

Deformacija in porušitev v nekaterih dvo ali več faznih zlitinah

UDK 66q.018:620.181
ASM/SLA M27d'M

L. Kosec

V zlitinah, sestavljenih iz plastične matice ter zrn togih in krhkih faz, smo opazovali spremembe v geometriji mikrostrukture zaradi plastične deformacije in porušitve med procesi preoblikovanja in odrezovanja. Pojava se lahko kvalitativno opišeta enako kot v kompozitih. Deformacija in porušitev mikrostrukturnih sestavin sta med sabo tesno povezani. Niz pojavov, ki vodijo k mehansko stabilnejši geometriji delcev togih in krhkih faz, smo imenovali mehansko ali deformacijsko modifikacijo.

1. UVOD

Plastična deformacija in porušitev sta elementa mehanizmov preoblikovanja in oblikovanja kovin z odrezavanjem. Iz izkušenj vemo, da posamezni kovinski materiali niso enakovredni za različne postopke obeh skupin tehnologij. Teoretično in tehnološko znanje omogoča načrtovati in izdelati gradiva, ki so prirejena posameznim ali več postopkom in celo za ekstremne teh postopkov, npr. za globoki vlek, obdelavo na avtomatih ipd. Pri metalografski analizi različnih kovin in zlitin, ki so bile preoblikovane ali oblikovane z odrezavanjem, smo pogosto opazili take oblike posameznih mikrostrukturnih sestavin, ki si jih lahko razlagamo le kot posledico njihove porušitve. Tak pojav je najbolj pogosto zaslediti v zlitinah, ki sestojijo iz plastične matice in delcev togih, krhkih in običajno tudi trših faz. Značilni in pogosti primeri takih gradiv so mehko žarjena orodna in hitrorezna jekla z grobimi primarnimi ali eutektičnimi karbidi, karbidne trdine s togo in krhko karbidno fazo in plastično matico iz kobalta kot vezivom, zlitine vrste silumin, loti in ležajne zlitine, kovine in zlitine z vključki mineralnih komponent, intermetalnih spojin itd.

V kvalitativnem pogledu je sestava teh zlitin ekvivalentna zgradbi kompozitov s togimi vlakni in plastično matico, v pogledu geometrije mikrostrukture pa je ta podobnost mnogo manjša, pogosto samo simbolična.

Dr. L. Kosec, dipl. ing. metalurgije, samostojni raziskovalec na Metalurškem inštitutu



V mehanizmih deformacije in porušitve zlitin, sestavljenih iz komponent z zgoraj opisanimi lastnostmi, je eno zanimivih in pomembnih vprašanj nastanek razpok, njihovo širjenje in združevanje. Ugotovljeno je, da le-te nastanejo bodisi s porušitvijo delcev krhke, toge faze ali z dekohezijo na meji med temi delci in matico.

Za porušitev delcev krhke faze v plastični matici veljajo naslednje splošne ugotovitve:

— porušitev delcev poteka progresivno s plastično deformacijo zlitine,

— razpoke v delcih leže normalno na smer glavnih napetosti in

— da velikost ter oblike delcev krhke faze močno vplivajo na to, ali se bo delec porušil ali ne.

Zelo veliko vlogo imajo vključki toge, krhke in trde faze med elastično deformacijo zlitine, ki se kaže v koncentraciji napetosti na meji med vključkom in matico ter v spremembi enosnega v večosno napetostno stanje. Velike koncentracije napetosti so tudi pred čelom razpok, ki nastanejo v krhkih delcih in sežejo relativno daleč v plastično matico. Če napetosti okoli vključka presežejo mejo tečenja matice, se relaksirajo s plastičnim tečenjem matice v kritičnem področju. Pri deformaciji in porušitvi zlitin obstaja velik, vzajemni vpliv mikrostrukturnih sestavin. Z upoštevanjem tega medsebojnega vpliva lahko razložimo tudi značilne geometrije mikrostrukture, nastale pri teh procesih.

2. OPIS POSKUSOV

Ponašanje mikrostrukturnih sestavin zlitin med deformacijo in pri porušitvi smo zasledovali na zlitinah-modelih ter na nekaj tehniško pomembnih in pogostih materialih.

