



ÚRAD JADROVÉHO DOZORU
SLOVENSKEJ REPUBLIKY

EDÍCIA

Bezpečnosť jadrových zariadení

2016

BNS II.9.2/2016

**Hodnotenie mechanických charakteristík materiálov
prevádzkovaných vybraných strojnotechnologických zariadení
pomocou metodiky SPT**

**Hodnotenie mechanických charakteristík materiálov prevádzkovaných vybraných
strojnotechnologických zariadení pomocou metodiky SPT**

Vydal Úrad jadrového dozoru Slovenskej republiky
Neperiodická publikácia

Spracovatelia: Ing. Jana Petzová, PhD., špecialista, VUJE, a. s.

Ing. Martin Březina, CSc., špecialista, VUJE, a. s.

Gestor: Ing. Jozef Balaj, riaditeľ odboru systémov, komponentov a stavebných
konštrukcií, Úrad jadrového dozoru Slovenskej republiky

Recenzenti: Ing. Jana Weisová, Slovenské elektrárne, a. s.

Ing. Ján Borák, Slovenské elektrárne, a. s.

BNS **II.9.2/2016**

ISBN **978-80-89706-11-2**

EAN **9788089706112**

Bratislava, november 2016

Anotácia

Tento bezpečnostný návod Úradu jadrového dozoru Slovenskej republiky určuje základné pravidlá pre hodnotenie mechanických charakteristík materiálov prevádzkovaných vybraných strojnotechnologických zariadení pomocou metodiky Small Punch Test (SPT). Pri jeho zostavovaní sa vychádzalo z doterajších skúseností pri použití popisovaného postupu hodnotenia mechanických vlastností na Slovensku, ako aj odporúčaní medzinárodného tímu odborníkov zaoberajúceho sa využitím metodiky SPT v praxi na prevádzkovaných zariadeniach a súčasne z normatívno-technickej dokumentácie v oblasti jadrovej energetiky.

Metodika SPT, materiály jadrových zariadení, mechanické vlastnosti, neštandardné skúšky

Abstract

The safety guide of the Nuclear Regulatory Authority of the Slovak Republic specifies basic quality requirements to evaluate of the mechanical characteristics by Small Punch Test method. A set of the technical documentation, adequate requirements of the international research team as well as wide experience with Small Punch Test method in Slovakia and abroad have been applied to the compilation of this safety guide.

Small Punch Test, materials of nuclear facilities, mechanical properties, non-standard tests

Obsah

Úvod	1
1 Predmet a účel	2
2 Rozsah platnosti.....	2
2.1 Všeobecné ustanovenia	2
2.2 Podmienky platnosti.....	2
3 Použité skratky	3
3.1 Skratky orgánov a organizácií	3
3.2 Skratky v oblasti skúšania SPT	3
4 Použité pojmy	3
5 Stanovenie základných mechanických vlastností pomocou SPT skúšky	5
5.1 Oblasť použitia	5
5.2 Hodnotené typy mechanických vlastností.....	6
5.3 Kritériá vhodnosti výberu systémov, konštrukcií a komponentov pre analýzy metódou SPT	6
5.4 Požiadavky na systémy odberu polotovarov vzoriek	7
5.5 Požiadavky na prípravu vzoriek	7
5.6 Požiadavky na skúšobné zariadenie.....	8
5.7 Návrh skúšobných teplôt.....	8
5.8 Parametre SPT skúšky	9
5.9 Záznam priebehu skúšky.....	9
5.10 Vyhodnocovanie získaných výsledkov skúšok	10
5.11 Výber metodík pre overenie spoľahlivosti získaných výsledkov.....	12
6 Zodpovednosti	12
6.1 Prevádzkovateľ	13
6.2 Expertná organizácia.....	13
6.3 Úrad jadrového dozoru Slovenskej republiky	13
7 Literatúra	14

Zoznam obrázkov

Obrázok 5.1 Vzorový priebeh zaťažovania pri SPT skúške	11
Obrázok 5.2 Príklad teplotnej závislosti lomovej SPT energie	12

Predhovor

Úrad jadrového dozoru Slovenskej republiky začal v roku 1995 vydávať vlastné neperiodické publikácie, ako edíciu Bezpečnosť jadrových zariadení, s cieľom zverejňovať vybrané všeobecne záväzné právne predpisy, bezpečnostné požiadavky, odporúčania a návody súvisiace s predmetom činnosti Úradu jadrového dozoru Slovenskej republiky.

V rámci edície Bezpečnosť jadrových zariadení Úrad jadrového dozoru Slovenskej republiky vydáva tri skupiny publikácií:

Obsahom prvej skupiny publikácií sú vybrané všeobecne záväzné právne predpisy a medzinárodné zmluvy z oblasti mierového využívania jadrovej energie; sú označené červeným pruhom.

