ISNN 3030-3907

2026/4
VOLUME 5

DEVELOPMENT OF SCIENCE

ILMIY JURNAL



Development of science

Ilmiy jurnal

2026/4 VOLUME 5

ISSN 3030 -3907

Ilmiy jurnal OAK rayosatining 2024 yil 27 sentabrdagi 361-son qaroriga asosan 02.00.00 kimyo fanlari hamda 2025 yil 12 fevral 367- son qaroriga asosan 05.00.00 texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) va fan doktori (DSc) ilmiy darajasiga talabgorlarning dissertatsiya ishlari yuzasidan dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan milliy ilmiy nashrlar ro‘yxatiga kiritilgan.

BOSH MUHARRIR:
Temirov Alisher Hoshim o‘g‘li – texnika fanlari falsafa doktori (PhD),Dotsent.
TAHRIRIYAT KENGASH RAISI:
Fozilov Sadriddin Fayzullayevich – texnika fanlari doktori, professor
TAHRIRIYAT KENGASH A’ZOLARI

TEXNIKA FANLARI/ TECHNICAL SCIENCES/ ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Bozorov G‘ayrat Rashidovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Abdurahmonov Olim Rustamovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Adizov Bobur Zamirovich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Umumiy va noorganik kimyo instituti, professor
Hayitov Ruslan Rustamjonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Jumayev Qayum Karimovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Berdiyev Dorob Murodovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor
Maxmudov Rafiq Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Tilloyev Lochin Ismatilloyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Raxmonov Qahramon Sanakulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Barakayev Nusratullo Rajabovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor.
Jo‘rayev Xayrullo Fayziyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Panoyev Erali Rajabboyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Ataullayev Sherzod Nabiullyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Malik Negmurodovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Axmedova Ozoda Bahronovna
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti.
Safarov Bahri Jumayevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Xaydarov Axtam Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Safarov Jasur Alijon o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Асадова Раъно Дилмуратовна
Тошкент Давлат техника университети доценти

KIMYO FANLARI/ CHEMICAL SCIENCES/ ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Axmedov Voxid Nizomovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Umarov Baqo Bafoyevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Kodirov Abduaxad Abduraximovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Qurbonov Mingniqul Jumagulovich
Qarshi davlat Universiteti, dotsent
Turemuratov Sharibay Naurizbaevich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Qoraqalpog‘iston bo‘limi Bosh ilmiy kotibi, professor
Tursunov Kaxor Shonazarovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Do‘stov Hamro
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Panoyev Nodir Shavkatovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Olimov Bobur Bahodir o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Kasimov Sherzod Abduazimovich
Termiz Davlat Universiteti, professor.
Aliqulov Rustam Valiyevich
Termiz Davlat Universiteti, professor
Tropov Xamza Tursunovich
Samarqand Davlat Universiteti, professor

IQTISODIYOT FANLARI/ ECONOMICS/ ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Nizamov Aslitdin Badreddinovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Boboyev Akmal Choriyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Ergashxojayeva Shaxnoza Djasurovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Saidaxmedova Nodira Ilxomovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Muxsinov Bekzod Toxirovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shakarov Qulmat Ashirovich
Renessans ta'lim universiteti,dotsent.
Jumaeva Zulfiya Qayumovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Norova Salomat Yusupovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Avezova Shaxnoza Maxmudjonovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Jalilov Jamshid G‘anijonovich
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, dotsent
Xasanova Gulruh Djumanazarovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

PEDAGOGIKA FANLARI/ PEDAGOGICAL SCIENCES / ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Siddiqova Sadoqat G‘afforovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Zoyirov Erkin Xalilovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, DSc, professor
Gaffarov Feruz Hasanovich
Puchon Universiteti, *professor*
Ruziyev Davron Yuldashevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Muradova Firuza Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Yunusova Gulandon Samiyevna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
To‘xtayeva Zebo Sharifovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Navro‘zova Gulchixra Nigmatovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Uzoqova Laylo Polvonovna
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.
To‘raqulova Marjona Qiyom qizi
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Muradova Zarina Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Sanjar Aslonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shodiyev Jahongir Jo‘raqulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent
Gaffarov Laziz Hasanovich
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.

Tahririyat a’zolarning to‘liq ro‘yxati jurnalning www.devos.uz saytida keltirilgan.

Tahririyat hay’ati a’zolarining tarkibini o‘zgartirish hamda qo‘shimcha kiritish yoki tahririyat a’zoligidan chiqarish bosh muharrir tomonidan amalga oshiriladi.

ISSN 3030-3907

Development of science ilmiy jurnali 2024 yil 15 aprel kuni №256445 sonli guvohnoma bilan Davlat ro‘yxatidan o‘tgan.

To‘plam elektron ko‘rinishda (pdf formatida) mualliflarga taqdim etiladi. To‘plamga kiritiladigan maqolalarning mazmuni, ulardagi statistik ma’lumotlar va me’yoriy hujjatlarning to‘g‘riligiga hamda har qanday fikr - mulohazalarga mualliflarning o‘zlari mas’ul hisoblanadilar. Talablarga javob bermaydigan maqolalar to‘plamga kiritilmaydi. Tashkiliy qo‘mita maqola matnini qisqartirish, qisman tuzatish kiritish, seksiyalarga joylashtirish huquqiga ega.

ISSN 3030-3907

MARGANESLI PO‘LATLARNING MEXANIK XOSSALARINI OSHIRISH USULLARINING TAHLILI

Jo‘raboyev Davronbek Odiljon o‘g‘li
Andijon davlat texnika instituti
Yusupov Nuriddin Akmaljon o‘g‘li
Andijon davlat texnika instituti
Tulyaganova Vasila Sunnatillayevna
TDTU “Fan va taraqqiyot” DUK
Turaxodjayev Nodir Djaxongirovich
Toshkent davlat texnika universiteti O‘zbekiston-Yaponiya yoshlar innovatsiya markazi
Bektemirov Abdujalol Do‘smuxammad o‘g‘li
O‘zbekiston-Yaponiya yoshlar innovatsiya markazi

Annotation. This paper presents an analysis of methods for improving the mechanical properties of high-manganese steels. Based on recent studies, the effects of melting temperature, alloying elements (Cr, N, Nb, B, SiZr), and surface treatment techniques on the microstructure and properties of the steel are examined. The results indicate that grain refinement and complex alloying are the most effective approaches. Additionally, critical factors such as the balance between strength and ductility, surface treatment duration, and economic efficiency are discussed. A comparative analysis of high-manganese and high-strength steels is also conducted to determine their optimal application conditions.

