

PAPER

CHEGARA SHARTLARINING ALYUMINIY PLASTINKALARNING ZARBAGA BARDOSHLILIGIGA TA'SIRI – SONLI MODELLASHTIRISH

Karimov I.M. ^{1,*} and O'rolov O'.A. ²

¹Toshkent kimyo texnologiya instituti Oliy matematika kafedrası dotsenti and ²Toshkent kimyo texnologiya instituti Oliy matematika kafedrası tayanch doktoranti

* israilkarimov@mail.ru

Abstract

Ushbu ishda alyuminiy plastinkaga shar shaklidagi po'lat o'qning zarba berishi jarayoni Abaqus/Explicit moduli yordamida modellashtirildi. Hisoblashlar ikki xil chegara sharti uchun olib borildi: plastinka chetlari to'liq qistirib mahkamlangan va erkin tayanchli holat. Natijada o'q tezligi - vaqt hamda plastinka qarshilik kuchi - vaqt grafigi qurildi. Taqqoslash shuni ko'rsatdiki, chegara shartlari zarba energiyasini so'ndirish samaradorligiga sezilarli ta'sir ko'rsatadi.

Key words: Abaqus/Explicit, alyuminiy plastinka, yuqori tezlikdagi zarba, Johnson - Cook modeli, chegara shartlari, sonli modellashtirish.

Kirish

Yuqori tezlikdagi zarbalar natijasida konstruktsiya elementlarida yuzaga keladigan deformatsiya va teshilish jarayonlarini o'rganish hozirgi kunda harbiy texnika, aviatsiya, avtomobilsozlik va himoya vositalarini ishlab chiqishda muhim masalalardan biridir [1 – 8]. Zarba ostidagi deformatsiya murakkab xususiyatga ega: katta plastik deformatsiya yuz beradi, material elastik chegaradan ancha oshib ketadi va oddiy elastik nazariya yetarli bo'lmaydi. Bundan tashqari, jarayon yuqori deformatsiya tezligida sodir bo'ladi, kontakt va ishqalanish jarayonlari murakkab bo'lib, o'q va plastinka o'rtasidagi kuchlar dinamik xarakter kasb etadi. Qisqa muddatli yuklanishlarda inertsia kuchlari ustunlik qiladi.

Dinamik muvozanat tenglamalari

Abaqus/Explicit moduli bunday masalalarda quyidagi dinamik muvozanat tenglamasiga tayanadi:

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = \{F(t)\}$$

bu yerda:

[M] - massa matritsasi;

[C] - damping matritsasi;

[K] - qattqlik matritsasi;

{u} - ko'chish vektori;

{F(t)} - tashqi kuchlar vektori.

Bu yondashuv zarba, portlash yoki yuqori tezlikdagi to'qnashuv kabi jarayonlarni modellashtirishda qulaydir. Aniq vaqt bo'yicha sxema ishlatilgani sababli har bir qadamda tenglamalar tizimi to'liq yechilmaydi, bu esa katta deformatsiyalar va murakkab kontaktlar uchun samarali bo'ladi. Shu bilan birga, barqarorlikni ta'minlash uchun juda kichik vaqt qadami (Kurant kriteriyasi) talab etiladi.

Materialning chiziqsiz xatti-harakati

Yuqori tezlikdagi yuklanishlarda material xossalari deformatsiya tezligi va haroratga sezgir bo'ladi. Tadqiqotda alyuminiy plastinka Johnson - Cook modeli yordamida ifodalandi [9-15]. Bu model materialning qattiqlashishi, tezlik ta'siri va haroratning yumshatuvchi ta'sirini hisobga oladi.

$$\sigma_y = (A + B\epsilon^n) \left(1 + C \ln \frac{\dot{\epsilon}}{\dot{\epsilon}_0}\right) (1 - T^m)$$

Bu yerda:

σ_y – oquvchanlik chegarasi,
 A – boshlang'ich oqish kattaligi,
 B – qattiqlashish koefitsiyenti,
 n – qattiqlashish darajasi,
 C – deformatsiya tezligiga sezgirlik koefitsiyenti,
 m – haroratga sezgirlik koefitsiyenti,
 $\dot{\epsilon}$ – joriy deformatsiya tezligi,
 $\dot{\epsilon}_0$ – mos yozuvlar deformatsiya tezligi,
 T – normallashtirilgan harorat.

Zarba energiyasi balansi

$$E_{kin, boshlang'ich} = E_{plast} + E_{elast} + E_{issilik} + E_{qoldiq kin}$$

bu yerda:

E_{plast} — plastik deformatsiyaga sarflangan energiya;
 E_{elast} — elastik deformatsiyada to'plangan energiya;
 $E_{issilik}$ — issiqlikka aylangan energiya;
 $E_{qoldiq kin}$ — zarba tugagach qolgan kinetik energiya.

Bu balans turli chegara shartlarida energiyaning qanday so'nishini tushunishga yordam beradi.

