

**AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI TƏHSİL NAZİRLİYİ**  
**AZƏRBAYCAN TEXNİKİ UNIVERSİTETİ**  
**YÜKSƏK TƏHSİL İNSTİTUTU**

*Əlyazması hüququnda*

**Sahib Baxşəliyev Rövşən , Tapdıq Cabbarov Elmur**  
**Ramil Sultanov Namik , Ramil Mahmudzadə İlham**

**“Yüksək sürətli frezləmədə alətin qeyri-balanslığının aradan qaldırması  
üsullarının işlənməsi”**

**mövzusunda**

**MAGİSTRİK DİSSERTASİYASI**

**İxtisas: 060612 – Maşın mühəndisliyi**

**İxtisaslaşma : İntegrasiya olunmuş və komputerləşdirilmiş dəzgah  
sistemləri**

**Elmi rəhbər: t.ü.f.d., dos. Əli Əmirov Mənsimalı oğlu**

**BAKİ-2024**

**AZƏRBAYCAN TEXNİKİ UNİVERSİTETİ****YÜKSƏK TƏHSİL İNSTİTUTU****MAGİSTRANTIN ANDI**

“Yüksək sürətli frezləmədə alətin qeyri-balanslılığının aradan qaldırması üsullarının işlənməsi” mövzusunda təqdim etdiyimiz magistrlik dissertasiyasını elmi əxlaq normalarına və istinad qaydalarına tam riayət etməklə və istifadə etdiyim bütün mənbələri ədəbiyyat siyahısında əks etdirməklə yazdığımı and içirəm və magistrlik dissertasiyasının AzTU Kitabxana İnformasiya Mərkəzində saxlanması, həmin mərkəz tərəfindən AzTU Rəqəmsal Repozitoriyasına daxil edilərək repozitoriyanın veb saytında yerləşdirilməsinə icazə veririk.

Baxşəliyev Sahib Rövşən

Cabbarov Tapdıq Elmur

Sultanov Ramil Namik

Mahmudzadə Ramil ilham

Tarix: 20.05.2024

## MÜNDƏRİCAT

<b>GİRİŞ</b> .....	4
<b>I FƏSİL. FREZLƏMƏNİN NƏZƏRİ-METODOLOJİ ƏSASLARI</b> .....	9
1.1 Frezləmə texnologiyasının təkamül mərhələləri.....	9
1.2 Yüksək sürətli frezləmə prosesinin iş prinsipi.....	16
1.3 Yüksək sürətli frezləmə materialları və onların xüsusiyyətləri.....	21
<b>II FƏSİL. YÜKSƏK SÜRƏTLİ FREZLƏMƏ ZAMANI ALƏTİN BALANSLIĞINA TƏSİR EDƏN AMİLLƏR</b> .....	29
2.1 Alət balanslığa təsir edən həndəsi amillər və qeyri-balanslığın yaranması.....	29
2.2 Alətin material xassələri və balanslığa təsiri.....	34
2.3 Frezləmə prosesində alətin texnoloji parametrləri.....	44
2.4 Yüksək sürətli frezləmə zamanı iş mühitinin alət balanslığına təsiri.....	49
<b>III FƏSİL. YÜKSƏK SÜRƏTLİ FREZLƏMƏNİN İŞ PROSESİNDƏ ALƏTİN QEYRI-BALANSLIĞIN TƏDQIQI</b> .....	53
3.1 Alətin iş prosesində təyini və göstəricilərinin təyini.....	53
3.2 Qeyri-balanslıq üçün görülən tədbirlərin təşkili.....	58
3.3 Frezləmə zamanı qeyri-balanslıq nəticələrin təhlili.....	60
<b>NƏTİCƏ VƏ TƏKLİFLƏR</b> .....	63
<b>İSTİFADƏ OLUNMUŞ ƏDƏBİYYAT SIYAHISI</b> .....	65

## *GİRİŞ*

**Mövzunun aktuallığı:** Müasir istehsalat dünyasında yüksək sürətli frezləmə materialın emalı prosesinin ayrılmaz hissəsinə çevrilir. Bununla belə, sürətlər artdıqca alət balansının pozulması problemi yaranır ki, bu da emal səmərəliliyini və dəqiqliyini əhəmiyyətli dərəcədə azalda bilər. Bu problem texnologiyanın sürətli inkişafı və məhsulun keyfiyyətinə artan tələblər kontekstində xüsusilə aktuallaşır.

