

Uživatelský komentář k normě ČSN EN ISO 683-3 a k vlastnostem ocelí k cementování

Předmět normy	Stanovuje technické dodací podmínky (TDP) pro následující výrobky tvářené za tepla: předvalky (bloky, bramy, sochory), tyče, dráty, širokou ocel, plechy a pásy, volné a zápuskové výkvyky z ušlechtilých nelegovaných a legovaných ocelí k cementování.
Použití ocelí uvedených v normě	Oceli jsou převážně určeny k výrobě strojních součástí nebo součástí dopravních prostředků s cementovanými činnými plochami. Oceli k cementování mají poměrně nízký obsah uhlíku. Používají se ve stavu kaleném po cementování nebo ke karbonitridování (současné sycení povrchu uhlíkem a dusíkem). Cementované díly se po tepelném zpracování vyznačují vysokou tvrdostí povrchové (cementované, popř. karbonitridované) vrstvy a houževnatým jádrem.
Klasifikace ocelí	Podle chemického složení: - oceli nelegované (uhlíkové) se středním obsahem uhlíku od 0,10 do 0,20 %, - oceli chromové, chrom-manganové a oceli chrom-molybdenové, - oceli chrom- nikl- molybdenové. Podle prokalitelnosti: s rozdílnou prokalitelností cementované vrstvy a základního materiálu.
Způsob výroby oceli	Způsob výroby volí výrobce, tak aby byly splněny požadavky uplatňované na ušlechtilou ocel. K nim patří: nízké resp. omezené obsahy prvků s negativním účinkem na vlastnosti (P,S,H ₂ ,Sn), vyhovující makro- a mikročistota a optimální struktura po chemicko-tepelném zpracování.
Způsob dodávání	Pokud není při objednávání dohodnuto jinak, jsou výrobky dodávány ve stavu tepelně nezpracovaném až na případy kdy to rozměry, tvar výrobku a charakter oceli neumožňují. Po dohodě se výrobky dodávají v jednom ze zvláštních způsobů tepelného zpracování: zpracováno na stříhatelnost (symbol +S), žíháno na měkko (+A), zpracováno na rozmezí tvrdosti (+TH), zpracováno na feriticko-perlitickou strukturu a rozmezí tvrdosti (+FP); normalizačně žíháno (+N); žíhání k docílení sferoidizace cementitu (+AC) zejména pro materiál určený k tváření za studena (lisování nebo protlačování) Po dohodě lze objednat i zvláštní provedení povrchu výrobku: po tváření za tepla mořeno nebo tryskáno nebo předběžně opracováno (loupáním).
Vlastnosti charakterizující značku oceli	Chemické složení: se vztahuje na chemický rozbor tavby. Pro složení hotového výrobku jsou stanoveny dovolené odchylky od rozboru tavby. Mechanické hodnoty: ve starších vydání norem DIN (DIN 17210) a materiálových listech podle ČSN jsou ještě uváděny mechanické hodnoty zjišťované na referenčním vzorku ve stavu kaleném a popuštěném (v normě DIN uváděné jako tzv. „Blindhärteprobe“). Referenční vzorek měl průměr např. 30 mm a po jeho kalení a popuštění se zjišťovaly mechanické hodnoty. Zkouška simulovala dosažitelné mechanické vlastnosti jádra cementovaných dílů. V normě EN ISO 683-3 jsou rozhodujícím kritériem použitelnosti oceli hodnoty prokalitelnosti. Prokalitelnost: Legované oceli se dodávají bez nebo se zárukou prokalitelnosti. U uhlíkových ocelí se prokalitelnost nezaručuje. Při požadavku na prokalitelnost lze objednat hodnoty normální (+H) nebo zúžené (+HH, +HL). V obou případech se uvádí minimální a maximální zaručované hodnoty tvrdosti v Rockwellových jednotkách v závislosti na vzdálenosti od plochy kaleného čela Čelní zkoušky prokalitelnosti (zkouška Jominyho). Velikost zrna: Stanovuje se velikost tzv. austenitického zrna, tj. zrno austenitu po ohřevu na teplotu před kalením (austenitizační). Velikost zrna ovlivňuje hloubku zakalené vrstvy a charakter martenzitu po kalení. Je-li před kalením austenitické zrno hrubé, vznikne i hrubý, velmi křehký jehlicovitý martenzit.
Technologické vlastnosti	Obrobitelnost: všechny oceli uvedené v EN ISO 683-3 jsou dobře obrobitelné ve stavu žíhaném na měkko. Zlepšenou obrobitelnost mají pro jednotlivé značky ocelí jejich varianty s obsahem S 0,020-0,040 %. K lepší obrobitelnosti přispívá i žíhání na feriticko-perlitickou strukturu se zaručeným rozmezím pevnosti. Tím se předchází velmi nízké pevnosti ocelí žíhaných na měkko, u nichž se zaručuje pouze maximální hodnota tvrdosti. Velmi měkká ocel se při obrábění tzv. „maže“ Stříhatelnost předvalků a tyčí: za vhodných podmínek (při zamezení vzniku koncentrace napětí, použití nožů, přizpůsobených stříhanému profilu), jsou všechny oceli stříhatelné s pevností do 750 MPa. Při vyšších pevnostech a větších průřezech dělení stříháním usnadňuje předehřev materiálu. Tvářitelnost za studena: po tváření za studena se používají oceli sferoidizačně žíhané s maximálně možným podílem globulárního cementitu v mikrostruktuře oceli. Vlastnosti po tepelném zpracování: norma obsahuje doporučené teploty a podmínky pro tepelné zpracování dílů, zhotovených z jednotlivých značek ocelí. Dodržení doporučených podmínek zpracování je rozhodující pro docílení vlastností uvedených v normě.
Struktura	Velikost zrna: pokud není dohodnuto jinak, musí ocel při zkoušení způsobem, který uvádí ČSN EN ISO 643, vykazovat velikost austenitického zrna 5 až 8. Požadavek na stanovení velikosti zrna je požadavkem volitelným. Čistota oceli: ocel musí vykazovat stupeň čistoty odpovídající jakosti ušlechtilé oceli. Hodnotí se tzv. mikročistota, tj. rozsah znečištění oceli mikroskopickými nekovovými vměstky. Stanovení se provádět podle normy EN 10247. Lze též použít národní normy např. DIN 50602 nebo normu ISO 4967. Pro hodnocení podle normy DIN nebo ISO je přípustné meze znečištění třeba dohodnout při objednávání.