Chegara shartlarining ta'siri

Plastinka chetlarini qistirib mahkamlash yoki erkin tayanchli holat deformatsiya rejimini tubdan o'zgartiradi. Mahkamlangan holatda deformatsiya asosan lokal bo'lib, maksimal qarshilik kuchi yuqori bo'ladi. Erkin holatda esa plastinka global egilishga moyil bo'ladi, energiya keng hududga tarqaladi, lekin eng katta qarshilik kuchi kamayadi.

Materiallar va usullar

Geometrik parametrlar

Plastinka alyuminiydan tayyorlangan bo'lib, o'lchamlari $100 \times 100 \times 5$ mm ni tashkil etadi. Po'lat o'q shar shaklida va 5 mm radiusiga ega.

Material xossalari

Po'lat o'qning xossalari: zichlik $\rho = 7600 \text{ kg/m}^3$, Young moduli $E = 207 \times 10^9 \text{ Pa}$ va Puasson koefitsiyenti $\nu = 0.30$ ga ega.

Hisoblash shartlari

Po'lat o'qning boshlang'ich tezligi 350 m/s. Chegaraviy shartlar:

1. Plastinka chetlari to'liq qistirib mahkamlangan.
2. Plastinka chetlari erkin tayanchli.

Kontakt modeli - umumiy kontakt, ishqalanish koefitsiyenti $\mu = 0.1$. Element turi - C3D8R uch o'lchamli chiziqli elementlar (soddalashtirilgan integrallash).

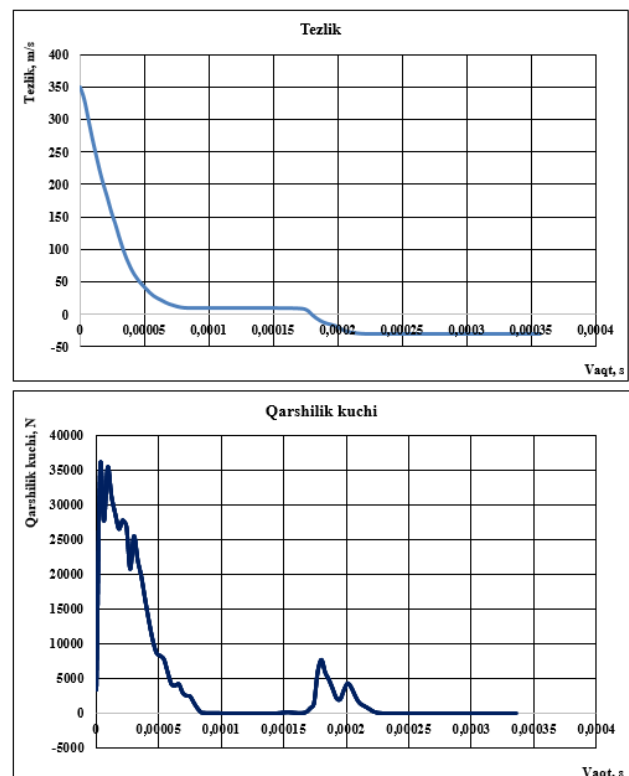
Xususiyat	Qiymat	Ölchov birligi
Material	Alyuminiy	
Young moduli (E)	70	GPa
Puasson koefitsiyenti (ν)	0.33	
Zichlik (ρ)	2660	kg/m ³
Johnson–Cook modeli parametrlari		
A	167	MPa
B	596	MPa
n	0.551	
C	0.001	
m	0.859	
D1	0.0261	
D2	0.263	
D3	-0.349	
D4	0.147	
D5	16.8	
Erish temperaturasi (T_m)	600	°C
Energiya buzilishi	100	J/m ²

Natijalar va tahlil

Erkin tayanchli plastinka

Bu holatda maksimal qarshilik kuchi pastroq bo'ldi (Fig 1). Zarba paytida o'q tezligi keskin pasaydi, lekin deformatsiya jarayonida ayrim kichik o'zgarishlar kuzatildi. Qarshilik kuchi grafidiga ikkinchi noldan farqli qiymatlarning mavjudligi plastinka va o'q to'qnashishi tekshirilayotgan nuqtada qayta zarba yuz berilishini bildiradi.

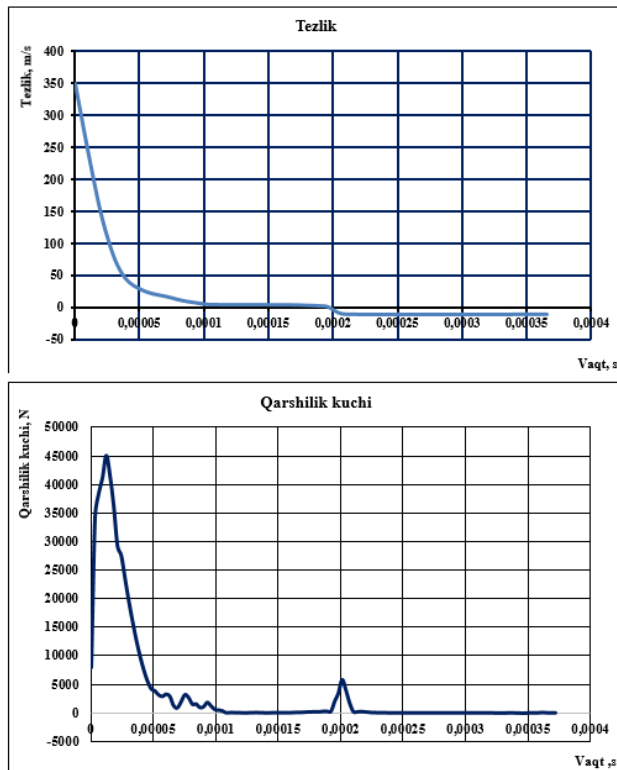
Figure 1. Tezlik va qarshilik kuchining vaqt bo'yicha o'zgarishi



