

ZVARNI SPOJI NA KONSTRUKCIJAH V POTRESNIH RAZMERAH

Janez Tušek *

UDK 621.791:699.841

Zvarni spoj je najpomembnejši element vsake varjene konstrukcije, saj mora prenašati statične in v določenih primerih tudi zelo različne dinamične obremenitve. Na potresno varnih objektih je treba zvarni spoj načrtovati in izdelati še posebej skrbno, ker mora akumulirati ali prenesti v okolico čimveč potresne energije. Na dinamično trdnost zvarnega spoja vplivajo vrsta materiala, vrsta zvarnega spoja, postopek varjenja, tehnologija varjenja in drugo. Analize porušenih jeklenih in železobetonskih zgradb po močnejših potresih v zadnjem obdobju so pokazale, da določene vrste zvarnih spojev in določeni načini varjenja niso najbolj primerni za potresno varne objekte. Še bolj pa so te analize pokazale, da v veliko primerih pri gradnji jeklenih in železobetonskih konstrukcij ni bila pravilno izbrana tehnologija varjenja, saj so se porušile zaradi popolnoma krhkih zlomov predvsem v toplotno vplivanih conah zvarnega spoja.

Zvarni spoj je element konstrukcije, ki je sestavljen iz dveh ali več različno oblikovanih varjencev in iz vara. Zvarni spoj je prav gotovo najpomembnejši člen vsake varjene konstrukcije, ki povezuje posamezne nosilce in prek katerih se prenašajo različne vrste obremenitev. Vrsto zvarnega spoja določa medsebojna lega posameznih varjencev in predpriprava zvarnih robov.

Mehanske oziroma trdnostne lastnosti zvarnega spoja so odvisne od vrste materiala, vrste obremenitve, načina izdelave, kamor spadajo tudi ukrepi pred varjenjem, med in po njem, ter še od nekaterih drugih dejavnikov.

Analize porušenih jeklenih in železobetonskih konstrukcij pri močnih potresih v zadnjem obdobju so pokazale na številne pomanjkljivosti in slabosti pri načrtovanju in izdelavi zvarnih spojev. Razdelimo jih lahko v tri skupine. Prva je razporeditev in vrsta zvarnega spoja na jekleni ali železobetonski konstrukciji, druga je izbira varilnega postopka za izbran material in izbran zvarni spoj in tretja skupina so ukrepi pred varjenjem, med in po njem, s katerimi vplivamo na trdnostne lastnosti vara in celotnega zvarnega spoja.

Na izbiro vrste zvarnega spoja in izbiro postopka varjenja pa v veliki meri vpliva tudi lokacija varjenja. Ni vseeno, ali zvarni spoj varimo pri montaži na terenu ali v delavnici v zaprtem prostoru.

Najpomembnejša naloga zvarjenih spojev na potresno varnih varjenih konstrukcijah pa je vsekakor čim večja akumulacija potresne energije in njen prenos v okolje brez poškodovanja drugih elementov konstrukcije.

Splošno o zvarnih spojih

Na vrsto zvarnega spoja v največji meri vpliva medsebojna lega varjencev. V pre-

glednici 1 so shematsko predstavljene vrste zvarnih spojev, ki se v praksi najbolj uporabljajo.

Varjenci, ki so lahko različnih oblik in presekov, lahko so votli ali polni, se med seboj povezujejo z vari, ki jih delimo glede na obliko njihovega preseka. Shematsko so ponazorjeni v preglednici 2.

Na trdnost zvarnega spoja vplivajo poleg vrste materiala še način obremenitve, način izdelave, njegova oblika ter razporeditev in način varjenja.

Z varilskega vidika je pri varjenih konstrukcijah treba paziti predvsem na tri med seboj dokaj nepovezana področja. Prvo je razporeditev zvarnih spojev v celotni konstrukciji, drugo vrsta in oblika zvarnega spoja in tretje, po oceni avtorja tega članka najpomembnejše področje, način varjenja, ki vključuje tudi ukrepe pred varjenjem, med in po njem. Tudi analize zlomov in porušitev zvarnih spojev na konstrukcijah in zgradbah po potresih kažejo, da v veliko primerih tehnologija varjenja ni bila pravilno izbrana.

Razporeditev zvarnih spojev v konstrukciji

Toplotno vplivano področje osnovnega materiala je najbolj kritičen del vsakega zvarnega spoja, ker je tu odvod toplote največji in zaradi tega v tem področju potekajo intenzivni metalurški procesi. Prav zato je treba paziti, da se toplotno vplivana cona vara predvidi na mestu, kjer bodo čim manjše napetosti in predvsem čim manjše dinamične obremenitve. Na sliki 1 je nekaj primerov pravilne in nepravilne namestitve zvarov in zvarnih spojih oziroma pravilen izbor vrste zvar-

nega spoja in konstrukcijske izvedbe (2, 3, 4, 5, 6).

