

ӘОЖ 677.052

З.А. Ибрагимова*, Д.А. Абзалова, Д.С Мырзалиев, О.Б. Сейдуллаева, А.Н. Канадиллаев

PhD, доцент, М. Әуезов атындағы ОҚУ, Шымкент, Қазақстан
т.ғ.к., доцент, М. Әуезов атындағы ОҚУ, Шымкент, Қазақстан
т.ғ.к., доцент, М. Әуезов атындағы ОҚУ, Шымкент, Қазақстан
докторант, М. Әуезов атындағы ОҚУ, Шымкент, Қазақстан
магистрант, М. Әуезов атындағы ОҚУ, Шымкент, Қазақстан

*Корреспондент авторы: zaure_1983_as@mail.ru

МАШИНА БӨЛШЕКТЕРІНІҢ ЖҰМЫС БЕТТЕРІН ЛАЗЕРЛІК БЕРІКТЕНДІРУ

Түйін

Жұмыста D16 қорытпасының анодталған жабындарын лазерлік модификациялау процестері зерттелді. Лазерлік сәулеленуді қолдану дисперсті беріктендірілген қабатты қалыптастыру арқылы беттің тозуға төзімділігі мен микроқаттылығын арттыруға мүмкіндік беретіні көрсетілді. Анодталған жабындардың құрылымы мен қасиеттеріне лазерлік өңдеу параметрлерінің – импульс энергиясының, қуат тығыздығының және сәулелену нүктесінің жылжуының әсері туралы эксперименттік зерттеулер жүргізілді. Өңдеудің оңтайлы режимдері ($E = 5-7,5$ кДж, $q = 20-30$ кВт/см², $\Delta F = -22$ см) тозудың минималды мөлшерін (6-8 мкм) және беріктендірілген қабаттың біркелкі микроқұрылымын қамтамасыз ететіні анықталды. Электронды микроскопия әдістерімен лазерлік әсер ету кезінде аморфты оксид қабатының кристалдануы және тығыз, кеуекті емес құрылымның пайда болуы анықталды. Анодталған жабындардың лазерлік модификациясы тозуға төзімділікті ғана емес, сонымен қатар материалдың коррозияға төзімділігін арттырады, бұл әдісті машина бөлшектері мен механизмдерінің беріктігін арттыруға мүмкіндік береді.

Кілттік сөздер: лазерлік беріктендіру, анодтау, D16 қорытпасы, тозуға төзімділік, микроқұрылым, сәулелену қуаты, модификацияланған қабат.

Кіріспе. Кәсіпорындардың технологиялық жабдықтарында үйкеліс түйіндері көп. Машиналар қуатының шамамен 80% үйкеліс күштерінің жұмысын жеңуге жұмсалады. Бөлшектердің тозуы үйкеліс беттерінің өзара қозғалысы кезінде пайда болатын үйкеліс күштерінің жұмысының салдары болып табылады. Тозу сипаты, қарқындылығы және тозу сипаты көбінесе үйкеліс түріне байланысты. Машина бөлшектерінің тозу жылдамдығы, оның ішінде оларды жасау дәлдігі мен сапасына, жабдықты құрастыру және баптау сапасына, сондай-ақ бөлшектерді дайындау және беріктендіру технологиясына байланысты. Анодталған беттің лазерлік модификациясы болып табылатын D16 қорытпасынан жасалған бөліктің жұмыс бетін беріктендірудің біріктірілген әдісі ұсынылады. Лазерлік сәулеленудің термиялық қатаюы сәулеленудің әсерінен жер бетін жергілікті жылытуға және металлдың ішкі қабаттарына жылу тарату арқылы әсер етуді тоқтатқаннан кейін бұл аймақты суперкритикалық жылдамдықпен салқындатуға негізделген. Лазерлік сәулеленудің материалдарға әсер етуінің негізгі ерекшелігі жылу көзінің жергілікті сипаты болып табылады, ол жылу көзінің жоғары қозғалу жылдамдығымен және материалды жоғары қыздыру және салқындату жылдамдығымен беттік өңдеу кезінде қатты жылу циклінің қалыптасуын қамтамасыз етеді. Лазерлік беріктендіру кезіндегі жылу әсері лазерлік сәулелену параметрлерін және өңдеу режимдерін өзгерту арқылы кең ауқымда реттеледі. Бұл металды қыздыру және салқындату жылдамдығын, металдың жоғары температурада болу уақытын реттеуге мүмкіндік береді, бұл қажетті беткі құрылымды және тиісті қасиеттерді алуға мүмкіндік береді. Лазерлік беріктенудің технологиялық мүмкіндіктері бұл процесті кейінгі өңдеусіз соңғы операция ретінде пайдалануға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, жеке учаскелерді лазерлік термиялық беріктендіру құрылымды немесе машина жинағын

