

ӘОЖ 539.4.016.3

Сұламалық пен жоғары температурадағы сутекті коррозияны ескергендегі айналмалы коникалық өзгергіш қатты қабықтың ұзақтық беріктігі

Durable strength in view of corrosion

Нұрлан Т.С., Әбдірахманов Н.Ғ.

Е.А.Бөкетов атындағы Қарағанды мемлекеттік университеті

В качестве примера определено напряженно-деформированное состояние конической оболочки с отверстием при совместном учете факторов, влияющих на ее прочность и долговечность: воздействие высокой температуры, возникновение пластических деформаций, развитие деформаций ползучести, накопление повреждений в материале при ползучести и деградации механических свойств материала вследствие высокотемпературной водородной коррозии.

Elasto-plastic stressed-strained state of a conical shell a hole is defined as an instance at the same time taking into account the factors affecting its strength and durability: the affect of high temperature, occurrence of plastic deformation, development of creep strains, accumulation of faults to the material when creeping and degradation mechanical characteristics of the material owing to high-temperature hydrogen-type corrosion.

Қазіргі уақытта химия өнеркәсібі мен энергетикада айнарудың жұқа бір қабатты және көп қабатты қабықшалары түрінде орындалған болат конструкцияларының барысында элементтер кеңінен қолданылады. Мұндай конструкциялар материалдың коррозияға ұшыраған әр түрлі орталарында, сондай-ақ күштік және жылулық жүктемелер әсеріне душар бола алады. Бұл жерде коррозияның аса таралған түрі болаттардың жоғары температуралы сутекті коррозиясы болып табылады. Болат конструкцияларына сутегінің әсері өздері дайындаған материалдардың көміртексізденуіне әкеліп соғады. Оны олардың қатаңдығының, лездік, ұзақтық беріктілігінің және иілімділігінің едәуір төмендеуінен көруге болады. Неғұрлым температура, сутегінің қысымы және әсер ететін кернеулердің ұзақтық беріктілігі жоғары болған сайын, бұл процесс қарқындылықта болады. Мысалы, белгілі бір уақыт өткен соң 20 болаты үшін 500° С температура мен 5 МПа сутегінің парциалды қысымы кезінде серпімділік модулі 20%-ға азайа алады, осындай механикалық мінездемелер лездік, ұзақтық беріктілігі және ағымдық шектері ретінде одан да жоғары дәрежеде төмендейді [1].

Сутекті коррозия салдарынан материалдардың механикалық қасиеттерінің осындай азып-тозуы конструкцияны айтарлықтай әлсіретеді және иілімді деформациялар кернеулерінің жоғарлануына және сұламалық деформацияның дамуына, ақыр соңында, конструкцияның жылжымалық қабілетінің бұзылуына әкеліп соғады.

Сондықтан сутекқұрамды ортаның әсері мен термोकүштік жүктемелер жағдайындағы конструкциялардың жұмыс жасау қабілеттілігінің нақты бағасы үшін оларға әсер етуші факторлармен бірге кернеулік-деформациялық күйлерінің өзгеруінің сандық модельдеу мүмкіндігі болуы қажет.

Алынған нәтижелердің тиімділігі мен нақтылығы жағынан мұндай есептерді шешудің неғұрлым өнімді тәсілі олардың кезең-кезеңімен шешілуі болып табылады. Бұл жерде бірінші этапта есеп қарапайым қойылыммен шешіледі (әсерін жеке факторларын ескере отырып) және алынған нәтижелерді талдағаннан кейін есепті одан да күрделі қойылыммен шешуге көшу жүзеге асады. Сонымен, қарапайым жолдан күрделіге көше келе, соңында барлық әсер ететін факторлар мен материалды өзін ұстау ерекшелігін ескере отырып, есептеу орындалады. Этап бойынша есепті шешу кезінде алынған нә-

тижелерді талдау негізінде модельдер мен гипотезаларды таңдап алуға болады. Материалдың өзін ұстауын сипаттайтын заңдылықтар жүктеменің қарастырылған жағдайларына қолданыла алады.