Varilci, varilski tehnologi in varilski inženirji v praksi zelo pogosto naletimo na ne dovolj domiselne rešitve konstruktorjev pri razporeditvi zvarov glede izdelave, nadzora in pregleda zvarov po izdelavi. Za kakovostno izdelavo zvara in ugotovitev njegove kakovosti po varjenju z neporušnimi metodami je treba zagotoviti dostopnost med izdelavo in po njej v odvisnosti od predpisane kontrole oziroma zahtevane kakovosti.

Podobno velja za varjene konstrukcije, ki so izpostavljene različnim bolj ali manj agresivnim snovem, ki povzročajo korozijo. Tudi v teh primerih je treba poiskati optimalne rešitve pri oblikovanju zvarnih spojev, da v čim večji možni meri preprečimo nastajanje in napredovanje korozije in je ne pospešimo. Z nepravilnim oblikovanjem in izdelavo zvarnih spojev je pogosto možno, da se različnim snovem olajša agresivno delovanje.

Vrsta in oblika zvarnega spoja in zvarov

V preglednici 1 in 2 so vrste zvarnih spojev in zvarov, ki se v praksi najbolj uporabljajo. Poleg teh se lahko uporabijo tudi druge nestandardne vrste zvarnih spojev in zvarov. Po varjenju so zvarni spoji lahko mehansko ali termično obdelani, kar še dodatno vpliva na njihove trdnostne lastnosti.

Na sliki 2 sta dva sočelna zvarna spoja. Na levi strani je neobdelan in na desni strani obdelan zvarni spoj. Že nestrokovnjak lahko ugotovi, da bo imel zvarni spoj na desni, ki je brez zarezne učin-

* dr., Institut za varilstvo, Ptujška 19, Ljubljana

212 ka, boljše trdnostne, predvsem žilavostne lastnosti kot levi.

Pogosto se lahko zgodi, da nastanejo pri slabo izbranih varilnih parametrih ob zvaru obrobne zajede, ki ravno tako predstavljajo zarezni učinek in potencialno možnost za nastanek in širjenje razpoke v zvar in osnovni material (slika 3).

Na sliki 3 vidimo, da je oblika kotnega vara na zvarnem spoju T veliko primernejše oblikovana na desni strani kot na levi. S pravilno izbiro varilnega postopka in optimalno izbranimi varilnimi parametri je torej posredno možno vplivati tudi na trdnostne lastnosti zvarnih spojev, ki morajo

v potresnih razmerah prenašati izjemne dinamične obremenitve.

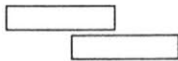
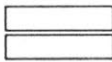
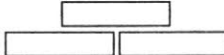
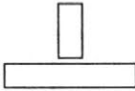
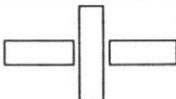
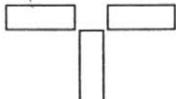
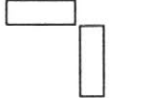
Nekatere vrste zvarnih spojev so sposobne prenašati večje dinamične obremenitve kot druge. Analiza poškodb na varjenih konstrukcijah po potresih v zadnjem obdobju je pokazala, da nekatere vrste zvarnih spojev niso najbolj primerne. Zvarni spoji T, nameščeni med prečko in stebrom, v varjeni konstrukciji niso optimalna rešitev in med potresom utrpijo zelo velike poškodbe (slika 5). Pomembna pa ni samo oblika zvarnega spoja. Stik pri povezavi med prečko in stebrom je tog in členkast. V zadnjem

času se pojavlja tudi vmesni stik, ki se imenuje podajni in je prav tako lahko izdelan z varjenjem ali vijačenjem, kot tog ali členkast stik, ali s kombinacijo obeh (7). Poleg omenjenih razvrstitev delimo stike še glede na nosilnost, duktilnost in drugo. Pri vseh stikih pa imata način in tehnologija varjenja izjemno pomembno vlogo.

Način varjenja in tehnologija izdelave zvarnega spoja

Preglednica 1. Vrste zvarnih spojev določa medsebojna lega varjencev

Table 1. The types of welded joints are determined by the arrangement of workpieces involved