Keywords: wear resistance, heat treatment, quenching, tensile strength, impact toughness.

Аннотация. В данной статье представлен анализ методов повышения механических свойств высокомарганцовистых сталей. На основе современных научных исследований рассмотрено влияние температуры плавления, легирующих элементов (Cr, N, Nb, B, SiZr), а также поверхностной обработки на микроструктуру и свойства стали. Установлено, что измельчение зерна и комплексное легирование являются наиболее эффективными подходами. Также обсуждаются вопросы баланса между прочностью и пластичностью, влияние времени поверхностной обработки и экономическая эффективность. Проведен сравнительный анализ высокомарганцовистых и высокопрочных сталей с целью определения областей их рационального применения.

Ключевые слова: износостойкость, термическая обработка, закалка, прочность на растяжение, ударная вязкость.

ISSN 3030-3907

Annotatsiya. Ushbu maqolada yuqori marganesli po‘latlarning mexanik xossalarini oshirish usullari tahlil qilingan. Turli ilmiy tadqiqotlar asosida quyish harorati, legirlovchi elementlar (Cr, N, Nb, B, SiZr) hamda sirtqi ishlov berish texnologiyalarining po‘lat mikrostrukturasi va xossalariga ta’siri o‘rganilgan. Natijalar shuni ko‘rsatadiki, donalarni maydalash va kompleks legirlash eng samarali usullar hisoblanadi. Shu bilan birga, mustahkamlik va plastiklik o‘rtasidagi muvozanat, sirt ishlov berish davomiyligi hamda iqtisodiy samaradorlik kabi muhim omillar ham muhokama qilingan. Marganesli po‘latlar va yuqori qattiqlikli po‘latlarning qiyosiy tahlili asosida ularning qo‘llanish sohalari aniqlangan.

Kalit so‘zlar: yeyilishbardoshlik, termik ishlov berish, toblash, cho‘zilishdagi mustahkamlik, zarbiy qovushqoqlik

KIRISH.

Marganesli po‘latlar zamonaviy mashinasozlik va metallurgiya sanoatida keng qo‘llaniladigan konstruksion materiallar qatoriga kiradi. Ularning asosiy afzalligi — yuqori zarbaga chidamlilik, deformatsiya jarayonida qattiqlashish (work hardening) xususiyati hamda abraziv yeyilishga nisbatan barqarorligidir. Shu sababli bunday po‘latlar tog‘-kon sanoati, maydalagich detallar, temiryo‘l uzellari va yuqori dinamik yuklama ostida ishlaydigan mexanizmlarda keng qo‘llanadi.

Biroq marganesli po‘latlarning samaradorligi faqat kimyoviy tarkib bilan cheklanmaydi. Ularning mexanik xossalari quyish harorati, sovitish tezligi, legirlovchi elementlar miqdori va sirtqi ishlov berish usullariga bevosita bog‘liqdir. So‘nggi yillarda olib borilgan ilmiy tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, mikrostrukturani boshqarish orqali — xususan donalarni maydalash, karbid fazalarni nazorat qilish va nanokristall sirt qatlamlarini hosil qilish orqali — bu materiallarning ishlash xususiyatlarini sezilarli darajada yaxshilash mumkin.

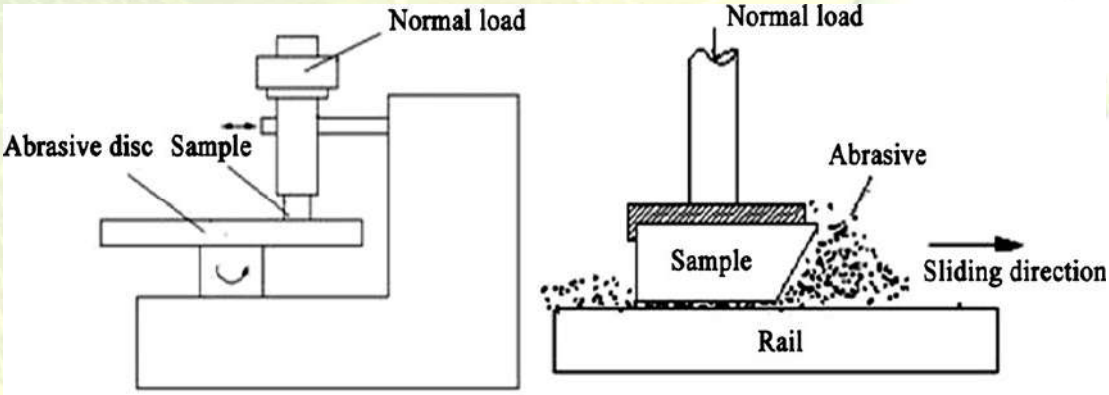
Shu bilan birga, legirlovchi elementlar (xrom, azot, niobiy, bor va boshqalar) qo‘shilishi po‘latning mustahkamligi va yeyilishbardoshligini oshirishi mumkin, ammo ayrim hollarda plastiklikning kamayishiga olib keladi. Demak, optimal xossalarni ta’minlash uchun mustahkamlik va egiluvchanlik o‘rtasida muvozanatni saqlash muhim ahamiyatga ega.

Ushbu maqolaning maqsadi — marganesli po‘latlarning mexanik xossalarini oshirishga qaratilgan zamonaviy yondashuvlarni tahlil qilish, turli texnologik omillarning mikrostrukturaga ta’sirini baholash hamda ularning amaliy qo‘llanish sohalarini aniqlashdan iborat.

ADABIYOTLAR SHARHI.

ISSN 3030-3907

Xitoylik olimlar Weilin Yan, Liang Fang, Kun Sun, Yunhua Xular tomonidan 110G13L po‘latlarining ish jarayonidagi qattiqlashini yeyilishiga ta’siri o‘rganilgan. Bunda dastlab kimyoviy tarkibi 1,20 C, 12,86 Mn, 0,87 Si, 0,05 S va 0,09 P bo‘lgan na’munalar tayyorlangan. Na’munalar 1050 C haroratda 2 soat davomida ushlab turilib, keyin esa suv bilan sovutilgan. Namunalar S170R tipidagi mashinada zarba ishlov berilgan. Havo bosimi 0,18 MPa va zarba bilan ishlov berish davomiyligi mos ravishda 2, 7, 15, 30, 60 va 120 daqiqani tashkil etgan. Vickers mikroqattiqligi MH-5 mikroqattiqlik o‘lchagichi bilan 10 soniya davomida 0,49 N yuk bilan o‘lchandi.



