AlSi QOPLAMALI HS1300T/950Y MS MARTENSITLI PO‘LATNI FIBER LAZER BILAN KESISHDA TEXNOLOGIK PARAMETRLARNI OPTIMALLASHTIRISH VA SHLAK HOSIL BO‘LISHINI KAMAYTIRISH

Alijonov Qobiljon Qodirali o‘g’li
Farg’ona davlat texnika universiteti, Mexanika va yengil sanoat muhandisligi fakulteti, Mashinasozlik texnologiyasi kafedrasi tayanch doktaranti
Tursunov Shovkat Talibovich
Farg’ona davlat texnika universiteti
Mexanika va yengil sanoat muhandisligi fakulteti, Mashinasozlik texnologiyasi kafedrasi dotsenti

Qabul qilindi: 24.10.2026
Ko‘rib chiqildi: 26.10.2026
Tasdiqlandi: 27.10.2026

Kalit so‘zlar: fiber lazer, lazer bilan kesish, AlSi qoplama, HS1300T, shlak, Taguchi usuli, javob sirti metodologiyasi, ANOVA, optimallashtirish.

Annotatsiya. Ishda qalinligi 1,3 mm bo‘lgan AlSi qoplamali HS1300T/950Y MS AS60G60G martensitli po‘latni Prima Power LASER NEXT 1530 fiber lazer stanogida kesishda shlak hosil bo‘lishi tadqiq etilgan. Taguchi L9(3^4) va Box–Behnken rejalari asosida azot va kislorod muhitida tajribalar o‘tkazildi, ANOVA yordamida omillarning ta’sir ulushlari aniqlandi va shlak massasining ikkinchi tartibli regressiya modeli qurildi. Optimal rejimda (P = 1980 Vt, v = 8,8 m/min, p = 14,2 bar N_2, f = −0,6 mm) shlak massasi 72 % ga kamaydi va ISO 9013:2017 bo‘yicha 1-diapazon sifati ta’minlandi.

Kirish. Avtomobilsozlikda kuzov massasini kamaytirish va passiv xavfsizlikni oshirish uchun vaqtinchalik qarshiligi 1300–1500 MPa bo‘lgan press-toblangan martensitli po‘latlar keng qo‘llanilmoqda [1, 2]. Issiq shtamplashda listni oksidlanishdan himoya qilish uchun uning sirti AlSi qoplama bilan qoplanadi. Bunday o‘ta qattiq detallarning konturini kesish va trimlash sanoatda asosan fiber lazer bilan bajariladi.

AlSi qoplamali po‘latni lazer bilan kesishdagi asosiy sifat muammosi — kesim pastki qirrasida shlak (dross) hosil bo‘lishi. Shlak kesim sinfini pasaytiradi, qo‘shimcha mexanik tozalashni talab qiladi va detal charchoq mustahkamligini 68 % gacha kamaytirishi mumkin [3]. Mavjud tadqiqotlar asosan qoplamasiz po‘latlar va CO_2 lazerlariga bag’ishlangan [4, 5]; qoplama (≈577–660 °C) va asosiy metall (≈1480 °C) erish haroratlari orasidagi ≈820 °C farqning shlak hosil bo‘lishidagi roli miqdoriy baholanmagan.

Tadqiqot maqsadi — AlSi qoplamali HS1300T po‘latni fiber lazer bilan kesishda shlak hosil bo‘lish qonuniyatlarini aniqlash, shlak massasining matematik modelini ishlab chiqish va shlakni minimallashtiruvchi rejimni asoslash.

Tadqiqot materiali va usullari

Tajribalar Prima Power LASER NEXT 1530 fiber lazer stanogida (3 kVt, λ = 1070 nm) bajarildi. Material — qalinligi 1,3 mm bo‘lgan HS1300T/950Y MS AS60G60G po‘lati (Rm = 1290 ± 35 MPa, har tomonda 60 g/m² AlSi qoplama).

O‘zgaruvchan omillar: lazer quvvati P, kesish tezligi v, yordamchi gaz bosimi p va fokus holati f. Taguchi L9(3^4) rejasi bo‘yicha azot (N_2) va kislorod (O_2) muhitida 54 ta, Box–Behnken rejasi bo‘yicha azot muhitida 15 ta qo‘shimcha tajriba o‘tkazildi; har bir rejim uch marta takrorlandi.

Shlak massasi S bitta 150 mm kesim uchun 0,1 mg aniqlikda (Mettler Toledo XS64) o‘lchandi; g’adir-budirlik Mitutoyo SJ-410, kesim morfologiyasi Keyence VHX-7000 va EDS yordamida baholandi. Ma’lumotlar S/N nisbati, ANOVA va javob sirti metodologiyasi bilan Minitab 21 va Python muhitida qayta ishlandi. Ichki qabul mezoni sifatida S ≤ 8 mg qabul qilindi.

