УДК 539.4.014.13

MASHINA DETALLARIDA TEXNOLOGIK QOLDIQ KUCHLANISHLAR SHAKLLANISHINI DISLOKATSIYA MODELLARINING JADALLIGI

***Shodmonkulov Zoxir**, PhD, kafedra dotsenti,*
E-mail: zohirshod@gmail.com
***Shin Illarion,** DSc, kafedra professori,*
Muhandislik mexanikasi kafedrasi,
Toshkent to'qimachilik va yengil sanoat instituti

***Annotatsiya:** texnologik qoldiq kuchlanishlarning dislokatsiya modeli va uning intensivligini mashina detallarining yuza qatlamining sifat energetik mezonlari - yashirin (zaxiraviy) deformatsiya energiyasi orqali baholash taqdim etilgan. Shuningdek, taxminlar va matematik modellarni asosli hisobga olgan holda bajarilgan va tajribada tasdiqlangan analitik tadqiqotlarning qiymati,, detallarning yuza qatlami sifatining shakllanish mexanizmini ochib berish uchun universal yondashuvni ishlab chiqish imkoniyati yaratilgan. Mikrodeformatsiyalar va mikrokuchlanishlarning paydo bo'lishi yarimkristallning elastik va plastik xususiyatlarining mikroskopik bir jinslimasligi natijasi hisoblanadi, shuningdek, uning kristall donalari tuzilishidagi nomukammalliklar, ya'ni dislokatsiyalar bilan bog'liqligi keltirilgan.*

***Аннотация:** представлена дислокационная модель технологических остаточных напряжений и оценка их интенсивности по качественным энергетическим критериям поверхностного слоя деталей машин – скрытой (резервной) энергии деформации. Также разработана ценность аналитических исследований, проведенных с разумным учетом допущений и математических моделей и подтвержденных экспериментально, что позволило разработать универсальный подход к выявлению механизма формирования качества поверхностного слоя деталей. Появление микродеформаций и микронапряжений является результатом микроскопической неоднородности упруго-пластических свойств полукристалла, а также его связь с дефектами в структуре его кристаллических зерен, т.е. дислокациями.*

***Abstract:** the article presents a dislocation model of technological residual stresses and an assessment of their intensity based on qualitative energy criteria of the surface layer of machine parts – hidden (reserve) deformation energy. The value of analytical studies, conducted with reasonable consideration of assumptions and mathematical models and confirmed experimentally, has also been demonstrated. This has enabled the development of a universal approach to identifying the mechanism underlying the formation of surface layer quality in components. The appearance of microdeformations and microstresses is the result of microscopic heterogeneity in the elastic-plastic properties of the semicrystal, as well as its connection with defects in the structure of its crystalline grains dislocations.*

***Kalit so'zlar:** Qoldiq mikro- va makrokuchlanishlar, dislokatsiya, dislokatsiyalar zichligi, plastik deformatsiya, tuzilishli elementlar, tuzilishli-energetik model, yashirin energiya, deformatsiyali mustahkamlash, kuchlanishlar intensivligi.*

***Ключевые слова:** Остаточные микро- и макронапряжения, дислокации, плотность дислокаций, пластическая деформация, структурные элементы, структурно-энергетическая модель, скрытая энергия, деформационное упрочнение, интенсивность напряжений.*

***Key words:** Residual micro- and macrostresses, dislocations, dislocation density, plastic deformation, structural elements, structural-energy model, latent energy, deformation impact, stress intensity.*

Kirish. Yuza qatlam sifati parametrlarining, xususan, eng muhim parametr – qoldiq kuchlanishlarning analitik tadqiqotlari va metallarni mashina detallarini mexanik ishlashda elastik-plastik deformatsiyalashning haqiqiy jarayonini tavsiflovchi adekvat modellarni qurish, tajriba tadqiqotlari bilan bir qatorda dolzarb hisoblanadi. Tajriba tadqiqotlarining ahamiyati nazariy yechimlarning adekvatligi yoki noadekvatligi isbotida, shuningdek, tajriba sharoitlariga mos keladigan xususiy qonuniyatlarni aniqlashda namoyon bo‘ladi [1-3].

Asosli taxminlar va matematik modellar hisobga olingan holda bajarilgan va tajribada tasdiqlangan analitik tadqiqotlarning qiymati, detallarning yuza qatlami sifatining shakllanish mexanizmini ochib berish uchun universal yondashuvni ishlab chiqish imkoniyatidan iborat. Ushbu yo‘nalish chegaradosh va o‘zaro bog‘liq fanlar bilimlarini qamrab oladi (qattiq jismlar fizikasining dislokatsiyalar nazariyasi, elastiklik va plastiklik nazariyasi, bir tomonlama jarayonlar termodinamikasi, issiqlik fizikasi) va kristall tuzilishning chiziqli nomukammalliklari – dislokatsiyalarni hosil qilish, harakatlanish va yo‘qotishning uzluksiz jarayoni bo‘lgan metall plastik deformatsiyasi haqidagi mikro va makro tasavvurlarni loyihalashni (loyiha qilishni) maqsad qiladi.

Detallarning yuza qatlamidagi barcha fizik-mexanik parametrlarning o‘zgarishlari kesuvchi yoki mustahkamlovchi asbob bilan kontakt ta‘sirlashuvi natijasida termodinamika qonunlariga muvofiq energetik nisbatlar transformatsiyasi natijasida sodir bo‘ladi.

