

RAQAMLI BOSHQARILADIGAN DASTGOHLARDA DETALLAR ISHLAB CHIQRISH UCHUN DASTURLAR YARATISHDAGI ASOSIY USULLAR

¹Sagdiyev To'liqin Axmadjonovich

²Tuychiyev Nodirbek Muxitdin o'g'li

Toshkent davlat transport universiteti, Tishkent, O'zbekiston.

<https://www.doi.org/10.5281/zenodo.8084784>

ARTICLE INFO

Received: 18th June 2023

Accepted: 26th June 2023

Online: 27th June 2023

KEY WORDS

Qismlar, mashinalar, kodlar, CNC turlari, 3D modellar, dastur yaratish, 3D modellashtirish.

ABSTRACT

Raqamli boshqaruvga ega dastgohlar (CNC) - bu materiallarni yuqori aniqlik va yuqori sifatli qayta ishlashga qodir zamonaviy innovatsion dastgohlar. Hozirgi vaqtda ular o'z imkoniyatlariga qarab turlarga bo'linadi, ya'ni ular nechta o'qda ishlashi mumkin - uch o'qdan olti o'qli mashinalargacha. Ma'lumki, barcha jihozlar tugunlardan, tugunlar esa detallardan iborat. Yaxshi ishlaydigan mexanizmida vaqt o'tishi bilan nosozliklar yuzaga keladi. Ushbu nosozliklar turli shakllarda bo'lishi mumkin. Masalan, sinish, chirish, yoriqlar va boshqalar. Buzuq qismlarni yangilari bilan almashtirish kerak bo'ladi va qisqa muddatli ishlab chiqarishda to'g'ridan-to'g'ri raqamli nazoratga ega dastgohlar kerak bo'ladi.

Ushbu maqolada nazorat qilish dasturi nima ekanligi, uni qanday to'g'ri tuzishni va qimmatbaho CNC uskunalarda xatolik va baxtsiz hodisalardan qochish uchun qanday vositalardan (usullardan) foydalanish mumkinligi tushuntirib o'tiladi. Shuningdek ularning har birini afzalliklari va kamchiliklarini tahlil qilamiz. CNC mashinasi raqamli boshqariladigan dastgoh bo'lib, qisqartmani ochishdan allaqachon savolga javobni tushunish mumkin, ammo biz bilmagan o'quvchi uchun batafsilroq tushuntiramiz. Ilk sanoat uskunalari qo'lda boshqaruvga ega edi, ya'ni odam mashina elementlarining harakatini qo'lda boshqargan. Masalan, torna dastgohida silindrsimon sirtini qayta ishlash uchun ishchi shpindelni ma'lum tezlikda ishga tushirardi, uskunani dastlabki holatiga o'rnatardi va avtomatik uzunlamasiga ishlashni boshlar edi. Biz qo'lda boshqariladigan mashinani olamiz, lekin biz asbob (kesuvchilar, kesgichlar va boshqalar) servo drayvlar va vosita shpindellari yordamida turli tekisliklarda o'z-o'zidan harakatlanishiga ishonch hosil qilamiz. Biz barcha turdagi parametr o'rnatamiz - aylanish tezligi, harorat va og'irlik. Va biz bu qismni ishchi tomonidan emas, balki mashinaning o'zi tomonidan qayta ishlashiga ishonch hosil qilamiz. Bunday avtomatik mashinani boshqarish uchun bizga CNC birligi - raqamli boshqaruv deb ataladigan ma'lum bir boshqaruv moduli kerak. Har bir CNC birligi mashinaning barcha asosiy qismlariga ulangan bo'lib, ularni boshqarish yoki kuzatish mumkin. Mashinaning ishlashini avtomatlashtirish uchun CNC bloklari kerak. Keyinchalik, biz nazorat qilish dasturini yozamiz, qayerga borish



kerak va qanday aylanish kerakligini mashina bajaradi. Uskunalarni boshqarishni avtomatlashtirish qismlarni ishlab chiqarishda unumdorlik va moslashuvchanlikni sezilarli darajada oshirishi mumkin. Bitta zamonaviy CNC dastgohi mahsuldorlik bo'yicha 5-10 xil qo'lda ishlaydigan dastgohlarning o'rnini bosa oladi.