V druhej skupine sú dokumenty z oblasti jadrovej bezpečnosti charakteru odporúčaní a návodov, ktoré konkretizujú a dopĺňajú požiadavky všeobecne záväzných právnych predpisov. Odporúčania dokumentov tejto kategórie nie sú všeobecne záväzné, avšak ich dodržiavanie zjednodušuje plnenie požiadaviek Úradu jadrového dozoru Slovenskej republiky zo strany dozorovaných organizácií; sú označené zeleným pruhom.

Obsahom tretej skupiny publikácií sú ostatné dokumenty z oblasti jadrovej bezpečnosti informatívneho charakteru; sú označené modrým pruhom.

Pri spracovaní dokumentov druhej a tretej skupiny sa využívajú dokumenty Medzinárodnej agentúry pre atómovú energiu vo Viedni a iných medzinárodných organizácií, medzinárodné a národné technické normy, ako aj dokumenty vydané zahraničnými dozornými orgánmi a odbornými organizáciami. Dokumenty sú spracované na základe rozhodnutia predsedu Úradu jadrového dozoru Slovenskej republiky zamestnancami úradu alebo externými organizáciami i s využitím vlastných skúseností a podmienok. Pred ich vydaním a zverejnením sú schválené predsedom úradu.

Predmetná publikácia Hodnotenie mechanických charakteristík materiálov prevádzkovaných vybraných strojnotechnologických zariadení pomocou metodiky SPT je bezpečnostným návodom.

Vypracovanie tohto bezpečnostného návodu zadal Úrad jadrového dozoru Slovenskej republiky s cieľom stanoviť základné požiadavky úradu na hodnotenie mechanických charakteristík materiálov pomocou neštandardnej metodiky SPT, v prípade ak je použitá pri posudzovaní stavu konštrukcií a komponentov JZ, ktorých monitorovanie je súčasťou programu riadeného starnutia jadrových elektrární.

Pripomienky a doplnky k tejto publikácii zasielajte na Úrad jadrového dozoru Slovenskej republiky, odbor legislatívno-právny, Bajkalská 27, P. O. Box 24, 820 07 Bratislava 27.

Bezpečnostné návody nie sú právne záväzné, avšak ich dodržiavanie napomáha zabezpečiť podmienky bezpečného využívania jadrovej energie alebo vykonávania činností súvisiacich s využívaním jadrovej energie.

Úvod

Materiály konštrukcií a komponentov jadrových zariadení (JZ) sú v priebehu prevádzky vystavené procesom starnutia v dôsledku prevádzkových záťaží a rôznych degradačných procesov, vedúcich k možným zmenám stavu a schopnosti zariadení plniť ich projektované funkcie. Ide o degradačné procesy spôsobené bežnou prevádzkou zariadení za normálnych ako aj abnormálnych prevádzkových podmienok a vplyvmi okolitého prostredia na ich systémy, komponenty a konštrukcie.

Z hľadiska zaistenia bezpečnosti a spoľahlivosti prevádzky JE, ako aj z hľadiska zabezpečenia optimálneho ekonomického využívania JE, národné jadrové dozory v celom svete odporúčajú prevádzkovateľom priebežne monitorovať a vyhodnocovať vplyv prevádzky a rôznych degradačných procesov na vybrané materiály systémov, konštrukcií a komponentov JZ.

Programy monitorovania degradačných procesov starnutia sú zároveň jedným z predpokladov, umožňujúcich významné predĺženie prevádzkovej životnosti JE a sú jednou z podstatných súčastí programov riadenia starnutia.

Štandardné skúšky mechanických vlastností potrebujú veľmi veľa cenného experimentálneho materiálu na výrobu skúšobných telies. Pri ožarovaných telesách je tu aj značný problém s vysokými aktivitami veľkorozmerných štandardných skúšobných telies. V súčasnosti sa vo svete prejavuje snaha o zjednodušenie skúšania, pri súčasnom zabezpečení požadovanej presnosti a vierohodnosti výsledkov. Okrem zmenšovania štandardných skúšobných telies sú vyvíjané aj nové neštandardné typy skúšok plne nahradzujúce bežne používané skúšky. Jedným z takýchto možných riešení je použitie tzv. SPT skúšky (Small Punch Test).

Cieľom tohto návodu je poskytnúť prevádzkovateľovi JE, ako aj ďalším organizáciám podieľajúcim sa na činnostiach hodnotenia mechanických charakteristík materiálov prevádzkovaných vybraných strojnotechnologických zariadení, metodológiu pre použitie neštandardnej metodiky skúšania, tzv. skúšky typu Small Punch Test (SPT).

Použitie metodiky SPT pre hodnotenie mechanických vlastností materiálov, ktorá umožňuje objektívne posúdenie reálneho stavu materiálu bezpečnostne významných komponentov a konštrukcií JZ je potrebné hlavne v prípade malého objemu skúšobného materiálu. Získané reálne materiálové výsledky v rámci monitorovacích programov a programu riadeného starnutia JE slúžia ako podklad pre vypracovanie príslušnej doplnkovej bezpečnostnej dokumentácie, ktorá je nevyhnutnou podmienkou pri vydávaní povolenia ÚJD SR na prevádzku JE.

