350, 17349, 17248, 17348
- Austeniticko-feritické 17381

10.2.1. Nerezové plechy válcované za studena

- Vyrábějí se podle DIN 17441/EN 10088-2, tolerancí DIN 59382.
Povrchové provedení:
 - 2R (IIId) válcovaný za studena, leskle žíhaný, zrcadlový lesk.
 - 2B (IIlc) válcovaný za studena, mořený, žíhaný, jemně doválcovaný za studena, matně lesklý.
 - 2G válcovaný za studena, broušený (různé druhy brusů P80 až P400) nebo broušený a kartáčovaný.
 - 2J válcovaný za studena, kartáčovaný (Scotch-brite)

10.2.2. Nerezové plechy válcované za tepla

Vyrábějí se podle DIN 17440/EN 10088-2, AD-W2. Tolerancí DIN 59382, EN 10029.

10.2.3. Dekorativní plechy

Jakosti: 1.4016, 1.4301, 1.4404 (AISI 430, 304, 316L)

Povrchová úprava: 2B (žíhané, mořené), 2R (lesklé žíhané);
další povrchy na vyžádání

Rozměry: tloušťka 0,5-2,0 mm

Formáty: 1000×2000 mm; 1250×2500 mm; 1250×3000 mm; 1500×3000 mm
další formáty na vyžádání

10.2.4. Tvarově válcované plechy

Jakosti:	1.4016 ; 1.4301 ; 1.4404 (AISI 430 ; 304 ; 316L)
Povrchová úprava:	2B (žíhané, mořené); 2R (lesklé žíhané); R13 ; Kartáčované, kolorované; další povrchy na vyžádání
Rozměry:	tloušťka 0,5-2,0 mm
Formáty:	1000×2000 mm; 1250×2500 mm; 1250×3000 mm; 1500×3000 mm; další formáty na vyžádání

10.2.5. Plechy se speciální povrchovou úpravou

Kolorované, broušené, tepané a leptané dekorativní plechy (různé vzory).

10.2.6. Podlahové (slzičkové) plechy

Bližší informace o jakostech, formátech a povrchových úpravách možno vyžádat u výrobce.

11. ŠVÉDSKÉ OCELI

Ocel může mít mnoho různých vlastností. Ocel může být tvrdá nebo měkká, houževnatá nebo křehká, silná nebo tenká, nebo super-pevná, aby odolala značnému opotřebení. Může mít též kombinaci těchto vlastností, přičemž vlastnosti oceli jsou dané výrobním postupem v ocelárnách, válcováním a následným zpracováním [81].

Švédský výrobce se specializuje na výrobu vysokopevnostní oceli. Při výrobě ocelí se zaměřuje na výrobu aut, pro potřeby domácnosti, produkty pro volný čas, vnitřní vybavení, velké budovy, mosty, veřejné dopravní prostředky, stroje, průmyslové závody či zdravotnická zařízení, přičemž při výrobě různých ocelí je možné vybrat si mezi 500 různými druhy.

Podíl progresivních švédských ocelí neustále roste spolu s rostoucím počtem zákazníků, kteří objevují výhody a zjišťují, jak mohou tyto nové druhy ocelí použít ve svých náročných aplikacích. K dosažení optimálního výsledku je důležité kombinovat technologie s inovacemi.

Výroba oceli se zabezpečuje pomocí dvou různých postupů:

- Výroba oceli z rudy - surové železo z rudy se vyrábí ve Švédsku z pelet železné rudy ve vysokých pecích v Lulea a Oxelösund. Přidává se též menší množství šrotu, když se surové železo rafinuje na surovou ocel v LD. Ve Švédsku se vyrábějí ocelové plechy a hrubá ocel.
- Výroba oceli ze šrotu – se vyrábí v USA, kde ocelárny recyklují šrot v elektrických obloukových pecích a surovou ocel vyrábějí výlučně ze šrotu. V USA se vyrábějí hrubé plechy

V obou případech se konečné složení oceli realizuje v souladu s postupy SSEB při zkujňování, dříve než se roztavená ocel odlévá a ochlazuje na brámy v kontinuální odlévací lince. Vysoce pevné oceli získávají svoji pevnost přesným přidáním legujících prvků, a svými výrobními metodami, například kalením v extrémně rychlých kalících procesech. Vysoká přesnost je jejich rozhodující podmínkou.

II.1. Sortiment švédských ocelí

Výrobce švédských ocelí, společnost SSEB, se zaměřuje na řešení náročných problémů. Experti výrobců mají jedinečné znalosti a zkušenosti ve všech oblastech výroby oceli od různých vlastností oceli, jako je pevnost, aspekty výrobního inženýrství, tváření a spoje až po únavu, opotřebení a povrchové úpravy.