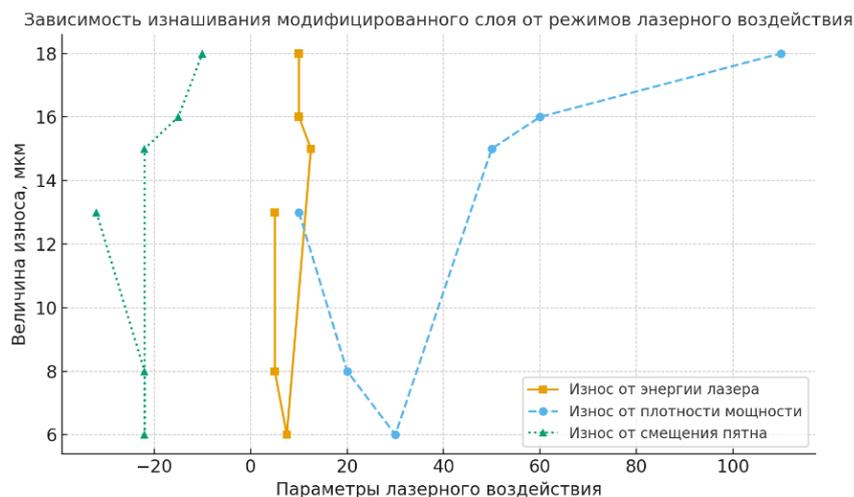
құрастырғаннан кейін жүзеге асырылуы мүмкін. Лазерлік термиялық беріктендіру процесін автоматтандыру мүмкіндігін ерекше атап өткен жөн. Процестің жоғары өнімділігін ескере отырып, лазерлік модификация операцияларын заманауи икемді автоматтандырылған өндіріске енгізуге болады.

Тәжірибелік бөлім. Лазерлік термиялық беріктендіру кезінде қажетті беттік қасиеттер максималды қыздыру температурасымен, қыздыру жылдамдығымен, салқындату жылдамдығымен, металдың сипаттамадан жоғары температурада болу уақытымен анықталатын берілген оңтайлы параметрлері бар тиісті жылу циклін құру арқылы алынады. Үлгілерді лазерлік өңдеу МЕСМ-301 әйнегіндегі неодим лазерінің импульстік сәулеленуімен әр түрлі айдау энергиясы мен дефокустау дәрежесі кезінде импульстің еркін генерациясы режимінде жүзеге асырылды, бұл бетке шашыраған энергияның тығыздығына әсер етеді. Лазерлік өңдеу режимдері 1-кестеде келтірілген. Бетке әсер ететін сәулеленудің қарқындылық диапазоны 10-нан 200 кВт/см²-ге дейін өзгерді.

