



FAN VA TEXNOLOGIYALAR TARAQQIYOTI

DEVELOPMENT OF SCIENCE AND TECHNOLOGI



2
2026

Tahririyat hay'ati raisi:
SIDDIQOVA S.G'. –
Buxoro davlat texnika universiteti rektori

Muovini:
NIZAMOV A.B. –
BuxDTU ilmiy ishlar va innovatsiyalar bo'yicha prorektori
Tahrir hay'ati:

MUQIMOV K.M. – O'zR FA akademigi (O'zMU)
JALILOV A.T. – O'zR FA akademigi (Toshkent kimyo-texnologiya ITI)
NEGMATOV S.N. – O'zR FA akademigi ("Fan va taraqqiyot" DUK)
BAHODIROV G'.A. – t.f.d., professor, O'zR FA bosh ilmiy kotibi
XAMIDOV O.X. – iqtisod fanlari doktori, professor (BuxDU)
JALILOV T.K. – iqtisod fanlari doktori (DSc), professor (TKTI)
PARDAYEVA M.D. – BuxDTU yoshlar masalalari va ma'naviy-ma'rifiy ishlar bo'yicha birinchi prorektori, falsafa fanlari doktori (DSc)
XOJIYEV A.X. – o'quv ishlari bo'yicha prorektor, texnika f.f.d. (PhD)
SAIDOV S.B. – Buxoro DTU moliya va iqtisod ishlari bo'yicha prorektori
QURBONOV J.M. – texnika fanlari doktori, professor (Samarqand ISI)
ADIZOV B.Z. – texnika fanlari doktori (DSc), pprofessor, O'zRFA UNKI
ASTANOV S.X. – fizika-matematika fanlari doktori, professor
RAXMONOV X.Q. – texnika fanlari doktori, professor
VOXIDOV M.M. – texnika fanlari doktori, professor
JO'RAYEV X.F. – texnika fanlari doktori, professor
SADULLAYEV N.N. – texnika fanlari doktori (DSc), professor
MAJIDOV Q.X. – texnika fanlari doktori, professor
FOZILOV S.F. – texnika fanlari doktori, professor
ISABAYEV I.B. – texnika fanlari doktori, professor
ABDURAHMONOV O.R. – texnika fanlari doktori, professor
GAFUROV K.X. – texnika fanlari doktori (DSc), professor
XAYDAROV A.A. – texnika fanlari doktori (DSc), dotsent
JO'RAYEV F.O'. – texnika fanlari doktori (DSc), professor
MURADOVA F.R. – pedagogika fanlari doktori (DSc), professor
JUMAYEV M.R. – fizika-matematika fanlari doktori (DSc), professor
YUNUSOVA G.S. – falsafa fanlari doktori (DSc), professor
BOBOYEV A.Ch. – iqtisodiyot fanlari nomzodi, professor
TO'XTAYEVA Z.Sh. – texnika fanlari doktori (DSc), professor
MAXMUDOV M.J. – texnika fanlari doktori (DSc), professor
HAYITOV R.R. – texnika fanlari doktori (DSc), professor
BOZOROV G'.R. – texnika fanlari doktori (DSc), professor
BOLTAYEV Z.I. – fizika-matematika fanlari doktori (DSc), professor
OLTIYEV A.T. – texnika fanlari doktori, (DSc)
JALILOV R.B. – texnika fanlari doktori (DSc), professor
MAXMUDOV M.I. – texnika fanlari doktori (DSc), professor
MAJIDOVA N.Q. – texnika fanlari doktori (DSc), professor
AXMEDOV V.N. – texnika fanlari doktori (DSc), professor
MAXMUDOV R.A. – texnika fanlari doktori (DSc), professor
PULATOVA M.I. – fizika-matematika fanlari nomzodi, professor
RAHMATOV Sh.A. – pedagogika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)
OCHILOV A.R. – texnika fanlari doktori (DSc), dotsent
O'RINOV U.A. – pedagogika fanlari doktori (DSc), professor
PO'LATOVA S.U. – texnika fanlari doktori (DSc), professor
SAMIYEVA Sh.X. – pedagogika fanlari doktori (DSc), professor
TESHAYEV M.X. – fizika-matematika fanlari doktori (DSc), professor
XAITOV V.U. – iqtisodiyot fanlari doktori (DSc), dotsent
XOJIYEV Sh.M. – texnika fanlari doktori (DSc), dotsent
XAYITOV Sh.N. – iqtisodiyot fanlari doktori (DSc), dotsent
ZOIROV E.X. – falsafa fanlari doktori (DSc), dotsent
NARZIYEV M.S. – texnika fanlari doktori (DSc), dotsent
NAMAZOVA N.J. – iqtisodiyot fanlari b.f.d. (PhD), dotsent

Bosh muharrir: DO'STOV H.B. – kimyo fanlari doktori, professor

Muharrirlar: Artikova M.M., Istamova G.X.
Musahhih: Barakayeva D.F.

FAN VA TEXNOLOGIYALAR
TARAQQIYOTI
ILMIY-TEXNIKAVIY JURNAL

DEVELOPMENT OF SCIENCE
AND TECHNOLOGY
SCIENTIFIC AND TECHNICAL JOURNAL

Jurnal O'zbekiston matbuot va axborot agentligi Buxoro viloyati boshqarmasida 2014 yil 22-sentyabrda № 05-066-sonli guvohnoma bilan ro'yxatga olingan

Muassis:
Buxoro davlat texnika universiteti

Jurnal O'zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasi huzuridagi OAK Rayosatining 2017 yil 29-martdagi №239/5-sonli qarori bilan dissertatsiyalar asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan ilmiy nashrlar ro'yxatiga kiritilgan. 2019 yilda O'zbekiston Respublikasi OAK Rayosatining qarorlari bilan qayta ro'yxatdan o'tkazilgan.

