

<https://doi.org/10.51301/jemet.2025.i1.08>

Investigation of the physico-mechanical properties of damping alloys with nanostructured coatings for heavily loaded components of automotive equipment

G.A. Burshukova^{1*}, R.Zh. Abuova²

¹Satbayev University, Almaty, Kazakhstan

²International educational corporation, Almaty, Kazakhstan

*Corresponding author: gzzi@mail.ru

Abstract. This article presents the results of research on new damping alloys with nanostructured coatings intended for use in heavily loaded automotive components. Based on standard steels 30L, 40L, and 50L, modified alloys MBG-1, MBG-2, and MBG-3 (NSC) were developed with the addition of Cr, Ni, and Ce. Comprehensive tests of acoustic and vibrational characteristics were conducted. It was found that the nanostructured (Ti-Al-N) coating increases alloy strength by 12–13% and improves damping properties by up to 10%. The MBG-3 (NSC) alloy demonstrated the best results in reducing vibration acceleration and sound emission under impact loading.

Keywords: alloy, materials, structures, damping, sound emission.

1. Кіріспе

Автомобиль өнеркәсібінде бөлшектер мен агрегаттарды жасау үшін әртүрлі болаттар мен қорытпалар қолданылады. Болаттар мен қорытпалардан жасалған көптеген автомобиль бөлшектері дірілге ұшырайды және шудың қосымша көзі болып табылады. Бөлшектердің беріктігі, пластикалық және басқа физикалық-механикалық сипаттамалары дыбыс және діріл қасиеттерін бағалау кезінде жеткіліксіз.

Автомобиль өнеркәсібіндегі шу мен дірілмен күресу әдістері конструктивтік және пассивті әдістерге бөлінеді. Конструктивтік әдісі жобалау кезеңінде шу мен діріл мәселесін болжауға және шешуге мүмкіндік береді. Конструкторлар мен технологтар үшін автомобиль өнеркәсібінің бөлшектері үшін пайдаланылатын болаттар мен қорытпалардың акустикалық және демпферлік сипаттамалары бойынша мәліметтер тапшылығы сезіледі.

Тісті доңғалақтар, тәждер, жартылай муфталар, тісті доңғалақтар үшін 30Л, 40Л, 50Л болат қолданылады. Құрылымдық көміртекті болаттар негізінен механикалық жүктемелерді (статикалық, динамикалық, діріл және т.б.) көтеретін құйма бөлшектерді жасау үшін құю өндірісінде қолданылады. Жоғарыда көрсетілген бөлшектер мен 30Л, 40Л, 50Л болаттардан жасалған тораптар жұмыс істеген кезде қарқынды шу мен діріл шығады.

Сокқылардың шуын азайтудың тиімді әдістерінің бірі-пайда болу көзіндегі шуды азайтуды қамтамасыз ететін, акустикалық жайлылықты тудыратын демпферлік қорытпаларды пайдалану. 30Л, 40Л, 50Л болаттардың орнын басу үшін қолданылған демпферлік қорытпалар әлі белгісіз. Жоғарыда аталған түйін бөлшектері үшін

шуды азайтудың басқа әдістерін (дыбыс өткізбейтін, дыбыс сіңіретін, тығыздағыш материалдар) қолдану бөлшектер мен түйіндерге түсетін қосымша көлем жасау салдарынан тиімсіз.

[1-2] жұмыстарында түсті қорытпалардың демпферлік сипаттамаларын бағалау бойынша зерттеулер келтірілген.

Сондай-ақ ғалымдар темір негізіндегі қорытпалардың демпферлік қасиеттерін зерттеді, сонымен қатар нанокұрылымды қапталған қорытпалардың демпферлік қасиеттері [3-8] еңбектерінде зерттелді.

2. Зерттеу әдістері мен материалдары

Зерттеу объектісі ретінде 30Л, 40Л, 50Л құрылымдық болаттар таңдалды. Болаттардың қолданылу мақсаты мен жалпы сипаттамасы 1-кестеде келтірілген. Осы стандартты болаттардың негізінде Mn, Cr, Ni элементтерімен, және де беріктік және демпферлік қасиеттерін жақсарту үшін Ce элементімен легірілген МБГ-1, МБГ-2, МБГ-3 қорытпалары жасалып шығарылды.