Detalning yuza qatlamining bir jinslimas deformatsiyalangan holati metall yoki zagotovkani bosim bilan ishlash (tortish, prokat qilish, bolg‘alash), kesish (tokarlik, silliqlash), yuzani plastik deformatsiyalash (YPD – shar yoki rolik bilan ishlov berish, drob bilan purkash) natijasida bir jinslimas plastik deformatsiyadan keyin, shuningdek, isitish va sovutish vaqtida bir jinslimas plastik deformatsiya natijasida; qattiq holatda fazaviy o‘zgarishlarning bir jinslimas hajm o‘zgarishi natijasida (toblash, eskirtirish, po‘latni qattiq karbrizator bilan sementatsiyalash va boshqa fizik-kimyoviy jarayonlar), shuningdek suyuq holatdan qattiq holatga va aksincha fazaviy o‘zgarishlarning bir jinslimas kechishi natijasida yuzaga kelishi mumkin.

Texnologik qoldiq kuchlanishlar turli omillarning bir vaqtning o‘zida ta‘siri ostida yuzaga keladi: mexanik, issiqlik va fizik-kimyoviy [4-6]. Kesish bilan ishlashdan keyin detallarning yuza qatlamida qoldiq makrokuchlanishlarning shakllanishi va taqsimlanishi, birinchi yaqinlashuvda, ikkita omilning ta‘siri bilan tushuntiriladi – siquvchi kuchlanishlarning paydo bo‘lishini ta‘minlaydigan kuch (plastik deformatsiyalash) va cho‘zuvchi qoldiq kuchlanishlar hosil bo‘lishining sababi bo‘lgan issiqlik (yuza qatlamning isishi).

Kesish va YPD bilan ishlashda asbob va ishlov beriladigan detal yuzasi orasidagi kontakt yuzalari o‘rtasidagi ishqalanish natijasida, uning tashqi yuza qatlami cho‘zilishning plastik deformatsiyasiga duchor bo‘ladi, pastroqdagi material qatlami esa elastik cho‘ziladi. Asbob ishchi zonadan o‘tgandan so‘ng, elastik cho‘zilgan ichki qatlam siqilishga intiladi, ammo bunga tashqi plastik deformatsiyalangan qatlam to‘sqinlik qiladi. Natijada tashqi qatlamda siqilish, ichki qatlamda esa cho‘zilish kuchlanishi shakllanadi.

Tadqiqot natijalari. Har qanday plastik deformatsiya jarayonini kuzatib boruvchi isitish natijasida, metallning tashqi qatlami uzayishga intiladi, ammo bunga sovuqroq ichki qatlam to‘sqinlik qiladi. Binobarin, birinchi qatlam siqilishga, ikkinchisi esa – cho‘zilishga duchor bo‘ladi. Jarayonni intensivlashtirish (intensiv isitish) natijasida yuzadagi kuchlanishlar ishlov beriladigan materialning oqish chegarasi σ_T dan oshib ketishi mumkin, bu esa metallning siqilgan tashqi qatlamining plastik deformatsiyasiga olib keladi. Keyingi sovutish davomida tashqi qatlam siqilish plastik deformatsiyasi miqdoriga dastlabki o‘lchamlardan kichikroq o‘lchamlarigacha siqilishga intiladi. Biroq, bunga elastik kuchlanishdagi ichki qatlam to‘sqinlik qiladi va natijada tashqi qatlamda cho‘zilishning qoldiq kuchlanishi, ichki qatlamda esa siqilish kuchlanishlari shakllanadi.

Shunday qilib, jarayonning harorat-kuch kuchlanganligini yaratuvchi ishlash sharoitlari va rejimlariga qarab, ustun omil mexanik (kuch) bo‘lishi mumkin, va shunda yuzada siqilish

makrokuchlanishlari paydo bo‘ladi, yoki issiqlik, shunda yuzada cho‘zilish makrokuchlanishlari shakllanadi. Agar mexanik ishlash jarayoni po‘latlar va qotishmalarning tuzilishli komponentlarining qaytarilmas hajmiy o‘zgarishlariga olib keladigan fazaviy o‘zgarishlar bilan birga kechsa, bu sxema buziladi, ular ba‘zan mexanik va issiqlik omillaridan ko‘ra yuza qatlamda texnologik makrokuchlanishlarni shakllantirishning kuchliroq manbasi hisoblanadi.

Makrokuchlanishlarni shakllantirish modelining kamchiligi, bir vaqtning o‘zida ta‘sir etayotgan mexanik va issiqlik omillarining shartli ajratilishidan, shuningdek, ular detalning yuza qatlamiga kuch yuklamasining yo‘nalishini hisobga olmasligidan iborat. Kuch yuklamasining yo‘nalishi, shubhasiz, deformatsiyalarning intensivligiga ham uning yo‘nalishiga ham ta‘sir qiladi, shu bilan detalning yuza qatlamida ham cho‘zuvchi, ham siquvchi qoldiq kuchlanishlarning paydo bo‘lishiga olib keladi.