Tahririyat manzili:
200117, Buxoro shahri, Q. Murtazoyev ko'chasi, 15-uy, Buxoro davlat texnika universiteti

Tel: 0(365) 223-92-40

Faks: 0(365) 223-78-84

E-mail: fantt_jurnal@umail.uz

Jurnalning to'liq elektron varianti bilan <http://journal.bstu.uz> sayti orqali tanishish mumkin.

Ushbu jurnalda chop etilgan materiallar tahririyatning yozma ruxsatisiz to'liq yoki qisman chop etilishi mumkin emas. Tahririyatning fikri mualliflar fikri bilan har doim ham mos tushmasligi mumkin. Jurnalda yoritilgan materiallarning haqqoniyligi uchun maqolalarning mualliflari va reklama beruvchilar mas'uldirlar.

MUNDARIJA – CONTENT

TEXNIKA, TEXNOLOGIYA VA JHOZLAR	
Kayumov U.E., Pardayeva Sh.S., Istamov M.F. Konchilik sanoatida qo‘llaniladigan markazdan qochma nasoslarning ekspluatatsiyasining xususiyatlari	5
Majitov J.A., Narzulleyev M.N. Yakka iste‘molchilarga mo‘ljallangan biogaz qurilmasining tajriba tadqiqotlari.....	12
Fattoyev F.F., Hamidov A.X. o‘zbekiston respublikasida standartlashtirish bo‘yicha texnik qo‘mitalarning faoliyatini baholashda xalqaro tajribalarning o‘rni va ahamiyati.....	22
Taslimov A.D., Raximov F.M., Norqulov A.O. Navoiy shahar transformator podstansiyalarida faza balanslashni joriy etish bo‘yicha ustuvorlashtirish modeli.....	32
Mavlonova I.R. Pilla losi va sannohidan momiq olish hamda qayta ishlash istiqbollari.....	38
Narziev M.S., Axmedov V.N., Mavlonova I.R., Qodirov M.M. Pilla losini qo‘shimchalardan va seritsindan tozalashda tabiiy komponentlarni qo‘llash texnologiyasi.....	44
Мусурмонов И.М., Рахматова С.Ф., Жумаев А.А., Жумаева Н.К. Результаты исследования структурного состояния износостойких белых чугунов.....	48
Yusubaliyev A., Sharipov Sh.N. Beda urug‘ligini elektr maydonida ekishga tayyorlashning ayrim tadqiqot natijalari	54
KIMYO VA KIMYOVIY TEXNOLOGIYALAR	
Шарипбаев С.С. Влияние морфологии фотоанодов DSSC на характеристики фотоэлектрических преобразователей.....	58
Berdiyev D.M., Liang Zhenglong., Ibroximova M.M. Nikel asosli olovbardosh qotishmani qayta eritishda xossalarga ta’siri.....	63
Hamroyev O.O., Sattorov M.O., Ochilov A.A. Kimyoviy ishlov berish orqali olingan quduq mahsulotiga deemulgatorning xlorid kislota ishtirokida ta’sirining samaradorligini tadqiq etish..	68
Maxmudov M.J., Ne‘matov X.I., Shoymardonov O‘.B. Gazlarni absorsion quritishda qo‘llaniluvchi glikollarning asosiy xossalari tavsifi va jarayonning samaradorligiga ta’sir etuvchi omillar tahlili.....	77
Xo‘jaqulov A.F., Rasulov U.A., Raximov Z.Z. Navbaxor koni bentonitini sulfat kislota bilan faollanishi.....	81
Жумаева А.А., Амонов М.Р. Базальт асосида олинган ПВХ композицияларнинг термик барқарорлигини ўрганиш.....	87
Фозилов С.Ф., Махмудов М.Ж., Муртазаев Ф.И. Маҳаллий паст октанли автомобил бензинининг физик-кимёвий хоссалари ва унинг бензол сақлаган фракциясини аниқлаш..	92
Sharipov N.Z., Fazlitdinov J.R. Ko‘mir yoqilg‘isi yonadigan tizimlardan chiqayotgan zararli tutun gazlarini tozalash texnologiyasi.....	99
Саатов С.К., Шарипов К.К. Полевые исследования по оценке скорости износа стенки трубопровода в процессе эксплуатаци.....	104
Джуроева Г.Х., Тошқобилов Ж.Ш., Абдурахимов И.Э. Синтез моноциклических ароматических углеводов.....	110
Toshpulatov D.T., Abdumuminova O.B., Xushvaqtov I.G‘., Pardaboyeva M.T., Toshtemirov A.Sh., Tashpulatov X.Sh. [Co(tmphen) ₃](PF ₆) ₂ gomoleptik kompleksning tuzilishini o‘rganish.....	114
Bokiyeva Sh.K. Konlardagi qatlam suvlarini tozalashda adsorbentlar olish texnologiyasi.....	118