vrsta zvarnega spoja type of welded joint	lega varjencev arrangement of workpieces	opis description
sočelni spoj butt joint		Varjenca ležita na isti ravnini in tvorita sočelni spoj. / Workpieces lie in the same plane forming a butt joint.
sočelni spoj s privihom butt joint with flanged plates		Varjenca ležita v isti ravnini in se stikata s privihanimi robovoma. / Workpieces lie in the same plane forming a butt joint with flanged plates.
prekrovnji spoj lap joint		Varjenca ležita v različnih ravninah in se delno prekrivata. / Workpieces lie in different planes and partially overlap.
skladovni spoj parallel joint		Varjenca ležita v različnih ravninah in se popolnoma prekrivata. / Workpieces lie in different planes and completely overlap one another.
zaplatni spoj strap joint		Prek dveh varjencev, ki ležita v isti ravnini, leži v drugi ravnini tretji varjenec. / Two workpieces lie in the same plane and the third workpiece lies on top of them.
T-spoj T joint		Varjenca ležita v dveh ravninah, ki sta med seboj pravokotni in tvorita črko T. / Workpieces lie in two planes perpendicular to one another and forming the letter T.
križni spoj cruciform joint		Varjenca se med seboj križata ali ležita na ravnini, ki je pravokotna na drugo. / Workpieces cross one another or lie in planes perpendicular to one another.
trodelni T-spoj multiple T joint		Trije varjenci ležijo v treh med seboj pravokotnih ravninah. / Three workpieces lie in three planes perpendicular to one another.
vogalni spoj corner joint		Varjenca ležita v dveh različnih ravninah in tvorita vogal. / Workpieces lie in two different planes forming a corner.
poševni spoj inclined T joint		En varjenec leži na ravnini, ki je poševno na ravnini drugega varjenca. / Workpieces lie in two planes forming an angle between them.

Omenili smo že, da način varjenja vpliva na trdnostne lastnosti vara in zvarnega spoja. Način varjenja z izbranimi varilnimi parametri in z ukrepi pred varjenjem, med in po njem pri izbranem materialu odločilno vplivajo na količino vnesene energije v zvar, na količino pretaljenega osnovnega in dodatnega materiala, velikost toplotno vplivane cone in transformacijske procese v varu in prehodni coni ter na nekatere druge lastnosti. Vse to pa posredno ali neposredno vpliva na trdnost in žilavost zvarnega spoja.

Kot primer navajamo mikrolegirana drobnostnata jekla, ki se jih veliko uporablja za varjene konstrukcije in pri katerih je treba kontrolirati količino vnesene energije na dolžino zvara, če želimo, da bodo v prehodni coni zvara mehanske lastnosti ustrezne.

Splošno velja, da so postopki varjenja z veliko gostoto energije ugodnejši za varjenje, ker je pri njih toplotno prizadeta cona mnogo manjša. Med nje spadajo lasersko varjenje, varjenje z elektronskim snopom in plazemsko varjenje. Koncentracija energije je najmanjša pri plamenem varjenju, ki pa se sedaj za nosilne varjene konstrukcije ne uporablja več zaradi trdnostnih in ekonomskih razlogov. Še vedno pa se uporablja plamenno varjenje s stiskanjem za betonsko železo za armirani beton. Pri analizi potresov v zadnjem obdobju pa se je pokazalo, da ta postopek za sočelno varjenje jeklenih palic za armirani beton ni primeren (slika 9) (8).

Natančne analize zlomov, iz katere bi se lahko ugotovilo, ali je omenjeni postopek neprimeren, ali pa je bila, kar je po naši oceni bolj verjetno, neprimerno izbrana celotna tehnologija plamenskega varjenja s stiskanjem, ni.

