

Metallisk hårdhedsmåling befæstelselementer

White Paper

Metallisk hårdhedsmåling befæstelselementer

af Francis Khoo

Assembly Technology Expert
Bossard Asia Pacific

www.bossard.com



ASSEMBLY
TECHNOLOGY
EXPERT

METALLISK HÅRDHEDSMÅLING BEFÆSTELSESELEMENTER

Introduktion

Emnets hårdhed og fremgangsmåde til måling af hårdhed er, kort sagt, en fuldt udviklet teknologi

White paperet omhandler måleteknikker inden for hårdhed og deres anvendelse til befæstelseselementer. Vi vil ikke beskæftige os med dynamisk hårdhed, kompatibilitet mellem hårdhed og brudstyrke eller den resulterende hårdhed i forhold til forskellige hærdeprocesser.

Dette white paper vil give et glimt af den rådende praksis i befæstelsesindustrien og dele erfaringer i håb om, at anvendelsen af resultater for materialehårdhed vil blive brugt på en hensigtsmæssig måde.

METALLISK HÅRDHEDSMÅLING BEFÆSTELSESELEMENTER

Hårdhed

Hårdhed er et materiales modstand mod permanent deformation eller indtryk på overflader. Der er flere hårdhedsmetoder, der anvender forskellige indtryksemner, som resulterer i hårdhedsværdier for materialer.

Historisk set voksede populariteten for hårdhedsmålinger med starten af bilindustrien. Formålet er at kunne levere en konsistent kvalitet. Fordelene ved en hårdhedsmåling er, at færdige dele kan testes og anvendes - hurtigt og nemt, da det er en ikke-destruktiv test, og næsten enhver form og størrelse på emner kan testes. En anden årsag er, at hårdhedsmåling er relativt billig.

Mekaniske hårdhedsmålinger udføres med særligt udformede indtrykslegemer, der er betydelig hårdere end prøveemnet, og presses ind i overfladen på prøveemnet ved hjælp af en bestemt kraft. Enten dybden eller størrelsen på indtrykket måles for at bestemme en hårdhedsværdi, afhængigt af den anvendte metode.

En almindelig anvendelse af hårdhedstest er ved varmebehandlingsprocesser til at bestemme produkttegenskaber og til processtyring.

I den tidlige testmetode for hårdhed er der 2 væsentlige teknikker:

1. En kendt eller konstant vægt til at forårsage måling af den resulterende indtrykning eller dybde
2. Variabel vægt der giver en bestemt indtrykning eller dybde.

De mest anvendte hårdhedsskalaer er:

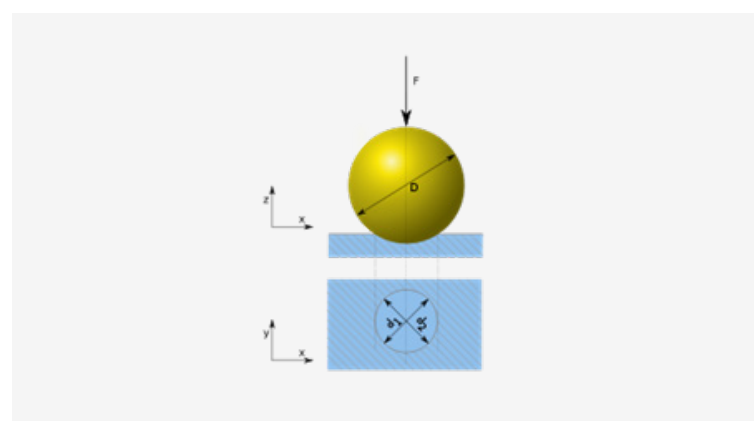
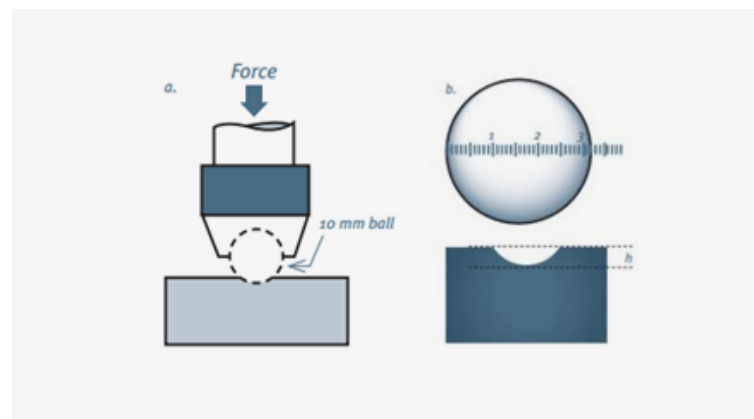
- Brinell - HB
- Rockwell - HR
- Vickers - HV