Yüksək sürətli frezləmə zamanı alət balansının pozulması alətin aşınması, emal olunan materialın zədələnməsi və ümumi dəzgah məhsuldarlığının azalması kimi bir sıra mənfi nəticələrə səbəb ola bilər. Bu baxımdan, bu qeyri-balanslıq aradan qaldırılması üçün yeni yolların araşdırılması və işlənməsi sualı yaranır.

Metal emalı üzrə mütəxəssislər və mühəndislər yüksək sürətlə frezləmə prosesini optimallaşdırma bilən innovativ həllər axtarırlar. Bura təkcə alət dizaynının təkmilləşdirilməsi deyil, həm də qabaqcıl idarəetmə və balanslaşdırma texnologiyalarının tətbiqi daxildir. Avadanlıqların sabit işləməsini təmin etmək, alətin ömrünü artırmaq və emal dəqiqliyini artırmaq üçün bu cür üsulların inkişafı zəruridir.

Yüksək sürətli frezləmə zamanı alət balansının pozulması probleminin müzakirəsi təkcə aktual deyil, həm də sənayenin gələcək inkişafı üçün zəruridir. Bu kontekstdə alətlərin və onlardan istifadə üsullarının təkmilləşdirilməsi üzrə tədqiqatlar prioritet məsələyə çevrilir, söyləri müasir istehsalın çağırışlarının öhdəsindən gələ bilən daha səmərəli və etibarlı texnologiyaların yaradılmasına yönəldir.

Problemin qoyuluşu və öyrənilmə səviyyəsi: Yüksək sürətli frezləmə zamanı alət balansının pozulması probleminin həlli sistemli və kompleks yanaşma tələb edən mühüm vəzifədir. Bu vəzifənin əsas aspektlərindən biri qeyri-balanslılığın səbəblərini müəyyən etmək və onun aradan qaldırılması üçün effektiv metodların işlənilib hazırlanmasıdır.

Əvvəlcə yüksək sürətli frezləmə şəraitində alət balansına təsir edən amillərin hərtərəfli təhlilini aparmaq lazımdır. Buraya alət hündəsəsinin, material xüsusiyyətlərinin və frezləmə prosesinin xüsusiyyətlərinin qiymətləndirilməsi daxildir. Bu məlumatlara əsaslanaraq, alətin optimal işləmə parametrlərini təyin edə və potensial problem sahələrini müəyyən edə bilərsiniz.

Balanssızlığı uğurla aradan qaldırmaq üçün səylər bir neçə əsas sahəyə yönəldilməlidir. İlk növbədə, bu, real vaxt rejimində alətin qeyri-bərabər fırlanmasını düzəldə bilən innovativ balanslaşdırma üsullarının tətbiqidir. Burada sensorlar və avtomatlaşdırma sahəsində qabaqcıl texnologiyalardan istifadə əsas rol oynayır.

Bundan əlavə, alət dizaynının optimallaşdırılmasına diqqət yetirilməlidir. Bu, hündəsə, materiallar və ya hətta yeni istehsal üsullarında dəyişiklikləri əhatə edə bilər. Bu cür tədbirlər daha balanslı və davamlı alətlər yaratmağa yönəlib.

Əsas məqsəd müasir texnologiyalar, mühəndis həlləri və praktiki təcrübəni birləşdirən inteqrasiya olunmuş yanaşma yaratmaqdır. Bu, nəinki balanssızlıqları effektiv şəkildə aradan qaldıracaq, həm də yüksək sürətli frezləmənin ümumi məhsuldarlığını yaxşılaşdıracaq, alətlərin aşınmasını azaldacaq və materialın emalının keyfiyyətini artıracaqdır.

