

УДК 539.3:620.1

ԲՈՐԱԼՅՈՒՄԻՆԱՅԻՆ ԲԱՂԱԴՐԱՆՅՈՒԹԵՐԻ
ՄՆԱՅՈՐԴԱՅԻՆ ԼԱՐՈՒՄՆԵՐԻ ՈՐՈՇՈՒՄԸ
Գասպարյան Ս.Հ., Գևորգյան Ս.Խ, Մուսալյան Ս.Լ.

S.A. Gasparyan, S.Ch. Gevorkyan, S.L. Musaelyan
Определение остаточных напряжений в боралюминиевых композитах

Приведены метод определения остаточных напряжений в боралюминиевых волокнистых материалах и результаты их реализации. Рассматривая возникновение остаточных напряжений как случайный процесс, построена методика представления данных экспериментов, на основе которой проведена количественная оценка их величины и распределения.

S.H. Gasparyan, S.Ch. Gevorkyan, S.L. Musaelyan
Determination of boron-aluminium composite's residual stresses

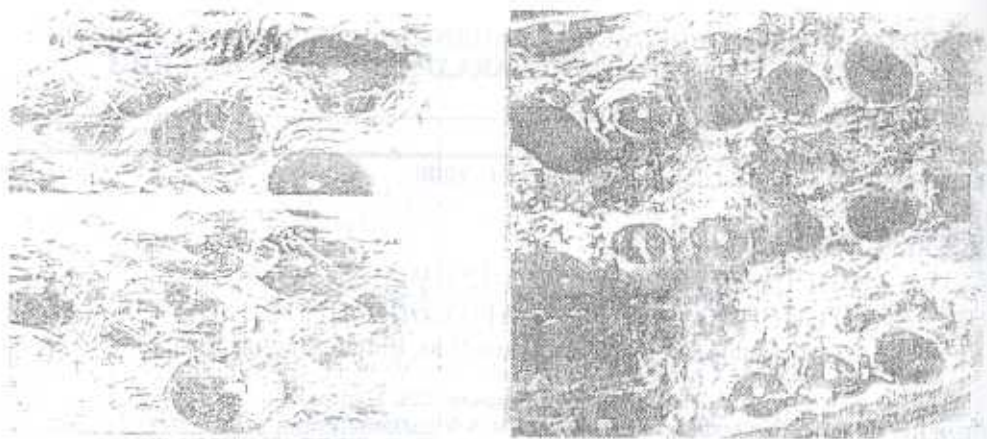
Բերված են բորալյումինային բերավոր բաղադրանյութերում մնացորդային լարումների որոշման փորձարարական մեթոդ և դրանց իրականացման արդյունքներ: Դիտարկելով մնացորդային լարումների առաջացումը որպես պատահական գործընթաց, կառուցվել է փորձերի տվյալների ներկայացման վիճակագրական մեթոդիկա, որի հիման վրա կատարվել է մնացորդային լարումների բաշխման ու մեծության քանակային գնահատում:

Մնացորդային լարումները, ինչպես և կառուցվածքային անհամասեռությունը բաղադրանյութերի ցայտուն արտահայտված հատկանիշներ են և առաջանում են դրանց պատրաստման տեխնոլոգիական գործընթացում: Հետևաբար, բաղադրանյութերից պատրաստված կառուցվածքների ամրության հաշվարկներում այդ գործոնները պետք է համապատասխանորեն արտացոլվեն: Մնացորդային լարումների հաշվառումը, կախված դրանց արժեքից ու շահագործման ընթացքում բեռնվածքից առաջացած լարումների նկատմամբ հարաբերակցությունից, իրականացվում է տարբեր հաշվարկային մոտեցումներով [1]: Տարածված մոտեցումներից է տեխնոլոգիական ու շահագործական լարումների վերադրումը, որը և առաջադրում է դրանց (առաջինների) նախնական արժեքի որոշումը: Մնացորդային լարումների ազդեցության հաշվառումը բաղադրանյութերի հոգնածային ամրության փորձարարական ուսումնասիրության հիմնահարցերից է, որը նույնպես կարևորում է դրանց բաշխման ու արժեքի գնահատումը:

Մնացորդային լարումների որոշման (առանց կամ մասնակի քայքայման) հայտնի մեթոդներից ոչ բոլորն են նպատակահարմար կամ կիրառելի [2, 3, 4] միայն մակերևութային շերտերի միջինացված լարվածային վիճակը պատկերելու կամ բորի դիֆրակցիային աննշան ենթարկվելու պատճառով: Ելնելով վերոհիշյալից, նպատակահարմար է մնացորդային լարումները որոշել խաժատման մեթոդով [5,6], որի միջոցով հնարավոր է քանակապես գնահատել դրանց բաշխումը նյութի խորությամբ, երբ շերտի հեռացման ընթացքում առաջանում է փորձանմուշի ծոման դեֆորմացիա: Մնացորդային լարումների որոշման հաշվարկային կախումը բեռնազտվիչների օգնությամբ դեֆորմացիաների չափման եղանակով [5,7] հետևյալն է՝

$$\sigma = -0.5E(h-a)d\varepsilon(a)/d(a) + 2E\varepsilon(a) - 3E(h-a) \int_0^a \varepsilon(\xi)d(\xi)/(h-\xi)^2 \quad (1)$$

որտեղ E -ն բորալյումինի առածգականության արդյունարար մոդուլն է, a -ն



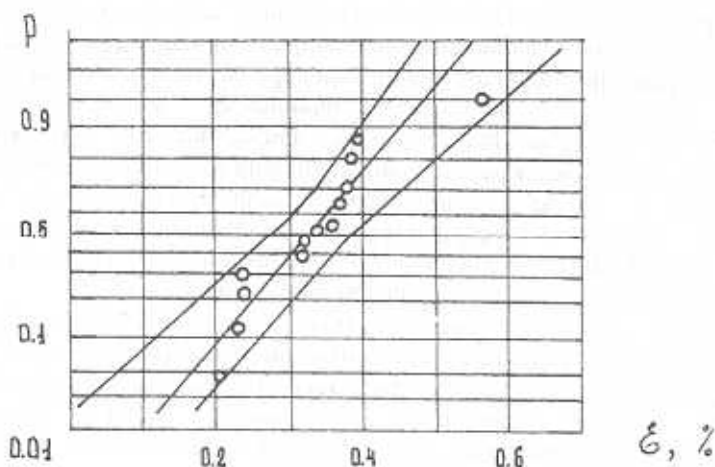
ա.

բ.

Նկ. 1 "Ամուր" (ա) և "թույլ" (բ) բաղադրանյութերի լայնական հատույթների պատկերները (մեծացված են 100 և 50 անգամ)

փորձանմուշի ստորին նիստից հեռացվող շերտի հաստությունն է:

Որոշվել են ADH և $AMT - 6$ մակնիշի ալյումինե մամլամայրերով և 0.14 մմ տրամագծի բորի թելիկներով երկու տեսակի բաղադրանյութերի մնացորդային լարումները, որոնք տարբերվում են ծավալային մասի գործակցով $V_{f1} = 0.4$, $V_{f2} = 0.65$, տեխնոլոգիական գործընթացի որոշ տարբերությամբ և հատույթում թելիկների դասավորության ձևով (նկ.1): Այդ բաղադրանյութերի առաձգականության արդյունարար մոդուլներն են, $E_1 = 2240$ ՄՊա և $E_2 = 2680$ ՄՊա, թելիկների ուղղությամբ ամրության սահմանները՝ $\sigma_{y1} = 800 - 850$ ՄՊա և $\sigma_{y2} = 1200 - 1350$ ՄՊա:



Նկ. 2 $n=12$ քնտրանքի դեֆորմացիաների նորմալ բաշխման էմպիրիկ ֆունկցիան 5% և 95% վստահական միջակայքով

Բաղադրանյութերի արդյունարար կոշտության ու ամրության բնութագրերը որոշվել են առաջարկված [5] և ավանդական փորձարարական մեթոդներով [6]:

Լրացուցիչ մնացորդային լարումներ առաջացնելուց խուսափելու համար փորձանմուշները կտրվել են թերթավոր նյութերից էլեկտրակայծային եղանակով

ուղղանկյուն հատույթի հետևյալ չափերի ձողերի տեսքով $L = 95$ մմ, $b = 8$ մմ, $h = 2.1$ մմ: Դեֆորմացիաների չափումների համար կիրառվել են ամեն մի փորձանմուշի համար երկուական $KFP - 5 - 120 - C1 - 65$ մակնիշի $R = 120$ Օձն դիմադրության և 5 մմ հենքի թեճատվիչներ:

Փորձանմուշի մամլանայրի հեռացումն իրականացվել է սովորական խածատմամբ, որի համար օգտագործվել է նախնական փորձերի միջոցով ընտրված խտության ալկալիական լուծույթ, ելնելով մետաղի հավասարաչափ հեռացման, խածատման գործընթացի անհրաժեշտ արագության և մակերևույթի կետային քայքայումից խուսափելու պայմաններից: Թեճատվիչների ցուցանիշները վերցվել են ավտոմատացված անընդհատ գրանցումով ու հիշասարքով թեճատվիչային կամրջակի միջոցով: Նախապես իրականացվել է փորձանմուշներին փակցված թեճատվիչների չափորոշում: Փորձարկվել են երկու տեսակի՝ «բույլ» (E_1, V_{f1}) և «ամուր» (E_2, V_{f2}) երկուական փորձանմուշներ, որոնց դեֆորմացիաների ստացված արդյունքները ընդգծված ստոխաստիկ բնույթ են կրում: Քանի որ առկա են մամլանայրում քաղաղրանյութերի թելիկների հավասարաչափ բաշխման, դրանց պատրաստման տեխնոլոգիական ընթացքի և այլ հարաչափերի շեղումներ, փորձերի ժամանակ առաջացած դեֆորմացույնը իրենից ներկայացնում է պատահական գործընթաց: Հետևաբար անհրաժեշտ է այն մոտարկել համապատասխան ֆունկցիայով՝ կախված նյութի խածատման $a(\xi)$. խորությունից, գնահատելով որոշակի $a(\xi)$ խորությամբ փորձի արդյունքներ հանդիսացող պատահական մեծության՝ դեֆորմացիայի բաշխման ընտրված նպատակահարմար հավանականային ֆունկցիայով, համապատասխան մեկնաբանությամբ:

Դեֆորմացիաների առաջացման պատահական գործընթացը մոտարկվել է հետևյալ տեսքի բազմանդամով՝

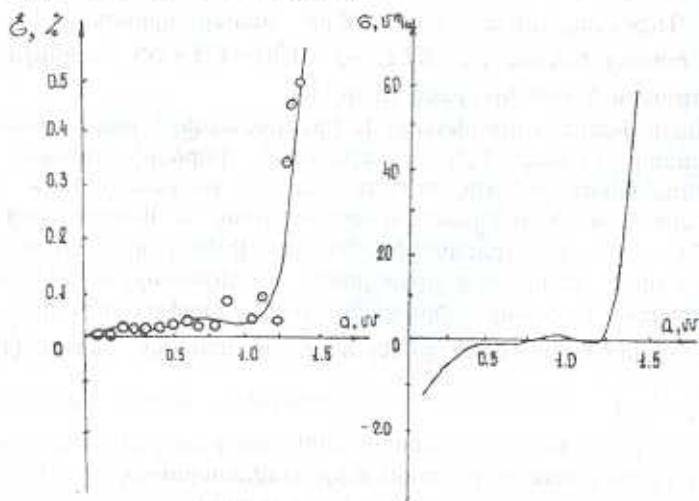
$$\varepsilon(a) = \sum k_i a^i \quad (i = 0 + 7) \quad (2)$$

որի k_i գործակիցները որոշվել են միջին քառակուսային շեղման նվազագույնի մեթոդի հիման վրաք կազմված $FXFIT$ ծրագրի միջոցով՝ ապահովելով փորձնական կետերի և մոտարկվող կորի համեմատաբար բարձր համահարաբերակցություն (գործակիցը $r = 0.995$):