1-rasm. Ikki korpusli va uch korpusli abraziv yeyilish uchun yeyilish geometriyasining sxemasi.

Yeyilish sinov geometriyasi mos ravishda yuqoridagi rasmda ko‘rsatilgan. Ikki korpusli yeyilish sinovlarida nominal dona hajmi taxminan 100–120m diametrli, Vickers qattiqligi 1800 HV va burchakli geometrik shakllarga ega abrazivlardan foydalanilgan.

Gadfild po‘latining nanokristalli sirt qatlami zarba bilan ishlov berish orqali muvaffaqiyatli to‘liq shakllantirilgan. Qayta ishlangan namunaning yuqori sirt qatlamidagi donalarning o‘lchamlari taxminan 11,1–17,4 nm ga teng. Qattiqlikni asl namunadagi taxminan 256 HV dan 120 daqiqalik zarba bilan ishlov berish namunasi uchun taxminan 774 HV gacha bosqichma-bosqich oshirishgan. Jilvir tosh abraziv sifatida ishlatilganda ikki jismli abraziv yeyilish uchun, zarba bilan ishlov berish orqali ortib borayotgan qattiqlik va donalarning tozalanishi yeyilish qarshiligini yaxshilay olmagan. Shisha abraziv uch jismli abraziv yeyilish uchun, shisha zarralari abraziv sifatida ishlatilganda, yeyilish qarshiligini zarba bilan ishlov berish orqali yaxshilash mumkin, ayniqsa, ishlov berilgan sirtning yeyilish qarshiligini 30 daqiqalik zarba berish davomida 72% ga oshirish mumkinligi isbotlangan[1].

Islom Azad universiteti olimlari Masoud Sabzi, Sadegh Moeini Far, va Saeid Mersagh Dezfulilar Gatfild marganesli po‘latining quyish jarayonida erish haroratining mikrostrukturaviy evolutsiyalari, xossalari va korroziya strukturasiga

ISSN 3030-3907

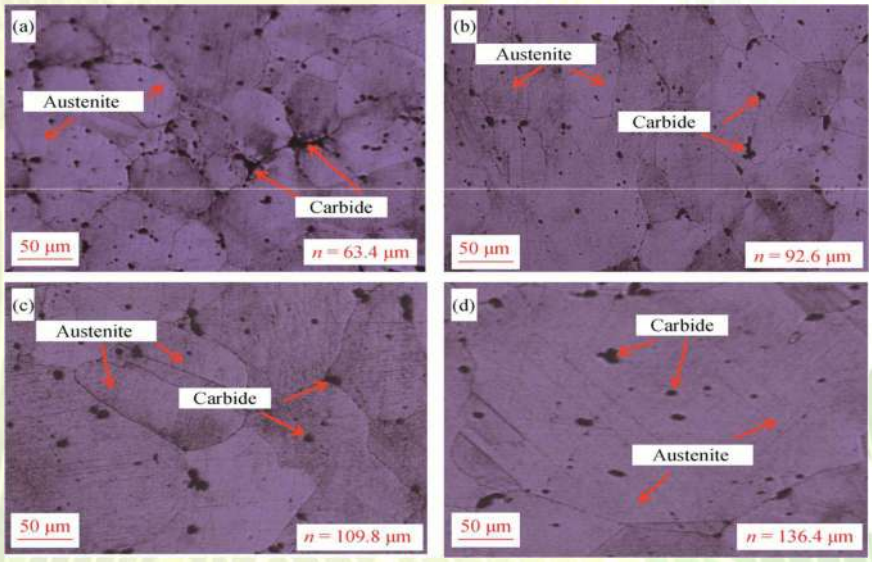
ta’siri haqida o‘rganishgan. Ushbu tadqiqotda po‘lat markasi ASTM A-128 HAMnS ishlatilgan. Quyma uchun 1350, 1400, 1450 va 1500°C erish haroratlari tanlangan va quyma induksion pech yordamida olingan.

1-jadval.

Ishlatilgan po‘latning kimyoviy tarkibi % birlikda

Na’muna	C	Mn	Si	P	Fe
ASTM A-128	1-1.4	10-14	1gacha	0.07gacha	Muv.
Quyma	1.24	11.28	0.410	0.020	Muv.

To‘rtta HAMnS namunasini turli haroratlarda quyishdan so‘ng toza suvda sovutish jarayonida, to‘rtta namunaning mikrotuzilmalari austenit matritsasini va turli miqdordagi karbidlarni o‘z ichiga olgan, bu optik mikroskop tomonidan ko‘rsatilgan (1-rasm). Rasmlardan ko‘rinib turibdiki, erish haroratining oshishi bilan austenit donalarining hajmi oshgan va karbidlovchi zarrachalar miqdori kamaygan.



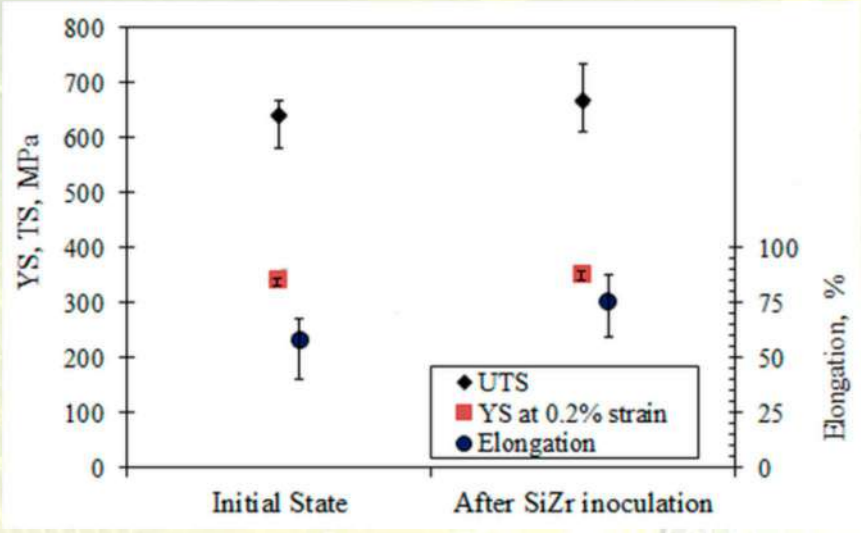
2-rasm. Mos ravishda (a) 1500, (b) 1450, (c) 1400 va (d) 1350°C erish haroratiga ega gadfild po‘lat quyish uchun 100 marta kattalashtirishda optik metallografik tasvirlar.