Natijalar va muhokama

Azot muhitida shlak massasiga eng kuchli ta’sirni lazer quvvati va gaz bosimi ko‘rsatdi: ular birgalikda umumiy o‘zgaruvchanlikning 73 % ini tushuntiradi (1-jadval). Fokus holatining ta’siri statistik ahamiyatsiz chiqdi (p = 0,103), bu 1,3 mm list Releу uzunligi ($z_R \approx 1{,}0$ mm) oralig’iga deyarli to‘liq joylashishi bilan izohlanadi.

1-jadval. Omillarning shlak massasiga ta’sir ulushi (ANOVA, N_2)

Omil	Ta’sir ulushi ρ, %
Lazer quvvati P	43,2
Gaz bosimi p	29,8
Kesish tezligi v	16,1
Fokus holati f	6,1

Azot muhitida shlak kislorod muhitiga nisbatan o‘rtacha 39 % ga kam hosil bo‘ldi (juftlangan t-test: $t = -13{,}89$, $p < 0{,}001$). EDS tahlili shlakdagi alyuminiy miqdori kesim yuzasidagidan 3,3–4,9 marta yuqoriligini ko‘rsatdi. Bu kislorod muhitida qoplama alyuminiyining qattiq Al_2O_3 zarralarini hosil qilib, suyuqlikni quyultirishi va shlakning qirraga yopishishini kuchaytirishini tasdiqlaydi.

Shlak massasining ikkinchi tartibli regressiya modeli yuqori adekvatlikka ega: $R^2 = 0{,}9724$, $R^2_{adj} = 0{,}9412$, RMSE = 0,84 mg, mos kelmaslik testi p = 0,218. Shlak massasi va g’adir-budirlik orasida kuchli chiziqli bog’liqlik aniqlandi:

$$Ra = 0{,}154 \cdot S + 0{,}89; \quad r = 0{,}996$$

Shlakning minimal qiymati chiziqli issiqlik kiritmasi $HI = P/v \approx 13{,}5$ J/mm da kuzatildi; past HI da suyuqlik qovushqoq bo‘lib tez qotadi, yuqori HI da esa

suyuq metall hajmi gaz oqimining chiqarish qobiliyatidan oshib ketadi. Optimal rejimning tasdiqlash natijalari 2-jadvalda keltirilgan.

2-jadval. Dastlabki va optimal rejim natijalari (N_2, n = 5)

Ko‘rsatkich	Dastlabki rejim	Optimal rejim
P, Vt / v, m/min	1500 / 6,0	1980 / 8,8
p, bar / f, mm	8 / −1,0	14,2 / −0,6
Shlak massasi S, mg	18,4	5,16 ± 0,19
Ra, mkm	3,82	1,58
Rz, mkm	—	7,82
Perpendikulyarlik u, mkm	—	41,8

Modelning bashorat xatosi 1,2 % ni tashkil etdi; Rz va u qiymatlari ISO 9013:2017 bo‘yicha 1,3 mm qalinlik uchun 1-diapazon chegaralaridan (Rz5 ≤ 10,8 mkm, u ≤ 53,9 mkm) past.

Xulosa

1. AlSi qoplamali HS1300T po‘latni fiber lazer bilan kesishda shlak massasini asosan lazer quvvati (43,2 %) va gaz bosimi (29,8 %) belgilaydi.

2. Azot muhitida shlak kislorodga nisbatan 39 % kam; buning sababi kislorod muhitida qoplama alyuminiyidan Al_2O_3 hosil bo‘lishidir.

3. Ishlab chiqilgan regressiya modeli (R^2 = 0,9724) shlak massasini 1,2 % xato bilan bashorat qiladi; shlak massasi g’adir-budirlikning integral ko‘rsatkichi bo‘la oladi (r = 0,996).

4. Optimal rejim (P = 1980 Vt, v = 8,8 m/min, p = 14,2 bar N_2, f = −0,6 mm) shlakni 18,4 dan 5,16 mg gacha (72 %) kamaytiradi. Ishlab chiqarish uchun ruxsat etilgan oraliqlar: P = 1850–2100 Vt, v = 8,0–9,5 m/min, p = 13,0–15,5 bar, f = −1,0…−0,3 mm.

5. Rejimni joriy etish yiliga 50 000 detalda ≈30 mln so‘m tejash va solishtirma energiya sarfini 38,7 % ga kamaytirish imkonini beradi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Karbasian H., Tekkaya A.E. A review on hot stamping // Journal of Materials Processing Technology. — 2010. — Vol. 210, № 15. — P. 2103–2118.

2. Bach J., Zeuner A.T., Wanski T. va b. Influence of dross on the fatigue strength of laser-cut AISI 304 // 2023.

3. Russo Spena P. CO_2 laser cutting of hot stamping boron steel sheets // Metals. — 2017. — Vol. 7, № 11. — 456.

4. Steen W.M., Mazumder J. Laser Material Processing. — 4th ed. — London: Springer, 2010. — 558 p.

5. Григорьянц А.Г., Шиганов И.Н., Мисюров А.И. Технологические процессы лазерной обработки. — М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. — 664 с.