

Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava

Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství

Katedra materiálového inženýrství

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Charakteristika a vlastnosti konstrukčních ocelí

Characteristics and properties of structural steels

2015

Zdeněk Urbanec

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství
Katedra materiálového inženýrství

Zadání bakalářské práce

Student: **Zdeněk Urbanec**
Studijní program: B3923 Materiálové inženýrství
Studijní obor: 3911R030 Technické materiály
Téma: **Charakteristika a vlastnosti konstrukčních ocelí**
Characteristics and properties of structural steels

Zásady pro vypracování:

1. Úvod
2. Historie ocelářství konstrukčních ocelí
3. Způsoby výroby konstrukčních ocelí
4. Definice a rozdělení konstrukčních ocelí
5. Porovnání a značení konstrukčních ocelí
6. Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

1. F. Kulhánek, Konstrukční oceli československé a zahraniční, SNTL Praha 1970.
2. P. Fremunt, T. Podrábský, Konstrukční oceli, CERM Brno, 1996
3. W. Janiche, W. Dahl et al., Werkstoffkunde Stahl, band 1: Grundlagen, Springer-Verlag Berlin, 1984.

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

Vedoucí bakalářské práce: **prof. Ing. Eva Mazancová, CSc.**

Datum zadání: 28.11.2014

Datum odevzdání: 21.05.2015

prof. Ing. Vlastimil Vodárek, CSc.
vedoucí katedry



prof. Ing. Jana Dobrovská, CSc.
děkanka fakulty

Zásady pro vypracování bakalářské práce

I.

Bakalářskou prací (dále jen BP) se ověřují vědomosti a dovednosti, které student získal během studia, a jeho schopnosti využívat je při řešení teoretických i praktických problémů.

II.

Uspořádání bakalářské práce:

- | | |
|----------------------------------------------|------------------------------|
| 1. Titulní list | 6. Obsah BP |
| 2. Originál zadání BP | 7. Textová část BP |
| 3. Zásady pro vypracování BP | 8. Seznam použité literatury |
| 4. Prohlášení + místopřísežné prohlášení | 9. Přílohy |
| 5. Abstrakt + klíčová slova česky a anglicky | |

ad 1) Titulní list je koncipován podle požadavků příslušné oborové katedry.

ad 2) Originál zadání BP obdrží student na oborové katedře.

ad 3) Tyto „Zásady pro vypracování bakalářské práce“ následují za originálem zadání BP. („Zásady pro vypracování bakalářské práce“ jsou ke stažení na webových stránkách fakulty).

ad 4) Prohlášení + místopřísežné prohlášení napsané na zvláštním listu (ke stažení na webových stránkách fakulty) a vlastnoručně podepsané studentem s uvedením data odevzdání BP. V případě, že BP vychází ze spolupráce s jinými právníckými a fyzickými osobami a obsahuje citlivé údaje, je na zvláštním listě vloženo prohlášení spolupracující právnícké nebo fyzické osoby o souhlasu se zveřejněním BP.

ad 5) Abstrakt a klíčová slova jsou uvedena na zvláštním listu česky a anglicky v rozsahu max. 1 strany pro obě jazykové verze.

ad 6) Obsah BP se uvádí na zvláštním listu. Zahrnuje názvy všech číslovaných kapitol, podkapitol a statí textové části BP, odkaz na seznam příloh a seznam použité literatury, s uvedením příslušné stránky. Předpokládá se desetinné číslování.

ad 7) Textová část BP obvykle zahrnuje:

- Úvod, obsahující charakteristiku řešeného problému a cíle jeho řešení v souladu se zadáním BP;
- Vlastní rozpracování BP (včetně obrázků, tabulek, výpočtů) s dílčími závěry, vhodně členěné do kapitol a podkapitol podle povahy problému;
- Závěr, obsahující celkové hodnocení výsledků BP z hlediska stanoveného zadání.

BP nemusí obsahovat experimentální (aplikační) část.

BP bude zpracována v rozsahu min. 25 stran (včetně obsahu a seznamu použité literatury).

Text musí být napsán vhodným textovým editorem počítače po jedné straně bílého nelesklého papíru formátu A4 při respektování následující **doporučené** úpravy - písmo Times New Roman (nebo podobné) 12b; řádkování 1,5; okraje – horní, dolní – 2,5 cm, levý – 3 cm, pravý 2 cm. Fotografie, schémata, obrázky, tabulky musí být očíslovány a musí na

ně být v textu poukázáno. Budou zařazeny průběžně v textu, pouze je-li to nezbytně nutné, jako přílohy (viz ad 9).

Odborná terminologie práce musí odpovídat platným normám. Všechny výpočty musí být přehledně uspořádány tak, aby každý odborník byl schopen přezkoušet jejich správnost.

U vzorců, údajů a hodnot převzatých z odborné literatury nebo z praxe musí být uveden jejich pramen - u literatury citován číselným odkazem (v hranatých závorkách) na seznam použité literatury.

Nedostatky ve způsobu vyjadřování, nedostatky gramatické, neopravené chyby v textu mohou snížit klasifikaci práce.

- ad 8) BP bude obsahovat alespoň 10 literárních odkazů, z toho nejméně 3 v některém ze světových jazyků.

Seznam použité literatury se píše na zvláštním listě. **Citaci literatury je nutno uvádět důsledně v souladu s ČSN ISO 690.** Na práce uvedené v seznamu použité literatury musí být uveden odkaz v textu BP.

- ad 9) Přílohy budou obsahovat jen ty části (speciální výpočty, zdrojové texty programů aj.), které nelze vhodně včlenit do vlastní textové části, např. z důvodu ztráty srozumitelnosti.

III.

Bakalářskou práci student odevzdá ve dvou knihařsky svázaných vyhotoveních, pokud katedra garantující studijní obor neurčí jiný počet. Vnější desky budou označeny takto:

nahoře: *Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava*
Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství
Katedra

uprostřed: *BAKALÁŘSKÁ PRÁCE*

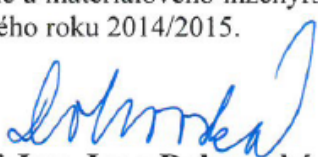
dole: *Rok* *Jméno a příjmení*

Kromě těchto dvou knihařsky svázaných výtisků odevzdá student kompletní práci také v elektronické formě do IS EDISON. Práce vložená v elektronické formě do IS EDISON se musí zcela shodovat s prací odevzdanou v tištěné formě.

IV.

Nesplnění výše uvedených zásad pro vypracování bakalářské práce může být důvodem nepřijetí práce k obhajobě. O nepřijetí práce k obhajobě rozhoduje v tomto případě garant příslušného studijního oboru. Tyto zásady jsou závazné pro studenty všech studijních programů a forem bakalářského studia fakulty metalurgie a materiálového inženýrství Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava od akademického roku 2014/2015.

Ostrava 4. 11. 2014


Prof. Ing. Jana Dobrovská, CSc.
děkanka fakulty metalurgie a materiálového inženýrství
VŠB-TU Ostrava

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

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

Místopřísežně prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci vypracoval(a) samostatně.

V Ostravě .. 21.5.2015

..... Zdeněk Hanec

podpis (jméno a příjmení studenta)

Poděkování

V úvodu bakalářské práce bych chtěl poděkovat paní prof. Ing. Evě Mazancové, CSc. za poskytnuté rady a za celkové odborné vedení při tvorbě této bakalářské práce.

Abstrakt

Výroba oceli prošla složitým vývojem od období řemeslné malovýroby až k dnešní podobě průmyslové velkovýroby. Zdokonalováním a vývojem výrobních procesů bylo dosaženo vzniku širokého sortimentu a značek ocelí, proto byly značky rozděleny do tříd ocelí dle obsahu uhlíku a dále do skupin dle obsahu legujících prvků.

Legující prvky jsou přidávány pro zlepšení vlastností ocelí a tím i rozšíření možností pro použití ocelí. Nejvíce používané značky ocelí jsou konstrukční oceli. Pro získání přehledu o chemickém složení, vlastnostech a možnostech použití byly vybrány k porovnání tři nejběžnější značky konstrukčních ocelí, tj. S235, S355 a C45.

Konstrukční oceli jsou v současné době velmi žádaný materiál. Pro své vlastnosti a velké možnosti použití jsou konstrukční oceli základním materiálem pro stavební průmysl, strojírenství, automobilový průmysl, zemědělství a mnoho dalších odvětví průmyslu.

Klíčová slova: Konstrukční ocel, výroba železa, značení ocelí, porovnání ocelí, chemické složení

Abstract

Steel production passed complicated development from period of small-scale production as far as today's form of industrial mass production. By perfection and development of industrial processes a rise of wide assortment and steel types were reached and therefore these types were divided to the grades of steel according to carbon content and further to the groups according to alloying elements.

Alloying elements are added to steels for properties improvement and thereby for expanded possibilities of steel application. The most usual steel types are those of structural steels. To obtain knowledge about chemical composition properties and application, three the most common structural steel types, i.e. S235, S355 and C45 were chosen and compared mutually.

At present, structural steels are very asked material. Thanks the properties and large application possibilities is the mentioned steel type a basic material for building industry, engineering, automotive industry, agriculture and other branches of industry.