Հավանականության բաշխման ֆունկցիան ընտրվել է դիտարկելով ε_i դեֆորմացիան որպես ընդհանուր համախմբության փորձանմուշի տարբեր որոշակի $a(\xi)$ խորության սահմաններում, վերցրած ընտրանիների բազմության վրա որոշվող պատահական մեծության: Դիտարկելնք $1.2 < a < 1.4$ (մմ) սահմաններում $n = 12$ ծավալի $\bar{x} = 3.295 \times 10^{-3}$ միջին արժեքով և $s = 0.952 \times 10^{-3}$ միջին քառակուսային շեղումով ընտրանք:

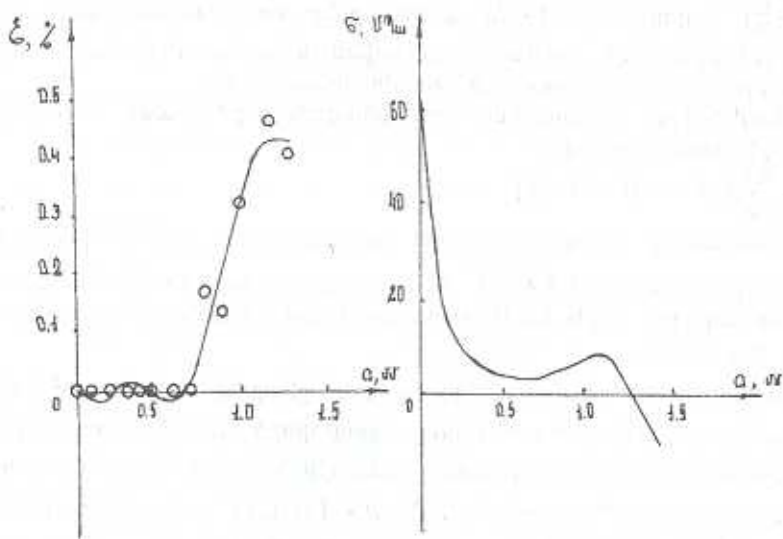
Հավանականային թղթի վրա (P և ε կոորդինատային համակարգում) կառուցված կորագիծը հավաստում է դեֆորմացիայի պատահական մեծության նորմալ բաշխում (նկ.2) [8]: Բերված ընտրանքի բաշխման կորագծին գծանշված 5% և 95% պատահական միջակայքը բավականաչափ նեղ է, որը ցույց է տալիս ε դեֆորմացիայի իսկական արժեքի տրված միջակայքում գտնվելու բարձր հավաստիություն և պատահական մեծության նորմալ բաշխում: Ընդունելով որպես ընդհանուր համախմբության անհայտ ε_a հարաչափի իսկական արժեք նյութի վերցրած a խորության վրա (2) բազմանդամից ստացված $\varepsilon_{am} = 3399.5$ արժեքը, ստուգենք բաշխման մեծության միջին արժեքի դիրքը $n = 12$ ծավալի ընտրանքի հիման վրա, այսինքն $x = \varepsilon_{am} = \varepsilon_{a0}$ վարկածը $t = (\bar{x} - \varepsilon_{a0}) \sqrt{n}/S$

վիճակագրության կիրառման միջոցով [9]:



Նկ. 3ա

$$k_1 = 1.5 \cdot 10^{-3}, k_2 = -2.67 \cdot 10^{-2}, k_3 = 0.16, k_4 = -0.45, k_5 = 0.6, k_6 = -0.37, k_7 = 8.59 \cdot 10^{-2}$$



Նկ. 3բ

$$k_1 = -9.35 \cdot 10^{-3}, k_2 = 0.15, k_3 = -0.75, k_4 = 1.66, k_5 = -1.78, k_6 = -0.91, k_7 = -0.176$$