CNC mashinasini boshqarish dasturi nima? Boshqarish dasturi qismlarga ishlov berish algoritmini o'z ichiga oladi. Birinchi CNC dastgohlari uchun ishlov berish algoritmlari perfokartalarda, keyinroq esa floppi va magnit lentalarda qayd etilgan. XXI asrda CNC uskunalarini dasturlash uchun maxsus dasturlash tili qo'llaniladi, bu shartli ravishda "G-kod" deb ataladi. Boshqaruv dasturi G-kod dasturlash tilidagi matn fayli bo'lib, u CNC uskunasida qismni qayta ishlash uchun mashina elementlarining harakatlanish algoritmini o'z ichiga oladi.

CNC dastgohlarining turlari. Qismlarning geometriyasi va aniqligiga qarab, ularni ishlab chiqarish uchun turli xil ishlov berish usullari qo'llaniladi: burilish, frezalash, silliqlash, elektroyeroziv va boshqalar. Har bir usul yoki ularning kombinatsiyasini amalga oshirish uchun turli xil CNC mashinalari mavjud. Biz CNC torna va frezalash mashinalarining eng mashhur va keng turlaridan ikkitasini batafsilroq ko'rib chiqamiz. CNC tornalari mashinaning ish qismi ishlov beriladigan qism bilan birga aylanadigan shpindelga o'rnatiladi. Aylanadigan ish qismiga nisbatan uskuna ikki yo'nalishda, radial va uzunlamasiga harakat qiladi, ishlov beriladigan qismdan materialni kesib tashlaydi. Zamonaviy CNC dastgohlari qo'shimcha elementlar va yig'ilishlarni o'rnatish orqali frezalash, burg'ulash, yo'nish, ishlov berish usullarini birlashtirishi mumkin.

CNC frezalash mashinalari. Ushbu mashinalarda "aylanmaydigan" turdagi qismlarga ishlov beriladi, masalan, qutilar, tutqichlar va boshqalar. Maxsus ko'p kesish asbobi – to'sar shpindelga o'rnatiladi, uni aylantiradi. To'sar turli yo'nalishlarda harakat qiladi va shu bilan ishlov beriladigan qismdan materialni olib tashlaydi. Zamonaviy CNC frezalash mashinalari qo'shimcha elementlar va yig'ilishlarni o'rnatish orqali, masalan, burilish stoli variantlarini o'rnatish orqali tornalash, burg'ulash, yo'nish, silliqlash usullarini birlashtirishi mumkin.

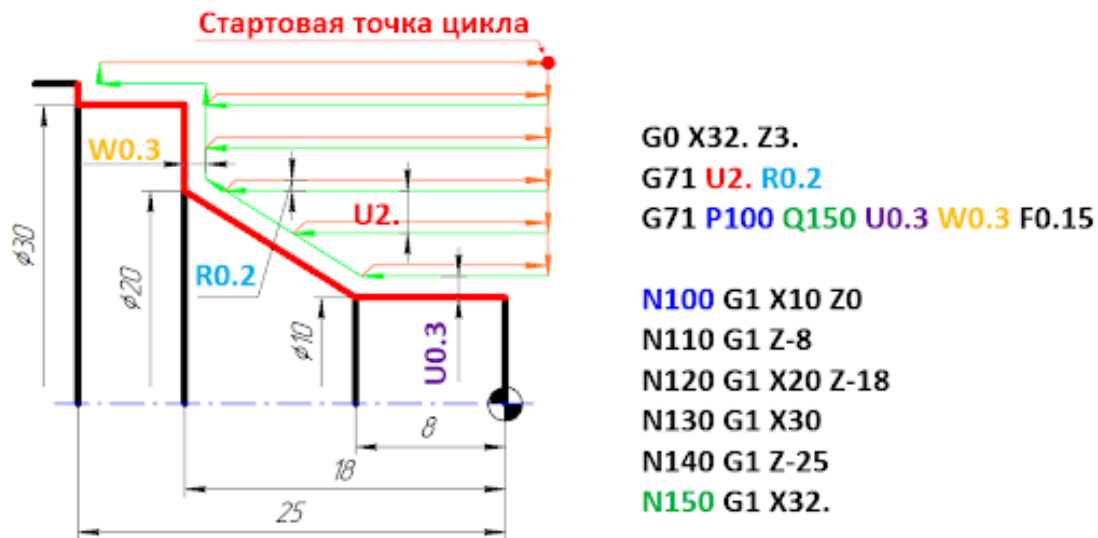
Boshqa CNC mashinalari. Yuqorida aytib o'tilganidek, mashinalarning juda ko'p turlari mavjud, shuningdek, silliqlash, elektroyeroziv, tishli silliqlash, tishli yo'nish, metall plitalarni lazer bilan kesish, bukuvchi presslar va boshqalarni ajratish mumkin. Shuningdek, mashinalar dizayni va kinematikasi bilan farqlanadi – aniqlik, CNC tizimlari, ish maydoni o'lchamlari va boshqa ko'plab variantlar. Shuning uchun, texnologik muammolarni hal qilish uchun optimal uskunani tanlash juda qiyin.