Key words: Structural steel, steel production, steel marking, steel comparison, chemical composition

CHARAKTERISTIKA A VLASTNOSTI KONSTRUKČNÍCH OCELÍ

1. ÚVOD	3
2. HISTORIE OCELÁŘSTVÍ KONSTRUKČNÍCH OCELÍ	3
2.1 Počátky výroby železa	3
2.2 Období středověku, novověk, současná moderní doba	3
3. ZPŮSOBY VÝROBY KONSTRUKČNÍCH OCELÍ	4
3.1 ZPO – zařízení plynulého odlévání	4
3.2 KKO ingot – výroba v kyslíkovém konvertoru	4
3.3 EOP - výroba v elektrické peci	5
3.4 Tepelné zpracování	5
3.5 Povrchové úpravy	6
3.6 Požadavky zákazníků	7
3.7 Výrobci oceli v tuzemsku a zahraničí	7
3.8 Účely použití konstrukčních ocelí.....	8
4. DEFINICE A ROZDĚLENÍ KONSTRUKČNÍCH OCELÍ	9
5. POROVNÁNÍ A ZNAČENÍ KONSTRUKČNÍCH OCELÍ	11
5.1 Systém a princip označování ocelí	10
5.2 Zkoušení konstrukčních ocelí	21
6. ZÁVĚR	26
7. PŘEHLED POUŽITÉ LITERATURY	27

1. ÚVOD

Konstrukční oceli jsou důležitým materiálem ve strojírenství a stavebnictví, protože kombinací legujících prvků, vhodným tepelným zpracováním nebo výrobní technologií lze získat oceli s vysokou pevností a houževnatostí pro práci za vysokých i nízkých teplot odolné vůči korozi a opotřebení. Vývoj a výzkum rozšířil sortiment ocelí tak, že dnes jsou k dispozici desítky značek, což však někdy ztěžuje odběratelům orientaci. Řada ocelí se používá pro různé účely a podle nich odběratelé a zpracovatelé ocelí si značky ocelí také vybírají.

Cílem práce je získat přehled o systému označování konstrukčních ocelí a předložit vlastnosti vybraných typů ocelí.

2. HISTORIE OCELÁŘSTVÍ KONSTRUKČNÍCH OCELÍ

2.1. Počátky výroby železa

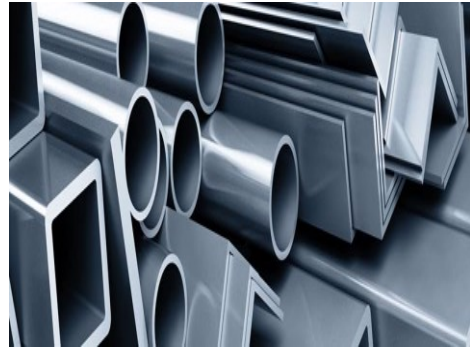
První zmínky o výrobě železa jsou známy ze starého Egypta a Řecka. Ve střední Evropě pocházejí první zmínky z „doby železné“, tj. asi 700 let př. n.l. Využití železa pro výrobu nástrojů a zbraní podnítilo rychlý rozvoj výroby železa a vznik nových řemesel. První železo vzniklé činností člověka, které bylo možno opracovávat kovářským způsobem, je houbovitě železo vyrobené za nízkých teplot v ohništi. Železná ruda se zahřívala v mělkých jamách s dřevěným uhlím, a tak vznikaly kusy kujného železa [1].

2.2. Období středověku, novověk, současná moderní doba

V době středověku, tj. od 5. století n.l. se již používaly místo jam malé šachtové pece, z nichž se postupem času vyvinuly dnešní vysoké pece. V době novověku, tj. od 15. století byl zaveden pohon dmyhadla vodní silou, tím došlo ke zvýšení teploty v peci a získalo se železo s vyšším obsahem uhlíku, tj. litina, která se dále zpracovávala novým zahříváním za přívodu vzduchu, tedy zkujňováním železa. Významným krokem ve zpracování rud bylo zavedení koksu jako redukčního činidla na konci 18. století, což byl jeden z hlavních faktorů průmyslové revoluce. Kvalita železa se začala zlepšovat, byly aplikovány nové vynálezy – válcovací stolice, frézy, vrtačky kovů, soustruhy, vznikly nové podmínky pro výrobu strojů (viz obr. 1) a nového oboru – strojírenství [1]. V současné moderní době je ocel vyráběna v integrovaných hutních provozech, kde je koncentrována výroba od surového železa přes ocelárnu a válcovnu až k hotovému polotovaru – sochory, bramy, bloky a dále k hotovému výrobku – kruhová ocel, dráty, kolejnice, nosníky, tvarová ocel, trubky (viz obr.2).



Obr.1 První stroje



Obr. 2 Tvarová ocel

3. ZPŮSOBY VÝROBY KONSTRUKČNÍCH OCELÍ

Konstrukční oceli pro stavbu ocelových konstrukcí, zařízení, strojů, přístrojů a jiných výrobků se zpracovávají do vhodných tvarů válcováním ze surové oceli vyrobené v ocelárnách ve tvaru ingotu nebo kontinuálně litych předvalků. Surová ocel se vyrábí v ocelářenských pecích ze vsázky, kterou tvoří surové železo, ocelový odpad – šrot a struskotvorné přísady. Kromě vsázky se při výrobě oceli přidávají přísady, které se podle svého účelu nazývají přísady oxidační, deoxidační a legovací. Výroba konstrukčních ocelí se provádí v zařízeních plynulého odlévání, i v konvertorech, v martinských pecích a v elektrických obloukových pecích.

3.1. ZPO – způsob plynulého odlévání

Plynulé odlévání bylo zavedeno v 60. letech minulého století. Když tekutá ocel dosáhne konečné jakosti, odlíje se z konvertoru do pánve, kterou se ocel přepraví do tzv. mezipánve a vodou chlazené měděné formy – krystalizátoru, kde začíná tuhnutí. Dále vedou ocel unášecí válce ve směru horizontálním a takto vzniklý nekonečný ocelový pás je dělicím zařízením rozřezáván na kusy, a to na bramy, předvalky, sochory a bloky. Plynulé odlévání má významné přínosy v úsporách energie, zlepšování pracovních podmínek a ve vysoké produktivitě a výtěžnosti. V současné době se tímto způsobem vyrábí 75 % z celkové produkce oceli ve světě [2].

3.2 KKO ingot – výroba v kyslíkové konvertorové ocelárně

Ocel vyrobená v konvertorech se po skončení zkujňovacího procesu vypouští do pánví, z nichž se pak pomocí licích jeřábů ocel odlévá do forem – kokil, kde se ocel nechá ztuhnout

na kusy zvané ingoty. Ingoty se odlévají do různých velikostí a tvarů podle požadavků válcoven a kováren. Jsou určeny k získání vývalku na válcovacích tratích a k získání hotového výrobku [2].

3.3 EOP

Elektrická oblouková pec je vyhřívána elektrickým obloukem. Velikost pecí se pohybuje od malých s kapacitou 1 t až po velké s kapacitou až 400 tun. Elektrická oblouková pec (viz obr. 3) patří k nistějovým výrobním agregátům a má variabilní využití.



Obr. 3 Elektrické obloukové pece v ocelárnách

3.4 Tepelné zpracování konstrukčních ocelí

Vlastnosti ocelí jsou závislé na chemickém složení a zároveň na struktuře. Požadované struktury se u oceli dosahuje tepelným zpracováním. Tepelné zpracování zahrnuje všechny postupy, při nichž se vnitřní stavba záměrně mění pomocí teploty. K základním druhům tepelného zpracování patří žihání na měkko ke zlepšení obrobiteľnosti, žihání na odstranění vnitřního pnutí a normalizační žihání. Provádějí se v žihacích pecích zahřátím materiálu na předepsanou žihací teplotu s následným ochlazováním na volném vzduchu [2].

Normalizační žihání je rovnoměrné ohřátí na určitou teplotu s ochlazením na klidném vzduchu. Účelem je dosažení stejnoměrnější a jemnější struktury. V současné době je nahrazováno řízeným normalizačním válcováním. **Žihání na měkko** je dostatečně dlouhé žihání při jedné teplotě nebo cyklicky měnící se teplotě s následujícím pomalým ochlazováním. Jeho účelem je snížit pevnost a zlepšit obrobiteľnost. Žihání k odstranění pnutí zahrnuje zvláštní úkony během zpracování oceli. Účelem je vyrovnat přechodné změny, které

by mohly ovlivnit konečnou jakost. **Kalení** je ohřátí oceli na teplotu, při níž se dosáhne jednotné výchozí struktury. Po tomto zahřátí následuje rychlé ochlazení. Rychlost chladnutí se mění vhodnou volbou prostředí. Nejobvyklejším kalicím prostředkem je voda a olej. Účelem kalení je zvýšení tvrdosti. Popouštění je ohřátí zakalené oceli na teploty v rozmezí 150–750 °C. Popouštěním se sníží nadměrná křehkost po kalení a částečně dosažená tvrdost. Při nízkém popouštění se zbarvuje vyhlazený povrch duhovými barvami, to však závisí na složení oceli. Popouštěním na vyšší teploty se mění mechanické vlastnosti oceli. Toto popouštění na vyšší teploty, při němž se dosahuje příznivých vlastností, je součástí ztv. **zušlechtění**, které probíhá v průběžných a komorových pecích nebo na zušlecht'ovacích linkách – viz obr. 4. K zušlechtění jsou vhodné mnohé značky ušlechtilých konstrukčních ocelí. Skládá se z kalení a následujícího popouštění. Účelem zušlechtění je dosáhnout nejlepších mechanických vlastností, tj. vysoké pevnosti při nejvyšší průtažnosti a houževnatosti. Tyto vlastnosti umožňují velmi dobré využití ocelí [3].



