

**ԵՐԻԹԱՅԻՆ ՄԻԱՅՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՀՈԳՆԱԾԱՅԻՆ ՔԱՅՔԱՅՈՒՄՆԵՐԻ  
ԿՈՏՐՎԱԾՔԱԲԱՆԱԿԱՆ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆԸ**

*Դիտարկվում են երիթային միացությունների հոգնածային քայքայման առանձնահատկությունները համատեղ պտտական ծոման և ոլորման բեռնավորման ռեժիմում, հաշվի առնելով վտանգավոր հատույթում լարումների կուտակիչների (կլորանցում, երիթային ակոս, նստեցում) համատեղ ազդեցությունը և միացության կոնստակտային մակերևույթում ընթացող ֆիզիկամեխանիկական երևույթները:*

**Առանցքային բառեր.** *երիթային միացություն, հոգնածային քայքայում, լարումների կուտակիչ, կոտրվածքաբանություն, տեխնիկական արատաորոշում*

Տարբեր դասերի մեքենաների, տեխնոլոգիական սարքավորումների և տրանսպորտային միջոցների զանգվածային արտադրությունը, դրանց տեխնիկատնտեսական ցուցանիշների բարձրացումը և միաժամանակ՝ նյութատարության նվազեցման միտումները վերջին տարիներին հանգեցրել են այդ համակարգերում մերժերի և վթարների թվի կտրուկ աճի, որոնց գերակշիռ մասը հոգնածային բնույթ է կրում: Նման իրավիճակը թելադրում է կոնստրուկցիոն պողպատներից և այլ համաձուլվածքներից պատրաստված պատասխանատու մեքենամասերի և հավաքման միավորների համար ընդլայնել կոտրվածքաբանական հետազոտությունները, մշակել տեխնիկական արատաորոշման նոր մեթոդներ և առաջադրել մերժերի և վթարների վերացման համալիր հաշվարկանախագծային, տեխնոլոգիական, շահագործական և տեխնիկական սպասարկման միջոցառումներ:

Նշված հետազոտությունները, որոնք կատարվել են ֆիզիկական մեթոդների կիրառմամբ և հիմնականում՝ կոտրվածքների ակնադիտական գնահատմամբ, վերաբերվել են համեմատաբար պարզ կոնստրուկցիայի և միակ գործող լարումների կուտակիչներով մեքենամասերին՝ պարզ լարվածային վիճակի պայմաններում, իսկ որոշ դեպքերում հաշվի են առնվել ջերմաստիճանային և կոռոզիոն միջավայրի գործոնները: Արդյունքները դասակարգվել և ներկայացվել են տեղեկատու և ուսումնական գրականությունում, կազմվել են առկաներ [1, 2]:

Տեխնիկական համակարգերի կինեմատիկական շղթաներում և ուժային հանգույցներում տեղաբաշխված մեքենամասերի և հավաքման միավորների (առնիներ, լիսեռներ, «լիսեռ-կունդ» միացություններ և այլն) վտանգավոր հատույթներում գործող համատեղ պտտական ծոման և ոլորման բեռնվածության ռեժիմը, աշխատանքային մակերևույթների ֆիզիկամեխանիկական վիճակը, հանգույցների կոնստրուկցիոն առանձնահատկությունները, պատրաստման և