1 Predmet a účel

Predmetom tohto bezpečnostného návodu je:

- a) stanoviť metodológiu a postup pri hodnotení materiálových vlastností konštrukčných materiálov JZ použitím metodiky Small Punch Test (SPT) v rámci programov riadeného starnutia JE,
- b) definovať požiadavky na výber systémov, komponentov a konštrukcií JZ a ich materiálov, ktoré majú byť hodnotené metodikou SPT,
- c) stanoviť postupy vyhodnocovania získaných výsledkov, ale aj metodiky pre overenie spoľahlivosti stanovenia jednotlivých materiálových vlastností.

Súčasťou dokumentu budú aj odporúčania pre organizačné zabezpečenie pri hodnotení pevnostných a lomových vlastností konštrukčných materiálov použitím metodiky SPT.

2 Rozsah platnosti

2.1 Všeobecné ustanovenia

Bezpečnostný návod stanovuje základné požiadavky na hodnotenie materiálových vlastností konštrukčných materiálov bezpečnostne významných komponentov JE použitím neštandardného skúšobného postupu Small Punch Test.

Bezpečnostný návod všeobecne platí pre všetky monitorované materiály JZ.

Požiadavky tohto bezpečnostného návodu je treba chápať a logicky použiť aj pre iné jadrové zariadenia než sú jadrové elektrárne.

2.2 Podmienky platnosti

Tento bezpečnostný návod sa vydáva bez časového obmedzenia.

3 Použité skratky

3.1 Skratky orgánov a organizácií

MAAE	Medzinárodná agentúra pre atómovú energiu (angl. IAEA)
JE	jadrová elektrárne
SE, a. s.	Slovenské elektrárne, a. s.
JE-EBO V2	Atómové elektrárne Bohunice
JE-EMO	Atómové elektrárne Mochovce
ÚJD SR	Úrad jadrového dozoru Slovenskej republiky

3.2 Skratky v oblasti skúšania SPT

POV	programy overovacích vzoriek
AZ	aktívna zóna reaktora
JZ	jadrové zariadenie
TNR	tlaková nádoba reaktora
SPT	Small Punch Test (neštandardná skúška mechanických vlastností)
P_{max}	maximálna zaťažujúca sila pri SPT skúške [N]
P_y	sila na začiatku plastickej deformácie pri SPT skúške [N]
R_m	medza pevnosti materiálu [MPa]
R_e (resp. R_{p0,2})	medza sklzu materiálu [MPa]
TT_{SPT}	prechodová teplota z SPT skúšky
SP_{max}	horné plató energie potrebnej na perforáciu vzorky pri SPT skúške
SP_{min}	dolné plató energie potrebnej na perforáciu vzorky pri SPT skúške
ε_f	lomová deformácia vzorky z SPT skúšky
J_{IC}	lomová húževnatosť
d_m	deformácia [mm], zodpovedajúca maximálnemu zaťaženiu P _{max}
d_y	deformácia zodpovedajúca zaťaženiu P _y
d*	deformácia vzorky v okamžiku iniciácie trhliny
t	počiatočná hrúbka SPT vzorky
t*	hrúbka SPT vzorky po perforácii
TT_{KCV}	prechodová teplota získaná Charpyho skúškami rázom v ohybe
TT_{FATT}	prechodová teplota získaná z kritéria podielu húževnatého lomu

4 Použité pojmy

Jadrové zariadenie sú zariadenia a objekty, ktorých súčasťou je jadrový reaktor využívajúci štiepnu riadenú reťazovú reakciu, alebo zariadenia a objekty na výrobu, spracovanie

a skladovanie jadrových materiálov príp. ukladanie vyhoreného paliva alebo rádioaktívnych odpadov.

Stav zariadenia je úroveň charakteristických parametrov konštrukcie alebo komponentu, ktoré môžu mať vplyv na plnenie projektovej funkcie zariadenia.

Degradácia je poškodenie materiálu konštrukcie alebo komponentu v dôsledku vplyvu rôznych degradačných mechanizmov počas prevádzky zariadenia.

Systém monitorovania degradácie je spôsob priebežného zisťovania vzniku a pôsobenia degradačných procesov na reálne materiály prípadne overovacie vzorky pri skutočných prevádzkových podmienkach jednotlivých konštrukcií a komponentov JZ.

Starnutie zariadení JE je postupné zhoršovanie technických a materiálových vlastností zariadení JE vyvolané pôsobením degradačných procesov.

Riadenie starnutia je súbor inžinierskych, prevádzkových a údržbárskych opatrení na kontrolu a zmiernenie degradácie systémov, konštrukcií a komponentov starnutím a opotrebovaním v akceptovateľných medziach.

Program riadenia starnutia je systém organizačných a technických opatrení na riadenie starnutia, vrátane optimálnej organizačnej štruktúry, stanovenia zodpovedností, vypracovania potrebných metodík, technologických postupov, materiálneho a personálneho zabezpečenia.