Kuzatuvlari shuni ko‘rsatadiki, HAMnS quyish jarayonida erish haroratining oshishi austenit donalari hajmining oshishiga va karbid cho‘kmalarining kamayishiga olib kelgan. Bundan tsahqari XRD tahlil natijalari shuni ko‘rsatadiki, turli erish harorati bilan quyilgan HAMnS da hosil bo‘lgan marganets karbidlari Mn3C turiga kiradi va erish haroratining oshishi mikrotuzilmadagi marganets karbidlarini kamaytirgan[2].

Polshalik olimlar S. Sobula va S. Krainskiylar SiZr modifikatorining yuqori marganesli quyma po‘latining xususiyatlari va mikrostrukturasiga ta’sirini o‘rganishgan. Tajriba o‘tkazish uchun yuqori marganesli Gatfild po‘lati tanlab olinib, uni 30 kgli laboratoriya pechida suyuqlantirishgan va o‘zgartirishgan.

ISSN 3030-3907

Inokulyar sifatida 0.010 kg miqdordagi SiZr38 ferroqotishmasi ishlatilgan bo‘lib cho‘michda qo‘shilgan.



3-rasm. Mexanik sinov natijalari

Yuqorida SiZr38 ning Gadfild quyma po‘latiga kiritilishi eng yuqori cho‘zilish kuchi (UTS) va oquvchanlik (0,2% YS) oshishiga olib kelishi ko‘rsatilgan. UTS va YS biroz oshgan bo‘lsa (+8,6% YS, +4,2% UTS), nisbiy uzayish (El) sezilarli o‘sishni ko‘rsatadi (+29% El). Modifikatsiyadan keyin o‘rtacha don diametri dastlabki holatga nisbatan kamaygan.

2-jadval.

Mexanik xususiyatlar va mikrotuzilma tekshiruvlari natijalari

No	Holat	0.2% YS, MPa	TS, MPa	Nisbiy uzayish, % da	SDAS ustunli donachalar zonasi	Teng o‘lchamli donachalar zonasidagi o‘rtacha diametr
1.	Boshlang‘ich holat	324 (13.2)	640 (48.6)	58 (14.8)	69µm (5.4)	450 µm (276.7)
2.	Modifikator SiZr38	352 (9.7)	667 (67)	75 (16.6)	63µm (7.5)	314 µm (335.7)

O‘rtacha don diametri SiZr38 bilan modifikatsiyalashdan keyin dastlabki holatda 332 mkm dan 291 mkm gacha kamaygan[3].

Polshaning Vrotslav fan va texnologiya universiteti olimlari Martyna Zemlik, Lukasz Konat, Kasper Lesny va Krzysztof Jamroziaklar Gatfild po‘lati va Hardox po‘latining yeyilishga chidamlilik xususiyatini o‘zaro taqqoslashgan. Maqsad – yuqori yeyilishga duch keladigan komponentlar uchun qaysi material yaxshiroq ekanligini aniqlash.

ISSN 3030-3907

3-jadval.

Tahlil qilingan yuqori marganetsli po‘latlar va Hardox po‘latlarining qattiqlikni o‘lchash natijalari bilan kimyoviy tarkibi.

	1-namuna GX120MnCr17-2	ISO 13521:1999	2-namuna L120G13T	PN-88/H-83160	Hardox 450	Hardox 500	Hardox 600	Hardox Extreme
C	1.23	1.20	1.10	1.00-1.40	0.17	0.29	0.44	0.45
Mn	18.00	17.50	12.50	12.00-14.00	1.00	0.74	0,53	1.00
Si	0.35	0.60	0.50	0.30-1.00	0.32	0.28	0.17	0.14
P	0.015	-	0.009	<0.100	0.010	0.007	0.006	0.006
S	0.009	-	0.008	<0.030	0.001	0.001	0.002	0.002
Cr	1.80	2.00	1.30	<1.00	0.45	0.61	0.31	0.07
Ni	0.35	-	0.50	<1.00	0.05	0.06	2.03	0.70
Mo	-	-	-	-	0.08	0.02	0.14	0.07
B	-	-	-	-	0.001	0.001	0.002	0.001
Al	-	-	-	-	0.032	0.054	0.039	0.040
Ti	-	-	-	-	0.016	0.003	0.006	0.003
V	-	-	-	-	0.005	0.012	0.006	0.008
Qattiqlik [HBW]	299	270-310	256	170-217	434	487	596	618

ISSN 3030-3907

Gadfield po‘lati qattiqligi past bo‘lsa ham, Hardox 600 bilan deyarli teng yeyilish ko‘rsatgan. Hardox Extreme eng yuqori yeyilishga chidamli, lekin zarbaga chidamsiz. Hardox qattiqligi juda yuqori (450–700 HB) bo‘lganligi sababli qattiq abraziv zarralar uni oson kesib kira olmaydi. Yeyilish asosan mayda chizilish (microcutting) ko‘rinishida shu sababli quruq, kesuvchi abraziv muhitda, doimiy sirpanish bo‘lsa, zarba katta bo‘lmaydigan hollarda Hardox po‘latini qo‘llash tavsiya qilingan. Gatfild po‘latidan esa ish jarayonida qattiqligi oshib borishi sababli zarba va abraziv muhit birga kelganda, katta toshlar urilib ishlasa, dinamik yuklama yuqori bo‘lgan hollarda qo‘llash tavsiya qilingan[4].