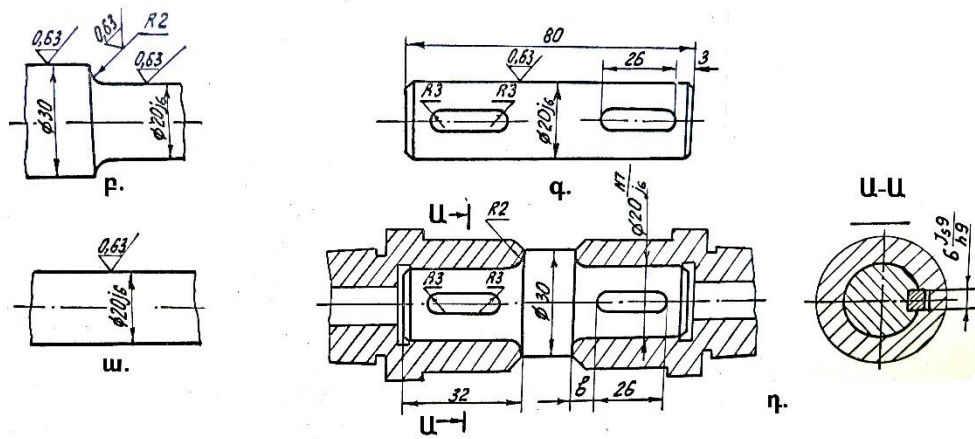
հավաքման տեխնոլոգիական գործընթացները, ինչպես նաև աշխատանքային պայմանները՝ բարձր հաճախական և ճառագայթային դաշտերի, մթնոլորտային և կոռոզիոն միջավայրերի ներգործումները բնորոշում են աշխատանքային մակերևույթներում առաջացող հոգնածային վնասվածքների, ճաքերի զարգացման և վերջնական քայքայման գործողությունները, որոնք արտապատկերվում են կոտրվածքի մակերևույթի վրա:

Նշված փոփոխական բարդ բեռնվածության ( $\pm M, T$ ) և երկու և ավելի լարումների կուտակիչների լարվածային դաշտերի համատեղ ազդեցության դեպքը լայն տարածված է տեխնիկական համակարգերի ուժային հանգույցներում և հատկապես «լիսեռ-կունդ» միացություններում, որն էլ հաճախ հոգնածային քայքայման պատճառ է դառնում: Այս դեպքը կոտրվածքաբանությունում համեմատաբար քիչ է ուսումնասիրված, որովհետև նշված հանգույցների իրական աշխատանքային ռեժիմները մոդելավորելու և հոգնածային կոտրվածքներ ստանալու նպատակով անհրաժեշտ է նախագծել և պատրաստել հոգնածային հատուկ փորձարարական մեքենա և փորձարկել բարդ կոնստրուկցիայի հավաքական փորձանմուշներ:

Այս ամենը պահանջ է առաջադրում կոտրվածքաբանության մեջ կատարված դասակարգումներում [3, 4] ներառել նաև վերոհիշյալ դեպքը, օգտագործելով ՀՊՃՀ (Պ) մեքենագիտության ամբիոնի հետազոտական լաբորատորիայում նշված բեռնվածության ռեժիմով փորձարկված պողպատյա փորձանմուշների և երիթային միացությունների կոտրվածքների բնորոշ բոլոր դեպքերը [3, 4]: Որպես փորձարարական տեղակայանք կիրառվել է պարփակված ուժային հոսքի սկզբունքով գործող և ամբիոնում նախագծված հոգնածային մեքենա, որը բեռնավորում է փորձանմուշները համատեղ պտտող ծող և ոլորող մոմենտներով և լայնական հատույթներում ստեղծում փոփոխական բարդ լարվածային վիճակ՝ շոշափող և նորմալ լարումների հարաբերության  $\tau/\sigma = 0 \dots 3,0$  միջակայքում: Որպես փորձանմուշներ օգտագործվել են պողպատ 45-ից պատրաստված ( $\sigma_T = 415 \text{ ՄՊա}$ ,  $\sigma_B = 670 \text{ ՄՊա}$ ,  $\tau_T = 250 \text{ ՄՊա}$ ,  $\tau_B = 580 \text{ ՄՊա}$ ,  $HB = 185 \dots 190$ ) հարթ, լարումների կուտակիչներով լիսեռներ և երիթային միացություններ (նկ. 1), որոնք նմանակում են տվյալ բեռնվածության ռեժիմում մեքենամասերի լիսեռների և «լիսեռ-կունդ» միացությունների աշխատանքը:

Դիտարկվել են հետևյալ լարումների կուտակիչները.

