

Metody měření tvrdosti a použití pro spojovací materiály

White Paper

Metody měření tvrdosti a použití pro spojovací materiály

od Francis Khoo

Assembly Technology Expert
Bossard Asia Pacific

www.bossard.com

Všechna práva vyhrazena © 2020 Bossard

Uvedená doporučení a rady musí být čtenářem v praxi náležitě zkontrolována a pro konkrétní aplikaci musí být schválena jako vhodná. Změny vyhrazeny.



ASSEMBLY
TECHNOLOGY
EXPERT

METODY MĚŘENÍ TVRDOSTI A POUŽITÍ PRO SPOJOVACÍ MATERIÁLY

Úvod

Oblast měření tvrdosti je velmi vyspělá technologie.

Tento dokument pojednává o měřicích metodách tvrdosti a použití pro spojovací materiály. Nezabývá se dynamickou tvrdostí, kompatibilitou mezi tvrdostí a silou v tahu nebo výslednou tvrdostí vztahující se k rozdílným procesům tepelného zpracování.

Tento dokument poskytuje krátký pohled na převládající praktiky v průmyslu spojovacích materiálů. A sdílí zkušenosti v naději, že výsledky tvrdosti materiálů budou používány odpovídajícím způsobem.

METODY MĚŘENÍ TVRDOSTI A POUŽITÍ PRO SPOJOVACÍ MATERIÁLY

Tvrdość

Tvrdość je odolnořt materiálu vůči trvalé deformaci nebo vnikání tělesa do povrchu. Existuje několik metod měření tvrdosti používajících různé varianty vnikání těles, které poskytují hodnoty tvrdosti materiálu.

Historicky, popularitu zkoušek tvrdosti odstartoval začátek automobilového průmyslu. Výhodou zkoušek tvrdosti je možnost rychlého a snadného zkoušení hotových dílů, protože se jedná o nedestruktivní zkoušky a lze zkoušet téměř každý tvar a velikost vzorku. Dalším důvodem je, že náklady na zkoušení tvrdosti jsou relativně levné.

Mechanické zkoušky tvrdosti využívají specificky tvarovaného vlačovacího tělířka, značně tvrdšího než je zkušební vzorek, které je předepsanou silou vlačováno do povrchu. Měřením buď hloubky nebo velikosti vtisku se určuje hodnota tvrdosti v závislosti na použité metodě.

Zkouška tvrdosti se běžně používá v procesu tepelné úpravy k určení vlastností výrobku.

Existují 2 hlavní metody zkoušek tvrdosti.

1. Známa nebo konstantní síla způsobující měřitelný výsledný vtisk nebo hloubku
2. Proměnná síla způsobující konstantní vtisk nebo hloubku

Existuje několik hlavních stupnic tvrdosti:

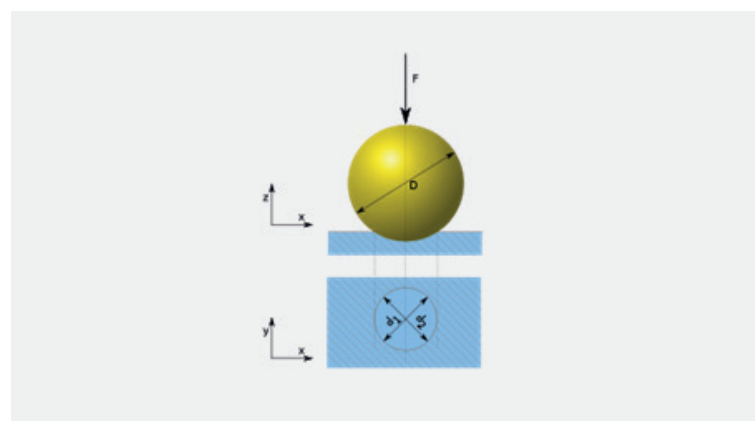
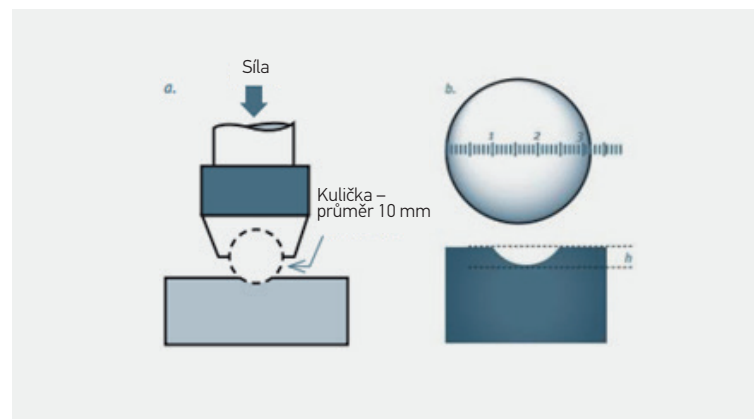
- Brinell - HB
- Rockwell - HR
- Vickers - HV