Qoldiq mikrokuchlanishlar metallda turli xil tuzilishi nuqsonlari, birinchi navbatda deformatsiya va kuchlanishlarni keltirib chiqaradigan dislokatsiyalar, dislokatsiya devorlar (bloklar va yacheykalar qirralari) shaklida chiziqli nomukammalliklarning mavjudligi bilan bog‘liq. Mikrokuchlanishlarning hosil bo‘lishining sababi, shuningdek, donalarning o‘zaro ta‘siri ham hisoblanadi. Haqiqiy polikristallik jism (po‘latlar va qotishmalar) mexanik xususiyatlarning anizotropiyasiga va donalarning (kristallitlarning) ixtiyoriy yo‘nalishiga ega, bu qo‘shni donalarning bir jinslimas deformatsiya darajasini va ularda tashqi yuk ta‘siri ostida qoldiq mikrokuchlanishlarning paydo bo‘lishini keltirib chiqaradi. Agar qo‘shni donalar turli fizik-mexanik xususiyatlarga ega bo‘lgan turli fazalarni namoyon etsa, deformatsiyaning bir jinslimasligi kuchayishi mumkin. Shuning uchun ko‘p fazali qotishmalar uchun fazalararo mikrokuchlanishlarning paydo bo‘lishi xarakterlidir.

III turdagi qoldiq kuchlanishlar yanada kichikroq, dislokatsiyalar atrofidagi atomlar guruhi bilan taqqoslanadigan hajmlarda muvozanatlashadi va nuqtali nuqson bilan bog‘liq bo‘lgan panjara tugunlaridan atomlarning statik siljishlarining kattaligini xarakterlaydi. Uzluksiz muhitlar mexanikasida nuqtali nuqson $\varepsilon \cong \boldsymbol{r}^{-3}$ elastik deformatsiyasini hosil qilishi ko‘rsatiladi (r– nuqsongacha bo‘lgan masofa). Shunday qilib, dona (blok) chegarasida bunday nuqsondan kelib chiqqan deformatsiya va kuchlanish R^{-3} ga proporsional bo‘lgan chekli kattalikka ega (R – dona yoki blok o‘lchami). Statik buzilishlar faqat atomlararo masofalar bilan taqqoslanadigan masofalarda sezilarli. Nuqsondan bevosita yaqinligidagi kristall panjaraning deformatsiyasini (atomlarning siljishini) uzluksiz muhitlar mexanikasi usullari bilan aniqlab bo‘lmaydi, bu esa “3-darajali kuchlanish” atamasini shubha ostiga qo'yadi va “panjaraning statik buzilishlari” haqida aytish to‘g‘riroq bo‘ladi.

Akademik N.N. Davyodenkovning fikricha, birinchi va ikkinchi turdagi qoldiq kuchlanishlar o‘rtasida fizik farq yo‘q va birinchi turdagi kuchlanish ikkinchi turdagi qoldiq kuchlanishlarning teng ta‘sir etuvchisi hisoblanadi. Binobarin, ikkinchi turdagi qoldiq kuchlanishlar, o‘z navbatida, uchinchi turdagi kuchlanishlarning teng ta‘sir etuvchisi ekanligini ta‘kidlash mumkin.

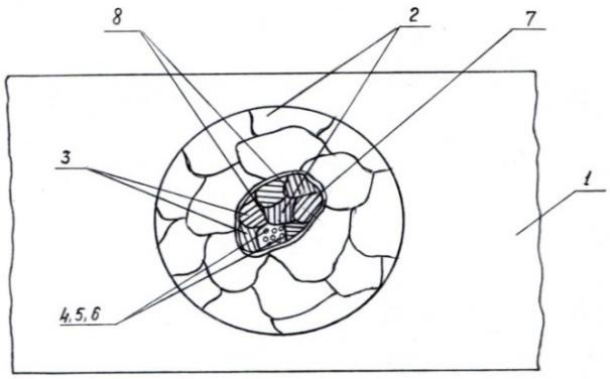
Shunday qilib, texnologik qoldiq kuchlanishlarning bunday ko‘rib chiqilishi deformatsiyalarning tuzilishli darajalari singari qoldiq kuchlanishlarning tuzilishli darajalari ierarxiyasini aks ettiradi [7]. Deformatsiyalar (kuchlanishlar) tuzilishli darajalarini ko‘rib chiqish kristall jismning plastik oqishi mexanizmining yagona fizik mohiyatini tavsiflash uchun kalit beradi. Tuzilishli darajalar (kuchlanishlar) ierarxiyasining mohiyati shundaki, har bir tuzilishli daraja past darajaga nisbatan makrodeformatsiya (makrokuchlanishlar) va yuqori darajaga nisbatan mikrodeformatsiya (mikrokuchlanish) kuzatadi.

Garchi plastik deformatsiyalashning umumiy tasvirini (oqish nazariyasi) ifodalashda sezilarli muvaffaqiyatlarga erishilgan bo‘lsada, buni yuklanishning berilgan sharoitida deformatsiyalash yo‘lini taxmin qilish borasida nazariy va eksperimental ma‘lumotlarni yaqinlashtirish maqsadida, shuningdek, elastik-plastik deformatsiyalashda jismda yuzaga keladigan mikrodeformatsiyalar va ularga mos mikrokuchlanishlarni o‘rganish maqsadida

takomillashtirish kerak. Mikrodeformatsiyalar va mikrokuchlanishlarning paydo bo‘lishi yarimkristallning elastik va plastik xususiyatlarining mikroskopik bir jinslimasligi natijasi hisoblanadi, shuningdek, uning kristall donalari tuzilishidagi nomukammalliklar, ya‘ni dislokatsiyalar bilan bog‘liq. Elastiklik nazariyasi va plastiklik nazariyasida kuchlanishlar va deformatsiyalar odatda o‘rtacha juda katta miqdordagi kristall donalarni o‘z ichiga olgan elementar hajmlar doirasida o‘rtachalashtiriladi va kuchlanishlar va deformatsiyalarning o‘rtacha qiymatlari o‘rtasidagi bog‘liqliklar o‘rnatiladi, ular makroskopik bo‘ladi.