- ա) լիսեռի կլորանցումը (галтель),
- բ) երիթային ակոսը լիսեռի վրա,
- գ) հպման մակերևույթների նստեցումը (անցումային կամ մամլային), ինչպես նաև երիթի աշխատանքային եզրի երկարությամբ պտտող մոմենտի անհավասարաչափ բաշխումը:

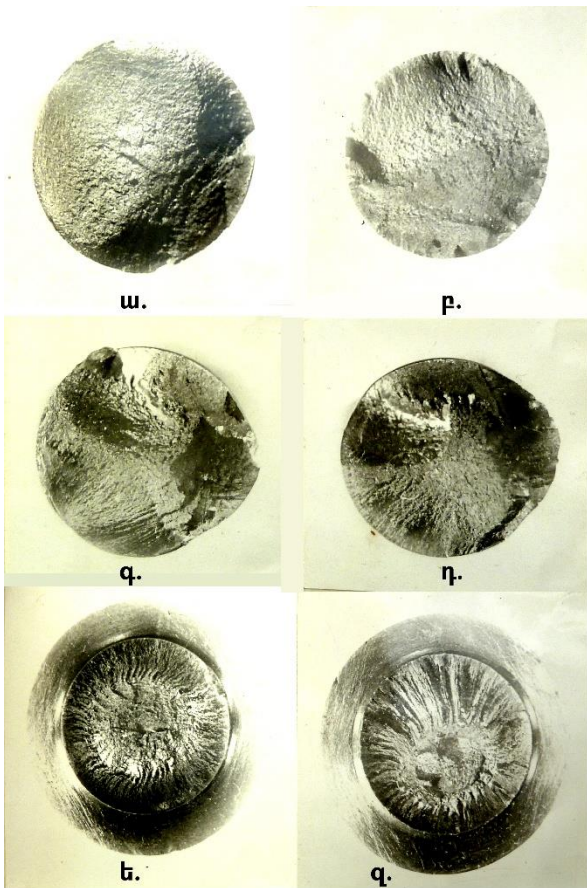


Նկ. 1. Փորձանմուշների տեսքերը. ա – հարթ, բ – կլորանցումով, գ – երիթային ակոսով, դ – երիթային միացությամբ

Ի տարբերություն երիթային միացությունների նախկին փորձարկումների, որոնք իրականացվել են կոնստրուկտիվ տարրերի և բեռնվածության ռեժիմների առանձնացված սկզբունքով (կլորանցմամբ, երիթային ակոսով, նստեցվածքով լիսեռներ՝ փոփոխական ծռման և ոլորման ռեժիմներով առանձին-առանձին), նշված փորձարկումներում օգտագործված հավաքական փորձանմուշների կոնստրուկցիան (նկ.1) թույլ է տվել առավելագույնս մոդելավորել միացության իրական աշխատանքային ռեժիմը, որից կարևորները պատող մոմենտի հաղորդումն է միացության միջով, լարումների կուտակիչների լարվածային դաշտերի վերադրումները, ինչպես նաև նորմալ և շոշափող լարումների համատեղ ազդեցությունը:

Նշված գործոնների համատեղ ազդեցությունը միացության հպման մակերևույթի որոշակի տեղամասերում և լայնական հատույթներում առաջացնում է համատեղ գործող փոփոխական նորմալ և շոշափող լարումներ, որոնց վերադրումը հանգեցնում է լարվածային վիճակի գերաճի, իսկ արդյունքում հոգնածային վնասվածքների առաջացման և ճաքերի զարգացման: Գործոններից առաջացած յուրաքանչյուր լարվածային վիճակն ունի իր առանձնահատկությունները, որի համար նախնական փուլում նպատակահարմար է առանձին դիտարկել այդ լարումների փոփոխման օրինաչափությունները:

Պտտական ծռման դեպքում ( $\pm M$ ) հարթ փորձանմուշների հոգնածային կոտրվածքների մակերևույթը համարյա ուղղահայաց է երկայնական առանցքին կամ շեղված  $3...5^\circ$ -ով (նկ. 2ա,բ): Հոգնածային ճաքերի զարգացման գոտին և վերջնակոտրվածքը նույն հատույթում են և ցիկլային բարձր գերլարումների դեպքում դրանց եզրագծերը թույլ են արտահայտված: Համատեղ պտտական ծռման և ոլորման դեպքում ( $\pm M, T$ ) այդ գոտիները հստակ են ձևավորվում, վերջնակոտրվածքը տարածական տեսք ունի և ճաքերի զարգացման գոտու նկատմամբ թեքված է  $25...30^\circ$  անկյան տակ, որի արժեքները մեծանում են  $T$ -ի աճի հետ կապված (նկ. 2գ, դ):



*Նկ. 2. Փորձանմուշների հոգնածային կոտրվածքները.*

*ա, բ – հարթ փորձանմուշներ, պտտական ծռում,  $\pm\sigma_1$*

*(ա) և  $\pm\sigma_2$  (բ) լարումների դեպքում  $\sigma_1 > \sigma_2$ ,*

*գ, դ – հարթ փորձանմուշներ, համատեղ պտտական*

*ծռում և ոլորում ( $\tau/\sigma = 0,5$ ),  $\pm\sigma_1$  (գ) և  $\pm\sigma_2$  (դ)*

*լարումների դեպքում  $\sigma_1 > \sigma_2$ ,*

*ե, զ – կլորանցումով փորձանմուշներ, համատեղ*

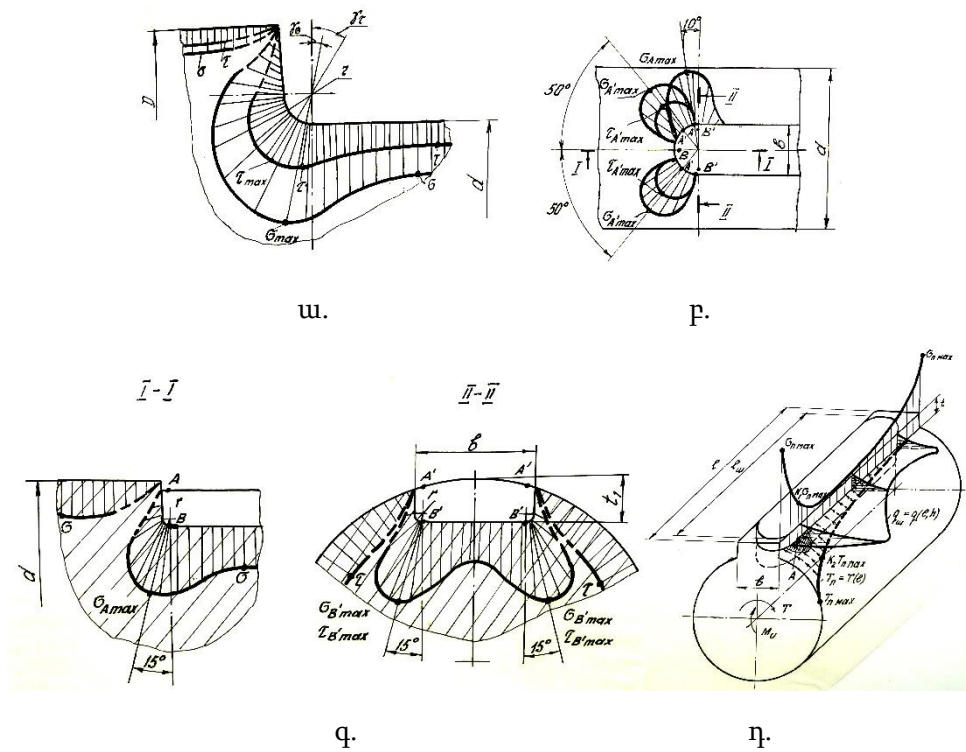
*պտտական ծռում և ոլորում ( $\tau/\sigma = 0,5$ ),  $\pm\sigma_1$  (ե) և  $\pm\sigma_2$*

