

**TOSHKENT DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI HUZURIDAGI ILMIY
DARAJALAR BERUVCHI DSc.03/30.12.2019.T.03.04 RAQAMLI ILMIY
KENGASH**

NAVOIY DAVLAT KONCHILIK INSTITUTI

ISAYEV DONIYOR TOSHBOTIROVICH

**KOMPLEKS ISHLOV BERISHDA YUZANI LEGIRLASH VA YEYILISHGA
BARDOSH QOPLAMNI PURKASH YO‘LI BILAN QATTIQ
QOTISHMALARNI YEYILISHGA BARDOSHLILIGINI OSHIRISH**

**05.02.01 Mashinasozlikda materialshunoslik. Quymachilik. Metallarga termik va bosim
ostida ishlov berish. Qora, rangli va noyob metallar metallurgiyasi. Kamyob, nodir va
radioaktiv elementlar texnologiyasi**

TEXNIKA FANLARI BO‘YICHA FALSAFA DOKTORI (PhD)

DISSERTATSIYASI AVTOREFERATI

Toshkent – 2022

**Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)
dissertatsiyasi avtoreferati mundarijasi**

**Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD)
по техническим наукам**

**Contents of dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD)
on technical sciences**

Isayev Doniyor Toshbotirovich

Комплекс ishlov berishda yuzani legirlash va yeyilishga bardosh qoplamni purkash yo'li bilan qattiq qotishmalarni yeyilishga bardoshlilikini oshirish.....3

Исаев Дониёр Тошботирович

Повышение износостойкости твёрдых сплавов путем комплексной обработки, включающей поверхностное легирование и нанесения износостойкого покрытия.....23

Isaev Doniyor Toshbotirovich

Increasing the wear resistance of hard alloys by complex processing, including surface alloying and application of a wear-resistant coating.....45

E'lon qilingan ishlar ro'yxati

Список опубликованных работ

List of published works49

**TOSHKENT DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI HUZURIDAGI ILMIY
DARAJALAR BERUVCHI DSc.03/30.12.2019.T.03.04 RAQAMLI ILMIY
KENGASH**

NAVOIY DAVLAT KONCHILIK INSTITUTI

ISAYEV DONIYOR TOSHBOTIROVICH

**KOMPLEKS ISHLOV BERISHDA YUZANI LEGIRLASH VA YEYILISHGA
BARDOSH QOPLAMNI PURKASH YO‘LI BILAN QATTIQ
QOTISHMALARNI YEYILISHGA BARDOSHLILIGINI OSHIRISH**

**05.02.01 Mashinasozlikda materialshunoslik. Quymachilik. Metallarga termik va bosim
ostida ishlov berish. Qora, rangli va noyob metallar metallurgiyasi. Kamyob, nodir va
radioaktiv elementlar texnologiyasi**

**TEXNIKA FANLARI BO‘YICHA FALSAFA DOKTORI (PhD)
DISSERTATSIYASI AVTOREFERATI**

Toshkent – 2022

Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi mavzusi O'zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida B2021.3.PhD/T2381 raqam bilan ro'yxatga olingan.

Dissertatsiya Navoiy davlat konchilik institutida bajarilgan.

Dissertatsiya avtoreferati uch tilda (o'zbek, rus, ingliz (rezyume)) Ilmiy kengash veb-sahifasida (www.tdtu.uz) va «Ziyonet» Axborot ta'lim portalida (www.ziyonet.uz) joylashtirilgan.

Ilmiy rahbar: **Fyedorov Sergey Voldemarovich**
texnika fanlari nomzodi, dotsent

Rasmiy opponentlar: **Abdullaev Fatxulla Sagdullayevich**
texnika fanlari doktori, professor

Xudoyarov Suleyman Rashidovich
texnika fanlari nomzodi, dotsent

Yetakchi tashkilot: Andijon mashinasozlik instituti

Dissertatsiya himoyasi Toshkent davlat texnika universiteti huzuridagi ilmiy darajalar beruvchi PhD.03/30.12.2019.T.03.04 raqamli ilmiy kengashning 2022 yil «18» mart kuni soat 11⁰⁰ dagi majlisida bo'lib o'tadi. Manzil: 100095, Tashkent sh., Universitet ko'chasi, 2. Tel./ faks (99871) 227-10-32, e-mail: tadqiqotchi@tdtu.uz.

Dissertatsiya bilan Toshkent davlat texnika universiteti Axborot-resurs markazida tanishish mumkin (246 raqam bilan ro'yxatga olingan). Manzil: 100095, Tashkent sh., Universitet ko'chasi, 2. Tel./ faks (99871)227-10-32, e-mail: tadqiqotchi@tdtu.uz.

Dissertatsiya avtoreferati 2022 yil «05» mart kuni tarqatildi.
(2022 yil «05» mart dagi 136 raqamli reestr bayonnomasi).

K.A. Karimov
Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy
kengash raisi, texnika fanlari doktori, professor

Sh.B.Tashbulatov
Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy
kengash ilmiy kotibi, texnika fanlari boyicha falsafa doktori

N.D.Turaxodjayev
Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy kengash
qoshidagi ilmiy seminar raisi, texnika fanlari doktori, professor

KIRISH (falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi annotatsiyasi)

Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati. Bugungi kunda dunyoda zamonaviy avtomatlashtirilgan mashinasozlik ishlab chiqarishida innovatsion texnologiyalarni joriy etish, mexanikani qayta ishlash samaradorligini oshirish muhim ahamiyat kasb etmoqda. Shu bilan birga kesuvchi asbob avtomatlashtirilgan ishlab chiqarish texnologik tizimlarida zamonaviy yuqori samarali va yuqori sifatli kesish asbobini yuqori mustahkamligidan foydalanish avtomatlashtirilgan ishlab chiqarish samaradorligini va uning ishlash ishonchligini oshirish muhim vazifalardan biri hisoblanadi. Bu borada dunyoning yetakchi davlatlari, jumladan, AQSh, Fransiya, Germaniya, Yaponiya, Xitoy, Rossiya va boshqa mamlakatlardagi tadqiqot markazlarida yuqori samarali va resurs talab texnologik DMAD tizimlari (dastgoh, moslama, asbob va detal) yaratish kesish element yangi konstruksiyalashgan rivojlantirishga alohida e'tibor qaratilmoqda.

Jahonda asbob-uskunalar ishlab chiqarish texnologiyasini takomillashish va qattiq qotishmali asboblarni qo'llash bo'yicha keng ko'lamda ilmiy-tadqiqotlar olib borilmoqda. Ushbu yo'nalishda, jumladan, metall va qotishmalarning sirt qattiqlashuvi texnologiyasini yanada rivojlantirish texnologiyalarni alohida qo'llashda kombinatsiyalangan usulni qo'llash asosida olish uchun bir nechta materialni modifikatsiya usullarini o'z ichiga olgan jarayonlarni ishlab chiqish muhim ahamiyat kasb etmoqda. Shu bilan birga kesuvchi asboblarning mustahkamligi va qattiqligini oshirishda kompleks ishlov berish asosida yuzani legirlash va yeyilishga bardosh qoplama hosil qilish texnologiyasini ishlab chiqish zarur hisoblanadi.

Respublikamizda mashinasozlikni rivojlantirish bo'yicha chuqur nazariy va eksperimental tadqiqotlar o'tkazish, yangi avlod mashinalari va mexanizmlarini yaratish chora-tadbirlari amalga oshirilmoqda. 2017-2022-yillarda O'zbekiston Respublikasini rivojlantirishning beshta ustuvor yo'nalishi bo'yicha harakatlar strategiyasida samarali, resurs tejaydigan ta'mirlash texnologiyalarining yangi avlodlarini ishlab chiqish bo'yicha bir qator ilmiy-amaliy ishlar amalga oshirish vazifalari belgilab berildi. Ushbu vazifalarni amalga oshirish, jumladan, iqtisodiyotning energiya intensivligi va resurs intensivligini kamaytirish, ishlab chiqarishga energiya tejaydigan texnologiyalarni keng joriy etish metall kesish elementlarini fizik-kimyoviy xususiyatlarini va konstruksiya jihatidan takomillashtirish muhim vazifalardan biri hisoblanadi.

O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2017-yil 7-fevraldagi "O'zbekiston Respublikasini yanada rivojlantirish bo'yicha harakatlar strategiyasi to'g'risida"gi PF-4947-sonli Farmonda¹, 2018-yil 27-apreldagi "Innovatsion g'oyalar, texnologiyalar va loyihalarni amaliy joriy etish tizimini yanada takomillashtirish chora-tadbirlari to'g'risida"gi PQ-3682-sonli qarorida, shuningdek, mazkur faoliyatga tegishli boshqa meyoriy- huquqiy hujjatlarda belgilangan vazifalarni amalga oshirishga ushbu dissertatsiya tadqiqoti muayyan darajada xizmat qiladi.

¹O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2017 yil 7 fevraldagi PF-4947-son «O'zbekiston Respublikasini yanada rivojlantirish bo'yicha Harakatlar strategiyasi to'g'risida» gi Farmoni

Tadqiqotning respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo‘nalishlariga mosligi. Mazkur tadqiqot Respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining II «Energetika, energiya va resurstejamkorlik» ustuvor yo‘nalishi doirasida bajarilgan.

Muammoni o‘rganilganlik darajasi. Dunyo olimlari tomonidan kesish asboblarining qattiqqligi va mustahkamligini oshirish bo‘yicha ko‘plab ilmiy-tadqiqotlar olib borilgan. Dunyoning yetakchi olimlari, jumladan Avakov A.A., Loladze T.N., Makarov A.D., Talantov P.I., Yasheritsin va boshqalar fan va amaliyotlarning rivojlanishiga katta hissa qo‘shgan olimlar tomonidan kesish paytida qattiq qotishmali asboblarni yeyilish jarayonida ishchi yuzaning qattiqqligini legirlash usulida oshirish texnologiyasini ishlab chiqishgan.

MDH olimlari qattiq qotishmali plastinkalarni yeyilishga bardoshlilikini oshirish maqsadida ananaviy va yangi texnologik jarayonlarni qo‘llab sezilarli darajada fizik va kimyoviy yuqori texnologik usular yordamida asboblarni mustahkamligini va turg‘unligini oshirish uchun Rossiya, Ukraina, Belarussiya olimlari Vereshak A.S., Grigoryev C.N., Kremnev L.S., Barvinok V.A., Andreyev A.A., Tabakov V.P., Aksenov I.I. va boshqalar termik ishlov asosida yuza donadorligini maydalash texnologiyasini ishlab chiqishgan.

O‘zbekiston olimlari J.E.Alikulov, T.U.Umarov, E.O.Umarov, B.T.Mardonov, Sh.A.Karimovlar keskichkning yeyilishbardoshligini oshirish uchun ularning konstruksiyalarini takomillashtirganlar. Bunda keskichlarning xizmat muddati 7-8% ga oshirishga erishilgan.

Qattiq qotishmali keskichlarning yuza qattiqqligini oshirish bo‘yicha olib borilgan ko‘plab ilmiy-tadqiqot ishlariga qaramay, hali yechilmagan muammolar mavjud, jumladan keskichlarning ishchi yuzasining qattiqqligini oshirishda kompleks ishlov berish texnologiyasi ishlab chiqilmagan, qattiq qotishmali keskich ishchi yuzasiga purkash texnologiyasi takomillashmagan. Yuqorida keltirilgan muammolarni bartaraf qilish uchun tadqiqotlar otkazish zarur.

Dissertatsiya mavzusining dissertatsiya bajarilgan oliy ta‘lim muassasasining ilmiy-tadqiqot ishlari rejalari bilan bog‘liqligi. Dissertatsiya tadqiqotlari Navoiy davlat konchilik institutining ilmiy-tadqiqot rejasi doirasida quyidagi mavzularda olib borildi: «Kon uskunalari detallarini termosiklik ishlov berish texnologiyasini ishlab chiqish va ilmiy asoslash» (2017-2020 yy.), «Sovuqlayin shtamplash shtamplari chidamliligini oshirish texnologiyasini ishlab chiqish va ilmiy asoslash» (2018-2020 yy).

Tadqiqotning maqsadi keskichlarda qo‘llaniladigan qattiq qotishmalarning yeyilishga bardoshlilikini oshirish texnologiyasini ishlab chiqishdan iborat.

Tadqiqotning vazifalari:

qattiq qotishmali kesuvchi plastinkani past energiyali yuqori tokli elektron nurlari orqali karbid hosil qiluvchi IV-V guruhi elementlari yordamida legirlash asosida takomillashgan yuza qatlamini texnologiyasni ishlab chiqish;

ko‘p qirrali qattiq qotishmali almashuvchan plastinkalarni $Nb_{70}Hf_{22}Ti_8$ qotishma orqali «ПИТМ-СII» o‘rnatmada elektr-nurli legirlash hamda keyinchalik

Platit $\pi 80$ o'rnatmasida yeyilishga bardoshli (TiAl)N qoplamaning qoplash asosida kombinatsiyalashgan ishlov berishni amalga oshirish;

almashuvchan ko'p qirrali plastinalarni asosiy orqa yuzasini yeyilishini kompleksli ishlov berishdan so'ng po'lat 40X va sementatsiyalashtirilgandan keyin 18XGT po'latni kesish jarayoni paytidagi bog'likligini tadqiq qilish;

burchak bo'yicha yeyilishini kesish paytida to'laqonli qattiq qotishmali plastinalar takkomilashgan kesuvchi qismi bilan ishlash vaqtini bog'liqligini tadqiq qilish;

kompleksli ishlov berilgan qattiq qotishmali asbob bilan kesish samaradorligi oshirish bo'yicha tavsiyalarni ilmiy asoslab berish.

Tadqiqotning ob'ekti sifatida VK8 va N13A qattiq qotishmalarning yuza usti qatlami olingan.

Tadqiqotning predmetini mikrolegirlash jarayonidagi omillarni kesish vaqtida qattiq qotishmali asboblarni yeyilishligini qonuniyatli ta'siri tashkil etadi.

Tadqiqotning usullari. Dissertatsiya ishi fizik materialshunoslik va materiallarni kesish nazariyasi fundamental nizomlari asosida bajarilgan. Tadqiqot obyektlari «РИТМ-СП» yuzani legirlash o'rnatmasidan va yeyilishga bardoshli qoplamaning qoplash uchun Platit $\pi 80$ o'rnatmasidan olingan. Turg'unlikka bardoshlilik sinovlari NT-250I tokarlik dastgohida 3 komponentli dinamometr bilan o'tkazildi. Asbobni yuza usti qatlami tarkibi metallografik (optik mikroskop CarlZeissAxio, mikro qattiqlikni o'lchovchi Polyvar-Met, mikroskop MicroCADlite, rengen nurlari yordamida tarkibini o'rganuvchi ДРОН-УМ, rengenospektrometr FisherXULMXYm va skaner qiluvchi elektron mikroskop VEGA 3 LMH) tahlil usuli yordamida tadqiqotlar o'tkazildi.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi quyidagilardan iborat:

yuzani legirlash usuli yordamida qattiq qotishmalarni yeyilishga bardoshlilikini oshirish texnologiyasi ishlab chiqildi;

qattiq qotishmali asboblarga ishlov berish usuli yeyilishga bardoshli qoplama kimyoviy tarkibining o'zgarish dinamikasi asosida ishlab chiqildi;

yuzani mikrolegirlash jarayonini boshqarish omillarining ta'siri asosida yuzani mikrolegirlashning matematik modeli ishlab chiqildi;

elektr-nurli NbHfTi qotishmalarni yeyilishga bardoshli qoplamaning vakuum-yoy bilan purkashda hosil bo'ladigan harorat o'zgarish dinamikasi asosida kesuvchi plastinalarni kombinatsiyalashgan ishlov berish texnologiyasi ishlab chiqildi.

Tadqiqotning amaliy natijalari quyidagilardan iborat:

elektr-nurli legirlash NbHfTi qotishma bilan keyinchalik yeyilishga bardoshli vakuum-yoyli qoplamaning qoplash asosida kesish plastinalarini kombinatsiyalashgan ishlov berish texnologiyasi;

texnologik tavsiyalar belgilangan rejimlari bo'yicha qattiq qotishmali plastinalarni yeyilishga bardoshli kompleks yuzasida shakllanishi vakuum-yoyli qoplama (TiAl)N va yuza usti legirlangan Nb₇₀Hf₂₂Ti₈ qotishmadan tashkil topgan;

po'lat 45 va sementatsiyadan keyingi 18XGT po'latni kesish uchun eng qulay kombinatsiyalashgan ishlov berishdagi texnologik shartlarni aniqlashni takomillashtirish.

Tadqiqot natijalarining ishonchliligi.

Tadqiqot natijalarining ishonchliligi ishning universal qattiq qotishmalar vositasida keng tarqalgan kesish va materialshunoslik nazariyalariga asoslanganligi bilan tasdiqlanadi. Olingan ma'lumotlarning to'g'riligi NavDKI, Rossiya Federatsiyasining "Stankin" MDTU universiteti va NKMK Navoiy mashinasozlik zavodi laboratoriyalarida o'tkazilgan sinovlar bilan tasdiqlangan.

Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati.

Tadqiqotning ilmiy ahamiyati qattiq qotishmali plastinalarni nazariy umumlashtirilishi va tahlillari bilan belgilanadi, bu esa metall kesuvchi plastinalarning fizik-kimyoviy xususiyatlarini yanada yaxshilash bilan yeyilish darajasini aniqlash imkonini beradi.

Tadqiqot natijalarining amaliy ahamiyati qattiq qotishmali asbobni fizik-texnik qayta ishlash va kesish jarayoni parametrlari o'rtasidagi munosabatlarni o'rnatishdir: asbobning kinetik yeyilishi, kesish kuchlari, kesish shartlari, ishlov berilgan yuzaning g'adir-budirligi bilan kompleks yuzani ishlov berishdan so'ng qirindi hosil bo'lishi shartlaridir.

Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi. Texnologiyani ishlab chiqish bo'yicha olib borilgan tadqiqotlar va qattiq qotishmali asboblarining yeyilishga bardoshlilikini oshirish usullari bo'yicha olingan ilmiy natijalar asosida:

qattiq qotishmali asbobga, takomillashtirilgan kimyoviy tarkibiga ko'ra, gradiyentli qatlamni 2 mkm dan 5 mkm chuqurlikkacha ishlov berish usuli «Navoiy kon-metallurgiya kombinati» DK IChB NMZ da amaliyotga joriy qilingan («Navoiy kon-metallurgiya kombinati» DKning 2022-yil 17-iyundagi 02-06-04/6358-son ma'lumotnomasi). Natijada, keskich ishchi yuzasining yeyilishga bardoshlilik 12-14% ga oshdi;

yuzani mikrolegirlash jarayonining boshqarish omillarini kesish yo'li qiymatiga takomillashgan asbobga ta'sirining matematik modeli «Navoiy kon-metallurgiya kombinati» DK IChB NMZ da amaliyotga joriy qilingan («Navoiy kon-metallurgiya kombinati» DKning 2022 yil 17 iyundagi 02-06-04/6358-son ma'lumotnomasi). Natijada, kesish parametrlarini optimallashtirish vaqti 16-18% ga kamaydi;

elektr-nurli NbHfTi qotishmalar asosida legirlashda yeyilishga bardoshli qoplarni vakuum-yoy bilan purkash ketma-ketligi natijasida kesuvchi plastinalarni kombinatsiyalashgan ishlov berish texnologiyasi «Navoiy kon-metallurgiya kombinati» DK IChB NMZ da amaliyotga joriy qilingan («Navoiy kon-metallurgiya kombinati» DKning 2022 yil 17 iyundagi 02-06-04/6358-son ma'lumotnomasi). Natijada, ketingi yuzaning yeyilish miqdori kriteriya bo'yicha ishlov berilmagan plastinalar bilan taqqoslanganda, 400-500% ni va yeyilishga bardoshli qoplarni plastinalar bilan taqqoslanganda esa, 40% ni tashkil etdi.

Tadqiqot natijalarining aprobatsiyasi. Mazkur tadqiqotning natijalari 3 ta respublika va 6 ta xalqaro ilmiy-amaliy anjumanlarda aprobatsiyadan o'tkazilgan.

Tadqiqot natijalarining e'lon qilinishi. Dissertatsiya mavzusi bo'yicha jami 15 ta ilmiy ishlar chop etilgan bo'lib, ulardan 6 ta maqola O'zbekiston Respublikasi Oliy attestatsiya komissiyasi tomonidan dissertatsiyalarning asosiy ilmiy natijalarini

nashr etish uchun tavsiya etilgan, shu jumladan 3 tasi respublika va 3 tasi chet el jurnallarida.

Dissertatsiyaning tuzilishi va hajmi. Dissertatsiya tarkibi kirish, to'rtta bob, xulosa, adabiyotlar ro'yxati va ilovalardan iborat. Dissertatsiya hajmi 127 betni tashkil etadi.

DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

Kirish qismida o'tkazilgan tadqiqotning dolzarbligi va talabi, tadqiqotning maqsad va vazifalari, ob'yekt va predmet xarakterlashtirilishi, respublika fan va texnologiyasini rivojlantirish uchun ustuvor yo'nalishlari uchun tadqiqot bog'liqligi ko'rsatilgan, tadqiqotning ilmiy yangilik va amaliy natijalari ko'rsatilgan, olingan natijalarning ilmiy va amaliy ahamiyati yoyib berilgan, tadqiqot natijalarini amaliyotga joriy etish, e'lon qilingan ishlar va dissertatsiyani tarkibi to'g'risida ma'lumot.

Dissertatsiyaning «**Qattiq qotishmalardan yasalgan asboblarning yemirilishga bardoshlilikini oshirish yo'llarining qiyosiy tahlili. Tadqiqotning maqsadi va vazifalarini belgilash** deb nomlangan birinchi bobida qattiq qotishmali asboblarning shikastlanish tabiati va qattiq qotishmalarni olish usullarini o'rganish tahlili keltirilgan. Qattiq qotishmalardan yasalgan asboblarning yemirilishga bardoshlilikini oshirish usullarini takomillashtirish va VK8 qattiq qotishmasini qayta ishlash jarayonida metallni kesish asboblarining mustahkamligini oshirish texnologiyasini ishlab chiqish bo'yicha olib borilgan tadqiqotlar natijalari ko'rsatilgan.

Optimal kombinatsiyalangan ishlov berishda metall kesuvchi asboblarning yemirilishga qarshiligini yaxshilash usullari taklif qilingan.

Dissertatsiyaning "**Qattiq qotishmalardan tayyorlangan kesish asboblarini tadbiq qilish usullari**" deb nomlangan ikkinchi bobida metallni qayta ishlash jarayonida VK8 bilan jihozlangan metall kesuvchi asbobning old yuzasida tez yemirilish hosil bo'lishini ta'minlaydigan omillar berilgan, bu yemirilish va asbobning kesuvchi qismining vayron bo'lishiga ta'sir qiladi. Qattiq qotishmadan 5 mikron chuqurlikdagi namunaning sirtga yaqin qatlamida yaxshilangan fizik-kimyoviy xususiyatlarga ega bo'lgan mikro qotishma olish imkonini beradigan mikro qotishma texnikasi taqdim etilgan.

Qattiq qotishmalarni elektron-nurli ishlov berishda, karbit hosil bo'lishini rag'batlantirgan, dislokatsiya va don chegaralari bo'ylab grafit shaklida erkin uglerod to'planishi natijasida mikro qattqlik ko'rsatkichlarining pasayishi hisobga olingan. Nb va Hf elementlari nurlanish paytida volfram karbidini past energiyali yuqori oqimli elektron nur bilan birlashtirish uchun.

VK8 qotishmasidan va N13A (VK6OMga o'xshash) qotishmasidan yasalgan qattiq qotishma plastinkalarni kompleks qayta ishlash MicroCADlite qurilmasidagi asbob yuzalarining yemirilish xususiyatini baholashni o'z ichiga olgan holda ishlab chiqilgan metodikaga muvofiq amalga oshirildi. Magnetron yordamida (xarakteristikasi 1-jadvalda berilgan) almashtiriladigan ko'p qirrali VK8 va N13A plastinka namunalari qalinligi 0,2-0,3 mkm bo'lgan Nb₇₀Hf₂₂Ti₈ qotishmasi bilan

qoplangan, keyin RITM-SP o'rnatiladi (5-rasm), past energiyali yuqori tokli elektron nurlari (LHEP) taxminan 5 mks davomiylikdagi 1-10 impulsli plastinkalar bilan ishlangan.

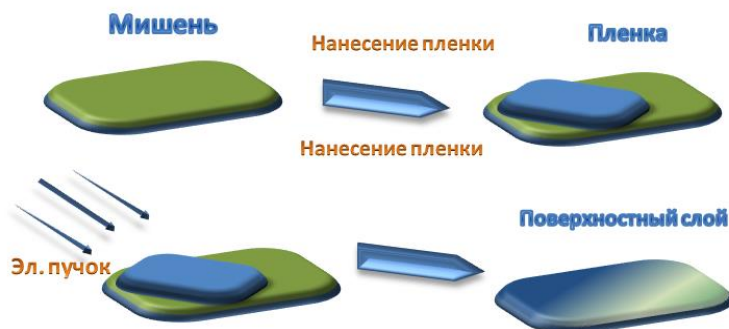
Magnetron purkash xususiyatlari

1-jadval

Chiqarish quvvati	400Vt
Ish bosimi	3×10^{-1} PA
Katod diametri	75 mm
Katodning qalinligi	6 mm
Katod yuzasida magnit maydon induktsiyasi	500 Gs
Katodni sovutish	suv, 2 l/min
Qoplamaning yotish tezligi	1 – 10 mkm/soat
Yagona qamrov	10%
Ishchi gaz	Ar
Ish tartibi	Kuchlanish stabilizatsiyasi

Qattiq qotishma ustidan zaryadlangan zarrachalarning nurlari bilan ishlov berish natijasida qotishma sirt qatlamini yuqori tezlikda (10^6 daraja/s gacha) eritish haroratidan yuqori haroratgacha qizdirish, keyin esa sovutish. Juda yuqori tezlik ($10^4 \dots 10^9$ daraja/s), bu muvozanatsiz holat diagrammalarida qattiq qotishma komponentlarning interfazali o'zaro ta'siri bilan birga yuqori tezlikdagi issiqlik aylanishiga yordam beradi.

Taklif qilinayotgan usul dastgoh materialining sirtini ilgari ishlov berilgan maydonga qo'llaniladigan qotishma komponentlar bilan birga eritishdan iborat. Namuna yuzasiga tatbiq qilingan kimyoviy tarkibi bo'lgan qoplama bitta butunni tashkil etuvchi plastinkaga birlashtirilgan bo'lib chiqadi.



1-rasm VK8 qotishmasi uchun pulsga materialni eritish chuqurligi quyidagi formula bo'yicha hisoblanadi:

$$h_{\text{ГР}} = (10\lambda\tau_{\text{И}} / (c\gamma))^{0.5} = 0.27 \text{ мм},$$

bu yerda λ -issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsienti=40 Vt/mK, s -issiqlik sig'im =205 Vts/kgK, γ -zichlik=15,7 g/sm³, τ_{I} -zarba davomiyligi-5 mikron. Usuli bo'yicha impulsli sirt isitish DT amplitudasining bahosi 4000 °Cga yaqinlashib

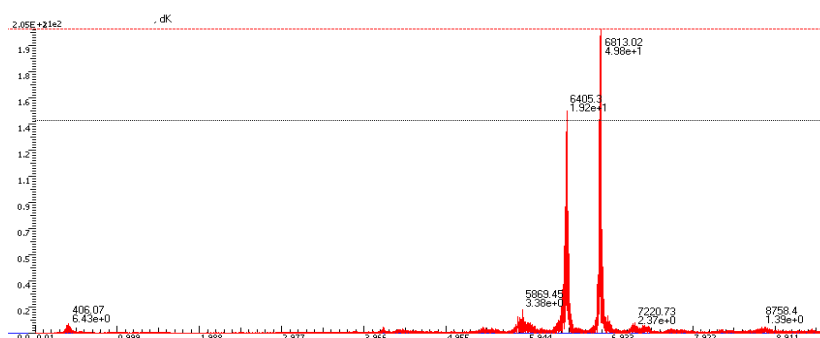
kelmoqda. Bu qiymat karbid fazasining erish nuqtasidan ancha oshadi (WC uchun-3143°C). Eritmaning sirtidagi mavjudligi taxminan 100 ns.

Quyidagi formuladan foydalanib, 18 kV elektron energiyasida elektronlarning qattiq qotishma plastinkaga kirib borishini hisobga olgan holda, qizdirilgan materialning qalinligini taxminan hisoblash mumkin:

$$\delta=10^{-4}T^{1.5}/\gamma=10^{-4}18^{1.5}/(15,7 \cdot 10^3)=4,9 \cdot 10^{-7} \text{ m,}$$

Bu yerda T-elektron energiyasi keV, p-qattiq qotishmaning o'rtacha zichligi (g/sm^3). Shu bilan birga, qotishma bir xil emas va kobalt miqdori yetarlicha yuqori va zichligi $8,9 \text{ g}/\text{sm}^3$ bo'lgan karbid zarrachalarining kichik o'lchamlari bilan kobalt biriktiruvchi tarmoq bo'ylab elektronlarning kirib borish chuqurligi 1 mikronga etishi mumkin.

NT-250M tokarlik dastgohida elektron nurlarini qayta ishlash rejimlarini optimallashtirish bo'yicha tajribalar o'tkazildi, keyinchalik 40X po'lat quvurni (tashqi diametri 192 mm, ichki diametri 50 mm) ma'lum bir kesish rejimiga (1 mm, besleme 0,05 mm, mil tezligi 1250 rpm aylantirildi, davomiyligi 1 minutgacha), bu ishlov beriladigan qismning asosini tanqidiy haroratga keltirmasdan, kesuvchining sirt qatlami ishini tezda baholash imkonini beradi. Plastinaning halokatiga olib keladigan kuchli o'z-o'zidan tebranishlar sodir bo'lish vaqtini aniqlash uchun asbob ushlagichiga tebranish tezlanish signallarini boshqaruvchi tezlatgich o'rnatilgan. Kuchli o'z-o'zidan tebranishlar sodir bo'ladigan moment nafaqat haroratga, balki texnologik tizimning dinamik xususiyatlariga ham bog'liq. Qattiq ishlov beriladigan qism ishlatilgan bu tajribada o'z-o'zidan tebranishlar asosan keskichning dinamik xususiyatlari bilan aniqlandi. Bu shuningdek, chastotalar diapazonidan kelib chiqadi, bu yerda asosiy spektral maksimumlar kuchli o'z-o'zidan tebranishlarda mavjud (asosiy maksimumlar 4 kHz oktava chegaralaridan yuqori) (**2-rasm**).



2-rasm. VK8 qo'shimchasi uchun murakkab ishlov beriladigan eng yuqori tebranishli maydon spektri.

Keskich o'tishi tugagandan so'ng, 1 mm aniqlikdagi MAHR konturografi yordamida asbobning yemirilishi (o'lchovli yemirilish) natijasida ishlov beriladigan qism o'lchamining burilishini aniqlash uchun ishlov beriladigan qismning oxirgi yuzasi profili o'lchanadi.

Olingan egri chiziq akselerometr ma'lumotlari bilan qoplangan. Shunday qilib, L ning qiymati aniqlandi, bunda asbobning halokatli yemirilishi boshlandi. Keskich bosib o'tgan yo'l formula bo'yicha hisoblab chiqilgan:

$$L(x) = \pi(x^2 - r_0^2)/s,$$

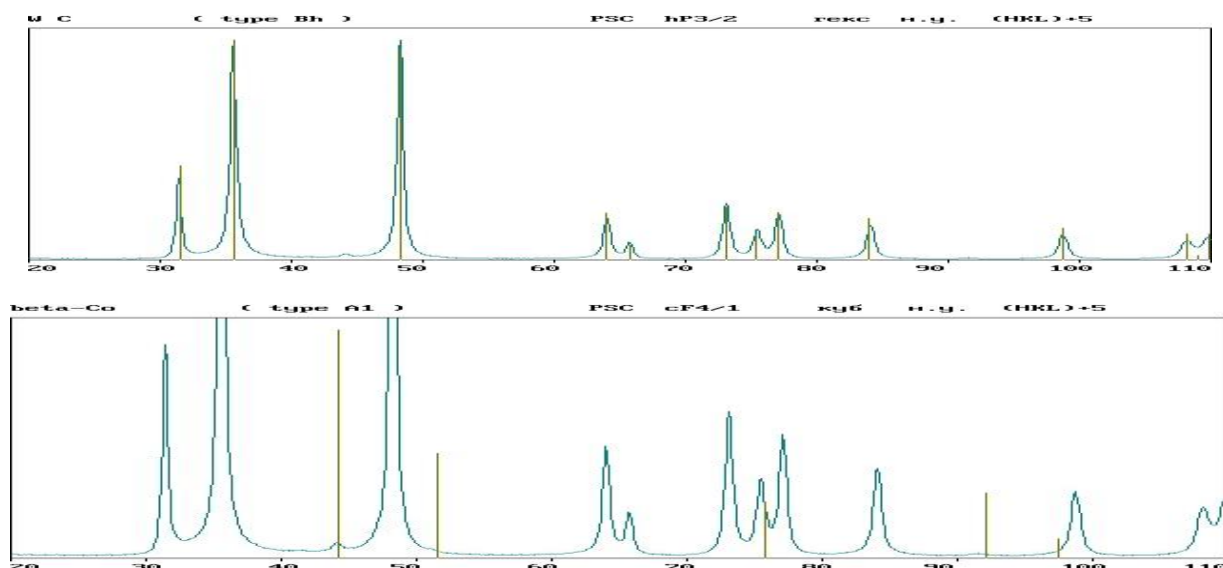
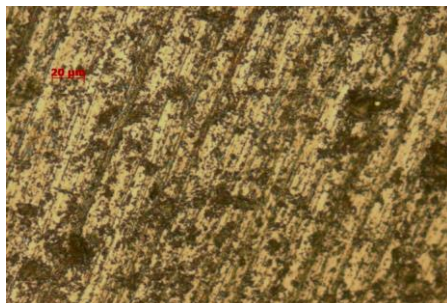
bu erda s-uzatish, r0-ishlov beriladigan qismdagi teshik radiusi.

Dissertatsiyaning "**VK8 va N13A qotishmasidan (VK6OM analogi) yasalgan plastinkalarda modifikatsiyalangan sirt qatlaminin shakllanishi qonuniyatlari**" deb nomlangan uchinchi bobida VK8 va N13A qattiq qotishmalarining sirt qavatini mikroelashtirish tajribasi natijalari keltirilgan. VK8 va N13A ko'p qirrali karbid plastinalarning tuzilishiga ta'sir qiladigan past energiyali yuqori oqimli elektron nur. Nurlangan materialning mikrostruktura ta'sir qilish xususiyatlari 5 mks davomiyligi bilan 1-10 gacha bo'lgan impulsli qizdirish paytida aniqlanadi, bu esa karbid fazasining tuzilishidagi o'zgarishlar tufayli yumshashga olib keladi.

PEYEN (past energiyali yuqori tokli elektron nur) bilan ishlov berishdan oldin va keyin VK8 qotishmasidan yasalgan qattiq qotishma plastinka sirt qatlaminin tuzilishini rentgen strukturaviy tahlil ma'lumotlari keltirilgan.

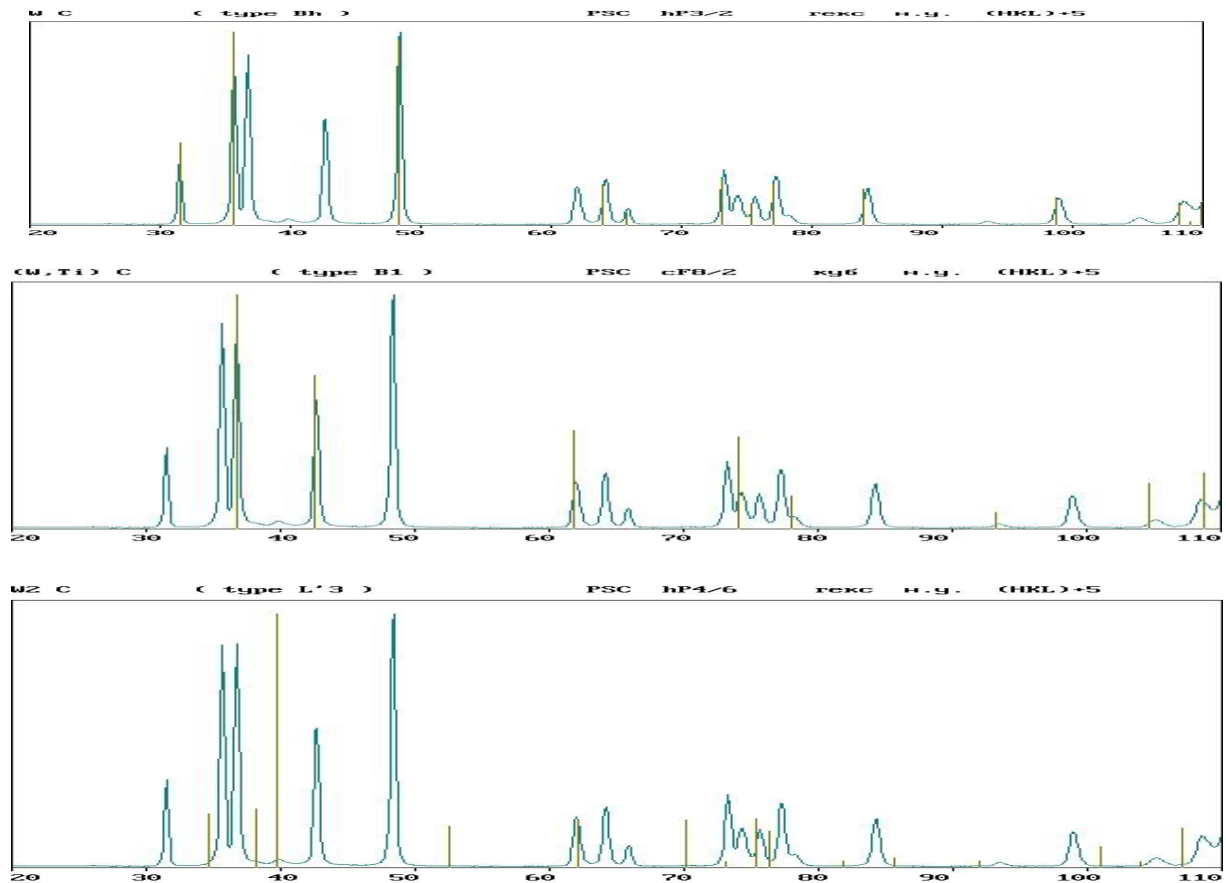
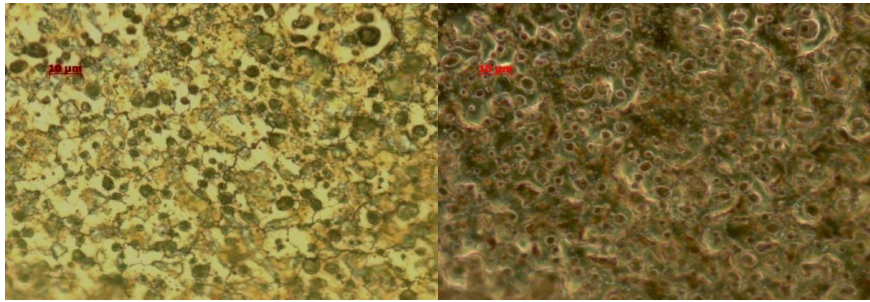
Rejim 1.

NbHfTi qoplamasining qalinligi 0,2 mkm magnetron bilan, impulsning energiya zichligi 4,3 J/sm² (impuls soni 5), o'rnatilgan magnetron quvvati 350 Vt va bosim bilan ish kamerasida 4,5 10⁻³ torr dan oshmaydi, bu qotishma qatlaminin shartli qalinligini 0,64 mkm, ishlov berish ketma-ketligi 2 marta.



Faza	Strukturaviy turi	Hajm ulushi, %	Kata ulush, %	Davriy, angstrom
WC (type Bh)	hP3/2	97.4 ± 0.0	98.5 ± 0.0	A= 2.906 C= 2.838
beta-Co (type A1)	cF4/1	2.6 ± 0.0	1.5 ± 0.0	A= 3.556

3-rasm VK8 plastinkasining ishlov berishdan oldin yuzasi; VK8 qotishmasining diffraktogrammasi boshlang'ich holatida chiziqli diagrammalar bilan (kengaytirilgan miqyosda Co uchun)



Faza	Strukturaviy turi	Hajm ulushi, %	Kata ulush, %	Davriy, angstrom
WC (typeBh)	hP3/2	61.7± 0.0	62.8 ± 0.0	A=2.900 C= 2.833
γ -WC (type B1)	cF8/2	34.6± 0.0	33.1 ± 0.0	A= 4.230
W ₂ C (type L'3)	hP4/6	3.7± 0.0	4.2 ± 0.0	—

4-rasm, PEYEN (past energiyali yuqori tokli elektron nur) ishlov berishdan so'ng VK8 plastinkasining sirtining yorug'lik va qorong'i maydon tasvirlari ($4,3 \text{ J} / \text{sm}^2$ energiyali 5 ta impuls); VK8 qotishmasining diffraktogrammasi 5 ta PEYEN (past energiyali yuqori tokli elektron nur) impulsidan so'ng, energiyasi $4,3 \text{ J}/\text{sm}^2$ bo'lgan chiziqli diagrammalar bilan

PEYEN (past energiyali yuqori tokli elektron nur) ($4,3 \text{ J}/\text{sm}^2$, 5 puls) bilan nurlantirilgan VK8 qotishmasini qayta ishlagandan so'ng, erigan yuzada yoriqlar tarmog'i paydo bo'ladi. Tarmoqning o'lchamlari taxminan 10 mkm ni tashkil qiladi, bu VK8 qattiq qotishmasidagi (1-8 mkm) WC donining o'lchamlari bilan taqqoslanadi.