Айналудың жұқа бір қабатты және көп қабатты қабықшалар түріндегі конструкциялардың жылжымалық қабілеті мен ұзақтығын анықтау үшін [2–5] жұмыстарында келтірген авторлардың есептеу әдісметемесін қолданамыз. Бұл әдістеме айналудың жұқа бір қабатты және көп қабатты қабықшалардың осесимметриялық серпімділімді кернеулік-деформациялық күйлерін өзгерту тарихын зерттейді. Сондай-ақ сұламалық кезіндегі материалдардың бүлінуі ескеріліп, олардың жылжымалық қабілеті мен ұзақтығы бағалануы керек. Жоғары температуралы сутекті коррозияның әсерін ескеру үшін құрамында сутегі бар ортаның конструкцияға әсер ету моделін қолдану арқылы берілген әдістеменің есебін жалпылаймыз.

Ол келесі түрде берілуі мүмкін:

- термосерпімді;
- термосерпімділімді;
- сұламалық кезінде материалдардың зақымдануын есепке алмағандағы термотұтқырсерпімділімді;
- сұламалық кезінде материалдардың зақымдануын есепке алғандағы термотұтқырсерпімділімді;
- сұламалық кезінде материалдардың зақымдануын және сутекті коррозияны есепке алғандағы термотұтқырсерпімділімді;
- сұламалық кезінде материалдардың зақымдануын және сутекті коррозияны зақымдану облыстарын дамыту кинетикасын зерттеумен бірге есептегендегі термотұтқырсерпімділімді.

1. *Есептің термосерпімді қойылымы.* Мұнда кернеудің деформациядан сызықты тәуелділігі, материалдар қасиеттерінің температурадан тәуелділігі температураның әр түрлі бекітілген мәндері үшін материалдардың механикалық қасиеттерінің берілу жолдары арқылы есепке алынады. Материалдардың механикалық қасиеттеріне жоғары температуралы сутекті коррозияның әсерін ескеру сутектікұрамды ортадағы [1] қабықшаға әсер моделінің қолданылуы арқылы жүзеге асады. Оған сәйкес сутегінің материалдар қасиетіне әсері μ конструкциясының материалы бар сутегінің химиялық өзара әсерінің параметрі үшін дифференциалдық түрде келтірілген

$$\frac{d\mu}{dt} = k \cdot \mu(1 - \mu). \quad (1)$$

Бастапқы шарттары

$$t = 0, \mu = \mu_0(p, T, \omega_C), \quad (2)$$

мұндағы $k(p, T, \omega_C)$ — p қысымының, T температурасының, ω_C химиялық айналымдар кинетикасын зақымдандыру дәрежесіне әсерін ескеретін коэффициент.

Материалға сутегінің әсері қабықшаның бетінен, яғни ол құрамында сутегі бар ортамен тікелей түйісетін бетінен басталады, және материалдың көміртектендіруінде айқындалады. Материалға, сутегінің енуіне қарай, бұл процесс көміртектендірілген материалдар облысының пайда болуымен тереңге жайылады. Бастапқы және көміртектендірілген күйдегі материалдар облысын шектейтін бетті көміртектендіру майданы деп атаймыз.

Көміртектендіру майданының орын ауыстыру кинетикасы келесі өрнекпен анықталады:

- пластинаға арналған:

$$\frac{z}{h} = 1 - \left[\frac{m \cdot \mu \cdot \exp(B/T)}{t \cdot P_B^u} \right]^{\frac{1}{2-u}}; \quad (3)$$

- қабықшаға арналған:

$$z = r_B \left[\left(1 + \frac{h}{r_B} \right)^f \right], \quad f = 1 - \left[\frac{m \cdot \mu \cdot \exp(B/T)}{t \cdot P_B^u} \right]^{\frac{1}{2-u}}, \quad (4)$$

мұндағы z – сутегінің қабықшамен байланысу бетінен санағандағы көміртектендіру тереңдігі; h – қабықша жуандығы; r_B – қабықшаның ішкі радиусы; t – көміртектендіру тереңдігі анықталатындар үшін уақыт; m – материалдың тұрақтысы.