MASHINASOZLIK VA ENERGETIKA

Murodov K.J. Yo'lining sun'iy notekislik qismiga birlashtirilgan mexanik-quyoshli gibrid qurilma yordamida elektr energiyasi ishlab chiqarish.....	123
Бафоев Д.Х. Повышение эффективности упрочнения деталей из титановых сплавов.....	127
Boixanov Z.U. Asinxron motorlarning elektromagnit holatini aniqlash va monitoring qilish usullari.....	135
Juraqulov A.X. O'zbekiston iqlim sharoitlari uchun fokuslovchi quyosh kollektorlarini ishlab chiqish.....	139
Makhmudov M.I., Kushshayeva M.R., Nurov S.S., Timirov H.N., Sayfiyev H.O. The effect of dust accumulation on the efficiency of solar panels and methods for its detection.....	146
A'zamov S.S. On-Grid quyosh fofoelektrik sistemasi energiya samarador ko'rsatkichlarini tadqiqi.....	150
Nizomov J.A. Asinxron motorning MATLAB immitasion modeli orqaliy turli xil ish rejimlarini kuzatish.....	155
Bafojev D.X. Materiallar sirtida ko'p elementli qoplamalar hosil qilish.....	160
Nizamov. J.A. Sun'iy neyron tarmog'i yordamida asinxron motorlarning nosozliklarni monitoring qilish va diagnostika qilish.....	166
Xaydarov X.M. Quyosh panellaridan ta'minlangan elektr tarmoqlaridan ta'minlanadigan nasos qurilmalari ish rejimlari va energiya iste'mol dinamikasini yil davomida mavsumiy o'zgarishi...	172
Murodov K.J. Vertikal suyuqlik oqimlari asosida binolarda energiya ishlab chiqarishning yangi yondashuvi.....	177
Тоиров З., Сайфиддинов Қ.Э. Анализ ветрового энергетического потенциала в бухарской области республики узбекистан с использованием распределения Вейбулла....	181
Sharipov J.O., Begmurodov A.F. Detallarni korroziya bardoshlilikini oshirish uchun zamonaviy yechim va uni qo'llash jarayoni.....	188
Mirzamaxmudov U.A., Sharibayev N.Yu., Murodov R.S. Ipak qurti urug'chiligida kapalak chiqarishni sinxronlashtiruvchi LED fotoperiod moslamasining elektrotexnik asoslari.....	192

INFORMATIKA VA AXBOROT – KOMMUNIKATSION TIZIMLAR

Rakhmonov I.U., Niyozov N.N., Nematov L.A. Investigation of insulation degradation mechanisms in centralized inverters and development of efficient data exchange methods in wireless sensor networks.....	197
Xamroyev X.X., Bibutov N.S., Xabibov F.Yu. "Materiallar qarshiligi" kursida masalalarni kompyuterli modellashtirish.....	202
Rakhmonov I.U., Kurbonov N.N., Nematov L.A. Parameter optimization of medium- and short-term forecasting systems of lightning activity.....	208
Sharifbaev A.N. Improving retrieval-augmented generation pipelines through knowledge graph integration.....	213

OZIQ-OVQAT SANOATI TEXNOLOGIYALARI

Axmedova M.B. Ikkilamchi mahalliy xomashyolardan xamirturush tayyorlash usullari.....	220
Ravshanov S.S., Shaxriddinov F.F., Suyunova L.A., Karimov D.T. Kompozit nonlarning oziqaviy tarkibi, xamir reologiyasi va sensor xususiyatlari.....	224
Ибрагимов А.К., Махмудов Р.А. Анализ химического состава и функционально-технологических свойств ингредиентов сырья для приготовления майонеза.....	229

Kuliyev N.Sh. Ko‘pik va emulsion strukturalarning shakllanishida meva va sabzavot sharbati komponentlarining ishtiroki.....	236
Kurbanov M.T., Axmedova M.B. Soya siqilmasidan parrandalar uchun ekologik toza omuxta yem tayyorlash texnologiyasini takomillashtirish.....	245
Хужакулов У.К., Мажидова Н.К., Мажидов К.Х. Исследование влияния воздействия электромагнитного поля на сохранность и показатели качества местных сортов томатов...	249
Yoqubov M.E., Khaitov R.A. Environmentally efficient helioconvective technology for dehulling pumpkin seeds.....	260
Mahmudov M.S., Mamajanov G‘.O., Toshmatov Y.R. <i>Phragmites communis trin</i> o‘simligidan ishqorli va kislotali usulda olingan sellyuloza namunalarning termik analizi	266
Турсунова Н.Н. Общая характеристика сои и основные направления использования соевых продуктов.....	270

TO‘QIMACHILIK VA YENGIL SANOAT TEXNOLOGIYALARI

Amonov A.R, Muxammedjanov M.M. Tikuv mashinasi qayishqoq tayanchlari bo‘lgan bosh valning kritik tebranishlari tahlili.....	278
Behbudov Sh.H., Samadova M.O. Ip va matoga ignaning ta‘sirini vertikal tebranishdagi chastotasining tahlili.....	282
To‘raqulova B.B., Temirova G.I., Toshpo‘latova G.R. An‘anaviy naqsh va bezaklarni modernizatsiya qilishning usullari.....	285
Нигматова Ф.У., Эргашева Н.Дж., Кодирова Д.Х., Шомансурова М.Ш., Музаффарова Ф. Ретроспективные исследования современного дизайна меховой одежды за период 1980-2025 гг	292
Jumaniyazov K., Salimov Sh.H., Nazarov R.A. Pnevмомеханик yigirish mashinasida sifatli ip ishlab chiqarish tasnifi	299
Bebutova N.N., Qiyomova S.I. Sanoat tarmoqlarida ekspluatatsiya talablarini hisobga olgan holda maxsus kiyimni takomillashtirish bo‘yicha tavsiyalar.....	303
Мухаммедова М.О. Научные основы выбора материалов для ортопедической обуви и внутренних стелек при повреждениях голеностопного сустава.....	310
Nazirov R.R., Abdurahmonov O.SH., Qurbonov A.B. 5LP rusumli linterga tajriba arra oraliq qistirmalarini tayyorlash va tajribalarning metodik uslublari	313
Мухаммедова М.О., Ахмедов Ж.Ж. Распределение биомеханических нагрузок в конструкции ортопедической обуви и их влияние на конструктивные элементы.....	317
Турдиев Б.Э., Росулов Р.Х., Очиллов М.М., Эрдонов А.М., Пардаев Б.Ч. Чигит элеватори учун лентали конвейерини ишлаб чиқаришдаги тажриба-синов натижалари.....	322
Узакова Л.П., Авезова А.А. Выбор материала для подкладки женской модельной обуви: требования, свойства, современные решения.....	326
Mardonov S.E., Muxtorova Z.N. Qatlamlarni biriktirish usulining ikki qatlamli to‘qimalarning fizik-mexanik xossalariga ta‘sirini aniqlash.....	331
Rayimberdiyeva D.X., Nabidjanova N.N. Tikuv sexlarida texnologik jarayonlarni loyihalashni takomillashtirish.....	335
Sharifbayev R.N., Obidov A.A. Pilla navlarini ajratuvchi adaptiv mexatronik tizim yaratish....	340
Ержанова Д.Ж., Мардонов С.Э. Инновационные подходы к проектированию трикотажных полотен с заданными эластическими свойствами для одежды сегмента 0–3 года	347
Ботиров А., Рахимов А., Шарипбаев Н. Использование ультразвуковой технологии для совершенствования процессов размотки коконов в шелковом производстве.....	351
Dehqonov G‘., Sharifbayev N.Yu., Murodov R.S. Ipak qurtini parvarishlash texnologiyasi va qurtxonalarda mikroiklim sharoitlarini ta‘minlash masalalari.....	357