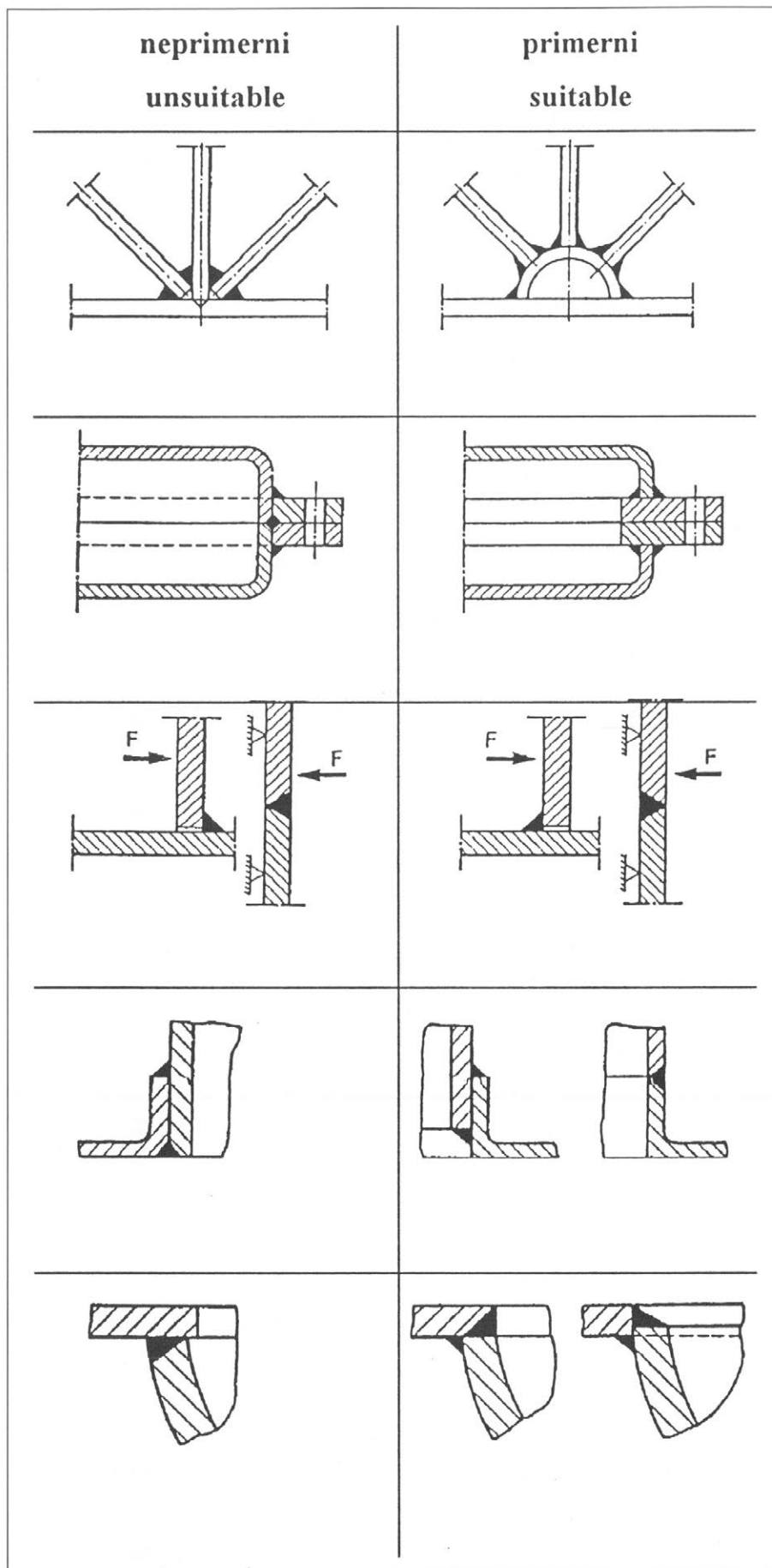
V praksi se danes za varjenje nosilnih jeklenih konstrukcij najbolj uporablja obločno varjenje. Več desetletij je bilo ročno obločno varjenje z oplaščeno elektrodo bazičnega tipa sopomenka za varjenje

konstrukcij na prostem ali v zaprtih prostorih in za statično in dinamično obremenjene spoje. V zadnjem obdobju pa ta način varjenja vedno bolj izpodriva polavtomatsko varjenje s strženskimi žicami. Kakovost je zelo dobra, pa tudi produktivnost je v primerjavi z ročnim obločnim varjenjem večja. Pri tem je treba omeniti tudi elektroporovno sočelno obžigalno varjenje, ki zagotavlja izredno kakovostne zvarne spoje. Postopek se v praksi uporablja za sočelno zvarjanje betonskega železa različnih kakovosti in oblik. Slabost postopka je le ta, da je produktivnost zelo majhna in da je zaradi opreme in pribora dostopnost do mesta varjenja na terenu težja.

Poleg izbire postopka varjenja je pri varjenju nosilnih konstrukcij izjemno pomemben izbor ukrepov pred varjenjem, med in po njem. Najpogostejši ukrepi pred varjenjem so predgrevanje varjencev, preddeformacije, izbor varilnih parametrov in določitev vrstnega reda varjenja. Predgrevanje varjencev je odvisno od vrste materialov, debeline varjencev in vrste zvarnega spoja in delno tudi od vrste postopka. Znanih je več računskih metod, s katerimi je možno izračunati že pred varjenjem ustrezno temperaturo predgrevanja. S temperaturo predgrevanja izboljšamo varivost, zmanjšamo temperaturne deformacije in upočasnimo hitrost ohlajanja, kar vsekakor ugodno vpliva na dinamične lastnosti vara. S preddeformacijami varjencev želimo doseči ustrezno lego varjenca po varjenju. Z izborom varilnih parametrov vplivamo na količino vnesene energije v varjenec in posredno s tem na deformacije in metalurške procese v toplotno vplivani coni in varu. Izjemno pomembno vlogo pri varjenju nosilnih konstrukcij ima vrstni red varjenja, in to ne samo vrstni red varjenja zvarov v celotni konstrukciji, ampak tudi vrstni red posameznih varkov v varu. V nekaterih primerih je treba posamezne varke prekinjati in jih variti v več delih po vrstnem redu, ki zagotovi čim enakomernjši vnos energije po celotni konstrukciji in čim manjše deformacije. Na sliki 4 je predstavljeno pravilno zaporedje varkov pri sočelnem varjenju dveh I-profilov, iz katerih bo izdelan nosilec, ki bo najbolj primeren za prenašanje upogibnih obremenitev.