Obr. 4 Nová zušlecht'ovací linka v Třineckých železárnách, a.s.

3.5 Povrchové úpravy konstrukčních ocelí

Ochrana materiálu povrchovou úpravou je založena na některém z následujících principů, tzn., že vytvořená povrchová vrstva je souvislá a nepropustná, čímž dokonale izoluje chráněný materiál od okolního prostředí. Na povrchu chráněného materiálu je uměle vytvořena slitina s vyšší odolností proti korozi nebo je na povrchu chráněného materiálu uměle vytvořena sloučenina s lepší odolností proti korozi. Další princip spočívá v tom, že povrchová vrstva chrání základní materiál elektrochemicky metodou katodické ochrany a dále

povrchová vrstva obsahuje složky, které svým účinkem zmírňují agresivitu korozního prostředí.

Technologie povrchových úprav sestává ze dvou základních fází, a to z přípravy povrchu před vytvořením ochranných povlaků a vrstev a z vlastního vytvoření povlaku nebo vrstvy.

Povrch součástí bezprostředně po výrobě zpravidla není vhodný k okamžitému vytvoření ochranných vrstev a povlaků. Nemusí mít požadovanou jakost a může být znečištěn.

Nečistoty povrchu jsou dvojího druhu. Cizí nečistoty, které na povrchu ulpívají pouze adhezními silami; jsou to nejčastěji mastnoty a prach, čili nečistoty mechanické a vlastní nečistoty, které jsou s povrchem spojeny chemickou vazbou. Jsou to především korozní produkty, čili nečistoty chemické. Účelem přípravy povrchu pak je odstranění hrubých nečistot a korozních produktů, odmaštění a dosažení požadované kvality povrchu.

Úpravy povrchu je možno podle jejich mechanismu rozdělit na mechanické, tj. broušení, leštění, kartáčování, omílání, otryskávání a na fyzikálně – chemické, tj. odrezování, moření, chemické leštění, elektrochemické leštění, odmašťování organickými rozpouštědly, vodnými alkalickými roztoky a elektrolytické odmašťování. Jednotlivé způsoby přípravy povrchu mohou současně plnit více funkcí [1, 2].

3.6 Požadavky zákazníků

Zákazníky – odběratele konstrukční oceli můžeme rozdělit do dvou skupin. Jsou to výrobní firmy – zpracovatelé a obchodní firmy. Výrobní firmy, které ocel dále zpracovávají, tj. kovářny, strojírny apod. jsou sice náročné na kvalitu a přesnost, ale lépe spolupracují s výrobními podniky, protože mají přesně stanovené požadavky na materiál, znají účel použití nebo způsob dalšího zpracování, rozsah zkoušek a jsou ochotné materiál v provozu odzkoušet. Obchodní firmy většinou odebírají materiál na sklad a neznají účel použití oceli. Požadavky zahraničních zákazníků se vztahují většinou na provedení všech zkoušek i zkoušek navíc, žádají barevné značení, zvláštní balení proti otlakům, dodání „Just in time“.

3.7 Výrobci konstrukčních ocelí v tuzemsku a zahraničí

Největší výrobce konstrukčních ocelí v České republice je Arcelor Mittal Ostrava a.s., původně Nová huť, a.s. s ročním objemem 3 mil. tun oceli. Patří do skupiny Arcelor Mittal (obr. 5).



Obr. 5 Arcelor Mittal Ostrava, a.s.

Druhý, největší výrobce konstrukčních ocelí v Česku jsou Třinecké železářny, a.s. v Třinci (obr. 6). Spolu s firmou Moravia Steel a.s. a dalšími dceřinými společnostmi tvoří významné průmyslové uskupení ve střední Evropě [4]. Mezi největší světové výrobce ocelí patří Arcelor Mittal [5], Nippon Steel, Baosteel Group, U.S. Steel.



Obr. 6 Třinecké železářny, a.s.

3.8 Účely použití konstrukčních ocelí

Konstrukční oceli se rozdělují do skupin podle společných vlastností, použití a stavu, v jakém se pro daný účel používají. Oceli obvyklých jakostí (neušlechtilé) se používají ve stavu tepelně nezpracovaném nebo ve stavu normalizačně žíhaném pro strojní součásti jako jsou hřídele (obr. 7), čepy, kryty, páky, třmeny, ozubená kola. Konstrukční oceli jako stavební materiál v poslední době musí, a to hlavně na evropském trhu, odolávat konkurenci a oblibě v železobetonu. V českém stavebnictví se často dává přednost betonovým konstrukcím před konstrukcemi z ocelí (obr. 8), ačkoli konstrukční oceli mají řadu výhod, např. kontrolovaná jakost ocelových polotovarů, nízká hmotnost celé stavby, schopnost spojování s jinými materiály, odolnost proti živelným pohromám a dlouhá životnost ocelových konstrukcí [6].



Obr. 7 Kliková hřídel parního stroje



Obr. 8 Konstrukční ocel ve stavebnictví

4. DEFINICE A ROZDĚLENÍ KONSTRUKČNÍCH OCELÍ

Ocel je materiál, ve kterém je podíl železa větší než podíl jiného prvku a obsah uhlíku je menší než 2 % a obsahuje další prvky.

Konstrukční oceli můžeme rozdělit podle chemického složení a hlavních skupin jakostí a použití.

Rozdělení podle **chemického složení** je na nelegované oceli a legované oceli:

1. Nelegované oceli – oceli, u nichž nejsou dosaženy žádné mezní hodnoty.
2. Korozivzdorné oceli – oceli s obsahem Cr min. 10,5 % a obsahem C maximálně 1,2 %.
3. Ostatní legované oceli

Rozdělení podle hlavních skupin jakostí:

Skupiny nelegovaných ocelí (tabulka 1):

B Oceli obvyklých jakostí

Q Nelegované jakostní oceli

S Nelegované ušlechtilé oceli

Skupiny legovaných ocelí

QS Legované jakostní oceli

SS Legované ušlechtilé oceli

B - nelegované oceli obvyklých jakostí jsou oceli, které nejsou určeny k tepelnému zpracování, jsou předepsané pouze maximální obsahy P a S a minimální obsah C. Mechanické vlastnosti jsou v nezpracovaném nebo normalizačně žíhaném stavu.

Q – nelegované jakostní oceli, pro tyto oceli platí totéž jako pro nelegované oceli obvyklých jakostí a navíc tyto oceli jsou vyráběny s větší pečlivostí než oceli obvyklých jakostí, tzn., maximální obsah P a S < 0,045 %, není předepsaná metalurgická čistota a nemusí se tepelně zpracovávat. Na tyto oceli jsou požadavky např. na svařitelnost, houževnatost.

S – nelegované ušlechtilé oceli jsou oceli, pro které platí navíc od nelegovaných jakostních ocelí předepsané přesné chemické složení, vyšší stupeň metalurgické čistoty, maximální obsah P a S < 0,025 %, předepsaná minimální hodnota nárazové práce (KV > 27 J). Jsou většinou určeny k cementování, zušlechťování nebo povrchovému kalení.

QS – Legované jakostní oceli

Na tyto oceli jsou stanoveny požadavky na houževnatost, velikost zrna a tvařitelnost.

SS – Legované ušlechtilé oceli jsou ostatní legované oceli, které jsou charakterizovány přesnou kontrolou chemického složení a zvláštními výrobními podmínkami [7].

Tabulka 1: Vybrané nelegované oceli [7]

Skupina nelegovaných ocelí	Označení		Mechanické vlastnosti			Použití oceli
	ČSN	ČSN EN	R _e [MPa]	R _m [MPa]	A _s [%]	
Obvyklé jakosti	10 370.0	S235	235	360 až 440	27	ocelové konstrukce
	11 600.1	E335N	335	588 až 706	14	strojní součásti
Jakostní	11 418.1	P265G	265	400 až 490	29	tlakové nádoby
	11 523.1	S355N	355	510 až 628	23	ocelové konstrukce
Ušlechtilé	12 023.4	C15E	295	490 až 740	14	k cementování
	12 050.6	C45E	390	640 až 780	20	k zušlechťování
	12 081.8	C75S	1470	1785 až 1960	2	na pružiny
	19 191.4	C105U+ QT	64 HRC			na nástroje

5. POROVNÁVÁNÍ A ZNAČENÍ KONSTRUKČNÍCH OCELÍ

5.1 Systém a princip označování ocelí

Pro každou ocel může být stanovena pouze jedna značka. Značky se sestavují buď z písmen, číslic, nebo kombinací písmen a číslic. Každá značka musí být srozumitelná tak, aby se dala vyjádřit ústně, písemně a rovněž při práci s PC. Pro vytvoření systému označování ocelí jsou různá kritéria, z nichž je hlavní chemické složení. Značky ocelí se rozdělují do dvou hlavních skupin.

Skupina 1: Zde patří oceli označené podle jejich použití a mechanických vlastností. Značky obsahují tyto základní symboly:

S - oceli pro ocelové konstrukce (např. S235JR, S355J2)

P - oceli pro tlakové nádoby

L - oceli pro potrubí

E - oceli na strojní součásti

Za písmeny pak následuje číslo, které odpovídá minimální mezi kluzu v N/mm^2 pro nejmenší tloušťku výrobku.