*(զ) լարումների դեպքում  $\sigma_1 > \sigma_2$*

Լիսեռների կլորանցումներում գործող եզրային լարումները փոփոխվում են կոսինուսային օրենքով և կախված  $D/d$ ,  $r/d$  հարաբերությունից՝  $\sigma_{max}$  և  $\tau_{max}$  արժեքներ են ստանում կլորացման գոտում լիսեռների եզրագծի կորագծայինից ուղղագծայինին անցման

տեղամասում ( $\gamma_\sigma = 5 \dots 10^\circ$ ,  $\gamma_\tau = 3 \dots 7^\circ$ , նկ.3ա, [4]) և գործում են լայնական հատույթին փոխուղղահայաց հարթություններով: Նշված տեղամասում հոգնածային վնասվածքների առաջացման ընթացքի վրա գերակա է  $\sigma_{max}$ -ի ազդեցությունը. բարձր ցիկլային գերլարումների դեպքում մակերևութային շերտերում առաջացած ճաքերը զարգանում են հատույթի շառավղի ուղղությամբ և ճաքերի ափերի ցիկլային հպման պատճառով հոգնածային քայքայման գոտին փայլուն տեսք է ստանում: Ճաքերի ճակատային եզրը շրջանային տեսք ունի և համաչափ է դասավորված հատույթի կենտրոնի նկատմամբ, իսկ վերջնակոտրվածքի մակերեսը մեծ է և ունի ստաստիկ, փխրուն քայքայմանը համապատասխանող մակերևույթ: Ցածր ցիկլային գերլարումների դեպքում ճաքերի ճակատային եզրը շեղվում է համաչափ դասավորությունից, վերջնակոտրվածքի մակերեսը փոքրանում և էլիպտիկ տեսք է ստանում, իսկ հոգնածային քայքայման գոտու մակերեսը համեմատաբար մեծ է և լարումների ցիկլերի մեծ թվի պատճառով ավելի կիպահղված տեսք ունի (նկ.2ե, զ):

$\tau_{max}$  լարումների ազդեցությունը հիմնականում բացահայտվում է հոգնածային քայքայման եզրափակիչ փուլում, երբ վտանգավոր հատույթի «կենդանի կտրվածքի» նվազման հետևանքով շոշափող լարումների իրական արժեքները զգալիորեն աճում են և փոխում հոգնածային ճաքերի զարգացման ուղղությունը՝ դրանց շոշափող դարձնելով վերջնակոտրվածքի եզրագծին (նկ.2ե, զ): Այս երևույթը բնութագրվում է միայն դիտարկված փոփոխական բարդ բեռնավորման ռեժիմին և կարող է հավաստի հայտանիշ դառնալ ռեժիմի և ցիկլային գերլարումների բաղադրիչների մակարդակի տեխնիկական արատաորոշման համար:



**Նկ. 3. Եզրային լարումների էպյուրները լարումների կոտակիչներում. ա – կլորանցումով, բ – երիթային ակոս, գ – I-I և II-II հատույթներում, դ – բեռնվածքի և լարումների բաշխումը երիթի վրա**

Երիթային միացությունների հոգնածային քայքայման տեխնիկական արատաորոշումը կապված է որոշակի բարդությունների հետ, որոնք ենթադրում են ներքոհիշյալ գործոնների համակարգված հաշվառումը և գնահատումը.