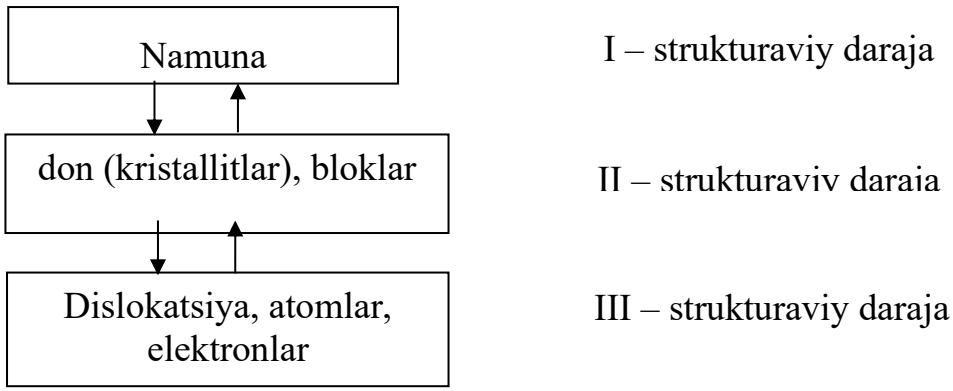
Ushbu bog‘lanish qonunini belgilashda kuchlanishlar va deformatsiyalar maydonining mikroskopik bir jinslimasligi bilan ham hisoblashish kerak, chunki ish o‘zini o‘zi muvozanatlashtiruvchi mikrokuchlanishlar tomonidan ularga mos mikrodeformatsiyalarda baholanadi, o‘rtacha kuchlanishlarning o‘rtacha deformatsiyalardagi ishi bilan taqqoslanadi. Bunday xulosaning foydasiga makroskopik bir xil deformatsiyada ajralib chiqadigan issiqlikni o‘lchash bo‘yicha ko‘plab tajribalarda aytiladi [8]. Ma‘lum bo‘lishicha, ajralib chiqqan issiqlikning mexanik ekvivalenti doimo deformatsiya darajasiga qarab 5-8% chegarasida sarflangan ishdan kamroq bo‘ladi. Binobarin, bir xil deformatsiyalangan elastik-plastik jismda barcha yuklamalar olib tashlangandan so‘ng, unda elastik deformatsiya maydoni va unga mos qoldiq kuchlanishlar maydoni shakllanadi, ularning paydo bo‘lishi kristall jismning mexanik xususiyatlarining mikroskopik bir jinslimasligi bilan tushuntiriladi.

Tuzilishli elementlarni (1-rasm) va eng oddiy sxemani (2-rasm) ko‘rib chiqamiz



1-rasm. 1-namuna; 2-don (kristallitar); 3-mozaik bloklar; 4,5,6-dislokatsiyaga tegishli, atomlar, elektronlar; 7 – don chegaralari; 8 – mozaik bloklar chegaralari

1-rasm. Tuzilishli elementlari



2-rasm. Yarimkristal jism uchun deformatsiyalarning tuzilishli darajalari ierarxiyasi

Yuqoridagilarga yana shuni qo‘shimcha qilamizki, oqish chegarasidan tashqari namunada makrodeformatsiyalar va makrokuchlanishlarning bir xilligi bilan nafaqat elastik, balki plastik bir jinslimas mikrodeformatsiyalar ham paydo bo‘ladi, ular [8] tajribalarda aniqlanmaydi, ammo

ularga, aftidan, elastik qoldiq mikrodeformatsiyalarga sarflangan ish bilan taqqoslanadigan kattalikdagi ish sarflanadi. Shuning uchun aslida jismning plastik deformatsiyasi uchun zarur bo‘lgan barcha ishdan, kamida 10-15% o‘zini o‘zi muvozanatlashtiruvchi mikrokuchlanishlar va ularga mos mikrodeformatsiyalar hisobiga to‘g‘ri kelishi kerak deb taxmin qilinadi.

Qattiq jismlar fizikasida [9] metallardagi yoki qotishmalardagi mexanik kuchlanishlar, ularni keltirib chiqaradigan sabablardan (kuchlar, harorat, yuqori energiyali zarralar va boshqa omillar ta‘siridan) qat‘i nazar, kristall panjaraning buzilishi natijasi sifatida ko‘rib chiqiladi. Binobarin, texnologik qoldiq makrokuchlanishlar ham submikroskopik kuchlanishlar uchun bu kuchlanishlarni shakllantirish mexanizmining yagona fizik modeli mavjud bo‘lishi mumkin – atom yoki dislokatsiya modeli. Boshqacha qilib aytganda, metallning plastik oqishi tabiatini tushunish va tasvirlash uchun mexanik ishlash vaqtida deformatsiyalanayotgan kristall jismlarning yuza qatlamining dislokatsiya tuzilishli darajasini tahlil qilish kerak.