B - oceli pro výztuž do betonu

Y - oceli pro předpínací výztuž do betonu

R - oceli pro kolejnice

D - oceli pro ploché výrobky

T - oceli pro plechy a pásy

M - oceli pro plechy a pásy pro elektrotechniku.

Skupina 2 : Jsou to oceli, které jsou označené podle chemického složení. Značka se skládá z charakteristických písmen a čísel v uvedeném pořadí, tj. písmeno C , dále čísla, které odpovídá stonásobku střední hodnoty rozsahu předepsaného pro obsah uhlíku. Do skupiny 2 patří jako podskupiny nelegované oceli se středním obsahem manganu ($\geq 1\%$) , nelegované automatové oceli s obsahy legujících prvků pod 5 %. Poslední podskupinu tvoří rychlořezné oceli. Značky těchto ocelí tvoří charakteristická písmena HS a čísla, která v následujícím pořadí udávají obsahy prvků W, Mo, V, Co.

Systém číselného označování ocelí

Čísla ocelí jsou přidělována Evropským registračním úřadem, který rovněž provádí revize seznamu registrovaných ocelí. Čísla ocelí, které se již nevyrábějí tak mohou být použita pro nové značky ocelí. Značky ocelí obsahují také přídatné symboly, které tak poskytují úplnou identifikaci ocelí a ocelového výrobku (viz tabulka 2) [8].

Tabulka 2: Číselné značení ocelí [8]

Základní číselná značka		Doplňkové číslo
XX	XXX	XX
Třída oceli	Pořadové číslo	Stav oceli v závislosti na TZ
Informace závislé na třídě oceli		.0 – tepelně nezpracováno
		.1 – normalizačně žíháno
		.2 – žíhání s uvedením způsobu
		.3 – žíháno na měkko
		.4 – kaleno nebo kaleno a popuštěno
		.5 - normalizačně žíháno a popuštěno
		.6 - zušlechtěno na dolní pevnost
		.7 - zušlechtěno na střední pevnost
		.8 - zušlechtěno na horní pevnost
	.9 – stavy, jež nelze označit .0 až .8	

Základní číselná značka je pětimístné číslo, označující základní materiál. První číslice v základní značce je 1 a označuje tvářenou ocel. Druhá číslice ve spojení s první označuje třídu oceli. Třetí a čtvrtá číslice mají různý význam podle třídy oceli. Doplnkové číslo má jednu nebo dvě doplnkové číslice (tabulka 3). Značky vytvořené na základě použití mechanických nebo fyzikálních vlastností obsahují symboly před nebo za numerickou hodnotou (tabulka 4).

Tabulka 3: Doplnkové číslice [8]

ČSN 42 0002	
Význam číslice za tečkou	
.0	Tepelně nezpracováno
.1	Normalizačně žíháno
.4	Kaleno a popouštěno při nízkých teplotách
.6	Zušlechtěno na dolní pevnost
.8	Zušlechtěno na horní pevnost

Tabulka 4: Písmena před a za numerickou hodnotou [9]

ČSN EN 10 027-1	
Písmena před numerickou hodnotou	
S	Ocel pro konstrukce, číslo mez kluzu v MPa
E	Ocel pro strojní součásti, číslo mez kluzu v MPa
P	Ocel pro tlakové nádoby, číslo mez kluzu v MPa
C	Písmeno = C uhlík (neleg. Ocel se stř. obsahem Mn < 1%, pro nástroje, číslo = 100x střední obsah uhlíku)
Písmena za numerickou hodnotou	
N	Normalizačně žíháno, nebo řízeně válcováno
E	Předepsaný max. obsah síry
G	Jiné charakteristiky
H	Vysoké teploty
S	Na pružiny
U	Nástrojové (+QT = stav zušlechtěný)

V třídě oceli 10 a 11 udávají pořadová čísla 3 a 4 R_m v desítkách MPa. Třída 12 až 16 znamená číslice 3 střední obsah legujících prvků v procentech a číslice 4 střední obsah C v desetínách procent. Podle stupně legování, daného součtem středních obsahů legovacích prvků, se oceli rozdělují takto:

Nelegované (uhlíkové) s tímto max. obsahem prvků (%): 0,9 Mn, 0,5 Si, 0,3 Cr, 0,5 Ni, 0,3 Cu, 0,2 W, 0,2 Co, ostatní, tj. Mo, V, Ti, Al, Nb, Zr a Pb jednotlivě 0,1, legované střední obsah kteréhokoliv z uvedených prvků vyšší než uvedené hodnoty. Podle středního nebo maximálního obsahu uhlíku se nelegované oceli rozdělují podle tabulky 5.

Tabulka 5: Obsah uhlíku nelegovaných ocelí v % [7, 10]

Ocel	Obsah C (%)
nízkouhlíková	do 0,25
středněuhlíková	do 0,25 do 0,60
vysokouhlíková	nad 0,60

Příklady staršího značení ocelí jsou uvedeny v tabulce 6 včetně značení dle současných platných norem. Příklady symbolů pro zvláštní požadavky jsou uvedeny v tabulce 7 a příklady symbolů pro tepelné zpracování jsou uvedeny v tabulce 8.

Tabulka 6: Příklady značek [8]

Norma	Dřívější značka	Značka oceli dle EN 10027-1	dle ČSN
EN 10025	Fe 590-2	E335	11 600
	Fe 690-0	E360	11 700
EN 10083	2C35	C35E	
	3C35	C35R	

Tabulka 7: Příklady symbolů pro zvláštní požadavky [8]

Symbol	Význam
+H	se zvláštní prokalitelností
+Z15	minimální kontrakce ve směru kolmém k povrchu = 15 %
+CU	povlak Cu
+OC	povlak organický
+Z	žárově pozinkováno

Tabulka: 8 Příklady symbolů pro tepelné zpracování [8]

+ A	žíhaný na měkko
+ N	normalizačně žíhaný nebo normalizačně válcovaný
+NT	normalizačně žíhaný a popouštěný
+QT	zušlechtěný
+S	zpracovaný na stříhatelnost zastudena
+U	tepelně nezpracovaný

Pro porovnání byly vybrány ze třídy ocelí 11 – 12 tři značky, a to S235, S355, C45. Dané oceli jsou vyráběny a dodávány dle EN 10025-2 a EN 10083. Ocel typu S235 může být dodávána v jakostních stupních JR, J0 a J2, které jsou rozděleny na další dva jakostní stupně J2G3 a J2G4. Liší se svařitelností a hodnotami nárazové práce. Chemické složení musí odpovídat hodnotám uvedeným v tabulce 9.

Přehled vlastností značky S235 je uveden v následném textu.

Tabulka 9: Chemické složení S235 max. (v %) [7]

C	Mn	Si	P	S	N
0,17	1,40	-	0,035	0,035	0,012

Při objednávání material lze dohodnout následující požadavky:

Obsah Cu, jakostní stupeň, uhlíkový ekvivalent, který lze vypočítat dle následujícího výrazu v rovnici [7]:

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

Mechanické vlastnosti se zjišťují zkoušením a kontrolou. Provádí se zkouška tahem a zkouška rázem v ohybu. K technologickým vlastnostem oceli S235 patří dobrá svařitelnost, tváření za tepla, tváření za studena, vhodnost k ohýbání, lisování a tažení. Uvedený jakostní stupeň je pro tyto vlastnosti nejvíce používán při výrobě konstrukcí a stojů menších tloušťek až po výrobu mostních a jeřábových nosníků, pro výrobu ohýbaných profilů, potrubí, součástí vodovodních, tepelných a energetických zařízení [3].

Značka S355 dle EN 10025-2, jejíž chemické složení je uvedeno v tabulce 10, je dodávána v jakostních stupních J2, J0, K2 a dále v jakostních stupních J2G3, J2G4, K2G3 a K2G4 dle tabulky 11. Jakostní stupně stejně jako značka S235 se liší svařitelností a hodnotami nárazové práce.

Tabulka 10: Chemické složení jakosti S355 (max. v %) [7]

C	Mn	Si	S	P
0,24	1,6	0,55	0,45	0,45

Tabulka 11: Rozlišení jakostních stupňů dle hodnot nárazové práce [7]

Teplota zkoušení [°C]	Jakostní stupeň podle hodnot nárazové práce	
	27 J	40 J
+ 20	JR	-
0	J0	-
- 20	J2	K2

Volitelnými požadavky značky S355 jsou: Jakostní stupeň, obsah Cu (0,25 % - 0,40 %), uhlíkový ekvivalent, uvedení obsahu Cr, Cu, Mo, Nb, Ni, Ti a V (rozbor tavby) v dokumentech kontroly - viz příloha 1. Dodávaný stav u dlouhých výrobků je ve stavu válcovaném (+AR), normalizačně žíhaném nebo normalizačně válcovaném (+N). Pro zjištění mechanických vlastností jsou prováděny zkoušky tahem a rázem v ohybu. Technologické vlastnosti jako svařitelnost značky S355 závisí na tloušťce výrobku, dále tvařitelnosti za studena, tažení za studena. Daný typ oceli je rovněž vhodný k mechanickému opracování. Vyšší obsah S zvyšuje vhodnost k obrábění. Povrchové vady se odstraňují vybrušováním dle normy EN 10221. Ocel typu S355 se používá při výrobě mostních a jiných konstrukcí, je vhodná k výrobě ohýbaných profilů, svařování dutých profilů, k výrobě strojních součástí a součástí automobilů, motocyklů, jízdních kol a k výrobě energetických zařízení [2].