Životnosť je doba od výroby do vyradenia systému, konštrukcie alebo komponentu z prevádzky.

Porucha je neschopnosť alebo prerušenie schopnosti systému, konštrukcie alebo komponentu plniť projektovanú funkciu v rámci požadovaných kritérií.

Radiačné poškodenie sú zmeny vlastností konštrukčných materiálov JZ spôsobené reaktorovým žiarením.

Mechanické vlastnosti sú konečné vlastnosti materiálu, ktoré podmieňujú jeho vhodnosť pre určenú funkciu a použitie v praxi.

Štandardné skúšky sú bežne používané normalizované skúšky mechanických vlastností materiálov (napr. skúška ťahom, Charpyho skúška rázom v ohybe prípadne skúška lomovej húževnatosti na CT alebo COD telesách).

Neštandardné metodiky sú nové zvyčajne nenormalizované postupy skúšania, ktoré sa používajú v prípadoch keď nie je možné prípadne z rôznych (napr. materiálových, či priestorových) dôvodov výhodné použiť štandardnú metodiku.

Kvázi-nedeštruktívny odber materiálu je spôsob odberu vzoriek ktorý negatívne neovplyvní dotknuté zariadenie a nevyžaduje žiadne dodatočné operácie na opravu odberového miesta (zváranie, brúsenie).

5 Stanovenie základných mechanických vlastností pomocou SPT skúšky

5.1 Oblasť použitia

Základným cieľom hodnotenia materiálových vlastností pomocou neštandardných postupov ako je metodika Small Punch Test je zabezpečenie spoľahlivého monitorovania vlastností konštrukčných materiálov JZ aj v prípadoch, kde nie je z rôznych dôvodov možné alebo vhodné použiť štandardný postup skúšania.

Pre zabezpečenie spoľahlivého monitorovania stavu materiálov jednotlivých konštrukcií JZ je nevyhnutné vhodnou metodikou stanoviť aktuálne vlastnosti použitých materiálov alebo ich zmeny vplyvom ďalšej prevádzky zariadenia.

Použitie metodiky SPT môže byť navrhnuté ako samostatný skúšobný postup prípadne ako doplnková metodika pre overenie už získaných výsledkov zo štandardných, resp. normalizovaných postupov skúšania materiálov.

Pred prvým použitím metodiky SPT pre hodnotenie stavu vlastností konkrétnej zvolenej konštrukcie JZ, musí byť jej spoľahlivosť overená pomocou predchádzajúcich skúšok na obdobných typoch materiálov.

Musí byť zabezpečený zber, spracovanie a archivácia všetkých relevantných údajov pre realizáciu materiálových skúšok SPT, ako aj ich priebežná aktualizácia.

Hlavné výhody použitia neštandardnej metodiky SPT sú:

- a) Minimálne rozmery skúšobnej vzorky.
- b) Malá spotreba originálnych skúšobných materiálov.
- c) Nízka aktivita v prípade ožiarených vzoriek.
- d) Uniformita vzoriek pre viacero určovaných mechanických vlastností.
- e) Možnosť hodnotenia lokálnych vlastností materiálov.

Všetky činnosti, skúšanie a spôsob dokumentovania výsledkov musia byť v súlade so schváleným systémom manažérstva kvality prevádzkovateľa JZ.

5.2 Hodnotené typy mechanických vlastností

Princípom SPT skúšky je prienik špeciálneho razníka cez malú plochú vzorku, ktorá je uchytená medzi pridržovačom a matricou.

Pri použití jednoduchého zariadenia so záznamom zaťažovacej sily a deformácie sa získavajú údaje o základných mechanických vlastnostiach.

Štandardné ťahové vlastnosti, konkrétne medza pevnosti a medza sklzu, dobre korelujú so základnými parametrami SPT skúšky P_{\max} a P_y .

Prechodová teplota krehkého a húževnatého lomu získaná z teplotnej závislosti spotrebovanej SPT energie je porovnateľná s výsledkami získanými pomocou Charpyho-V skúšky rázom v ohybe.

Lomové chovanie materiálov používaných na jadrovo-energetických zariadeniach je možné posudzovať na základe lomovej energie z SPT skúšky.

5.3 Kritériá vhodnosti výberu systémov, konštrukcií a komponentov pre analýzy metódou SPT

Výber systémov, konštrukcií a komponentov pre hodnotenie mechanických vlastností materiálov systémov, konštrukcií a komponentov JZ metodikou SPT sa musí realizovať na základe opodstatnených kritérií. Tieto musia byť založené na bezpečnostných a technických princípoch.

Použitie metodiky SPT je podmienené stavom, kedy nie je možné alebo vhodné použiť štandardný resp. normalizovaný postup skúšania mechanických vlastností jednotlivých systémov, konštrukcií alebo komponentov JZ.