	Případné znečištění v makroskopickém měřítku (makročistota), např. nekovovými, pouhým okem viditelnými částicemi, lze hodnotit pomocí lomových nebo leptacích zkoušek. Metodu hodnocení a kriteria přípustnosti je třeba dohodnout při objednávání.
Vnitřní jakost	Při objednávání mohou být dohodnuty požadavky na vnitřní jakost. Výrobce v tomto případě musí prokazovat, že vnitřní vady (necelistvosti, makroskopické vměstky, vycezeniny a jiné vady struktury) ve výrobku nepřesahují dohodnutou mez. Současně je třeba při objednávání dohodnout způsob a metodiku zkoušení (např. zkoušku ultrazvukem), nejlépe odkazem na příslušnou normu. Požadavky na zkoušku ultrazvukem týčí předepisuje norma EN 10308.
Jakost povrchu	Všechny výrobky musí mít hladký povrch odpovídající použitému způsobu tváření. Požadavky na povrch výrobků určených k dalšímu zpracování např. tažením, tvářením za tepla apod., je třeba dohodnout. Požadavky na jakost povrchu je možno specifikovat odkazem na evropské nebo národní normy. EN ISO 9443 obsahuje třídy jakosti povrchu tyčí a drátů válcovaných za tepla. Podle této normy lze vymezit přípustnou hloubku povrchových vad. Požadavky na jakost povrchu plochých výrobků jsou zahrnuty v normě EN ISO 7788.
Rozměry, úchytky rozměrů, tvaru a polohy	Jmenovité rozměry, úchytky rozměrů a úchytky tvaru a polohy výrobků je nutno dohodnout při objednávání, pokud možno podle příslušných rozměrových norem.
Dodávání	Výrobky musí být dodávány odděleně podle taveb.
Zkoušení a shoda výrobku s požadavky.	Výrobky podle této normy je nutno objednávat s jedním z dokumentů kontroly podle EN 10204. Druh dokumentu je třeba dohodnout. Pokud objednávka neobsahuje konkrétní požadavek, vystaví se zkušební zpráva podle EN 10204-2.2 na základě nespecifikované kontroly. Zkušební zpráva podle EN 10204-2.2 na základě nespecifikované kontroly musí obsahovat tyto údaje: <ul style="list-style-type: none"> - potvrzení, že materiál odpovídá požadavkům objednávky, - výsledky rozboru tavby pro všechny prvky, které jsou předepsány pro příslušnou značku oceli v normě. Inspekční certifikát nebo protokol o příjemce podle EN 10204-3.1. nebo -3.2 vyžaduje specifikovaný způsob zkoušení a musí obsahovat: <ul style="list-style-type: none"> - výsledky rozboru tavby (viz výše), - výsledky kontroly a zkoušek předepsaných v souvislosti s volitelnými požadavky např.: <ul style="list-style-type: none"> mikroskopicky stanovený obsah nekovových vměstků; nedestruktivní zkoušení (stanovení vnitřní jakosti výrobků), stupeň přetváření; zvláštní požadavky na značení. - dokument kontroly musí též obsahovat označení, která dovolují vzájemně přiřazení dokumentu kontroly, zkušebních vzorků a těles a zkoušených výrobků. <ul style="list-style-type: none"> - specifická kontrola a zkoušení: <ul style="list-style-type: none"> u oceli objednaných bez záruky na prokalitelnost se ověřuje tvrdost pro objednaný způsob žhání. Oceli objednané se zárukou prokalitelnosti se ověřují na hodnoty prokalitelnosti zkouškou podle Jominyho nebo výpočtem. Provádí se vizuální kontrola výrobků a kontrola rozměrů