Ubaydova V.E., Abbosova M.O. Homilador ayollar uchun transformatsiyalanuvchi kiyim konstruksiyasini ishlab chiqish va uning funksional samaradorligini baholash.....	361
Rosulov R.X. Qoziqli barabanlarda qayishqoq elementlarni qo'llashni nazariy tadqiq qilish.....	370
Совутов М.Э., Мусаев Н.М., Ахмедов К.И., Мукимов М.М. Трикотаж тўқималари тузилиши ва калинлиги ўзгаришини иссиқлик сақлашда вақтга боғлиқлик ҳолатини назарий тадқиқи.....	373
Qodirova S.X., Abdullayeva G.Sh. Milliy naqshlarning arxitekturada qo'llanilishi va ularning qiyosiy tahlili.....	379
Sayidova M.X. Harakat energiyasidan quvvatlanuvchi aqlli isituvchi kombinezon..	384
Do'stova F.X. Turli navlardagi paxtalarni tozalashdagi mavjud texnologiyalar tahlili.....	387
ANIQ VA IJTIMOIIY-IQTISODIIY FANLAR	
Fayazova D.S. Autizm bo'lgan talabalarning til o'rganishdagi xususiyatlari.....	392
Sharipova Sh.N. Oliy ta'lim tizimida raqamli texnologiyalar asosida texnik tafakkurni rivojlantirish usullari.....	395
Isxakov M.M. Axborot-kutubxona xizmati ko'rsatishda yangi innovatsiyalarni joriy qilish....	399
Sidiqova N.N. Ingliz va o'zbek tillarida milliy koloritni ifodalovchi frazeologik birliklarning lingvistik xususiyatlari.....	404
Саидова А.С. Таълим трансформацияси жараёнида бўлажак мутахассисларнинг касбий компетентлигини ривожлантириш методикаси.....	408
Hikmatov N.I. Innovatsion qurilish materiallari.....	412
Мухаммадов С.К., Илясов А.Т., Пахратдинов. А.А. Бухоро шаҳридаги “Абдуллахон” мадрасаси биносининг техник ҳолатини кучлантириш бўйича таҳлил ва тавсиялар.....	416
Tursunova N.N. Kasb-hunar ta'limi tizimida “Mehnat muhofazasi va xavfsizlik texnikasi” fanini o'qitishda zamonaviy ta'lim metodlarini qo'llash.....	420
Samadova R.A., Gafurova N.T., Xikmatov N.I. O'zbekistonning ijtimoiy-iqtisodiy siyosatida xotin - qizlarga oid insonparvarlik qarorlarining ahamiyati.....	426
Ортикова Г.Ш., Нурмухаммедова Б.И. Оценка состояния финансирования международной торговли в республике Узбекистан.....	430
Баракатова Д.А. Рус адабиётида танқидий реализм асосчиси.....	434
Мустақимова Қ.С. “Шоирлар одам атоси” ҳақида.....	437
Раупова М.Х. Динамические задачи в формулировке квадратичной неограниченной бинарной оптимизации (QUBO) и их квантовые решения.....	441
EKOLOGIYA VA ATROF MUHIT MUHOFAZASI	
Xolova Sh.A. Ecological efficiency of introducing “green technologies” into industry.....	447
Axmedova M.B. Maishiy qattiq chiqindilar asosidagi xomashyolardan ekologik toza va iqtisodiy samaradorligi yuqori mahsulotlar ishlab chiqarish.....	451
QUTLOV	
Фозилов Садриддин Файзуллаевич – 60 ёшда. Етук олим ва жонкуяр устоз.....	456

УДК 621.767

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРОЧНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

Бафоев Д.Х.

Бухарский государственный технический университет.

Аннотация. В практике используются различные методы для повышения прочностных характеристик деталей, такие как легирование, закалка и поверхностное упрочнение. Последнее в основном связано с применением разных методов поверхностно-пластического деформирования деталей из титановых сплавов. В статье приведены материалы по основным направлениям повышения надежности и долговечности деталей из титановых сплавов с применением пневмодробеструйного упрочнения, рекомендации для определения рациональных условий упрочнения поверхностного слоя деталей из титановых сплавов, режимы и условия пневмодробеструйного упрочнения, обеспечивающие требуемые параметры качества поверхности деталей.

Ключевые слова: пневмодробеструйного упрочнение, титановые сплавы, поверхностный слой, поверхностное упрочнение, концентратор напряжений, микротвердость, детали машин.

INCREASING THE EFFICIENCY OF HARDENING PARTS MADE OF TITANIUM ALLOYS

Bafoev D.Kh.

Bukhara state technical university.

Abstract. Various methods are used in practice to improve the strength characteristics of components, such as alloying, quenching, and surface hardening. This article presents the main approaches to improving the reliability and durability of titanium alloy components using shot peening, recommendations for determining optimal surface layer hardening conditions for titanium alloy components, and shot peening modes and conditions that ensure the required surface quality parameters.

Keywords: shot peening, titanium alloys, surface layer, surface hardening, stress concentrator, microhardness, machine parts.

Введение. В современном машиностроении основным направлением повышения надежности и долговечности деталей является применение титановых сплавов. Титановые сплавы обладают высокой прочностью и пластичностью по сравнению с ранее применяемыми материалами.