Pri definovaní kritérií by sa mali uvažovať vo všeobecnosti tieto princípy:

- a) Bezpečnostná významnosť hodnotených systémov, konštrukcií a komponentov JZ z hľadiska bezpečnostnej funkcie, ktorú plnia.
- b) Analýzy dopadu prípadnej poruchy celého zariadenia vplyvom degradácie použitého materiálu na jadrovú bezpečnosť.
- c) Možnosti použitia štandardizovaných resp. normalizovaných postupov skúšania materiálových vlastností.
- d) Vymeniteľnosť jednotlivých systémov, konštrukcií a komponentov JZ.

- e) Zabezpečenie originálneho skúšobného materiálu pre skúšky reálneho stavu systémov, konštrukcií alebo komponentov JZ.
- f) Vplyv lokálnych zmien materiálových vlastností na celkovú bezpečnosť sledovaného zariadenia.
- g) Analýza dopadu odberu materiálu pre skúšky priamo z hodnoteného systému, konštrukcie alebo komponentu JZ.
- h) Skúsenosti z predchádzajúcich skúšok materiálov systémov, konštrukcií alebo komponentov z prevádzky iných JE rovnakého alebo podobného typu.
- i) Požiadavky Úradu jadrového dozoru Slovenskej republiky.

5.4 Požiadavky na systémy odberu polotovarov vzoriek

Odber skúšobného materiálu z prevádzkovaných zariadení predstavuje najmä nevhodný zásah do celistvosti jeho častí, a to či už sa jedná o odber strojným obrábaním, tepelným delením alebo inými spôsobmi.

Bežné deštruktívne metódy zvyčajne vyžadujú následnú opravu odobratého miesta, vrátane tepelného spracovania a celého radu nedeštruktívnych kontrol, preto ich je len málokedy možné použiť na prevádzkovaných zariadeniach. Väčšinou je následne nutná výmena celého zariadenia.

Ak je potrebné získať reálne informácie o stave konkrétneho zariadenia, je možné namiesto vyrezania a výmeny celého komponentu odobrať z najkritickejších miest zariadenia miniatúrne vzorky, ktoré nezmenia jeho pevnosť ani neovplyvnia životnosť, a pritom poskytnú dostatočné množstvo informácií. Vplyv tohto spôsobu odberu vzoriek je takisto nutné overiť výpočtom pre konkrétne odberové miesto.

Pri odbere polotovarov vzoriek je potrebné zabezpečiť, aby nedošlo k tepelnému prípadne mechanickému ovplyvneniu odobratého materiálu.

5.5 Požiadavky na prípravu vzoriek

Pre zabezpečenie spoľahlivosti a vierohodnosti získaných výsledkov hodnotenia materiálových vlastností z SPT skúšky je potrebné pripraviť skúšobné vzorky s vysokými nárokmi na ich konečnú kvalitu.

Vzorka určená pre SPT skúšku má priemer 8 mm a hrúbku 0,5 mm.

Tolerancia hrúbky vzorky musí byť maximálne v rozsahu $\pm 0,005$ mm.

Hrúbka skúšobnej vzorky musí byť konštantná po celom priemere SPT vzorky.

Priemer skúšobnej vzorky musí byť v rozsahu $8 \begin{smallmatrix} +0 \\ -0,05 \end{smallmatrix}$ mm.

Pri príprave skúšobných vzoriek nesmie dôjsť k ich mechanickému alebo tepelnému ovplyvneniu stavu materiálu.

Pripravené SPT skúšobné vzorky musia vykazovať vysokú kvalitu povrchu.

Pred samotnou SPT skúškou musí byť zabránené korózii povrchu vzoriek.

5.6 Požiadavky na skúšobné zariadenie

Skúška sa uskutočňuje na skúšobnom stroji, ktorý umožňuje realizáciu tlakovej skúšky so snímačom zaťažujúcej sily, snímačom pohybu priečnika prípadne iným snímačom posuvu a so záznamovým zariadením pre záznam parametrov: „zaťažujúca sila - posun“ počas zaťažovania.

Do zariadenia je upevnený špeciálny prípravok, ktorý fixuje skúšobnú vzorku.

Samotná realizácia skúšky je založená na vtláčaní razníka s hemisférickým ukončením do skúšobnej vzorky až do porušenia.

Pre SPT skúšky pri izbovej teplote sa používa jednoduchý prípravok pre uchytenie vzorky medzi pridržiavačom a maticou.

Pre skúšky za znížených teplôt sa používa špeciálna chladiaca komora, kde je chladenie zabezpečené pomocou tekutého dusíka alebo dusíkových pár.

SPT skúšky pri zvýšených teplotách sa vykonávajú za pomoci špeciálnej piecky, ktorej rozsah umožňuje skúšanie v rozsahu teplôt potrebných pre posúdenie stavu materiálu.

5.7 Návrh skúšobných teplôt

Pre celkové posúdenie stavu materiálu a jeho vlastností je všeobecne potrebné vykonať skúšky pri rôznych skúšobných teplotách.