Dobrým příkladem je evropský automobilový průmysl, který zvýšil svůj nákup moderních vysoce pevných ocelí v průběhu posledních deseti let. Důsledkem toho je, že vozidla dosáhla dobrých výsledků v crash testech, mají nižší spotřebu paliva a přispívají ke snížení emisí oxidu uhličitého. Výrobce švédských ocelí má vedoucí postavení na trhu nejprogresivnějších kalených a zušlechťených ocelí. Docol produkty válcované za studena se často používají pro osobní automobily. Zákazníci se často rozhodují pro kombinaci HARDOX, WELDOX, DOMEX a Docol oceli v těžkých vozidlech, nákladních automobilech, přívěsech, nadstavbách nákladních aut, kontejnerech a jeřábech s cílem optimalizovat svoje výrobky. To má za následek výrazné zvýšení nosnosti, zvýšení životnosti a snížení nákladů na údržbu. Existují i jiné oblasti využití. TOOLOX je speciální ocel používaná na výrobu lisovacích nástrojů [81].

Odborníci technické podpory zákazníkům jsou zapojení do nových produktů a projektů od počátku. Výrobce často vyvíjí nové druhy oceli, které jsou určeny pro konkrétní použití. Vývoj nových produktů takovýmto způsobem má jasné výhody.

II.2. Současný sortiment švédských ocelí je následující:



DOMEX ® jsou za tepla válcované plechy používané v aplikacích jako je výroba lodí, mostů, budov, strojní zařízení, vozidla, zdvižná zařízení a nádrže.



HARDOX ® je kalená a popouštěná otěruvzdorná ocel používaná na nadstavby sklápěčů, kontejnerů, drtičů, mlýnů, lžic rypadel.



DOCOL ® je ocelový plech válcovaný za studena, je k dispozici od měkké oceli přes lisování a ohýbání až po ultra-vysoce pevnou ocel.



DOGAL jsou druhy DP ocelí (dvoufázové oceli) dobré tváritelnosti a pevnosti materiálu. Dogal 600 D a 800 DP jsou extra a ultra vysoce pevné oceli žárově pozinkované.



WELDOX ® je vysoce pevná konstrukční ocel používaná na výrobky, které jsou lehčí, ale mají stejnou nebo vyšší pevnost v porovnání s výrobky z běžné oceli. Používá se např. pro výrobu jeřábů, přívěsů a vozidel.



PRELAQ ® je potahovaný ocelový plech pro stavební průmysl, a používá se na střešní krytinu, fasády, střechy, okapové roury a kování.



ARMOX ® je druh oceli, která se používá zejména jako ochrana při přepravě cenností, jako jsou bankovní přepážky, odminovací vozidla, osobní ochrana atd.



TOOLOX ® jsou moderní nástrojové oceli pro lisovací nástroje a části strojů.

QSTE – vysoce pevné ocelové plechy válcované za tepla na tváření za studena
Oceli s označením QSTE tvoří třídu jemnozrnných mikrolegovaných termomechanicky válcovaných (TM) ocelí, které jsou svojí zvýšenou pevností vhodné na ohýbání za studena.

II.3. Životní prostředí a recyklace

Přírodní zdroje jsou omezené. Takže je důležité šetřit suroviny a používat je co nejefektivněji. Především je důležité recyklovat materiály, jako je železo, které už bylo vytěžené ze zásob přírodních zdrojů.

Během své životnosti, okolo 90% všeho odpadního železa a oceli se opět používá nebo recykluje. Ocelový šrot jako stará auta, průmyslové stroje a zařízení pro železniční dopravu se roztaví, rafinují a vyrobí se nová ocel pro nové výrobky. Ocel je součástí cyklu, v kterém je možné prakticky všechno obnovit. Přibližně jedna třetina světové produkce oceli je založená na recyklaci šrotu. Protože poptávka po oceli se stále zvyšuje a převyšuje nabídku dostupného šrotu, musí se vyrábět také nová ocel ze železné rudy. Vysoké pece výrobců švédských ocelí patří ve světě mezi energeticky nejúčinnější.

Taktéž pomocí parních turbín se procesní plyny používají jako zdrojová surovina na výrobu elektrické energie v závodech na kombinovanou výrobu tepla a elektřiny. Toto uspokojuje polovinu potřeby elektrické energie výrobců SSEB ve třech výrobních závodech. V další fázi se pára z parních turbín používá pro ohřev vody v systému dálkového vytápění pro 35.000 domácností zásobovaných vodou z kombinované výroby tepla a elektřiny. Zhruba dalších 40.000 domácností využívá systém dálkového vytápění z procesních plynů, kde teplo se získává z plynů z vysokých pecí.