Кесте 1 – Қапталған D16 қорытпасының үлгілерін лазерлік өңдеу режимдері

Үлгі №	Өңдеу режимдері			Үлгі өлшемдері		Тозу мөлшері, мкм
	Е, кДж	ΔF, см	q, кВт/см ²	а, мм	b, мм	
1	5	-32	10	21	21	13
2	5	-22	20	16	16	8
3	7,5	-22	30	16	16	6
4	12,5	-22	50	16	16	15
5	10	-15	60	8,5	14,2	16
6	10	-10	110	7	12	18
7	10	-5	120	6	10	-
8	10	-2	200	5	7	-

Модификацияланған қабаттың тозуының лазерлік әсер ету режимдеріне тәуелділігі 1-суретте көрсетілген.



Сурет 1 - Модификацияланған қабаттың тозуының лазерлік әсер ету режимдеріне тәуелділігі

1-кестеде қорғаныс жабыны бар D16 қорытпасының үлгілерін лазерлік өңдеу режимдері,

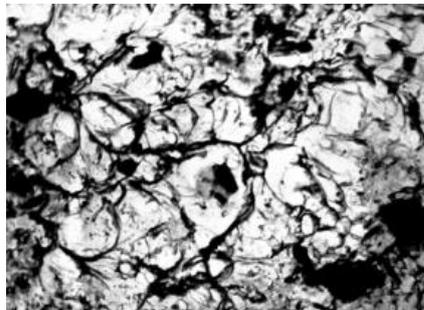
сондай-ақ тозу сынақтарының нәтижелері келтірілген. Өңдеу параметрлері импульс энергиясы E , лазерлік сәулелену ығысу нүктесі ΔF , қуаттың тығыздығы q , сондай - ақ қалыптасқан модификацияланған учаскенің өлшемдері-термиялық әсер ету аймағының ені a және b ұзындығы келтірілген.

Ұсынылған мәліметтерден көріп отырғанымыздай, лазерлік сәулелену қуатының тығыздығының 10-нан 110 кВт/см²-ге дейін артуы модификацияланған қабаттың тозу мөлшерінің 13-тен 18 мкм-ге дейін өсуімен қатар жүреді. Қуаттың тығыздығы одан әрі жоғарылағанда (120-200 кВт/см² дейін) жабынның бұзылуы байқалады, бұл тозу туралы тұрақты деректердің болмауымен көрінеді.

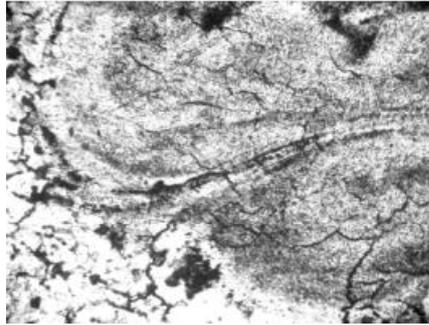
Тозудың минималды мөлшері (6-8 мкм) бойынша оңтайлы нәтижелер өңдеудің орташа режимдерінде – $E=5-7,5$ кДж, энергияларында, ығысуы $\Delta F=22$ см және қуат тығыздығы 20-30 кВт/см² алынады. Бұл режимдер төменгі қабаттың минималды термиялық әсер ету кезінде өзгертілген қабаттың біркелкі құрылымын қамтамасыз етеді.

Осылайша, кесте мәліметтері лазерлік әсер ету параметрлері жабынның тозуына айтарлықтай әсер ететінін растайды және модификацияланған қабаттың беріктігі мен тозуға төзімділігінің ең жақсы үйлесіміне қол жеткізілетін режимдердің оңтайлы диапазондарын бөлуге мүмкіндік береді.