Hver af dem anvender et specielt formet indtryks-emne i diamant, hårdmetal eller hærdet stål, der presses ind i materialet med en kendt kraft og en defineret testprocedure. Hårdhedsværdierne bestemmes ved at måle enten dybden på indtryks-emnets indtrængen eller størrelsen på det deraf følgende indtryk – jo mindre indtryk, jo hårdere materialer og jo højere hårdhedsværdi. Værdierne for hårdheden skal også indberettes med symbolet fra den korrekte testskala, HB, HR, HV, o.s.v.

Konverteringsoversigter for hårdhed er tilgængelige med de empiriske relationer mellem de kendte måleteknikker for hårdhed og interpoleret ved enkelte punkter. Konverteringsoversigter for hårdhed: i modsætning til konvertering fra tommer til metriske enheder, har ingen direkte matematisk sammenhæng mellem enheder for hårdhed. Anvend den foreskrevne metode. Konverteringsoversigter skal anvendes som en sidste udvej og med forsigtighed. Forhåbentlig, vil beskrivelsen nedenfor af hver metode hjælpe til at illustrere dette.

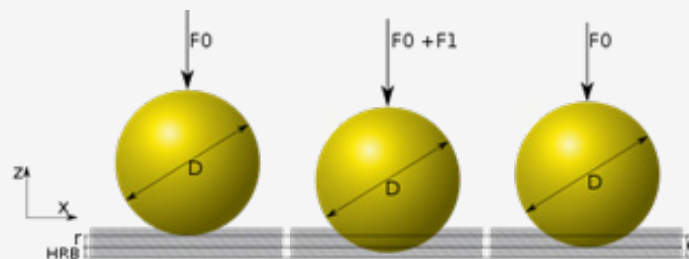
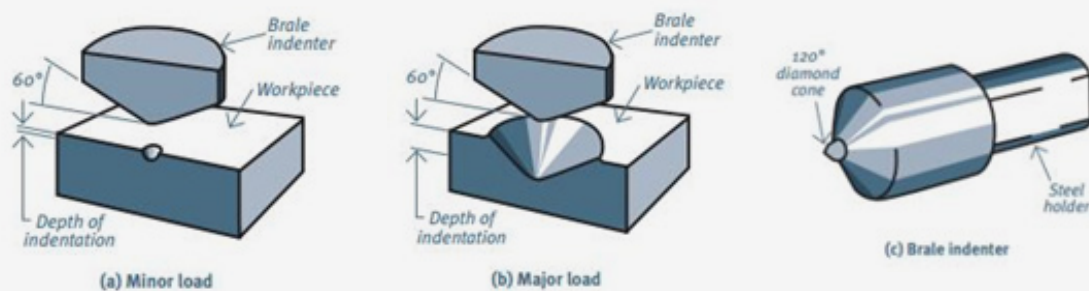
Brinell hårdhedstesten var mest populær tilbage i begyndelsen af 1900-tallet. Den anvendte teknik består i at presse en hærdet stålkugle mod materialets overflade med en kendt belastning. Forskellige hårdhedsmålinger er metodeafhængige og hvert testresultat skal have en betegnelse for at identificere den anvendte testmetode. Et eksempel på en traditionel specifikation for Brinell hårdhed er HB50. Kuglen forårsager et resulterende indtryk med en kendt kraft, hvorefter indtrykket måles og hårdheden bestemmes. For eksempel er den nuværende nye standard 600 HBW 1/30/15 ifølge ISO 6506-1, hvor:

600	Brinell hårdhedsværdi
HB	Hårdhedssymbol
W	Type indtryksemne; wolframkarbid
1	Kugle diameter i mm
30	Kgf anvendt kraft
15	Varighed af prøvekraft i sek.