Z holistického pohledu na průmysl a energetiku, se mohou celkové emise oxidu uhličitého snížit. Krom toho se mohou v ocelářském průmyslu obnovovat další energie. Pokud se používá uhlí, mělo by se používat hlavně k výrobě oceli.

Závody ve Švédsku a v USA používají zemní plyn na předehřívání v procesech recyklace šrotu před tím, aby se šrot taval v elektrických obloukových pecích. Zemní plyn se také používá na ohřev brám ve válcovnách.

Závody výrobců mají nižší emise do ovzduší a vod, a to především v důsledku využívání vedlejších produktů, protože efektivně separují energetické plyny, prach, strusku, mokré kaly, chladicí kapaliny, zpracovávají vodu, okoviny, síru, dehet, benzen, atd. Oddělené látky se shromažďují a třídí. Velká část těchto látek se recykluje. Vedlejší produkty ocelářského průmyslu jsou aktiva, která mohou být zpracována a použita novými uživateli jako suroviny.

Samostatná společnost Merox, která je společenstvím výrobců ocelí, specializuje se na využití vedlejších produktů. Zpracovává produkty a suroviny pro širokou škálu aplikací, jako jsou stavební materiály, materiály pro stavbu cest, koňských jezdeckých drah, surovin pro výrobu cementu, hnojiv, ferit na magnety a pigmenty do nátěrových hmot. Využívání vedlejších produktů jako nových surovin představuje významnou ochranu přírodních zdrojů.

Saze z vysokých pecí, prach a kal z čistíren odpadních vod z výrobních závodů se mohou smíchat s jemnými zlomky šrotu a úlomků z pelet, a slouží jako nová surovina pro vysoké pece, například v podobě briket.

Struska z vysokých pecí je vynikajícím stavebním materiálem pro stavbu cest, a je důležitou surovinou pro cementářský průmysl. Vysoký obsah vápence (30%) je velkým přínosem. Když se struska používá na stavbu cest, vápenec ji váže do souvislé vysokozátěžové jednotky, čímž může být zavodněná. Současně vápno spojuje další látky ve strusce, a také působí proti překyselení díky zvyšování pH. Struska z vysokých pecí je dobrým příkladem toho, že uzavřený cyklus v ocelárnách má víc aplikací.

Kontinuální odběr vzorků ze vzduchu, vody a ryb a jejich studium zabezpečují minimální dopad na životní prostředí. Orgány životního prostředí vykonávají rozsáhle programy kontroly a monitorování všech emisí, čím zabezpečují, že jsou v rámci přípustných hodnot.

Výrobce švédských ocelí má vlastní politiku pracovního prostředí, v kterém je bezpečnost prioritou, protože má zásadní význam pro uspokojení z práce, rozvoj zaměstnanců a ziskovost společnosti. Prvořadým cílem je, aby nikdo neutrpěl úraz, zranění nebo nemoc z povolání, a to jak zaměstnanec, tak dodavatel nebo návštěvník. Garantuje to systematický, širokospektrální přístup k pracovnímu prostředí a bezpečnosti při práci.

12. KOMPOZITNÍ MATERIÁLY I.

Kvalitativní změnu v řešení rozporu mezi požadovanými vlastnostmi a možnostmi homogenních materiálů představují kompozity, jejichž složky plní jednotlivé, v jednom materiálu neslučitelné požadavky. Mezi kompozitní materiály je možné zařadit širokou, různorodou skupinu materiálů [59], [60], [61], [62].

Podle vlastností je možné rozdělit kompozity na:

- kompozity s vysokými mechanickými vlastnostmi;
- kompozity se speciálními fyzikálně-chemickými vlastnostmi.

Kompozity jsou materiály, které vznikly fyzikální kombinací existujících jednoduchých materiálů. Základní hmota, matrice, má funkci pojiva. Druhá složka, vlákna, vrstvy nebo disperzní částice, má zpevňující účinek. Na vlastnosti kompozitu složeného z fází A (zpevňující části) a B (matrice) a mají vliv zejména tyto parametry:

- objemový podíl složek A a B (V_a , V_b),
- geometrie systému, která může být charakterizována:
 - jednorozměrnou kontinuální fází (vlákno, tyčinka),
 - dvojrozměrnou kontinuální fází (deska, lamela),
 - trojrozměrnou kontinuální fází (prostorová síť),
- stupeň kontinuity (od úplné kontinuity po disperzní částice),
- uspořádání fází (extrémem jsou uspořádání paralelní a sériové).