В практике используются различные методы для повышения прочностных характеристик титановых сплавов, такие как легирование, закалка, старение и поверхностное упрочнение. Последнее в основном связано с применением разных методов поверхностно-пластического деформирования деталей из титановых сплавов, при этом наибольший потенциал демонстрирует процесс дробеструйного упрочнения (ДУ).

Процесс дробеструйного упрочнения позволяет обрабатывать поверхности деталей сложной формы, предотвращая появление концентраций напряжений и стабилизируя шероховатость обработанных поверхностей. Кроме того, он способствует созданию в поверхностном слое необходимых сжимающих остаточных напряжений (ОН) и уровней пластической деформации.

Для производства крупногабаритных деталей предпочтительным выбором является титановый сплав ВТ22. Этот материал выделяется высокой прочностью и достаточной пластичностью, что делает его подходящим в качестве базового материала для исследования процессов упрочнения.

При изготовлении крупногабаритных деталей сложной формы из титановых сплавов применяется пневмодробеструйное упрочнение (ПДУ), которое не допускает формирование высоких остаточных напряжений поверхностного слоя. Процесс ПДУ крупногабаритных деталей осуществляется на пневмодробеструйной установке с ЧПУ, которая имеет 4 главных движения и позволяет перемещаться соплу так, чтобы упрочнять наружные поверхности при стабильном положении угла наклона сопла 60 – 90°.

Процесс ПДУ осуществляется при скорости дроби 60 м/с и небольших подачах дроби, поэтому трудоемкость процесса упрочнения достаточно высокая. Повышение

производительности возможно двумя способами: это изменение режимов упрочнения и увеличение количества обрабатываемых сопел. В производственных условиях количество работающих сопел – не более двух, поэтому повышение производительности процесса целесообразно осуществлять путем изменения режимных параметров, в частности скорости дроби. Опыт эксплуатации таких установок показал, что повышение скорости стальной дроби более 90 м/с приводит к расколу дроби на более мелкие фрагменты, при этом эффект упрочнения при таких скоростях на титановых сплавах не исследовался. В то же время увеличение скорости дроби повышает энергетическую составляющую процесса, и требуется проведение комплексного исследования по влиянию режимов упрочнения на качество поверхностного слоя.

Таким образом, применение методов поверхностного пластического деформирования для упрочнения деталей из титановых сплавов требует разработки научно-обоснованных рекомендаций по управлению эффективностью ПДУ крупно- габаритных деталей из титановых сплавов за счет определения рациональных режимов упрочнения и повышения скорости дроби.

Постановка решаемой задачи и проблем. Для решения данной задачи целесообразно разработать имитационные модели ПДУ, устанавливающие влияние режимов обработки на условия взаимодействия потока дроби на обрабатываемую поверхность и их влияния на качество поверхности (остаточные напряжения, степень пластической деформации и шероховатость) деталей из титановых сплавов, поэтому повышение эффективности процесса ПДУ крупногабаритных деталей является актуальной задачей.

Увеличение прочностных характеристик титановых сплавов, работающих при высоких температурах 550–600 °С является актуальной задачей. На практике применяется ряд способов, повышающих прочностные характеристики титановых сплавов: легирование, закалка, старение и поверхностное упрочнение. Поверхностное упрочнение в основном связано с применением различных методов поверхностно-пластического деформирования поверхности деталей из титановых сплавов, при этом наибольшими технологическими возможностями обладает процесс дробеструйного упрочнения. Процесс дробеструйного упрочнения позволяет обрабатывать поверхности деталей сложной формы, исключить появление концентраторов напряжений на поверхности деталей за счет стабилизации шероховатости обработанных поверхностей, создавать в поверхностном слое необходимые сжимающие остаточные напряжения и степень пластической деформации. Свойства высокопрочных титановых сплавов оцениваются через коэффициент стабилизации β -фазы (K_β), который имеет следующие значения: VT16 – $K_\beta = 0,8$, VT23 – $K_\beta = 0,9$, VT22 – $K_\beta = 1,2$, VT35 – $K_\beta = 1,45$.

Анализ эксперимента и полученных результатов. В современных конструкциях устройств технологических машин предъявляются высокие требования к качеству поверхностей, которые влияют на надежность деталей машин и обеспечиваются правильным построением операций упрочнения. Наиболее перспективным методом упрочнения крупногабаритных деталей из титановых сплавов, которые имеют сложные пространственные формы, являются процессы пневмодробеструйного упрочнения.

Необходимо иметь в виду, что технологический процесс изготовления данных деталей достаточно сложен, так как они изготавливаются из титановых сплавов в условиях единичного и мелкосерийного производства. Учеными исследованы усталостные свойства деталей из титановых сплавов и влияние концентраторов напряжений на эксплуатационную долговечность. Показано, что область применения деталей из титановых сплавов снижается, так как титановые сплавы очень чувствительны к знакопеременным нагрузкам, связанным с разрушениями деталей, поэтому к качеству поверхностного слоя предъявляются повышенные требования [1].

Детали машин упрочняются по наружной поверхности с помощью пневмодробеструйной обработки, внутренние цилиндрические отверстия раскатываются. В этом случае, доля пневмодробеструйной обработки составляет 90 % от трудоемкости упрочняющих операций.

В производственных условиях промышленности пневмодробеструйное упрочнение деталей машин из титановых сплавов BT22 осуществлялось на установке с ЧПУ АKN-O-330-30 A5-N на следующих режимах:

- ~ Скорость дробы – 60 м/с.
- ~ Угол наклона сопла – 60 – 90°.
- ~ Расстояние от сопла до поверхности – 150 – 200 мм.
- ~ Диаметр дробы – 0,3 мм.
- ~ Скорость движения сопла – 0,5 – 0,6 мм/с.
- ~ Материал заготовки – титановый сплав BT22.
- ~ Материал дробы – ASH-230 (55 – 62 HRC).
- ~ Давление воздуха – $1,8 \pm 0,2$ бар.
- ~ Количество сопел – 2.
- ~ Расход дробы на каждое сопло – $2,5 \pm 0,25$ кг/мин.

