

Autor cvičení: Ing. Petr Lišutín, Ing. Lubomír Stránský, CSc.

Kalitelnost lze definovat jako schopnost slitiny dosáhnout nerovnovážného stavu ochlazením z určité tzv. kalící teploty. Cílem kalení ocelí je získat bezdifúzní přeměnou austenitu nerovnovážnou strukturu, jejíž hlavní složkou je martenzit. Aby bylo možné charakterizovat chování ocelí při kalení, byly zavedeny pojmy zakalitelnost a prokalitelnost.

Zakalitelnost je dána maximální tvrdostí martenzitu dosaženou při kalení nadkritickou rychlostí, která závisí zejména na obsahu uhlíku (obr.1). Skutečná tvrdost oceli po zakalení však závisí také na obsahu zbytkového austenitu jehož obsah ovlivňuje množství přísadových prvků, velikost austenitického zrna i podmínky ochlazování. Pro praktické účely samo kritérium zakalitelnosti nepostačuje, neboť vždy jde o kalení předmětů o určitých, velmi rozmanitých rozměrech. Vliv tohoto velikostního faktoru vyjadřuje pojem prokalitelnosti, který je složitější, ale také významnější.

Prokalitelnost se označuje schopnost oceli získat po zakalení tvrdost, odpovídající její zakalitelnosti (anebo určité smluvní hodnotě z ní odvozené) v uvažované hloubce pod ochlazovaným povrchem kalného předmětu. Závisí na vztahu mezi kritickou rychlostí kalení dané oceli v_k (materiálová charakteristika) a skutečnou rychlostí ochlazování uvažované vrstvy. Při kalení válcového ocelového tělesa do předepsaného kalícího prostředí se ochlazuje jeho povrch velmi intenzívně přímým stykem s kalícím prostředím. Válcové plochy pod povrchem tělíska jsou ochlazovány vedením tepla povrchovými vrstvami a jejich rychlost ochlazování klesá se zmenšujícím se průměrem uvažované vrstvy. V jisté hloubce pod povrchem, je skutečná ochlazovací rychlost rovná kritické rychlosti v_k dané oceli. Z praktických důvodů se prokalitelnost vztahuje obvykle k tvorbě martenzitu.

Poznámka:

Pojem prokalitelnosti lze vztahovat nejen na anizotermické zušlechťování, spočívající v rozpadu martenzitu na sorbit při popouštění, ale také na izotermické zušlechťování, založené na řízeném rozpadu přechlazeného austenitu na bainit. Skutečná rychlost ochlazování uvažovaného objemu musí být taková, aby ochlazením austenitu se vytvořil buď martenzit, nebo bainit.

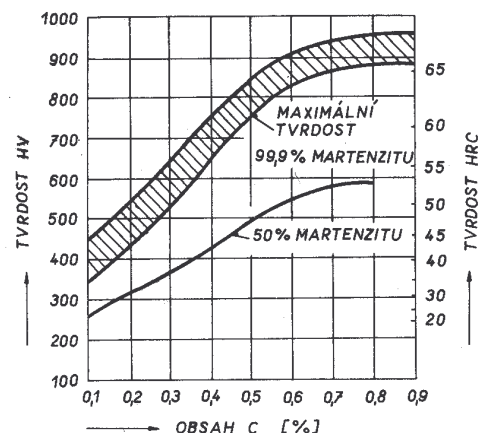
Za prokalenou se obvykle považuje vrstva, která dosáhne tvrdosti odpovídající struktuře s 50 % martenzitu. Prokalitelnost lze zjistit nepřímo z tvrdosti. Prakticky postupujeme tak, že odečteme z diagramu na obr.1 tvrdost odpovídající struktuře 50% martenzitu pro daný obsah uhlíku a zjišťujeme do jaké vzdálenosti od povrchu má dílec vyšší tvrdost než je hodnota odečtená z diagramu.

Prokalitelnost je ovlivněna:

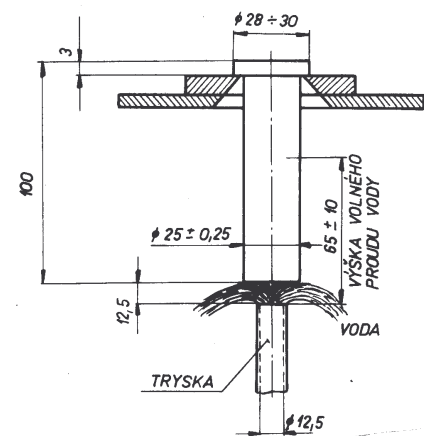
Velikostí zrna austenitu – se stoupající velikostí zrn austenitu se prokalitelnost zvyšuje (difúzní rozpad austenitu začíná na hranicích zrn austenitu, martenzitická přeměna je bezdifúzní). Prakticky lze však tohoto zvýšení prokalitelnosti těžko využít, neboť hrubozrnný martenzit má horší mechanické vlastnosti.

