

Optimizacija konstrukcije prebojnega skoznjika črpalke za zanesljivost ob upoštevanju materiala in geometrijskih nelinearnosti

Gautham Velayudhan* – Prabhu Raja Venugopal – Ebron Shaji Gnanasigamony Thankarethenam – Mohanraj Selvakumar – Thyla Pudukarai Ramaswamy
Oddelek za strojništvo, Tehniški kolidž PSG, Indija

Strešna plošča jedrskega reaktorja mora nositi več komponent in podsistemov. Prezematati mora vse seizmične obremenitve v skladu z zahtevami nosilnosti. Analiza statičnih napetosti v strešni plošči reaktorja je razkrila visoko koncentracijo napetosti v prebojnem skoznjiku črpalke (PPS), ki nosi glavno črpalko za natrij. PPS je torej ena od kritičnih komponent strešne plošče. Glavni cilj procesa konstruiranja take komponente je zagotovitev varnosti in ekonomičnosti delovanja v danem okolju z visoko zanesljivostjo. Zanesljivost je dejavnik upravljanja negotovosti in predstavlja verjetnost, da bo element v danih pogojih brez odpovedi opravljal svojo funkcijo v načrtovanem časovnem obdobju.

Članek obravnava optimizacijo konstrukcije prebojnega skoznjika črpalke za zanesljivost ob upoštevanju materiala in geometrijskih nelinearnosti. Debelina in kot prirobnice PPS kot konstrukcijska parametra sta bila optimizirana za maksimalno nosilnost ob manjši količini materiala. Najprej sta bili opravljeni dve primerjalni študiji, prva za napoved porušne obremenitve preprostejše konstrukcije ter druga na osnovi zanesljivosti in genetskega algoritma za optimizacijo konzolnega nosilca na osnovi zanesljivosti.

Za zanesljivost PPS je bila v analizah obravnavana variabilnost debeline in kota prirobnice. Opravljena je bila elasto-plastomehanska analiza PPS po metodi končnih elementov za materiala IS2062 in A48P2, ki se pogosto uporabljata pri izdelavi prototipov strešnih plošč reaktorjev. Narejena je bila primerjava porušnih obremenitev PPS iz omenjenih materialov ob upoštevanju geometrijskih nepopolnosti. Eksperimenti so pokazali, da prihaja do uklona v koničnem delu konstrukcije z nepopolnostmi. V numeričnih analizah linearnega uklona in v elasto-plastomehanskih analizah so bila zato obravnavana stanja, ki ustrezajo uklonu koničnega dela konstrukcije. Numerična analiza je zajela oblike, ki izkazujejo opisano vedenje.

Validirana numerična metoda je bila razširjena za napovedovanje porušne obremenitve pri variabilnih vrednostih kota in debeline prirobnice in nato za optimizacijo konstrukcije PPS za zanesljivost. Zasnova eksperimentov je bila oblikovana po metodi odzivnih površin (RSM) za razvoj regresijske enačbe, ki napoveduje porušno obremenitev PPS ob upoštevanju odvisnosti med kotom in debelino prirobnice.

Porušna obremenitev in prostornina sta bili uporabljeni kot vhodni funkciji za optimizacijo na osnovi zanesljivosti z omejitvami. Izdelan je bil program v okolju MATLAB za določanje optimalnih parametrov PPS, ki zagotavljajo maksimalno porušno obremenitev ob minimalni količini materiala. Program je bil izvršen z optimizacijskim orodjem MATLAB na osnovi genetskega algoritma.

Porušna obremenitev PPS na osnovi optimiziranih parametrov za IS2062 in A48P2 je od 4- do 4,5-krat večja od obratovalne obremenitve. Ugotovljeno je bilo, da porušna obremenitev za PPS iz materiala IS2062 ni odvisna od uklonske oblike. Kot prirobnice pomembno prispeva k nosilnosti PPS. Čeprav je debelina PPS iz materiala IS2062 manjša od debeline PPS iz materiala A48P2, je porušna obremenitev prvega PPS večja.

Po rezultatih optimizacije ima PPS iz materiala IS2062 za 11 % višjo nosilnost in za 21 % manj materiala kot PPS iz materiala A48P2. Z optimizacijo geometrije PPS je bilo pri teh materialih doseženo 54-odstotno izboljšanje nosilnosti v primerjavi s PPS s kotom prirobnice 0°. Uporabljeno metodologijo bo mogoče razširiti za optimizacijo konstrukcije drugih kritičnih delov v jedrski industriji za zanesljivost.

Ključne besede: jedrski reaktor, uklon, optimizacija, zanesljivost, mejna obremenitev, genetski algoritem