Údaje na výrobcích	Výrobce musí značit výrobky nebo svazky (balíky) takovým způsobem, aby bylo možné určit tavbu, druh oceli a původ dodávky. Způsob značení je třeba dohodnout.
Obecné charakteristiky ocelí podle normy ČSN EN ISO 683-3	
Stanovení chemického složení	Chemické složení tavby se zjišťuje v závěru tavby před odpichem, na vzorku odebraném z pánve. Zjištěné složení reprezentuje tzv. tavební rozbor. Na přání odběratele, lze stanovovat i chemické složení hotového výrobku na vzorku odebraném po dokončeném výrobním cyklu. Oba rozbor (tavební a z hotového výrobku) nejsou zcela identické vlivem segregčních jevů (viz dovolené odchylky mezi rozbohem tavby a hotového výrobku). Běžnou metodou pro stanovení chemického složení je spektrální analýza prováděná ve vakuu. Přístrojové vybavení laboratoří je známo pod pojmem „kvantometr“. Jinak než spektrální analýzou se stanovují pouze obsahy plynů (O ₂ , H ₂ , a N ₂). Obsahy C a S se také zjišťují spalováním vzorku a měřením objemu CO ₂ a SO ₂ ve spalinách. K vyloučení záměn se používají mobilní spektrometry pro zjišťování identity hotového výrobku v rámci výstupní kontroly.
Mechanické vlastnosti a prokalitelnost	Mechanické hodnoty: z mechanických hodnot jsou u cementačních ocelí především z technologických důvodů důležité hodnoty tvrdosti v dodaném stavu. Tvrdost ovlivňuje stíhateľnost, obrobiteľnosť a způsobnosť k tváření za studena. V posledně jmenovaném případě je však důležitý i stupeň sferoidizace ve struktuře přítomného cementitu (karbidu železa). Orientačně se hodnotí i dosažitelná pevnost po kalení a popuštění v daném místě průřezu strojního dílu, která ovšem souvisí s prokalitelností. Znalost prokalitelnosti umožňuje stanovit očekávané hodnoty pevnosti v jádře cementovaného dílu po kalení.
Pásky prokalitelnosti	Pro každou značku oceli uvedenou v normě EN ISO 683-3 vyjma ocelí uhlíkových, je prokalitelnost určena pásem prokalitelnosti. Pás prokalitelnosti je konstruován na základě vyhodnocení prokalitelnosti statisticky významného souboru taveb dané značky oceli. Zobrazený pás je omezen dvěma křivkami závislosti tvrdosti na vzdálenosti od plochy zakaleného čela čelní zkoušky prokalitelnosti. Horní křivka zobrazuje maximální dosažitelné hodnoty, spodní pak hodnoty minimální. Uvnitř pásu se nacházejí křivky ostatních taveb z vyhodnocovaného souboru. Hodnoty prokalitelnosti jednotlivých taveb jsou závislé na obsahu uhlíku a legujících prvků ovlivňujících prokalitelnost. Rozmezí obsahu prvků pro danou značku oceli určuje norma. Je-li požadována záruka prokalitelnosti, dovolují se malé odchylky v chemickém složení předepisované normou. V zásadě platí, že každá konkrétní tavba dané značky má křivku prokalitelnosti, která leží uvnitř pásu prokalitelnosti. Korelace mezi chemickým složením a hodnotami prokalitelnosti umožňuje sestavit vzorec pro