CNC mashinalari uchun boshqaruv dasturlarini yozish usullari. CNC uskunalari uchun boshqaruv dasturlarini yozishning faqat uchta asosiy usuli mavjud – qo'lda, CNC rafida (dastgohning o'zida), avtomatlashtirilgan CAD / CAM tizimlarida. Keyinroq, biz har birini qisqacha ko'rib chiqamiz va asosiy afzalliklari va kamchiliklarini ta'kidlab o'tamiz.

Dasturni qo'lda yozish. Avval mos yozuvlar nuqtalarining koordinatalarini hisoblash va asbobni bir nuqtadan ikkinchisiga o'tkazish ketma-ketligini tavsiflash kerak, shuningdek, maxsus funksiyalarni yoqish uchun kodlarni yozish kerak. Masalan, kesish suyuqligi ta'minotini yoqish, asboblarni almashtirish va boshqalar. CNC tizimiga o'rnatilgan maxsus dasturlar turli xil ishlov berish funksiyalarini avtomatlashtiradi – frezalash, burilish, burg'ulash, yo'nish va hokazo.

Afzalliklari: Oddiy geometriyaga ega bo'lgan qismlarga ishlov berish yoki yordamchi o'tishlarni amalga oshirish uchun, masalan, yuzani kesish yoki tekislikni frezalash uchun juda oddiy dasturlarni yozishda (70 satrdan kam kod) boshqa usullarga qaraganda bir oz tezroq; bunday detallarga kerakli dasturlarni (CAD/CAM tizimlari) ni ishlab chiqarish uchun qimmatbaho maxsus dasturiy ta'minotni sotib olishning hojati yo'q.

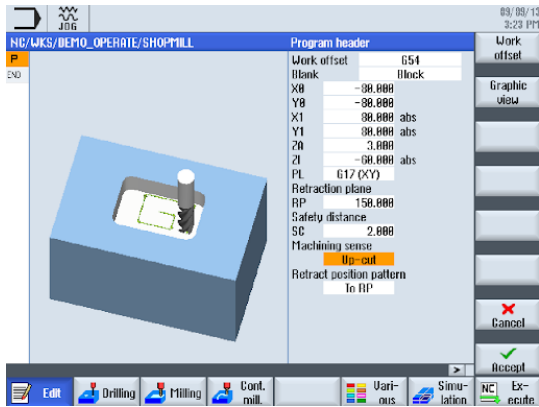
Kamchiliklari: Agar 70 dan ortiq kod satri bo'lsa, dastur yozishning katta mashaqqatligi; CNC uskunalari uchun siklning uzoq vaqtdan beri rivojlanishi koddagi xatolarni tuzatish, texnologik jihozlar va asboblarning to'g'risidagi ma'lumotlarning yo'qligi, mashina elementlarining harakatlanish chegaralaridan oshib ketishi va boshqalar bilan bog'liq; Mashinada dasturlarni ishlab chiqishda koddagi xatolar, ish qismining teshiklari yoki pastki kesilishi tufayli rad etishlarning katta foizi sodir bo'ladi; Boshqarish dasturi matnidagi xatolar tufayli asbob yoki CNC asbobimimga sinish ehtimoli yuqoriligi; Murakkab erkin shaklli geometriyaga ega qismlar (matritsalar, turbinalar, g'ildiraklar va boshqalar), shuningdek, zamonaviy ishlov berish usullari (HEM – yuqori samarali frezalash, HSM – yuqori tezlikda frezalash) uchun dastur qo'ldani ishlab chiqish ilojisiz. (yuqori yemli frezalash va boshqalar). Qo'lda dasturlash 30-40 yil oldin, kompyuter tizimlarining rivojlanish darajasi pastligi sababli ommaviy ravishda qo'llanilgan. Hozirgi vaqtda ushbu usuldan foydalanish juda samarasiz va ba'zan xavflidir, chunki eng kichik xatolik qimmat CNC uskunasi sinishi yoki ishdan chiqishiga olib kelishi mumkin. Lekin qo'lda dasturlashdan foydalanish operatorlar, texnologik muhandislar va CNC dasturchilarni tayyorlashning boshchiligida foydalidir, chunki ular "G – kod" ning asosiy buyruqlarini eslab qolishadi va dastur yozishning asosiy tamoyillarini tushunishadi.