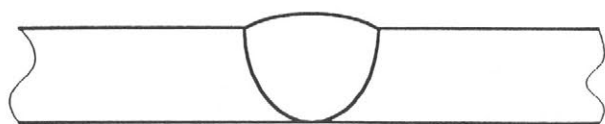
Praktični primeri obnašanja zvarnih spojev med potresom

Po potresih naredijo ponavadi na porušeni zgradbah, poškodovanih mostovih



Slika 1. Nekaj primerov neprimerne in primerne razporeditve zvarov v zvarnem spoju in izbira konstrukcijskih rešitev

Figure 1. Some examples of unsuitable and suitable arrangements of welds in a welded joint and select of construction solution



neobdelan zvarni spoj
mechanically as-welded welded joint



obdelan zvarni spoj
mechanically treated welded joint

Slika 2. Mehansko neobdelan in obdelan zvarni spoj
Figure 2. Mechanically as-welded and treated welded joints

Preglednica 2. Vrste zvarov, ki se v praksi najpogosteje uporabljajo

Table 2. Types of welds most often used in practice

ime zvara type of weld	Oznaka symbol	izgled vara weld appearance
zvar I square butt weld		
zvar V single-V butt weld	V	
polovični zvar V single-bevel butt weld	∇	
zvar Y single-V butt weld with deep root faces	Y	
polovični zvar Y single-bevel tee butt weld	Y	
zvar U U butt weld	U	
polovični zvar U J butt weld	J	
korenski varek root pass	⌒	
kotni zvar fillet weld	△	
podolgovati zvar spot weld seam	┌┐	
točkovni zvar spot weld	○	
kolutni zvar seam weld	⊕	

in cestah ter drugih objektih številne analize in raziskave vgrajenih materialov, uporabljene tehnologije, in primernosti konstrukcijskih izvedb.

Tudi po zadnjih dveh večjih potresih v Los Angelesu januarja 1994 in v Kobeju januarja 1995 so strokovnjaki vsega sveta temeljito preučili porušene zgradbe, obnašanje materialov in konstrukcij med potresom in po njem. Po obeh potresih so analizirali tudi obnašanje zvarnih spojev na jeklih v armiranobetonskih konstrukcijah.

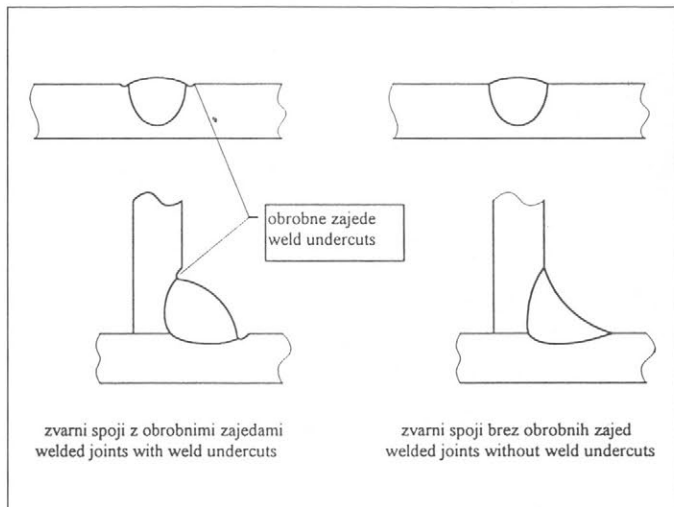
Jeklene konstrukcije med potresom v Kobeju so se dobro obnašale zaradi duktilnosti in žilavosti materiala in bile sorazmerno malo poškodovane. Pri vseh mostovih in viaduktih sta se popolnoma porušila le dva varjena jeklena podpora stebra (8). Bolj kot stavbe z več kot sedmimi nadstropji so bile poškodovane nižje hiše. Najbolj poškodovani so bili zvarni spoji med prečko in stebrom ter zvarni spoji med dvema stebroma.

Na sliki 5 je predstavljena porušitev zvarnega spoja med prečko in stebrom. Kljub temu, da je samo s slike težko določiti razloge za porušitev, lahko hitro ugotovimo, da gre za kotni var in da so dimenzije vara glede na dimenzije nosilca izredno majhne.

Poškodbe in zlome zvarnih spojev med prečnim nosilcem in stebrom med potresom v Kobeju lahko razdelimo v dve skupini. V prvo spadajo zlomi zaradi premajhne trdnosti zvara in te so lahko napaka konstruktorja ali varilnega tehnologa. V drugo skupino spadajo porušitve zvarnih spojev zaradi krhkosti določenih območij v zvarnih spojih. Te napake se pojavijo skoraj izključno v prehodni coni zvarnega spoja, torej v osnovnem materialu in praktično vedno nastanejo zaradi napačno izbrane tehnologije varjenja oziroma zaradi pomanjkljivih ukrepov pred varjenjem, med in po njem.