Yüksək sürətli frezləmə zamanı alət balanssızlığının aradan qaldırılması mövzusu müasir mühəndislik sahəsində fəal şəkildə araşdırılır. Alət hündəsəsinin optimallaşdırılmasına, yeni materiallardan və balanslaşdırma texnologiyalarından istifadəyə həsr olunmuş bir çox tədqiqat var. Sensorlar və avtomatlaşdırma sahəsindəki inkişaf da həllə öz töhfəsini verir. Sənaye real vaxtda balanssızlıqları proqnozlaşdırır və düzəldə bilən inteqrasiya olunmuş sistemləri fəal şəkildə təqib edir. Əhəmiyyətli irəliləyişlərə baxmayaraq, bu mövzu yüksək frezləmə sürətlərində balansla nəzarət etmək üçün daha effektiv metodların yaradılması üçün əlavə tədqiqat tələb edir.

**Tədqiqatın məqsəd və vəzifələri:** Yüksək sürətli frezləmə sahəsində alət balansının pozulması məhsuldarlığa və materialın keyfiyyətinə təsir edən kritik

aspektidir. Bu tədqiqatın məqsədi balanssızlıqları düzəltmək üçün innovativ metodların tapılmasına yönəlib.

Müasir yüksək texnologiyalı istehsalda yüksək sürətli frezləmə əsas prosesə çevrilmişdir, lakin alət balansının pozulması bu sahədə irəliləyişi yavaşlatan ciddi problem olaraq qalır. Qeyri-balanslılığın aradan qaldırılması məqsədinə nail olmaq üçün bir neçə əsas məsələ həll ediləcəkdir.

Birincisi, yüksək sürətlə alət balansına təsir edən amillərlə bağlı daha dərin araşdırma tələb olunur. Buraya alət həndəsəsinin, material xüsusiyyətlərinin və frezləmə prosesinin parametrlərinin təhlili daxildir. Qeyri-balanslıqların diaqnostikası və monitorinqi üçün dəqiq metodların işlənilib hazırlanması problemin effektiv həllində ilk addımdır.

İkincisi, müasir balanslaşdırma texnologiyalarının dərinlən öyrənilməsi və onların yüksək sürətli frezləmə şəraitinə uyğunlaşdırılması zəruridir. Əməliyyat şəraitindəki dəyişikliklərə cavab verə bilən avtomatlaşdırılmış sistemlərin istifadəsi prosesin sabitliyini təmin edərək, balanssızlıqları dərhal düzəltmək imkanı verəcəkdir.

Üçüncü vəzifə alət dizaynını optimallaşdırmaqdır. Bura yüksək fırlanma sürətlərində balanssızlığı minimuma endirməyə kömək edən yeni materialların, innovativ formaların və həndəsələrin istifadəsi daxildir.

Nəhayət, balanssızlıq problemini uğurla həll etmək üçün tədqiqatın bütün aspektlərini birləşdirən hərtərəfli yanaşma hazırlanacaq. Bura yeni texnologiyaların inteqrasiyası, yüksək sürətli frezləmə sahəsində standartların və qaydaların yaradılması, elmi və mühəndis icmaları arasında təcrübə mübadiləsi daxildir. Yalnız bütün bu elementlərin qarşılıqlı əlaqəsi alət balanssızlığını uğurla aradan qaldıracaq və istehsal proseslərinin səmərəliliyini artıracaqdır.

**Tədqiqatın obyektini və predmeti:** Tədqiqat işinin obyektini yüksək sürətli frezləmədə istifadə olunan alətdir və predmetini isə frezləmə prosesinin sabitliyini təmin edə bilən və materialın yüksək sürətlə emalının səmərəliliyini artırma bilən innovativ metodların işlənilib hazırlanması və təhlilidir.

**Tədqiqat metodları:** Yüksək sürətli frezləmə zamanı alət balanssızlığının aradan qaldırılması üzrə tədqiqatlar bir çox metodları əhatə edir. Bir yanaşma, balanssızlığın səbəblərini müəyyən etmək üçün alətin həndəsəsini və onun parametrlərini təhlil etməkdir. Digər üsullara yeni balanslaşdırma texnologiyalarının inkişafı, innovativ materialların tətbiqi və avtomatlaşdırılmış yoxlama sistemlərinin istifadəsi daxildir.