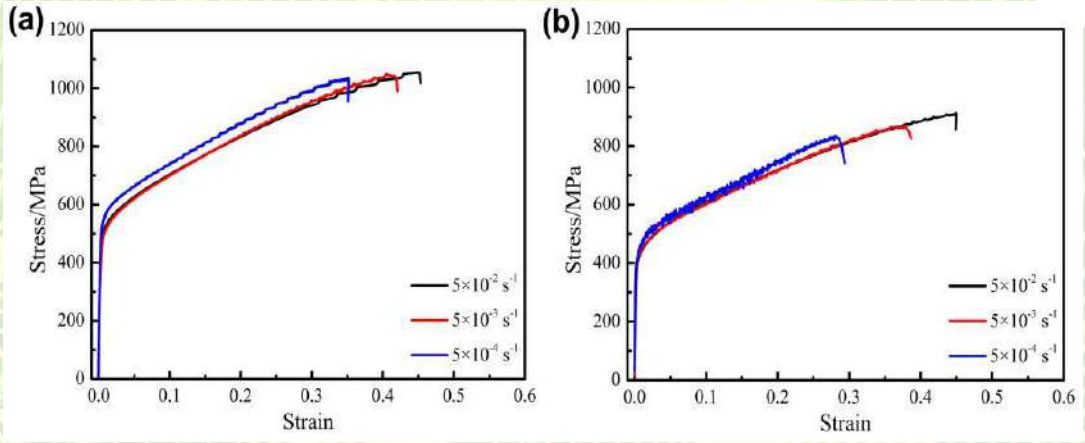
N+Cr qotishmasining mikrotuzilmalarga ta’siri va Gadfield po‘latining cho‘zilish xususiyatlari to‘g‘risida Xitoyning Yanshan unversiteti olimlari C. Chen, F.C. Zhang, F. Wang, H. Liu, B.D. Yular izlanish olib borishgan. Tadqiqotlar 50 kgli vakuumli induksion pechda eritilib, 60x60 mm li o‘lchamda quyib olingan namunalar bilan olib borilgan. Gatfild va N+Cr qotishmasi qo‘shilgan Gatfild po‘latining o‘zaro taqqoslash natijalari olingan. Tadqiqot davomida Gadfield po‘lati Mn12 1050 °C gacha qizdirilgan va 1 soat davomida ushlab turildi, so‘ngra suvda sovutilgan. Mn12CrN po‘latidagi karbidlarni eritish qiyin bo‘lganini hisobga olinib, Cr elementi tufayli harorati 1100 °C ga ko‘tarildi.

4-jadval.

Sinalgan ikkita po‘latning kimyoviy tarkibi (og‘irligi %da)

Po‘latlar	C	Mn	Cr	N	Si	Al	Cu	P	S
Mn12CrN	1.10	11.6	2.14	0.052	0.42	0.024	0.014	≤0.001	0.005
Mn12	1.14	11.7	0.07	0.016	0.42	0.027	0.009	≤0.001	0.005

Cho‘zilish sinovlari uch xil deformatsiya tezligida (5×10^{-4}, 5×10^{-3} va 5×10^{-2} s^{-1}) o‘tkazilgan.



4-rasm. Mn12CrN po‘latining (a) va Mn12 po‘latining (b) turli xil deformatsiya tezligidagi muhandislik kuchlanish-deformatsiya egri chiziqlari

ISSN 3030-3907

Natijalar shuni ko‘rsatdiki, N+Cr bilan legirlash natijasida po‘latning donalari sezilarli darajada maydalangan va yuqori haroratlarda ham donalarning keskin yiriklashuvi kuzatilmagan. Bundan tashqari, Mn12CrN po‘latining qattiqligi an’anaviy Mn12 ga nisbatan yuqori bo‘lib, bu qattiq eritma mustahkamlanishi bilan bog‘liq deb hisoblashgan.

Mexanik sinovlar shuni ko‘rsatdiki, barcha deformatsiya tezliklarida Mn12CrN po‘latining mustahkamligi va plastiklik ko‘rsatkichlari yuqoriroqdir. Ayniqsa past deformatsiya tezligida ham yuqori mustahkamlikka erishilgan. Deformatsiya tezligi oshganda ikkala po‘latda ham mustahkamlik va cho‘zilish ortgan bo‘lsa-da, Mn12CrN po‘latida bu o‘zgarishlar ancha kichik bo‘lgan[5].

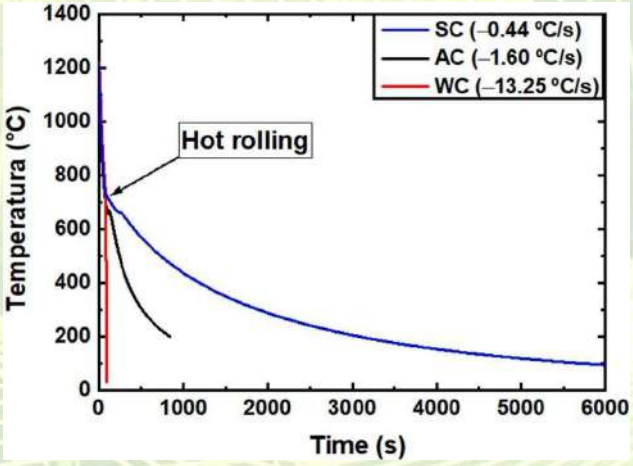
Brazilya va Kolumbiyalik olimlar A.M. Ferreira, E.A. Ariza, L.F. Bauri, P.M.C.D. Gomes, F.M.S.B. Carvalho, M. Masoumi, J.D. Poplawsky, H. Goldenstein, A.P. Tschiptschinlar Nb mikroqotishmali olovga chidamli po‘latni ishlab chiqarishning yangi strategiyasi: Bor va sovutish tezligining ta’siri haqida ilmiy izlanishlar olib borgan.

5-jadval.

Quymalarning kimyoviy tarkibi (og‘irlik % da)

Qotishma	C	Mn	Nb	B	Ti	N
B siz	0.05	1.00	0.10	-	0.015	0.0028
B bilan	0.05	1.00	0.10	0.0028	0.015	0.0028

Kam ligerlangan bu qotishmalar vakuumli induksiya pechida 80 kg li quyma plastinka sifatida tayyorlab olingan va 1250 °C haroratdagi quyma plastinkalar issiqlayin prokatlangan. Bu haroratni tanlashdan maqsad niobiy karbitini eritishni osonlashtirish bo‘lgan. Issiqlayin prokatlashdan so‘ng, uchta turli xil sovutish tezligida sovutilgan. Suv bilan sovutish (WC), havo bilan sovutish (AC) va sekin sovutish (SC).

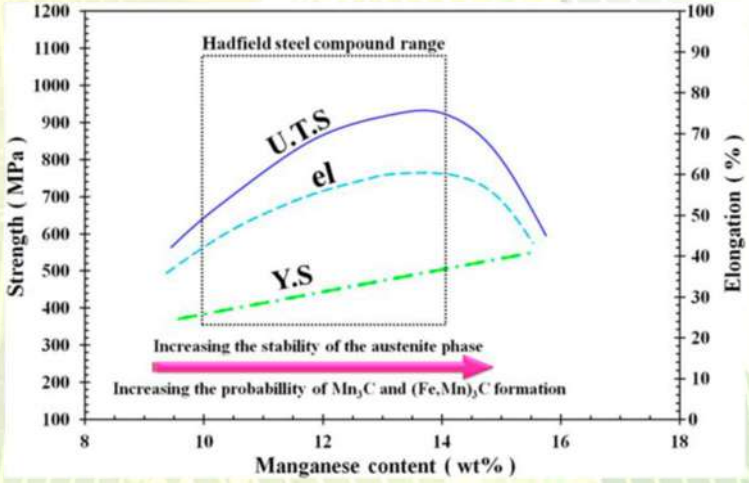


5-rasm. Issiq prokatlashdan keyin uchta sovutish holati uchun sovutish profillari (harorat va vaqt): suv bilan sovutish (WC - tez), havo bilan sovutish (AC – o‘rtacha) va sekin sovutish (SC - sekin).