Každá zahrnuje použití specificky tvarovaného diamantového, karbidového nebo kaleného ocelového vtláčovacího tělíska vtláčovaného do materiálu známou silou pomocí definovaného zkušební postupu. Hodnoty tvrdosti se určují měřením buď hloubky průřezu vtláčovacího tělíska nebo velikosti výsledného vtisku – čím menší vtisk, tím tvrdší materiály, tím vyšší číslo tvrdosti. Hodnoty tvrdosti musí být také označeny správným symbolem stupnice tvrdosti HB, HK, HR, atd.

Převodní tabulky tvrdosti jsou dostupné s empirickými vztahy mezi známými metodami měření tvrdosti, v určitých bodech interpolované. V převodních tabulkách tvrdosti, na rozdíl od převodu z palcových na metrické jednotky, není mezi jednotkami tvrdosti žádný přímý matematický vztah. Používejte stanovenou metodu. Převodní tabulky musí být použity jako nouzové řešení a s opatrností. Níže uvedený popis jednotlivých metod pomůže toto téma osvětlit.

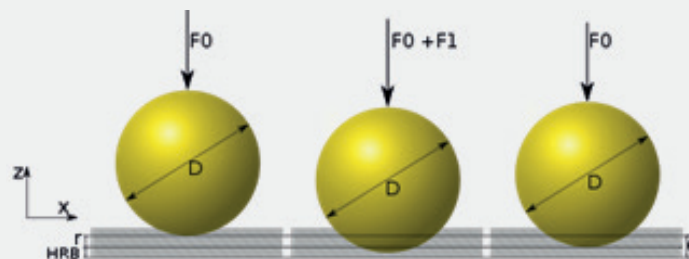
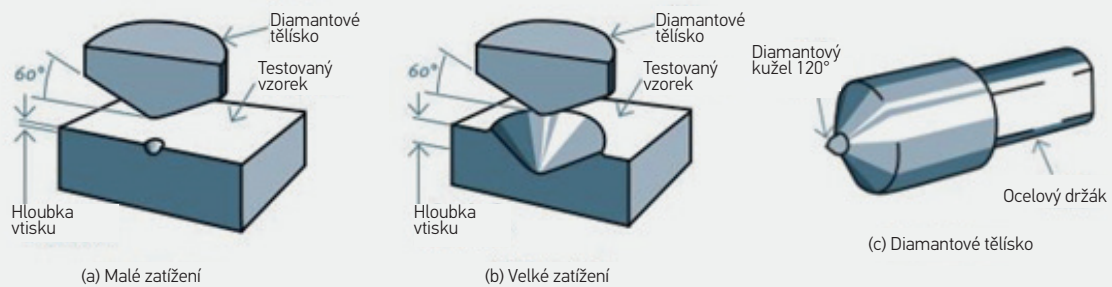
Zkouška podle Brinella pomocí kuličky byla nejoblíbenější na začátku dvacátého století. Tato metoda spočívá ve vtláčování tvrdé kuličky do materiálu při známém zatížení. Různá měření tvrdosti jsou závislá na metodě a každý výsledek zkoušky musí mít štítek uvádějící použitou zkušební metodu. Příkladem tradiční specifikace tvrdosti podle Brinella je HB50. Výsledná kulička se známou silou způsobující vtisk je pak změřena a je určena tvrdost. Současný nový standard je například 600 HBW 1/30/15 podle EN ISO 6506-1, kde