Rychlostí ochlazování - s rostoucí ochlazovací intenzitou kalícího prostředí se zvětšuje hloubka prokalení.

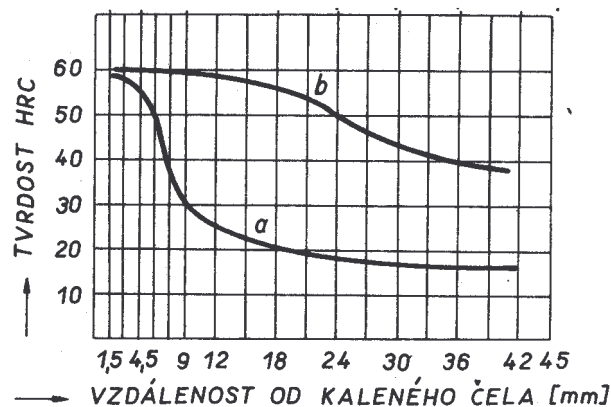
Chemickým složením oceli - legující prvky, které posouvají diagram ARA a IRA doprava prokalitelnost zvyšují, prvky, které je posouvají doleva, prokalitelnost snižují. U konstrukčních ocelí zvyšují prokalitelnost Mn, Cr, Mo, Ni, Si a C. Pokud tvoří přísadové prvky karbidy, zvyšuje prokalitelnost pouze ta část prvku, která přejde při austenitizaci do tuhého roztoku, nerozpuštěné karbidy působí jako krystalizační zárodky, usnadňují rozpad austenitu a snižují prokalitelnost.



Obr.1 Vliv uhlíku na tvrdost mikrostruktury se 100% a 50% martenzitu.



Obr. 2 Uspořádání zkoušky prokalitelnosti.



Obr.3 Křivka prokalitelnosti oceli

- a) – mírně prokalující
- b) – silně prokalující.

Z praktických zkoušek se ustálila čelní zkouška prokalitelnosti, tzv. Jominyho zkouška (viz. ČSN 420447 – Zkouška prokalitelnosti ocelí).

Při zjišťování prokalitelnosti se podle této zkoušky postupuje takto: váleček o stanovených rozměrech (obr.2) se ohřeje na austenitizační teplotu, na které se ponechá 30 minut. Poté se vloží do kalícího přípravku tak rychle, aby doba mezi vyjmutím z pece a zavěšením v přípravku byla max. 5 s (obr.2). V přípravku se ochlazuje na čele proudem vody o teplotě 5 až 30 °C až do vychladnutí (nejméně však po dobu 10 minut). Tlak vody musí být seřízen tak, aby proud volně tryskal do výšky 65 ± 10 mm nad ústí trysky o vnitřním průměru 12,5 mm. Po ochlazení válečku se na válcové části vybrousí po celé délce dvě plochy, každá do hloubky 0,4 až 0,5 mm, na kterých se změří tvrdost (HRC nebo HV) ve vzdálenostech (1,5; 3; 5; 7; 9; 11; 13; 15) mm od ochlazovaného čela a dále po 5 mm. Tvrdosti se vynesou do diagramu tvrdost - vzdálenost od čela (označovaná symbolem a) a výsledkem měření je **křivka prokalitelnosti** (obr.3).

Ke srovnání různých ocelí se používá index prokalitelnosti J , který udává vzdálenost od ochlazovaného čela Jominyho zkoušky, na níž má být dosažena určitá tvrdost. Index je složen z písmene J a dvou skupin číslic udávajících tvrdost (HRC, HV) a vzdálenost od kaleného čela (d - v mm): **$JHRC - d$ nebo $JHV - d$** .

Příklad označování:

$J 45 - 6/18$ -> ocel dosahuje tvrdosti 45 HRC v kterémkoliv místě ve vzdálenosti 6 až 18 mm od kaleného čela,

$J 35/48 - 15$ -> ocel dosahuje tvrdosti 35 až 48 HRC ve vzdálenosti 15 mm od kaleného čela,

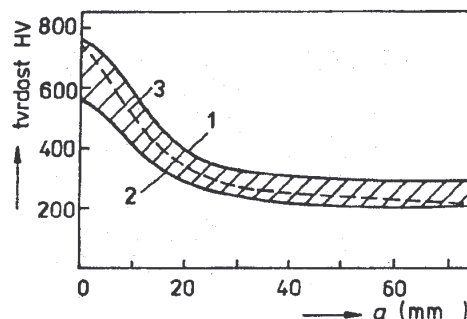
$J 35 - 15$ -> ocel dosahuje tvrdosti 35 HRC ve vzdálenosti 15 mm od kaleného čela.