ISSN 3030-3907

Bor qo‘shilishi va sovitish tezligi mikrostrukturaga sezilarli ta’sir ko‘rsatgan. Sekin sovitish sharoitida (SC) ferrit donalari maydalanib, yuqori burchakli don chegaralari miqdori ortdi hamda (Nb,Ti) C nanocho‘kmalarining ko‘proq ajralishi kuzatildi. Atom-zond tahlillari borning karbid-ferrit interfeysida to‘planishini ko‘rsatgan. 600 °C da o‘tkazilgan sinovlar natijasida eng yaxshi ko‘rsatkich SC-B namunada kuzatilgan: oqish chegarasi xona haroratidagi qiymatning 67 % ini saqlab qoldi va ASTM talabiga javob berdi. Bor qo‘shilmagan namunalar esa 46–52 % diapazonda natija ko‘rsatgan. Shuningdek, bor qo‘shilishi 1 % deformatsiya yuz beradigan kritik haroratni 25–50 °C ga oshirgani aniqlangan[6].

Eronlik olimlar Masud Sabzi va Mansur Farzam Gadfild po‘lati ishlab chiqarish jarayonlari va xossalari tahlili bo‘yicha ilmiy izlanishlar olib borishgan. Bu maqolada ular Gatfild po‘latiga ta’sir qiluvchi omillar ya’ni erish haroratining austenit donalariga ta’siri, asosiy qotishma elementlarining ta’siri, Gatfild po‘lati mikrostrukturasiga ta’sir etuvchi elementlar, po‘latning ish jarayonida qattiqlashishi, issiqlik bilan ishlov berish, yeyilishbardoshlilik xususiyati va Gatfild po‘latini payvandlash to‘g‘risida ma‘lumotlar keltirilgan.



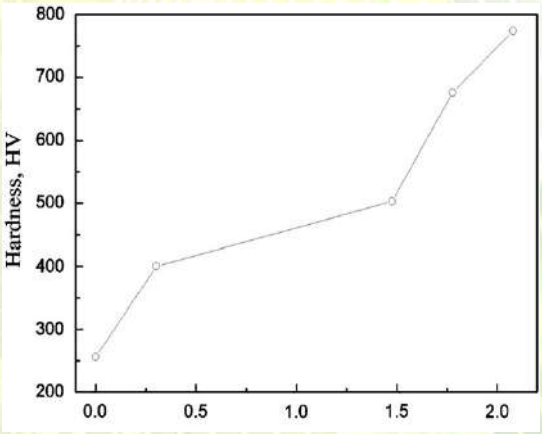
6-rasm. Gadfild marganesli austenitik po‘latining mikrostrukturasi va mexanik xossalariga marganes miqdorining ta’sirining sxematik tasviri.

Marganes austenit fazasini barqarorlashtiruvchi element bo‘lib, u 700°C haroratda 15 soniya davomida austenit parchalanishini kechiktiradi. Shu bilan birga, marganes karbid hosil qiluvchi element bo‘lib, quyma tuzilmasida Mn_3C va $(Fe,Mn)_3C$ karbidlarini hosil qilishi to‘g‘risida batafsil ma’lumotlar keltirilgan.

Gadfild po‘latidagi uglerod miqdori po‘latning oquvchanlik chegarasi va ishqalanishga chidamliligini belgilaydi. Uglerod miqdori 1% dan 1,4% gacha oshirilganda, po‘latning mustahkamligi va qattiqligi ortadi, ammo egiluvchanlik va zarbaga chidamliligi kamayadi. Bu hodisa karbidlarning ko‘payishi (asosan Mn_3C va $(Fe,Mn)_3C$) bilan bog‘liqligi ko‘rsatib o‘tilgan.

ISSN 3030-3907

Gadfild po‘latida sirt nanokristallanishining abraziv yeyilish xususiyatlariga ta’siri haqida xitoylik olimlar Weilin Yan, Liang Fang, Chjanguang Zheng, Kun Sun, Yunxua Xular tadqiqot olib borishgan. Tadqiqotning asosiy maqsadi: Zarrachalar bilan urib ishlov berish orqali Gadfild po‘latining sirtida nanokristall qatlam hosil qilish va bu qatlamning abraziv yeyilishga chidamlilikka ta’sirini o‘rganish bo‘lgan. Gadfild po‘lati: kuchli zarba sharoitida yaxshi ishlaydi lekin yengil zarba yoki abraziv sharoitda yeyilishi ko‘proq bo‘ladi. Shuning uchun sirtni nanostruktura qilish orqali bu muammoni kamaytirish mumkinmi degan savol o‘rganilgan. Tadqiqot uchun kimyoviy tarkibi: 1,20 C, 12,86 Mn, 0,87 Si, 0,05 S va 0,09 P. bo‘lgan qotishma tanlangan. Namunalar 1050 °C haroratda 2 soat davomida qattiq eritma bilan ishlov berilgan va keyin suv bilan sovutilgan. Nominal diametri 0,2 mm bo‘lgan quyma po‘lat sharchalardan foydalanilgan. Sharcha bilan ishlov berish 2–120 daqiqa oralig‘ida bajarilgan, lekin eng samarali vaqt 2–30 minut bo‘lgan. 2 daqiqa ishlov berishda yeyilishga chidamlilik taxminan 70 % ga oshgan. 30 daqiqa ham yaxshi natija bergan. 60 va 120 daqiqa ishlovda esa foyda kamaygan, chunki sirt ostida mikro yoriqlar paydo bo‘lgan. Lekin qattiqlik boshlang‘ich holatda 256 HV bo‘lsa 120 daqiqa ishlovdan keyin 774 HVga yetgan.



7-rasm. Sirt qatlamining qattiqligining zarb bilan ishlov berish davomiyligiga qarab o‘zgarishi.