Pri zvarih, ki so se porušili zaradi premajhne trdnosti, so bile ugotovljene tri vrste pomanjkljivosti:

- predvsem pri kotnih zvarih premajhna globina uvara



Slika 3. Obrobna zajeda predstavlja začetno razpoko, ki se lahko širi v zvar in osnovni material
Figure 3. A weld undercut may initiate a crack propagating in the weld and the parent metal

- nezadovoljiva oblika zvara in nezadovoljiv prehod iz vara v osnovni material, kar je bil v veliko primerih zarezni učinek
- prenizka višina zvara zaradi premajhnega nanosa osnovnega materiala.

Večina teh poškodb je bila na starejših zgradbah. Postavlja se vprašanje, ali je možno starejše zgradbe obnoviti tako, da se pri podobnih potresih, kot sta bila v Kobeju in Los Angelesu, ne bi porušile. Na sliki 6 je predstavljena porušitev zveze med prečko in stebrom zaradi premajhne trdnosti zvarnega spoja.

Večina krhkih zlomov je bila na zvarnih spojih med prečko in stebrom in na zvarnih spojih med dvema stebroma.

Značilnost krhkih lomov je porušitev brez predhodnih deformacij. Razlogov za nastanek krhke cone v zvarnem spoju je več, prav vsi pa so posledica varilno tehničnega neznanja ali malomarnosti in neupoštevanja varilskih pravil med izdelavo.

Na sliki 7 je lepo viden krhek lom v prehodni coni vara. Zvar je bil očitno varjen brez predgrevanja ali pa s prevelikim vnosom energije v varjenec, kar je povzročilo grobo strukturo v prehodni coni vara ali pa celo martenzitno strukturo. Vzrok za to je bila lahko še tudi kaka druga nepravilnost.

Poleg omenjenih razlogov za krhek zlom nekateri strokovnjaki, ki so analizirali porušitve zgradb po potresu, omenjajo tudi izredno velike pozitivne in negativne pospeške v zelo kratkem času med močnim potresom. Večina strokovnjakov, ki so konstruirali protipotresne zgradbe, namreč ni pričakovala takšnega obnašanja zvarnih spojev (10). Na sliki 8 je krhek zlom zvarnega spoja med prečko in stebrom. Začetek razpoke se je pojavil v prehodni coni zvara, nato se je širila sorazmerno globoko v osnovni material.

Za natančno analizo in ugotovitev resničnih razlogov za nastanek krhkih zlomov bi treba te zlome temeljito preučiti in napraviti makro- in mikropregled struktur porušjenih materialov ter druge trdnostne in metalurške raziskave.

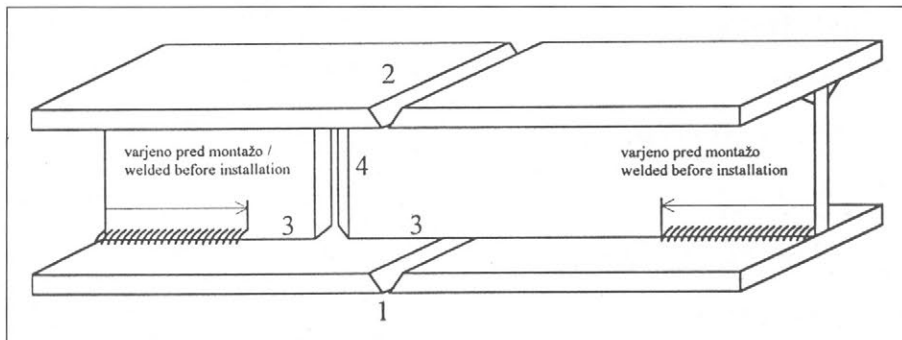
Zanimivo pa je tudi to, da v literaturi, ki poroča o analizi porušitev zvarnih spojev med potresom, skoraj ni govora o načinu varjenja ter vplivu vrste postopka na trdnostne lastnosti zvara in njegovo obnašanje med potresom. Edini primer neustreznega postopka je plamensko varjenje s pritiskom za zvarjanje betonskega železa. Na sliki 9 so predstavljeni zlomi betonskega železa točno v sredini zvara, varjenega s plamenom pod pritiskom. Betonsko železo je bilo sočel-

no zvarjeno in nato zalito z betonom. Med potresom se je beton porušil in skupaj z njim tudi sočelni zvarni spoj.