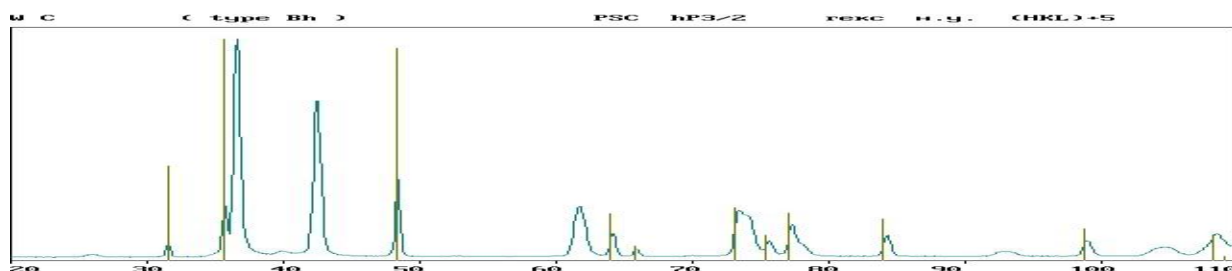
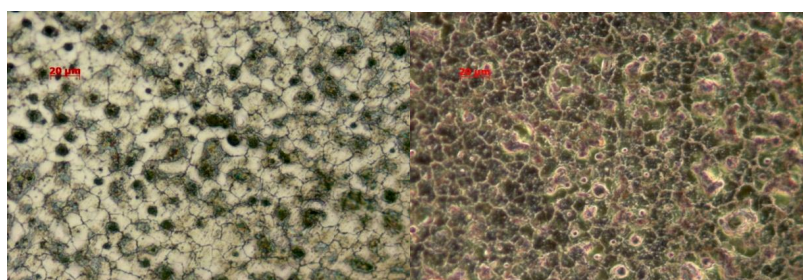
Olti burchakli yopiq panjarali W2C karbidlariga mos keladigan diffraksiya naqshlarida cho'qqilar paydo bo'ladi va ehtimol, yuz markazli kubikli panjara bilan γ -WC (faza (W, Ti) C deb belgilanadi, lekin shunga qaramay) qotishmada Ti yo'q) eritmadan juda yuqori sovutish tezligi tufayli hosil bo'lgan (**4 -rasm**).

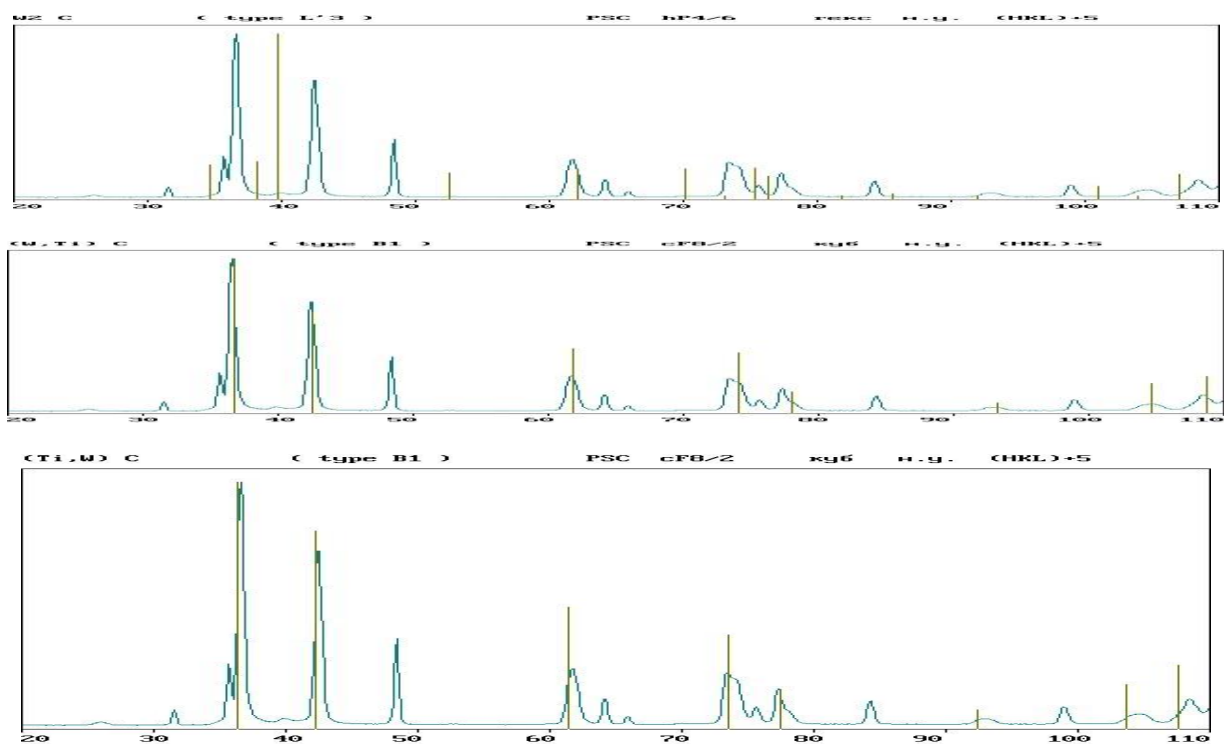
Rejim 2.

Qotishma qatlamining shartli qalinligini tashkil etuvchi $4,7 \text{ J}/\text{sm}^2$ impulsdagi energiya zichligi 0,3 mkm bo'lgan magnitronli NbHfTi qoplamasining qalinligi (impulslar soni 10). 0,79 mkm magnitron kamerasida o'rnatilgan quvvat va bosimni o'zgartirmasdan 3 marta ishlov berish seriyasi soni bilan hosil boladi.

Bu rejimda, yanada kuchli nurlanish paytida (energiyasi $4,7 \text{ J} / \text{sm}^2$ bo'lgan 10 ta puls) plastinka yuzasida 10 - 20 mkm hujayra kattaligiga ega aniq yoriqlar tarmog'i paydo bo'ladi. D-WC in'ikosiga mos keladigan cho'qqilar sezilarli darajada kengroq bo'ladi. Va aytishimiz mumkinki, γ -WC fazasining panjara davri 4.248 dan 4.274 gacha o'zgarib turadi. Bir zaif akslantirish $20\sim 26^\circ$ da paydo bo'ladi, bu, ehtimol, karbidlarning parchalanishi paytida hosil bo'lgan grafitga to'g'ri keladi (**5 -rasm**).

Ehtimol, qotishma suyuq fazadan qayta kristallanish paytida hujayralarning chegaralari uglerod bilan boyitilgan bo'lishi mumkin va bu yerda ichki kuchlanishlar ta'sirida yorilish sodir bo'ladi.



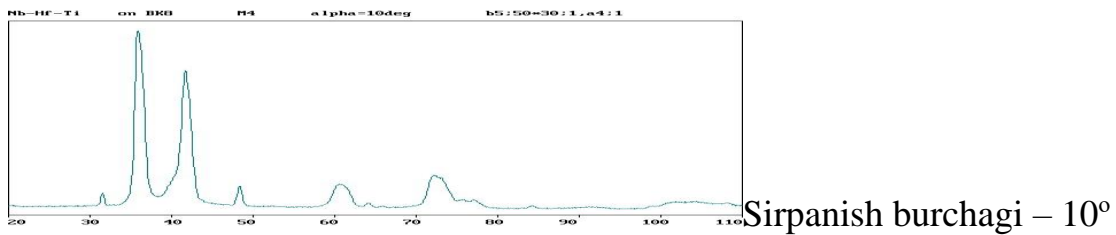
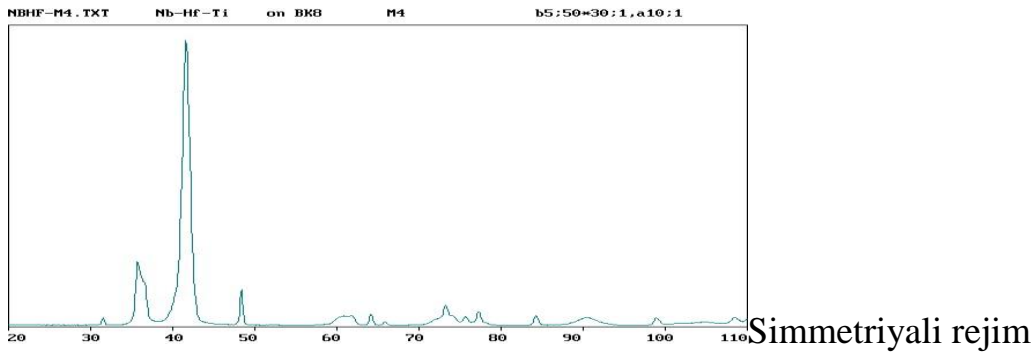


Faza	Strukturaviy turi	Hajm ulushi, %	Kata ulush, %	Davriy, angstrom
W C (type Bh)	hP3/2	5.6 ±0.0	7.6 ±0.0	A=2.910, C= 2.842
γ-WC (type B1)	cF8/2	93.5 ±0.1	91.0 ±0.1	A=4.248– 4.274
W ₂ C (type L'3)	hP4/6	0.9 ±0.0	1.4 ±0.0	–

5-rasm. PEYEN (past energiyali yuqori tokli elektron nur) bilan ishlov berilgandan so'ng VK8 plastinkasining sirtining yorug'lik va qorong'i maydonli tasvirlari (energiyasi 4,7 J/sm² bo'lgan 10 ta impuls); VK8 qotishmasining diffraktogrammasi 10 ta HCЭII impulslaridan so'ng, energiyasi 4,7 J/sm² bo'lgan chiziqli diagrammalar bilan.

Qotishmadan so'ng, VK8 plastinka yuzasining mikrostrukturasi katta darajada o'zgaradi. U mayda-chuyda tarqaladi va ba'zi joylarda evtektikaga o'xshaydi. 1-rejimga muvofiq ishlov berishda sirt yoriqlar paydo bo'lmaydi, sirt notekisligi RA =0,08-0,10 mkm gacha ko'tariladi. 2-rejim bo'yicha ishlov berilganda, sirt hali ham yorilib ketadi, sirt notekisligi Ra=0,11-0,13 mkm gacha ko'tariladi. Ammo yorilishning tabiati qotishmasiz ishlov berilganda yorilishdan farq qiladi. Ham keng, ham tor yoriqlar bor. Uyali yorilish kuzatilmaydi. Bu yerda, shubhasiz, ortiqcha doping bor. Bundan tashqari, ko'rinib turibdiki, qo'llaniladigan quvvat bu variant uchun allaqachon haddan tashqari ko'p.

Sirt o'lchanadigan mikro qattqlik 1-rejimga muvofiq qayta ishlash uchun 1250-1350 HV25 birlikgacha va 2-rejimga muvofiq ishlov berishda 1400-1650 gacha oshadi.

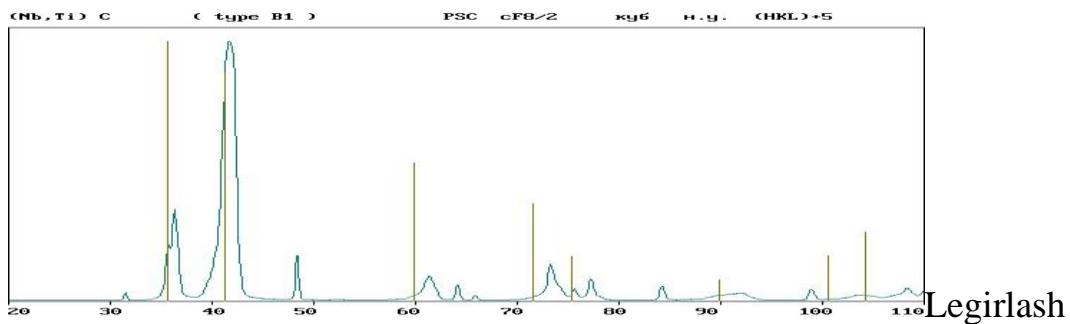


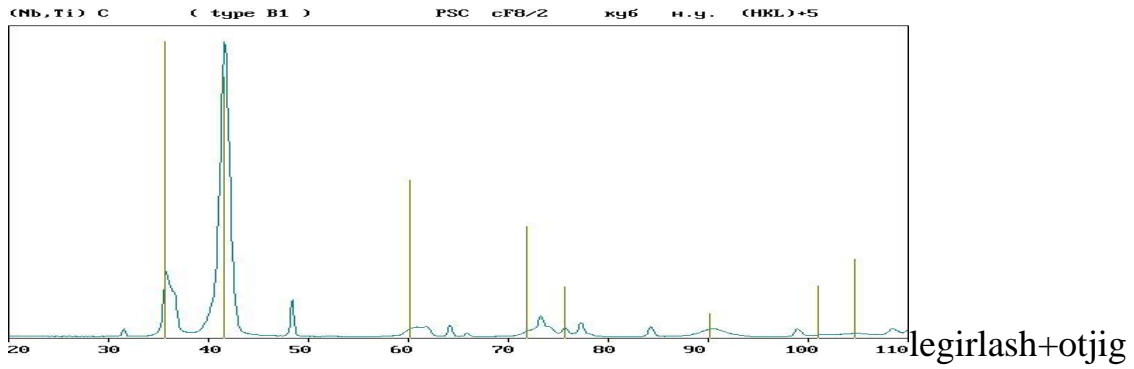
6 -rasm VK8, 2 -rejimga ko'ra NbHfTi bilan doping (legerlash), nosimmetrik va assimetrik o'lchovlarda aks ettirish intensivligining o'zgarishi.

Nosimmetrik va assimetrik tadqiqotlarda olingan spektrlarni taqqoslash ikkita asosiy kubik fazaning aks etishi intensivligining o'zgarishini ko'rsatdi, bu fazalarda kristallografik to'qimaning fazalaridagi namuna yuzasiga parallel ravishda mavjudligi bilan bog'liq. Eritilgan yuzaning kristallanishi paytida yo'nalishli issiqlikni olib tashlash. Shuning uchun, sirtida fazalar (Nb, Hf, Ti) C ancha ko'p bo'lsa-da, niobiy-gafniy-titan karbidlari va g-WC ning miqdoriy nisbati haqida gapirish juda qiyin. Shubhasiz, Nb, Hf va Ti uglerodni faol bog'laydi. Grafitdan aks etishi kuzatilmaydi.

W2C fazasi faqat tadqiqotning assimetrik geometriyasida yaqqol ko'rinib turadi, ya'ni u aniq namunaning yuzasida joylashgan (6 -rasm).

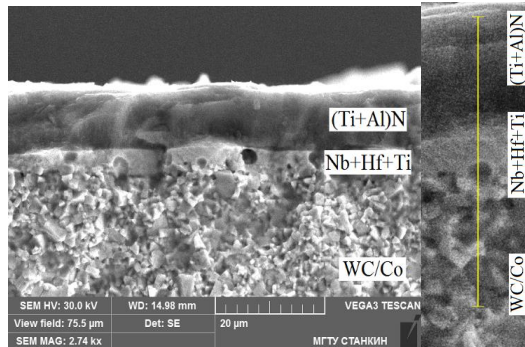
Qotishmaning 490 °C da toblanishi rentgen nurlarining diffraksiyasi sxemasida hech qanday sezilarli strukturaviy o'zgarishlarga olib kelmaydi (7-rasm), shu bilan birga chiziqlarning yarim kengligi biroz pasayadi, bu ichki stresslarni olib tashlash natijasida yuzaga kelishi mumkin. Tozalashdan keyin sirt mikroqattiqligining sezilarli darajada oshishi kuzatiladi. Qayta ishlash rejimidan qat'iy nazar, HV25 mikro qattiqligi 1950-2150 donagacha oshadi.



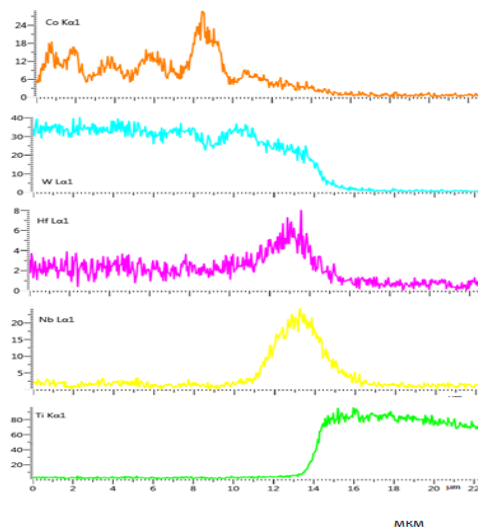


7-Rasm VK8 qotishmasini 2 -rejimga muvofiq legirlash bilan yuvishdan keyin diffraksiya sxemasidagi o'zgarishlar

Qotishma qatlam va qattiq qotishma o'rtasidagi o'zaro ta'sirni volfram va kobaltning oraliq qatlamda tarqalishi hisobiga aniqlash mumkin. Singan va qiyshiq bo'lakda har xil ishlov berish qatlamlari aniq ajralib turadi (8,9-rasm). Sirt yaqinidagi kimyoviy elementlarning tarqalishi to'liq dispersiyali analizator yordamida elektron mikroskopda tekshirildi. Qidiruv qatlamda Nb, Hf va W konsentratsiyalari qotishma qoplamasi bilan aralashishini ko'rsatadi. Kuzatilgan naqsh WC/Co asosi va (TiAl) N qoplamasi o'rtasida ko'p komponentli qotishma Hf NbTi WCo C hosil bo'lishini ko'rsatadi.