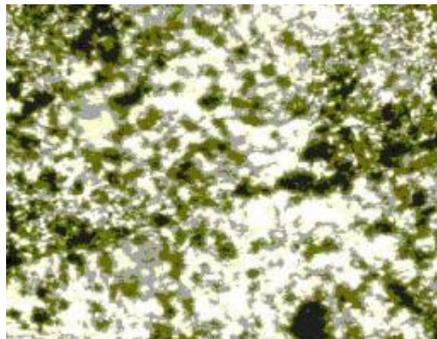
Нәтижелер және талқылау. Әрі қарай беріктендірілген бетті зерттеу жүргізілді. Материалдың микроқаттылығы 1 Н жүктеме кезінде ПМТ-3М микроқаттылық өлшегішпен өлшенді. Бетінің деформация профилі Olympus LEXT OLS5000 лазерлік конфокальды микроскоппен өлшенді. Үлгілер бетінің микроқаттылығына лазерлік әсер ету импульсінің қарқындылығының тәуелділігі 2-суретте көрсетілген. Жабынның механикалық қасиеттері жоғарылаған аймақтың болуы бетті қажетті қарқындылықтағы лазерлік сәулемен өңдеу кезінде оксидті жабынның қатаюына қол жеткізуге болатындығын көрсетеді. Лазерлік өңдеудің оңтайлы режимі 10-15 кВт / см². Бұл жағдайда микроқаттылықтың максималды мәні 700 HV жетеді. 2-4-суреттерде лазерлік өңдеуден кейін оксидпен қапталған үлгілердің фотосуреттері берілген.



Сурет 2 – Анодтаудан кейінгі жабын құрылымы: $\times 10600$ - электронды микроскопия



Сурет 3 – Лазерлік балку аймағындағы D16 қорытпасының құрылымы (400×)



Сурет 4 – Дисперсті беріктендірілген қабат

Қарқындылығы 30 кВт/см^2 -ден төмен лазерлік сәулеленуге ұшыраған кезде бетінде көрінетін өзгерістер байқалмайды. Сыртқы өзгерістер $q 30 \text{ кВт/см}^2$ – ден асқанда басталады-беті күңгірт болады және жарықты нашар таратады, беттің кейбір бөліктерінде жабынның қара түсі ақ түске өзгереді, жабынның тығыздығы мен қалыңдығы төмендейді. Бұл жабынның термиялық бұзылуының басталуын көрсетеді (3 сурет). $q 100 \text{ кВт/см}^2$ жоғары болған кезде бетінде балку аймағы пайда болады. Оның өлшемі 3-5 мм эллипсоидты кратер пішіні бар, ортасында ойық және шеттерінде балқытылған металл ағындары бар (4 сурет) беріктендірілген жарықтар анық көрінеді. Балку аймағындағы құрылым лазерлік өңдеу кезінде балқытылған күйден қатайтылған қорытпаларға тән. Бұл бірнеше микрометрлік қараңғы өріспен белгіленген жарық өрісінің кішкентай жасушалары (4 сурет). Балқыманың әртүрлі макроучаскелерінің зақымдану дәрежесі әртүрлі, бұл легіріленген қабаттың химиялық гетерогенділігін көрсетеді. Макро учаскелердің пішіні балқыманы араластырудың конвективті сипатын көрсетеді. Жарық өрісі жасушасының фазалық құрамы α – фаза, жасуша шекараларында квазиэвтектика. Анод пленкасының беті кеуекті, бұл үйкеліс жұбында жұмыс істегенде оның тозуға төзімділігін төмендетеді. Лазермен әсер еткенде жылу металдың терендігіне өтеді. Нәтижесінде алюминий балқып, капиллярларға көтеріліп, оларды толтырады, бұл бөлшектің кеуекті емес, берік және тозуға төзімді жұмыс бетіне әкеледі, электронды микроскопия әдістерін қолдана отырып, жабынның фазалық құрамына лазерлік әсердің әсері зерттелді. Лазерлік өңдеуге дейінгі беттік микродифрактограммалар сақиналы екені анықталды. Осы нәтижелерге сәйкес құрылымды поликристалды алюминийге сәйкес келетін $a = 4,051 \pm 0,022$ тор периоды бар ББТ ретінде түсіндіруге болады. Оксидтер немесе гидроксидтер сияқты басқа фазалар табылған жоқ. Өңдеуге дейін оксидті жабынның айқын кристалдық торы жоқ екені анық-ол аморфты. лазерлік өңдеуден кейін микродифрактограммалардың түрі айтарлықтай өзгереді.