Rockwell målemetoden består i, at indtryksemnet tilføres en let belastning efterfulgt af en tungere belastning af en bestemt varighed. Efter den tungere belastning er fjernet, men fortsat med let belastning, angives forskellen i dybden som Rockwell hårdhedsværdien. De fleste materialer er dækket ved hjælp af Rockwell B (kugleformet indtryksemne) og C (kegleformet indtryksemne) skalaer. For eksempel er den fremherskende reference for Rockwell hårdhed 60HRBW ifølge ISO 6508-1, hvor:

60	Rockwell hårdhedsværdi
HR	Rockwell hårdhedssymbol
B	Rockwell skalasymbol
W	Kugletype, S for stål og W for wolfram

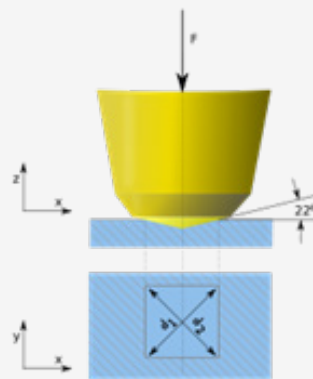
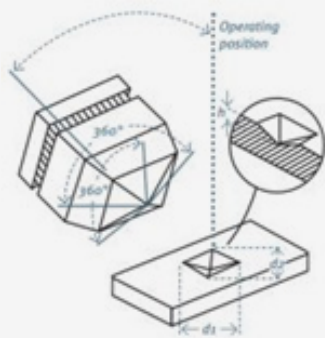


Vickers og mikro-Vickers hårdhedsmetoderne benytter et kvadratisk pyramideformet indtryksemne. Mikro-Vickers teknikken er udviklet til anvendelse på et lille eller begrænset område. F.eks. en karbureret overflade af et gear, hvor overfladen, kernen og den karboniserede tykkelse testes.

Vickers teknikken anvendes som reference, når der opstår en tvist om hårdhedsresultater.

For eksempel, er Vickers angivelsen af hårdhed 640HV30/10 ifølge ISO 6507-1, hvor:

640	Vickers hårdhedsværdi
HV	Hårdhedssymbol
30	Kgf anvendt kraft
10	Varigheden i sekunder



METALLISK HÅRDHEDSMÅLING BEFÆSTELSESELEMENTER

Forberedelse til hårdhedstest

For at opnå konsistente resultater, skal de følgende checkpunkter tages i betragtning, når du forbereder at gennemføre hårdhedstest.

1. Ren overflade på testemnet.
2. Poleret overflade på testemnet, hvor det er muligt og nødvendigt til mikro-Vickers.
3. Testoverflade placeres vinkelret på indtryksemnet.
4. Vælg den rigtige belastning til prøveemnet. Jo større fordybning, jo mere præcise resultater.
5. Lav ikke fordybninger for tæt på kanten. Resultaterne vil ikke være nøjagtige eller konsistente, hvis fordybningerne er for tætte på kanten.
6. Der skal udvises omhu ved tynde prøveemner. Vælg den relevante prøvemethode og belastning.

METALLISK HÅRDHEDSMÅLING BEFÆSTELSESELEMENTER

Hårdhedstest på befæstelseselementer

Følgende er fire vigtige befæstelseselementer, der er valgt som eksempler til at fremhæve, hvordan hårdhed anvendes som en del af den kvalitative reference under fremstilling og af slutbrugere.