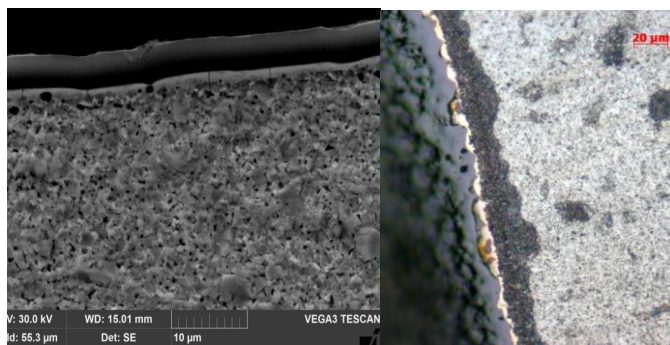
a



b

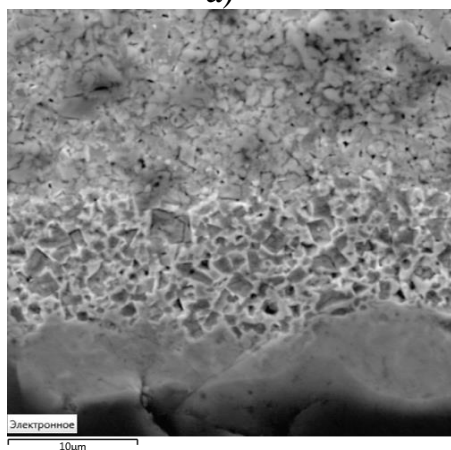
8 -rasm VK8 qotishmasi. a) Ikkilamchi elektronlarda plastinka sinishi tasviri,

b) Co, W, Hf, Nb va Ti ning sirtga yaqin qatlamda taqsimlanishi

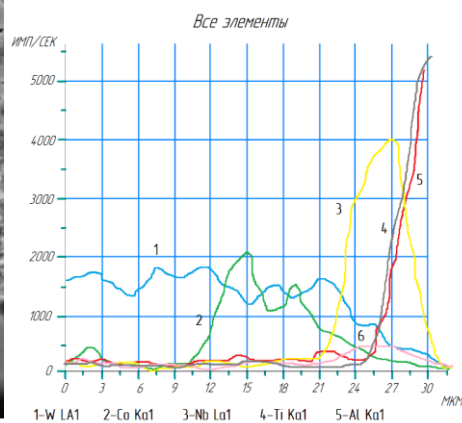


a)

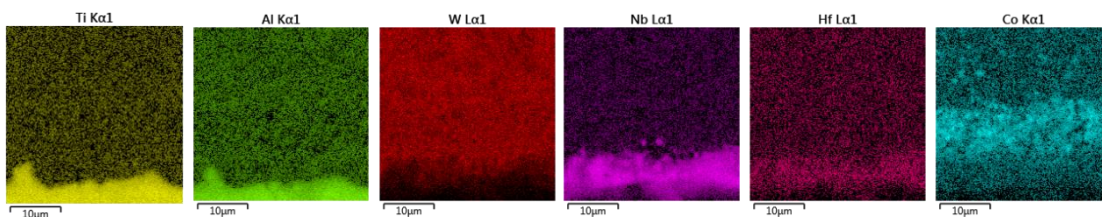
b)



v)



g)



d)

e)

j)

z)

i)

k)

9-rasm a) murakkab ishlov berishdan keyin N13A plastinka sinishining SEM tasviri, b) optik tasvir, qiyshiq bo'lak, oksalik kislota eritmasida elektrolitik qotishma, o'ralgan Co-bo'ytilgan zona, v) bo'lim kesimining SEM tasviri. b), d) kimyoviy elementlarning oraliq qatlamda taqsimlanishi (aylantirilgan), d-k) bir qator kimyoviy elementlarning tarqalish xaritasi

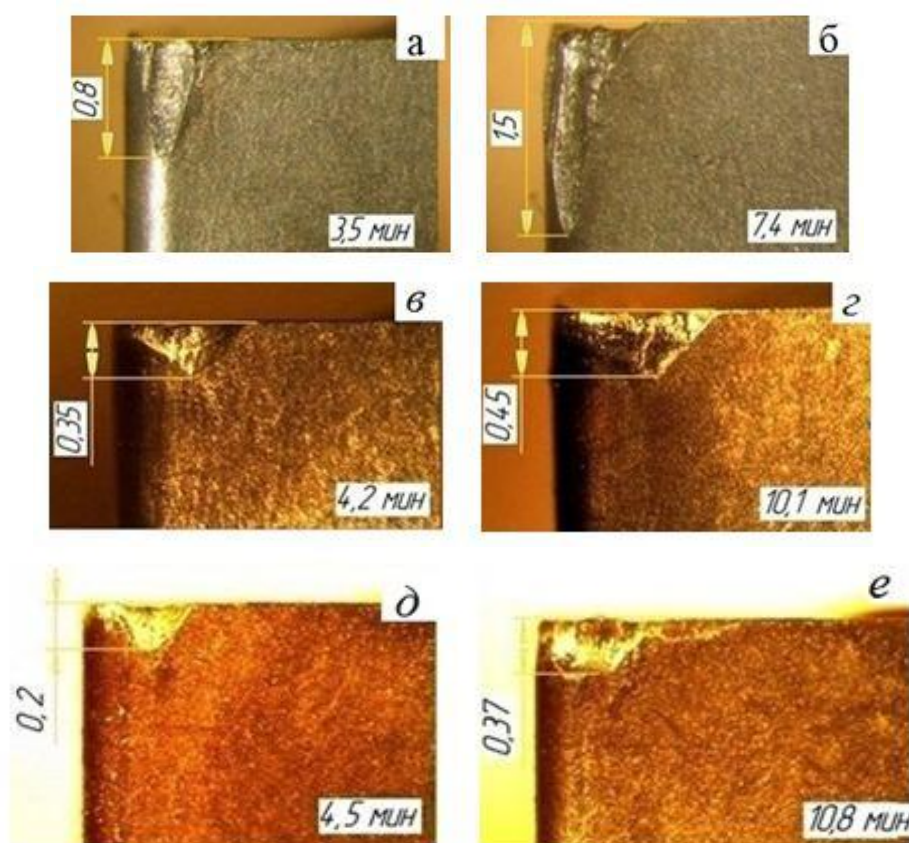
Dissertatsiyaning "**VK8 qotishmasidan, N13A plastinalaridan (VK60Mga o'xshash) yasalgan qattiq qotishma plastinkalarni kesish qobiliyatiga kompleks ishlov berishning ta'siri**" deb nomlangan to'rtinchi bobida o'tkazilgan tajribalar asosida matematik model (1) ishlab chiqilgan. va 2-jadvalda quyida ko'rsatilgan optimal qiymatlar olingan.

Olingan VK8 qotishmasining modeli quyidagi shaklga ega:

$$L=2,4 \cdot 10^4 U^{-2,39} T^{0,17} n^{0,48} P^{0,40} N^{0,30} \exp(0,13U-0,02T-0,03n-0,11P+0,02N)$$

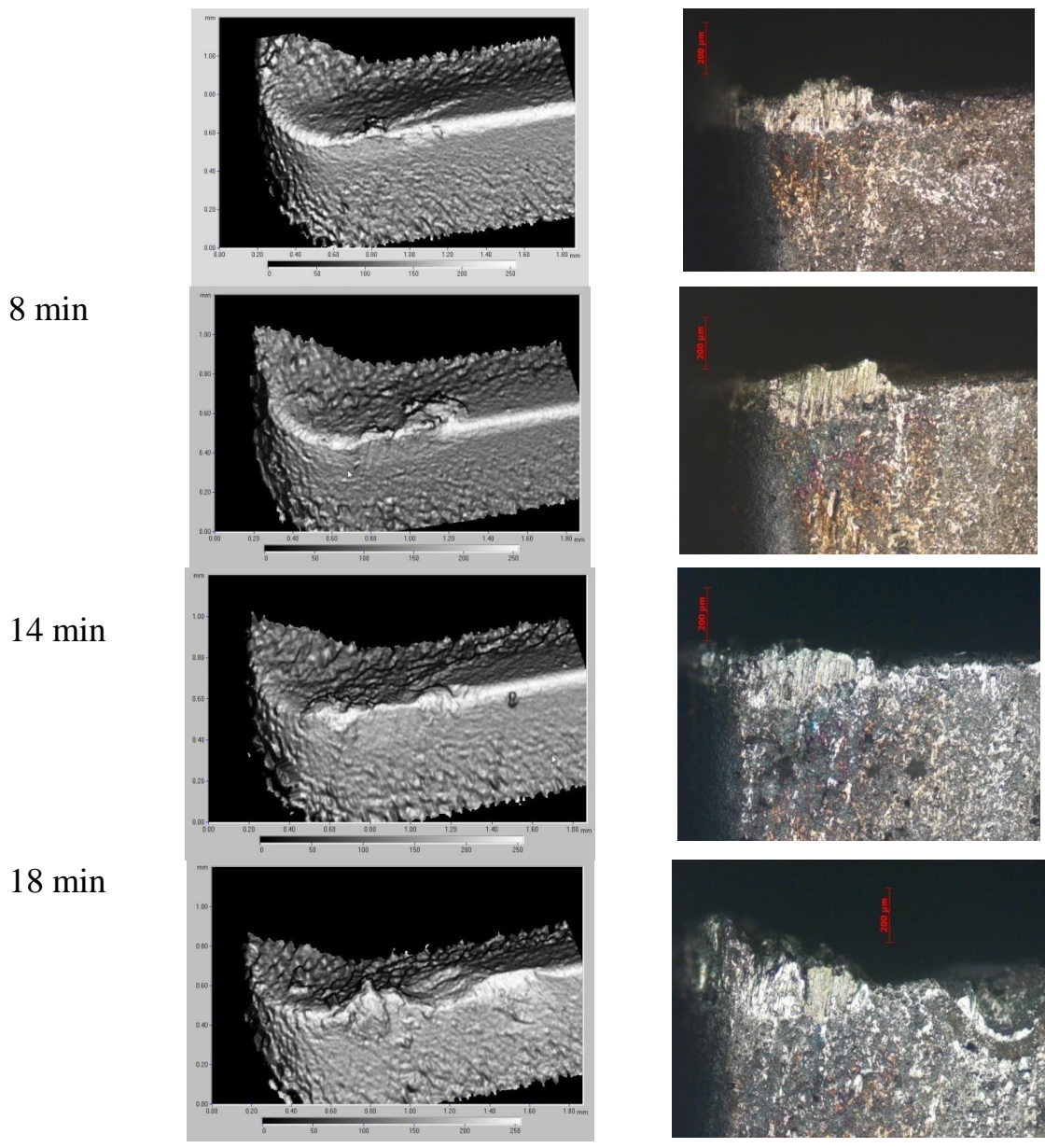
Tezlashtiruvchi kuchlanish U, V	NbHfTi qoplamasini yotqizishning optimal vaqti, min	Qayta ishlash pulslarining optimal soni	Optimal ishchi gaz bosimi, Pa	Qayta ishlash davrlarining optimal soni, dona
18000	2	5	4×10^{-2}	4

Katastrofik yemirilish bosqichining boshlanishini sekinlashtiradigan 18X1T materialdan yasalgan qismlarni kompleks qayta ishlash jarayonida yemirilishga bardoshli qoplamali asboblarda uchida yemirilish rivojlanishiga to'sqinlik qiluvchi omillar aniqlandi. Ko'p qirrali asbobning yonbag'rini yemirilishini sekinlashtiradigan omillardan biri, qoplamaning ostida hosil bo'lgan, yuqori qattqlikka ega bo'lgan, yuqori issiqlikka chidamli va mikroplastik deformatsiyaga yaxshi qarshilik ko'rsatadigan sirtga yaqin qatlamning mavjudligi. Murakkab ishlov beriladigan asbobda, hatto qoplamani yutib yuborganidan keyin ham, o'zgartirilgan qatlam o'zining himoya funksiyalarini bajarishda davom etadi, bu asboblarning yemirilishi naqshida aks etadi (**10-rasm, d,f**).



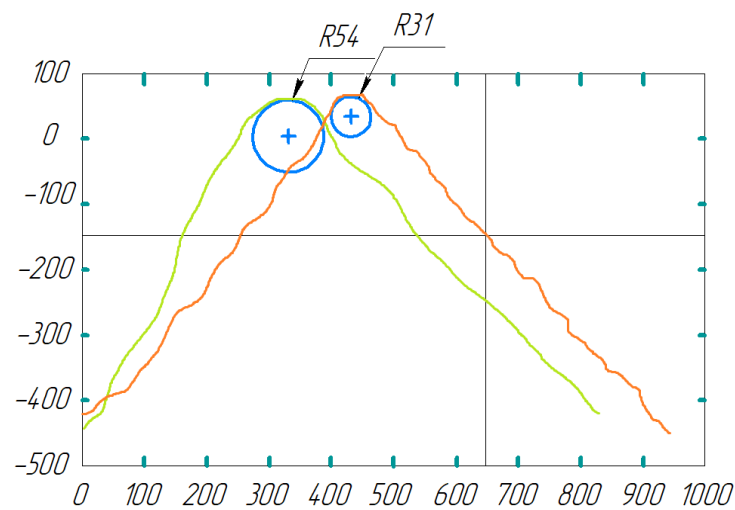
10-rasm. Issiqlikka bardoshli qotishmani burish paytida N13A kesuvchi plastinalarning eskirishi; a-b) qoplamaning plastinka; c-d) qoplangan plastinka; e-f) plastinka murakkab ishlovdan so'ng

Olib tashlanadigan ko'p qirrali qo'shimchanning qarshilik sinovlari asosida quyidagicha xulosa qilishimiz mumkin: murakkab ishlov berishdan keyin qo'shilish qarshiligining oshishi, shu jumladan PEYEN (past energiyali yuqori tokli elektron nur) yordamida qotishma va keyinchalik kesish kuchlari mezoniga ko'ra (TiAl) N, ishlov berilmagan qo'shimchalarga nisbatan 100% gacha va faqat yemirilishga bardoshli qoplamali plastinkalarga nisbatan 75% gacha bo'lgan. Yon yuzadagi yemirilish miqdori mezoniga ko'ra qarshilikning oshishi ishlov berilmagan plastinkalarga nisbatan taxminan 400-500% ni va faqat yemirilishga bardoshli qoplamali plastinalarga nisbatan 40% gacha oshdi. Kesish paytida materialning tuzilishi va fazaviy tarkibidagi o'zgarishlar optik 3D skaner yordamida qayd etilgan (11 -rasm).

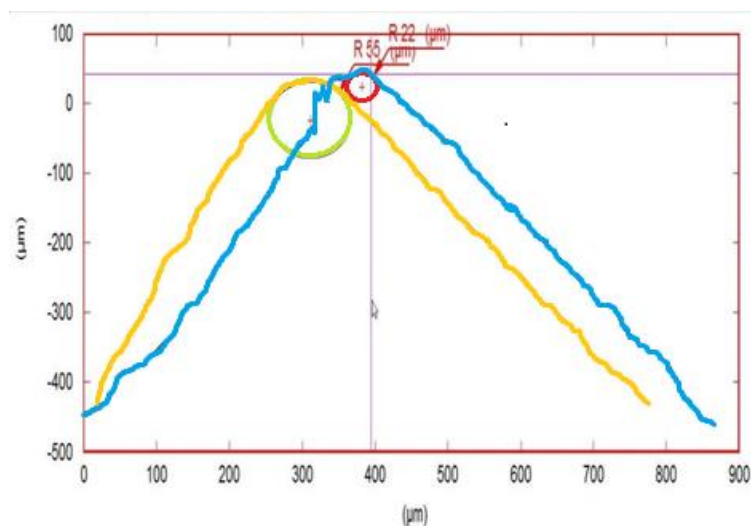


11 -rasm. 18XFT po'latni kesishda kesilgan qismning 3D skanerlari va (TiAl)N qoplamali H13A plastinkalarining orqa yuzasi fotosurati; $v=110$ m/min, $t=0,25$ mm, $s=0,15$ mm

Aniqlanishicha, ishchi maydon tashqarisida chiplar paydo bo'lishi ishlov berilgan yuzaning notekisligi katta ta'sir ko'rsatmaydi. Berilgan kesish shartlari uchun noekislik, ishlov berish usuli emas, balki plastinkaning individual xususiyatlari bilan belgilanadi. Ra qiymatlarining plastinkadan plastinkaga tarqalishi 1,6 dan 3,5 mkm gacha. N13A plastinalarning murakkab ishlov berishdan keyin yemirilishning yana bir xususiyati - bu yemirilgan teshigi hosil bo'lgan joyning o'zgarishi - uni asbobning radius qismiga yaqinlashtirish. Ta'kidlash joizki, ishlov beriladigan va ishlab chiqaruvchi yuzalarning o'zaro ta'sirida hosil bo'ladigan kesuvchi qirralarning yaxlitlash radiusi, mikro qotishma holatida sezilarli darajada kichik bo'ladi (12-rasm). Ehtimol, bu boshqa narsalar qatorida kuchning sezilarli pasayishi bilan bog'liq.



a)



b)

12-rasm. 4 minut davomida bajarilgandan so'ng, chiqib ketish radiusi ρ ni o'zgartirish. (3D skaner GFM); a)-(TiAl) N qoplamali plastinka, b)-murakkab ishlov beriladigan plastinka. Bundan tashqari, grafiklar asl qo'shimchanning kesuvchi qismining radiusini ko'rsatadi.

XULOSA

1. Dissertatsiya ishida NbHfTi qotishmasi bilan elektron nurli qotishma va yemirilishga bardoshli qoplamani qo'llash orqali uning sirtini murakkab o'zgartirish asosida karbid asbobining kesish xususiyatlarini yaxshilashdan iborat bo'lgan favqulodda ilmiy-texnik muammo hal qilindi. TiAl) N va kompozitsion murakkab ishlov berishda qattiq qotishmali asbobining sirtini mikro qotish jarayonining nazorat qiluvchi omillari va uning kesish xususiyatlari o'rtasidagi bog'liqlikni aniqlashda asboblarni ishlab chiqarish uchun muhim bo'lgan yangi texnologik jarayonni yaratishga imkon berdi.

2. Nb₇₀Hf₂₂Ti₈ qotishmasining magnitronli changlanirish va keyingi qoplama (TiAl) N bilan VK8 va N13A qattiq qotishmalarining sirtini impulsli elektron-nurli eritib yuborish, qattiq qotishmali asosidan gradient o'tishiga ega. An'anaviy asbobga qaraganda eyilishga bardoshli qoplama bunday asbobning xizmat qilish muddatini ikki barobarga oshadi.

3. Kesish kuchlari mezoniga ko'ra sementasiyadan keyin po'lat 18XFT kesish paytida kompleks ishlov berilgan H13A plastinalar bilan 100% gacha barqarorlikni ishlov berilmagan plastinalarga ko'ra tashkil etdi va 75% barqarorlikni faqat yemirilishga bardoshli plastinalar bilan tashkil etdi. Orqa yuzasi yeyilish miqdori me'zoniga ko'ra 400-500% barqarorligi oshganini ishlov berilmagan plastinalar nisbatida ko'rsatdi va faqat yeyilishga bardoshli qoplama plastinalar bilan taqqoslaganda 40% gacha barqarorligi oshdi.

4. O'rnatilgan munosabatlar asosida plastinani kesuvchi qirrasini kattaligi bo'yicha ishlov berilgan detalni o'lchovlari o'zgarishi va qattiq qotishmali namunalarni yuzalari mikrolegirlash jarayonini asosiy faktorlari bilan bog'liqligini tasvirlab beruvchi matematik model yaratildi, bu esa texnologik tavsiyalarni shakllantirishga imkon yaratadi.

5. Olingan natijalar va tavsiyalar istiqbolli qattiq qotishmali kesuvchi asboblarni yaratishda va ular uchun kesish rejimlarini belgilashda ishlatilishi mumkin.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.03/12.2019. Т.03.04 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ТАШКЕНТСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ
ТЕХНИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ**

НАВОИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНЫЙ ИНСТИТУТ

ИСАЕВ ДОНИЁР ТОШБОТИРОВИЧ

**ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ТВЁРДЫХ СПЛАВОВ ПУТЕМ
КОМПЛЕКСНОЙ ОБРАБОТКИ, ВКЛЮЧАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТНОЕ
ЛЕГИРОВАНИЕ И НАНЕСЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОГО ПОКРЫТИЯ**

**05.02.01 Материаловедение в машиностроении. Литейное производство. Термическая
обработка и обработка металлов давлением. Металлургия черных, цветных и редких
металлов. Технология редких, благородных и радиоактивных элементов**

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ ДОКТОРА ФИЛОСОФИИ (PhD)
ПО ТЕХНИЧЕСКИМ НАУКАМ**

Тема диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за номером В2021.3.PhD/T2381.

Диссертация выполнена в Навоийском государственном горном институте.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице (www.tdtu.uz) и информационно-образовательном портале «Ziynet» (www.ziynet.uz)

Научный руководитель: **Федоров Сергей Вольдемарович**
кандидат технических наук, доцент

Официальные оппоненты: **Абдуллаев Фатхулла Сагдуллаевич**
доктор технических наук, профессор

Худояров Сулейман Рашидович
кандидат технических наук, доцент

Ведущая организация: **Андижанский машиностроительный институт**

Защита диссертации состоится «18» марта 2022 года в 11⁰⁰ часов на заседании Научного совета PhD.03/30.12.2019.T.03.04 при Ташкентском государственном техническом университете. (Адрес: 100095, г. Ташкент, ул. Университетская, 2. Тел./ факс (99871) 227-10-32, e-mail: tadqiqotchi@tdtu.uz).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского государственного технического университета (зарегистрирована за №246). (Адрес: 100095, г. Ташкент, ул. Университетская, 2. Тел./ факс (99871) 227-10-32).

Автореферат диссертации разослан «05» марта 2022 года

(реестр протокола рассылки №136 от «05» марта 2022 года).

К.А. Каримов

Председатель специализированного совета
по присуждению ученых степеней, д.т.н., профессор

Ш.Б. Ташбулатов

Ученый секретарь специализированного совета
по присуждению ученых степеней, д.ф.т.н. PhD

Н.Д. Тураходжаев

Председатель научного семинара при научном совете
по присуждению ученых степеней, д.т.н., профессор

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и необходимость темы диссертации. В современном автоматизированном машиностроительном производстве важное значение приобретает внедрение инновационных технологий и повышение эффективности механической обработки. В то же время использование современного высокопроизводительного и качественного режущего инструмента с высокой прочностью в автоматизированных технологических системах производства является одной из важнейших задач повышения эффективности автоматизированного производства и надежности его эксплуатации.

В связи с этим особое внимание уделяется созданию и освоению новых конструкций высокопроизводительных и ресурсоемких технологических систем СПИД (станков, приспособлений, инструментов и деталей) в научно-исследовательских центрах ведущих стран мира, в том числе США, Франции, Германии, Японии, Китая, России и других. В мире проводятся обширные научные исследования в области совершенствования технологии производства оборудования и применения твердосплавных инструментов. В то же время при повышении прочности и жесткости режущих инструментов необходимо разработать технологию поверхностного легирования и формирования износостойкого покрытия на основе комплексной обработки.