Značka C45 patří do třídy 12. Oceli třídy 12 jsou nelegované, které se zušlechťují jako oceli typu C45, C45E, C45R. Příklad chemického složení je uvedeno v tabulce 12.

Tabulka 12: Chemické složení oceli C45E v % [10]

C45E značení dle EN				12050 značení dle ČSN					
EN 10083				ČSN 12050					
C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	N	V	Cr + Mo + N
0,42 - 0,50	0,40	0,50 - 0,80	0,035	max. 0,035	max. 0,40	max. 0,10	max. 0,40	-	max. 0,63
Typ ocel s označením C45R se liší v obsahu síry 0,02 - 0,040 %.									

Oceli značky C45 mají vymezené hranice chemického složení a jsou proto vhodné pro zušlechťování. Ve stavu zušlechtěném mají maximální mechanické vlastnosti. Dodávají se ve stavu tepelně nezpracovaném nebo ve stavu zušlechtěném, dále ve stavu žíhaném na měkko, žíhaném normalizačně a žíhaném na stříhatelnost. Největší význam pro hodnocení jakosti mají mechanické vlastnosti: pevnost v tahu, mez pružnosti i zúžení, vrubová houževnatost a tvrdost. Svařitelnost značky C45 je obtížná, mnohem lepší je obrobitelnost. Použití této značky oceli je pro výrobu strojních součástí těžních strojů a turbokompresorů, hřídelí, strojních součástí a výkovek pro automobilový a zemědělský průmysl, dále ozubená kola, šneky, ojnice, pístnice, čepy, šrouby, upínací stavebnicové nástroje, vrtací tyče, vidlice viz obrázek 9 a zubový kotouč na obrázku 10.



Obr. 9: Vidlice – výkovek z jakosti C45

Obr. 10: Zubový kotouč, výkovek z jakosti S355

V tabulce 13, 14 a 15 jsou shrnuty základní údaje vybraných typů ocelí.

Tabulka: 13 Příklady značení oceli u vybraných značek [7]

W.Nr.	ČSN	DIN	EN
1.0036	11373	USt 37-2	S235JR
1.0038	11375	RSt 37-2	S235JRG2
1.0570	11523	St 52-3	S355
1.1191	C45	17204	C45E

Tabulka: 14 Porovnání obsahu C (v %) u vybraných značek [7, 10]

S235	max. 0,17
S355	max. 0,20
C45	0,42 – 0,50

Tabulka: 15 Porovnání vlastností a použití vybraných značek [2]

Značka	Tepelné zpracování	Vlastnosti	Účel použití	Výrobky
S235	přírodní stav, normalizační žihání, normalizační válcování	svařitelnost	obrábění, kování	konstrukce, hřídele
S355	přírodní stav, normalizační žihání, normalizační válcování	svařitelnost, tvařitelnost	obrábění, kování, tažení, lisování	konstrukce, výkovky, strojní součásti
C45	přírodní stav, normalizační žihání, normalizační válcování, žihání na měkko, zušlechťení	obrobitelnost svařitelnost horší, tvařitelnost	obrábění, kování	výkovky, hřídele

Při porovnávání vlastností a použití vybraných značek S235, S355 a C45 je zřejmé, že nelegované oceli nemohou splnit všechny požadavky, které kladou konstruktéři na vlastnosti konstrukcí a strojních součástí. Pokud je požadována vysoká mez kluzu a dobré plastické vlastnosti, vyšší prokalitelnost, zaručená mez únavy, mez tečení, nízká přechodová teplota, resp., odolnost proti korozi, je třeba použít legované oceli, což se realizuje přísadami patřičných legujících přísad do oceli za účelem zlepšení mechanických vlastností. Rozlišují se oceli nízkolegované – mikrolegované s obsahem legur do 5 %, dále střednělegované (5-10% legujících přísad) a vysokolegované (nad 10 % legujících přísad) [12].

Mikrolegované oceli jsou oceli se zvýšenou mezí kluzu. Obsah uhlíku bývá od 0,05 – 0,5 %. Přísadové prvky nemění vlastnosti matrice, ale vedou ke snížení houževnatosti. To lze kompenzovat zjemněním zrna, které vede k dalšímu zvýšení pevnosti. Jemné zrno lze

dosáhnout tepelněmechanickým zpracováním. Tyto oceli jsou dobře svařitelné. K mikrolegování se používají prvky s vysokou afinitou k uhlíku a dusíku, zejména Ti, V, Nb. Zr. Obsah legujících prvků je následující: Mn až do 2,0 % a v různých kombinacích nízké podíly Cr, Ni, Mo, Cu, N v (0,01 – 0,1 %). Z toho je také název mikrolegované oceli – nejsou slitinovými oceli, i když jejich vlastností je dosaženo přidáním malého množství slitinových prvků [13].

Mangan - výrazně ovlivňuje tepelné zpracování ocelí. Se stoupajícím obsahem manganu se zpomaluje transformace austenitu, zvyšuje se prokalitelnost. Mangan se často používá k legování konstrukčních ocelí, zejména v kombinaci s jinými prvky. Je levný a snadno dostupný. U běžných konstrukčních ocelí se používá až do obsahu 2 %. Při legování oceli manganem je nutno počítat s jeho velkým sklonem k odměšování, tj. nerovnoměrným rozdělením složek mezi tuhou a kapalnou fází se sklonem k růstu a zhrubnutí zrna [13, 14].

Křemík patří do skupiny silně feritotvorných prvků. Křemík netvoří v ocelích karbidy, tj. sloučeniny uhlíku se železem nebo jinými prvky, ale úplně se rozpouští ve feritu, jehož pevnost se zvyšuje. Prokalitelnost ocelí se zvyšuje méně než u chromu a manganu. Až do obsahu 0,5 % se křemík nepovažuje za legující prvek, ale pouze za dezoxidační přísadu. U ocelí na zušlechťování se kombinuje obyčejně přísada křemíku s přísadou manganu nebo chromu. Vyšší obsah křemíku mají oceli třídy 13 a některé svařitelné oceli s vyšší mezí kluzu, pružinové a žáruvzdorné oceli [14].

Chrom je nejdůležitější legující prvek pro hodnocení konstrukčních ocelí, obvykle od 0,5 % v oceli. Obvyklé legované konstrukční oceli pro běžné použití mívají obsah chromu od 0,7 až 2,0 %. Chrom zvyšuje pevnost a mez kluzu, podporuje kalitelnost. Obsah 12 % chromu v oceli se považuje za začátek odolnosti oceli proti korozi a okujení. Na svařitelnost oceli má chrom neživý vliv již při malém obsahu [13].

Vanad slouží při výrobě oceli jako přísada pro zjemňování zrna. Jako legujícího prvku se používá vanadu u ocelí k zušlechťování. Vanad tvoří s uhlíkem velmi stabilní karbid. Vanadové karbidy mají vysokou tvrdost. Při nízkém obsahu vanadu se tvoří jemné globulární karbidy a zpomalují růst zrna. Vliv vanadu na mechanické vlastnosti závisí na kalicí teplotě, tj. na stupni rozpuštění vanadu v austenitu. Příklad vanadu se obvykle kombinuje s jinými legujícími prvky. V ocelích na zušlechťování bývá obsah vanadu asi 0,1 %. Vyšší obsah vanadu mají žárupevné oceli a oceli odolné proti vodíkové korozi. V přírodě se nejčastěji vyskytuje v rudách jako vanadinit (obr. 11) [13].



Obr. 11 Vanadinit

Titan se při výrobě oceli používá jako karbidotvorný prvek a je vázán určitým poměrem na obsah uhlíku. Přísada titanu má vliv na zvýšení meze kluzu a pevnost. Titan má nepříznivý vliv na vrubovou houževnatost, doporučuje se proto snížit obsah síry a udržet obsah titanu v hranicích 0,02 – 0,050 % [11].

Molybden je zařazen mezi feritotvorné prvky a středně silné karbidotvorné prvky. Jako legující prvek se používá v malém množství. Molybden v oceli zvyšuje především popouštěcí stálost a pevnostní vlastnosti za tepla, k tomu se molybden používá v obsahu 0,1 – 1,2 %. Vyšší obsahy Mo v oceli nejsou časté. Obsahy molybdenu od 1,0 – 2,0 % zvyšují korozivzdornost u vysokolegovaných ocelí, nižší obsahy jsou pro tento účel prakticky neúčinné. Svařitelnost molybden nezhoršuje [13].

Nikl – obsahu Ni 0,2 – 0,3 % se vyskytuje často v ocelích, do nichž přichází z odpadu a toto množství nemá téměř význam. Nikl přispívá k jemnozrnnosti a houževnatosti oceli a zvyšuje prokalitelnost. Oceli k zušlechťování nízkolegované niklem se používají hlavně na stejné části větších průřezů s vysokými pevnostními požadavky, protože mají dobrou prokalitelnost a houževnatost. Hlavní význam má nikl u ocelí austenitických s vynikající korozivzdorností a dobrou svařitelností [11, 13].

Zirkonium je prvek mimořádně odolný proti korozi a této vlastnosti je využíváno při výrobě ocelí, které jsou určeny na výrobky vysoce tepelně a korozně namáhané.