600	hodnota tvrdosti podle Brinella
HB	symbol tvrdosti podle Brinella
W	typ vtláčovacího tělíska; karbid wolframu
1	průměr kuličky v mm
30	kg působící síla
15	Trvání zkušební síly v sekundách



Zkouška tvrdosti podle Rockwella aplikuje počáteční mírné zatížení následované silnějším zatížením se známou dobou trvání pomocí vtlačovacího tělíska. Po odstranění silnějšího zatížení s pokračováním mírného zatížení představuje rozdíl hloubek číslo tvrdosti podle Rockwella. Většina materiálů je v rozsahu stupnice Rockwell B (vtlačovací kulička) a C (vtlačovací kužel). Běžný údaj pro tvrdost podle Rockwella je například 60HRBW podle EN ISO 6508-1

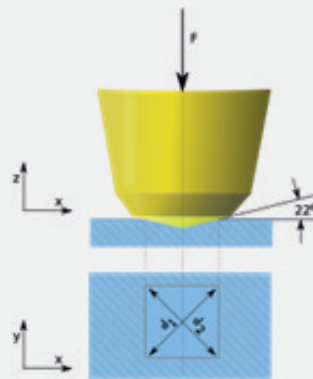
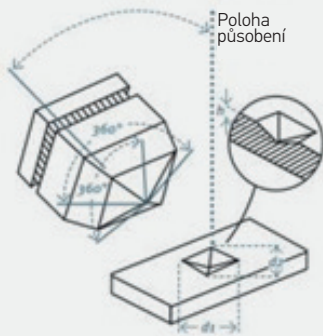
60	hodnota tvrdosti podle Rockwella
HR	symbol tvrdosti podle Rockwella
B	symbol stupnice Rockwella
W	typ kuličky, S pro ocel a W pro wolfram



Metody měření tvrdosti Vickers a Micro Vickers využívají jehlanové vtláčovací tělísko se čtvercovým profilem. Metoda Micro Vickers je navržena pro používání na malých a omezených plochách. Metoda podle Vickerse se používá jako referenční tam, kde se ve výsledcích tvrdosti vyskytuje rozpor.

Označení tvrdosti podle Vickerse podle EN ISO 6507-1 je například 640HV30/10, kde

640	hodnota tvrdosti podle Vickerse
HV	symbol tvrdosti podle Vickerse
30	kg působící síla
10	doba trvání v sekundách



METODY MĚŘENÍ TVRDOSTI A POUŽITÍ PRO SPOJOVACÍ MATERIÁLY

Příprava pro zkoušku tvrdosti

Pro získání konzistentních výsledků musí být při přípravě zkoušky tvrdosti dodrženy následující body.

1. Očistěte zkušební povrch.
2. Vyleštěte povrch, kde je to možné a nezbytné pro metodu Micro Vickers.
3. Povrch zkušební vzorku by měl mít kolmou polohu na vtlačovací tělísko.
4. Zvolte správné zatížení pro zkušební vzorek. Čím větší vtisk, tím přesnější výsledky.
5. Vtisky nesmí být příliš blízko okraje. Výsledky nebudou přesné nebo konzistentní, pokud budou vtisky příliš blízko okrajů.
6. Pozornost musí být věnována tenkým zkušebním vzorkům. Zvolte vhodnou zkušební metodu a zatížení.

METODY MĚŘENÍ TVRDOSTI A POUŽITÍ PRO SPOJOVACÍ MATERIÁLY

Zkouška tvrdosti spojovacích materiálů a vybavení

Níže jsou čtyři typy spojovacích materiálů, zvolených jako příklady pro charakterizování tvrdosti, použity jako součást kvalitativní reference během výroby a použity koncovými uživateli.

Výrobní proces spojovacích materiálů

Níže jsou uvedeny všeobecně použitelné výrobní procesy většiny spojovacích materiálů. Nejsou zde pouze uvedeny mezioperační kontroly. Téměř všechny spojovací materiály procházejí stejnými procesy s malými rozdíly v závislosti na surovém materiálu, konečném typu výrobku a předpokládaném použití.