Қорытпаларды легірлеу принциптері Fe-C, Fe-Cr, Fe-Ni; Fe-Si; Fe-Ce күй диаграммаларына негізделген. Күй диаграммалары тепе-теңдік жағдайында қорытпаның фазалық құрамын компоненттердің температурасы мен концентрациясына байланысты анықтайды және қорытпалардың көптеген физика-химиялық, механикалық және технологиялық қасиеттерін сапалы сипаттауға мүмкіндік береді.

Құю кокильде жасалды. Балқыту индукциялық пеште жасалды.

Зерттелген болаттардың химиялық құрамы мен механикалық қасиеттері 2 және 3 кестелерде келтірілген.

Кесте 1. Болаттардың мақсаты және жалпы сипаттамасы [9]

болат	мақсаты
Стандартты 30Л, 40Л, 50Л	Көтеру-тасымалдау машиналарының тісті доңғалақтары мен муфталары, жүріс дөңгелектері, жүтіргіштер, тісті секторлар мен тәждер, жартылай муфталар, скаттар, құю машиналарының тежегіш дискілері, тісті муфталардың втулкалары және қаттылық талаптары қойылатын басқа да бөлшектер.

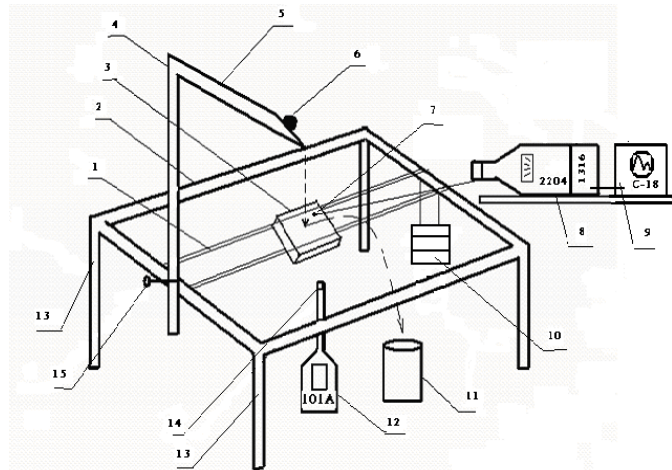
Кесте 2. Зерттелген стандартты қорытпалардың сипаттамалары

Болат маркасы	Химиялық құрамы, %салмақ						Механикалық қасиеттері			
	C	Si	Mn	Cr	Ni	PЗМ	σ_B , МПа	δ , %	Ψ , %	KCU, Дж/см ²
30Л	0.27-0.35	0.2-0.52	0.4-0.9	-	-	-	540	12	30	28
40Л	0.37-0.45	0.2-0.52	0.45-0.9	-	-	-	530	14	25	29
50Л	0.47-0.55	0.2-0.52	0.45-0.90	-	-	-	569	11	20	25

Кесте 3. Жаңа қорытпалардың сипаттамалары

Болат маркасы	Химиялық құрамы, %салмақ						Механикалық қасиеттері			
	C	Si	Mn	Cr	Ni	PЗМ	σ_B , МПа	δ , %	Ψ , %	KCU, Дж/см ²
МБГ-1	0.42	0.25	0.45-0.50	0.35	≤0.45	(0.03) Ce	600	8	20	26
МБГ-2	0.48	0.30	0.40-0.48	0.55	0.6-0.9	(0.05) Ce	620	8	20	26
МБГ-3 (НСП)	0.51	0.38	0.50-0.53	0.65	0.7-1.0	(0.08) Ce	720	8	20	28

Акустикалық (дыбыс деңгейі, дыбыс қысымы деңгейі) және вибрациялық (виброжеделдету деңгейі, жалпы виброжеделдету деңгейі) қасиеттерін зерттеуге арналған қондырғыларды талдау негізінде болаттардың пластиналы және түтікшелі үлгілерінің акустикалық және вибрациялық қасиеттерін кешенді зерттеуге арналған құрылғы таңдалып, кейіннен модернизацияланды (1-сурет) [10]. Сондай-ақ, шығарылатын шуды зерттеу кезінде 1-дәрежелі дәлдік класындағы «Ассистент SI» спектрлік анализаторы қолданылды (2-сурет).