Pre SPT skúšky pri izbovej teplote sa používa prípravok bez nutnosti merania teploty vzorky. Za teplotu skúšky sa potom uvádza teplota vzduchu meraná v laboratóriu.

Chladenie pri skúškach za znížených teplôt je zabezpečené pomocou tekutého dusíka alebo dusíkových pár. Skúšobná teplota je kontrolovaná pomocou termočlánkov typu K (chromel – alumel).

Zvýšená teplota pri SPT skúškach v piecke je nastavovaná pomocou inštalovaného regulátora teploty.

Skutočnú hodnotu zvýšenej tepoty vzorky v piecke je potrebné pre jednotlivé hodnoty stanoviť vopred kalibračným meraním pomocou systému termočlánkov.

Voľba vhodných skúšobných teplôt závisí na viacerých kritériách:

- a) na type skúšaného materiálu,
- b) na druhu hodnotenej vlastnosti materiálu,
- c) na prevádzkovej teplote zariadenia, ktorého vlastnosti je potrebné overiť
- d) a na normalizovaných hodnotách daného skúšaného materiálu.

5.8 Parametre SPT skúšky

Povrch vzoriek pred skúškou musí byť odmastený a nesmie vykazovať známky korózie, prípadne iného mechanického poškodenia.

Pre všeobecné použitie SPT skúšky je potrebné zabezpečiť nasledovné parametre skúšania:

- a) Meranie deformácie z pohybu priečnika skúšobného zariadenia, prípadne iného dopĺňajúceho snímača posunutia.
- b) Konštantné dotiahnutie skúšobnej vzorky v matrici.
- c) Konštantná teplota vzorky počas celého priebehu zaťaženia.
- d) Rýchlosť posuvu priečnika v rozsahu 0,5 až 3 mm/min.

Pri SPT skúškach pri znížených teplotách je povolená maximálna zmena teploty počas priebehu skúšky $\Delta T < 3^{\circ}\text{C}$.

Z dôvodu lepšej presnosti pri vyhodnocovaní výsledkov SPT skúšok je potrebné v maximálnej miere minimalizovať rýchlosť zaťažovania v rámci povoleného rozsahu.

5.9 Záznam priebehu skúšky

Priebeh zaťaženia počas SPT skúšky je zaznamenávaný pomocou zariadenia pre vzájomný záznam parametrov: „zaťažujúca sila - posun“ počas celého priebehu skúšky.

Výsledkom skúšky musí byť skúšobný protokol, ktorý obsahuje nasledovné údaje o skúške:

- a) Dátum a čas skúšky.
- b) Informácie o zadávateľovi skúšky (meno firmy, číslo zmluvy, názov projektu a pod.).
- c) Meno skúšajúceho.
- d) Typ a označenie skúšobného materiálu.
- e) Označenie skúšobnej vzorky.
- f) Detailné rozmery skúšobnej vzorky.
- g) Skúšobná teplota.

- h) Tabuľku s výslednými hodnotami (P_{\max} , P_y , d_m a d_y)
- i) Graf priebehu zaťažovania.
- j) Ďalšie doplňujúce informácie o vzorke a samotnom priebehu skúšky potrebné pre korektné zhodnotenie výsledkov merania.

5.10 Vyhodnocovanie získaných výsledkov skúšok

Získané výsledky SPT skúšky je možné použiť pre stanovenie medze pevnosti a medze sklzu, prechodovej teploty medzi krehkým a húževnatým lomom, prípadne pre posúdenie lomových vlastností skúšaného materiálu.

Pre stanovenie medze pevnosti R_m sa používa lineárny korelačný vzorec vzájomnej závislosti R_m a parametra SPT skúšky P_{\max} , čo je maximálna sila počas zaťažovania:

$$R_m = A \frac{P_{\max} [N]}{t [mm] \cdot d_m [mm]} + B$$

kde A a B sú konštanty stanovené pre jednotlivé druhy skúšaných materiálov, prípadne je možné použiť tzv. univerzálnu závislosť pre všetky typy skúšaných materiálov,

t je počiatočná hrúbka SPT vzorky (v mm),

a d_m je deformácia (mm), zodpovedajúca maximálnemu zaťaženiu P_{\max} (N).