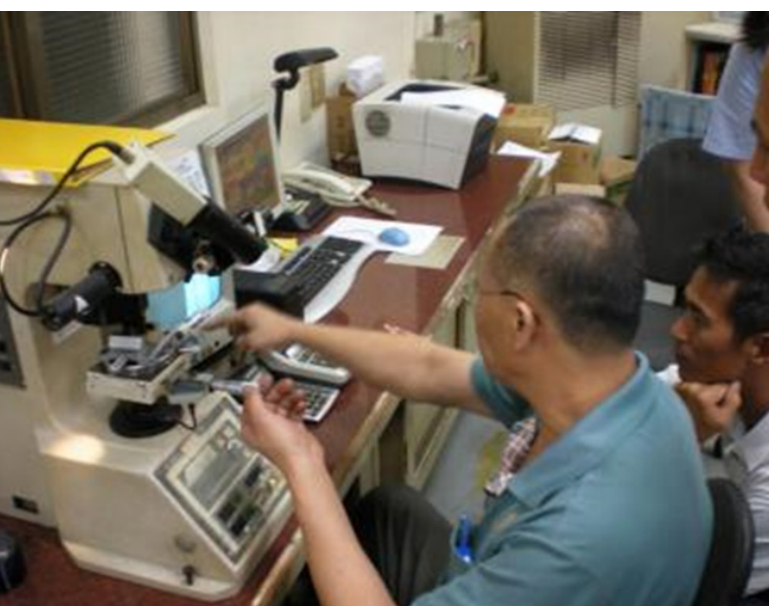
1. Surový materiál a jeho kontrola.
2. Tváření hlav.
3. Válcování závitů.
4. Tepelné zpracování.
5. Povrchová úprava.
6. Konečná zkouška jakosti.
7. Balení.



Při tepelném zpracování je zkouška tvrdosti hlavní zkouškou prováděnou pro řízení procesu a výstup výrobku. Pro příchozí surový materiál je nutné provádět občas kontrolu tvrdosti, zvláště v případě vysokopevnostních spojovacích materiálů. Zkoušku tvrdosti vyžadují i některé povrchové úpravy. Správně zvolená metoda měření tvrdosti závisí na typu výrobku. Často používaná je zkouška tvrdosti podle Rockwella hlavně pro její nedestruktivní charakter, jednoduchost a rychlé výsledky.

Tepelné zpracování spojovacího materiálu je často prováděno před konečným dokončením výrobku, například elektrolytické pokovování, zinkové vložky (Geomet, ...) , žárové zinkování, atd.

Pro dokončení výrobku, který vyžaduje tepelné zpracování k dosažení požadovaných mechanických vlastností, je nutné správně řídit tok tepla během procesu. Zkoušky tvrdosti proto mohou být používány jako kontrolní nástroj procesu.



Šrouby

ISO 898 je jedna z rozsáhlejších norem, zabývající se především metrickými šrouby, pro určování spolehlivosti spojovacího materiálu, jak pro výrobce, tak pro koncové uživatele. Má nejméně 19 charakteristik, které musí být určeny. Zkoušky tvrdosti mají až 7 těchto charakteristik, včetně určení vad nauhličení a oduhlčení pro stoupání závitů stejné nebo větší než 1,25 mm. Průmysloví uživatelé používající tuto normu mají zájem, aby homogenita tvrdosti byla určena nebo definována rozdílem tvrdosti jádra a tvrdosti povrchu maximálně 30 podle Vickerse.