2. *Есептің термосерпімділігін қойылымы.* Бұл жағдайда материалдың өзін ұстау заңы серпімді деформациялар шектерінде ғана есептеледі, ал қайтымсыз деформацияларды дамытудың үлгілеуі үшін жүктеуді тарихтың зерттеуінің мүмкіндігі мен тұрақты жылу күш беретін жүктеу жағдайда аз қисықтықтың траекториялары бойынша қатты заттың элементтерінің серпімді – созылмалы деформациялануының изотермикалық емес процестерінің қолдануға болады [6]. Жүктеу шарттары және оның көтеру қабілетін бағалауға арналған қабық материалдарының механикалық қасиеттерін байланыстырар лездік қиратудың үш белгілері бір қолдануы мүмкін: Рэнкин, Треска - Гест немесе Губер-Мизес.

3. *Сұламалық кезінде материалдардың зақымдануын есепке алмағандағы термотұтқырсерпімділігін қойылымы.* Алдыңғы есептің қойылуына қосымша ретінде бұл жерде қабық материалдарының сұламалығы уақыт деформацияларының дамытуының мүмкіндік салдарынан есептеледі; бұл жылжымалылық деформацияларының анықтайтын теңдеулерінде кіріспе жолымен есепке алынады. Қабықтың қиратуын белгінің ретіндегісіндегілермен қолданыла алады немесе қойылуда 2 қарастырылған лездік беріктіктердің белгілері немесе жиналған толық деформациялардың жанында тап қалған барынша мүмкін мәндері асатын шарт бір.

4. *Сұламалық кезінде материалдардың зақымдануын ескерген жағдайда есептің термотұтқырсерпімділігін қойылымы.* Есептің берілген қойылымында сұламалық деформациясының дамуы қабықша материалының зақымданулар жинағымен шектеседі. Ол да ақыр соңында қирауға әкеліп соғуы мүмкін.

Сұламалық деформациясының даму процесінде зақымдану орнына w_c зақымданудың скаляр параметрі алынады. Ол микроақаулардың көлем бірлігінде бірқалыпты шашыратылған салыстырмалы тығыздығын сипаттайды және де зақымдану жоқ кезде нөлге тең, қирау кезінде бірге жақын болады. Қабықша материалдарының зақымдануының оның деформациялану процесіне әсерін ескеру термотұтқырсерпімділік қатынастарына зақымдану параметрін енгізу жолдарымен жүзеге асады. Оны анықтау үшін Ю.Н.Работнов [7] ұсынған формада сұламалық салдарынан материалдардың зақымдануының кинетикалық теңдеуі қолданылады.

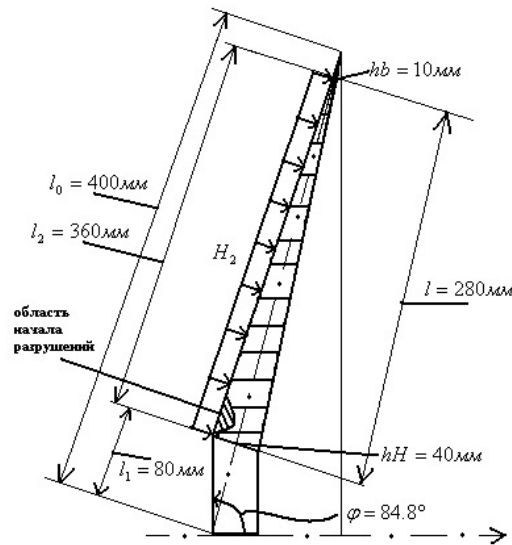
$$\frac{dw_c}{dt} = C_i \left(\frac{\sigma_3}{1 - w_c} \right), \quad (5)$$

мұнда σ_3 — эквивалентті кернеу, ол арқылы қабықша элементінің кернеулік күй түрінің зақымдану жинағы процесінің дамуына әсері ескеріледі; C_i — i -ші материалдың кейбір мінездемелері, олар ұзақтық беріктілігі диаграммаларының сәйкес бөлімшелерін ең жақсы аппроксимациялау шарттарынан анықталады.