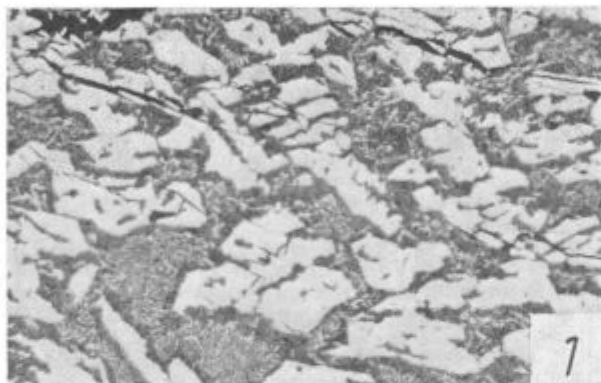
Zlitine-modele smo izbrali na osnovi faznih diagramov ter elementarnih lastnosti kovin oz. faz, ki se lahko v nastalih zlitinah pojavijo. V izbranih zlitinah so bile kovine svinec, kadmij, cink in kositler kot predstavniki izrazito plastičnih kovin ter antimon in bizmut kot krhki komponenti. Večino binarnih zlitin teh kovin je enostavno izdelati.

Enake pojave kot na zlitinah-modelih smo zasledovali tudi na tehniško pomembnih zlitinah: orodnem jeklu C.4850, avtomatnih jeklih ATJ 100 Pb in ATJ 40 Q ter aluminijevi zlitini AlSi18CuNiMg. Pojav deformacije in porušitve smo zasledovali pri različnih mehanskih preizkusih ter obdelavah z odrezovanjem.

4. REZULTATI

1. Značilnosti deformacije in porušitve modelnih zlitin

Vsi izbrani binarni sistemi z eno plastično ter krhko kovino imajo poleg drugih značilnosti tudi eutektično reakcijo. Za izbrani namen so najbolj

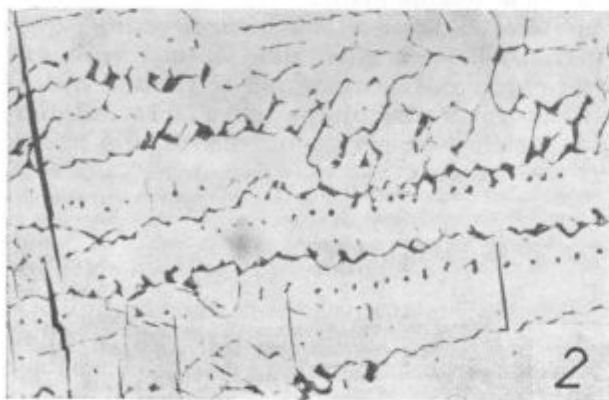


Slika 1

Zlitina Pb-50 % Sb, pov. 120 ×; mikrorazpoke v primarnih zrnih antimona (belo) in v delu matice (eutektika). Upogibni preiskus, pred porušitvijo epruvete.

Fig. 1

Pb-50 % Sb alloy, magn. 120 ×; microcracks in the primary antimony grains (white) and in a portion of matrix (eutectic). Bending test, before the destruction of the test piece.



Slika 2

Zlitina Pb-90 % Sb, pov. 200 ×; mikrorazpoke se širijo v primarnih zrnih antimona in preskočijo tudi vezno fazo. Upogibni preiskus pred porušitvijo epruvete.

Fig. 2

Pb-90 % Sb alloy, magn. 200 ×; microcracks propagate into the primary antimony grains and also jump over on the binding phase. Bending test before the destruction of the test piece.



Slika 3

Zlitina Pb-70 % Bi, pov. 200 ×; del prelomne površine in mikrorazpoke v krhki fazi bizmuta, ki jih ustavi plastična matica (eutektik); primer mnogokratnega preloma.

Fig. 3

Pb-70 % Bi alloy, magn. 200 ×; part of fracture area and microcracks in the brittle bismuth phase which area stopped by the plastic matrix (eutectic); an example for multiple fracture.