Tabulka 3 – Mechanické nebo fyzikální vlastnosti šroubů a svorníků

Č.	Mechanická nebo fyzikální vlastnost	Třída pevnosti													
		4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	8.8	9.8	10.9	12.9				
							d ≤ 16 mm ²	d > 16 mm ²	d ≤ 16 mm						
1	Pevnost v tahu, R_{m} , MPa	nom. ^c	400		500		600		800		900		1 000		1 220
		min.	400	420	500	520	600	800	830	900	1 040	1 220			
2	Spodní mez kluzu, R_{oL} , MPa	nom. ^c	240	---	300	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
		min.	240	---	300	---	---	---	---	---	---	---	---		
3	Namáhání při 0,2 % prodloužení, $R_{p0,2}$, MPa	nom. ^c	---	---	---	---	---	640	640	720	900	1 080			
		min.	---	---	---	---	---	640	660	720	940	1 100			
4	Namáhání při 0,0048d prodloužení po celé délce spojovacího materiálu, R_{pf} , MPa	nom. ^c	---	320	---	400	480	---	---	---	---	---			
		min.	---	340 ^e	---	420 ^e	480 ^e	---	---	---	---	---			
5	Namáhání při zkušební zatížení, S_p^f , MPa	nom.	225	310	280	380	440	580	600	650	830	970			
		Poměr meze kluzu: $\frac{S_{p,nom}}{S_{oL,min}} \cdot \frac{J_R}{J_{oL,min}}$ or $\frac{S_{p,nom}}{S_{p0,2,min}} \cdot \frac{J_R}{J_{p0,2,min}}$ or $\frac{S_{p,nom}}{S_{pf,min}} \cdot \frac{J_R}{J_{pf,min}}$	---	0,94	0,91	0,93	0,90	0,92	0,91	0,91	0,90	0,88	0,88		
6	Procentní prodloužení po lomu pro obráběné zkušební vzorky, A, %	min.	22	---	20	---	---	12	12	10	9	8			
7	Procentní snížení plochy po lomu pro obráběné zkušební vzorky, Z, %	min.	---	---	---	---	---	52	48	48	44				

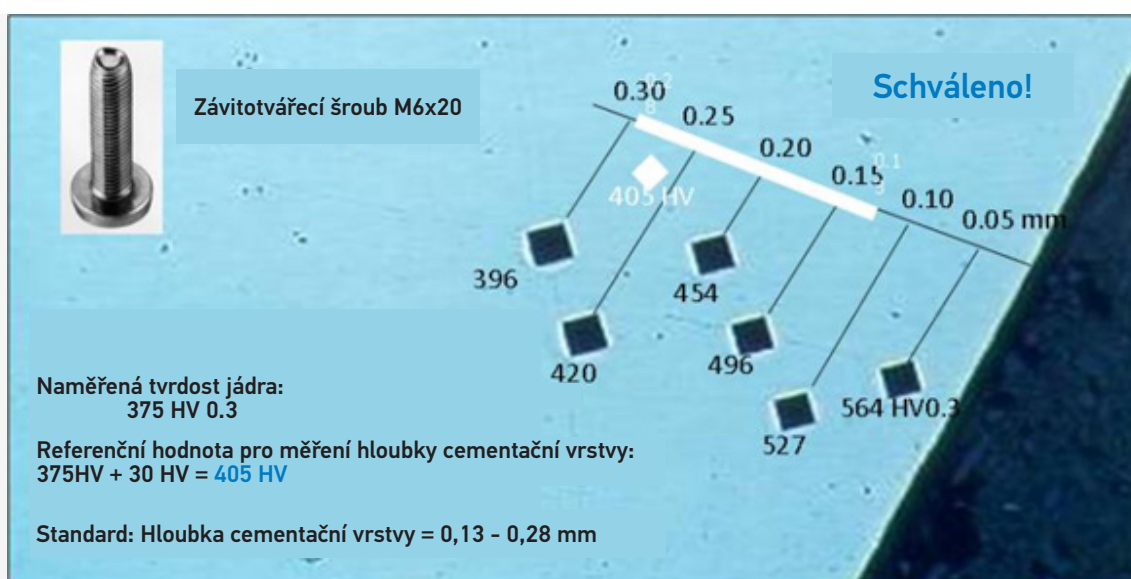
Č.	Mechanická nebo fyzikální vlastnost		Třída pevnosti									
			4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	8.8	9.8	10.9	12.9
								d ≤ 16 mm ²	d > 16 mm ²	d ≤ 16 mm		
8	Prodloužení po lomu po celé délce spoj. materiálu, A ₁ (viz také přílohu C)	min.	---	0,24	---	0,22	0,20	---	---	---	---	---
9	Tvrdość na hlavě	---	Žádný lom									
10	Tvrdość podle Vickerse, HV F _≥ 98N	min.	120	130	155	160	190	250	255	290	320	385
		max.	220 ^a				250	320	335	360	380	435
11	Tvrdość podle Brinella, HBW F=30fx ²	min.	114	124	147	152	181	245	250	285	316	380
		max.	209 ^a				238	316	331	355	375	429
12	Tvrdość podle Rockwella, HRB	min.	67	71	79	82	89	---	---	---	---	---
		max.	95,0 ^a				99,5	---	---	---	---	---
12	Tvrdość podle Rockwella, HRC	min.	---	---	---	---	---	22	23	28	32	39
		max.	---	---	---	---	---	32	34	37	39	44
13	Tvrdość povrchu, HV 0,3	max.	---	---	---	---	---	---	---	---	390	435
14	Žádné nahuštění, HV 0,3	max.	---	---	---	---	---	h		h	h	
15	Výška neoduhlčené oblasti závitů, E, mm	min.	---	---	---	---	---	¹ / ₂ H ₁		² / ₃ H ₁	³ / ₄ H ₁	
	Hloubka úplného oduhčení v závitech, G, mm	max.	---	---	---	---	---	0,015				
16	Moment při přetržení, Af _g , Nm	min.	---	---	---	---	---	podle ISO 896-7				
17	Rázová pevnost, K _g ^U , J	min.	---	---	27	---	---	27	27	27	27	k
18	Neporušenost povrchu podle	---	ISO 6157-1 ¹									ISO 6157-3