Niob zvyšuje mez kluzu precipitačním vytvrzením. Stupeň vytvrzení závisí na velikosti a množství precipitujících karbidů niobu. Niob je schopen výrazněji zjemnit zrna než vanad.

Wolfram – patří mezi feritotvorné prvky. Wolfram je karbidotvorný prvek. Při vyšším obsahu se tvoří speciální karbidy. V nízkolegovaných ocelích wolfram zjemňuje lamely perlitu, takže zvyšuje pevnost. Někdy se přidává místo molybdenu na snížení popouštěcí křehkosti. Wolfram se používá jako přísada do žárupevných ocelí [13].

Bor je v ocelích částečně rozpuštěn v matici, částečně může být vyloučen jako precipitát. Bor má vliv na zvýšení prokalitelnosti, která také závisí na obsahu uhlíku. U ocelí s vyšším obsahem C se prokalitelnost nezvyšuje [13].

Kategorie mikrolegovaných ocelí:

- oceli s odolností proti atmosférické korozi (Weathering Steels) obsahují nižší přísady S, Cu, a P pro zlepšení odolnosti proti atmosférické korozi a pro zpevnění tuhého roztoku
- mikrolegované feriticko-perlitické oceli obsahují (obvykle méně než 0,10 % přísad karbidotvorných a karbidonitridotvorných, resp. prvky jako Nb, V nebo Ti pro precipitační zpevnění zrna a pro možné řízené teploty přeměny austenit – ferit
- válcované feritické oceli, které mohou zahrnovat uhlíkomanganové oceli, ale mohou také obsahovat malou přísadu dalších legur pro zlepšení pevnosti, houževnatosti, tvařitelnosti a svařitelnosti
- oceli s jehlicovitým feritem (nizkouhlíkový bainit), které jsou nizkouhlíkové (méně než 0,05 % C), se vyznačují skvělou kombinací vysoké meze pevnosti (690 MPa), svařitelnosti, tvařitelnosti a dobré houževnatosti
- dvoufázové oceli – mají malý podíl disperzně rozptýleného martenzitu rozptýleného v mikrostruktuře – feritické matici a poskytují dobrou kombinaci tažnosti a vysoké pevnosti
- oceli s kontrolovaným tvarem vměstků – poskytují zlepšenou tažnost a houževnatost s malou přísadou Ca, Zr, Ti nebo jiných prvků. Jejich kombinací je dosaženo svinutí původně tenkých prodloužených sulfidů do formy rozptýlených vesměs sférických globulí. Vliv jednotlivých přísadových prvků na základní vlastnosti ukazuje tabulka 16. V tabulce 17 jsou shrnuty maximální obsahy legujících elementů [13, 14, 15].

Tabulka 16: Přehled vlivů jednotlivých legujících prvků na základní vlastnosti konstrukčních ocelí [2]

Prvek	Prokalitelnost	Oduhličení	Plastické vlastnosti
Chrom	zvyšuje	-	nesnižuje do 1,5 %
Křemík	zvyšuje	-	snižuje
Mangan	zvyšuje	-	nesnižuje do 1,5% u nizkouhl. ocelí
Molybden	značně zvyšuje	zvyšuje	zvyšuje při obsahu do 0,60 %
Nikl	snižuje	neovlivňuje	trochu zvyšuje
Niob	-	-	zvyšuje
Titan	snižuje	-	trochu zvyšuje
Vanad	nepatrně zmenšuje	zvyšuje	zvyšuje

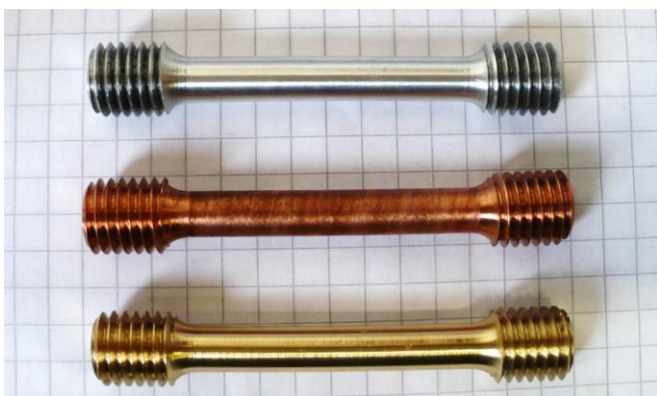
Tabulka 17: Maximální obsahy legujících prvků v konstrukčních ocelích v % [2]

Legující prvek	do
Mn	2,5
Si	2,0
Cr	3,5
Ni	5,5
Mo	1,2
V	1,0
W	1,5

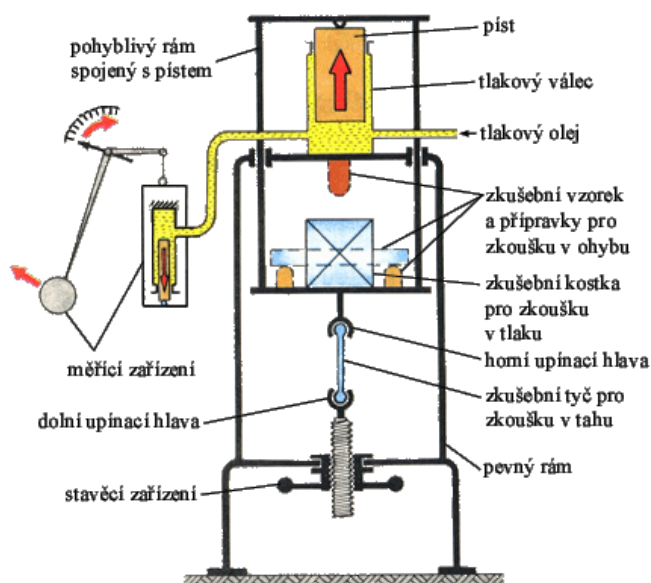
5.2 Zkoušení konstrukčních ocelí

Zkoušení materiálu podle jeho vlastností se rozdělují na zkoušky mechanické, fyzikální, metalografické a zkoušky materiálu bez porušení. Mechanické zkoušky testují pevnostní hodnoty včetně tvrdosti. Do této skupiny zkoušení se řadí i zkoušky mechanicko-technologické. Pomocí zkoušky fyzikální se zjišťují elektrické a magnetické vlastnosti, tepelná vodivost, teplotní roztažnost a měrná hmotnost. Metalografické zkoušky prověřují strukturu, její typ, změny, např. v procesu deformace nebo tepelného zpracování, poruchy a vměstky. Do této skupiny zkoušek se počítá i termická analýza a zkoušky rentgenografické. Zkoušky materiálu bez porušení slouží ke zjišťování trhlin, dutin, vměstků a používá se k tomu rentgenových paprsků, ultrazvuku a magnetického toku. Význam tohoto zkoušení je v tom, že důležité strojní součásti se zkouší v jejich hotovém tvaru bez jakéhokoliv porušení. Těmito způsoby se testuje dodaný materiál. Mechanické a technologické zkoušení se rozděluje na statické a dynamické. Statické zkoušení znamená, že zkušební kus je zatěžován s poměrně malou rychlostí, což nemá téměř vliv na výsledky. Při dynamickém zkoušení se zkušební kus zatěžuje buď rázem anebo s velmi rychlou změnou zatížení. Zvláštním způsobem je určování tzv. trvalé pevnosti, což reprezentuje zkouška při dlouhodobém zatížení. Mechanické vlastnosti a mechanické charakteristiky jsou důležité pro vhodný výběr materiálu pro výrobu různých součástí, stavbu konstrukcí a zařízení. Tento výběr je založen na znalosti mechanických, technologických, fyzikálních i chemických vlastností materiálu. Vyjádření vlastností materiálu číselnými hodnotami, materiálovými charakteristikami, je úkolem oboru, který nazýváme zkoušení materiálu. Materiálová charakteristika je číselná

hodnota, která kvantifikuje určitou vlastnost, a která se určuje experimentálně. Základní mechanické vlastnosti jsou v podstatě čtyři, např. pružnost, pevnost a houževnatost, ale mechanických charakteristik je mnohem více. Důvod, proč počet vlastností a charakteristik není stejný, spočívá v experimentální povaze mechanických charakteristik. Pro experimentální určení libovolné mechanické charakteristiky musíme z daného materiálu vyrobit zkušební těleso a zkoušet vliv vnější síly na toto těleso. Proto mechanické charakteristiky nejsou absolutní konstantou daného materiálu, ale jsou to veličiny, které závisí na podmínkách zkoušky. Výsledky mechanických zkoušek se používají k různým účelům. Uživatelé materiálu používají např. pevnost v tahu nebo mez kluzu materiálu při výpočtech pevností konstrukcí, strojních zařízení apod. Výrobci materiálu používají mechanických charakteristik pro testování svého výrobku. Na základě výsledků zkoušek je dána záruka mechanických vlastností materiálu. Proto výrobci a uživatelé materiálu a ostatní organizace, jako např. technologové výroby, výzkumní pracovníci, soudní znalci společně pracují na vývoji norem pro zkoušení materiálu. V každém státě je instituce, která je pověřena vydáváním národních norem. V České republice je to Český normalizační institut (ČNI) a naše normy jsou označeny ČSN. Zkoušení mechanických vlastností a mechanické charakteristiky potřebují pro svou práci hlavně výrobci konstrukčních a strojírenských materiálů, konstruktéři a technologové výrobních postupů. Nejčastěji potřebují tři typy mechanických zkoušek – zkoušku tahem, zkoušku rázem v ohybu a zkoušky tvrdosti. Zařízení k provádění těchto zkoušek tvoří základ většiny mechanických zkušeben materiálu, proto se tyto tři typy zkoušek označují jako základní. K základnímu vybavení zkušeben patří univerzální zkušební stroj. Zkušební vzorky a princip jsou ukázány na obr. 12 a 13 [15, 16].