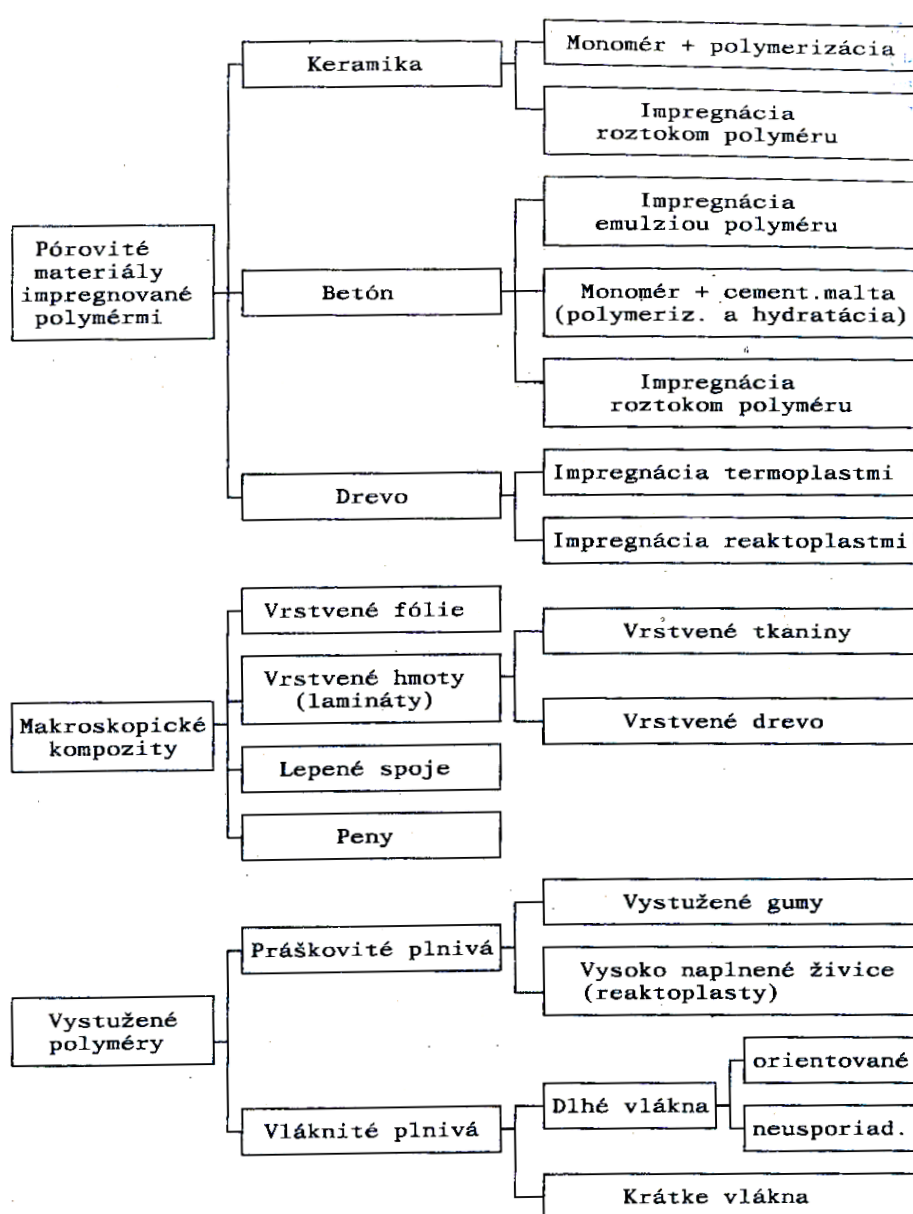
Mechanické vlastnosti kompozitu nejvíc ovlivňuje uspořádání fází. Vlastnosti kompozitu můžeme považovat za přibližně aditivní a dají se tedy odvodit od vlastností výchozích složek. [61]

12.1. Kompozity na bázi polymerů

Skoro všechny biologické systémy jsou složené z polymerů, které splňují buď funkce mechanické (dřevo, kosti, kůže), nebo ovlivňují v přírodě chemické reakce (listí, buňky). Po tisíce let využíval člověk přírodní polymery, ale až v minulém století byly vyvinuté polymery syntetické. Jednoduché syntetické polymery mají menší pevnost než kovové materiály, ale i než dřevo či kosti. Je to proto, že dřevo i kosti jsou v podstatě kompozity; jejich polymerová matrice je zpevněná vlákny nebo částicemi. Proto se pozdější vývoj i v oblasti plastů soustředil na kompozity. V současnosti existuje velký počet kompozitů na

bázi polymerů, jež se každoročně zvyšuje. Můžeme je rozdělit v souladu s Tab. 1, [59], [60], [61], [62].