Қорытынды. Алынған барлық микродифрактограммалар нүктелі болып табылады, бұл

ұнтақтың кристалды құрылымы бар екенін көрсетеді. Бастапқыда аморфты оксидті жабындыда лазерлік өңдеу кезінде кристалдану процестері оны бұзар алдында қарқынды дамиды деп айтуға болады. Осылайша, лазерлік сәулеленудің анодталған кеуекті бетке әсер ету процесінде пайда болатын дисперсті-беріктендірілген қабаттың болуын растауға болады. Әр түрлі жабындардың коррозияға төзімділігі тексерілді. Электролиттің қатысуымен тозу моделі тексерілді. Алынған жабындардың коррозияға төзімділігі сілтілі ортада және қышқыл ортада үлгілерде (анодтау, эматализация, лазерлік модификация) қанағаттанарлық екендігі анықталды. Алынған жабындардың қосытуы байқалмайды.

Әдебиеттер тізімі

1. Fedoseeva A. Y., Ivanov A. M., Zhukov I. A. Laser surface alloying of aluminum alloys with anodized coatings // *Surface and Coatings Technology*. – 2013. – Vol. 228. – P. S428–S433.
2. Kuznetsov M. V., Ivanov Y. F. Influence of laser treatment parameters on the structure and properties of anodic oxide coatings on aluminum alloys // *Journal of Materials Science*. – 2016. – Vol. 51, No. 7. – P. 3340–3349.
3. Li J., Zhou Y., Zhang S. Effect of laser remelting on anodized aluminum alloy surface properties // *Applied Surface Science*. – 2018. – Vol. 456. – P. 456–464.
4. Zhang H., Wang L., Gao W. Microstructure and tribological behavior of anodized and laser-modified aluminum alloy surfaces // *Optics and Laser Technology*. – 2019. – Vol. 111. – P. 300-307.
5. Ефимов О. В., Нестеренко П. Н. Лазерное упрочнение и модификация алюминиевых сплавов. – М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2020. – 210 с.
6. Chen X., Liu Q., Sun D. Laser-assisted surface modification of anodic aluminum oxide films for enhanced wear and corrosion resistance // *Surface Engineering*. – 2021. – Vol. 37, No. 12. – P. 1451–1462.
7. Rakhimov A. M., Sarsenov A. T. Laser strengthening of anodized aluminum alloys of D16 type // *Materials Today: Proceedings*. – 2023. – Vol. 79. – P. 251-258.
8. Пономарёв С. Ю., Медетбеков К. Н. Исследование влияния параметров лазерного модифицирования на износостойкость анодированных покрытий сплава Д16 // *Вестник машиностроения*. – 2024. – № 7. – С. 42-50.

References

1. Fedoseeva A. Y., Ivanov A. M., Zhukov I. A. Laser surface alloying of aluminum alloys with anodized coatings // *Surface and Coatings Technology*. – 2013. – Vol. 228. – P. S428–S433.
2. Kuznetsov M. V., Ivanov Y. F. Influence of laser treatment parameters on the structure and properties of anodic oxide coatings on aluminum alloys // *Journal of Materials Science*. – 2016. – Vol. 51, No. 7. – P. 3340–3349.
3. Li J., Zhou Y., Zhang S. Effect of laser remelting on anodized aluminum alloy surface properties // *Applied Surface Science*. – 2018. – Vol. 456. – P. 456–464.
4. Zhang H., Wang L., Gao W. Microstructure and tribological behavior of anodized and laser-modified aluminum alloy surfaces // *Optics and Laser Technology*. – 2019. – Vol. 111. – P. 300-307.
5. Efimov O. V., Nesterenko P. N. Lazernoe uprochnenie i modifikacija aljuminievyh splavov. – М.: MGTU im. N. Je. Baumana, 2020. – 210 s.
6. Chen X., Liu Q., Sun D. Laser-assisted surface modification of anodic aluminum oxide films for enhanced wear and corrosion resistance // *Surface Engineering*. – 2021. – Vol. 37, No. 12. – P. 1451–1462.
7. Rakhimov A. M., Sarsenov A. T. Laser strengthening of anodized aluminum alloys of D16 type // *Materials Today: Proceedings*. – 2023. – Vol. 79. – P. 251-258.