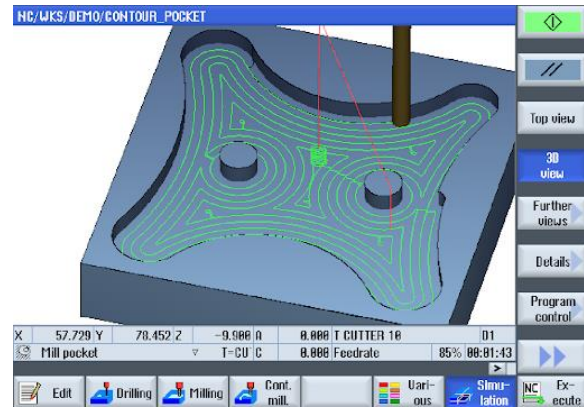
1-rasm. Qoralama aylanish sikli.

CNC da dastur yozish. CNC dastgohida bosimining ko'tarilishini qo'lda yozish mumkin. Interaktiv dasturlash rejimi nima? Bular maxsus niqoblar yoki parametrlarni vizualizatsiya qiluvchi jadvallar, shuningdek, kontur va nuqtalarni qayta ishlash uchun interfaol vositalar to'plami mavjud. Ushbu ma'lumotlarga asoslanib, CNC tizimi asboblarning yo'llari uchun "G-kod" ni yaratadi. Bundan tashqari, 2D/3D rejimida "asbob-ish qismi" turini qayta ishlashni simulyatsiya qilish mumkin. Mashina stendida dastur yozish uchun asboblarning ibtidoiydir, shuning uchun ular torna uchun NC ni va murakkab bo'lmagan qismlar uchun frezalashni

ishlab chiqishga imkon beradi. Kichik bir eslatma, dastur yozish uchun eng yaxshi amalga oshirilgan interaktiv rejim sinumerik tokchalaridir, bundan tashqari uni kompyuterda CNC-rack emulyatorini va mashina shablonini sotib olish mumkin, keyin kompyuterda interaktiv rejimda dastur yozish mumkin va uni mashinaga o'tkaziladi. Bu qulay usul hisoblanadi, shunday emasmi?



2-rasm. O'tishni amalga oshirish uchun parametrlar bilan chegara



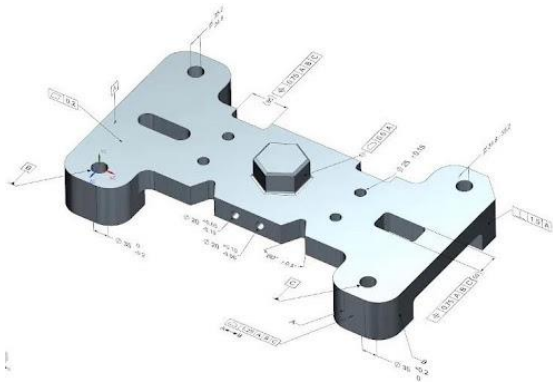
3-rasm. CNC stendida 3D simulyatsiyasi.

99% hollarda mashinadagi dasturlar operatorlar tomonidan ishlab chiqiladi, bundan kelib chiqib, ushbu usulning ijobiy va salbiy tomonlariga o'tamiz.