Bu ish shuni ko‘rsatadi: Materialning umumiy tarkibini o‘zgartirmasdan ham, faqat sirt mikrostrukturani nanokristall qilish orqali yeyilishga chidamlilikni oshirish mumkin. Umumiy xulosaga ko‘ra, Gadfild po‘latining sirtini zarb bilan ishlov berish orqali nanokristall holatga keltirish uning qattiqligini va abraziv yeyilishga chidamliligini oshiradi, ayniqsa yumshoq abraziv va yengil zarba sharoitida. Biroq ortiqcha ishlov berish mikro yoriqlar hosil qilib, material xossalarini yomonlashtirishi mumkinligi ko‘rsatilgan[8].

Eronlik Mohammad Zabihi-Gargari, Mohammad Emami, Hamid Reza Shahverdi, Mohsen Askari-Paykanilar Bor qo‘shilishining o‘rta marganesli yuqori

ISSN 3030-3907

mustahkam po‘latning mikrotuzilmasi va mexanik xususiyatlariga ta’siri to‘g‘risida o‘rganishlar olib borishgan. Namuna qotishmalar vakuumli induksion pechda eritilib, 50×50×15 mm o‘lchamdagi qolipga quyildi va 1200 °C da 2 soat davomida ushlab turildi, so‘ngra pechda sovutildi. Quymalar 1100 °C va 900 °C harorat oralig‘ida 4 mm qalinlikda issiq prokatlandi.

6-jadval.

Ushbu tadqiqotdagi po‘latlarning kimyoviy tarkibi.

Namuna	C	B	Si	Mn	Cr	Fe
BC	0.08	0.12	1	4.5	2.5	Bal.
C	0.08	-	1	4.5	2.5	Bal.

Tadqiqotda Fe-0.08C-4.5Mn-2.5Cr–1Si o‘rta marganesli po‘latga 0.12% bor qo‘shilishining mikrostrukturaga va mexanik xossalarga ta’siri o‘rganilgan bo‘lib, sovuqlayin va issiqlayin prokatlash holatlarda bor qo‘shilishi po‘latning mustahkamligini oshirgan, ammo cho‘ziluvchanligini kamaytirgan. Masalan, issiqlayin prokatlashda bor qo‘shilgan namuna (BC-HR) 1195 MPa kuch va 5.5% cho‘ziluvchanlik ko‘rsatgan bo‘lsa, bor qo‘shilmagan namuna (C-HR) 1008 MPa 7% qiymatga ega bo‘lgan[9].

Gadfild po‘latining karroziyabardosh analogi to‘g‘risida Ukraina va Germaniya olimlari V.G.Gavriljuk, A.I.Tyshchenko, O.N.Razumov, Yu.N.Petrov, D.B.Shanina va H.Bernslar ilmiy izlanishlar olib borishgan.

7-jadval.

Kimyoviy tarkibi (massa%)

Po‘lat	C	N	Cr	Mn	Ni	Si	V	Mo	C+N	C/N
CN0.96	0.344	0.614	18.1	19.0	0.34	0.26	0.06	0.06	0.95	0.56
CN1.07	0.489	0.578	18.9	19.0	0.39	0.40	0.07	0.08	1.07	0.85

Mustahkamlik va plastiklik: Yangi analog Gatfild po‘latiga qaraganda yuqori oquvchanlik chegarasi, yuqori plastiklik va qattiqlikka ega.

Korroziyaga chidamlilik: Xrom (Cr) miqdori yuqori bo‘lgani (18%) va azot bilan qo‘shimcha legirlangani sababli, bu po‘latlar korroziyaga juda chidamli. Ayniqsa, 3% li NaCl (tuzli) eritmasida piting korroziyasiga qarshi yuqori barqarorlik ko‘rsatgan.

Zarbaviy yeyilishga chidamlilik: Bu ko‘rsatkich bo‘yicha yangi po‘latlar klassik Gatfild po‘lati bilan bir xil darajada turadi.

Struktura barqarorligi: Uglerod va azotning birgalikda ishlatilishi austenit fazasini faqat uglerod yoki faqat azotga qaraganda yaxshiroq barqarorlashtiradi.

Mikrostruktura o‘zgarishi: Zarbaviy ta’sir natijasida po‘lat yuzasining juda yupqa qatlamida (45 mkm gacha) amorf faza, nanokristallar va juda nozik

ISSN 3030-3907

egizakli austenit aralashmasi hosil bo‘ladi. Bu struktura po‘latning sirtqi qattiqligini sezilarli darajada oshiradi.

8-jadval.

Mexanik ko‘rsatkichlar (Solishtirma jadval)

Ko‘rsatkichlar	Gatfild po‘lati	Yangi analog (CN1.07)
Oquvchanlik chegarasi	370 MPa	612 MPa
Mustahkamlik chegarasi	835 MPa	1018 MPa
Nisbiy uzayish	41%	54%
Qattiqlik (HB)	210	265

Yangi analoglar Gatfild po‘latidan sezilarli darajada ustun keldi[10].

MUHOKAMALAR.

Gadfild po‘latlarining zamonaviy metallurgiyadagi o‘rni ularning dinamik yuklamalar ostida qattiqlashish xususiyati bilan belgilanadi. Biroq, tahlil qilingan tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, materialning samaradorligi faqat uning bazaviy tarkibiga emas, balki quyish harorati, legirlovchi elementlar va sirtqi ishlov berish usullariga bog‘liqdir.

1. Quyish harorati va mikrostruktura o‘rtasidagi bog‘liqlik

M. Sabzi va boshqalarning izlanishlari quyish haroratining ostenit donalari hajmiga hal qiluvchi ta’sirini ko‘rsatdi. Erish haroratining 1350°C dan 1500°C gacha ko‘tarilishi ostenit donalarining yiriklashishiga va Mn_3C turidagi karbidlar miqdorining kamayishiga olib keladi. Bu holat materialning plastikligini oshirsa-da, donalar chegarasidagi mustahkamlikning pasayishiga sabab bo‘lishi mumkin. Tanqidiy nuqtai nazardan, karbidlarning kamayishi ostenit matritsasining barqarorligini oshirsa-da, o‘ta yirik donali struktura zarbaviy yuklamalarda yoriqlarning tez tarqalishiga sharoit yaratishi xavfi mavjud.