Mutlaqo aniqki, qoldiq makrokuchlanishlarning kattaligi va belgisi dislokatsiyalarning zichligi va taqsimlanish qonuni, shuningdek, kristall panjaraning boshqa nomukammalliklari bilan xarakterlanadigan dislokatsiya tuzilishiga bog‘liq. Bir xil (musbat yoki manfiy) dislokatsiyalarning parallel sirpanish tekisliklarida ko‘p to‘planishi kristall panjaraning deformatsiyasiga (egriligi) olib keladi, bu metallning yuza qatlami shu hajmida qoldiq makrokuchlanishlarning shakllanishiga olib keladi.

Mexanik ishlash vaqtida plastik deformatsiya va kontakt jarayonlar termodinamikasi haqidagi dislokatsiya tasavvurlarga asoslangan tuzilishli-energetik model [10] bo‘yicha ko‘rib chiqiladigan qoldiq kuchlanishlarni tuzilishli qoldiq kuchlanishlar deb atash kerak. Bunday nom kuchlanishlarning shakllanishining haqiqiy tasvirini deformatsiyalarning tuzilishli darajalarini ko‘rib chiqish asosida yagona fizik kontseptsiyalardan aks ettiradi, va dislokatsiya darajaning tanlanishi qoldiq kuchlanishlarning shakllanish kinetikasi haqidagi mikro va makro tasavvurlarni loyiha qilish uchun ishonchli vosita bo‘lib xizmat qiladi.

L. Klebro, D. Mak Lin, Dj. Martin va boshqa mualliflarning fikriga ko‘ra [11], kristallning plastik deformatsiyasi jarayonida to‘plangan deyarli barcha energiya kristall panjaraning paydo bo‘lgan chiziqli nuqsonlari – dislokatsiyalar tomonidan keltirib chiqarilgan deformatsiya energiyasiga to‘g‘ri keladi, ya‘ni metallar va qotishmalarning deformatsiyali mustahkamlanishi asosan dislokatsiyalar bilan bog‘liq. Dislokatsiyalarning kesishishi natijasida paydo bo‘lgan bo‘sh joylar va panjara tugunlari orasidagi atomlar ko‘rinishidagi nuqtali nuqsonlarning energiyasi to‘plangan energiyaning arzimas qismini tashkil qiladi. Nuqtali nuqsonlar, kam sonliligi va yuqori harakatchanligi bilan ajralib, metallarning deformatsiyali mustahkamlanishida muhim rol o‘ynamaydi. D. Mak Linning ma‘lumotlariga ko‘ra, dislokatsiyalar, bo‘sh joylar va kiritilgan atomlarning nisbiy hissasi 4,5 : 2 : 1 nisbatga mos keladi.

Shunday qilib, yashirin energiyani to‘plashning asosiy manbai metall kristall tuzilishining chiziqli nomukammalliklari – elastik buzilishlarga va binobarin, qoldiq kuchlanishlarning yaratilishiga olib keladigan dislokatsiya chiziqlar tarmog‘i hisoblanadi. Albatta, qoldiq kuchlanishlar va dislokatsiyalarning asosiy parametri – dislokatsiyalar zichligi ρ o‘rtasida o‘zaro bog‘liqlikli bog‘liqlik mavjud bo‘lishi kerak.

Shuni ta‘kidlash kerakki, dislokatsiyalar javobgar bo‘lgan yashirin energiya U_s ulushini baholashning har qanday urinishi faqat dislokatsiyalarning zichligi va taqsimlanishi haqidagi ma‘lumotlar mavjud bo‘lganda mumkin. Tajriba yo‘li bilan bu nozik kristall tuzilishining xususiyatlari bevosita yedirilish chuqurchalari va elektron mikroskopiya usullari orqali aniqlanadi [12].

Ko‘p sonli eksperimental va analitik tadqiqotlar asosida V.K.Starkov [13] tomonidan deformatsiyalashning yashirin energiyasi U_s ni kesish orqali ishlashda sifatning kompleks energetik mezoni sifatida ko‘rib chiqish taklif etilgan. U deformatsiyalashning yashirin energiyasi darajasi va taqsimlanish xarakterining mikroquvvat, deformatsiyali mustahkamlash darajasi, shuningdek, ishlangan yuzaning aniqligi va g‘adir-budurlik kabi yuza qatlam holatining fizik-

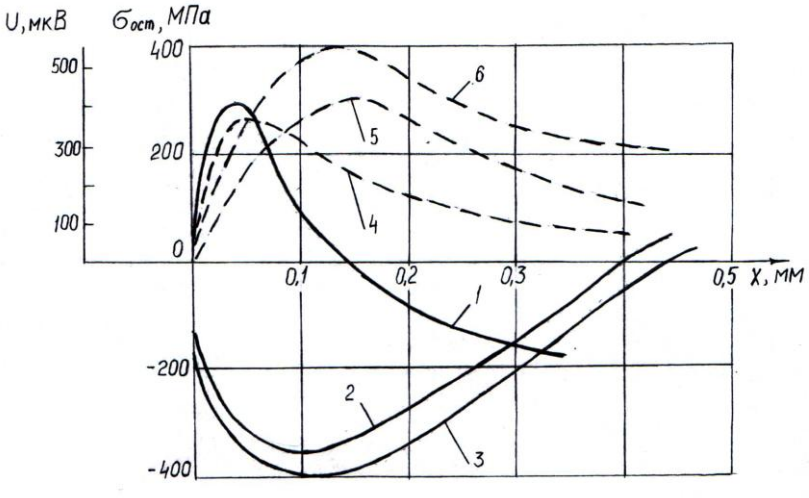
mexanik parametrlariga ta‘sirini aniqlagan. Biroq qoldiq kuchlanishlar bo‘yicha hech qanday ma‘lumotlar yo‘q va faqat faraziy ravishda qoldiq kuchlanishlar va dislokatsiyalar zichligi o‘rtasidagi mumkin bo‘lgan o‘zaro bog‘liqlik haqida ko‘rsatiladi.