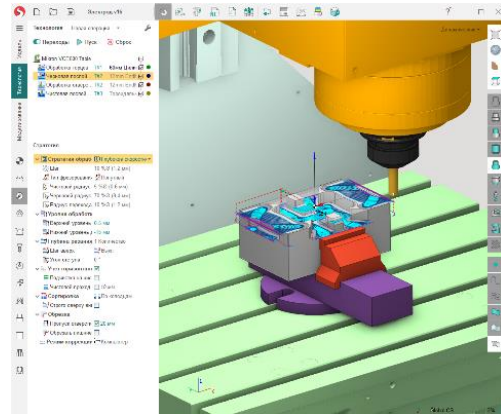
Afzalliklari: Oddiy geometriyaga ega qismlarni qayta ishlash uchun dasturni tez yozish; Dastur to'g'ridan-to'g'ri ish joyida yoziladi, Dasturni diskka raskadrovka qilishda operator zudlik bilan o'zgarishlar kiritadi; Chuqur bilimni talab qilmaydigan oddiy, interaktiv dasturlash rejimi; Dastur (CAD/CAM tizimlari) ni ishlab chiqish uchun qimmatbaho maxsus dasturiy ta'minotni sotib olish va mutaxassislarni izlash yoki o'qitishning hojati yo'q.

Kamchiliklari: Hujjatlarning yo'qligi va nazorat dasturlarini markazlashtirilgan holda saqlash; Ishlab chiqarish samaradorligining pasayishi, operatorlar tomonidan optimal bo'lmagan trayektoriyalar va ishlov berish rejimlarini tanlash; Operator dastur yozganda uskunaning ishlamay qolishi; Ko'p sonli ishlov beriladigan yuzalarga ega qismlar uchun dastur yozishning katta mashaqqatliligi; CNC tokchalarida dasturni simulyatsiya qilish ishlov beriladigan qismning teshiklari yoki pastki qismlarini, favqulodda to'qnashuvlarni va hokazolarni aniqlashga imkon bermaydi, shuning uchun dasturni uzoq vaqt davomida qayta ishlash va nuqsonli ish qismlarining ko'payishi; dasturni yozishda operator xatolari tufayli asbob yoki CNC mashinasining sinishi ehtimolini oshirish; Murakkab erkin shaklli geometriyaga ega qismlar (matritsalar, turbinalar, g'ildiraklar va boshqalar), shuningdek, zamonaviy ishlov berish usullari (HEM, HSM, HFM) uchun dasturni ishlab chiqish mumkin emas. CNC dastgohidagi interaktiv dasturlash rejimini dasturni ishlab chiqish uchun to'liq huquqli dasturiy ta'minot sifatida qabul qilmaslik kerak, aksincha bu dasturni qo'lda yozish jarayonini soddalashtirish va tezlashtirish imkonini beruvchi foydali variant. Mexanizm operatorining asosiy vazifasi yuqori sifatli mahsulot ishlab chiqarish va CNC dastgohlarining texnologik muhandislari va dasturchilari o'rniga ishlab chiqarishni texnologik tayyorlash bilan shug'ullanmaslikdir. UYe yozishning bu usuli nisbatan oddiy tornalash va 2,5D frezalash uchun kichik assortimentdagi mahsulotlar bilan eng yaxshi qo'llaniladi. Avtomatlashtirilgan CAD/CAM tizimlarida dastur yozish kompyuter texnologiyalarining rivojlanishi bilan

mahsulotlarni loyihalash va ularni ishlab chiqarish uchun maxsus dasturiy ta'minot paydo bo'ldi. CAD tizimi (Computer-aided design) – mahsulotlarning 3D modellarini ishlab chiqish uchun maxsus dasturiy ta'minot. CAM tizimi (Computer Aided Manufacturing) – CNC uskunalar uchun dasturlarni ishlab chiqish uchun maxsus dasturiy ta'minot. Birinchidan, CAM tizimiga qism va shu qismning 3D modellarini import qilish kerak, keyin ishlov berish ketma-ketligi va asboblarni yo'llarini yaratish uchun maxsus asboblarni va shablonlardan foydalaniladi. Bundan tashqari, dasturni tekshirish va undagi xatolarni bartaraf etish uchun mashinaning maxsus bo'limlari yordamida trayektoriyalarni simulyatsiya va tekshirish amalga oshiriladi. Muhimi, asboblarni yo'llarini "G-kod" ga aylantirish uchun post-processor talab qilinadi.