	<p>výpočet prokalitelnosti z chemického složení tavby. Stanovení prokalitelnosti výpočtem je uznávanou metodou a může nahrazovat provedení čelní zkoušky prokalitelnosti.</p> <p>Požaduje-li se zúžený pás prokalitelnosti, upravuje výrobce chemické složení v rámci noremního předpisu a dovolených odchylek tak, aby docílil požadovaných hodnot prokalitelnosti.</p>
Velikost zrna	<p>Proces nauhličování (cementace), probíhá při relativně vysokých teplotách (nad 900° C). Při těchto teplotách je struktura oceli tvořena austenitem. Velikost zrn austenitu může v průběhu nauhličování narůstat. Výchozí velikost austenitického zrna před kalením nauhličené (cementované) součásti ovlivňuje mechanické vlastnosti po kalení, prokalitelnost a rozměrové změny (deformace) kaleného dílu. Proto stanovení velikosti austenitického zrna za podmínek simulujících podmínky nauhličování, je součástí volitelných jakostních požadavků na cementační oceli. Růstu zrna za podmínek cementace brání přítomnost některých prvků v oceli (Al, Ti, Nb, N), které se z uvedeného důvodu řízeným způsobem do oceli přidávají. Nejčastěji se jemnozrnností docílí přidáním hliníku při současném nastavení optimálního poměru hliníku a dusíku.</p>
Vliv prokalitelnosti a velikosti austenitického zrna na vlastnosti cementovaných dílů.	<p>Na rozdíl od ocelí k zušlechťování se s ohledem na udržení dostatečně vysoké tvrdosti cementované vrstvy provádí po kalení pouze popouštění při nízkých teplotách (kolem 200° C). Za těchto podmínek se jen málo mění pevnost a tvrdost v jádře kaleného dílu. Prokalitelnost proto významně ovlivňuje mechanické vlastnosti cementovaného dílu po kalení.</p> <p>Podle velikosti a tvaru cementovaného dílu, zvolené výrobní technologie při výrobě součásti a s ohledem na požadované vlastnosti hotového výrobku, je zpravidla nutné vhodným způsobem nastavit i hodnotu prokalitelnosti použité značky oceli. Nepřiměřená prokalitelnost použité tavby, může mít za následek nepřijatelné tvarové změny výrobku po kalení, což výrazně ztěžuje a prodražuje dokončovací operace.</p> <p>Nastavení hodnot prokalitelnosti lze uskutečnit předpisem hodnot z horní nebo spodní části pásu prokalitelnosti u dané značky oceli (+HH nebo +HL). Výrobce pak dodá tavbu s nižší nebo vyšší prokalitelností.</p> <p>Nízká hodnota velikosti austenitického zrna zjištěná při referenčním zkoušení, signalizuje možný růst zrna při podmínkách cementace. Důsledkem může být vznik hrubozrnného martenzitu v cementované vrstvě po kalení a její nízká houževnatost. S růstem zrna jsou spojeny i deformace po kalení. Obvykle požadovaná hodnota austenitického zrna, kterou též uvádí i norma EN ISO 683-3, je v rozmezí 5 až 8.</p>
Mikročistota (stanovení obsahu nekovových vměstků) a makročistota.	<p>Průvodním jevem při výrobě oceli je vznik nekovových vměstků jako důsledek chemických reakcí v průběhu ocelárenského procesu. Ocel prostá vměstků neexistuje. Vměstky nejsou viditelné pouhým okem a zkoumají se proto pod optickým mikroskopem při mnohonásobném zvětšení (100x).</p> <p>Na rozdíl od mikroskopických vměstků mohou se v oceli vyskytovat i vměstky makroskopické, většinou jako důsledek porušení technologické kázně. Ty lze spatřit i pouhým okem nebo lupou. Případná kontrola na přítomnost makroskopických vměstků a jiných makroskopických vad je předmětem zjišťování makročistoty. Stupeň znečištění mikroskopickými vměstků se hodnotí stanovením tzv. mikročistoty. Vměstky jsou chemické sloučeniny různého složení. Stanovení se proto zaměřuje na přítomnost sulfidů, oxidů, silikátů, nitridů po př. hlinitanů.