Obr. 12 Zkušební vzorky pro zkoušku tahem

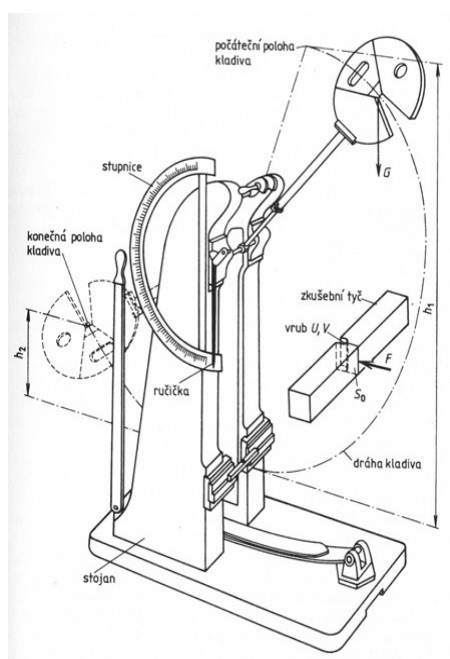


Obr. 13 Schéma univerzálního zkušebního stroje

Zkouška tahem sděluje konstruktérům přímo hodnoty pro výpočty a je prováděna zatížením materiálu na tah. Výsledky této zkoušky lze použít při konstrukčních návrzích apod. Jedná se o statickou zkoušku, tj. pomalu vzrůstá zátěžná síla nebo konstantní síla. Zkoušený materiál je upraven do vzorku, jehož parametry stanoví ČSN. Vzorek se zkouší na trhacím stroji, dle potřeby, často až do roztržení, vzniká trvalá plastická deformace. Stroj během zkoušení zaznamenává a vyhodnocuje celou řadu veličin. Výsledkem je tahový diagram, který ukazuje závislost zatěžovacího napětí na prodloužení vzorku, ze kterého lze odečíst celou řadu veličin. Zkouška je prováděna na zkušební tyči normalizovaných rozměrů. Nejzákladnější veličiny jsou: Tažnost A [%], kontrakce Z (zúžení vzorku) [%], mez pevnosti R_m a mez kluzu R_e (MPa). Mez kluzu je poměr síly k počátečnímu průřezu zkušební tyče, tedy napětí, při němž se začne zkušební tyč prodlužovat – mez kluzu v tahu. Pevnost je poměr největší síly přenášené zkušební tyčí k počátečnímu průřezu zkušební tyče. Po jejím dosažení se může poklesem zátěžné síly zkušební tyč deformovat. Tažnost charakterizuje plastické vlastosti materiálu. Změna původní délky nebo poměr trvalého prodloužení měřené délky po přetržení k délce původní vyjadřuje tažnost v procentech. Kontrakce je zúžení po tahové zkoušce a vyjadřuje se rovněž v procentech [15].

Při zkoušce vrubové houževnatosti se zkušební tyč s vrubem upnutá nebo podepřena na obou koncích, jedním úderem přerazí nebo ohne. Používá se normalizovaná zkušební tyčinka opatřená vrubem. Vrub může být ve tvaru V nebo ve tvaru U a podle toho vrubovou zkoušku značíme KCU nebo KCV. Nárazová práce potřebná k dosažení zlomu nebo ohnutí závisí na

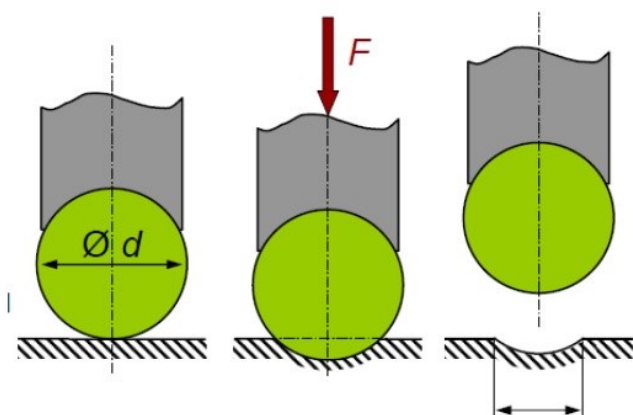
tvaru zkušební tyče a provádí se za různých teplot. Výsledek zkoušení se označuje jako vrubová houževnatost. Pro zkoušky se používá Charpyho kladivo - viz obr. 14. Zkouší se nejčastěji jedním rázem, kdy na porušení zkušební tyče se použije najednou dostatečného množství energie. Méně často se zkouší několika rázy, kdy se energie po sobě jdoucích rázů sčítá. Rázem lze zkoušet pevnost v tahu, tlaku, ohybu nebo krutu. Vrubovou houževnatost se zjišťuje zvláště u tepelně zpracovaných ocelí, u svarů a u plastů určených k lisování, méně často u neželezných kovů. Zkouška rázem v ohybu je ze všech zkoušek nejpoužívanější a je velmi dobrým ukazatelem houževnatosti nebo křehkosti materiálu [16, 17].



Obr. 14 Charpyho kladivo, zkouška vrubové houževnatosti

Zkouška tvrdosti se provádí u ocelí, kde bylo provedeno tepelné zpracování. Tvrdostí rozumíme odpor hmoty proti vnikání cizího tělesa. Největší význam má měření podle Rockwella a Vickerse. Podle Brinella se měří tvrdost vtláčením ocelové kuličky konstantním zatížením v kg do povrchu zkoušeného předmětu. Brinellova tvrdost (viz obr. 15) je číslo vyjadřující poměr mezi zatěžující silou a plochou kulovitého vtisku. K tomuto číslu se připojuje označení HB. Čím tvrdší je materiál, tím menší je plocha vtisku a tím větší je poměr mezi tlakem a plochou, tím také je větší číslo tvrdosti. Podle Rockwella se měří tvrdost vtláčováním kuličky o průměru 1,59 mm do kužele o vrcholovém úhlu 120° konstantním tlakem. Mírou tvrdosti je hloubka vtláčené kuličky. Číslem tvrdosti je hloubka vtláčené kuličky, značení je HRC. Číslem tvrdosti je doplněk hloubky vtisku do 100. Čím je materiál tvrdší, tím je mělký vtisk a tím je číslo tvrdosti HRC větší. Tvrdost podle Vickerse se měří

poměrem mezi plochou vtisku a zatížením. Od Brinella se liší tím, že do materiálu se vtlačuje diamantový jehlan o vrcholovém úhlu 136° . Otisk je čtvercový a jeho plocha se určuje měřením úhlopříček. K číslu se připojuje označení HV. Výsledky zkoušek výrobce uvádí v dokumentech kontroly (viz příloha 1), tj. inspekčních certifikátech [16, 17, 18].



Obr. 15 Princip zkoušky dle Brinella

6. ZÁVĚR

Pro správné zvolení vhodné konstrukční oceli pro určité součásti strojních zařízení nebo konstrukcí a staveb, je potřeba mít velmi dobrý přehled o současných konstrukčních ocelích a jejich vlastnostech, tvarech a rozměrech hutních výrobků, polotovarů pro další zpracování ve strojírenské výrobě a v dalších odvětvích průmyslu. Kromě toho je nutné mít přehled také o zahraničních ocelích, kterými mohou být české oceli nahrazeny. V současné době je v České republice mnoho firem, které se zabývají nákupem a prodejem výrobků z konstrukčních ocelí, jejich následným zpracováním v kovárnách, strojírnách a v úpravách povrchů. Tyto firmy mají velmi dobré a zkušené technology, kteří s výrobcí konstrukčních ocelí dobře spolupracují a společně se také podílejí na rozvoji a výzkumu vlastností a použití ocelí, popř. na zavádění nových technologií a nových výrobků. Zde sehrávají důležitou roli potřeby a poptávky zákazníků, kteří jsou stále více náročnější na kvalitu výrobků z konstrukčních ocelí. Žádají co nejkvalitnější povrchové úpravy, zvyšují požadavky na provádění mechanických zkoušek a kontrolu vnitřních vad. Složitější situace je u obchodních firem, jejichž hlavním cílem je levně nakoupit a výhodně prodat. Výrobce je v mnoha případech pak nucen k úpravám cen a dodacích termínů materiálů, přičemž výrobky musí být konkurenceschopné a zároveň musí být dodrženy požadavky na kvalitu výrobku, bezpečnost práce a ochranu životního prostředí.