Tab. 11.1 Kompozity na bázi polymerů [61]



Makroskopické kompozity jsou kompozity, v nichž makromolekulární látka vytváří makroskopicky spojitou fázi. Nejvýznamnějšími makroskopickými kompozity jsou vrstvené materiály (lamináty), které vznikají spojením více vrstev polymeru a výztuže. Výztuž není volně uložená v matrici, ale jednotlivá vlákna jsou navzájem spojena formou tkanin s různými vazbami, nebo formou rohoží, případně rovingů (svazků vláken). Jednotlivé vrstvy se nasycují kapalnými nebo práškovými živicemi, které se v dalším

stádiu vytvrzují. Mezi nejpoužívanější vrstvené plasty podle druhu výztuže možno zařadit skleněné lamináty. Lamináty se používají na stavbu částí karosérií některých automobilů (karosérií starších malých vozů Trabant je z polyfenolové živice vyztužené rohožemi z krátkých bavlněných vláken). Skelné lamináty se uplatňují i při výrobě sportovních a turistických letadel (trupy a křídla).

Impregnované pórovité materiály jsou kompozity na bázi keramiky, betonu a dřeva. Tyto materiály se plní polymery.

Vrstvené bezpečnostní sklo, zabraňuje rozptýlení střepin při rozbití, vyrábí se lepením dvou nebo více tabulí skla plastem. [61].

Lehčení materiály, tedy pěny, jsou polymery obsahující dutinky různých tvarů a velikostí. Vyrábějí se z plastů i kaučuků. Technicky nejvýznamnější lehčené materiály jsou PS (polystyrén), PVC (polyvinylchlorid) a pěnité reaktoplasty. Používají se např. ve vnitřním vybavení dopravních prostředků (sedadla) a na různé obaly [59], [60], [62].

Speciálním případem vrstvených plastů jsou **sendviče**. Jde o laminátové nebo hliníkové potahy s jádrem z lehčených plastů, určené např. k výrobě karosérií chladírenských vozů a obytných přívěsů.

Vyztužené polymery jsou materiály vytvořené spojením vyztužovacího materiálu (plniva) a makromolekulární látky, většinou s cílem zlepšit mechanické vlastnosti. Polymerní složka tvoří základní spojitou matici kompozitu. Plnivem je neprchavá přísada organického i anorganického původu. Základem vyztužených polymerů jsou zejména reaktoplasty. Plnivem se však modifikují i termoplasty, např. PTFE (polytetrafluoretén – teflon) plněný grafitem a práškovým bronzem se používá na pohybové, nemazané těsnění a kluzná ložiska. [62].

12.2. Kompozity s kovovou maticí

Kompozity s kovovou maticí můžeme rozdělit na:

- **disperzní zpevněné materiály** - kovová matrice + nekoherentní (nesouvislé) disperzní částice,
- **vláknové kompozity** - kovová matrice + tenké drátky nebo monokrystalická vlákna.

Disperzně zpevněné materiály jsou to kompozity s maticí zpevněnou disperzně diskontinuální fází. Vyrábějí se převážně technologiemi práškové metalurgie. Mají polykrystalickou matici, do které jsou vloženy disperzní částice, nejčastěji typu oxidů, karbidů a nitridů. Podstata zpevňujícího účinku disperzoidů je jednak přímá, spočívající v

brždění pohybu dislokací matrice, jakož i nepřímá tím, že při tváření soustavy disperzoidy zvyšují hustotu dislokací a zjemňují zrnovou a subzrnovou strukturu. Z teoretických úvah a experimentů vyplynulo, že maximální efekt zpevnění se dosáhne při následujících strukturních parametrech:

- rozměr zpevňujících částic sekundárních fází (disperzoidů) nemá přesahovat 50 nm,
- střední vzdálenost mezi zpevňujícími částicemi má být v rozmezí 0,1 - 0,5 μm a jejich rozložení má být rovnoměrné.

Z uvedených parametrů vyplývají reálné objemové podíly disperzoidů.

Hliník SAP (Sintered Aluminium Powder), t.j. hliník zpevněný částicemi Al_2O_3 je nejstarším disperzně zpevněným materiálem. Při jeho přípravě se využívá povrchová oxidace hliníkového prášku během mlecího procesu. Tvrdé oxidy, vznikající na povrchu hliníkových částic praskají, odlupují se a kovově čistá zrna se svažují. Konečným výsledkem opakování těchto procesů je vznik hliníkových zrn, uvnitř zpevněných oxidickými částicemi. Takto upravený hliníkový prášek se lisuje, spéká a protlačuje

za tepla. Předností SAP jsou velmi dobré mechanické vlastnosti za tepla, nízká hustota, dobrá odolnost vůči korozi a dobrá tepelná vodivost [59], [60], [61], [62].