Fremstillingsprocesser for befæstelseselementer

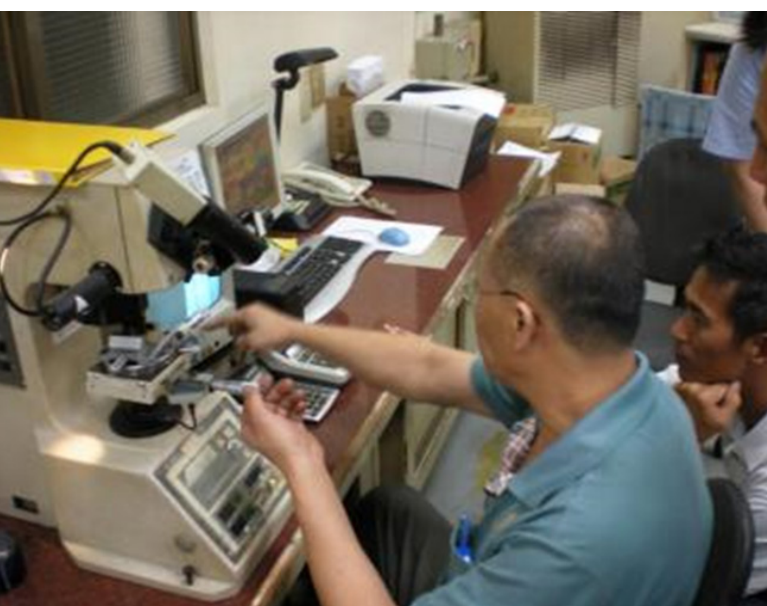
De generelle fremstillingsprocesser for de fleste befæstelseselementer er anført nedenfor, uden angivelse af procesinterne kontroller. Næsten alle befæstelser skal igennem de samme processer, med nogle mindre forskelle afhængigt af råvare, slutprodukt og anvendelsesformål.

1. Råvarer og kontrol
2. Hovedformning
3. Gevindrulning
4. Varmebehandling
5. Efterbehandling
6. Endelige kvalitetstest
7. Pakning



Hårdhedstest er den primære test der anvendes til at styre varmebehandlingsprocessen og resultatet af varmebehandlingen. Indgående råvarer kontrolleres til tider for hårdhed, specielt for højstyrke befæstelseselementer. Nogle overfladebehandlinger kræver hårdhedsmåling. Valget af den korrekte måleteknik afhænger af produkttypen. Ofte anvendes Rockwell hårdhedstest pga. den ikke-destruktive metode, enkelhed og hurtige resultater.

Varmebehandling af befæstelseselementer udføres ofte før den endelige efterbehandling af produktet, som f.eks. ved galvanisering, zinkflagebelægning, varmgalvanisering og lignende. For overfladebehandlinger der kræver varme som katalysator under processen, kan de mekaniske egenskaber for befæstelseselementerne ændre sig på grund af dårlig styring af den termiske energi under behandlingen. Hårdhedsmåling kan anvendes som et kontrolværktøj for processen.



Bolte og skruer

ISO 898 er en af de mere omfattende standarder, primært metriske skruer, til bestemmelse af pålideligheden af befæstelser både for producenter og slutbrugere. Anvendes overvejende for gennemhærdede befæstelser. Der er ikke mindre end 19 karakteristika, der skal bestemmes. Hårdhed optager 7 karakteristika, herunder bestemmelse af defekter i opkulning og afkulning af gevindstigninger $\geq 1,25$ mm. For industriens brugere der refererer til denne standard, er det interessant at bemærke, at hårdhedens ensartethed er bestemt eller defineret ved at forskellen mellem kernehårdheden og overfladehårdheden ikke må være mere end 30 Vickers hårdhed.

Table 3 - Mechanical and physical properties of bolts, screws and studs

No.	Mechanical or physical property	Property class													
		4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	8.8	9.8	10.9	12.9				
							d \leq 16 mm ²	d > 16 mm ²	d \leq 16 mm						
1	Tensile strength, 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	Lower yield strength, R_{oL}^d , MPa	nom. ^c	240	---	300	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
		min.	240	---	300	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
3	Stress at 0,2% non-proportional elongation, $R_{p0,2}$, MPa	nom. ^c	---	---	---	---	---	640	640	720	900	1 080			
		min.	---	---	---	---	---	640	660	720	940	1 100			
4	Stress at 0,0048d non-proportional elongation for full-size fasteners, R_{pf} , MPa	nom. ^c	---	320	---	400	480	---	---	---	---	---			
		min.	---	340 ^e	---	420 ^e	480 ^e	---	---	---	---	---			
5	Stress under proof load, S_p^f , MPa	nom.	225	310	280	380	440	580	600	650	830	970			
		Proof strength ratio: $\frac{S_{p,nom}}{JR_{oL,min}}$ or $\frac{S_{p,nom}}{JR_{p0,2,min}}$ or $\frac{S_{p,nom}}{JR_{pf,min}}$	---	0,94	0,91	0,93	0,90	0,92	0,91	0,91	0,90	0,88	0,88		
6	Percentage elongation after fracture for machined test pieces, A, %	min.	22	---	20	---	---	12	12	10	9	8			
7	Percentage reduction of area after fracture for machined test pieces, Z, %	min.	---	---	---	---	---	52	48	48	44				