Допустимые технологические параметры поверхности для данной группы деталей из титановых сплавов после пневмодробеструйного упрочнения следующие:

1. Допустимая деформация образцов-свидетелей (С) – 0,1 – 0,2 мм.
2. Микротвердость – $HV 810$ МПа.
3. Глубина упрочнения – 100 мкм.
4. Максимальное значение остаточных напряжений – 800 МПа.
5. Глубина залегания остаточных напряжений – 100 мкм.
6. Допустимая шероховатость поверхности $Ra = 1,6 - 3,0$ мкм.

Разработка процесса пневмодробеструйного упрочнения является ответственной операцией, которая требует анализа возможностей повышения производительности и обеспечения качества поверхности деталей.

Пути повышения производительности ПДУ:

1. Обоснованный выбор режимов процесса упрочнения, которые позволят достичь требуемого уровня и степени пластической деформации.
2. Нахождение рациональных условий взаимодействия дробы с обрабатываемой поверхностью (площадь контакта, диаметр дробы, количество сопел расход дробы, расстояние от сопла до поверхности детали, угол наклона сопла к поверхности) при обеспечении требуемого качества поверхности.
3. Проектирование оптимальной траектории движения сопла, которая обеспечивает требуемое перекрытия зон пластической деформации и создает требуемый уровень и глубину остаточных напряжений.
4. Обоснование правильного выбора скорости движения сопла для создания требуемой микрогеометрии с точки зрения упрочнения поверхности с концентраторами напряжений.

Сущность метода дробеструйного упрочнения заключается в том, что деталь подвергается воздействию потока дробы. Дробинки, увлекаемые воздушной струей, производят поверхностную обработку (упрочнение) детали, при этом меняются физические свойства поверхностного слоя металла.

Известно, что пневмодробеструйное упрочнение выполняется двумя методами: эжекторный (сжатый воздух) и дробеметный (лопатки). Основным методом при обработке сложных поверхностей потоком дробы на станках с ЧПУ является эжекторный. В качестве рабочего инструмента используется эжектор (рис. 1) – устройство, в котором происходит смешивание воздуха, движущегося с большей скоростью с дробью. Подготовленная смесь

выстреливает через отверстие $d_0 = 1 - 8$ мм. Сопло имеет угол раскрытия $8 - 10^\circ$ на выходе, в результате динамическое давление преобразуется в статическое [47].

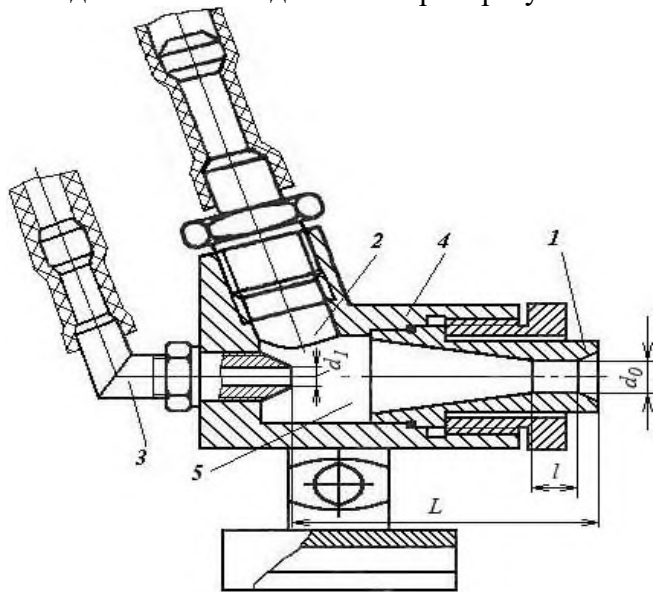


Рис. 1. Конструкция эжектора:

- 1 – сменное сопло с отверстием Вентури;
- 2 – канал подачи дроби;
- 3 – канал подачи высокого давления;
- 4 – дробеструйное сопло;
- 5 – камера низкого давления для смешения воздуха и дроби

Смесь воздуха с дробью при выходе из сопла перемещается в продольном и поперечном направлениях, поэтому поперечное сечение струи увеличивается по мере приближения к поверхности детали, изменяя скорость движения струи. В практических расчетах для круглого сечения струи угол одностороннего расширения струи колеблется от $\alpha_1 \approx 7^\circ$ до $\alpha_1 \approx 15^\circ$ (рис. 2) [2].

На начальном участке (см. рис. 2) скорость движения ϑ_m воздуха и смеси на аэродинамической оси равна скорости истечения ϑ_0 из отверстия сопла. На основном участке скорость ϑ_m снижается, а характер её распределения по сечениям описывается безразмерным уравнением Шлихтинга:

$$\frac{\vartheta}{\vartheta_m} = \left[1 - \left(\frac{y}{R_{гр}} \right)^{\frac{3}{2}} \right]^2 \quad (1)$$