Dispal je nový materiál s podobnými vlastnostmi jako SAP. V tomto případě jde o hliník zpevněný částicemi Al_4C_3 , připravovaný mechanickým legováním směsi hliníkového a grafitového prášku. Tento prášek se potom zhutňuje za tepla. Podobně jako SAP je i Dispal používán jako konstrukční materiál zejména v automobilové a letecké dopravě. Vyznačuje se vysokou odolností vůči rekrystalizaci a vysokou žárupevností v rozmezí 300 - 500 $^{\circ}\text{C}$.

TD Nickel (98 % Ni, 2 % ThO_2) je po SEP dalším, dnes už tradičním disperzně zpevněným materiálem. Nikl zpevněný oxidem thoričitým má vysokou pevnost za tepla a je vhodný pro použití při teplotách 1100 $^{\circ}\text{C}$, příp. vyšších.

Disperzně zpevněné žárupevné slitiny jsou v poslední době častěji zpevňované Y_2O_3 , ačkoli je ThO_2 radioaktivní. Jde zejména o slitiny typu NiCrAl- Y_2O_3 , připravované mechanickým legováním. Používají se při stavbě plynových turbín leteckých motorů. Vyznačují se vysokou žárupevností do teploty 1200 $^{\circ}\text{C}$ a krátkodobě až do 1350 $^{\circ}\text{C}$.

Disperzně zpevněné korozivzdorné a žáruvzdorné oceli, austenitické a feritické oceli (zpevněné oxidy Al, Ti, příp. Th) mají zvýšenou odolnost vůči křehnutí při radiaci a používají se proto při stavbě reaktorů. Pro svou vysokou pevnost (i za tepla, krátkodobě použitelné až do 1200 $^{\circ}\text{C}$) při přijatelné houževnatosti a korozní odolnosti se používají i v leteckém průmyslu a raketové technologii. Mezi jejich nevýhody patří vysoká cena, náchylnost k tepelnému křehnutí, problematičnost dodržování vysoké pevnosti ve

svarech, častá anizotropie vlastností a náchylnost ke koroznímu praskání pod napětím. [61].

12.3. Vláknové kompozity

Vláknové kompozity s kovovou maticí je možné podle výztuže rozdělit do tří skupin, a to na drátky (dlouhé dráty s průměrem 2 až 250 μm), vlákna (krátké tenké dráty) a whiskery (krátké monokrystaly o průměru řádově 1 μm).

Vlákna (případně drátky) mají pevnost v tahu 2000 až 4000 MPa. Materiály vyztužené vlákny jsou většinou usměrněné, proto má kompozitní materiál výraznou anizotropii vlastností. Vyrábějí se práškovou metalurgií, zaléváním vláken základním materiálem, nebo válcováním kovových fólií matrice, které jsou prokládané vlákny. Při uvažování plastické deformace při vyšších teplotách se optimální poměr l/d zvětšuje asi na 50.

Kompozity s hliníkovou maticí patří k nejrozšířenějším materiálům vyztužených vlákny. Nejběžnějším zpevňujícím materiálem jsou *uhlíková vlákna*, která se buď zalisují mezi hliníkové fólie, nebo se pokrývají vrstvou Ti a B a potom hliníkem. Důležité místo se zaujímají i *vlákna B a B + SiC* (vlákna bóru pokrytá vrstvou SiC).

Kompozity s titanovou maticí se také uplatňují zejména v leteckém průmyslu (lopatky ventilátorů leteckých motorů). Ke zpevnění titanu jsou obzvláště vhodná borsicová a beryliová vlákna. U kompozitů s maticí titanové slitiny typu VT6 se dosahuje pevnosti vláken 1 000 až 1400 MPa.

Žárupevné kompozity jsou především na bázi superslitin niklu s wolframovými a korundovými vlákny, ale i s grafitovými. Podíl vláken je od 20 do 70 %, pevnost při teplotě 20 °C je 1 400 až 2 100 MPa, časová mez tečení (1 000 h) při teplotě 1 100 °C je však 200 až 300 MPa, tedy o mnoho vyšší než při konvenčních žárupevných slitinách. Je možné je použít až do teploty 1650 °C.

Whiskery jsou krátké monokrystaly o průměru řádově 1 μm (whiskers - angl. vousky). Připravují se zpravidla krystalizací z tekuté i plynné fáze. Nejlépe propracovaná je výroba safírových ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$) whiskerů. Připravují se ohříváním oxidu hliníku na 1 300 – 1 500 °C v atmosféře vodíku, obsahujícího vodní páru. Dochází k redukci oxidu, odpařování a opětovné oxidaci hliníku. Oxid hliníku se následně usazuje v podobě whiskerů v chladnější části reakčního prostoru [59], [60], [61], [62].