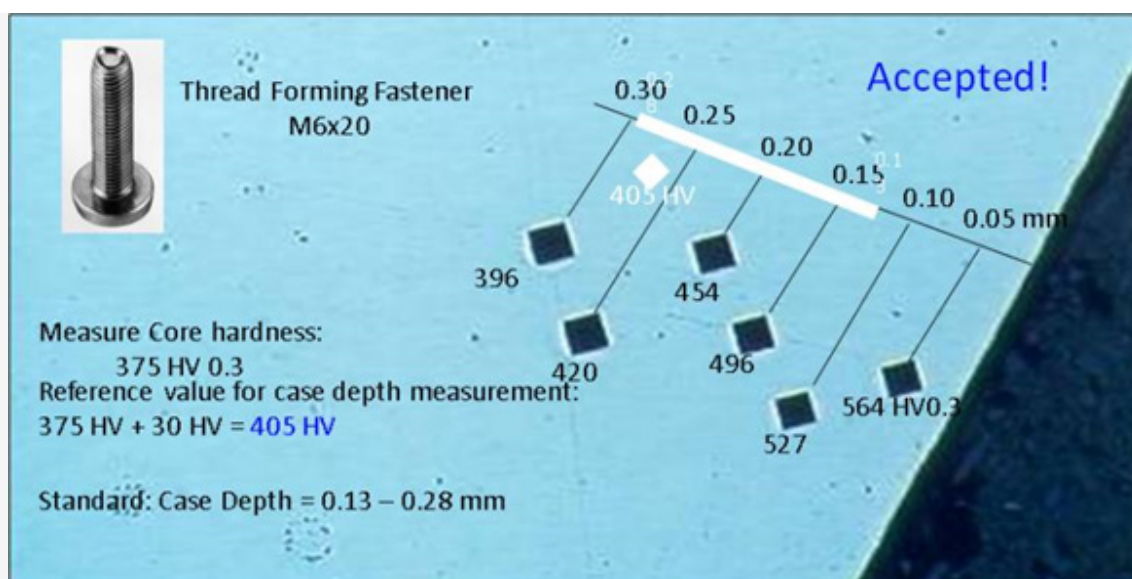
No.	Mechanical or physical property	Property class										
		4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	8.8	9.8	10.9	12.9	
							d ≤ 16 mm ²	d > 16 mm ²	d ≤ 16 mm			
8	Elongation after fracture for full size fasteners, A ₁ (see also Annex C)	min.	---	0,24	---	0,22	0,20	---	---	---	---	---
9	Head soundness	---	No fracture									
10	Vickers hardness, HV F>98N	min.	120	130	155	160	190	250	255	290	320	385
		max.	220 ⁹				250	320	335	360	380	435
11	Brinell hardness, HBW F=30fx ²	min.	114	124	147	152	181	245	250	285	316	380
		max.	209 ⁹				238	316	331	355	375	429
12	Rockwell hardness, HRB	min.	67	71	79	82	89	---	---	---	---	---
		max.	95,0 ⁹				99,5	---	---	---	---	---
	Rockwell hardness, HRC	min.	---	---	---	---	---	22	23	28	32	39
		max.	---	---	---	---	---	32	34	37	39	44
13	Surface hardness, HV 0,3	max.	---	---	---	---	---	---	---	---	390	435
14	Non-carburization, HV 0,3	max.	---	---	---	---	---	h		h	h	
15	Height of non-decarburized thread zone, E, mm	min.	---	---	---	---	---	$\frac{1}{2}H_1$		$\frac{2}{3}H_1$	$\frac{3}{4}H_1$	
	Depth of complete decarburization in the thread, G, mm	max.	---	---	---	---	---	0,015				
16	Percentage elongation after fracture for machined test pieces, A, %	max.	---	---	---	---	---	20				
17	Breaking torque, Af _g , Nm	min.	---	---	---	---	---	in accordance with ISO 896-7				

Gevindformende skruer

For gevindformende eller gevind rullende skruer, er forventningerne til testen af de mekaniske egenskaber lidt anderledes end for standard metriske bolte og møtrikker. Der refereres til ISO 7085. Den væsentligste forskel er, at hårdhedstests er nødvendige. Målinger fra indsathærdningens processer kræver mere forberedelse, da testemnerne skal dissekeres og poleres.