**Сурет 1. Қатты үлгілердің акустикалық және дірілдік қасиеттерін кешенді зерттеуге арналған құрылғы [10]****Сурет 2. «Ассистент SI» 1-дәлділік класы спектрлік талдағыш**

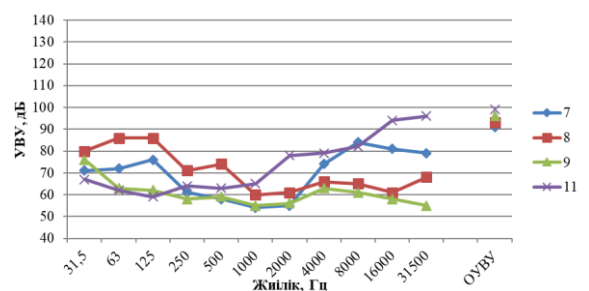
Жұмыста демпферлік металл материалдарын зерттеудің әртүрлі әдістері кеңінен қолданылды. [13–15] еңбектерінде механикалық соққылардан туындайтын шудың диссипация арқылы өзгеруі туралы деректер зерттелген. Зерттеу барысында әртүрлі демпферлік деңгейі бар болат пластиналар механикалық соққылармен қоздырылып, олардың жауап реакциялары талданды.

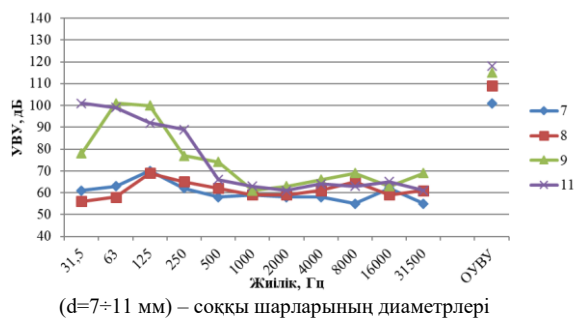
3. Зерттеу нәтижелері және оларды талқылау

4-кестеде және 3-5 суреттерде $d=7$ мм, $d=8$ мм, $d=9$ мм және $d=11$ мм диаметрлі соққы шарларымен соқтығысудан кейін МБГ-1, МБГ-2, МБГ-3(НСП) болаттарынан жасалған үлгілердің (өлшемі 50x50x5 мм пластиналар) вибрациялық сипаттамалары келтірілген.

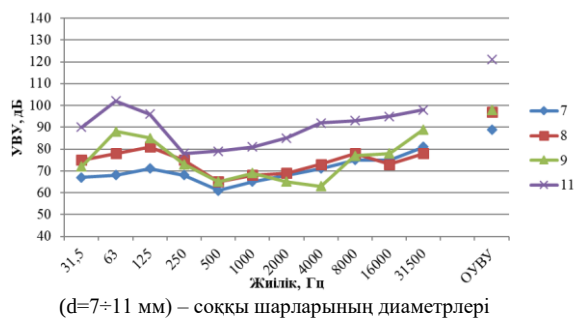
Кесте 4. МБГ-1, МБГ-2, МБГ-3(НСП) қорытпаларының вибрациялық сипаттамалары

Болат маркасы	Соққы шардың диаметрі, d, мм	Орташа геометриялық жиіліктері бар октава жолақтарындағы (Гц) виброжеделдету деңгейлері, дБ											ОУВУ, дБ
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000	31500	
2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
МБГ-1	7	71	72	76	61	58	54	55	74	84	81	79	91
	8	80	86	86	71	74	60	61	66	65	61	68	93
	9	76	63	62	58	59	55	56	63	61	58	55	96
	11	67	62	59	64	63	65	78	79	82	94	96	99
МБГ-2	7	61	63	70	62	58	59	58	58	55	62	55	101
	8	56	58	69	65	62	59	59	61	65	59	61	109
	9	78	101	100	77	74	61	63	66	69	63	69	115
	11	101	99	92	89	66	63	61	64	63	65	61	118
МБГ-3 (НСП)	7	67	68	71	68	61	65	68	71	75	75	81	89
	8	75	78	81	75	65	68	69	73	78	73	78	97
	9	72	88	85	73	65	69	65	63	77	78	89	98
	11	90	102	96	78	79	81	85	92	93	95	98	121