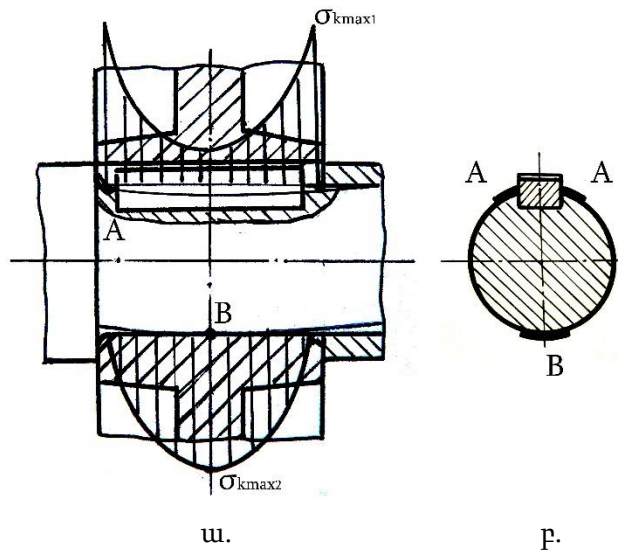
- ա) բարդ բեռնվածության բաղադրիչների անհավասարաչափ բաշխումը միացության աշխատանքային մակերևույթների վրա (երիթի եզր, կոնտակտային գլանական մակերևույթ),
- բ) փոփոխական բարդ լարվածային վիճակի առաջացումը վտանգավոր հատույթին փոխադրահայաց հարթություններում, որտեղ գործում են նորմալ և շոշափող լարումների առավելագույն արժեքները,
- գ) միացության վտանգավոր հատույթում լարումների կոտակիչների լարվածային դաշտերի համադրումը,
- դ) միացության կոնստրուկտիվ տարրերի աշխատանքային մակերևույթներում կոնտակտային միկրոտեղաշարժերի առկայությունը, որը հանգեցնում է մակերևութային վնասվածքների առաջացմանը և հոգնածային ճաքերի զարգացմանը,
- ե) միացության տարրերում տարբեր ֆիզիկամեխանիկական հատկություններով օժտված կոնստրուկցիոն նյութերի կիրառումը:

Երիթային միացություններում հոգնածային կոտրվածքները, որպես կանոն, առաջանում են լիսեռի լայնական հատույթում՝ երիթային ակոսի սկզբնամասում (նկ. 3բ, գ), որտեղ նորմալ լարումներն առավելագույնն են ( $\sigma_{max}$ ): Մասային ֆրեզով երիթային ակոսի մշակման դեպքում

$\sigma_{maxi}$  լարումներն առաջանում են ակոսի հատակից ուղղահայաց աշխատանքային մակերեսին անցման հատվածում (նկ. 3գ), որտեղ կորության շառավիղը շատ փոքր է:  $\sigma_{maxi}$  լարումները փոփոխական են նաև ակոսի հատակի ողջ շրջագծով և ստանում են իրենց առավելագույն արժեքը ակոսի՝ կորագծայինից ուղղագծայինին անցման հատվածում ( $A'$  կետ, նկ. 3գ,  $\varphi \approx 30 \dots 35^\circ$ ), որը հաստատվում է նաև միայն երիթային ակոսով փորձանմուշների հոգնածային փորձարկումներով: Հաշվի առնելով միացության տարրերի (լիսեռ, երիթ, կունդ) տարբեր կոշտությունները՝ միացությունում գործող  $T$  ոլորող մոմենտը երիթի աշխատանքային եզրի երկարությամբ անհավասարաչափ է բաշխվում, ստանալով  $T_{max}$  արժեքը միացությանը ոլորող մոմենտի փոխանցման հատվածում (նկ.3դ), որն իր հերթին բարձրացնում է լարվածային վիճակի անհավասարաչափ բաշխման աստիճանը:

Երրորդ և առավել կարևոր լարումների կուտակիչ է համարվում նստեցումը միացության մեջ, որի կոնստրուկտիվ տարրերի տարբեր կոշտությունների պատճառով բեռնվածքի ազդեցության դեպքում աշխատանքային մակերևույթի վրա առաջանում են միկրոտեղաշարժեր, իսկ արդյունքում.