В нашей республике осуществляются мероприятия по проведению глубоких теоретических и экспериментальных исследований по развитию машиностроения, созданию машин и механизмов нового поколения. В стратегии действий по пяти приоритетным направлениям развития Республики Узбекистан на 2017-2022 годы определены задачи по реализации ряда научно-практических работ по разработке новых поколений эффективных, ресурсосберегающих технологий ремонта. Реализация этих задач, в том числе снижение энергоемкости и ресурсоемкости экономики, широкое внедрение в производство энергосберегающих технологий, совершенствование физико-химических свойств и конструктивных особенностей металлорежущих элементов, является одной из важнейших задач.

Реализация задач, определенных Указом Президента Республики Узбекистан от 7 февраля 2017 года № УП-4947 «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан», Постановлением УП-3682 «О мерах по дальнейшему совершенствованию системы практического внедрения инновационных идей, технологий и проектов»¹ от 27 апреля 2018 года, а также другими нормативными правовыми документами, относящимися к данной деятельности, в определенной степени служит данному диссертационному исследованию.

¹Указ Президента Республики Узбекистан от 7 февраля 2017 года № УП-4947 «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан».

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и техники республики. Данное исследование выполнено в рамках II приоритетного направления развития науки и технологий Республики «Энергетика, энергия и ресурсосбережение».

Степень изученности проблемы. Ученые всего мира провели научные исследования с целью повышения твердости и прочности режущих инструментов. Ведущие ученые мира, в том числе Аваков А.А., Лоладзе Т.Н., Макаров А.Д., Таланов П.И. и др. ученые, внесшие большой вклад в развитие науки и практики, разработали технологию повышения способом легирования твердости рабочей поверхности в процессе твердосплавных инструментов при резке.

В России ученые из стран СНГ развивают традиционные и новые технологические процессы с целью повышения износостойкости твердосплавных пластин, значительно повышают прочность и устойчивость приборов с помощью физико-химических высокотехнологичных средств. Украинские, белорусские ученые Верешак А.С., Григорьев К.Н., Кремнев Л.С., Барвинок В.А., Андреев А.А., Табаков В.Р., Аксенов И.И. и другие разработали технологию измельчения поверхностных гранул на основе термической обработки.

Узбекские ученые Аликулов Ж.Е., Умаров Т.У., Умаров Э.О., Мардонов Б.Т., Каримов Ш.А. усовершенствовали их конструкцию, чтобы повысить износостойкость резцов. При этом на 7-8% достигается повышение срока службы резцов.

Несмотря на проведенные комплексные научно-исследовательские работы по повышению поверхностной твердости резцов из твердого сплава, до сих пор остается ряд нерешенных проблем, в том числе не разработана технология комплексной обработки для повышения твердости рабочей поверхности резцов, не усовершенствована технология распыления на рабочей поверхности резцов из твердого сплава. Чтобы избежать вышеуказанных проблем, необходимо провести исследования.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнено в рамках плана научно-исследовательских работ Навоийского государственного горного института на темы: «Повышение износостойкости твёрдых сплавов путем комплексной обработки, включающей поверхностное легирование и нанесение износостойкого покрытия» (2017-2020 гг.) и «Исследование и разработка математических моделей и методов неразрушающего контроля состояния машин и оборудования на основе моделирования» (2018-2020 гг.).

Цель исследования состоит в создании повышения износостойкости твердых сплавов, используемых в резцах.

Задачи исследования:

разработать технологию получения модифицированного поверхностного слоя легированием карбидообразующими элементами 4-5 групп с помощью

низкоэнергетического сильноточного электронного пучка на режущих пластинах из твердого сплава;

реализовать на установке «РИТМ-СП» комплексную обработку сменных многогранных пластин из сплава ВК8 и Н13А, используя электронно-лучевое легирование на основе сплава $Nb_{70}Hf_{22}Ti_8$ с последующим нанесением износостойчивого покрытия (TiAl)N с помощью установки Platit $\pi 80$;

исследовать зависимость износа основной задней поверхности сменных многогранных пластин от их траектории передвижения при резании сталей после их цементации 40Х и 18ХГТ;

исследовать зависимость степени износа угла сменных многогранных пластин с модифицированной режущей кромкой от времени работы при точении;

обосновать научным способом рекомендации для роста производительности инструментов из твердого сплава с комплексной обработкой при резании.

Объектом исследования является приповерхностный слой твердого сплава ВК8 и Н13А.

Предметом исследования являются закономерности влияния факторов процесса микролегирования твердосплавных инструментов на их изнашивание при резании.

Методы исследований: диссертационная работа выполнена на основе применения основных положений теории резания материалов и физического материаловедения. Объекты исследования получали на установке поверхностного легирования «Ритм-СП» и установке для нанесения износостойких покрытий Platit $\pi 80$. Испытания на стойкость проводились на токарном станке НТ-250 И, с трехкомпонентным динамометром. Исследования структуры приповерхностного слоя инструмента проводились методами металлографического (оптический микроскоп CarlZeissAxio, микротвердомер Polyvar-Met, микроскоп MicroCADlite), рентгеноструктурного (Дрон-УМ), рентгеноспектрального (рентгеновский спектрометр FisherXULMXYm) и электронномикроскопического (сканирующий электронный микроскоп VEGA 3 LMN компании TESCAN) анализа.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

разработана технология повышения износостойкости твердых сплавов поверхностным легированием;

разработан способ обработки твердосплавных инструментов на основе изменения динамики химической структуры износостойчивого покрытия;

разработана математическая модель микролегирования поверхности на основе влияния управляющих факторов в процессе микролегирования поверхностей;

разработана технология комбинированной обработки пластин на основе изменения динамики температуры, которая образовывается при вакуумно-дуговым нанесением износостойчивого покрытия на электронно-лучевой сплав $NbHfTi$.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

разработана технология комплексной обработки режущих пластин, которая основывается на электронно-лучевом легировании со сплавом NbHfTi и последующем нанесении износостойчивого вакуумно-дугового покрытия;

разработаны технологические рекомендации по выбранным режимам формирования на поверхности твердосплавных пластин из износостойкого покрытия с комплексной обработкой, включающей в себя легированный сплав Nb₇₀Hf₂₂Ti₈ приповерхностного слоя и вакуумно-дуговое покрытие (TiAl)N;

разработаны технологические условия, при которых применение твердосплавных модифицированных пластин с комбинированной обработкой наиболее благоприятно для резания сталей 40X и 18ХГТ после их цементации.

Достоверность результатов исследования. Достоверность результатов исследования подтверждается тем, что работа базируется на теориях резания и материаловедения, распространенных на универсальный инструмент из твердых сплавов. Достоверность полученных данных подтверждена стойкостными испытаниями, проведенными в лабораториях НГГИ, МГТУ «Станкин» (РФ) и Навоийском машиностроительном заводе НГМК.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Научная значимость исследования определяется теоретическими обобщениями и анализом твердосплавных пластин, которые позволяют определить степень износа с дальнейшим улучшением физико-химических свойств металлорежущих пластин.

Практическая значимость результатов исследования заключается в установлении взаимосвязей между параметрами процесса физико-технической обработки твердосплавного инструмента и процесса резания: кинетикой изнашивания режущего инструмента после комплексной поверхностной обработки при точении, силами резания, условиями стружкообразования, шероховатостью обработанной поверхности.

Внедрение результатов исследования. На основе проведенных научных исследований разработаны технологии и методы повышения износостойкости твердосплавного режущего инструмента:

способ обработки инструмента из твердого сплава, обеспечивающий возможность получения градиентного по химическому составу модифицированного слоя глубиной от 2 до 5 мкм, внедрен на ПО НМЗ ГП «Навоийский горно-металлургический комбинат» (справка ГП «Навоийский горно-металлургический комбинат» № 02-06-04/6358 от 17 июня 2022 г.). В результате износостойкость рабочей поверхности резца увеличилась на 12-14%;

математическая модель влияния управляющих факторов процесса микролегирования поверхности на величину пути резания модифицированным инструментом внедрена на ПО НМЗ ГП «Навоийский горно-металлургический комбинат» (справка ГП «Навоийский горно-металлургический комбинат» № 02-06-04/6358 от 17 июня 2022 г.). В результате математической модели время на оптимизацию параметров резания сократилось на 16-18%;

технологии комбинированной обработки режущих пластин на основе электронно-лучевого легирования сплавом NbHfTi с последующим нанесением

износостойкого вакуумно-дугового покрытия внедрены на ПО НМЗ ГП «Навоийский горно-металлургический комбинат» (справка ГП «Навоийский горно-металлургический комбинат» № 02-06-04/6358 от 17 июня 2022 г.). В результате увеличение стойкости по критерию величины износа по задней поверхности составило порядка 400-500% по сравнению с пластинами без обработки и до 40% по сравнению с пластинами только с износостойким покрытием.

Апробация результатов исследования. Апробация результатов данного исследования проведена на 5 республиканских и 4 международных научно-практических конференциях.

Опубликованность результатов исследования. По теме диссертации опубликовано 15 научных работ, из них 6 статей в научных изданиях, рекомендованных для издания основных научных результатов диссертаций Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан, в том числе 3 из которых в республиканских и 3 в зарубежных журналах.

Структура и объем диссертации. Структура диссертации состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы. Объем диссертации составляет 127 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении показано соответствие науки и технологий Республики Узбекистан приоритетным направлениям развития, основанное на актуальности и необходимости проведенных исследований по теме диссертации, сформированы цели и задачи исследования, определены объект и предмет исследования, изложены научная новизна и практические результаты исследования, обоснована достоверность полученных результатов, раскрыта их теоретическая и практическая значимость, приведены сведения по внедрению результатов исследования в практику, результаты апробации работы, опубликованные работы и структура диссертации.

В первой главе диссертации, озаглавленной «**Сравнительный анализ способов повышения износостойкости инструментов из твердых сплавов. Постановка цели и задач исследования**», проведен анализ исследований характера повреждений твердосплавных инструментов и методов получения твердых сплавов. Представлены результаты проведенных исследований по совершенствованию методов повышения износостойкости инструментов из твердых сплавов и разработке технологии улучшения прочности металлорежущего инструмента при комбинированной обработке твердого сплава ВК8.

Предложены оптимальные методы улучшения износостойкости металлорежущего инструмента при комбинированной обработке.

Во второй главе диссертации «**Методика исследований режущих твердосплавных инструментов**» приведены факторы, образующие быстрое лункообразование на передней поверхности металлорежущего инструмента, оснащенного ВК8 при обработке металлов, которое влияет на достаточный

износ и приводит к разрушению режущей кромки инструмента. Представлена методика микролегирования, которая позволяет получить в приповерхностном слое образца из твердого сплава микросплав с улучшенными физико-химическими свойствами на глубину до 5 мкм.

При проведении электронно-лучевой обработки твердых сплавов учитывалось снижение показания микротвердости из-за накопления свободного углерода в виде графита вдоль дислокаций и границ зерен карбидов W, которое способствовало использованию карбидообразующих элементов Nb и Hf для соединения, образующегося при облучении низкоэнергетическим сильноточным электронным пучком карбида вольфрама.

По разработанной методике проведена комплексная обработка твердосплавных пластин из сплава ВК8 и пластин Н13А (аналог ВК60М), включающая оценку характера износа поверхностей инструмента на приборе MicroCADlite. При помощи магнетрона (характеристика приведена в таблице 1) покрывались образцы сменных многогранных пластин ВК8 и Н13А сплавом $Nb_{70}Hf_{22}Ti_8$ толщиной 0.2-0.3 мкм, а затем в установке РИТМ-СП (Рис. 5) низкоэнергетическими сильноточными электронными пучками (НСЭП) были обработаны пластины 1-10 импульсами длительностью около 5 мкс.

Характеристики магнетронного распылителя

Таблица № 1.

Мощность разряда	400Вт
Рабочее давление	3×10^{-1} Па
Диаметр катода	75 мм
Толщина катода	6 мм
Индукция магнитного поля на поверхности катода	500 Гс
Охлаждение катода	Вода, 2л/мин
Скорость осаждения покрытия	1 – 10 мкм/час
Однородность покрытия	10%
Рабочий газ	Ar
Режим работы	Стабилизация напряжения

Результатом проведенной обработки пучками заряженных частиц потоками плазмы на твердый сплав является нагрев поверхностного слоя сплава с высокой скоростью (до 10^6 град/с) до температур, превышающих температуру плавления с последующим охлаждением с экстремально высокой скоростью ($10^4 \dots 10^9$ град/с), что способствует высокоскоростному термоциклированию сопровождающегося межфазным взаимодействием компонентов твердого сплава по неравновесным диаграммам состояния.

Предложенный метод заключается в расплавлении поверхности инструментального материала вместе с легирующими компонентами, предварительно нанесенными на обрабатываемый участок. Покрытие с

заданным химическим составом, нанесенное на поверхность образца оказывается вплавленным в пластину, которая составляет единое целое.

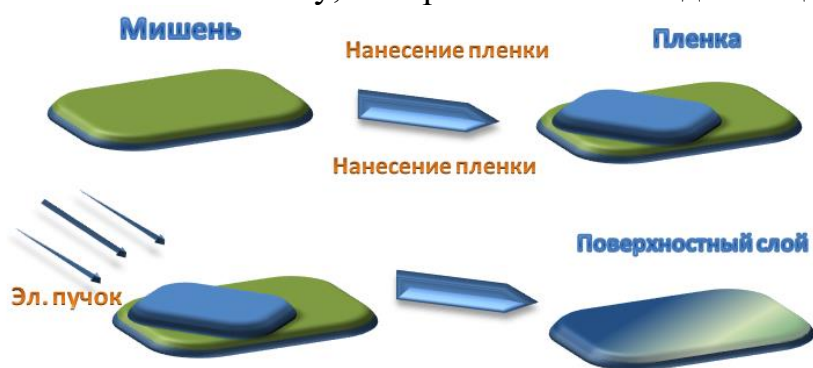


Рис. 1 Глубина прогрева материала за импульс для сплава ВК8 рассчитана по следующей формуле:

$$h_{\text{ГР}} = (10\lambda\tau_{\text{И}}/(c\gamma))^{0.5} = 0.27 \text{ мм},$$

где λ – коэффициент теплопроводности=40 Вт/мК, c – теплоемкость=205 Вт с/кг К, γ – плотность=15,7 г/см³, $\tau_{\text{И}}$ – длительность импульса-5 мкс. Оценка амплитуды импульсного нагрева поверхности ΔT по методике дает величину, приближающуюся к 4000°С. Эта величина значительно превышает температуру плавления карбидной фазы (для WC-3143°С). Время существования расплава на поверхности около 100 нс.

По следующей формуле можно приближенно оценить толщину прогретого материала с учетом глубины проникновения электронов в пластину из твердого сплава при энергии электронов 18 кЭВ:

$$\delta = 10^{-4} T^{1.5} / \gamma = 10^{-4} 18^{1.5} / (15,7 \cdot 10^3) = 4,9 \cdot 10^{-7} \text{ м},$$

где T – энергия электронов кЭВ, γ – усредненная плотность твердого сплава (г/см³). Однако сплав является гетерогенным и при достаточно высоком содержании кобальта и небольшом размере карбидных частиц с плотностью - 8,9 г/см³ глубина проникновения электронов по сетке из кобальтовой связи может достигать и 1 мкм.

Проведены эксперименты на станке НТ-250М для оптимизации режимов электронно-лучевой обработки с последующим точением трубы из стали 40Х (внешний диаметр 192мм, внутренний диаметр 50мм) с определенным режимом резания (1мм, подача 0.05 мм, частота вращения шпинделя 1250 об/мин, с длительностью до 1 минуты), что дает быстро оценить работу поверхностного слоя резца, не доводя до нагрева основы заготовки до критической температуры. Для определения момента возникновения интенсивных автоколебаний, приводящих к катастрофическому разрушению пластины на резцедержателе был установлен акселератор, контролирующий сигналы виброускорения. Момент возникновения интенсивных автоколебаний зависит не только от температуры, но и от динамических характеристик технологической системы. В данном эксперименте, где применялась жесткая заготовка, автоколебания определялись в основном динамическими характеристиками резца. Это следует и из частотного диапазона, где

присутствуют основные спектральные максимумы при интенсивных автоколебаниях (основные максимумы выше границ октавы 4 кГц) (Рис. 2).

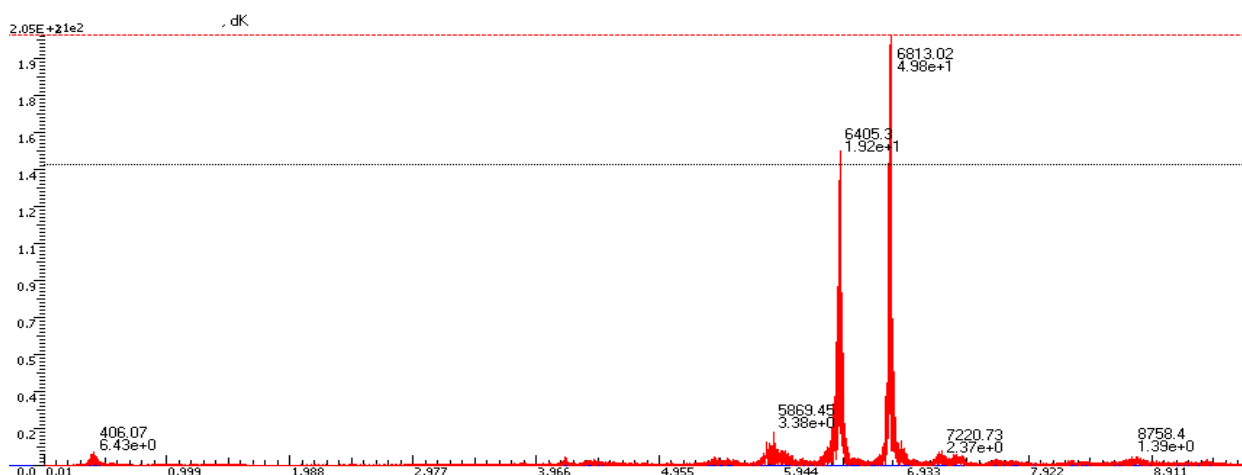


Рис. 2 Спектр участка с наибольшими вибрациями для пластины ВК8 с комплексной обработкой

По завершении прохода резца измерялся профиль торцевой поверхности заготовки с целью определения отклонения размера заготовки, вызванного износом резца (размерный износ), при помощи контурографа фирмы МАНР с точностью 1 мкм.

На полученную кривую накладывались данные с акселерометра. Таким образом определялось значение L , при котором начинался катастрофический износ инструмента. Путь, пройденный резцом, вычислялся по формуле:

$$L(x) = \pi(x^2 - r_0^2)/s,$$

где s – подача, r_0 – радиус отверстия в заготовке.

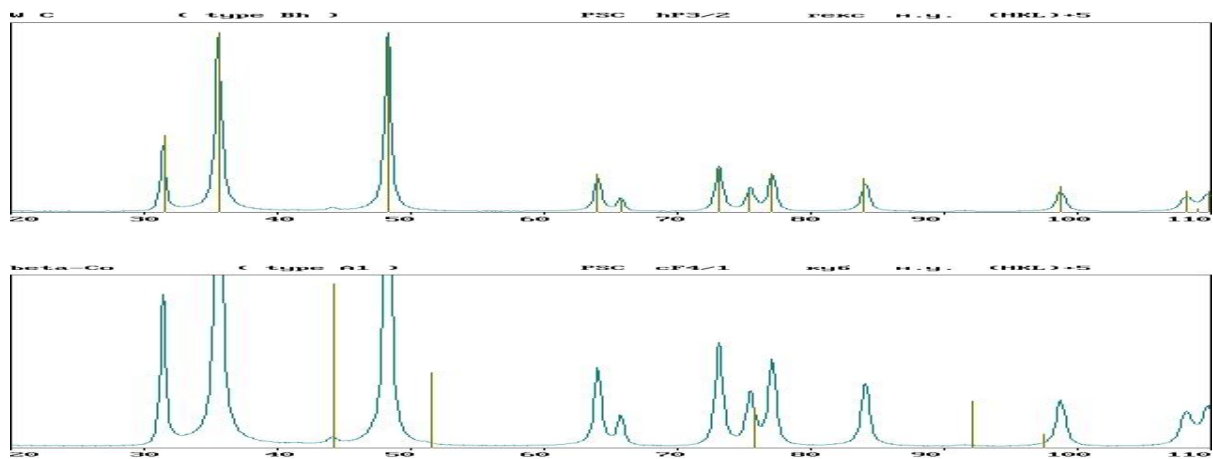
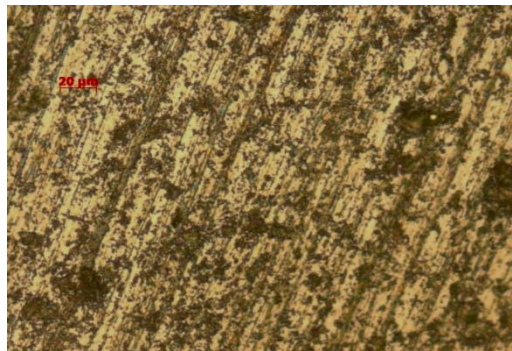
В третьей главе диссертации «**Закономерности формирования приповерхностного модифицированного слоя на пластинах из сплава ВК8 и Н13А (аналог ВК6ОМ)**» приведены результаты эксперимента микролегирования поверхностного слоя твердого сплава ВК8 и Н13А путем низкоэнергетического сильноточного электронного пучка, который воздействует на структуру многогранных твердосплавных пластин ВК8 и Н13А. Выявлены особенности воздействия на микроструктуру облучаемого материала при импульсном нагреве 1-10 с длительностью 5мкс, что приводит к разупрочнению из-за изменений структуры карбидной фазы.