Slika 4

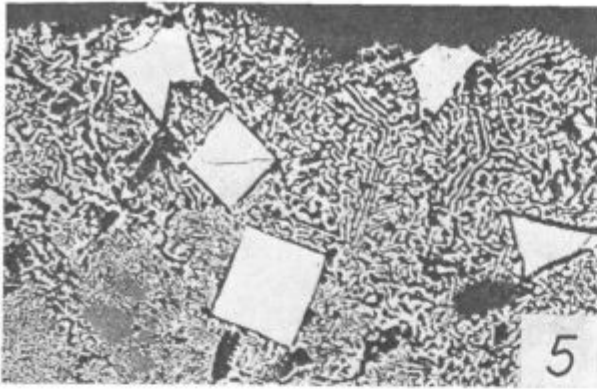
Zlitina Cd-75 % Bi, pov. 200 ×; del prelomne površine in mikrorazpoke v krhkih delcih bizmuta in vezne faze; mnogokraten prelom.

Fig. 4

Cd-75 % Bi alloy, magn. 200 ×; part of fracture area and microcracks in the brittle bismuth particles and binding phases; multiple fracture.

zanimive tiste zlitine, katerih struktura sestoji iz primarnih kristalov toge ali krhke faze ter eutektika, ki je matica. Eutektik sestoji iz trdne raztopine na osnovi plastične kovine ter drobnih delcev toge faze, ki so znatno bolj odporni proti deformacijam od grobih primarnih delcev iste faze. Pri določeni stopnji plastične deformacije posamezne zlitine so se najprej porušila velika zrna krhke faze (antimona, bizmuta), oz. intermetalnih spojin (sl. 1, 2, 6). Razpoke, ki se širijo normalno na glavno napetost, se pri manjši plastični deformaciji ustavijo v plastični matici (eutektiku), z naraščujočo deformacijo pa se razpoka širi do končne porušitve (sl. 3, 4, 5).

Značilno za porušitev zlitin je, da začne s porušitvijo krhke, toge faze; primerov dekohezije

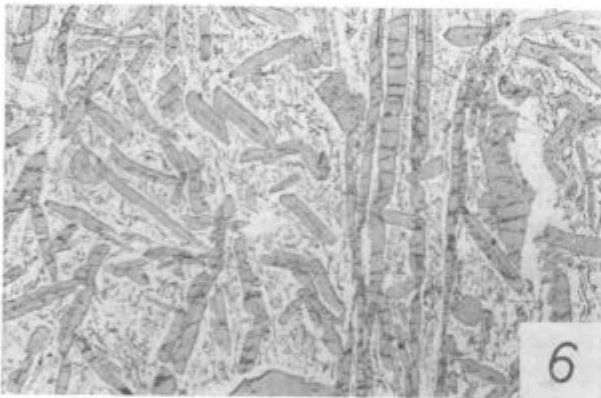


Slika 5

Zlitina Sn-60 % Bi, pov. 200 \times ; del prelomne površine in razpoke v zrnih bizmuta, ki jih ustavi vezna faza (eutektik); mnogokraten prelom.

Fig. 5

Sn-60 % Bi alloy, magn. 200 \times ; part of fracture area and cracks in the bismuth grains which are stopped by the binding phase (eutectic); multiple fracture.



Slika 6

Zlitina Zn-20 % Sb, pov. 100 \times ; mikrorazpoke v lamelah intermetalne spojine ustavljene v vezni fazi (eutektiku).

Fig. 6

Zn-20 % Sb alloy, magn. 100 \times ; microcracks in the lamellae of the intermetallic compound which are stopped in the binding phase (eutectic).

med matico in grobimi zrni krhke faze ni bilo. Prelom zlitin je večkratni, kar pomeni, da nastanejo primarne razpoke v delcih toge faze na več nivojih, oz. mnogo vzporednih razpok, porušitev preko matice pa se izvrši le na enem od teh nivojev.

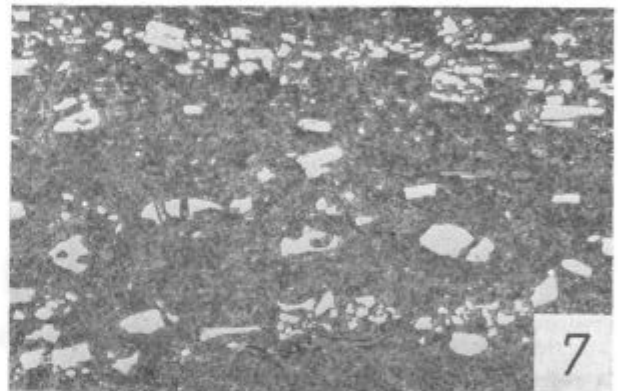
Nekatere mehanske lastnosti zlitin, ki smo jih zasledovali skupaj s pojavom plastične deformacije in porušitve v določenih intervalih koncentracij, približno sledo pravilu zmesi, značilnem za kompozite (npr. trdota, modul elastičnosti).