Table 2 - Mechanical properties

Properties	Subclause/table	Test reference
Core hardness	4.3	5.1
Case hardness	4.3	5.2
Case depth	4.4 and Table 4	5.3
Torsional strenght	4.5 and Table 3	5.4
Ductility	4.6	5.5
Driveability	4.7 and Table 3	5.6
Embrittlement	4.8	5.7
Core hardness after retempering	4.9	5.8



Almindelige eller flade skiver

Almindelige skiver kræver også hårdhedskontrol, især når de bruges sammen med bolte med høj trækstyrke. Ses under standarden ISO 7089. Det er essentielt, at der anvendes kompatible skiver til bolte af forskellige styrke. Tabet af forspænding pga. "bløde" skiver kan føre til katastrofale resultater og det relaterer ikke til kvaliteten, men til designet.

Table 3 - Specifications and International Standards of reference

Material ^a	---	Steel	Stainless steel	
	Grade ^b	---	A2 A4 F1 C1 C4	
	International Standard	---	ISO 3506-1	
Mechanical properties	Hardness class	200 HV	300 HV ^c	200 HV
	Hardness range ^d	200 HV to 300 HV	300 HV to 370 HV	200 HV to 300 HV
Tolerances	Product grade	A		
	International Standard	ISO 4759-3		

Sætskruer

Funktionen af denne type skruer er designet primært til at fastgøre et emne inde i en anden del. Således udøver sætskruen en komprimerende kraft under brug. For at opfylde kravet for anvendelsen er det nødvendigt at sætskruen er hård, i det mindste på spidsen. Det er sket at man har anvendt møtrikker sammen med sætskruer. Dette er imidlertid ikke den korrekte måde at bruge befæstelseselementet på. Sætskruen er ikke designet til trækbelastninger. Ved en sådan anvendelse, vil man kunne opleve at sætskruen knækker, ikke på grund af produktkvaliteten, men fejlagtig anvendelse.

Til vurdering af befæstelsen, testes hårdheden på skruen, samt styrken af den indvendige kær, ISO 898-5. Sætskruen er under testen placeret i et gevindhul med den indvendige kær helt omsluttet. Prøveemnet tilspændes derefter med det angivne moment. Kærven kontrolleres derefter for brud.

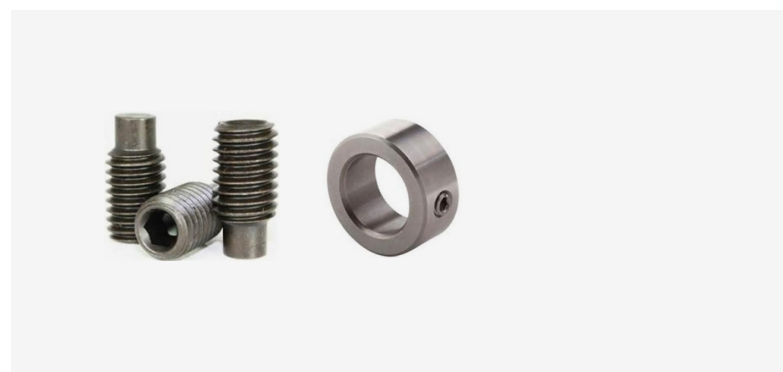


Table 1 - Designations of property classes in relation to Vickers hardness

Property class	14H	22H	33H	45H
Vickers hardness, HV min.	140	220	330	450

Ved denne test er det vigtigt, at sætskruens gevindstykke med kærv er helt omsluttet af det indvendige gevind. Denne applikationstest anvendes, som en del af produktionskontrollen, og simulere anvendelsen af befæstelsen. Det er bydende nødvendigt for designere at være bekendte med den korrekte anvendelse af dette produkt.