Приведены данные рентгеноструктурного анализа структуры поверхностного слоя твердосплавной пластины из сплава ВК8 до и после обработки НСЭП (низкоэнергетического сильноточного электронного пучка).

Режим 1.

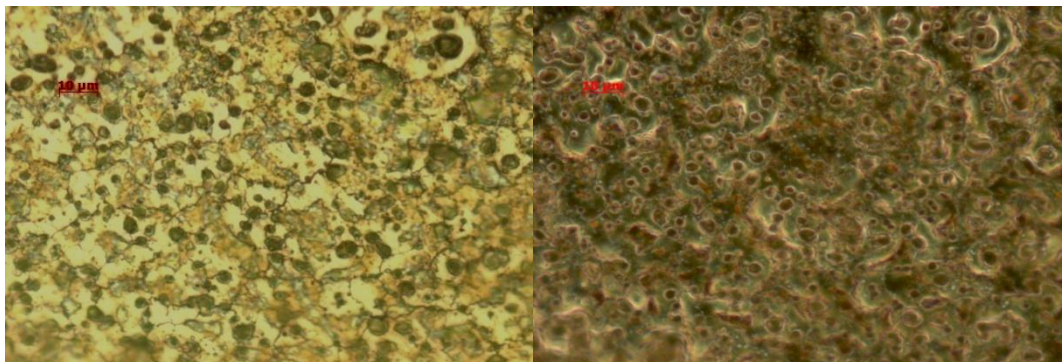
Толщина нанесенного покрытия NbHfTi магнетроном 0,2мкм при плотности энергии за один импульс 4,3 Дж/см² (количество импульсов 5) с установленной мощностью магнетрона 350 Вт и давлением в рабочей камере не

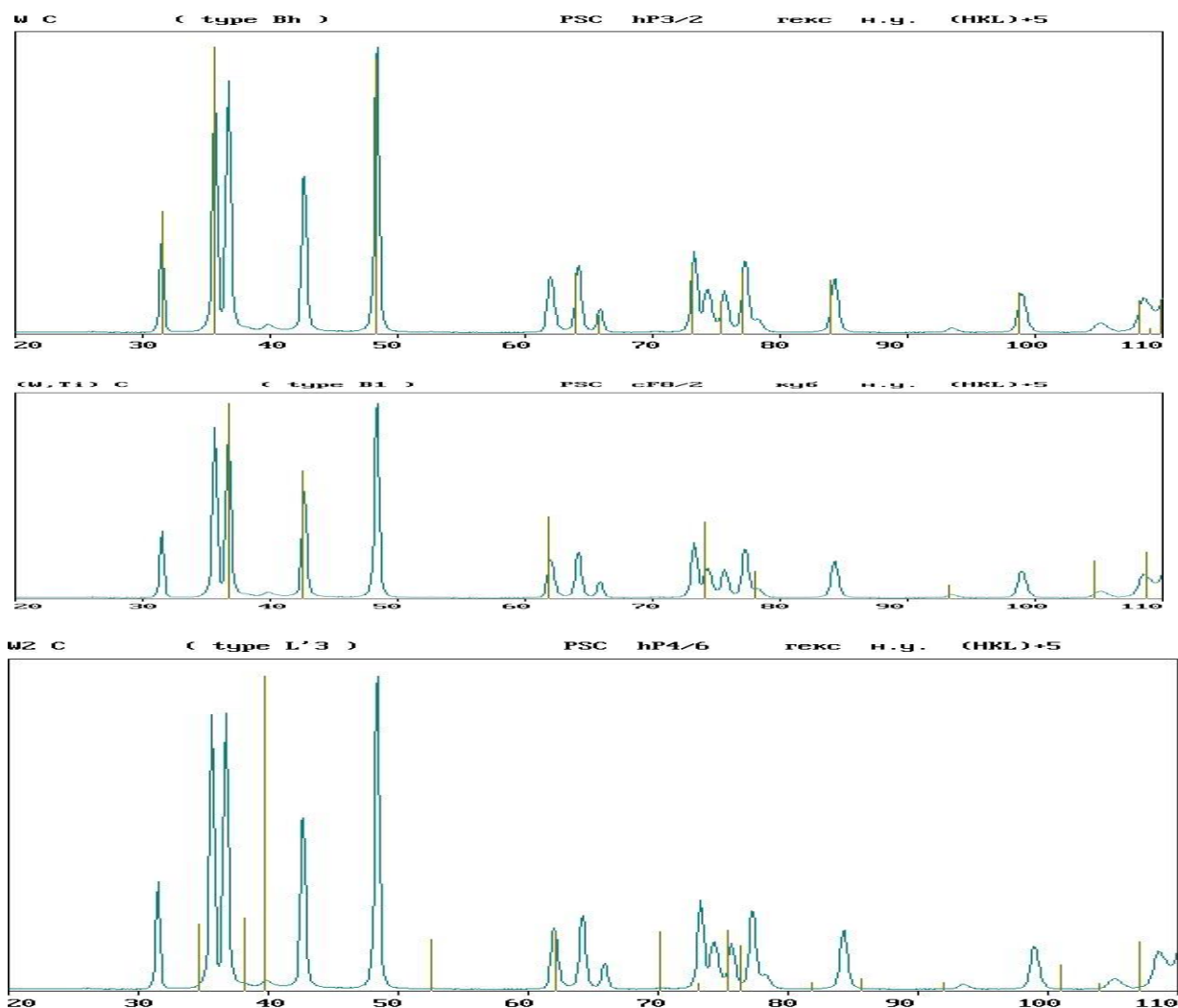
превышает $4,5 \cdot 10^{-3}$ torr, что образует условную толщину легированного слоя 0,64 мкм при количестве серий обработки 2 раза.



Фаза	структурный тип	Объемная доля, %	Весовая доля, %	Периоды, ангстрем
WC (type Bh)	hP3/2	97.4 ± 0.0	98.5 ± 0.0	A= 2.906 C= 2.838
Beta Co (type A1)	cF4/1	2.6 ± 0.0	1.5 ± 0.0	A= 3.556

Рис. 3 Поверхность пластины ВК8 до обработки; дифрактограмма сплава ВК8 в исходном состоянии с наложенными штрихдиаграммами (для Co в увеличенном масштабе)





Фаза	стр.тип	Об.доля, %	Вес.доля, %	Периоды, анг.
WC (type Bh)	hP3/2	61.7 ± 0.0	62.8 ± 0.0	A= 2.900 C= 2.833
γ-WC (type B1)	cF8/2	34.6 ± 0.0	33.1 ± 0.0	A= 4.230
W ₂ C (type L'3)	hP4/6	3.7 ± 0.0	4.2 ± 0.0	—

Рис. 4 Бледны также темнопольные рисунки плоскости ВК8 уже после обрабатывания НСЭП (9 импульсов с энергией 4.3 Дж/см²); дифрактограмма сплава ВК8 уже после 9 импульсов НСЭП с энергией 4.3 Дж/см² с совмещенными штрихдиаграммами

После обработки сплава ВК8, подвергнутого облучению НСЭП (4.3 Дж/см², 5 импульсов), на оплавленной поверхности появляется сетка трещин. Размер ячеек сетки составляет около 10 мкм, что сравнимо с размерами зерна WC в твердом сплаве ВК8 (1-8 мкм).

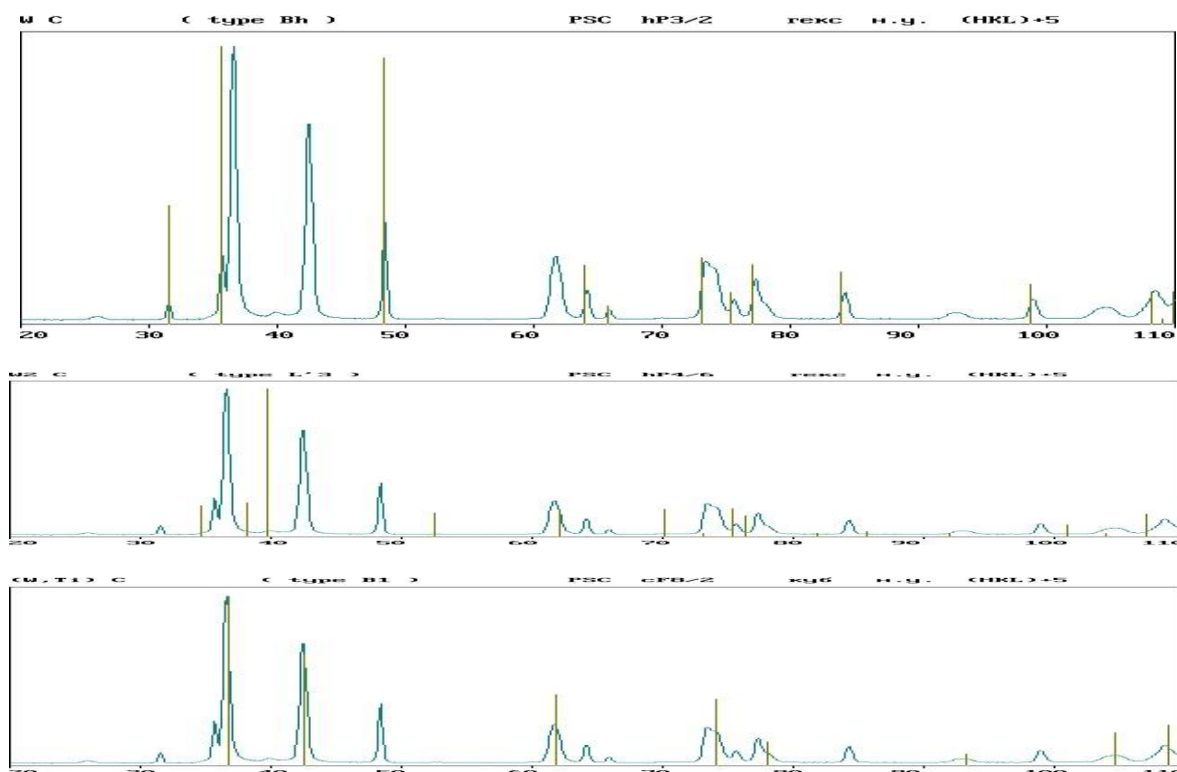
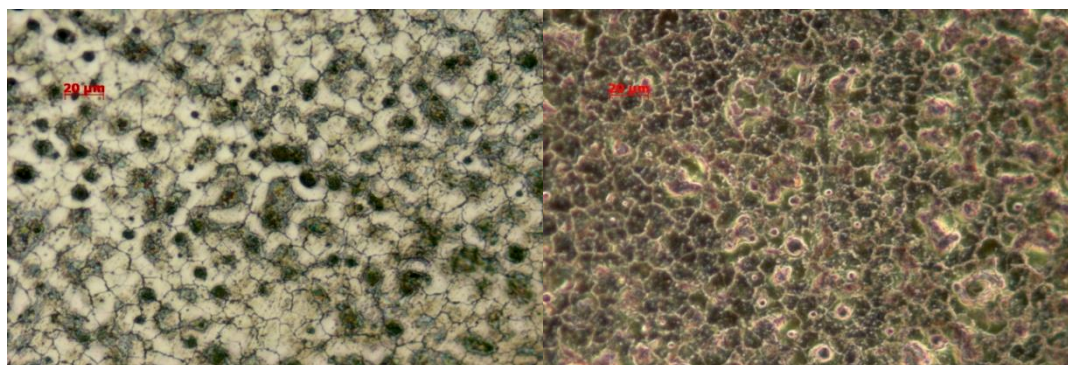
На дифрактограммах появляются пики, соответствующие карбидам W₂C с уменьшает плотноупакованной решеткой и по всей вероятности γ-WC с гранецентрированной кубической решеткой (фаза идентифицируется как (W,Ti)C, однако Ti в сплаве отсутствует), образовавшейся из-за экстремально высоких скоростей охлаждения из расплава (Рис. 4).

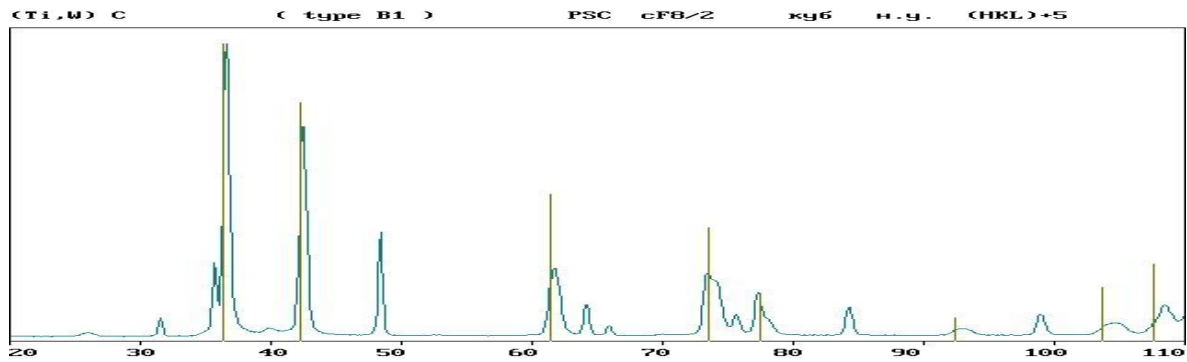
Режим 2.

Толщина нанесенного покрытия NbHfTi магнетроном 0.3мкм при плотности энергии за один импульс 4.7 Дж/см² (количество импульсов 10), что образует условную толщину легированного слоя 0,79мкм при количестве серий обработки 3 раза без изменения установленной мощности и давления в камере магнетрона.

В данном режиме при более интенсивном облучении (10 импульсов с энергией 4.7 Дж/см²) на поверхности пластины проявляется четкая сетка трещин с размером ячеек 10-20 мкм. Пики, соответствующие отражению γ -WC, становятся заметно шире. Можно говорить о том, что период решетки фазы γ -WC изменяется в пределах от 4,248 до 4,274. Появляется одно слабое отражение при $2\theta \sim 26^\circ$, соответствующее, скорее всего, графиту, образовавшемуся при распаде карбидов (Рис 5.).

Вероятно, границы ячеек при перекристаллизации сплава из жидкой фазы обогащаются углеродом, и здесь происходит разрыв под действием внутренних напряжений.



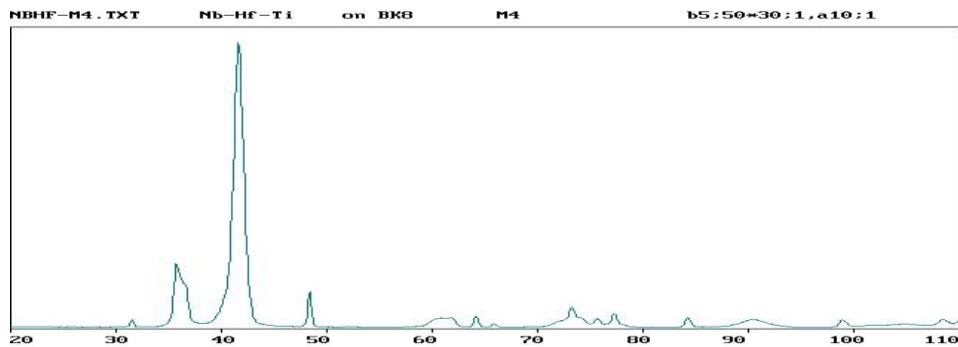


Фаза	стр.тип	Об.доля, %	Вес.доля, %	Периоды, анг.
W C (type Bh)	hP3/2	5.6 ± 0.0	7.6 ± 0.0	A= 2.910 ,C= 2.842
γ-WC (type B1)	cF8/2	93.5 ± 0.1	91.0 ± 0.1	A= 4.248 – 4.274
W ₂ C (type L'3)	hP4/6	0.9 ± 0.0	1.4 ± 0.0	–

Рис. 5 Бледны также темнопольные рисунки плоскости пластинки ВК8 уже после обрабатывания НСЭП (30 импульсов с энергией 4.7 Дж/см²); дифрактограмма сплава ВК8 уже после тридцати импульсов НСЭП с энергией 4.7 Дж/см² с совмещенными штрихдиаграммами.

После легирования микроструктура поверхности пластины ВК8 сильно изменяется. Становится более мелкодисперсной и местами внешне напоминает эвтектику. При обработке по режиму 1 трещин на поверхности не образуется, шероховатость поверхности увеличивается до $R_A=0,08-0,10$ мкм. При обработке по режиму 2 поверхность все же растрескивается, шероховатость поверхности возрастает до $R_A= 0,11-0,13$ мкм. Но характер растрескивания отличается от растрескивания при обработке без легирования. Имеются как широкие, так и узкие трещины. Ячеистой структуры растрескивания не наблюдается. Здесь уже, очевидно, присутствует избыточность легирования. Кроме того, по-видимому, и приложенная мощность уже избыточна для данного варианта.

Микротвердость, измеренная на поверхности, увеличивается до 1250-1350 единиц HV_{25} для случая обработки по режиму 1 и до 1400-1650 при обработке по режиму 2.



съемка

Симметричная

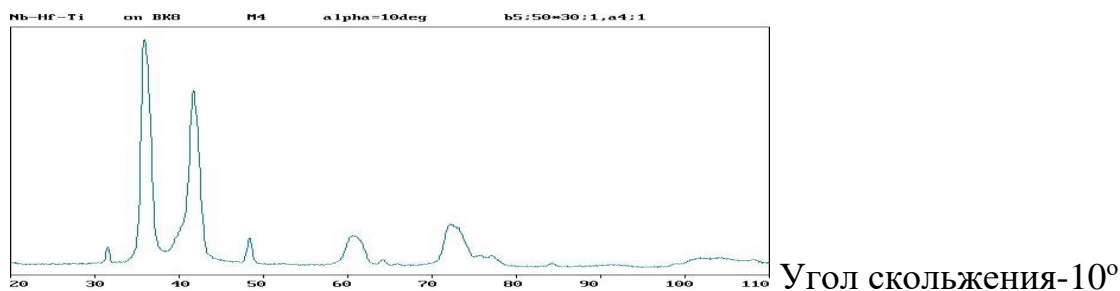


Рис. 6 ВК8, легирование NbHfTi по режиму 2, изменение интенсивности отражений при симметричной и асимметричной съемках

Сравнение спектров, полученных при симметричной и несимметричной съемках, показало изменение интенсивностей отражений двух основных кубических фаз, которое связано с наличием в фазах кристаллографической текстуры {100} параллельно поверхности образца, вызванной направленным теплоотводом при кристаллизации расплавленной поверхности. Поэтому достаточно сложно говорить о количественном соотношении карбидов ниобия-гафния-титана и γ -WC, хотя фазы (Nb, Hf, Ti)C на поверхности ощутимо больше. Очевидно, что Nb, Hf, и Ti активно связывают углерод. Отражения от графита не наблюдается.

Фаза W_2C хорошо видна только в асимметричной геометрии съемки, то есть, очевидно, она располагается на самой поверхности образца (Рис. 6).

Отжиг при 490°C легированного сплава не приводит к каким-либо заметным на рентгенограмме изменениям структуры (Рис. 7), однако полуширина линий несколько уменьшается, что может быть вызвано снятием внутренних напряжений. Наблюдается существенное повышение микротвердости поверхности после отжига. Независимо от режима обработки микротвердость HV_{25} увеличивается до 1950-2150 единиц.