Delci krhkih in togih faz, ki so sestavine evtektika, se porušijo le na mestih končne razpoke. Ti delci v evtektiku so mnogo manjši od primarno izločenih zrn toge in krhke faze, zato so znatno manj obremenjeni in mehansko stabilnejši v procesu deformacije.

2. Deformacija ledeburitnega orodnega jekla

V kovanem jeklu Č. 4850 in inačicah tega jekla smo pogosto opazili take oblike primarnih in evtektičnih karbidov, ki ne morejo biti zgolj posledica njihove normalne plastične deformacije med preoblikovanjem, ampak kažejo na to, da so ločeni karbidi del enega samega večjega zrna, ki se je med preoblikovanjem porušilo (sl. 7, 8). V jeklih je moč najti različne stopnje tega pojava, od počenih karbidnih zrn do onih, katerih porušene dele je kovinska matica »raznesla« na različne medsebojne razdalje.

Pri začetnih temperaturah kovanja (približno 1050° C) imata obe sestavini jekla primerno plastičnost; geometrija karbidov kaže, da se skupaj deformirajo z avstenitno matico. Ko se temperatura pri kovanju niža, se sposobnost karbidov za plastično deformacijo hitreje zmanjšuje kot sposobnost avstenitne matice. Pri določenih temperaturah kovanja postanejo karbidni delci »togi«, nadaljnja deformacija jekla pa povzroči, da se ne-

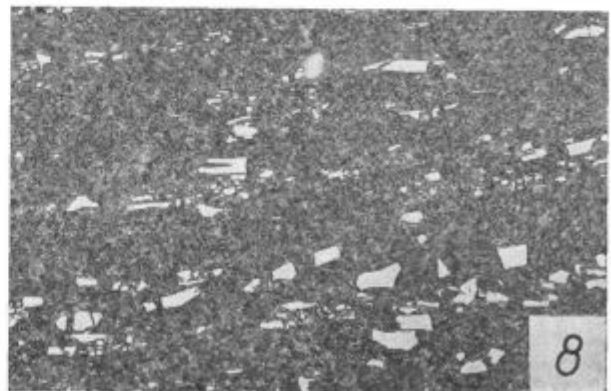


Slika 7

Č. 4850, pov. 200 \times ; porušeni karbidni delci v kovanem jeklu.

Fig. 7

Č. 4850 steel, magn. 200 \times ; broken carbide particles in forged steel.



Slika 8

Č. 4850, pov. 100 \times , porušeni karbidi v kovanem jeklu.

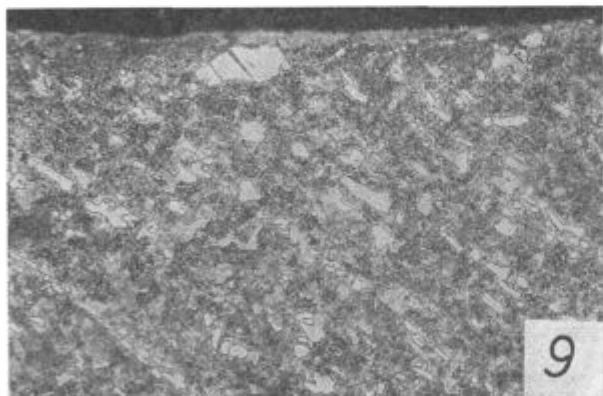
Fig. 8

Č. 4850 steel, magn. 100 \times ; broken carbides in forged steel.