где: ϑ – скорость какой-либо выбранной точки сечения, находящейся на удалении y от оси;
 $R_{гр}$ – радиус внешней границы струи в том же сечении, вычисляемый по формуле:

$$\frac{R_{гр}}{r_0} = \left(3,4 \frac{aS}{r_0} + 1 \right) \quad (2)$$

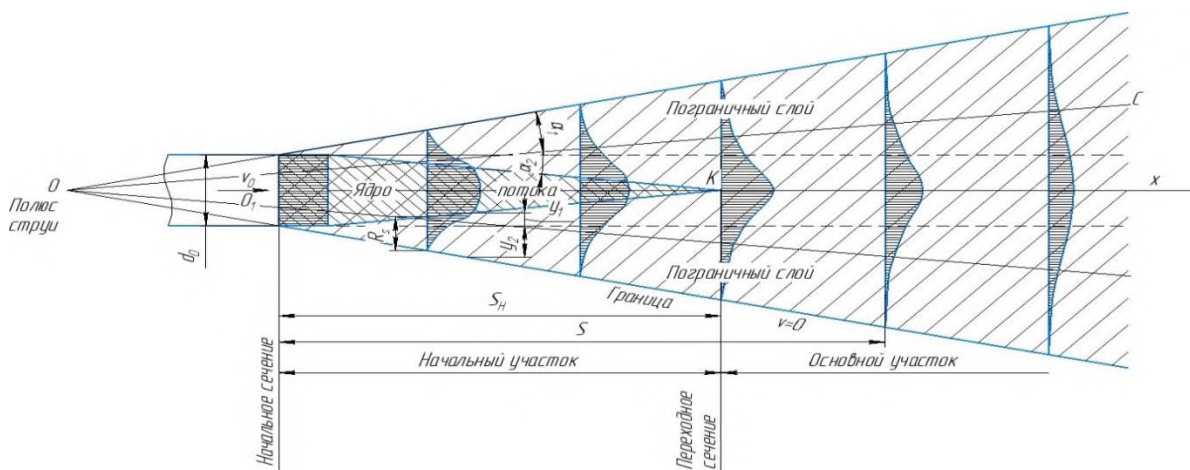


Рис. 2. Схема свободной струи

Уменьшение массы дроби снижает скорость (в горизонтальном направлении). Расчёты проведены при неподвижном сопле, без учета диаметра дроби, угла наклона потока дроби, изменения скорости и направления движения дроби при взаимодействии с обрабатываемой поверхностью, однако они подтверждают, что в пределах используемых расстояний от сопла до обрабатываемых поверхностей в пределах 100 – 200 мм сила сопротивления воздуха мала и можно говорить о равномерном прямолинейном движении микрочастиц в горизонтальном направлении [3].

Учеными предложена модель процесса накопления поврежденности в металле и разработана методика определения предельной пластичности при статическом нагружении, что не учитывает динамические процессы взаимодействия потока дроби с поверхностью. В динамических процессах глубину деформации определяют через геометрические параметры отпечатка. При многократных ударах, предложена формулу (1.3), связывающую глубину деформации с диаметром дроби и физико-механическими характеристиками материала

$$h_H = K_{пл}d, \quad (3)$$

где: $K_{пл}$ – коэффициент, для стали равный 1,5; d – диаметр дроби, мм.

При динамическом контакте дроби с обрабатываемой поверхностью деформации вызывают в зоне контакта интенсивное смятие металла в радиальном направлении [18]. Как видим (рис. 3), в процессе динамического удара (скорость дроби 50 м/с) наблюдается стабилизация диаметра отпечатка (d) материала после 10 ударов.

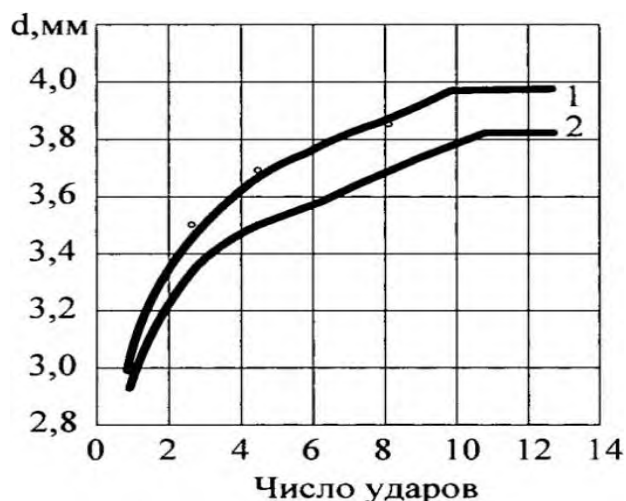


Рис. 3. Изменения диаметра отпечатка при диаметре дроби: 1 – 10 мм, 2 – 8 мм

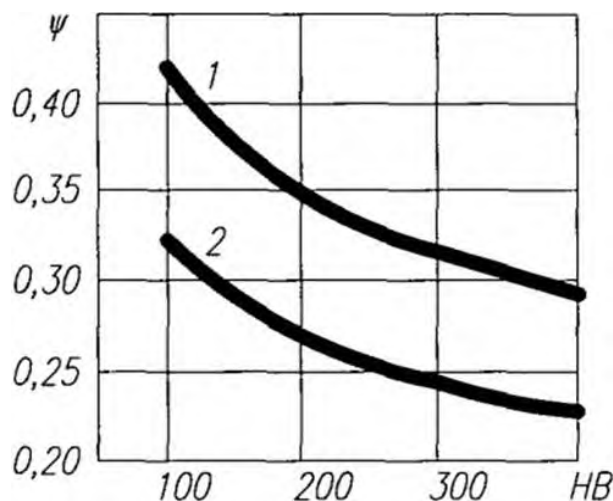


Рис. 4. Влияние твердости на степень поверхностной деформации при $d = 1$ мм [10]: 1 – скорость $V = 50$ м/с; 2 – $V = 30$ м/с

При динамическом взаимодействии дроби увеличение числа ударов с 5 до 12 увеличивает размер отпечатка в 1,25 – 1,55 раза.

В литературных источниках отсутствуют сведения о взаимодействии дроби с титановым сплавом ВТ22; кроме того, в исследовании не учитывается изменение физических свойств материала после каждого удара.

Следующая формула характеризует степень поверхностной деформации ψ как отношение диаметра отпечатка d_1 к диаметру дроби d :

$$\psi = d_1/d \quad (4)$$

где: $d_1 = A \cdot d^B$, A и B – эмпирические коэффициенты, для титановых сплавов $A = 0,34$, $B = 0,9$.

Степень поверхностной деформации ψ связывается со скоростью дроби и с твердостью обрабатываемого материала (рис. 4).