Qistirib mahkamlangan plastinka

Mahkamlangan holatda maksimal qarshilik kuchi taxminan 45 kN bo'ldi (Fig 2). O'q tezligi juda qisqa vaqt ichida nolga yaqinlashdi.

Figure 2. Tezlik va qarshilik kuchining vaqt bo'yicha o'zgarishi



Taqqoslash

- Maksimal qarshilik kuchi: mahkamlangan holatda ≈ 45 kN, erkin tayanchda ≈ 35 kN.
- Ortga qaytish tezligi: mahkamlangan holatda 11 m/s, erkin tayanchda 30 m/s.
- Deformatsiya xarakteri: erkin tayanchli plastinkada global egilish ustun bo'ldi, mahkamlangan plastinkada esa lokal teshilish kuzatildi.

Xulosa

Natijalar shuni ko'rsatadiki, plastinka chetlarini qistirib mahkamlash qarshilik kuchini oshiradi va o'q tezligini tezroq kamaytiradi. Bu himoya konstruksiyalarini optimallashtirishda muhim omil bo'lib xizmat qiladi.

Adabiyotlar

1. Fomin, V.M., Gulidov, A.I., Sapojnikov, G.A., et al. (1999). Vysokoskorostnye vzaimodeystvie tel. (600p.). Novosibirsk: Izd-vo SO RAN
2. Aptukov, V.N., Murzakaev, A.V., Fonarov, A.V. (1992). Prikladnaya teoriya pronikaniya. (105p.). Moscow: Nauka.
3. Zlatin N.A., Mishin G.I., et al. (1974). Ballisticheskoye

ustanovki i ix primeneniye v eksperimentalnix issledovaniyax (344p). Moscow: Nauka.

4. Vitman F.F., Stepanov V.A. (1959) Vliyaniye skorosti deformirovaniya na soprotivleniye metallov pri udarnix skorostyax 10^2 – 10^3 m/s // Nekotorye problemi prochnosti tvyordogo tela (386p). Moscow-Leningrad: AN SSSR.
5. Bajenov V.G., Kotov V.L. (2011). Matematicheskoye modelirovaniye nestandardnix protsessov udara i pronikaniya osesimmetrichnix tel i identifikatsiya svoystv gruntovix sred (208p). Moscow: FIZMATLIT
6. Glazyrin V.P., Trushkov V.G., Olshanskiy A.B. (2002). Probitie sloistyx pregrad, soderzhashix keramicheskie sloi. Vychislitelnye tekhnologii, 2002, T. 7, ch. 2, pp. 163–171
7. Gerasimov, A.V., Pashkov, S.V. (2013). Chislennoe modelirovanie probitiya sloistyx pregrad. Mexanika kompozitsionnyx materialov I konstruksiy, 2013, T. 19, № 1, pp. 49–61.
8. Karimov I.M., Urolov U.A. (2025) High-velocity impact of a steel ball on a two-layer plate // ISJ Theoretical Applied Science, 06 (146), 127–132.
9. ABAQUS Theory Manual. <https://classes.engineering.wustl.edu/2009/spring/mase5513/Abaqus/docs/v6.6/books/stm/default.htm>
10. Johnson G.R., Cook W.H. A constitutive model and data for metals subjected to large strains, high strain rates and high temperatures // Proceedings of the 7th International Symposium on Ballistics. The Hague, Netherlands, 1983. P. 541–547.
11. Johnson G.R., Cook W.H. Fracture characteristics of three metals subjected to various strains, strain rates, temperatures and pressures // Engineering Fracture Mechanics. 1985. Vol. 21, No. 1. P. 31–48. DOI: 10.1016/0013-7944(85)90052-9.
12. Rai R., Kumar G., Dagar S. et al. Numerical simulation of ballistic impact on aluminium 5083-H116 plate with Johnson cook plasticity model // Materials Today: Proceedings. 2021. Vol. 44. P. 2390–2395. DOI: 10.1016/j.matpr. 2021.01.373.
13. Abaqus Analysis User's Guide, Dassault Systèmes, 2024.
14. Johnson, G. R., Cook, W. H. (1983). A constitutive model and data for metals subjected to large strains, high strain rates and high temperatures. Proceedings of the 7th International Symposium on Ballistics.
15. Zukas, J. A. (1990). High Velocity Impact Dynamics. Wiley-Interscience.