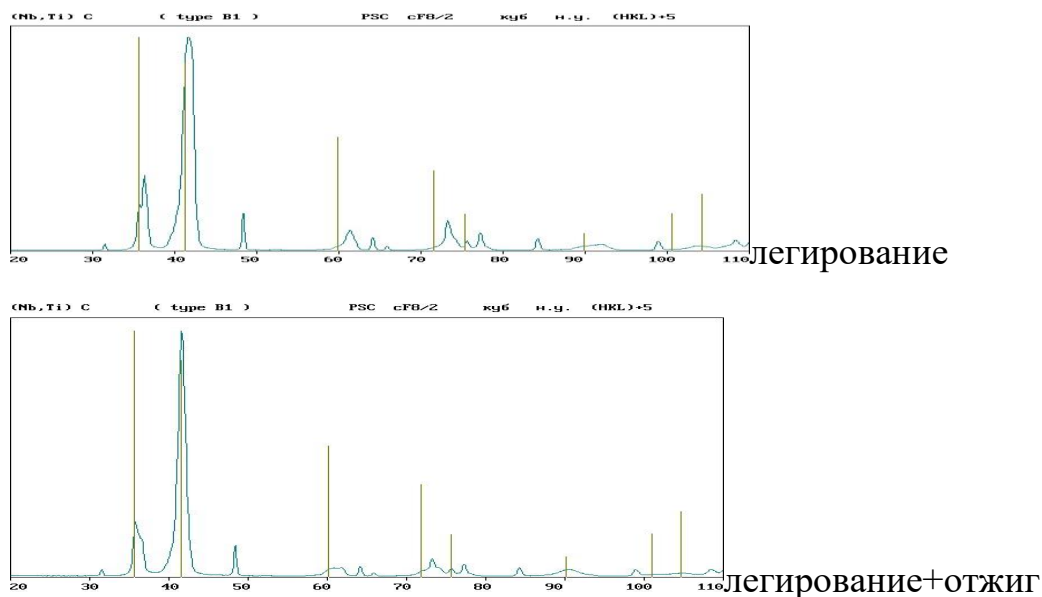
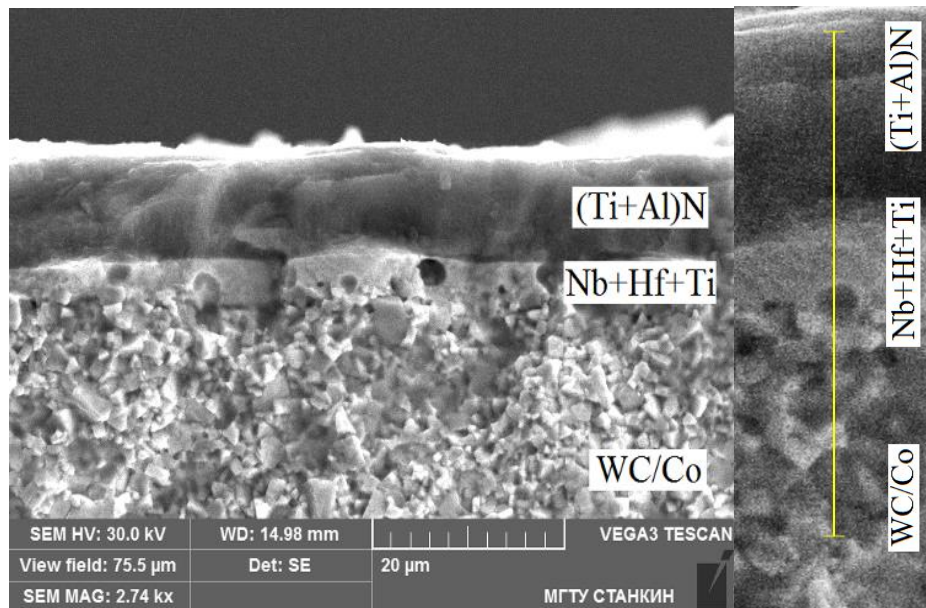
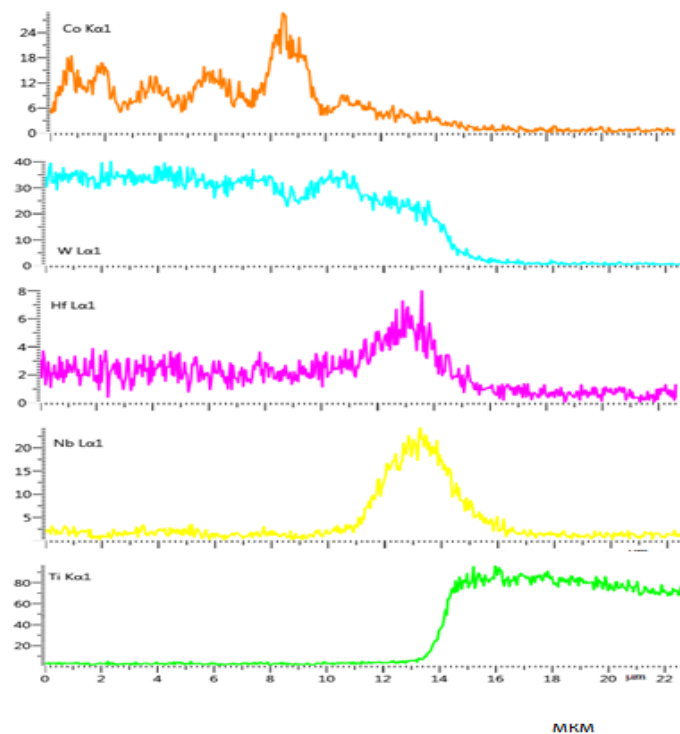


Рис. 7 Изменение дифрактограммы после отжига, легированного по режиму 2 сплава ВК8

Взаимодействие легирующего слоя и твердого сплава можно оценить по распределению вольфрама и кобальта в промежуточном слое. На изломе и косом шлифе четко различимы различные слои обработки (Рис. 8, 9). Распределение химических элементов вблизи поверхности исследовано на растровом электронном микроскопе с помощью волнодисперсионного анализатора. Концентрация Nb, Hf и W в промежуточном слое свидетельствует о перемешивании твердого сплава с легирующим покрытием. Наблюдаемая картина свидетельствует об образовании многокомпонентного сплава Hf NbTi WCo C между WC/Co основой и (TiAl)N покрытием.



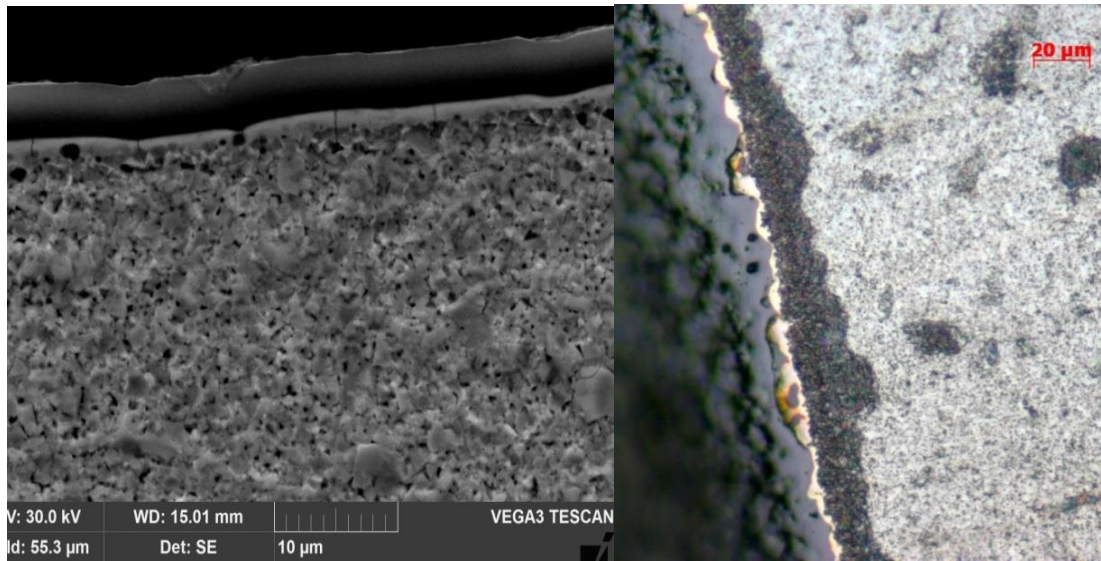
а



б

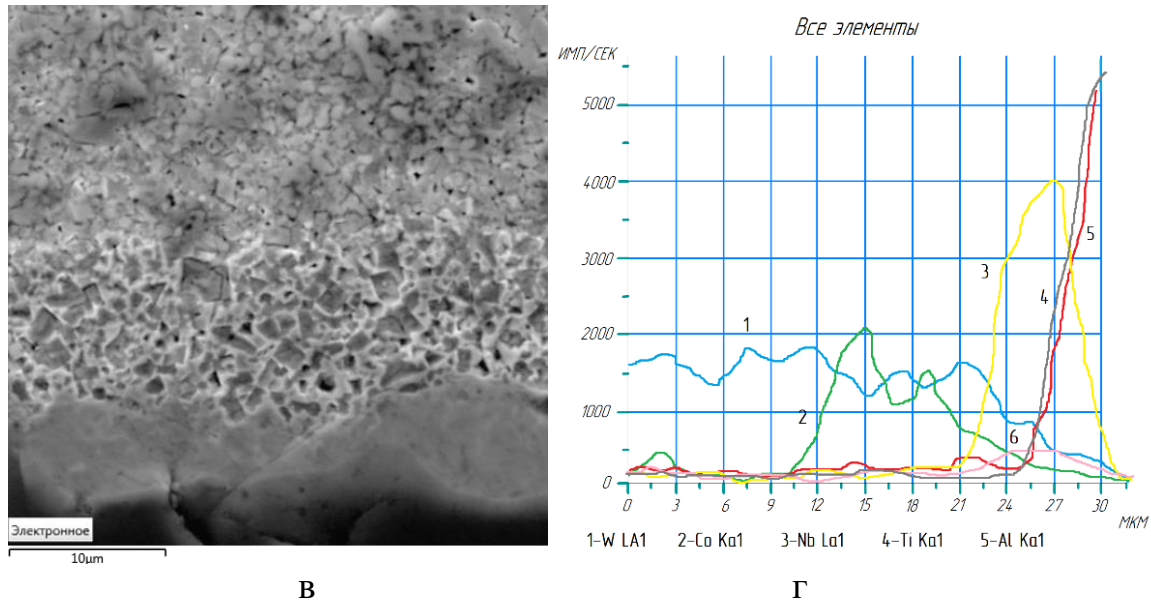
Рис. 8 Сплав ВК8.

а) Изображение излома пластины во вторичных электронах,
 б) Распределение Co, W, Hf, Nb и Ti в приповерхностном слое



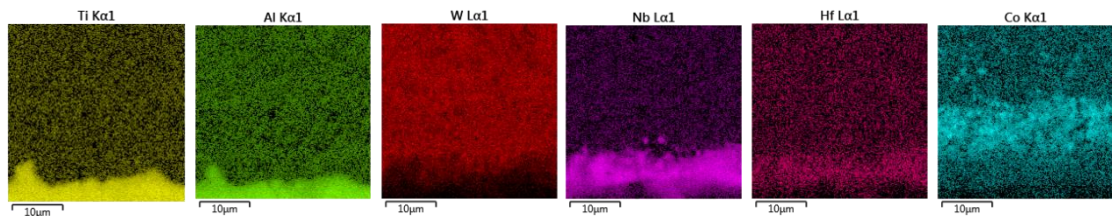
а

б



в

г



д

е

ж

з

и

к

Рис.9 а) SEM картинка излома пластинки Н13А уже после единого обрабатывания, б) зрительная картинка, кривой макрошлиф, электролитная протравка в растворе щавелевой кислоты, протравлена область, концентрированная С, в) SEM изображение места шлифа б), г) разделение химкомпонентов в переходном покрове (завернуто), д-к) схема распределения строя химкомпонентов

В четвертой главе диссертации «Влияние комплексной обработки на режущую способность твердосплавных пластин из сплава ВК8, пластин Н13А (аналог ВК6ОМ)» разработана математическая модель (1) на основе проведенных опытов и выведены оптимальные значения, указанные ниже в таблице 2.

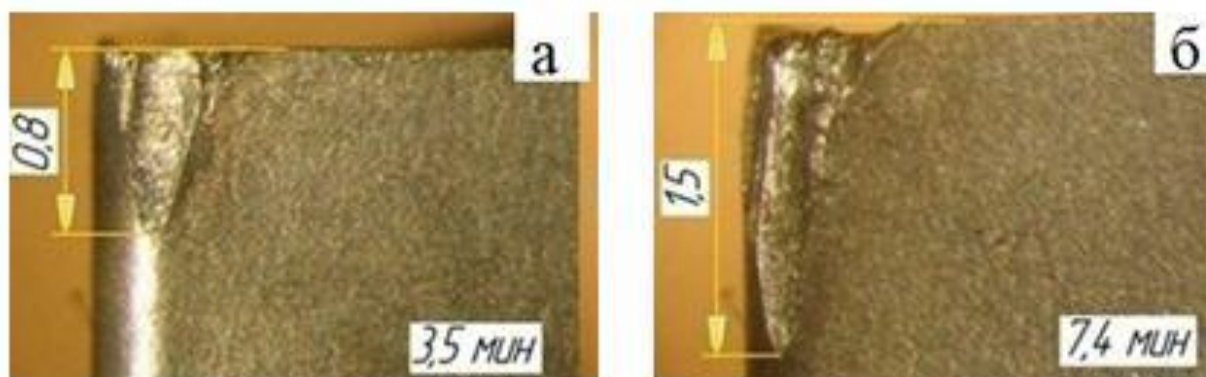
Полученная модель для сплава ВК8 имеет вид:

$$L = 2.4 \cdot 10^4 U^{-2.39} T^{0.17} n^{0.48} P^{0.40} N^{0.30} \exp(0.13U - 0.02T - 0.03n - 0.11P + 0.02N) \quad (1)$$

Таблица № 2.

Ускоряющее напряжение U, В	Оптимальное время нанесения покрытия NbHfTi, мин	Оптимальное количество обрабатываемых импульсов	Оптимальное давление рабочего газа, Па	Оптимальное количество циклов обработки, шт
18000	2	5	4×10^{-2}	4

Обнаружены факторы, влияющие на блокировку развития износа у вершин инструментов с износостойким покрытием при комплексной обработке деталей из материала 18ХГТ, которые замедляют наступление стадии катастрофического износа (Рис.10). Одним из факторов замедляющего изнашивания по задней поверхности на инструменте с комплексной обработкой является наличие приповерхностного слоя, созданного под покрытием, что дает повышенную твердость в сочетании с более высокой теплостойкостью и лучшее сопротивление микропластическим деформациям. У инструмента с комплексной обработкой даже после прорыва покрытия модифицированный слой продолжает выполнять свои защитные функции, что отражается на картине износа инструмента (Рис. 10, г, е).



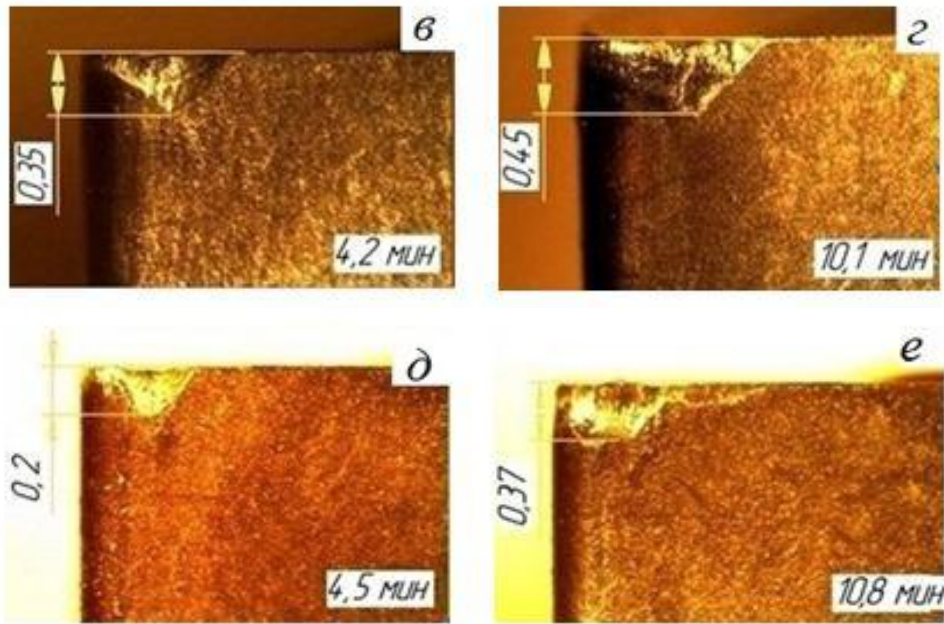
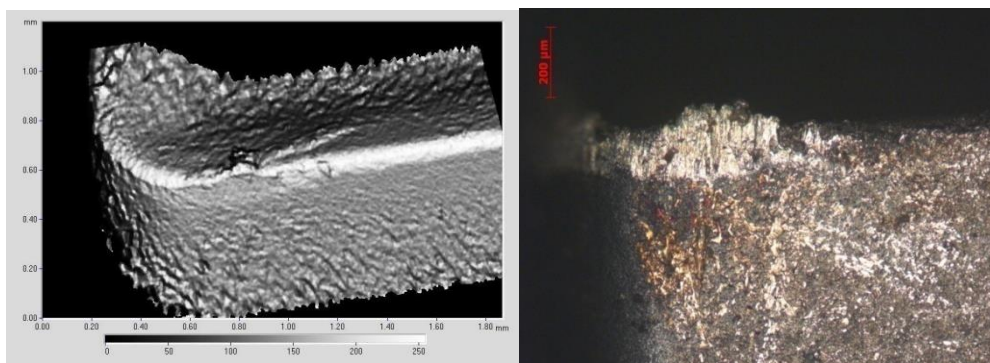


Рис.10 Износ разрезающих пластинок H13A при точении жароустойчивого сплава; а-б) пластинка в отсутствии возмещения; в-г) пластинка с покрытием; д-е) пластинка уже после единого обрабатывания

На основе стойкостных испытаний сменной многогранной пластины можно заключить: Прирост стойкости пластины после комплексной обработки, включающей в себя легирование при помощи НЭСП и последующее нанесение покрытия (TiAl)N, по критерию сил резания составил до 100% по сравнению с пластинами без обработки и до 75% по сравнению с пластинами только с износостойким покрытием. Увеличение стойкости по критерию величины износа по задней поверхности составило порядка 400-500% по сравнению с пластинами без обработки и до 40% по сравнению с пластинами только с износостойким покрытием. Изменения структуры и фазового состава материала резца во время резания фиксировались при помощи оптического 3D-сканера (Рис.11).