Forfatteren har oplevet mange feedbacks om, at de anvendte sætskruer er "defekte". Ofte er emnerne fine, men det er anvendelsen ikke. Her ville det være på sin plads at revurdere samlingen og at anvende sætskruens design korrekt.

Som en midlertidig løsning, kan en sætskrue med passende skive og møtrik, fungere som et erstatningsdesign (som et andet produkt) for en standard bolt, hvor længden af bolten endnu ikke er bestemt eller ikke er mulig. Men glem ikke at erstatte denne løsning med en rigtig bolt, når længden på boltsamlingen er bestemt.

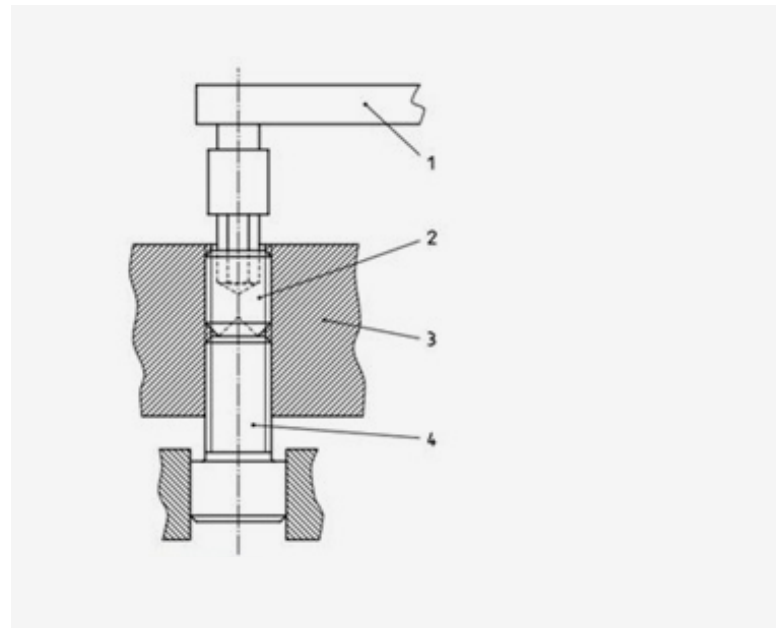


Table 3 - Mechanical properties

Mechanical properties		Property class ¹⁾				
		14H	22H	33H	45H	
Vickers hardness HV 10	---	min.	140	220	330	450
	---	max.	290	300	440	560
Brinell hardness HB, F = 30 D ²	---	min.	133	209	314	428
	---	max.	276	285	418	532
Rockwell hardness	HRB	min.	75	95	---	---
		max.	105	²⁾	---	---
	HRC	min.	---	²⁾	33	45
		max.	---	30	44	53
Torque strength	---	---	---	---	---	see table 5
Minimum height of non-decarburized thread zone, E	---	---	---	$\frac{1}{2}H^1$	$\frac{2}{3}H^1$	$\frac{3}{4}H^1$
Maximum depth of complete decarburization, G	---	mm	---	0,015	0,015	³⁾
Minimum height of non-decarburized thread zone, E	---	max.	---	320	450	580

Opsumméring

Man kan konstatere, at forventningerne til test af befæstelser er designet i forhold til anvendelsen af applikationen. Dette bør ikke være en overraskelse. Det vigtige aspekt er den korrekte anvendelse af befæstelseselementer. Alle industrielle standardprodukter er designet og testet til en specifik anvendelse. Kendskab til den korrekte anvendelse af simple befæstelseselementer, er afgørende for produktet. Som vi ofte siger hos Bossard, det er ikke hvor lav eller høj prisen på skruer er, men det at vælge den rigtige befæstelse til den rigtige anvendelse, der er den vigtige beslutning.

Udfordringerne med at bruge resultaterne af hårdhedstest, er når de forventes at blive brugt til at estimere f.eks. trækstyrken eller slagstyrken. I øjeblikket er dette kun muligt for meget få applikationer, hvor erfaringsmæssige resultater er tilgængelige for begrænsede materialer. For producenter er det muligt at have sådan en relativitet, men de nødvendige undersøgelser forventes stadig udført i overensstemmelse med standarderne.