**($d=7-11$ мм) – соққы шарларының диаметрлері****Сурет 3. МБГ-1 үлгісінің виброжеделдету сипаттамалары**



Сурет 4. МБГ-2 үлгісінің виброжеделдету сипаттамалары

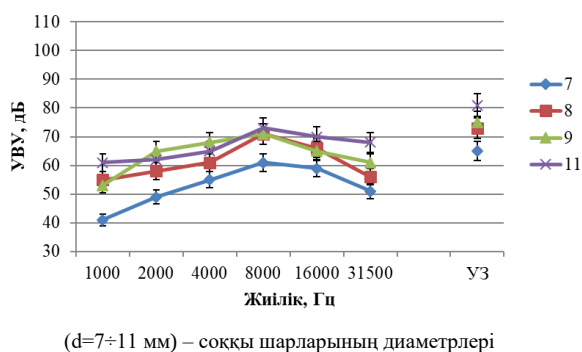


Сурет 5. МБГ-3(НСП) үлгісінің виброжеделдету сипаттамалары

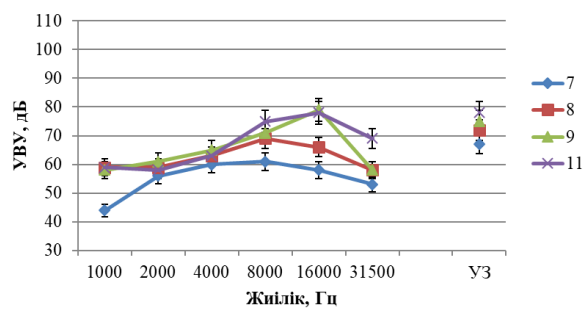
5-кестеде және 6-8 суреттерде әртүрлі диаметрлі соққы шарларымен соқтығысқан кезде балқытылған үлгілердің акустикалық сипаттамалары келтірілген.

Кесте 5. МБГ-1, МБГ-2, МБГ-3(НСП) қорытпаларының акустикалық сипаттамалары

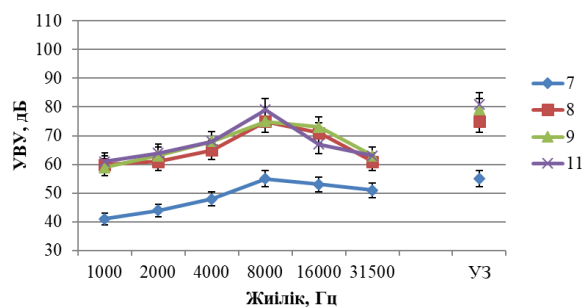
Болат маркасы	Соққы шардың диаметрі, d, мм	Орташа геометриялық жиіліктері бар октава жолақтарындағы (Гц) дыбыс қысымы деңгейлері, дБ						УЗ, дБА
		1000	2000	4000	8000	16000	31500	
МБГ-1	7	41	49	55	61	59	51	65
	8	55	58	61	71	66	56	73
	9	53	65	68	71	65	61	75
	11	61	62	65	73	70	68	81
МБГ-2	7	44	56	60	61	58	53	67
	8	59	59	63	69	66	58	72
	9	58	61	65	71	79	58	75
	11	59	58	63	75	78	69	78
МБГ-3 (НСП)	7	41	44	48	55	53	51	55
	8	60	61	65	75	71	61	75
	9	59	63	68	75	73	63	79
	11	61	64	68	79	67	63	81



Сурет 6. Соққы кезіндегі МБГ-1 қорытпасының дыбыс шығару сипаттамасы



Сурет 7. Соққы кезіндегі МБГ-2 қорытпасының дыбыс шығару сипаттамасы



Сурет 8. Соққы кезіндегі МБГ-3(НСП) қорытпасының дыбыс шығару сипаттамасы

Нанокұрылымды жабыны бар қорытпа (МБГ-3) жақсартылған демпферлік сипаттамаларға ие. МБГ-3 (НСП) қорытпасы үшін виброжеделдету деңгейі соққы шарларының диаметріне байланысты 89–121 дБ аралығында өзгереді. Дыбыс деңгейі де шарлардың диаметріне байланысты 55–81 дБА аралығында болады.