Վիճակագրության տվյալ մեծության $t = 0.381$, հաշվարկված արժեքը ցույց է տալիս, որ հավանականությունը, որի դեպքում t -ն տարբերվում է տրված միջինից ցանկացած կողմի վրա ավելի, քան t_p -ով ($t_p = 0.396$) $\nu = n - 1$ ($\nu = 11$) ազատության աստիճանների համար, հավասար է 0.7 իմաստավոր է հանդիսանում: Հետևաբար ε_{am} ընդհանուր համախմբության հոսալի գնահատական է: Այսպիսով, եթե տեղադրվեն $\varepsilon(a) = \varepsilon_{a0} + SU_p$ (2) արտահայտությունից ստացված արժեքները (1) հավասարման մեջ, կստացվեն մնացորդային լարումների

հավանականային կորերի ընտանիք ըստ P հավանականության, որտեղ U_p -ն բաշխման քվանտիլն է [8]:

Փորձարկված «ամուր» և «ֆուլյ» բաղադրանյութերի դեֆորմացիաների ստացված արդյունքների միջին արժեքների ըստ (2) կախման կորերն ու *MERCURI* ծրագրի օգտագործմամբ ըստ (1) կախման մնացորդային լարումների մանաշաղկապ կորերը բերված են նկ. 3-ում: Ի դեպ տեղին է նշել, որ «ամուր» փորձանմուշի քայքայման տևողությունը մի կարգ ավելի է (10-15 ժամ), քան «ֆուլինը»: Ստացված արդյունքները ցույց են տալիս մնացորդային լարումների որոշ պարբերային փոփոխություն ըստ փորձանմուշի (նյութի) խորության և լարումների գրադիենտի մեծացման: Ըստ երևույթին, լարումների փոփոխման պարբերությունը «ֆուլյ» բաղադրանյութի համար համապատասխանում է բորի թելիկների շերտերին: Քանի որ «ամուր» բաղադրանյութում թելիկները դասավորված են շախմատաձև, դրանցում լարումների փոփոխումը շունի ընդգծված պարբերություն, գերակշռում է իր բացարձակ արժեքով ավելի մեծ V_f -ի պատճառով և ավելի մոտ է նման տեխնոլոգիական գործընթացի ենթարկված հոծ (ոչ բաղադրյալ) նյութի մնացորդային լարումների բաշխմանը:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

1. Шульга Н.А., Томашевский В.Т. Технологические напряжения и деформации в материалах. Т. 6 - Киев: ПТОО "А.С.К.", 1997, 200с.
2. L.Morfin "Measurements of Residual Stresses: Problems and Opportunities", Residual Stress for Designers and Metallurgists, pp. 189-210, American Society for Metals Park, OH, 1981.
3. J.F. Williams, D.C. Stouffer An Estimate of the Residual Stress Distribution in the Vicinity of a Propagating Fatigue Crack, Eng. Fract. Mech., vol. 11, 3, 1979, p. 547.
4. G.R. Leverant, B.S. Langer et. Al, Surface Residual Stresses, Surface Topography and the Fatigue Behavior of Ti-GAL-4V, Metallurgical Trans., vol. A10, 2, 1979, p. 251.
5. Гаспарян С.А., Микаелян В.В. и др. Измерение остаточных напряжений в волокнистых боралюминиевых композитах. — Изв. АН Арм ССР, сер. техн. наук, 1982, т. 35, №3, с. 16.
6. Гаспарян С.А., Геворкян С.Х., Шекян Г.Г., Арутюнян З.М. Определение эффективных модулей волокнистых композиционных материалов. — Изв. НАН Армении и ГИУА, сер. техн. наук, 1996, XLIX, 2, с. 59.
7. Биргер И.А. Остаточные напряжения. — М.: Машгиз, 1963.
8. Степнов М.Н. Статистические методы обработки результатов механических испытаний. — М.: Машиностроение, 1985. 225 с.
9. Худсон Д. Статистика для физиков. — М.: Мир, 1970. 190 с.

Հայաստանի պետական ճարտարագիտական
համալսարան

Երևանի ճարտարագիտաշինարարական ինստիտուտ

Поступила в редакцию
21.04.1999