kateri med njimi porušijo. Avstenitna matica med ledeburitnimi polji se bolj deformira od ledeburitnega eutektika. Zato se primarni karbidi v njej bolj pogosto porušijo, posebej še, ker so znatno večji od onih v eutektiku. Togi karbid se lahko poruši na dva ali več delov. Manjši delci so bolj stabilni, saj so znatno manj obremenjeni od velikih. Matica okoli njih se lahko naprej deformira in jih »nosi« s sabo; luknje, ki bi nastale z ločenjem posameznih delov porušenega zrna, pa zapolni plastična matica. Plastična deformacija jekla je povezana s porušitvijo bolj toge komponente mikrostrukture. Posledice te porušitve se že med preoblikovanjem nevtralizirajo, tako da matica zapolni nastale pore in tako nastane stabilnejša konfiguracija mikrostrukture. V jeklih pa obstaja vedno tudi določeno število karbidnih zrn, ki so se porušila ob koncu deformacije jekla, in nastalih razpok matica ni mogla več zapolniti. Take sekvence tega pojava utegnejo biti nevarne za kvaliteto jekla, če vemo, da je matica jekla, namenjenega za delo, martenzitna in z močno zmanjšano možnostjo ustavljanja razpok.

Ne da bi poznali praktične možnosti, bi tako potencialno nevarnost lahko odklonili na dva načina, bodisi z višjo končno temperaturo kovanja ali pa z livarsko modifikacijo karbidne faze.

Podobni primeri kot pri vročem kovanju pa se dogajajo s karbidno fazo in matico tudi pri hladni deformaciji, ki je posledica oblikovanja kovine z odvzemanjem materiala. Na sl. 9 je primer porušenega karbidnega zrna pod površino jekla zaradi močne lokalne plastične deformacije jekla pri vrtanju.



Slika 9
C 4850, pov. 200 ×; površina jekla po vrtanju
(n = 355 min⁻¹, s = 0,12 mm).

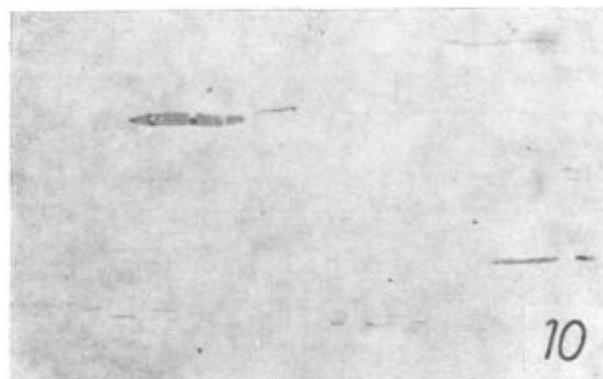
Fig. 9
C. 4850 steel, magn. 200 ×; steel surface after drilling.
(n = 355 min⁻¹, s = 0.12 mm).

3. Ponašanje vključkov manganovega sulfida

Vključki manganovega sulfida so najbolj pogosta mineralna komponenta v jeklih. Za te vključke je znano, da imajo pomembno vlogo v plastični deformaciji in porušitvi jekla. Ugotov-

ljeno je, da se začne porušitev z dekohezijo na meji med vključki in matico. O porušitvi samih delcev manganovega sulfida pa se v strokovnem tisku pojavljajo razprave šele v zadnjem času. Pojav deformacije in porušitve vključkov MnS smo opazovali v dveh avtomatnih jeklih na epruvetah za različne mehanske poizkuse. Pri določeni deformaciji nad mejo tečenja jekla pride do sukcesivnih porušitev sulfidnih vključkov. Pri porušitvi vlada določena selekcija, saj je verjetnost porušitve dolgih in debelih vključkov mnogo večja od porušitve tenkih in kratkih. Vključki počijo na dva ali več delov, ki jih matica »nosi« s sabo, nastale luknje pa zapolni s plastičnim tečenjem. Pojava nastajanje lukenj in zapolnjevanje z matico sta neločljivo povezana (sl. 10, 11, 12).

Pojav dekohezije med vključki in matico nastopi šele pri plastični deformaciji malo pred porušitvijo jekla. Por, oziroma lukenj, nastalih zaradi dekohezije, matica s tečenjem ne more več zapolniti. Širjenje in združevanje teh por povzroči nastanek



Slika 10
Jeklo ATJ 40 Q, pov. 200 ×; porušen sulfidni vključek z delno zapolnjenima porama med razmaknjenimi delci.

Fig. 10
ATJ 40 Q steel, magn. 200 ×; broken sulphide inclusion with partially filled pores between distanced particles.



Slika 11
Jeklo ATJ 40 Q, pov. 200 ×; porušeni delci manganovega sulfida, pojav deformacijske modifikacije.