Pre stanovenie medze sklzu R_e sa používa lineárny korelačný vzťah vzájomnej závislosti R_e (príp. $R_{p0,2}$) a parametra SPT skúšky P_y , čo je sila zodpovedajúca priesečníku dvoch dotyčníc ku krivke priebehu zaťažovania podľa Obrázku 5.1, a to:

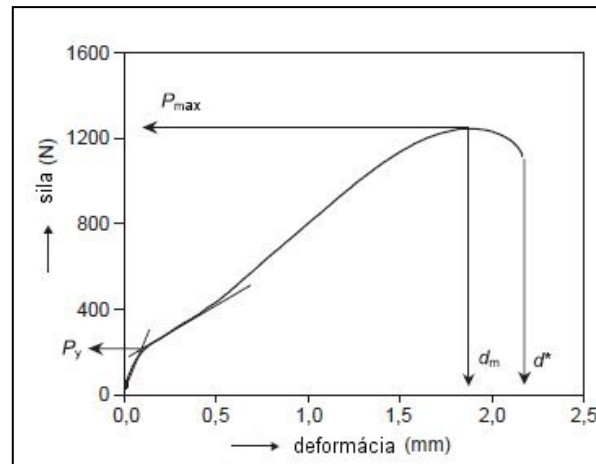
$$R_e = A \frac{P_y [N]}{t^2 [mm^2]} + B$$

kde A a B sú konštanty stanovené pre jednotlivé druhy skúšaných materiálov, prípadne je možné použiť tzv. univerzálnu závislosť pre všetky typy skúšaných materiálov

a t je počiatočná hrúbka SPT vzorky (v mm).

Prechodovú teplotu medzi krehkým a húževnatým lomom, zodpovedajúcu prechodovej teplote TT_{KCV} zo Charpyho skúšok rázom v ohybe, sa získa výpočtom z výsledkov teplotnej závislosti SPT energie.

SPT energia je energia potrebná pre porušenie skúšobnej vzorky a stanovuje sa z plochy pod krivkou „zaťaženie – deformácia“ do lomového zaťaženia, maximálnej sily alebo maximálneho priehybu. Pre jej stanovenie sa používa numerická integračná metóda.



Obrázok 5.1 Vzorový priebeh zaťažovania pri SPT skúške

Prechodová teplota získaná z SPT skúšky (TT_{SPT}) je potom definovaná pomocou teploty pre úroveň lomovej energie SP_{DBTT} (Obrázok 5.2):

$$SP_{DBTT} = \frac{SP_{\max} + SP_{\min}}{2}$$

kde SP_{\max} a SP_{\min} sú horné a dolné plató energie.

Ako horné plató energie SP_{\max} sa uvažuje maximálna hodnota SPT lomovej energie.

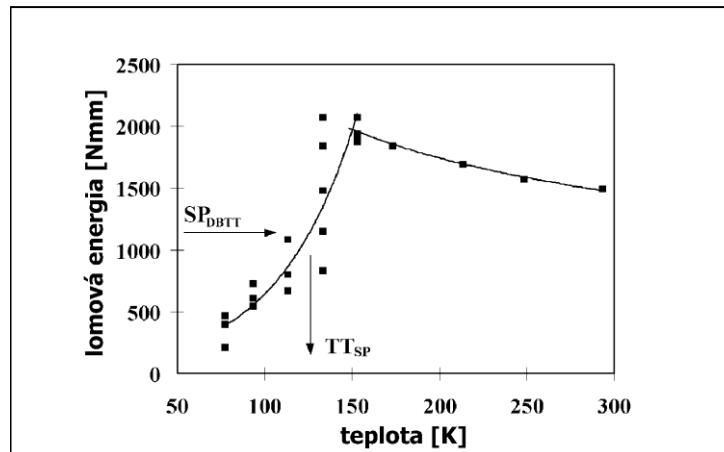
Dolné plató energie SP_{\min} sa uvažuje energia získaná extrapoláciou získanej exponenciálnej krivky pre teplotu 50 K.

Vzájomný vzťah medzi prechodovou teplotou TT_{SPT} a prechodovou teplotou získanou Charpyho skúškami rázom v ohybe na štandardných telesách TT_{KCV} je nasledovný:

$$TT_{KCV} = \frac{TT_{SPT}}{\alpha}$$

kde α je korelačný koeficient stanovený z porovnávacích meraní pre daný skúšaný materiál.

V prípade materiálov, ktoré nevykazujú výrazný prechod medzi krehkým a húževnatým lomom, sa stanovuje len teplotná závislosť SPT energie do hodnoty maximálnej sily, a to v rozsahu až do oblasti prevádzkových teplôt materiálu konštrukcie alebo komponentu JZ.



Obrázok 5.2 Príklad teplotnej závislosti lomovej SPT energie

5.11 Výber metodík pre overenie spoľahlivosti získaných výsledkov

V prípade dostatočného množstva skúšobného materiálu je vhodné pre overenie spoľahlivosti získaných výsledkov odskúšať minimálne jednu sadu vzoriek konkrétneho typu materiálu pomocou štandardných resp. normalizovaných skúšok mechanických vlastností, t. j. ťahovej skúšky resp. Charpyho skúšky rázom v ohybe.

V prípade nedostatku skúšobného materiálu je možné overiť získané hodnoty výsledky dopĺňajúcimi analýzami, a to metódami metalografickej analýzy, skúškami tvrdosti a pod.

Overenie spoľahlivosti získaných výsledkov je potrebné hlavne pri použití tzv. univerzálnych korelačných závislostí.