</p> <p>Metodika stanovení mikročistoty je normována. Stupeň znečištění se stanovuje buď porovnáním vzorku připraveného v metalografické laboratoři s obrázkovými etalony, nebo kvantitativně plochou, kterou vměstky v hodnocené ploše vzorku zaujímají.</p> <p>Přípustný stupeň znečištění je stanoven normou TDP nebo zvláštním požadavkem odběratele.</p> <p>Překročení přípustného obsahu může mít negativní vliv na vlastnosti oceli, přičemž působení jednotlivých typů vměstků se může lišit podle druhu oceli a způsobu namáhání výrobku.</p>
Zkouška ultrazvukem	<p>Zkouška ultrazvukem (UZK) je jedním z nedestruktivních způsobů zkoušení, kterým se zjišťuje přítomnost vnitřních vad ocelových výrobků. Může se jednat o necelistvosti, makroskopické vměstky nebo vady struktury (nehomogenity). Přístroj generuje ultrazvuk, který se pomocí sondy vyzařuje do tělesa výrobku směrem od povrchu. Narazí-li svazek vln na překážku (vadu) uvnitř materiálu, odrazí se zpět a přístroj odražené vlnění zaznamená. Intenzita odrazu je úměrná velikosti a umístění překážky. Normy pro zkoušky ultrazvukem udávají jak způsob zkoušení, tak vyhodnocování velikosti možných indikací (vad).</p> <p>Velikost a četnost vad, které zjistí přístroj, nemusí odpovídat velikosti skutečných vad v materiálu. Závisí totiž na tom, jak je vada umístěna a pod jakým úhlem na ní svazek vlnění dopadá. Skutečný stav lze zjistit pouze na řezu v místě indikace.</p> <p>Při objednání UZK je vždy třeba dohodnout přípustný rozsah indikací a způsob provedení zkoušky nejlépe odkazem na příslušnou normu.</p>
Zjišťování povrchových vad	<p>Povrch tvářeného výrobku není nikdy dokonalý. Na povrchu se mohou vyskytovat necelistvosti (i charakteru trhlin), které jsou na závadu dalšímu zpracování a mohou být přeneseny i na hotový výrobek. Přípustnou hloubku vadurčuje uživatel podle zamýšleného způsobu zpracování (obrábění, tváření za tepla, tváření za studena) a podle požadavků na hotový výrobek. Odstraňování povrchových vad (místním vybrušováním nebo vysekáváním) je přípustné pouze se souhlasem odběratele.</p> <p>Výrobci kontrolují materiál většinou na zařízeních, která jsou začleněna do systému závěrečné kontroly výrobku (defektoskopické linky). Zjišťování vad se děje nejčastěji na principu generování vířivých proudů indukujících elektromagnetické pole, které v místě vady vykazuje anomální chování. Součástí defektoskopických linek bývají i přístroje k provádění UZK. Pro zjišťování povrchových vad se používají i jiné metody, např. magnetoskopická. Výrobek se zmagnetuje a polévá kapalinou obsahující feromagnetické částice. Ty se v místě vady nakumulují a zviditelní vadu. Další metodou je kapilární defektoskopie. Pomocí barevných kapalin, které se vsakují v místě vady a zvýrazňují na bílém podkladě se indikuje vada. Posledně jmenované metody se hodí spíše pro finální kontrolu povrchu strojních dílů.</p> <p>Odběratel stanovuje přípustnou hloubku vad odkazem na normu, nebo uvede specifický požadavek. U tyčí a polotovárů ke kování se obvykle požaduje hloubka vad max. 0,3 mm. Pro nejnáročnější případy, např. objemové tváření za studena se dodává materiál opracovaný (loupaný).</p>