Зерттеліп отырған қабықша материалындағы зақымданулардың жинақталу процесі зақымданудың кинетикалық теңдеуінің жүктелуінің әрбір кезеңінде тізбектей шешу жолдарымен есептеледі. Қабықша элементінің зақымдануының жинақталу процесін зерттеу бірге жақын берілген шекті мәнің $a > c$ параметріне жеткенге дейін жалғасады. Бұл қабықшаның локалды қирау шарты болып табылады (яғни қирау процесінің басы).

5. *Сұламалық кезінде материалдардың зақымдануын ескере отырып және қираудың таратылу стадиясын зерттеумен алынған есептің термотұтқырсерпімділігін қойылымы.* Осындай қойылымдағы есептің шешуі қабықшаның қирауының таратылу стадиясын зерттеуін білдіреді. Ол үшін бірінші жуықтауда Л.М.Качанов ұсынған әдіс қолданылады. Ол қирау майданының орын ауыстыруына негізделген (материалдың қираған және қирамаған облыстарын шектейтін беттер). Сонымен, сұламалық пен жоғары температуралы сутекті коррозия кезіндегі материалдың зақымдануы мен көміртектену майданның орын ауыстыруын, қабықшаның кернеулік-деформациялық күйінің өзгеру тарихын зерттей келе және лездік, ұзақтық беріктілігінің сәйкес критерийлерін, оның жылжымалылық қабілетін және жоғарыда аталған барлық факторлардың әсерлерін ескере отырып, бағалауға болады.

Мысал ретінде $PH2 = 3,5$ Мпа сутегінің қысымының әсеріндегі коникалық қабықшаның 500° С температураға дейін бірқалыпты қыздырылған кернеулік-деформациялық күй қарастырылған. Қабықша 20 болат материалынан жасалған және оның геометриялық өлшемдері берілген (1 – сур.). Сутегінің қысымы сыртқы жағынан жүзеге асады. Қабықша $w = 20$ айн/мин бұрыштық жылдамдықпен айналады.

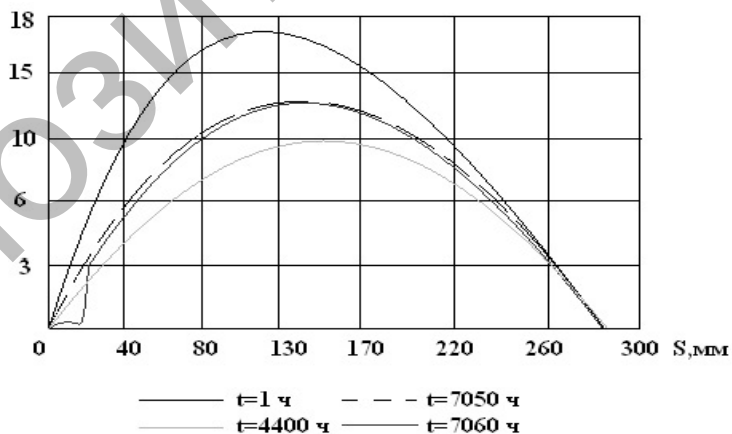


1-сур. Коникалық қабықшаның геометриялық өлшемдері

Қатынастардағы материалдың тұрақтылары [2]-ден алынған. Олар 20 болаты үшін берілген жүктеме шарттарында келесі мәндерді қабылдайды: $k = 1,49 \cdot 10^{-5}$ (МПа); $u = 1,73$; $B = 13500$; $\lambda = 5$. Берілген есептеуде кернеу деңгейінің көміртексіздену жылдамдығына әсері ескерілмеген. Қарастырылып отырған есеп келесі қойылымдарда шешілген:

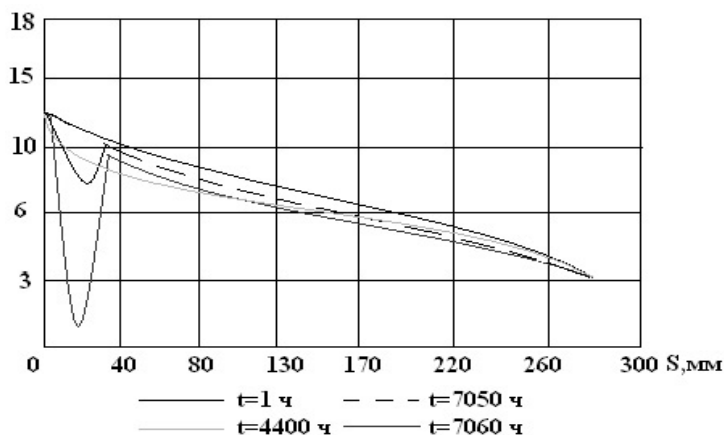
- сұламалық кезінде материалдың зақымдануын ескергендегі термотұтқырсерпімділімді, $P = 3,5$ МПа, $T = 500^\circ C$, $\omega = 20$ айн/мин;
- сұламалық пен сутекті коррозия кезінде материалдың зақымдануын ескергендегі термотұтқырсерпімділімді, $P = 3,5$ МПа, $T = 500^\circ C$, $\omega = 20$ айн/мин. Сутегінің қабықша материалына әсерін ескермегендегі есептеу қабықшаға берілген жүктеме шарттарының орындалуында материалда туындайтын кернеулер сұламалық пен ұзақтық беріктілігінің шектерінен төмен болатындығын көрсеткен.

Сутегінің әсерін ескерген кездегі берілген қабықшаның есептеулерінің кейбір нәтижелері 2 және 3-ші суреттерде келтірілген.



2-сур. Меридианалдық кернеулер

Сонымен, 2-ші суреттегі берілгендер қабықтың әр түрлі уақыттарға арналған сутегімен тікелей түйісетін бетіне нүктенің меридиональ қалыпты кернеулерін үлестірілуі көрсетілген. Бұл мәліметтер округтық қалыпты кернеулер үшін тура келеді (3-сур.).



3-сур. Аймақтық кернеулер

Сутегі әсерін есепке алуы, бар есептеу нәтижелерді талдауының конустық қабықтың жергілікті қиратуы сыртқы бет нүктелерін 7060 сағаттан кейін конустың негізінде болғандығын көрсетеді.

Сайып келгенде, игерілген әдістемесі өзгерістің тарихын осесимметриялық серпімді созылмалы шиеленісті зерттеуге мүмкіндік береді – сұламалық және жоғары температуралы сутекті коррозияның жанында материалдардың зақымдануын есепке алуымен айналудың бір қабатты және көп қабатты құрыштан жасалған қабықтарының өзгертілген күйі, сонымен бірге олардың көтеру қабілеті және ұзақ уақытқа жарамдылығы. Қате нәтиже алуына беріктік және ұзақ уақытқа жарамдылыққа конструкциялардың есептеудің нақтылы шарттарында сутегінің әсері ескерілмегендігі себеп екені көрсетілген.

References

1. *Ovchinnikov I.G., Hval'ko T.A.* Ablestructure of construction in state of high temperature hydrogen type corrosion. — Saratov, 2003. — 176 p.
2. *Belov A.V.* Osisymmetrical elastic and plastic stressed-strained state of shells with calculation damage by creeping: Abstract of dis... cand. tekhn. science. — Kiev, 1989. — 18 p.
3. *Polivanov A.A.* Osisymmetrical elastic and plastic deformation of rotation multilayered shells with damage calculation of material by creeping: Abstract of dis... cand. tekhn. science. — Volgograd, 2004. — 19 p.
4. *Bagmutov V., Belov A., Polivanov A.* Damage Calculation Features of Multilayered Shells of Rotation at Thermo — Viscous — Elasto — Plastic Strain // *Mechanika*. — 2004. — No 3(47). — P. 19 — 23.
5. *Belov A.V., Polivanov A.A., Popov A.G.* The modern problems of the science and education. 2007. — № 4. — P. 80—85.
6. Calculation methods of the shell. T. 3. Theory of elastic and plastic shells an unisotherm loading / *Shevchenko Yu.N., Prokhorenko I.V.* — Kiev: Nauk. думка, 1981. — 296 p.
7. *Rabotnov Yu.N.* Creeping of construction elements. — M.: Science, 1966. — 752 p.