2. Legirlovchi elementlarning (Cr, N, Nb, B, SiZr) ta’siri

Tadqiqotlarda an’anaviy tarkibni modifikatsiyalash orqali xossalarni yaxshilashga alohida urg‘u berilgan:

- SiZr modifikatsiyasi: S. Sobula va S. Krainskilar tomonidan SiZr38 ferroqotishmasining qo‘shilishi donalarning sezilarli maydalanishiga (332 mkm dan 291 mkm gacha) va nisbiy uzayishning 29% ga ortishiga olib kelishi isbotlangan.
- Cr va N bilan legirlash: C. Chen va boshqalarning ishlari shuni ko‘rsatadiki, $N+Cr$ kompleksi nafaqat donalarni maydalaydi, balki yuqori haroratlarda ham donalarning o‘sishini tormozlaydi. Bu V.G. Gavriljuk tadqiqotidagi "yangi analog" (CN1.07) misolida ham o‘z tasdig‘ini topgan: oquvchanlik chegarasi an’anaviy po‘latga nisbatan 370 MPa dan 612 MPa gacha oshgan.

ISSN 3030-3907

• Bor va Niobiy ta’siri: Bor qo‘shilishi mustahkamlikni oshirsa-da, plastiklikning pasayishiga (7% dan 5.5% gacha) sabab bo‘ladi. Bu esa materialdan foydalanishda mo‘rt sinish xavfini oshiradi.

3. Sirtqi ishlov berish va yeyilish mexanizmlari

W. Yan va boshqalarning tadqiqotlari Gatfild po‘latining "zaif nuqtasi" — past va o‘rtacha zarbali abraziv yeyilish muammosiga yechim taklif etadi. Sirtni zarb bilan ishlash (shot peening) orqali nanokristall qatlam hosil qilish qattiqlikni 256 HV dan 774 HV gacha ko‘taradi.

• Tanqidiy tahlil: Shunisi e’tiborliki, sirtqi qattiqlashish hamma vaqt ham yeyilish bardoshliligini oshiravermaydi. Ikki jismli abraziv yeyilishda (jilvir tosh) qattiqlashish samara bermagan bo‘lsa, uch jismli yeyilishda (shisha abraziv) samaradorlik 72% gacha oshgan. Bu shuni anglatadiki, Gatfild po‘latini sirtqi tozalash usullari faqat ma’lum bir ekspluatatsiya sharoitlari uchungina o‘zini oqlaydi.

4. Hardox va Gatfild po‘latlarining qiyosiy tahlili

M. Zemlik va boshqalarning tadqiqoti material tanlash bo‘yicha amaliy xulosa beradi: Hardox po‘latlari yuqori boshlang‘ich qattiqligi tufayli quruq, kesuvchi abraziv muhitda ustunlikka ega. Gatfild po‘lati esa faqat yuqori dinamik yuklama va zarba mavjud bo‘lgandagina o‘zining qattiqlashish xususiyati hisobiga Hardox 600 bilan raqobat qila oladi.

XULOSA.

Tahlil qilingan ishlar shuni ko‘rsatadiki, Gatfild po‘latini takomillashtirishning hozirgi bosqichida donadorlikni maydalash (grain refinement) va kompleks legirlash (N+Cr) eng samarali strategiyalar hisoblanadi. Biroq, tadqiqotlar o‘rtasida quyidagi ziddiyatlar mavjud:

1. Plastiklik va mustahkamlik balansi: Bor kabi elementlar mustahkamlikni oshirsa-da, plastiklikni kamaytirishi Gatfild po‘latining asosiy ustunligi (zarbaga chidamlilik) ga putur yetkazishi mumkin.

2. Ishlov berish vaqti: Sirtqi ishlov berishda (shot peening) 30 daqiqadan ortiq vaqt materialda mikro yoriqlar hosil qilib, xossalarni yomonlashtirishi aniqlangan.

3. Iqtisodiy samaradorlik: Yangi azotli analoglar korroziyaga va yeyilishga juda chidamli bo‘lsa-da, ularning vakuumli pechlarda eritilishi va qimmat legirlovchilar ishlatilishi tannarxning oshishiga olib keladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Weilin Yan, Liang Fang, Kun Sun, Yunhua Xu, Effect of surface work hardening on wear behavior of Hadfield steel, Materials Science and Engineering A 460–461 (2007) 542–549, doi:10.1016/j.msea.2007.02.094

ISSN 3030-3907

2. Masoud Sabzi, Sadegh Moeini Far, va Saeid Mersagh Dezfuli, Effect of melting temperature on microstructural evolutions, behavior and corrosion morphology of Hadfield austenitic manganese steel in the casting process, International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials Volume 25, Number 12, December 2018, Page 1431. https://doi.org/10.1007/s12613-018-1697-1
3. S.Sobula, S.Krainskiy, Effect of SiZr Modification on the Microstructure and Properties of High Manganese Cast Steel, ARCHIVES of FOUNDRY ENGINEERING Volume 21, Issue 4/2021, 82-86, 10.24425/afe.2021.138683
4. Zemlik, M.; Konat, Ł.; Le´sny, K.; Jamroziak, K. Comparison of Abrasive Wear Resistance of Hardox Steel and Hadfield Cast Steel. Appl. Sci. 2024, 14, 11141. https://doi.org/10.3390/app142311141
5. C.Chen, F.C.Zhang, F.Wang, H.Liu, B.D.Yu, Effect of N+Cr alloying on the microstructures and tensile properties of Hadfield steel, Materials Science &Engineering A, http://dx.doi.org/10.1016/j.msea.2016.09.106
6. A.M. Ferreira, E.A. Ariza, L.F. Bauri, P.M.C.D. Gomes, F.M.S.B. Carvalho, M. Masoumi, J.D. Poplawsky, H. Goldenstein, A.P. Tschiptschin, A new strategy for developing a Nb microalloyed fire-resistant steel: Effects of boron and cooling rate, Journal of Materials Research and Technology, https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2024.09.150
7. Masoud Sabzi, Mansour Farzam, Hadfield manganese austenitic steel: a review of manufacturing processes and properties, Materials Research Express, https://doi.org/10.1088/2053-1591/ab3ee3
8. Weilin Yan, Liang Fang, Zhanguang Zheng, Kun Sun, Yunhua Xu, Effect of surface nanocrystallization on abrasive wear properties in Hadfield steel, Tribology International, doi:10.1016/j.triboint.2008.08.012
9. Mohammad Zabihi-Gargari, Mohammad Emami, Hamid Reza Shahverdi, Mohsen Askari-Paykani, Influence of boron addition on microstructure and mechanical properties of medium-Mn advanced high-strength steel, Journal of Materials Research and Technology, https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2024.03.021
10. Bektemirov, A., Turakhodjaev, N., Makhammadjanov, K., Tashbulatov, S., Akhunjonov, A., Erkinjonov, A., & Abdullaev, F. Characteristics of Titanium Nitride (Tin) in Increasing the Wear Resistance of High-Carbon Steel Alloys.

ISSN 3030-3907