Fig. 11
ATJ 40 Q steel, magn. 200 ×; broken manganese sulphide particles, phenomenon of deformation modification.



Slika 12

Jeklo ATJ 100 Pb, pov. 200 \times ; deformiran vključek manganskega sulfida po deformaciji s torzijo.

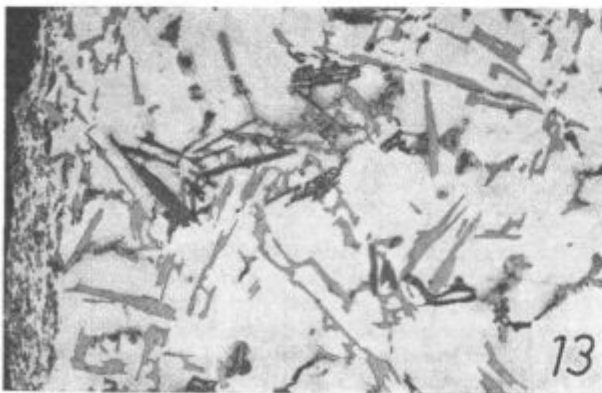
Fig. 12

ATJ 100 Pb steel, magn. 200 \times ; deformed manganese sulphide inclusion being deformed by torsion.

preloma. Porušitve sulfidnih vključkov nastajajo vse do porušitve jekla ter v področju relativno velikih razsežnosti, koder je zadostna plastična deformacija. Pojav dekohezije pa je vezan na razmeroma ozko področje okoli prelomne površine. Primere deformacije ter porušitve sulfidnih vključkov po različnih načinih deformacije jekla kažejo slike 10, 11, 12.

4. Ponašanje intermetalnih faz in zrn silicija v deformirani površini zlitine AlSi18CuNiMg pri odrezovanju

Pri zlitini AlSi18CuNiMg smo opazovali ponašanje mikrostrukturnih sestavin v coni plastične deformacije, nastali zaradi obdelave z odrezovanjem. S spreminjanjem parametrov mehanske obdelave so nastale tudi opazne kvantitativne razlike v stopnji in obsegu deformacije, kvalitativne značilnosti pa so ostale enake. Najbolj ekstremne primerne deformacije smo opazili pri poskusih



Slika 13

Zlitina AlSi18CuNiMg, pov. 200 \times ; površina po struženju ($n = 296 \text{ min}^{-1}$, $s = 1,27 \text{ mm}$, $a = 1,5 \text{ mm}$).

Fig. 13

AlSi18CuNiMg alloy, magn. 200 \times ; surface after turning ($n = 296 \text{ min}^{-1}$, $s = 1,27 \text{ mm}$, $a = 1,5 \text{ mm}$).

vrtnanja. Osnovna značilnost porušitve zlitine po odrezovanju je neenakomernost stopnje obsega plastične deformacije. Na mestih velikih deformacij pride pogosto do pojava t. i. katastrofalne porušitve kristalnih zrn togih in krhkih faz. Velika zrna (npr. silicija ali intermetalnih faz) se zdrobe pod vplivom sile rezanja. Nastali delci so lahko več redov manjši od začetnega zrna. Istočasno s katastrofalnim porušenjem grobih zrn toge in krhke faze se matica plastično deformira. Del zdrobljenih zrn se pomeša z matico. Katastrofalna porušitev zadene predvsem velika zrna, ki so bila v neposrednem stiku z rezalnim orodjem (sl. 13, 14). Zrna pod površino se lahko prav tako porušijo. Globine, do katerih se porušijo zrna togih in krhkih faz, so odvisne od pogojev obdelave; pri poostrenih pogojih obdelave sežejo v globino več 100 μm .



Slika 14

Zlitina AlSi18CuNiMg, pov. 200 \times ; površina po struženju ($u = 592 \text{ min}^{-1}$, $s = 0,68 \text{ mm}$, $a = 1 \text{ mm}$).

Fig. 14

AlSi18CuNiMg alloy, magn. 200 \times ; surface after turning ($n = 592 \text{ min}^{-1}$, $s = 0,68 \text{ mm}$, $a = 1 \text{ mm}$).