4-rasm. Ma'lumot 3D modeli



5-rasm. CAM tizim interfeyslari

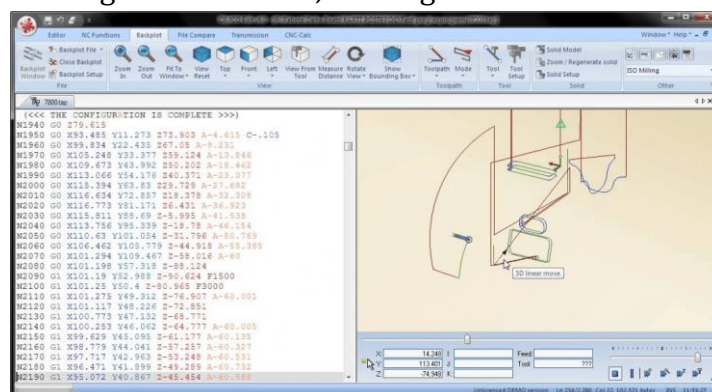
CNC dastgohida ishning bajarilishi. CNC uskunasida operatsiyani bajarish uchun bir qator ko'rsatmalar yoki me'yoriy hujjatlarni tayyorlash kerak: smenali kunlik vazifa, operatsion jadval va mashinani sozlash sxemasi. Keling, keyin ularni qisqacha ko'rib chiqaylik. CNC uskunalar uchun ish qismini qayta ishlash uchun quyidagilar kerak: Uskunani o'rnatish; Asbobni kerakli ofsetlar bilan yig'ish va uni dastgohning ma'lum kataklariga o'rnatish; Blankni o'rnatish (ba'zan bu oson emas); Ishlov berish uchun "Nol nuqtalarni" to'g'rilash (G54, G55 va boshqa koordinatalar). Ushbu koordinatalar tizimidan ("nol nuqta") dasturdagi barcha harakatlar hisoblab chiqiladi; Qo'shimcha maxsus sozlamalar, masalan, gidravlik dastgohdagi jag'larning siqish kuchini sozlash, sovutish suvini o'zgartirish, mashina o'qlarini kalibrash va boshqalar. Algoritmga muvofiq ishlov berishni bajarish. Dastur texnologik to'xtashlarni ta'minlashi mumkin, masalan, ish qismini chiplardan tozalash, o'lchamlarni yoki asboblarni tekshirish va hokazo. Birinchi qism ishga tushirish qismi hisoblanadi, uni ishlab chiqarish jarayonida UYedagi xatolar aniqlanadi va tuzatiladi, sifatni tasdiqlash uchun nazorat bo'limiga o'lchash uchun topshiriladi.

Dasturiy ta'minot turlari. Avvalroq, bilvosita dastur yozish uchun dasturiy ta'minot mavzusiga to'xtalib o'tildi, endi esa batafsilroq to'xtash vaqti keldi. dasturni qo'lda yozish uchun ishlov berish trayektoriyalarini tasavvur qilish va "asbob-blank" tipidagi eng oddiy simulyatsiyani o'tkazish imkonini beruvchi maxsus muharrirlar mavjud. Ushbu dasturiy ta'minot nisbatan arzon, ammo funktsionallik cheklangan. Eng yaxshi kichik torna va frezalash dasturlarini yozish va o'qitish uchun ishlatiladi. Eng mashhuri CIMKO muharriri bo'lib, u dasturlarni tekshirish va tahrirlash uchun oddiy, arzon, ishonchli vosita sifatida texnolog-dasturchilar uchun standart bo'ldi. Turli xil vositalarga ega ko'plab boshqa muharrirlar