Kompozity zpevňované whiskery jsou snadno tvářitelné a dosahují vysoké pevnosti. Např. hliník s whiskery SiC má pevnost v tahu až 600 MPa. Byly vyvinuty i whiskery Al_2O_3 nebo B_4C ve stříbře a niobu. Kompozity s niobovou maticí se ukázaly být mimořádně vhodným materiálem pro namáhání při 1100 °C. Nevýhodou whiskerů je jejich extrémně vysoká cena.

13. KOMPOZITNÍ MATERIÁLY II.

13.1. Spékané kovokeramické materiály

Prášková metalurgie umožňuje vyrábět více principálně nové materiály, které není možné získat klasickými technologickými postupy. Patří mezi ně i spékané materiály ze směsí kovových a keramických prášků. Jsou to především spékané karbidy na řezné nástroje a třecí materiály na brzdová obložení.

Spékané karbidy patří do skupiny spékaných mikroheterogenních materiálů. Představují vysoký vývojový stupeň tvrdých nástrojových materiálů. Práškovou metalurgií se získávají materiály, při kterých se využívá vysoká tvrdost stálých tvrdých karbidů, které jsou v litém stavu značně křehké. Základem v současnosti používaných spékaných karbidů jsou částice vysoce tvrdých karbidů wolframu a titanu, které se spojují prostřednictvím kobaltu. Dostatečná pevnost a snížení křehkosti spékaných karbidů se dosáhne tehdy, když jednotlivé karbidické částice nepřesáhnou velikost několika μm . S rostoucím obsahem kobaltu klesá tvrdost a vzrůstá pevnost v ohybu. Tvrdost (bez snižování pevnosti) je možné dále zvýšit nanášením tvrdých povlaků na destičky ze spékaného karbidu. [61], [62].

Kovokeramické třecí materiály jsou spékané heterogenní materiály na obložení spojek a brzd pro velmi výkonné dopravní prostředky (letadla, tramvaje), stroje a přepravní mechanizmy. V těchto případech nevyhovují běžně používané nekovové třecí materiály. Pro tato použití je nevyhnutný velký součinitel tření i při vysoké teplotě, dobrá tepelná vodivost (odvod tepla vzniklého třením). [61], [62].

13.2. Kompozity s keramickou maticí

Byly vyvinuty nové druhy keramických materiálů, které se dnes už uplatňují ve strojírenství, elektrotechnice a elektronice. Jsou to materiály třetí generace.

Existují dvě skupiny keramických materiálů:

- monolitní,
- kompozitní materiály.

13.3. Monolitní keramické materiály

Základním prvkem těchto materiálů jsou oxidy hliníku, silikóny a anorganické látky různých druhů. Souběžně s vývojem těchto materiálů jsou vyvíjeny i nové technologie jejich výroby a zpracování. Nové keramické materiály se označují jako konstrukční keramika, která se vyrábí z jemně rafinovaných nebo syntetických surovin. Při zpracování surovin se používají speciální chemické procesy a minerální i technické úpravy.

Konstrukční keramika má vlastnosti, které ji umožňují používat pro:

- oblasti, kde jsou prioritní elektrické a magnetické vlastnosti, tzn. v elektronice a silnoproudé elektrotechnice.
- oblasti, kde se využívá jako řezný materiál. Spékané oxidy hliníku, křemíková keramika a zirkonium-hliníková keramika mají výhody oproti wolframovým karbidům při řezacích operacích.
- oblasti, kde se používají součástky pracující při vysokých teplotách, kde se využívá hlavně stabilita keramiky až do teploty 1 300 °C. Keramika se využívá např. na lopatky turbínových motorů, kryty rotorů, ventily a jejich zdvihadla ve spalovacích motorech.

13.4. Keramické kompozity

Jejich vlastnosti se získávají vhodným uspořádáním struktury – výplňové matrice a vláken. Mají vyšší pevnost a tvrdost než jiné materiály, již se dosahuje vyztužením vláken a whiskery. Zatímco polymerní kompozity se mohou používat jen do teploty 300 °C, kovové do teploty 600 °C, keramické kompozity si zachovávají stabilitu při o mnoho vyšších teplotách.

Příprava keramických kompozitů je dvojího typu:

- **práškové zpracování základní látky a infiltrace** (vniknutí) suspenze vláknitých svazků. Vyztuží jsou vlákna nebo whiskery, zhutnění je zajištěno lisováním za tepla;
- **chemické procesy** – termický rozklad, reakční vázání a chemické infiltrační techniky. V tomto případě nejsou vyžadovány vysoké pracovní teploty. Chemické procesy jsou v porovnání s předchozími pomalé.