4. Analiza rezultatov

Dvo- ali večkomponentne zlitine so pogosto sestavljene iz plastične matice ter togih in krhkih zrn intermetalnih faz in spojin. Mikrostrukturne komponente zlitin imajo lastnosti značilne za sestavine kompozitov^{1,2}. V kvalitativnem smislu je moč deformacijo in porušitev preiskovanih zlitin obravnavati enako kot pri kompozitih. Kvantitativne primerjave ali vrednotenja pa zaradi razlik v geometriji mikrostrukture običajno niso uspešna.

Obremenitev zlitine se razdeli med njene strukturne sestavine. Čim večji je modul elastičnosti in čim večji je volumski delež sestavine, večji del obremenitve prevzame. Pri določenih minimalni plastični deformaciji zlitine se najprej porušijo kristalna zrna togih in krhkih faz. Obremenitev, ki so jo prenašala porušena zrna, prevzame matica, ki istočasno preprečuje tudi širjenje razpok. Oboje uspe kompenzirati s plastičnim tečenjem ter z njim povezano utrditvijo. Za porušitev delcev

toge in krhke faze je mnogo bolj pomembna minimalna stopnja plastične deformacije zlitine kot pa velikost obremenitve. Porušitev preiskovanih zlitin je selektivne narave. Selektivnost se kaže v stopnji deformacije, pri kateri se porušijo posamezne mikrostrukturne sestavine zlitine (togi in krhki delci pred plastično matico) in v geometrijskih parametrih (večji delci se porušijo pred manjšimi).

Zaradi deformacije matice in trdne vezi med matico in delci se gibljejo togi delci tako, kot narekuje deformacija matice. Pri tem se porušeni delci razmaknejo, med njimi nastanejo pore, ki pa jih matica pri naraščajoči deformaciji zapolni. Tako izginejo vse posledice porušitve delcev togih faz. O njih lahko sklepamo iz geometrije novo nastalih delcev ter iz posameznih stopenj tega celovitega procesa. Ker je delež obremenitve, ki jo prenaša delec v zlitini, sorazmeren njegovi velikosti, se pri določeni deformaciji zlitine porušijo delci določenega velikostnega reda. Velikost novo nastalih delcev togih in krhkih faz ustreza »stabilnemu« stanju v določenem področju deformacij. Iz tega je moč sklepati, da vodi selektivna porušitev do take velikosti delcev, ki so obstojni pri vedno večjih obremenitvah in deformacijah. Ta pojav pomeni nastajanje take geometrije mikrostrukture, ki je obstojnejša proti porušitvi. Ker je pojav povezan z zmanjševanjem delcev posameznih faz, smo ga po analogiji s predvsem v livarski praksi znanim pojavom, imenovali deformacijska modifikacija. Glavni prispevek pri tem pojavu ima kovinska matica, ki prevzema obremenitve porušanih delcev, ustavlja razpoke ter zapolnjuje nastale pore. Proces deformacijske modifikacije pomeni zaporedje, ki sestoji iz porušitve delcev togih in krhkih faz, njihovega ločenja ter zapolnitve por s plastično matico. Tak pojav je možen le v zlitinah z majhno koncentracijo delcev toge in krhke faze do deformacij, ki so

malo manjše od onih pri porušitvi zlitine. Proces deformacijske modifikacije ima aditivne lastnosti, kar pomeni, da je odvisen od končne stopnje plastične deformacije, ne glede, v koliko stopnjah je bila dosežena.

V zlitinah z velikim deležem togih in krhkih faz pojava deformacijske modifikacije ni. Znano je, da toga in krhka faza ovira plastično tečenje matice, kar se kaže v zmanjševanju sposobnosti matice pri ustavljanju razpok. Zmanjševanje sposobnosti matice za plastično tečenje je sorazmerno deležu toge faze in obratno sorazmerno širini matice med temi delci. Iz tega razloga pri zlitini AlSi18CuNiMg ni pričakovati deformacijske modifikacije. Makroskopski videz preloma te zlitine je krhek, ne glede na način obremenitve. Mikrofraktografija pa pokaže dvojno naravo prelomne površine; krhki prelom preko delcev intermetalnih faz in silicija ter duktilno porušitev matice.