mavjud, ular bilan tanishib chiqish tavsiya qilinadi. Biz CNC dastgohida bosimning ko'tarilishi haqida batafsil to'xtalib o'tmaymiz, faqat shuni eslatib o'tamizki, dastur yozish jarayonini osonlashtirish uchun interaktiv dasturlash rejimi uchun CNC mashinasi variantlarini sotib olishni unutmash kerak. Qoida tariqasida, CAM tizimida dasturni ishlab chiqish uchun qism va ish qismining 3D modeli talab qilinadi, ular SAPR tizimlarida dizaynerlar tomonidan ishlab chiqilgan. Hozirgi vaqtda ko'plab qismlar raqamlashtirilmagan, shuning uchun ko'pincha muhandislar eski chizmalar asosida qismlarning 3D modellarini mustaqil ravishda yaratadilar. Ko'pgina SAPR va CAM tizimlari mavjud. To'liq huquqli yagona platformalar bo'lib, ular yordamida turli xil vazifalarni bajarish uchun ko'plab vositalar mavjud, masalan, Siyemens NX dasturiy ta'minoti. Va SolidWorks CAD tizimi va SprutCAM tizimi kabi alohida SAPR yoki CAM dasturlari. Dasturiy ta'minot ishlab chiqaruvchilari juda ko'p, ularning barchasi turli xil vositalar va xususiyatlarga ega. Qoida tariqasida, ishlab chiqaruvchilar turli xil konfiguratsiyalarni taqdim etadilar, masalan, 3 o'qni burilish yoki frezalash uchun dastgohni sozlash mumkin va hokazo. Ilgari Siyemens NX, SolidCAM, MasterCAM, PowyerMill, FeatureCAM, SolidWorks xorijiy ishlab chiqaruvchilarning dasturiy ta'minoti bozorda eng mashhur bo'lgan, ammo hozirgi haqiqatda Rossiyaning SprutCAM, ADEM, KOMPAS-3D ishlanmalari dolzarb bo'lib qoldi.

CNC dasturlarini qanday yozish kerak? Ikkita variant mavjud: qism tartibidan avtomatik ravishda dastur yaratish yoki uni noldan yozish. Ko'pincha birinchi variant qo'llaniladi – avval muhandis-konstruktorlar 3D modelni chizishadi (buning uchun maxsus dastur mavjud), so'ngra dasturning o'zi chizilgan detalni olish uchun mashina uchun kerakli kodni yaratadi. Ushbu yondashuvning kamchiligi shundaki, kod suboptimal bo'lib chiqishi mumkin, uni ishlatish uchun juda ko'p vaqt ketadi yoki jarayonda juda ko'p chiqindilar ajralib chiqadi.

Ikkinchi yondashuv – dasturni noldan qo'lda yozish. Buning uchun siz mashinaning barcha parametrlarini va har bir sensorning mumkin bo'lgan holatlarini mukammal bilishingiz kerak. Bu qiyinroq, lekin qismning qanday tayyorlanishini ko'proq nazorat qiladi. Amalda ular odatda shunday qilishadi: ular uch o'lchamli modelni chizishadi, unga asoslangan CNC kodini yuklaydilar va agar kerak bo'lsa, uni o'zgartiradilar.



6-rasm. Dastur mashina uchun kod yaratdi (agar kerak bo'lsa, darhol tuzatilishi mumkin)

Bu dasturlar nimada yozilgan? CNC mashinalari uchun kod G-kod dasturlash tilida yozilgan. Bu barcha CNC mashinalari uchun nisbatan keng tarqalgan standartdir, ammo uning qismlari, kodlari va ketma-ketligi ishlab chiqaruvchidan farq qiladi. Oddiy qilib aytganda,



dasturni bitta kompaniyaning mashinasidan o'tkazib bo'lmaydi va uni boshqa kompaniyaning mashinasida ishlata olib bo'lmaydi, ya'ni buyruqlar mos kelmasligi mumkin. G-kod tili shunday deb ataladi, chunki unda deyarli barcha buyruqlar G harfi bilan boshlanadi, undan keyin raqamlar – mashina uchun buyruqlar. M kodlar ham bor – u qo'shimcha kodlarni belgilash uchun ishlatiladi va O – pastki dasturlar uchun. Ammo bu bo'linish shartli va har bir mashina ishlab chiqaruvchisi uchun farq qilishi mumkin. CNC dasturi nimaga o'xshaydi? Agar biz kodni ko'rib chiqsak, buni ko'ramiz:

N1 G17 G20 G34 G40;

N2 T1 M16;

N3 S8600 M2;

N4 G54;

N5 M8;

...