Závitotvářecí šrouby

V případě závitotvářecích šroubů jsou mechanické zkoušky pevnosti mírně odlišné od standardních šroubů a matic. Platí ISO 7085. Klíčovým rozdílem je nutnost měření tvrdosti. Závitotvářecí šrouby jsou totiž na povrchu cementovány. To vyžaduje více příprav a procesů ve výrobě.

Tabulka 2 – Mechanické vlastnosti

Vlastnosti	Podbod/tabulka	Odkaz na zkoušku
Tvrdość jádra	4.3	5.1
Povrchová tvrdost	4.3	5.2
Tloušťka cementační vrstvy	4.4 a tabulka 4	5.3
Pevnost v krutu	4.5 a tabulka 3	5.4
Tažnost	4.6	5.5
Řiditelnost	4.7 a tabulka 3	5.6
Zkřehnutí	4.8	5.7
Tvrdość jádra po opětovném popouštění	4.9	5.8
Zatížení tahem při přetržení	4.10 a tabulka 3	5.9



Ploché podložky

Podložky také vyžadují kontrolu tvrdosti, zvláště pro použití se šrouby s vysokou pevností v tahu. To je podle normy ISO 7089. Je nezbytně nutné, aby šrouby majícími různou pevnost byly párovány s odpovídajícími podložkami. Ztráta předpětí „měkkých“ podložek může vést ke katastrofickým následkům. To však není otázkou jakosti podložek, ale návrhu konstrukce výrobku.

Tabulka 3 - Specifikace a referenční mezinárodní normy

Materiál ^a	---	Ocel	Nerezová ocel	
	Třída ^b	---	A2 A4 F1 C1 C4	
	Mezinárodní norma	---	ISO 3506-1	
Mechanické vlastnosti	Třída tvrdosti	200 HV	300 HV ^c	200 HV
	Rozsah tvrdosti ^d	200 HV až 300 HV	300 HV až 370 HV	200 HV až 300 HV
Tolerance	Třída výrobku	A		
	Mezinárodní norma	ISO 4759-3		

Stavěcí šrouby

Funkce těchto spojovacích prvků je navržena především pro montáž do jiného dílu. Na stavěcí šrouby během jeho použití působí především tlaková síla. Pro splnění požadavku správného použití je nutné, aby byl stavěcí šroub tvrdý alespoň na jeho konci. Bylo pozorováno, že při montáži jsou v některých případech používány matice. To ale není správné použití tohoto spojovacího prvku. Stavěcí šrouby nejsou navrženy pro zatížení v tahu. Někdy tato nevhodná použití způsobí prasknutí stavěcího šroubu. To ale není v důsledku jakosti výrobku, ale nesprávným použitím.

Testování stavěcího šroubu je dle ISO 898 – 5. Zkoušený stavěcí šroub je umístěn do otvoru s vyřezaným závitem. Zkušební vzorek je pak utážen příslušným utahovacím momentem. Poté je kontrolován případný lom.