Protože je chemické složení každé oceli vymezeno určitými hranicemi, není prokalitelnost ocelí různých taveb téhož materiálového listu stejná a zkoušku je nutno několikrát opakovat. Minimální a maximální naměřené hodnoty tvrdostí udávají potom tzv. **pás prokalitelnosti**. Jako příklad je uveden na obr.4 pás prokalitelnosti oceli ČSN 14 240.

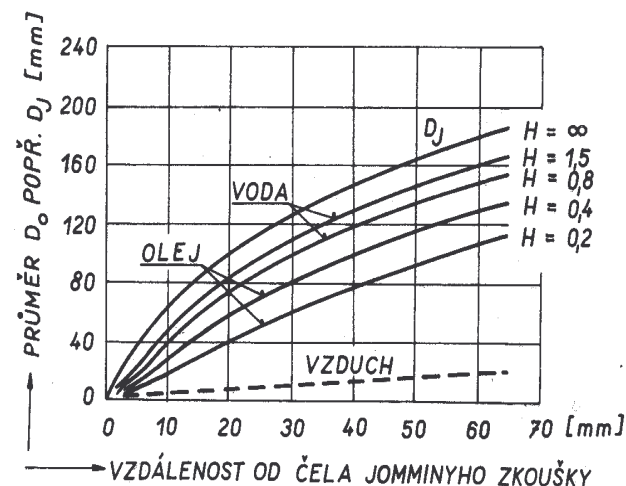
Pro praktické použití je nutné převést hodnoty zjištěné Jominyho zkouškou na D_0 (resp. na ideální kritický průměr D_k , který udává průměr vzorku oceli o kruhovém průřezu, ve kterém při kalení nekonečnou rychlostí ($H = \infty$) vznikne v jádře struktura obsahující 50 % martenzitu). Pokud má dílec **tvár válečku**, je možné **odhadnout** konkrétní prokalený průměr D_0 pomocí diagramu na obr.5, který byl sestaven pro 50% martenzitu ve struktuře a různá ochlazovací prostředí..

Postup:

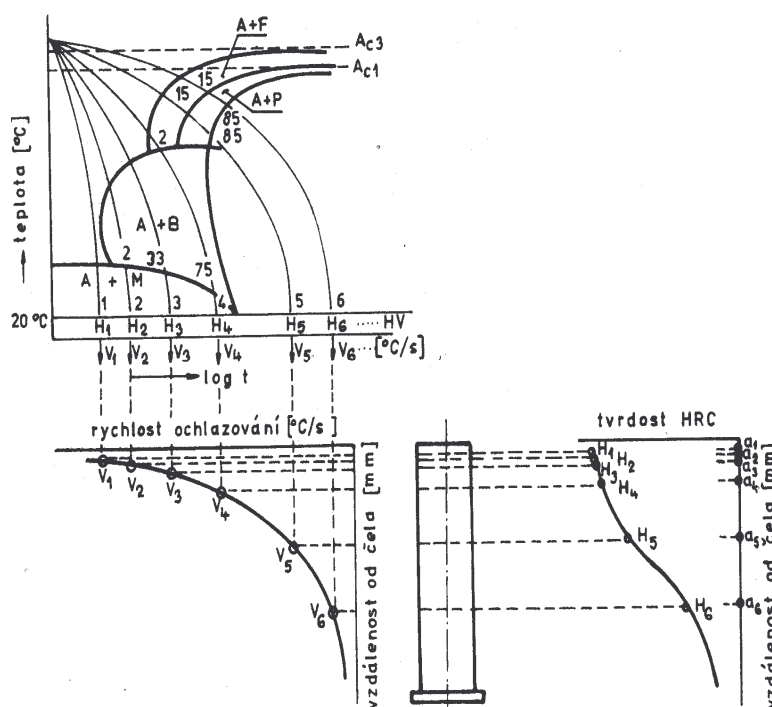
Z obr.1 se odečte tvrdost, kterou má mít ocel o zvoleném obsahu uhlíku pro 50% martenzitu ve struktuře. Čelní zkouškou prokalitelnosti se zjistí vzdálenost od ochlazovaného čela (označovaná a), na které byla naměřena stejná tvrdost a z diagramu na obr.5 se pro tuto vzdálenost a dané ochlazovací prostředí odečte D_0 , případně i D_k .



Obr.4 Pás prokalitelnosti oceli 14 240
1,2 – hranice pásu prokalitelnosti,
3 – konkrétní křivka prokalitelnosti.



Obr.5 Stanovení D_0 a D_k (zde D_j) ze vzdálenosti a od kaleného čela pro různé intenzity ochlazování H .



Obr.6 Souvislost mezi diagramem ARA, rychlostí ochlazování a křivkou ochlazování u podeutektoidní oceli.