Yashirin energiya Us elastik deformatsiyalash bilan yaratilmaydi, chunki deformatsiyalovchi kuchlar olib tashlangandan so‘ng darhol relaksatsiya boshlanadi va ichki energiya o‘zining dastlabki qiymatiga qaytadi. Faqat metallning plastik deformatsiyasi natijasida yuzaga keladigan qoldiq kuchlanishlar puxtalash yashirin energiyasiga o‘z ulushini qo‘shadi.

Yashirin energiya U_s va qoldiq kuchlanishlar $\sigma_{ост}$ o‘rtasidagi o‘zaro bog‘liqlikni o‘rganish uchun toblangan va plastik deformatsiyalangan metallda dislokatsiyalarning qiymati va taqsimlanishi bo‘yicha ma‘lumotlarga tayanish kerak. Aniqlangan bo‘lishicha, toblangan metallar bir kvadrat santimetrda 10^6 dan 10^8 gacha dislokatsiyalarni o‘z ichiga oladi, deformatsiyalangan metallarda esa dislokatsiyalar zichligi yuqoriroq va ularning ehtimoliy soni 1 sm^2 da 10^{11}–10^{12} ga yetadi. Ularning taqsimlanishi metall va uning tozaligiga, shuningdek, deformatsiyaning turi, darajasi va haroratiga bog‘liq.

B.A. Kravchenko va M.S. Nerubayning [14] turli mexanik ishlashdan: tokarlik, ultratovushli mustahkamlash, mikrosharlar bilan mustahkamlashdan keyin po‘lat 45 (ст45)dan tayyorlangan namunalarning yuza qatlamida deformatsiyalashning yashirin energiyasini aniqlash bo‘yicha eksperimental tadqiqotlari ma‘lumotlari qiziqarli va muhimdir. Aniqlangan (3-rasm) bo‘lishicha, yuza qatlam chuqurligi bo‘yicha yashirin energiya U_s ning o‘zgarish xarakteri qoldiq kuchlanishlar (makrokuchlanishlar) darajasiga yaxshi o‘zaro bog‘liqlikli bog‘liqlikda bo‘ladi. Shunga o‘xshash o‘zaro bog‘liqlik ular tomonidan ekzoelektron emissiya usullari bilan metallning yuza qatlami energetik holatini o‘rganishda ham aniqlangan. Ekzoelektron emissiyasining intensivligi ham deformatsiyali mustahkamlashdan keyin yuza qatlam tuzilishining nuqsonlari bilan bog‘liq bo‘lgani uchun bunday mos kelish, albatta tasodifiy emas. Xarakterli jihati shundaki, yashirin energiyaning (3-rasm) va ekzoelektron emissiyaning maksimal qiymati maksimal qoldiq kuchlanishlarga mos keladigan ma‘lum chuqurlikda joylashgan.

Shunday qilib, keltirilgan ma‘lumotlar yashirin energiya U_s deformatsiyalashdan mahsulotlar yuza qatlamining sifatining integral ko‘rsatkichi sifatida va texnologik qoldiq kuchlanishlarning shakllanishi haqidagi mikro va makro tasavvurlarni loyihalashda ilmiy asoslangan bog‘lovchi bo‘g‘in sifatida foydalanish imkoniyati haqida guvohlik beradi.



1,4 – tokarlik; 2,5 – ultratovushli mustahkamlash; 3,6 – asbobga ko‘proq statik yuklamali ultratovushli mustahkamlash; ____ qoldiq kuchlanishlar epyuralari; ------ yashirin (yashirin) energiya darajasini xarakterlovchi egri chiziqlar

3-rasm. Turli mexanik ishlash usullarining detallarning yuza qatlamidagi energetik holat va qoldiq kuchlanishlarga ta‘siri

J.Fridelning [15] keng qamrovli rentgenografik tadqiqotlari asosida yashirin energiya va deformatsiyali mustahkamlash o‘rtasida eksperimental bog‘liqlik quyidagi ko‘rinishda olingan:

$$U_S \cong \frac{1}{2} \cdot \frac{E^*}{G^2} \cdot \sigma^2 \ , \qquad (1)$$

bu yerda E* - elastik doimiy, uning o‘rtacha qiymati siljish moduli G va hajmiy siqilish moduli o‘rtasida yotadi (ko‘pincha Yung moduli qiymati E* = E qabul qilinadi); σ – o‘rtacha ichki kuchlanish (qoldiq kuchlanish).

(1) formulani siljish paytidagi elastiklik moduli G (ikkinchi turdagi elastiklik moduli) bilan Yung moduli (bo'ylama elastiklik E) o‘rtasidagi bog‘liqlikni hisobga olgan holda o‘zgartiramiz:

$$G = \frac{E}{2(1+\mu)} \ , \qquad (2)$$

bu yerda μ – Puasson koeffitsienti.