Pri použití konkrétnych korelácií pre skúšaný typ materiálu je spoľahlivosť výsledkov priamo závislá na počte predchádzajúcich overovacích skúšok použitých pre tvorbu danej korelačnej závislosti.

6 Zodpovednosti

Realizáciou neštandardných skúšok pre hodnotenie mechanických vlastností materiálov JZ sa má dosiahnuť:

- a) objektívne zhodnotenie reálneho technického stavu konštrukcií a komponentov,
- b) včasná identifikácia ich degradácie a prijatie opatrení na korekciu zisteného nevyhovujúceho stavu.

Za týmto účelom sú stanovené nasledovné zodpovednosti jednotlivých orgánov a organizácií zúčastnených na realizácii monitorovania a hodnotenia mechanických vlastností materiálov systémov, konštrukcií a komponentov JZ.

6.1 Prevádzkovateľ

V prípade potreby zabezpečiť vykonávanie mechanických skúšok vybraných systémov konštrukcií a komponentov JZ.

Zhodnotiť výsledky dosiahnuté pri realizácii štandardných, ale aj neštandardných skúšok mechanických vlastností materiálov JZ.

Predložiť ÚJD SR výsledky predpísaných mechanických skúšok vybraných systémov, konštrukcií a komponentov JZ.

6.2 Expertná organizácia

Na základe konkrétnych požiadaviek prevádzkovateľa realizovať skúšky mechanických vlastností materiálov systémov, konštrukcií a komponentov JZ v súlade s požiadavkami tohto návodu.

Zabezpečiť aktualizáciu a dopĺňanie korelačných závislostí a referenčných kriviek pre porovnanie výsledkov SPT skúšky so štandardnými mechanickými vlastnosťami.

6.3 Úrad jadrového dozoru Slovenskej republiky

Stanovovať požiadavky na vykonávanie mechanických skúšok vybraných materiálov systémov, konštrukcií a komponentov JZ.

Posudzovať získané výsledky skúšok v rámci periodického hodnotenia monitorovacích programov na zariadeniach a komponentoch JZ.

7 Literatúra

- /1/ Zákon č. 541/2004 Z. z. o mierovom využívaní jadrovej energie (atómový zákon) a o zmene a doplnení niektorých zákonov v znení neskorších predpisov.
- /2/ Riadenie starnutia jadrových elektrární - Požiadavky. BNS 1.9.2/2014, Bratislava, ÚJD SR 2014.
- /3/ Skúšanie mechanických vlastností, chemického zloženia a vybraných charakteristík odolnosti proti porušeniu pri medzných stavoch zaťažovania materiálov a zvarových spojov strojno-technologických komponentov zariadení jadrových elektrární typu VVER 440. BNS II.5.5/2009, Bratislava, ÚJD SR 2009.
- /4/ Prevádzka jadrového zariadenia po dosiahnutí jeho projektom uvažovanej životnosti. Požiadavky a návody. BNS I.4.4/2014, Bratislava, ÚJD SR 2014.
- /5/ Corwin, W. R., Haggag, F. M., Server, W. L., Eds.: Small Specimen Test Techniques Applied to Nuclear Reactor Vessel Thermal Annealing and Plant Life Extension, ASTM STP 1204, Philadelphia, 1993.
- /6/ Corwin, W. R., Rosinski, S. T., E. van Walle, Eds.: Small Specimen Test Techniques, ASTM STP 1329, West Conshohocken, 1997.
- /7/ Sokolov, M. A. a kol.: Small specimen test techniques: Fourth Volume, ASTM STP 1418, 2002.
- /8/ CEN Workshop Agreement CWA 15627 „Small Punch Test Method for Metallic Materials, December 2007.
- /9/ Small Punch Testing for Fracture Toughness Measurement. Final Report prepared for EPRI, TR 105130, Research Project 2426-38, 1995.
- /10/ Small Punch Test Method for Metallic Materials. Part B: A Code of Practice for Small Punch Testing for Tensile and Fracture Behaviour. CEN/WS21, 12:09.2006.
- /11/ Matocha K., Filip M., Purmenský J., Kander L.: Measurement of Tensile and Fracture Toughness Properties of Material Samples Taken from Steam Turbine Rotor in Lodž Power Plant Using Small Punch Test, Report of VÍTKOVICE Research & Development, Ltd., T-24/2006, September 2006.
- /12/ Kupča Ľ. et al.: Actual status of SPT testing application in Slovak NPPs. Small Punch Test Workshop – Testing and Processing of Data, Faculty of Engineering, The University of Nottingham, Nottingham, UK, June 2011.
- /13/ Březina, M., Petzová, J., Kupča, Ľ.: Determination of Mechanical Properties of WVER-440 Reactor Pressure Vessel Steels before Irradiation in the Halden Reactor. EHGP Meeting, 10th – 15th March 2013, Storefjell, Gol, Norway.
- /14/ Matocha et al.: Determination of mechanical properties of materials by Small Punch and other miniature testing techniques, conference proceedings: The 3th international conference SSTT 2014.