Tato zkouška ve výrobě simuluje použití stavěcího šroubu ve výrobku. Pro konstruktéry, kteří plánují tento

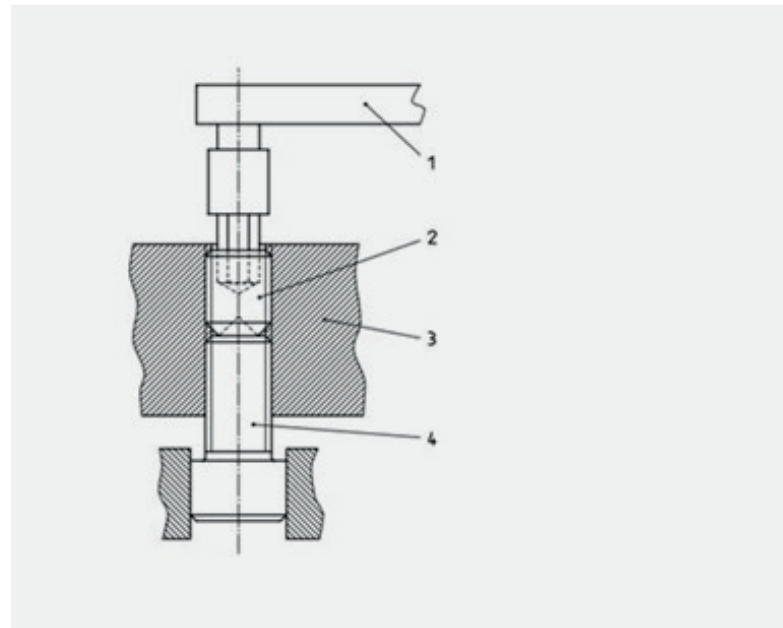


Tabulka 1 - Označení tříd vlastnictví ve vztahu k tvrdosti Vickerse

Třída vlastnictví	14H	22H	33H	45H
Tvrdost podle Vickerse, HV min.	140	220	330	450

výrobek použit, je nezbytně nutné, aby toto znali a výrobek používali odpovídajícím způsobem.

Autor se setkal s mnoha zpětnými vazbami, že použité stavěcí šrouby jsou „vadhé“. Často jsou šrouby v pořádku, ale není v pořádku použití.



Tabulka 3 – Mechanické vlastnosti

Mechanické vlastnosti		Property class ¹⁾				
		14H	22H	33H	45H	
Tvrdość podle Vickerse HV 10	---	min.	140	220	330	450
	---	max.	290	300	440	560
Tvrdość podle Brinella HB, F = 30 D ²	---	min.	133	209	314	428
	---	max.	276	285	418	532
Tvrdość podle Rockwella	HRB	min.	75	95	---	---
		max.	105	²⁾	---	---
	HRC	min.	---	²⁾	33	45
		max.	---	30	44	53
Pevność v krutu	---	---	---	---	---	see table 5
Minimální výška neoduhlčené oblasti závitů, E	---	---	---	$\frac{1}{2}H^1$	$\frac{2}{3}H^1$	$\frac{3}{4}H^1$
Maximální hloubka úplného oduhličení, G	---	mm	---	0,015	0,015	³⁾
Tvrdość povrchu HV 0,3	---	max.	---	320	450	580

Shrnutí

Jak lze vidět, zkoušky spojovacích materiálů jsou navrženy ve vztahu k jejich použití. Důležitým aspektem je správné použití spojovacích materiálů. Všechny průmyslové výrobky jsou navrženy a zkoušeny pro konkrétní použití. Znalost správného použití je rozhodující pro výslednou kvalitu výrobku. Jak ve společnosti Bossard často říkáme, nejdůležitější není nízká nebo vysoká cena spojovacích materiálů, ale volba správného spojovacího materiálu pro správné použití.

Obtížným úkolem je, kdy použít výsledky tvrdosti pro odhad například pevnosti v tahu nebo rázové pevnosti. Toto je možné pouze pro velmi omezené použití, kde jsou empirické výsledky dostupné pro omezený rozsah materiálů. Výrobci mohou mít tuto vztácnost, ale stále musí provádět nutné zkoušky podle norem.

Kontaktujte společnost Bossard nebo navštivte naše webové stránky, náš tým techniků vám bude rád k dispozici a poskytne vám nezbytné informace vedoucí k správným řešením.