- ա) կոնտակտային լարումների կուտակում աշխատանքային մակերևույթի ծայրամասերում և միջին հատվածում (նկ.4ա),
- բ) նույն տեղամասերում միկրոտեղաշարժերի հետ կապված՝ կոնտակտային կերամաշում (ֆրետինգ), մակերևութային վնասվածքների առաջացում և հոգնածային ճաքերի զարգացում:



**Նկ. 4. Կոնտակտային լարումները նստեցումից. ա – լարումների բաշխումը կոնտակտում, բ – ճաքերի զարգացման տեղամասերը**

Լարումների կուտակման աստիճանով ( $\alpha_\sigma = 2,5 \dots 3,0$ ) այն գերազանցում է կլորանցման և երիթային ակոսների ազդեցությունները և քանի որ կոնտակտային առավելագույն լարումները գործում են երիթի աշխատանքային եզրի ծայրամասում, ապա երիթային միացության քայքայման հատույթն առավելագույն լարումների գումարային արդյունքով որոշ չափով



տեղաշարժվում է դեպի  $A$  կետը (նկ. 3դ), իսկ հաճախ նաև հոգնածային ճաքերը զարգանում են հատույթի հակադիր կողմից ( $B$  կետ, նկ.4ա): Ոլորող մոմենտի փոխանցման և երիթի աշխատանքային եզրով դրա անհավասարաչափ բաշխման հետևանքով լարումների կուտակման երևույթն ավելի զգալի է դառնում, որի հետևանքով  $\alpha_\sigma$ -ի նշված արժեքներն աճում են 15...25 %-ով: Գործնական տեսակետից կարևոր խնդիր է դառնում նաև նշված լարումների կուտակիչների փոխադարձ դասավորման այն սահմանները, որոնց դեպքում բացառվում է լարվածային դաշտերի վերադրումը և յուրաքանչյուրի  $\sigma_{max}$  արժեքի հետագա աճը: Նման բնույթի քայքայումը ևս մի հայտանիշ է, որը բնորոշում է երիթային միացության կոտրվածքի տեխնիկական արատաորոշումը:

Հոգնածային դիմադրության փոփոխականությունը նշված լարումների կուտակիչների համակցված ազդեցության պայմաններում ունի իր առանձնահատկությունները, կապված ոչ միայն լարվածային դաշտերի համադրմամբ, այլ նաև միացությունում ընթացող ֆիզիկամեխանիկական երևույթներով: Միացության մեջ գերակշիռ ազդեցություն ունի անցումային նստեցումը, որի շնորհիվ կոնստակտային ճնշումից և փոփոխական միկրոտեղաշարժերից մակերևութային վնասվածքներ են առաջանում (ֆրետինգ-կոռոզիա), իսկ լիսեռի կլորանցումը և երիթային ակոսն իրենց լարվածային դաշտերով նպաստում են հոգնածային ճաքերի զարգացմանը (նկ.5):



**Նկ. 5. Երիթային միացությունների հոգնածային կոտրվածքները (համատեղ պտտական ծռում և ոլորում,  $\tau/\sigma = 0,5) \pm \sigma_1$  (ա) և  $\pm \sigma_2$  (բ) լարումների դեպքում՝  $\sigma_1 > \sigma_2$**

Կոնստակտային մակերևութների տարբեր ֆիզիկամեխանիկական հատկությունները, մակերևութային միկրոտեղաշարժերը և փոխազդեցությունները զգալիորեն փոխում են հոգնածային վնասվածքների առաջացման և ճաքերի զարգացման մեխանիզմները, որի պատճառով երիթային միացության հոգնածային դիմադրությունը հնարավոր չէ լիովին և հավաստի գնահատել առանձին կոնստրուկտիվ տարրերի փորձարկումներով, որը մեծամասամբ մինչ այժմ կատարվել է: Միայն գործոնների համալիր ազդեցությունը թույլ կտա ստուգել և ճշտել նախկինում ստացված արդյունքները և առաջադրել նախագծային և տեխնոլոգիական նոր միջոցառումներ:

## ФРАКТОГРАФИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ УСТАЛОСТНЫХ РАЗРУШЕНИЙ ШПОНОЧНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Рассматриваются особенности усталостного разрушения шпоночных соединений в режиме нагружения совместным круговым изгибом и кручением, учитывая совместное действие концентраторов напряжений (галтель, шпоночный паз, посадка в соединении) и физико-механических явлений, протекающих на контактной поверхности соединения.