4. Қорытынды

Зерттеу барысында алынған негізгі ғылыми нәтижелер, қорытындылар және практикалық ұсыныстар келесідей:

- жаңа демпферлік металл материалдары әзірленді. Зерттеу нысандары ретінде стандартты болат маркалары 30Л, 40Л, 50Л, сондай-ақ хроммен, никельмен және цериямен легирленген жаңа балқытылған болаттар — МБГ-1, МБГ-2, МБГ-3 (НҚҚ) таңдалды.

- нанокұрылымды (Ti-Al-N) жабын әр қабаты 30 нм бола отырып, беріктікті 12–13%-ға, ал демпферлік қасиеттерді 10%-ға дейін арттырады.

- МБГ-1, МБГ-2, МБГ-3 (НСП) болаттарындағы тербелістердің сөну көздері амплитудаға тәуелді аймақта серпімді егізделу және магнитті-серпімді энергия шашырау процестері болып табылады.

- амплитудаға тәуелді дыбыс демпферлеу (АДДД) — соққы шарларымен соқтығысу кезіндегі шудың сәйкессіз шығуын сипаттайды және зерттелген болаттардың көпшілігінде байқалды. Бұл құбылыс нанокұрылымды көпқабатты жабынның жоғары диссипациясымен, дислокациялық демпферлеумен және магнитомеханикалық әсермен түсіндіріледі.

References / Әдебиеттер

- [1] Mc. Crary, L.E. (1962). Überdas Dampfungsverhalten einiger Kupfer-Mangan-Leqierrungen. *Metall*, 11(16), 1074-1077
- [2] Venkateswararo, P., Cnatterijee, D.K. (1980). Structural studies on the alloying behaviour of γ -Mn and the development of a high damping capacity in Mn-Cu alloys. *J. Mater. Sei.*, (3), 32-41
- [3] Favstov, Ju.K., Shul'ga, Ju.I. (1973). Splavy s vysokodempfirujushimi svojstvami. M.: *Metallurgija*
- [4] Amano, K., Sahashi, M., Tokoro, H. & Nakagawa, M. (1977). High damping characteristics of Fe-Cr-Al alloys associated with their magnetic properties. Intern. Frict.and Ultrasonic Attenuat. Solids.Proc. 6th Int. Conf., Tokyo
- [5] Vonsovskij, S.V. (1961). Magnitnye svojstva metallov i splavov. M.: *Izd. inostran. lit-ry*
- [6] Uteпов, E.B., Omirbai R.S., Suleev D.K., Burshukova G.A., Berkinbaeva, A.S., Nurgaliev, A.K. & Ibraeva, G.M. (2014). Developing metallic damping materials. *Metallurgist*, (58), 1025-1031. <https://doi.org/10.1007/s11015-015-0035-3>
- [7] Uteпов, E.B., Burshukova, G.A., Ibraeva, G.M., Berkinbaeva, A.S., Uteпов, E.N., Abuova, R.Zh. & Nurgaliev, A.K. (2015). Development of iron-based alloys with improved damping capacity and good mechanical properties. *Metallurgist*, (59), 229-235. <https://doi.org/10.1007/s11015-015-0089-2>
- [8] Suleev, D.K., Urikbaev, G.A., Uteпова, G.E. (2008). Prime-nenie dempfirujushhih nanostrukturnyh materialov v teh-nike bor'by s shumom i vibraciej. *Almaty: KazNTU*
- [9] Zhuravlev, V.N., Nikolaeva, O.I. (1981). Mashinostroi-tel'nye stali. Spravochnik. M.: *Mashinostroenie*
- [10] Erkonyr, A.K., Uteпов, E.B., Uteпова, A.B. (2004). Issle-dovanie shuma i vibracii tverdyh obrazcov. *Trudy shestoj mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii «Novoe v bezopasnosti zhiznedejatel'nosti» (ohrana truda, jekologija, vale-ologija, zashhita cheloveka v ChS, toksikologija)*, Almaty
- [11] Cremer, H., Cremer, L. (1948). Theoride der Entstehung des klopts – chalts. *Erequeuz*, 2(3), 61-71
- [12] Kerzhencev, V.V., Dedenko, L.G. (1971). Matematicheskaja obrabotka i oformlenie rezul'tatov jeksperimenta. M.: *MGU*
- [13] Uteпов, E.B., Suleev, D.K., Bizhanov, N.K. (2000). Nauchnye osnovy sozdaniya «tihih» splavov (problemy akusticheskoy jekologii). Almaty: *TOO Print*
- [14] Uteпов, E.B., Nurgaliev, A.K., Burshukova, G.A., Berkinba-eva, A.S. (2015). Splav s povyshennymi dempfirujushimi svojstvami. *Innovacionnyj patent №30449*
- [15] Suleev, D.K., Uteпов, T.E., Burshukova, G.A., Tusupkalieva, Je.A. (2014). Litye dempfirujushhie stali s nanostruktur-nym pokrytiem. *Vestnik KazNTU*, (6), 61-68