7. PŘEHLED POUŽITÉ LITERATURY

- [1] cs.wikipedia.org/zelezo
- [2] Ing. Kulháněk, F., Konstrukční oceli československé a zahraniční, Praha 1970, SNTL, s. 9 - 88
- [3] Profilové oceli konstrukční třídy 12-16 válcované a kované, Ministerstvo hutního průmyslu a rudných dolů, Naše vojsko, Praha, s. 10 - 69
- [4] www.trz.cz
- [5] www.arcelormittal.com
- [6] Fremunt, P., Podrábský, T., Konstrukční oceli, CERM Brno 1996, ISBN 80-85867-95-8, s. 6 - 210
- [7] Výrobky válcované za tepla z nelegovaných konstrukčních ocelí, ČSN EN 10025+A1, červenec 1996, Český normalizační institut Praha, 20 s.
- [8] Definice a označování ocelí, ČSN 42 0002, Český normalizační institut Praha, 10 s.
- [9] Systémy označování ocelí, ČSN 42 10027-1, Český normalizační institut Praha, 10 s.
- [10] Oceli k zušlechťování-část 2: Technické dodací podmínky pro nelegované jakostní oceli, ČSN EN 10083-2+A1, květen 1998, Český normalizační institut Praha
- [11] Macek, K., Zuna, P., Zilvar, V., Nauka o materiálu III, SNTL Praha, 1987, 141-160 s.
- [12] Goméz, M., Medina, S. F., Role of microrolling elements in the microstructure of hot rolled steels, Int. Mat.Res., 102 (2011) 10, 1997 – 1207
- [13] Lafrance, M., Service properties of heavy steel plates
Part II: Relationship between structures and properties. Rev. Métallurgie, 96, 1999, 7, 981-990
- [14] Janiche, W., Dahl, W., et.al., Werkstoffkunde Stahl, band 1: Grundlagen, Springer-Verlag Berlin, 1984
- [15] skola.spectator.cz/2_SEMESTR/Nauka_o_materialu/TAH_theorie.doc
- [16] skola.spectator.cz/2_SEMESTR/Nauka_o_materialu/SI_theorie.doc
- [17] Píšek, F., Jeníček, L., Ryš, P., Nauka o materiálu I, Academia, 1968, s. 765 - 779
- [18] Linhart, V., Šimek, V., Jelínek, E., Materiálový sborník 1963, Konstrukční oceli, Státní výzkumný ústav materiálů a technologie Praha, 1963, s. 25-30

Přehled tabulek

Tabulka 1 Vybrané nelegované oceli

Tabulka 2 Číselné značení ocelí

Tabulka 3 Doplňkové číslice

Tabulka 4 Písmena před a za numerickou hodnotou
Tabulka 5 Obsah uhlíku nelegovaných ocelí v %
Tabulka 6 Příklady značek
Tabulka 7 Příklady symbolů pro zvláštní požadavky
Tabulka 8 Příklady symbolů pro tepelné zpracování
Tabulka 9 Chemické složení S235 max. v %
Tabulka 10 Chemické složení S355 max. v %
Tabulka 11 Rozlišení jakostních stupňů dle hodnot nárazové práce
Tabulka 12 Chemické složení oceli C45E v %
Tabulka 13 Příklady značení oceli u vybraných značek
Tabulka 14 Porovnání obsahu C u vybraných značek v %
Tabulka 15 Porovnání vlastností a použití vybraných značek
Tabulka 16 Přehled vlivů jednotlivých legujících prvků na základní vlastnosti jednotlivých konstrukčních ocelí
Tabulka 17 Maximální obsahy legujících prvků v konstrukčních ocelích v %

Přehled obrázků

Obr. 1 cs.wikipedia.org/zelezo
Obr. 2 – 4 trz.cz
Obr. 5 arcelormittal.com
Obr. 6 trz.cz
Obr. 7 cs.wikipedia.org/klikovahridel
Obr. 8 teveko.cz
Obr. 9,10 alper.cz/zemedelsky-prumysl.php
Obr. 11 cs.wikipedia.org/wiki/vanad
Obr. 12 skola.spectator.cz/2_SEMESTR/Nauka_o_materialu/TAH_teorie.doc
Obr. 13 skola.spectator.cz/2_SEMESTR/Nauka_o_materialu/TAH_teorie.doc
Obr. 14 sssebrno.cz/files/ovmt/tahova_zkouska.pdf
Obr. 15 uvp3d.cz/drtic/?page_id=2076

Přílohy

Příloha 1 Inspekční certifikát 3.1, Třinecké železářny, a.s.

Příloha 1


TŘINECKÉ ŽELEZÁŘNY
MORAVIA STEEL

A02 Druh dokumentu / Art der Prüfbescheinigung / Type of inspection document									
Inspekční certifikát 3.1 - Abnahmeprüfzeugnis 3.1 - Inspection certificate 3.1, EN 10204:2004									
A01/A05 Výrobní závod / Herstellerwerk / Manufacturer						Stránka / Seite / Page			
TŘINECKÉ ŽELEZÁŘNY, a.s., Průmyslová 1000, Staré Město, 739 61 Třinec, Czech Republic						1/1			
A03 Číslo dokumentu / Bescheinigungsnummer / Document No.						2015/04/007057-MRO			
A07 Číslo objednávky / Kundenbestellnummer / Purchaser's order No				A06 Příjemce / Empfänger / Consignee					
4500756045									
A10 Číslo kontraktu / Kontraktnummer / Contract No.									
A08 Číslo zakázky / Werksauftragsnummer / Manufacturer's order No									
3300218640/000010									
B01, B09-B11 Popis výrobku / Rozměry / Tolerance Spezifikation der Produkt / Masse / Toleranz Product description / Dimensions / Tolerance			B02, B04 Označení oceli / Stav dodaný Stahlbezeichnung / Lieferzustand Steel designation / Deliv. state		B03 Materiálová norma Materialnorm Classification standard		B03 Rozměrová norma Massnorm Dimensional standard		
Tyče kruhové - Rundstahl - Round bars 55 mm + 1,000 - 1,000 4-6 m			C45E +U		EN 10083-2:2006		EN 10060		
A11 Dopr. prostředek č. Wagen Nr. Waggon No.	A12 Ložný list č. Ladefliste Nr. Loading list No.	B07 Tavba Schmelze Heat No.	B08 Kruhy / Kusy Ringen / Stück Coils / Pieces	B08 Svazky Krbd Crbd	B13 Hmotnost (kg) Gewicht (kg) Weight (kgs)				
4T24792	3315004749	T12292	0	1	1376				
B07, B14, C70 Tavba / Rok výroby / Způsob výroby Schmelze / Herstellungsjahr / Stahlherstellung Heat No. / Year of production / Steelmaking process		C71-C92 Chemické složení-Chemische Zusammensetzung-Chemical composition [%]							
T12292/2014 BO-ZPO2 BO-Strangguss BOF-cc billets		C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo
		0.46	0.78	0.26	0.021	0.013	0.19	0.22	0.013
Mechanické hodnoty-Mechanische Werte-Mechanical values									
B07 Tavba Schmelze Heat No.	B05 Stav zkoušení Probezustand Test state	C11 Mez kluzu Streckgrenze Yield point Re (MPa)	C12 Mez pevnosti Zugfestigkeit Tensile strength Rm (MPa)	C13 Tažnost Bruchdehnung Elongation A5 [%]	C14 Kontrakce Bruchdehnung Contraction Z [%]	B05 Stav zkoušení Probezustand Test state	C03 Zkušební teplota Prüftemperatur Test temperature	C40, C42 Zkouška rázem v ohybu Schlagarbeit Energy of impact KV [J] / KCV [J/cm ²]	
T12292	+QT	500 501	725 727	25,3 25,2	66,6 67,7	+QT	+20°C	72,2 65,6 65,3	90,3 82,0 81,7
B07 Tavba Schmelze Heat No.	D56 Péčovací zkoušky Stampfproben Heading tests (EN 10263-1)	D57 Oduhličení Entkohlen Decarburization (max. / mm)	C54 Mikročistota Reinheitsgrad Micropurity (DIN 50602)	C67 Velikost zrna Korngröße Grain size	C30 Tvrdost HB Härte HB Hardness HB	C93 Vakuování Vakuumentgast Vacuum degassing			
T12292							206 - 211 ano/ja/yas		
B07 Tavba Schmelze Heat No.	D53 100% kontrola totožnosti Verwechselprüfung 100% Sparking test 100%	D02 UZ kontrola US Prüfung US test	D54 Povrchové vady Oberflächenfehler Surface defects						
T12292	provedena/entspricht/O.K.	100% EN 10308/3	EN 10221/B						
D01 Kontrola povrchu, tvaru a rozměru odpovídá objednávce. Die Kontrolle der Oberfläche, Form und Abmessung entspricht der Bestellung. Control of surface, shape and dimension corresponds to the order									
D05 Dodržena radioizotopická aktivita tavebního vzorku - max. 100 Bq/kg. Die radioisotopische Aktivität max. 100 Bq/kg wurde eingehalten. Radio - isotopic activity was controlled in ladle sample, it was no higher than 100 Bq/kg.						A04 / Značka výrobce / Herstellungszeichen / Manufacturer's logo			
Z01 Dodaný materiál odpovídá předpisu objednávky. Die obengenannten Erzeugnisse entsprechen den Bestimmungsvorschriften. Products conform with the prescription of order.									
Z03 Tento dokument byl elektronicky podepsán v souladu se zákonem č. 227/2000Sb. Dieses Dokument wurde mit elektronischer Unterschrift im Einklang mit dem Gesetz Nr. 227/2000Slg. versehen. This document was electronically signed according to Law No. 227/2000Coll undersigned.									
Z02 Potvrčil -Der Werksachverständige -Expert : Rusz Roman,				referent jakosti, nezávislý oprávněný zástupce Der Sachbearbeiter der Qualitätskontrolle für Freigabe und Atteste, unabhängiger berechtigter Vertreter Officer for Quality Inspection, Releasing and Attestation, independent authorized agent					
Třinec: 17.04.2015									