O‘zgartirishlar natijasida quyidagilarni olamiz:

$$U_S = \frac{2(1+\mu)^2}{E}\sigma^2 , \qquad (3)$$

bu yerda o‘rtacha ichki kuchlanish σ o‘rniga qoldiq kuchlanishlar intensivligini $\sigma_{iocт}$ kiritamiz:

$$U_S = \frac{2(1+\mu)^2}{E}\sigma_{iooc}^2 \ , \qquad (3,a)$$

bundan uning ifodasini hosil qilamiz:

$$\sigma_{iocm} = \frac{1}{1+\mu}\sqrt{\frac{E}{2}} \cdot \sqrt{U_S} \qquad (4)$$

yoki deformatsiyalanayotgan materialning elastik xususiyatlarini hisobga oluvchi koeffitsient K ni hisobga olgan holda:

$$\sigma_{iocm} = K_\sigma \cdot \sqrt{U_S} \ , \quad K_\sigma = \frac{1}{1+\mu}\sqrt{\frac{E}{2}} \qquad (4,a)$$

(1) formulada o‘rtacha qoldiq kuchlanish σ dan qoldiq kuchlanishlar intensivligiga $\sigma_{iocт}$ [16] o'tish, aynan kuchlanishlar intensivligi σ_i kuchlanishlangan (shu jumladan qoldiq) holatni xarakterlashi va plastiklik shartlarini tasviflovchi tenglamalarda qo‘llanilishi bilan asoslanadi, xususan, plastiklikning energetik shartida:

$$\sigma_i = \frac{1}{\sqrt{2}}\sqrt{(\sigma_1-\sigma_2)^2+(\sigma_2-\sigma_3)^2+(\sigma_3-\sigma_1)^2} = \sigma_S \ , \qquad (5)$$

bu yerda σ_1, σ_2, σ_3 – asosiy normal kuchlanishlar; σ_s – oqish kuchlanishi (shartli emas, balki chiziqli plastik kuchlanishlangan holatdagi haqiqiy kuchlanish).

Sovuq deformatsiyalash sharoitlarida plastik deformatsiya $\sigma_i = \sigma_{0,2}$ da boshlanadi (agar oqish chegarasi $\sigma_{0,2}$ ni haqiqiy kuchlanish sifatida qabul qilsak). Deformatsiya darajasi oshishi bilan keyingi deformatsiyalash jarayonida oqish kuchlanishi σ_s mustahkamlash natijasida oshadi, va demak, σ_i plastik holatni saqlab turish uchun zarur bo‘lgan darajaga oshadi.

Bayon etilgan asosida shunday xulosa qilish mumkinki, yuza qatlam chuqurligi bo‘yicha deformatsiyalashning yashirin energiyasi U_s ning taqsimlanish xarakteri va kattaligini va elastik doimiylar E va μ ni bilgan holda, deformatsiyalanayotgan jism hajmida ularning tarqalish masshtabliligi haqida aniq ma‘lumotlar bermay turib, tuzilishli qoldiq kuchlanishlar intensivligining $\sigma_{iocт}$ tegishli qiymatlarini hisoblash imkoniyati ochiladi. Keyin, asosiy qoldiq kuchlanishlar $\sigma_{1ocт}$, $\sigma_{2ocт}$, $\sigma_{3ocт}$ orqali ularning berilgan sikllar sonida namunalarning charchoqqa (chidamlilikka) ta‘siri darajasini aniqlash kerak.

Deformatsiyalashning yashirin energiyasi U_s ni tajriba yo‘li bilan yoki kamroq mehnat talab qiladigan analitik usullar bilan aniqlash mumkin, ular o‘z ichiga quyidagilarni oladi: termodinamik (termodinamikaning birinchi qonuni asosida); dislokatsiyalar nazariyasiga asoslangan usul; ishlov beriladigan materialning deformatsiyalanish diagrammalarining energetik tahlili.

Qoldiq kuchlanishlar intensivligi $\sigma_{iост}$ ni arrali disklarning U8G instrumental uglerodli po‘latdan (mustahkamlik chegarasi σ_v=1150 MPa) tayyorlangan tishlarini drob bilan zarba orqali mustahkamlashda quyidagi ishlash rejimida aniqladilar: drob tezligi v=40 m/s, drob diametri D=1 mm, drob sarfi q=(0,75…12)·10^{-3} кгs/(см^2·s). Qoldiq kuchlanishlar intensivligini [17] uslubi bo‘yicha hisobladilar, u biz tomonimizdan ishlab chiqilgan mashina detallarini mexanik ishlashda texnologik qoldiq kuchlanishlarni shakllantirish tuzilishli-energetik modeliga asoslanadi. Ushbu uslubga muvofiq quyidagilar hisoblab chiqildi: plastik iz radiusi; botirish statik kuchi; normal bosim; zarba paytida tezlikni tiklash koeffitsienti; zarbaning solishtirma energiyasi; issiqlik energiyasi; yashirin (yashirin) energiya; qoldiq kuchlanishlar intensivligi.