Deformacijo površinske cone zlitine po odrezavanju lahko primerjamo s pojavi deformacije in porušitve pri preoblikovanju, vendar se na površini tako obdelanih zlitin pojavijo posebnosti, ki kažejo na ekstremne lokalne obremenitve in deformacije. Pri odrezavanju nastanejo v zlitini defekti. Velikost in obseg napak sta odvisna od pogojev dela. Posledic nastalih napak na uporabne lastnosti zlitin nismo analizirali, najverjetneje pa bi se pokazale pri denamični obremenitvi, v pogojih, kjer nastaja napetostna korozija in podobno.

Literatura

1. J. Gurland, N. Parikh: Mikrostrukturne aspekte der Zerstörung von zweiphasigen Legierungen, *Zerstörung, prev. iz angl.*, vol. 7/1, Mir, Moskva, 1976, str. 472–513.
2. J. Gurland: Fracture of Metal-Matrix Particulate Composites, *Composite Materials*, vol. 5, Acad. Press., 1974, str. 45–93.

ZUSAMMENFASSUNG

Unter den technisch anwendbaren Legierungen gibt es viele solche, deren Mikrogefüge aus der plastischen Grundmasse, und von Teilchen aus festen und spröden Phasen zusammengesetzt ist. Das Betragen der mikrostrukturellen Bestandteile in solchen Legierungen während der plastischen Verformung, und bei der Zerstörung, lässt sich auf dieselbe Art wie bei Verbundmetallen erklären. Die äusserliche Belastung verteilt sich auf Grund der bekannten Gesetzmässigkeiten zwischen der Grundmasse und der anderen Bestandteile. Beim bestimmten Verformungsgrad der Legierung werden zunächst die festen und spröden Phasenteile zerstört. Die Grundmasse übernimmt die Belastung der zerstörten Teilchen und verhindert damit die Rissausbreitung.

Die verformte Grundmasse »trägt« mit sich die Teilchen der zerstörten Körner, der festen und spröden Phasen, und füllt die entstehenden Risse durch das plastische Fließen nach. Durch diesen Prozess entsteht eine solche Geometrie der Teilchen der festen und spröden Phasen, welche erheblich zerstörungsbeständiger ist, als die vorher. Die Zerstörung dieser Teilchen kann nur bei beträchtlich grösserer Verformung der Legierung fortgesetzt werden bzw. diese Teilchen sind bis zu der Zerstörung der Legierung beständig.

Mechanische oder Verformungsmodifizierung wären geeignete Ausdrücke für dieses Phänomen.

SUMMARY

Many technically applied alloys have the microstructure composed of plastic matrix with particles being of rigid and brittle phases. Behaviour of microstructural components in such alloys during the plastic deformation and in the destruction can be explained in the same way as the behaviour of composite materials. External load is distributed between the matrix and the other constituents according to the known laws. At a certain degree of plastic deformation of the alloy the particles of rigid and brittle phases are destructed at first. The matrix takes over the load of the destructed particles

and it prevents propagation of cracks. The deformed matrix carries particles of broken grains of rigid and brittle phases, and the formed pores are filled by the plastic flow. Thus such a geometry of rigid and brittle phases is formed which is substantially more resistant to the destruction. Destruction of these particles can occur at a substantially higher deformation of the alloy or they are stable up to the destruction of the alloy.

Mechanical or deformation modification could be suitable expressions for this phenomenon.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Среди сплавов, имеющие техническое применение целый ряд таких, которых микроструктура состоит из основной пластической массы и из частиц жестких и хрупких фаз. Поведение микроструктурных составных частей в таких сплавах во время пластической деформации и сопротивление излому можно идентифицировать с поведением композитов. Внешняя нагрузка распределяется по известной закономерности на основную массу и на остальные составные части. В определенной стадии пластической деформации сплава наступает сперва разрыв частиц жестких и хрупких фаз и основная масса стали берет на себя их на-

грузку и препятствует расширению трещин. Параллельно с этим, деформированная основная масса включает в свой состав частицы, полученные вследствие разрыва зерен жестких и хрупких фаз, которые со своей стороны во время процесса пластической деформации заполняют, образовавшиеся в основной массе поры. С этим процессом получается более благоприятная геометрическая форма частиц жестких и хрупких фаз, которые более устойчивы на сопротивление к излому.

На процесс этого вида более всего бы отвечала дефиниция — механическая или деформационная модификация.