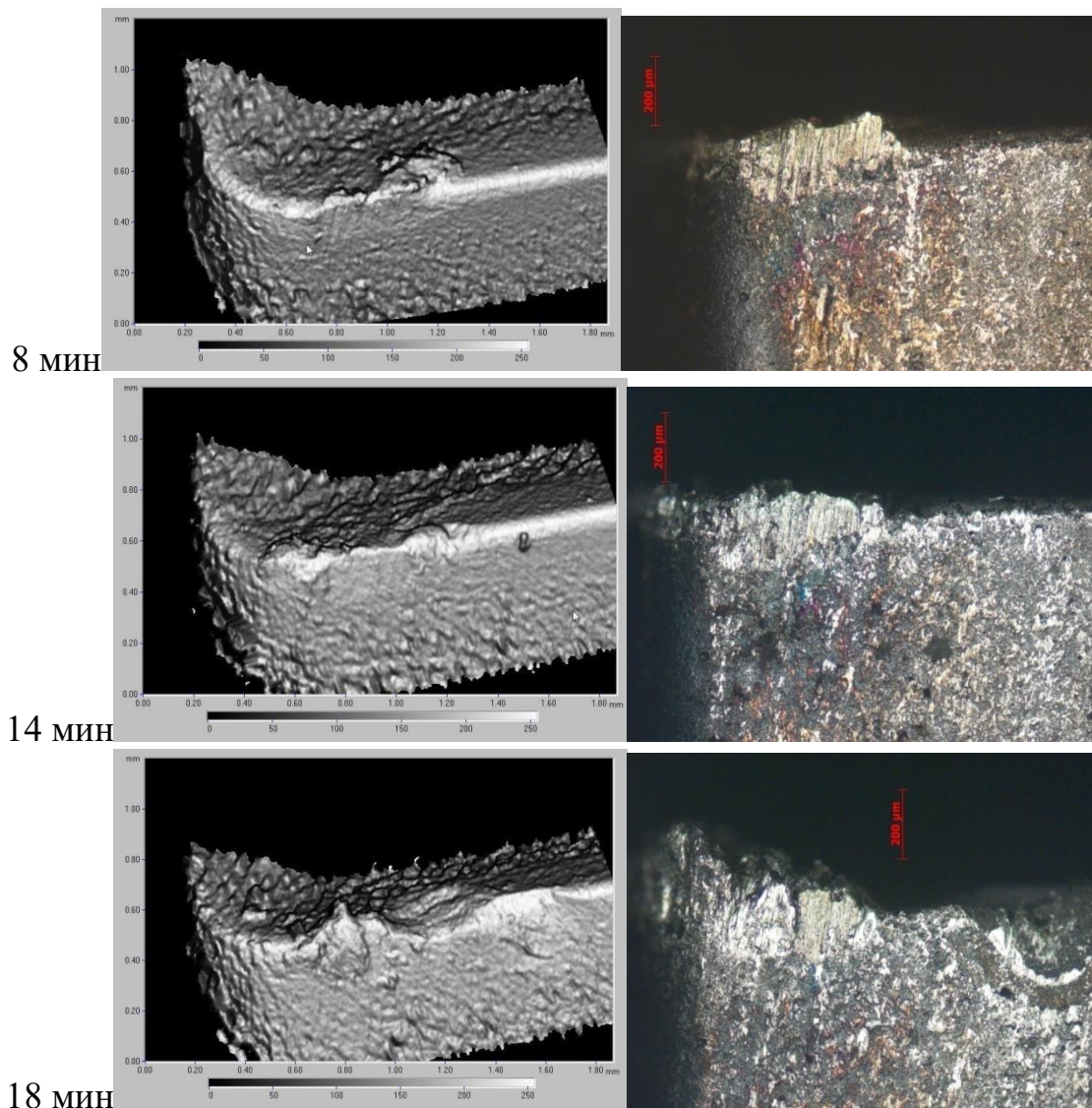
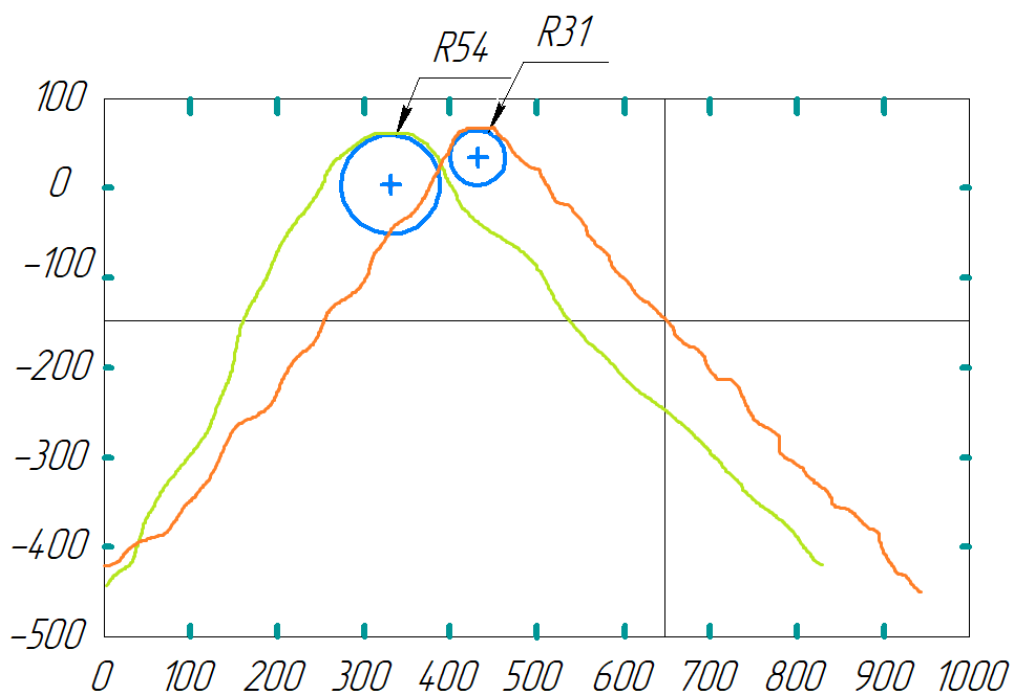
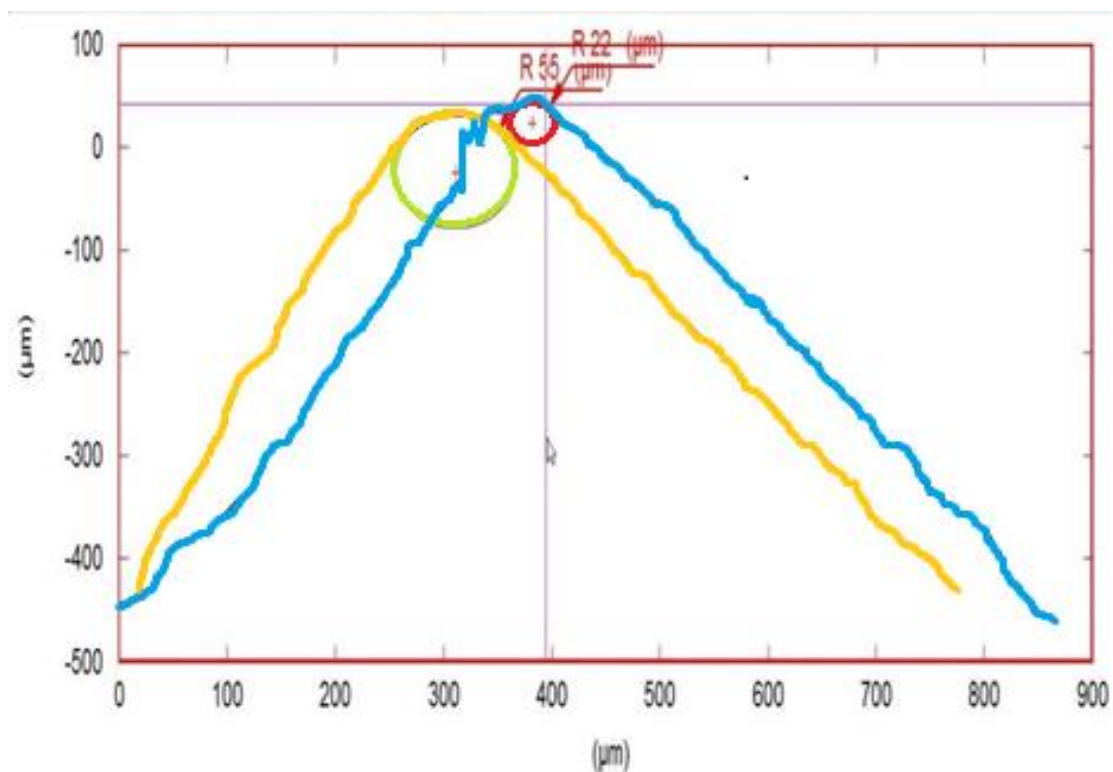


Рис.11 3D-сканы участка режущей кромки и фото задней поверхности изношенных пластин H13A с покрытием (TiAl)N при резании стали 18ХГТ; $v = 110$ м/мин, $t = 0.25$ мм, $s = 0.15$ мм

Обнаружено, что образование сколов вне рабочей зоны не сильно влияет на шероховатость обработанной поверхности. Для заданных режимов резания шероховатость определялась скорее индивидуальными свойствами пластины, чем режимом ее обработки. Разброс значений R_A от пластины к пластине составлял от 1.6 до 3.5 мкм. Другой особенностью изнашивания пластин H13A после комплексной обработки является изменение места формирования лунки износа, перемещение ее ближе к радиусной части инструмента. При этом следует заметить, что радиус скругления режущей кромки, образующийся при взаимодействии обрабатываемой и производящей поверхностей, в случае микролегирования заметно меньше (Рис. 12). Возможно, что в том числе и с этим связано существенное падение силы.



а)



б)

Рис.12 Изменение радиуса скругления режущей кромки ρ после приработки пластины в течение 4 минут (3D сканер GFM);

а) пластина с покрытием (TiAl)N,

б) пластина с комплексной обработкой. Также на графиках приведен радиус ρ режущей кромки исходной пластины

ВЫВОДЫ

1. В диссертационной работе решена актуальная научно-техническая задача, которая включает в себя повышение режущих свойств инструмента из твердого сплава на основе комплексного модифицирования его поверхности электронно-лучевым легированием со сплавом NbHfTi и с нанесением износостойкого покрытия (TiAl)N, в том числе определена взаимосвязь между управляющими факторами процесса микролегирования поверхности инструмента из твердого сплава, включающего в свой состав комплексную поверхностную обработку, и его режущими свойствами. Это в свою очередь позволило создать новый технологический процесс, который имеет существенное значение для инструментального производства.

2. Соединение импульсного электронно-лучевого переплава плоскости категорических сплавов BK8 и H13A с магнетронным напылением сплава Nb₇₀Hf₂₂Ti₈ и дальнейшего нанесения напыления (TiAl)N правомочно организовать микрокомпозиционный электроинструментальный источник с градиентным переходом от карбидной базы к покрытию, срок службы удваивается на два раза инструмента с износостойким покрытием по сравнению с традиционными инструментами.

3. Стойкость пластин H13A с комбинированной обработкой по критерию сил резания при резании стали 18ХГТ после цементации, если сравнить с исходными пластинами без обработки, составила до 100% и до 75%, если сравнить с пластинами только с износостойким покрытием. Значительный рост стойкости по задней поверхности составил порядка 400-500%, если сравнить с пластинами без обработки, и до 40%, если сравнивать с пластинами только с износоустойчивым покрытием.

4. На основании установленных связей построена математическая модель, которая описывает зависимость износостойкости режущей кромки пластины относительно изменения размера обработанной детали от основных факторов процесса микролегирования поверхности твердосплавных образцов, что в свою очередь позволяет сформулировать технологические рекомендации.

5. Полученные результаты и рекомендации могут быть использованы при создании перспективных режущих инструментов из твердого сплава, а также при назначении режимов резания для них.

**SCIENTIFIC COUNCIL AWARDING SCIENTIFIC DEGREES
DSc.03/30.12.2019.T.03.04 AT THE TASHKENT STATE TECHNICAL
UNIVERSITY**

NAVOI STATE MINING INSTITUTE

ISAEV DONIYOR TOSHBOTIROVICH

**INCREASING THE WEAR RESISTANCE OF HARD ALLOYS BY
COMPLEX PROCESSING, INCLUDING SURFACE ALLOYING AND
APPLICATION OF A WEAR-RESISTANT COATING**

**05.02.01-Material science in mechanical engineering. Foundry production. Thermal and
pressure treatment of metals. Metallurgy of ferrous, non-ferrous and rare metals. Technology
of rare, noble and radioactive elements**

**DISSERTATION ABSTRACT OF THE DOCTOR OF PHILOSOPHY (PhD)
ON TECHNICAL SCIENCES**

Tashkent – 2022

The topic of the dissertation of Doctor of Philosophy (PhD) in technical sciences is registered with the Higher Attestation Commission under the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under the number B2021.3.PhD / T2381.

The dissertation was completed at the Navoi State Mining Institute.

The abstract of the dissertation in three languages (Uzbek, Russian, English (summary)) is posted on the web page (www.tdtu.uz) and the information and educational portal "Ziyonet" (www.ziyonet.uz).

Academic Supervisor: **Fedorov Sergey Voldemarovich**
candidate of technical sciences, associate professor

Official Opponents: **Abdullaev Fatkhulla Sagdullaevich**
doctor of technical sciences, professor
Khudoyarov Suleiman Rashidovich
candidate of technical sciences, associate professor

Lead organization: **Andijan Machine-Building Institute**

The dissertation will be defended on «18» march 2022 at 11⁰⁰ hours at a meeting of the Scientific Council PhD.03/30.12.2019.T.03.04 at the Tashkent State Technical University. (Address: 100095, Tashkent, Universitetskaya st., 2. Tel./ Fax (99871) 227-10-32, e-mail: tadqiqotchi@tdtu.uz)

You can get acquainted with the dissertation at the Information and Resource Center of the Tashkent State Technical University (registered under №.246). (Address: 100095, Tashkent, Universitetskaya st., 2. Tel./ Fax (99871) 227-10-32.)

Abstract of the dissertation was sent on «05» march 2022

(registry of the distribution protocol №. 136 dated «05» march 2022).

K.A. Karimov
Chairman of the specialized council
for the award of academic degrees, Doctor of Technical Sciences, Professor

Sh.B. Tashbulatov
Scientific Secretary of the Specialized Council
for the award of academic degrees, Ph.D

N.D. Turakhodjaev
Chairman of the scientific seminar at the scientific council
for the award of academic degrees, Doctor of Technical Sciences, Professor

INTRODUCTION abstract of PhD dissertation

The purpose of the research work is to create an increase in the wear resistance of hard alloys used in cutters.

The tasks of research:

develop a technology for obtaining a modified surface layer by alloying with carbide-forming elements of IV-V groups using a low-energy high-current electron beam on hard alloy cutting plates;

it will carry out combined processing of SMPs from VK8 and N13A alloys based on electron beam alloying with $Nb_{70}Hf_{22}Ti_8$ alloy at the RITM-SP installation and subsequent application of a wear-resistant coating (TiAl)N at the Platit $\pi 80$ installation;

the dependence of wear along the main back surface of the SMP on the cutting path after complex processing during cutting of steel 40Kh and steel 18KhGT after carburizing was investigated;

the dependence of corner wear on the operating time of solid carbide inserts with a modified cutting part during turning is investigated;

Scientifically substantiate recommendations for improving the productivity of cutting with carbide tools with complex processing.

The object of research work is the near-surface layer of hard alloy VK8 and N13A.

Scientific novelty of the research work:

a technology has been developed to increase the wear resistance of hard alloys by surface alloying;

developed a method for processing hard-alloy tools based on changes in the dynamics of the chemical structure of the wear-resistant coating;

a mathematical model of surface microalloying was developed based on the influence of control factors in the process of surface microalloying;

a technology for combined processing of wafers has been developed based on a change in temperature dynamics, which is formed during the vacuum-arc deposition of a wear-resistant coating on an electro-beam NbHfTi alloy.

Implementation of the research results. Based on the research on the development of technology and methods for improving the wear resistance of carbide cutting tools:

a method for processing a tool made of hard alloy, which provides the possibility of obtaining a modified layer with a gradient in chemical composition with a depth of 2 to 5 microns, was introduced at the production department of Production Association Navoi Machine-building Plant "Navoi Mining and Metallurgical Plant" (certificate of the State Enterprise "Navoi Mining and Metallurgical Plant" No. 02-06-04 /6358 dated June 17, 2022). As a result, the wear resistance of the working surface of the cutter increased by 12-14%;

a mathematical model of the influence of the control factors of the process of surface microalloying on the length of the cutting path with a modified tool was introduced at the production department of Production Association Navoi Machine-

building Plant "Navoi Mining and Metallurgical Plant" (certificate of the State Enterprise "Navoi Mining and Metallurgical Plant" No. 02-06-04 / 6358 dated June 17, 2022.). As a result of the mathematical model, the time for optimizing cutting parameters was reduced by 16-18%;

technologies for combined processing of cutting inserts based on electron beam alloying with an NbHfTi alloy followed by the application of a wear-resistant vacuum-arc coating were introduced at the Production Association Navoi Machine-building Plant "Navoi Mining and Metallurgical Combine" (certificate of SE "Navoi Mining and Metallurgical Combine" No. 02-06-04 /6358 dated June 17, 2022). As a result, the increase in tool life in terms of flank.

The structure and scope of the dissertation. The structure of the dissertation consists of an introduction, four chapters, a conclusion, and a list of references. The volume of the dissertation is 127 pages.

E'LON QILINGAN ISHLAR RO'YHATI
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I Bo'lim (I – часть; I – part)

1. Ахмедов Х.И., Равшанов Ж.Р., Исаев Д.Т., Яхшиев Ш.Н., Сайфиддинов О.О. Influence of Complex Treatment on the Cutting Ability of Solid-Molding Plates. International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology Vol. 6, Issue 5, May 2019. (05.00.00; № 8).

2. Исаев Д.Т., Ашуров Х.Х., Уринова И.Ф., Истамова М.С. Integrated surface vacuum-plasma hardening of tools from high-alloyed quick-steel steel. International Journal of Engineering and Information Systems (IJEAIS) Vol. 4, Issue 7, July - 2020, Pages: 98-99.

3. Ахмедов Х.И., Исаев Д.Т., Ашуров Х.Х., Салимжонов Х. Влияние комплексной обработки на режущую способность быстрорежущей стали Р6М5 International Scientific Journal Theoretical & Applied Science Year: 2020 Issue: 09 Volume: 89 Published: 19.09.2020.

4. Фёдоров С.В., Ахмедов Х.И., Исаев Д.Т., Ашуров Х.Х. Лазер ёрдамида Р6М5 тезкесар пўлатидан тайёрланган кесувчи асбоб материалини тозалаш. ФарПи илмий техника журналы №5 сони. 2020 йил 47-54 ст. (05.00.00; № 20).

5. Фёдоров С.В., Исаев Д.Т., Яхшиев Ш.Н., Ахмедов Х.И., Ашуров Х.Х. Формирование геометрии кромки режущего инструмента методом лазерной абляции и влияние лазерной обработки на стойкость пластин из Р6М5. Ўзбекистон Республикаси Инновацион ривожланиш вазирлиги илм-фан ва инновatsion ривожланиш илмий журналы 5/2020, 80-85 ст.

6. Ахмедов Х.И., Исаев Д.Т., Орипов З.Б., Ашуров Х.Х. Влияния комплексного ионноплазменного упрочнения на свойства поверхностного слоя режущего инструмента. Фан ва технологиялар тараккиёти, Илмий-техникавий журнал №2/2022, 109-114 ст. (05.00.00; № 24).

II bo'lim (II – часть; II – part)

7. Равшанов Ж.Р., Исаев Д.Т., Кодиров Б.С. Повышения износостойкости твёрдых сплавов методом нанесение износостойких покрытий. Инновatsionные научные исследования: теория, методология, практика: сборник статей XV Международной научнопрактической конференции. - Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение». - 2018. – 50-53 ст.

8. Исаев Д.Т., Умарова З.Ф., Нажимова Г.Ф. Методы различными покрытиями пластин из твердых сплавов при обработке труднообрабатываемых материалов. World science: problems and innovations: сборник статей XXV Международной научно-практической конференции. - Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение»- 2018. – 47-59 ст.

9. Мардонов Б.Т., Ахмедов Х.И., Исаев Д.Т. Особенности изнашивания твердосплавного инструмента. Перспективы инновatsionного развития горно-металлургического комплекса, Международная научно-техническая

конференция, посвященная 60-летию НГМК г. Навои, Узбекистан 22 - 23 ноября 2018 года 247-248 ст.

10. Фёдоров С.В., Ахмедов Х.И., Исаев Д.Т. Повышение стойкости смп при помощи комплексной поверхностной обработки сплава ХН77ТЮР. Перспективы инновационного развития горно-металлургического комплекса, Международная научно-техническая конференция, посвященная 60-летию НГМК г. Навои, Узбекистан 22 - 23 ноября 2018 года 253 ст.

11. Ахмедов Х.И., Исаев Д.Т., Ашуrow Х.Х. Методы поверхностного упрочнения режущих элементов из твердосплавных инструментов. Перспективы инновационного развития горно-металлургического комплекса, Международная научно-техническая конференция, посвященная 60-летию НГМК г. Навои, Узбекистан 22 - 23 ноября 2018 года 289 ст.

12. Равшанов Ж.Р., Жураев Н.Н, Исаев Д.Т. Термогидрохимическая поверхностная обработка инструментов из твердых сплавов. Перспективы инновационного развития горно-металлургического комплекса, Международная научно-техническая конференция, посвященная 60-летию НГМК г. Навои, Узбекистан 22 - 23 ноября 2018 года 314 ст.

13. Исаев Д.Т., Истамова М.С., Амонова И.В., Особенности воздействия электронных пучков на твердый сплав. 3rd International Multidisciplinary Scientific Conference on Ingenious Global Thoughts Hosted from KualaLumpur, Malaysia May 31st 2022 202-204 ст.

14. Исаев Д.Т., Ашуrow Х.Х. Износостойкост жесткого покрытия metco 1030a, насыщенного на стал hadfield с помощью лазерной накладки для применения объединения руд. Туқимачилик ва энгил саноати машиналарини лойиҳалаш ва такомиллаштиришда инновацион ёндашувлар: Республика илмий-амалий анжуман. Наманган 2022 йил 26 март, 223-224 ст.

15. Федоров С.В., Ахмедов Х.И., Исаев Д.Т., Сайбов М.Ф. Синтез тугоплавких фаз при микролегировании поверхности с использованием широко апертурного электронного пучка. Стратегия современного научно-технологического развития россии: проблемы и перспективы реализatsii. Сборник IV Всероссийской научно-практической конференции, состоявшейся 27 сентября 2022 г. в г. Петрозаводске, 32-34 ст.

Avtoreferat «Texnika fanlari va innovatsiya» jurnali tahririyatida tahrirdan o'tkazildi va o'zbek, rus, ingliz tillaridagi matnlar o'zaro muvofiqlashtirildi.

Bosishga ruxsat etildi: 04.03.2022yil.
Bichimi 60x45¹/₈, «Times New Roman»
Garniturada, raqamli bosma usulida bosildi.
Shartli bosma tabog'i: 3,75. Adadi 60. Buyurtma №23.
TTYESI bosmaxonasida chop etildi.
Toshkent shahri, Yakkasaroy tumani, Shohjahon ko'chasi, 5-uy.