Автомобиль техникасының жоғары жүктемелі тораптары үшін наноқұрылымды жабыны бар демпферлік қорытпалардың физика- механикалық сипаттамаларын зерттеу

Г.А. Буршукова^{1*}, Р.Ж. Абуова²

¹Satbayev University, Алматы, Қазақстан

²Халықаралық білім беру корпорациясы, Алматы, Қазақстан

*Корреспонденция үшін автор: gzzi@mail.ru

Аңдатпа. Мақалада автомобиль техникасының жоғары жүктемелі тораптарында қолдануға арналған наноқұрылымды жабыны бар жаңа демпферлік қорытпаларды зерттеу нәтижелері келтірілген. 30Л, 40Л, 50Л стандартты болаттар негізінде Cr, Ni және Se қосылған МБГ-1, МБГ-2, МБГ-3 (НСП) легирленген қорытпалары жасалды. Акустикалық және діріл сипаттамаларына кешенді сынақтар жүргізілді. Наноқұрылымдық жабын (Ti-Al-N) қорытпалардың беріктігін 12-13%-ға арттырып, олардың демпферлік қасиеттерін 10%-ға дейін жақсартатыны анықталды. МБГ-3 (НСП) қорытпасы соққы жүктемелері кезінде діріл үдеуін және дыбыс-сәулелену деңгейін төмендету бойынша ең жақсы нәтижелерді көрсетті.

Негізгі сөздер: қорытпа, материалдар, конструкциялар, демпферлеу, дыбыс шығару.

Исследование физико-механических характеристик демпфирующих сплавов с наноструктурным покрытием для высоконагруженных узлов автомобильной техники

Г.А. Буршукова^{1*}, Р.Ж. Абуова²

¹Satbayev University, Алматы, Казахстан

²Международная образовательная корпорация, Алматы, Казахстан

*Автор для корреспонденции: gzzi@mail.ru

Аннотация. В статье представлены результаты исследований новых демпфирующих сплавов с наноструктурным покрытием, предназначенных для применения в высоконагруженных узлах автомобильной техники. На основе стандартных сталей 30Л, 40Л, 50Л были разработаны легированные сплавы МБГ-1, МБГ-2, МБГ-3 (НСП) с

добавлением Cr, Ni и Se. Проведены комплексные испытания акустических и вибрационных характеристик. Установлено, что наноструктурное покрытие (Ti-Al-N) повышает прочность сплавов на 12–13% и улучшает их демпфирующие свойства до 10%. Сплав МБГ-3 (НСП) показал наилучшие результаты по снижению виброускорения и уровню звукоизлучения при ударных нагрузках.

Ключевые слова: сплав, материалы, конструкции, демпфирование, звукоизлучение.

Received: 06 November 2024

Accepted: 16 March 2025

Available online: 31 March 2025