На поверхностях деталей в результате ПДУ образуются микронеровности, которые в известной степени являются концентраторами напряжений, при этом расчеты показывают, что коэффициент концентрации напряжений колеблется от 2,0 до 3,5 и зависит от режимов упрочнения и диаметра дроби. Большое значение приобретают вопросы теоретического определения параметров шероховатости поверхностного слоя.

На рис. 6 показано взаимодействие единичной дроби с обрабатываемой поверхностью.

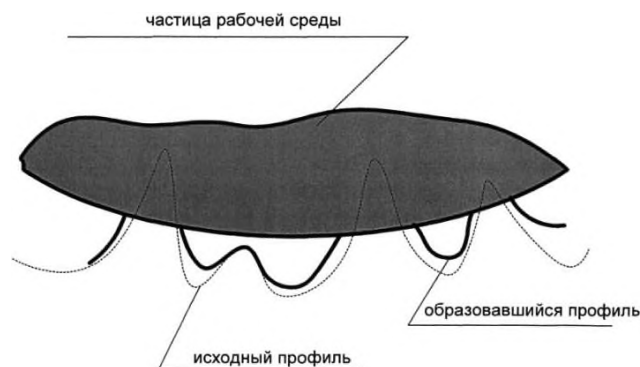


Рис. 6. Схема деформации микрорельефа поверхности обрабатываемого материала в зоне контакта с рабочей средой (дробью)

На основании проведенных исследований можно сделать выводы о глубине проникновения дроби:

1. При увеличении динамического давления размеры отпечатка увеличиваются.
2. При увеличении диаметра и массы дроби размеры отпечатка увеличиваются.
3. При увеличении предела текучести материала детали размеры отпечатка уменьшаются.
4. На размеры отпечатка также оказывает влияние плотность пульпы, которая в свою очередь зависит от концентрации в ней дроби. При увеличении концентрации дроби скорость дроби снижается, что приводит к уменьшению размеров отпечатков.
5. Размеры пластического отпечатка, а следовательно, эффективность обработки при использовании ПДУ зависит от динамического состояния массива технологической дроби, действующей на обрабатываемую поверхность.

На шероховатость поверхности после ПДУ оказывает влияние шероховатость, полученная на предыдущей технологической операции. Исследованиями установлено, что под ударом дроби вершины микронеровностей сминаются, при этом происходит образование новой микронеровности, особенно на чистовых операциях. Очень важно, чтобы параметры шероховатости до и после обработки совпадали. Этого можно достичь регулированием режимов обработки и диаметра дроби (рис. 7) [5].



Рис. 7. Схема деформирования поверхности после ПДУ

Управляя режимами ПДУ, можно повысить эффективность процесса при соблюдении требуемых технических условий по качеству поверхности. Нахождение рациональных режимов ПДУ позволяет установить количественные связи между технологическими факторами и шероховатостью поверхности [5].

Особенности формирования микронеровностей при обработке ПДУ следующие:

- равномерность шероховатости в продольном и поперечном направлениях;
- увеличение радиуса закругления во впадинах микронеровностей и снижения коэффициента концентрации напряжений на дне обработанных рисок;
- связь между скоростью движения сопла, диаметром дроби и средним шагом микронеровностей при ПДУ.

Выводы. Таким образом, на поверхности деталей из титановых сплавов при ПДУ наблюдается наличие концентраторов напряжений, образование высоких как растягивающих, так и сжимающих остаточных напряжений, недопустимых пластических деформаций. Кроме того, данные детали крупногабаритные, имеют сложную пространственную форму, поэтому основным процессом упрочнения является пневмодробеструйная обработка.

В качестве ключевых параметров при описании процесса ПДУ используются такие параметры, как материал и его твердость, размер единичной дроби, скорость дроби и др. Опираясь на то, что финишное дробеструйное упрочнение является ответственной операцией, полезно иметь возможность анализировать имитационную модель процесса ПДУ по нескольким причинам:

- уметь прогнозировать состояние материала после упрочнения без проведения крупномасштабных физических испытаний;
- уметь разрабатывать процессы обработки, упрочнения и декорирования, которые позволят достичь желаемого уровня остаточных напряжений;
- изучить последствия ПДУ материала, к которому предъявляются особые технические ограничения по качеству поверхностного слоя.

Выбор режимов ПДУ предусматривает построение имитационных моделей процесса взаимодействия дроби с обрабатываемой поверхностью.

Процесс движения потока дроби в скоростной воздушной струе и их динамическое воздействие на обрабатываемую поверхность необходимо имитировать в параметрическом виде с помощью программ, основанных на использовании метода конечных элементов. Данный метод даёт возможность рассмотреть подробную хронологию напряжений во время воздействия удара, развитие полей пластической деформации в обрабатываемом материале и, следовательно, оценку поля остаточных напряжений, созданного единичным взаимодействием.

Литература.

1. Бабичев, А. П. Вибрационная обработка деталей / – М.: Машиностроение, 1974. – 134 с.
2. Балтер, М. А. Упрочнение деталей машин / – М.: Машиностроение, 1978. – 181 с.
3. Браславский, В. М. Деформационное упрочнение деталей машин / В. М. Браславский, А. А. Бараз // Вестник машиностроения. – 1983. – №7. – С. 61 – 63.
4. Бубнов, В. А. Титан и его сплавы в машиностроении / В. А. Бубнов, А. Н. Князев // Вестник Курганского государственного университета. – 2016. – №3 (42). – С. 16 – 22.
5. Джураев, А. Д. Анализ напряженно-деформированного состояния поверхностного слоя при дробеструйном упрочнении деталей машин / А. Д. Джураев, И. Г. Шин. // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2009. – № 10. – С. 3 – 7.

Бафоев Дусмурод Холмуродович – Бухарский государственный технический университет, старший преподаватель кафедры “Инженерия транспортных средств”. Тел.:(+99890)745-10-40. Email: bafayev07111967@mail.ru