N-kod qator raqami uchun javob beradi – agar ma'lum bir qatorga o'tish yoki buyruqlarning bir qismini o'tkazib yuborish kerak bo'lsa, ular foydali bo'lishi mumkin. M detallar uchun mas'uldir, masalan, N3 S8600 M2 buyrug'i ish milini (M2 buning uchun mas'ul) 8600 ayl/min tezlikda aylantirish kerakligini anglatadi (S8600 buyrug'i). Shunday qilib, buyruq ortidan buyruq, mashina ma'lum harakatlarni bajaradi va chiqish kerakli bo'lgan qismdir. Mashinani dasturlashning xususiyatlari har bir dastur va o'zgaruvchi uchun xotiraning yangi va bo'sh qismi ajratilgan kompyuterdan farqli o'laroq, dastgoh asboblarda hamma narsa boshqacha. Gap shundaki, ishga tushirish vaqtida dastur to'sarlarning qanday holatda ekanligini, yo'riqnomalar maxkamlanganmi yoki yo'qmi va hokazolarni bilmaydi. Agar dasturni hozircha tayyorlanmasdan ishga tushirilsa, masalan, CNC to'sarni chapga ko'chirishi mumkin, lekn u allaqachon chap holatda bo'ladi va keyin uskuna jihozi yoki to'sar o'rnatilishi sinishi mumkin. Buning oldini olish uchun, har bir ishga tushirishdan oldin, har bir elementni asl holatiga qaytarish uchun dasturga nol qilish va ishga tushirish buyruqlari o'rnatilgan. Bu shunchaki qayerda ekanligini tekshirishdan ko'ra yaxshiroqdir – nolga tenglashtirgandan so'ng, biz mashinaning barcha elementlari biz bilgan holatda ekanligini va dastur ular bilan to'g'ri ishlay olishini aniq bilib olamiz. Mashinalarning material bilan ishlashini ham tushunish kerak: metall, yog'och, akril, tosh va boshqalar. Materiallar nomukammal, ularda ichki nuqsonlar bo'lishi mumkin – erishi, yorilishi, darz ketishi va sinishi mumkin. Kesuvchilar va shpindellar, shuningdek, isitish, kuch va tezlik uchun chegaralarga ega bo'lgan ba'zi materiallardan tayyorlangan. Agar kompyuter kodida xatoga yo'l qo'yilsa va xotiraning to'lib ketishiga olib kelinsa, u holda kompyuter shunchaki "muzlaydi" va uni qayta ishga tushiriladi. Va mashinada to'sarni sindirish yoki milga zarar yetkazish mumkin. Bu boshqa tillardagi kabi bir xil dasturlash va algoritmlarmi? Biz serverni yoki zavoddagi mashinalarni dasturlashimizdan qat'iy nazar, algoritmlar hamma narsaning asosini quyidagilar tashkil qiladi: mantiq, o'zgaruvchilar, sikllar, pastki dasturlar va shartlarni tekshirish. Shuning uchun, agar siz algoritmlarning qanday ishlashini bilsangiz va har qanday dasturlash tilida dasturlasha olsangiz, CNC dasturlashni o'zlashtirish ancha oson bo'ladi.



References:

1. Павлов С. Механика самодельного станка ЧПУ
(https://www.mirstan.ru/files/CNC_Literature/CNC_mechanics.pdf)
2. Сосонкин В.Л., Мартинов Г.М. Методика программирования станков с ЧПУ на наиболее полном полигоне вспомогательных G-функций
(https://www.mirstan.ru/files/CNC_Literature/CNC_meth.pdf)
3. Основные принципы разработки управляющих программ для оборудования с ЧПУ
(https://www.mirstan.ru/files/CNC_Literature/CNC_princ.pdf)
4. Программирование станков с ЧПУ — как написать программу для ЧПУ станка (разработка, расшифровка, обработка)
5. <https://promzyfra.ru/articles/programmirovanie-stankov-s-chpu-kak-napisat-programmu/>
6. Как программируют станки с ЧПУ на заводах — Журнал «Код»
<https://thecode.media/stanki/>
7. Филенко Н. Станок с ЧПУ своими руками
(https://www.mirstan.ru/files/CNC_Literature/CNC_kit.pdf)
8. Дж. Вильямс Программируемые роботы
(https://www.mirstan.ru/files/CNC_Literature/Program_roboti.zip)