Keramické kompozity se vyrábějí za použití podobných technologií jako v případě kovových kompozitů. Využívá povrchového povlaku vláken, aby se docílilo správného fázového rozhraní mezi vláknem a výplní. [61], [62].

13.5. Kompozity z uhlíkových vláken

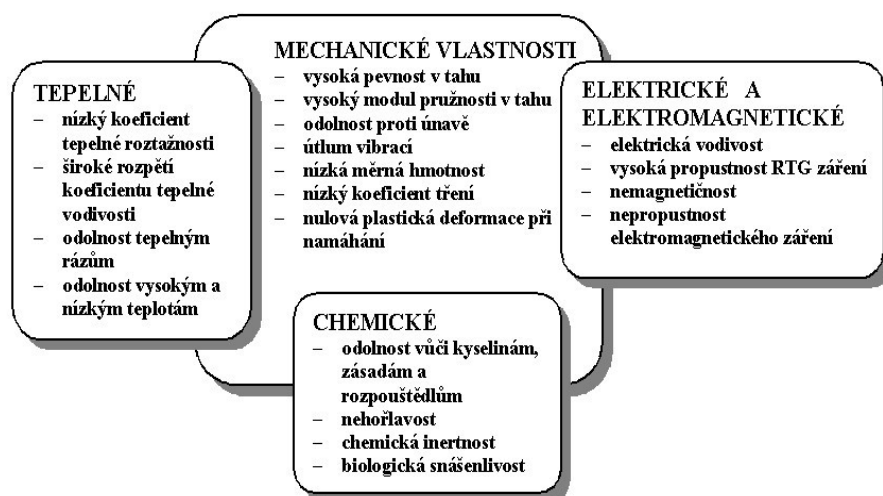
Základní surovinou pro výrobu uhlíkových vláken jsou tři materiály:

- **celulóza** – vyrobená vlákna mají nedokonalou strukturu, používají se jako izolační materiál pro vysoké teploty,
- **polyakrylonitril (PAN)** – standardní vlákna, od r. 1980
- smůla, nákladný způsob výroby vláken, jehož konečná cena vzhledem k nízké ceně základní suroviny je velmi příznivá. Mají vysokou hodnotu E – modulu a velmi dobré tepelné a elektrické vlastnosti, jejich pevnost v tlaku je v porovnání se standardními vlákny podstatně nižší, protože vazby mezi jednotlivými grafitovými rovinami jsou řidší. Mají malý podíl na trhu, HM (s vysokým modulem pružnosti) vlákna, HT (s vysokou pevností) vlákna se používají pro speciální účely.

Obecně je výroba kompozitních vláken řazena do pokročilejších výrobních technologií. Dnes nejčastější způsob výroby je skrze pyrolýzu vláken polyakrylonitrilu (PAN). Tato jsou po zahřátí protahována, aby došlo k požadované orientaci molekul. Následně je potřeba stabilizace karbonizací, která probíhá až 10 hodin v rozmezí 220-230°C. V dalším kroku se v inertní atmosféře při teplotách 1000-1500°C vlákna protahují a pokračuje se v karbonizaci. Tato vlákna se označují jako HS – vlákno (high strength – vysoká pevnost). Při pokračování ohřevu nad 2500°C opět v inertní atmosféře, a navíc pod napětím, dochází při grafitizaci tvorby struktury podobné grafitu. Tato vlákna se označují jako HM – vlákno (high modulus – vysoký modul).

V současné době moderní výroba již umožňuje různou úpravu vláken podle požadavku zákazníka. A sice vlákna vysokomodulová grafitizovaná, vlákna dutá, vlákna s vysokým modulem pružnosti či nanovlákna [59], [60], [61], [62].

Přehled užitečných vlastností uhlíkových vláken a kompozitů - obr. 1



Obr.1 Vlastnosti uhlíkových vláken a kompozitů [60]

Vlákna vyrobená grafitizací se skládají do pramenců, které se navíjejí do rovingů na cívku. Cívky se poté umístí na tkalcovský stav, na kterém vzniká tkanina.

Zvýšením počtu vláken v osnově vznikají rozdílné typy křížení vláken, které se nazývají vazby [59], [60], [61], [62]. Výhodou tkanin oproti jednosměrně orientované výztuži je její snadnější zpracování. Následující obr. 2 znázorňuje rozdělení vláknových kompozitů na schematicém pavouku z geometrického pohledu.



Obr. 2 Klasifikace vláknových kompozitů z geometrického pohledu [61]