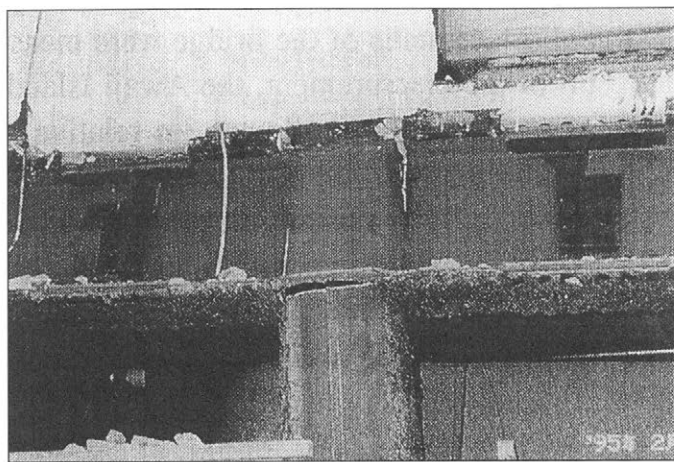
Raziskovalci so pri analizi poškodb zvarnih spojev ugotovili nekaj razlik med potresom v Los Angelesu in Kobeju. Povezane so predvsem z različnimi pristopi pri načrtovanju, izračunih in izdelavi varjenih konstrukcij na Japonskem in v ZDA.

Sklep

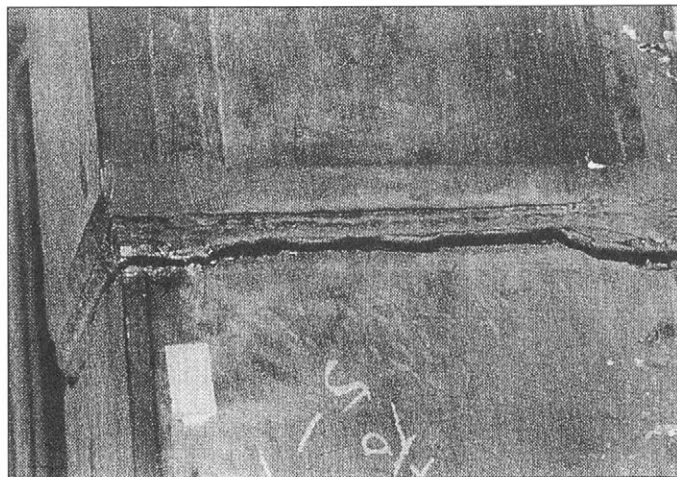
Zvarni spoj je pomemben element varjene potresno varne konstrukcije. Znanih je več vrst zvarnih spojev in več vrst varov. Na trdnost zvarnega spoja najbolj vplivajo vrsta materiala ter oblika zvarnega spoja in tehnologija varjenja. K tehnologiji varjenja poleg načina varjenja spadajo še dodatni ukrepi pred varjenjem, med in po njem. Po varjenju je možno s termično in mehansko obdelavo zvarnega spoja izboljšati njegove mehanske lastnosti. Med potresom utrpijo največje poškodbe prav zvarni spoji in zvari. Trajne deformacije in zlomi na zvarnih spojih nastanejo zaradi premajhne trdnosti ali krhkih con predvsem v toplotno vplivani coni v osnovnem materialu. Razlogi za krhek zlom zvarov na zgradbah, ki so bile porušene med potresom, še niso popolnoma raziskani in jih je prav gotovo več. Eden od njih so lahko krhka območja v zvarnem spoju, ki nastanejo zaradi slabo izbrane varilske tehnologije. Drugi razlog je izredno velika in "nenaravna" potresna energija z velikimi pospeški (tudi do 1,8 g) in izmenično frekvenco 1 do 2 Hz. Pri načrtovanju potresno varnih konstrukcij se morajo konstruktorji poleg strokovnjakov za potresno inženirstvo in drugih posvetovati tudi z varilskimi inženirji in tehnologi, če želijo graditi optimalno potresno varne zgradbe.



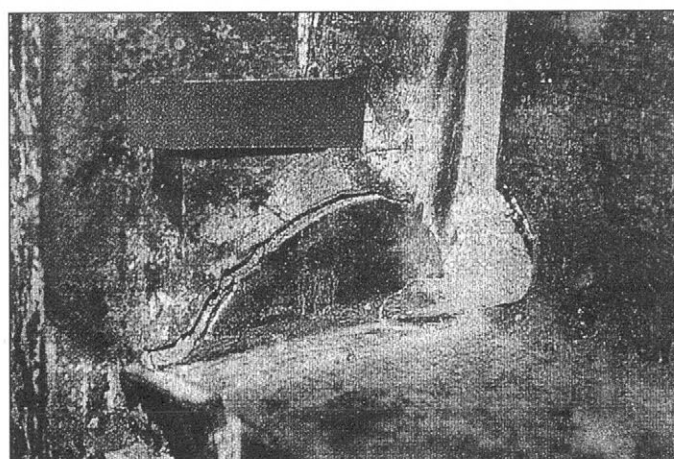
Slika 4. Zaporedje varkov pri sočelnem varjenju dveh I-profilov
Figure 4. Sequence of beads in butt welding of two I profiles