Tepelné zpracování

Vedle tepelného zpracování, které provádí výrobce, norma popisuje doporučené podmínky pro tepelné zpracování výrobků po cementaci a tepelné zpracování zkušebních vzorků.

Podmínky tepelného zpracování pro docílení vlastností ocelí v dodávaném, stavu volí výrobce. Pro uživatele jsou důležité doporučené podmínky pro vlastní nauhličování a následné kalení a popuštění. Způsob a podmínky nauhličování určují hloubku a vlastnosti cementované vrstvy před kalením. Způsob a podmínky kalení rozhodují o vlastnostech cementované vrstvy a mechanických hodnotách jádra. Cementovaná vrstva s vysokým obsahem C vyžaduje jiné podmínky pro zakalení než jádro s nízkým obsahem C. Proto se doporučuje provádět kalení na povrch a na jádro při různých teplotách (dvojitě kalení). V některých případech je však možno kalit přímo z teploty cementace (jednoduché kalení).

Teplota cementace závisí na chemickém složení oceli, tvaru a hmotnosti výrobku a způsobu cementace (cementace v ochranné atmosféře nebo ve vakuu).

Tepelné zpracování zkušebních vzorků se především týká podmínek pro provedení zkoušky prokalitelnosti, referenčního zkoušení pro stanovení velikosti austenitického zrna a dříve též tepelného zpracování referenčních vzorků pro stanovení mechanických hodnot.

Nejčastěji používané značky ocelí k cementování.

EN ISO 683-3	Číselné označení ¹⁾	DIN 17 210	ČSN
C15E (C15R)	1.1141 (1.1140)	Ck15 (Cm15)	12 023
16MnCr5 (16MnCrS5)	1.7131 (1.7139)	16MnCr5 (16MnCrS5)	14 220
17CrNi6-6	1.5918		
15NiCr13	1.5752		16 420
20NiCrMo2-2 (20NiCrMoS2-2)	1.6523 (1.6526)	21NiCrMo2 (21NiCrMoS2)	
18CrNiMo7-6	1.6587	17CrNiMo6	

¹⁾ Číselné označení již není součástí EN ISO 683-3.