8. Ponomarjov S. Ju., Medetbekov K. N. Issledovanie vlijanija parametrov lazernogo modifitsirovaniya na iznosostojkost' anodirovannyh pokrytij splava D16 // Vestnik mashinostroeniya. –2024. – № 7. – S. 42-50.

З.А. Ибрагимова*, Д.А. Абзалова, Д.С. Мырзалиев, О.Б. Сейдуллаева, А.Н. Канадиллаев
PhD, доцент, ЮКУ им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан
к.т.н., доцент, ЮКУ им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан
к.т.н., доцент, ЮКУ им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан
докторант, ЮКУ им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан
магистр, ЮКУ им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан
*Автор для корреспонденции: zaure_1983_as@mail.ru

ЛАЗЕРНАЯ УПРОЧНЕНИЕ РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Аннотация

В работе исследованы процессы лазерной модификации анодированных покрытий сплава D16. Было показано, что применение лазерного излучения позволяет повысить износостойкость и микротвердость поверхности за счет формирования дисперсно-упрочненного слоя. Были проведены экспериментальные исследования влияния параметров лазерной обработки – энергии импульса, плотности мощности и смещения точки излучения-на структуру и свойства анодированных покрытий. Установлено, что оптимальные режимы обработки ($E = 5-7, 5$ кДж, $q = 20-30$ кВт/см², $\Delta F = -22$ см) обеспечивают минимальное количество износа (6-8 мкм) и равномерную микроструктуру упрочненного слоя. Методами электронной микроскопии выявлена кристаллизация слоя аморфного оксида и образование плотной непористой структуры при лазерном воздействии. Лазерная модификация анодированных покрытий повышает не только износостойкость, но и коррозионную стойкость материала, что позволяет повысить прочность деталей и механизмов машины.

Ключевые слова: лазерная упрочнение, анодирование, сплав D16, износостойкость, микроструктура, мощность излучения, модифицированный слой.

Z.A. Ibragimova*, D.A. Abzalova, D.S. Myrzaliev, O.B. Seidullaeva, A.N. Kanadillaev

PhD, Associate Professor, M. Auezov Higher Educational Institution, Shymkent, Kazakhstan
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, M. Auezov Higher Educational Institution, Shymkent, Kazakhstan
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, M. Auezov Higher Educational Institution, Shymkent, Kazakhstan

Doctoral Student, M. Auezov Higher Educational Institution, Shymkent, Kazakhstan

Master's Student, M. Auezov Higher Educational Institution, Shymkent, Kazakhstan

*Corresponding author's email: zaure_1983_as@mail.ru

LASER HARDENING OF WORKING SURFACES OF MACHINE PARTS

Abstract

The work investigates the processes of laser modification of anodized coatings of alloy D16. It has been shown that the use of laser radiation makes it possible to increase the wear resistance and microhardness of the surface due to the formation of a dispersed-hardened layer. Experimental studies have been conducted on the effect of laser processing parameters – pulse energy, power density, and radiation point displacement - on the structure and properties of anodized coatings. It has been found that optimal treatment modes ($E = 5-7. 5$ kJ, $q = 20-30$ kW/cm², $\Delta F = -22$ cm) ensure a minimum amount of wear (6-8 microns) and a uniform microstructure of the hardened layer. Electron microscopy revealed the crystallization of an amorphous oxide layer and the formation of a dense nonporous structure under laser exposure. Laser modification of anodized coatings increases not only the wear resistance, but also the corrosion resistance of the material, which increases the strength of machine parts and mechanisms.

Keywords: laser hardening, anodizing, D16 alloy, wear resistance, microstructure, radiation power, modified layer.