Závěr

Používání metod měření tvrdosti prošlo dlouhým vývojem. Tyto metody byly integrovány do spousty procesů jako součást kontroly během výroby spojovacích materiálů.

Pro spojovací materiály jsou zkoušky tvrdosti během výroby velmi ekonomickým zkušebním postupem. Zkouška se provádí přímo na dílech, je nedestruktivní a poměrně jednoduchá. Řízení celého procesu výroby spojovacího materiálu je proto vhodnější ve srovnání s tahovou zkouškou.

Nicméně, samotná zkouška tvrdosti nespĺňuje úplně požadavky zkoušky spojovacích materiálů. Musí být doplněna dalšími zkouškami nebo zkouškami souvisejícími s použitím.

Průmyslové normy pro zkoušky tvrdosti

EN ISO 6506-1	Kovové materiály – Zkouška tvrdosti podle Brinella – Část 1: Zkušební metoda
EN ISO 6506-2	Kovové materiály – Zkouška tvrdosti podle Brinella – Část 2: Ověření a kalibrace zařízení pro zkoušky tvrdosti podle Brinella
EN ISO 6506-3	Kovové materiály – Zkouška tvrdosti podle Brinella – Část 3: Kalibrace referenčních bloků
EN ISO 6506-4	Kovové materiály – Zkouška tvrdosti podle Brinella – Část 4: Tabulka hodnot tvrdosti
ASTM E 10	Standardní metoda zkoušek tvrdosti podle Brinella pro kovové materiály
EN ISO 6507-1	Kovové materiály – Zkouška tvrdosti podle Vickerse – Část 1: Zkušební metoda
EN ISO 6507-2	Kovové materiály – Zkouška tvrdosti podle Vickerse – Část 2: Ověření zkušebních zařízení
EN ISO 6507-3	Kovové materiály – Zkouška tvrdosti podle Vickerse – Část 3: Kalibrace referenčních bloků
EN ISO 6507-4	Kovové materiály – Zkouška tvrdosti podle Vickerse – Část 4: Tabulky a hodnoty tvrdosti
ASTM E 384	Standardní metoda zkoušek tvrdosti materiálů podle Knoop a Vickerse
EN ISO 6508-1	Kovové materiály – Zkouška tvrdosti podle Rockwella – Část 1: Zkušební metoda (stupnice A, B, C, D, E, F, G, H, K, N, T)
EN ISO 6508-2	Kovové materiály – Zkouška tvrdosti podle Rockwella – Část 2: Ověření a kalibrace zkušebních zařízení (stupnice A, B, C, D, E, F, G, H, K, N, T)
EN ISO 6508-3	Kovové materiály – Zkouška tvrdosti podle Rockwella – Část 3: Kalibrace referenčních bloků (stupnice A, B, C, D, E, F, G, H, K, N, T)
EN ISO 6507-4	Kovové materiály – Zkouška tvrdosti podle Vickerse – Část 4: Tabulky a hodnoty tvrdosti
ASTM E 18	Standardní metoda zkoušek tvrdosti podle Rockwella pro kovové materiály
ISO/TR 10108	Ocel – Převod hodnot tvrdosti na hodnoty pevnosti v tahu
ISO 18265	Kovové materiály – Převod hodnot tvrdosti
ISO 14577-1	Kovové materiály – Instrumentovaná zkouška tvrdosti vtláčováním a parametry materiálů – Část 1 Zkušební metoda
ISO 14577-2	Kovové materiály – Instrumentovaná zkouška tvrdosti vtláčováním a parametry materiálů – Část 2 Ověření a kalibrace zkušebních zařízení
ISO 14577-3	Kovové materiály – Instrumentovaná zkouška tvrdosti vtláčováním a parametry materiálů – Část 3 Kalibrace referenčních bloků
ASTM E 140	Převodní tabulky standardních tvrdostí kovů mezi tvrdostí podle Brinella, tvrdostí podle Vickerse, tvrdostí podle Rockwella, povrchovou tvrdostí, tvrdostí podle Knoop, tvrdostí podle Shorea a tvrdostí podle Leebea



Pokud potřebujete více informací, navštivte prosím naše stránky www.bossard.com/cs a kontaktujte vaši nejbližší obchodní jednotku.