**Ключевые слова:** шпоночное соединение, усталостное разрушение, концентратор напряжений, фрактография, техническая диагностика

M.G. Stakyan,  
V.K. Soghomonyan

## FRACTOGRAPHIC RESEARCH OF FATIGUE FRACTURE OF KEY JOINTS

The specifications of key joint fatigue fracture in case of co-rotating bending and torsion mode is considered, taking into account the combined effect of stress concentrators (fillet, keyway, fitting in the joint) and physical-mechanical phenomena occurring at the joint contact surface.

**Keywords:** key joint, fatigue fracture, stress concentrator, fractography, technical diagnostics.

### Գրականություն

1. Гордеева Т. А., Жегина И. П. Анализ изломов при оценке надежности материалов.- М.: Машиностр., 1978.- 200 с.
2. Фрактография и атлас фрактограмм: справочник/ Пер. с англ. Е.А. Шура.- М.: Metallurgiya, 1982.- 489с.
3. Стакян М. Г., Исаханян Н. С., Шагаев Ю. П. Об измерениях микротвердости в зоне усталостного излома // Завод. лаборатория. – 1990.- № 11.- С. 91-94.
4. Սողոմոնյան Վ. Վ. Հոգնածային կոտրվածքների դասակարգումը և արատաորոշումը փոփոխական բարդ բեռնվածության դեպքում // ՀՊՃՀ (Պ) Լրաբեր՝ գիտ. և մեթ. հոդվ. ժող.- 2015.- Հ. 2.- Էջ 64 - 72:

Աշխատանքն իրականացված է ՀՀ պետական բյուջեից գիտական և գիտատեխնիկական գործունեության բազային ֆինանսավորմամբ «ՀՀ ճարտարապետական և շինարարական համալիրների կայուն զարգացման ուղիների բացահայտում, ճշգրտում, ներդրման առաջարկությունների և հանձնարարականների մշակում՝ մշտական մոնիտորինգի կիրառմամբ» ծրագրի շրջանակներում:

*Ստակյան Միհրան Գրիգորի, տ.գ.դ., պրոֆ.* (ՀՀ. ք. Երևան) – ՃՇՀԱՀ, ակ. Ար. Թամանյանի անվ. ճարտարապետության և շինարարության պրոբլեմային լաբորատորիա, գ.ա., ՀԱՊՀ Մեքենագիտ. ամբ., (+374) 10564012, (+374) 10554362, *Սողոմոնյան Վարդան Կարենի* (ՀՀ. ք. Երևան) – ՀԱՊՀ, Մեքենագիտ. ամբ., ասպիրանտ, (+374) 10564012, (+374) 91940470:

*Տակյան Միգրան Գրիգորևիչ, ծ. տ. ու., պրոֆ.* (ՐԱ, ց. Երևան) – НУАСА, Проблемная лаборатория Архитектуры и строительства им. акад. Ал. Таманяна, н.с., каф. Машиновед. НПУА, (+374) 10564012, (+347)10554362, *Согомонян Вардан Каренович* (ՐԱ, ց. Երևան) – НПУА аспирант, каф. Машиновед., (+374) 10564012, (+374)91940470.

*Stakyan Mihran Grigor, Doctor of Science (Engineering), Professor* (RA, Yerevan) – NUACA, Research Laboratory of Architecture and Construction after Academician Al. Tamanyan, scientific researcher, Dep. of Machine Science, NPUA, (+374) 10564012, (+374)10554362, *Soghomonyan Vardan Karen* (RA, Yerevan) - NPUA, postgraduate st., Dep. of Machine Science, (+374)10564012, (+374)91940470.

Ներկայացվել է՝ 27.02.2015թ.

Ընդունվել է տպագրության՝ 03.03.2015թ.