Kontakt Bossard eller besøg vores hjemmeside. Vores tekniske team vil være glade for at samarbejde med dig og give de nødvendige oplysninger, der hjælper dig til en klog beslutning.

Konklusion

Brugen af hårdhedsmåleteknikker er nået langt. Teknikken er blevet integreret i mange processer, som en del af kontrollerne i fremstillingen.

For befæstelseselementer og -materialer, er hårdhedstest den mere økonomiske testproces under produktionen. Testen udføres direkte på emnerne, ikke-destruktiv og relativ ligetil. Som en del af den samlede processtyring, er det mere praktisk i forhold til trækprøvning.

Men hårdhedsmåling alene opfylder ikke helt prøvningskravene til befæstelseselementer og -materialer. Det skal suppleres med andre tests eller tests relateret til anvendelsen.

Industrielle standarder for hårdhedsmåling

ISO 6506-1	Metalliske materialer – Brinell-hårdhedsprøvning – Del 1: Prøvningsmetode
ISO 6506-2	Metalliske materialer – Brinell-hårdhedsprøvning – Del 2: Verifikation og kalibrering af prøvningsmaskiner
ISO 6506-3	Metalliske materialer – Brinell-hårdhedsprøvning – Del 3: Kalibrering af referenceblokke
ISO 6506-4	Metalliske materialer – Brinell-hårdhedsprøvning – Del 4: Tabeller for hårdhedsværdier
ASTM E 10	Standard testmetode for Brinell hårdhed for metalliske materialer
ISO 6507-1	Metalliske materialer – Vickers-hårdhedsprøvning – Del 1: Prøvningsmetode
ISO 6507-2	Metalliske materialer – Vickers-hårdhedsprøvning – Del 2: Verifikation og kalibrering af prøvningsmaskiner
ISO 6507-3	Metalliske materialer – Vickers-hårdhedsprøvning – Del 3: Kalibrering af referenceblokke
ISO 6507-4	Metalliske materialer – Vickers-hårdhedsprøvning – Del 4: Tabeller og hårdhedsværdier
ASTM E 384	Standard testmetode for Knoop og Vickers materialehårdhed
ISO 6508-1	Metalliske materialer – Rockwell-hårdhedsprøvning – Del 1: Prøvningsmetode (skalaer A, B, C, D, E, F, G, H, K, N, T)
ISO 6508-2	Metalliske materialer – Rockwell-hårdhedsprøvning – Del 2: Verifikation og kalibrering af prøvningsmaskiner og indtrykningslegemer (skalaer A, B, C, D, E, F, G, H, K, N, T)
ISO 6508-3	Metalliske materialer – Rockwell-hårdhedsprøvning – Del 3: Kalibrering af referenceblokke (skalaer A, B, C, D, E, F, G, H, K, N, T)
ISO 6507-4	Standard testmetode for Rockwell-hårdhed for metalliske materialer
ASTM E 18	Standard Test Method for Rockwell Hardness of metallic Materials
ISO/TR 10108	Stål – konvertering af hårdhedsværdier til trækstyrke værdier
ISO 18265	Metalliske materialer – Omregning af hårdhedsværdier
ISO 14577-1	Metalliske materialer – Instrumenteret indtrykningsprøvning til bestemmelse af hårdhed og materialeparametre – Del 1: Prøvningsmetode
ISO 14577-2	Metalliske materialer – Instrumenteret indtrykningsprøvning til bestemmelse af hårdhed og materialeparametre – Del 2: Verifikation og kalibrering af prøvningsmaskiner
ISO 14577-3	Metalliske materialer – Instrumenteret indtrykningsprøvning til bestemmelse af hårdhed og materialeparametre – Del 3: Kalibrering af referenceblokke
ASTM E 140	Standard konverteringstabeller for metalhårdhed over forholdet mellem Brinell-hårdhed, Vickers-hårdhed, Rockwell-hårdhed, overfladehårdhed, Knoop-hårdhed, Scleroscope-hårdhed og Leeb-hårdhed



Hvis du har brug for yderligere hjælp eller har specielle krav til din applikation, kan du kontakte os på www.bossard.dk og vores ingeniører vil vende tilbage til dig.