Xulosalar. Qoldiq kuchlanishlar intensivligini ishlov beriladigan materialning mexanik xususiyatlari va yashirin energiyaga bog‘liq ravishda Fridelning modifikatsiyalangan formulasi bo‘yicha aniqladilar, ularning darajasi yuza qatlam chuqurligi z ga bog‘liq ravishda quyidagilarni tashkil qiladi: $\sigma_{iост}$ =1094 N/mm², z=0,05 mm; $\sigma_{iост}$ =1082 N/mm², z=0,1 mm; $\sigma_{iост}$ =933 N/mm², z=0,2 mm;

Keltirilgan uslub bo‘yicha hisoblab chiqilgan qoldiq kuchlanishlar intensivligining qiymatlari, diametri 0,8...1 mm bo‘lgan drob bilan sementlangan po‘latni drob oqimi bilan puxtalash qilishda qoldiq kuchlanishlarning eksperimental tadqiqotlari natijalari bilan yaxshi mos keladi [15]. Shuning uchun detallarning yuza qatlamidagi deformatsiya yashirin energiyasi darajasini hisobga oladigan qoldiq kuchlanishlar intensivligini aniqlashning analitik usuli qoldiq kuchlanishlangan holatni baholashning ishonchli vositasi hisoblanadi.

Shunday qilib, mexanik ishlash vaqtida metallarning plastik deformatsiyasi jarayonining dislokatsiya tasavvurlariga asoslangan deformatsiya yashirin energiyasini aniqlashning hisoblash usuli mashina detallarining yuza qatlamidagi texnologik qoldiq kuchlanishlarni shakllantirish mikro- va makroskopik miqyoslari o‘rtasidagi o‘zaro bog‘liqlikni o‘rnatish uchun ilmiy asoslangan baza yaratadi. O‘zgaruvchan yuklamalarni qabul qiladigan detal yuza qatlami sifati parametrlari orasida qoldiq kuchlanishlar eng muhim ekanligi hisobga olinsa, taklif etilgan yondashuvning dolzarbligi ularni baholash uchun butunlay aniq bo‘ladi. Tajribada tasdiqlangan analitik tadqiqotlar ma‘lumotlari texnologik qoldiq kuchlanishlar darajasi bo‘yicha mashina detallarining xizmat muddatini hisoblash va taxmin qilish usullarini ishlab chiqish uchun qimmatli material hisoblanadi va zamonaviy bosqichda mashinasozlik texnologiyasining samarali rivojlanishiga ko'maklashishi kerak.

Adabiyotlar

1. Illarion Shin, Zokhir Shodmonqulov, Sakhrobjon Nazarov and Nigora Iskandarova. (2021). Processing of teeth of saw blades of cotton processing machines with a stream of compressed air with abrasive particles. E3S Web of Conferences 304, 03033.

2. Shodmonkulov Zokhir, Ortikov Oybek, Karimbayev Djasurbek, Muminova Nargiza (2022). Simulation of a single interaction of an abrasive particle with the surface of a part during blasting. ISCMMSTIAI (Tashkent), 345-350.

3. Ortikov Oybek, Shodmonkulov Zokhir, Shin Illarion, Shakhnoza Nurbekova (2022). Abrasive blasting of the teeth of linter saws with the aim of their activation. ISCMMSTIAI (Tashkent), 337-344.

4. Сулима А.М., Шулов В.А., Ягодкин Ю.Д. Поверхностный слой и эксплуатационные свойства деталей машин. – М.: Машиностроение, 1988. – С.240.

5. Технологические остаточные напряжения. Под ред. А.В.Подзея. – М.: Машиностроение, 1973. – С. 216.

6. Кравченко Б.А., Митряев К.Ф. Обработка и выносливость высокопрочных материалов. – Куйбышев: Куйб. кн. изд., 1968. – С. 132.

7. Панин В.Е. и др. Структурные уровни пластической деформации и разрушения. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд., 1990. – С. 255.

8. Костецкий Б.И., Линник Ю.И. Исследование энергетического баланса при внешнем трении металлов // Машиноведение. 1968. – №5, – С. 82-94.

9. Павлов П.В., Хохлов А.Д. Физика твердого тела. – М.: Высшая школа, 1985. – С. 384.

10. Шин И.Г. (1996). Структурно-энергетический подход при оценке остаточных напряжений в поверхностном слое деталей, упрочненных в процессе механической обработки. Республ. науч.-техн. конф. «Приватизация предприятий текстильной и легкой промышленности, проблемы внедрения новой техники и технологии. НИЭИ, 290-291.

11. Мартин Дж., Доэрти Р. (1978). Стабильность микроструктуры металлических систем. Атомиздат, 260.

12. Новиков И.И., Розин К.М.(1990). Кристаллография и дефекты кристаллической решетки. Металлургия, 336.

13. Старков В.К. (1979). Дислокационные представления о резании металлов. Машиностроение, 160.

14. Кравченко Б.А., Нерубай М.С., Курицын В.Н. (1980). Об оценке запасенной энергии пластической деформации при резании и упрочнении. Обработка высокопрочных сталей и сплавов инструментами из сверхтвердых синтетических материалов. КуАИ, 133-136.

15. Фридель Ж. (1967). Дислокации. Мир, 643.

16. Шин И.Г. (2010). Интенсивность остаточных напряжений при поверхностном пластическом деформировании деталей машин. Упрочняющие технологии и покрытия. (2). 10-13.

17. Рыжов Н.М., Гуляев А.А., Пахомова С.А. (1986). Структура и контактная выносливость цементованной стали 12Х2Н4А после поверхностного пластического деформирования . Металлы и термическая обработка. (3). 30-33.