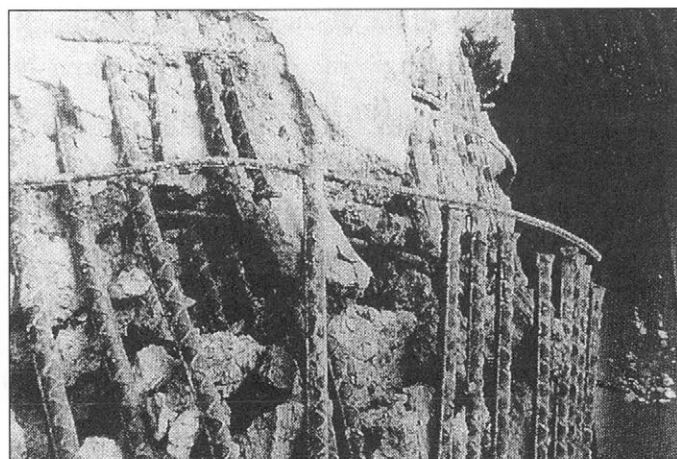
Slika 6. Zlom zvara zaradi premajhne mehanske trdnosti (Kobe 1995) (8)
Figure 6. Weld fracture due to insufficient mechanical strength (Kobe 1995) (8)



Slika 7. Krhek zlom v toplotno vplivani coni vara (Kobe 1995) (8)
Figure 7. Brittle fracture in heat-affected zone (Kobe 1995) (8)



Slika 8. Krhek zlom zvarnega spoja med prečko in stebrom (Los Angeles 1994) (10)
Figure 8. Brittle fracture of welded joint located between transverse beam and column (Los Angeles 1994) (10)



Slika 9. Zlom betonskega železa, ki je bil zalit v beton in varjen plamen-sko s pritiskom (Kobe 1995) (8)
Figure 9. Failure of gas pressure welded reinforcing bars, which were concreted (Kobe 1995) (8)

1. Rieberer, A., 1989. Schweissgerechtes Konstruieren im Maschinenbau – Berechnungs- und Gestaltungsbeispiele. Düsseldorf, DVS-Verlag, Fachbuchreihe Schweissttechnik – Band 95.
2. Fischinger, M., 1994. Projektiranje jeklenih konstrukcij na potresnih območjih. Zbornik, 1. slovenski dnevi jeklenih konstrukcij. Inštitut za metalne konstrukcije v sodelovanju s Fakulteto za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo. Ljubljana, 36–47.
3. Bubnov, S., 1995. Razvoj potresnega inženirstva v Sloveniji. Gradbeni vestnik, 4-5-6, 79–85.
4. Fajfar, P., 1995. Nova metoda za ocenjevanje potresne varnosti in poškodovanosti konstrukcij. Gradbeni vestnik, 4-5-6, 88–93.
5. Vidic, T., Fajfar, P., 1994. Behaviour factors taking into account cumulative damage. Proceeding 10th European Conference on Earthquake Engineering, Dunaj 95–99.
6. Fischinger, M., 1995. Sodobni evropski in slovenski standardi za potresno varno gradnjo konstrukcij. Gradbeni vestnik, 4-5-6, 94–98.
7. Beg, D., 1996. Nov pristop k dimezioniranju stikov v jeklenih konstrukcijah – podajni stiki. Zbornik, 2. slovenski dnevi jeklenih konstrukcij.
8. Horikawa, K., Sakino, Y., 1995. Review of Damage in Welded Joints Caused by the

Kobe Earthquake. Transactions of Japan Welding Research Institute, 2, 1–10.

9. Fischinger, M., Tomaževič, M., 1995. Jeklene konstrukcije med potresom v Kobeju. Zbornik, 2. slovenski dnevi jeklenih konstrukcij. Inštitut za metalne konstrukcije, Ljubljana, 41–52.
10. Skiles, J., L., Campel III, H., H., 1994. Why Steel Fractured in the Northridge Earthquake. Welding Journal, vol. 73, 11, 67–71.

Janez Tušek

Welded Joints in Structures Subject to Earthquake Conditions

A welded joint is the most important element of any welded structure since it

should not only withstand static loads, but also in certain situations varying dynamic loads and pressure. In earthquake resistant constructions, the welded joint should be carefully designed and produced since the welded joint itself should withstand or transfer as much energy as possible in the event of an earthquake. The dynamic strength of the welded joint is influenced by the type of material used, the type of welded joint, the welding process, welding technology etc. Recent analyses of steel and reinforced-concrete buildings after stronger earthquakes have shown that certain welded joints and certain welding processes used are not suitable for constructions which should be earthquake resistant. The analyses also showed, in greater detail, that in the construction of steel and reinforced concrete structures, the welding technology selected was not often fit for the intended purpose since in many structural failures complete brittle fractures occurred, mostly in the heat-affected zone of the welded joint.