**Dissertasiya işinin aprobeşiyası və tədqiqatlar.** Tədqiqat işinin əsas müddəaları 2024-cü il 1 may tarixində Azərbaycan Texniki Universitetində magistrantlar Azərbaycan xalqının Ümummilli Lideri, müstəqil Azərbaycan dövlətinin qurucusu və görkəmli dövlət xadimi Heyder Əliyevin anadan olmasının 101-ci ildönümünə həsr olunmuş tələbə və gənc tədqiqatçıların “Mütərəqqi texnologiyalar və innovasiyalar” mövzusunda 9-cu Respublika elmi-texniki konfrasında “Yüksək sürətli frezləmədə keyfiyyətin artırılması” adlı məqalə təqdim olunmuşdur.

**Tədqiqatın informasiya bazası:** Dissertasiya işinin yazılmasında yüksək sürətli frezləmə zamanı alət balansının aradan qaldırılması üçün tədqiqatlar müxtəlif məlumat bazalarına əsaslanır. Buraya əvvəlki tədqiqat işlərinin təhlili, mühəndislərin və istehsalçıların təcrübəsi, təcrübə və sınaqlardan əldə edilən məlumatlar daxildir. Materiallar və balanslaşdırma texnologiyaları sahəsində məlumat bazaları da əsasdır. Onlayn kitabxanalar, mühəndis jurnalları və metal emalı verilənlər bazaları yüksək sürətli frezləmə tətbiqlərində balanssızlığı aradan qaldırmaq üçün metodların işlənilib hazırlanması və optimallaşdırılması üçün lazım olan məlumatları təmin edir.

**Tədqiqatın məhdudiyyətləri:** Yüksək sürətli frezləmə zamanı alət balanssızlığının aradan qaldırılması üzrə tədqiqat bir sıra məhdudiyyətlərlə üzləşir. Bunlardan biri laboratoriya şəraitində faktiki istehsal şəraitinin təkrarlanmasının çətinliyidir. Məhdudiyyətlər həmçinin yüksək texnoloji avadanlıqlara məhdud çıxışı və eksperimentlərin aparılması üçün yüksək xərcləri əhatə edə bilər. Qeyri-kafi məlumat bazası və ən son texnologiyalar haqqında məhdud məlumat da bu sahədə mənalı tədqiqatlara mane olacaqdır.

**Tədqiqatın elmi yeniliyi:** Yüksək sürətli frezləmə zamanı alət balanssızlığının aradan qaldırılması üzrə tədqiqatda fəal şəkildə yeni texnologiyalar tətbiq edir. Həmçinin 3D çap və yeni materiallardan istifadə edərək alət həndəsəsini optimallaşdırmağa çalışırlar. Sensorların və avtomatlaşdırılmış idarəetmə sistemlərinin inteqrasiyası proses şəraitindəki dəyişikliklərə dəqiq və dərhal reaksiya verən daha bir elmi yeniliyi təmsil edir.

**Nəticələrin praktiki əhəmiyyəti və tətbiq sahələri:** Yüksək sürətli frezləmə zamanı alət balanssızlığını aradan qaldırmaq üçün tədqiqatın praktiki əhəmiyyəti sənaye dünyasında çox böyükdür. Bu tədqiqatın nəticələri aviasiya, avtomobil və enerji komponentlərinin istehsalında istifadə olunur. Qeyri-balanslıq aradan qaldırılması prosesin səmərəliliyini artırır, alətin ömrünü artırır və emal olunan materialların aşınmasını azaldır. Bu cür texnologiyalar yüksək dəqiqlik və məhsuldarlıq tələb edən müasir sahələrdə mühüm əhəmiyyət kəsb edir və bu mövzunu innovasiya və proseslərin təkmilləşdirilməsi üçün vacib edir. Həmçinin araşdırma bu sahədə olan digər tədqiqatlara başlanğıc ola və şaxələndirilərək davam etdirilə bilər.

**Dissertasiyanın quruluşu və həcmi:** Dissertasiya işi giriş, 3 fəsil və əlavə olaraq nəticə və təklif, ədəbiyyat siyahısı, istinad edilən mənbələrdən ibarətdir.

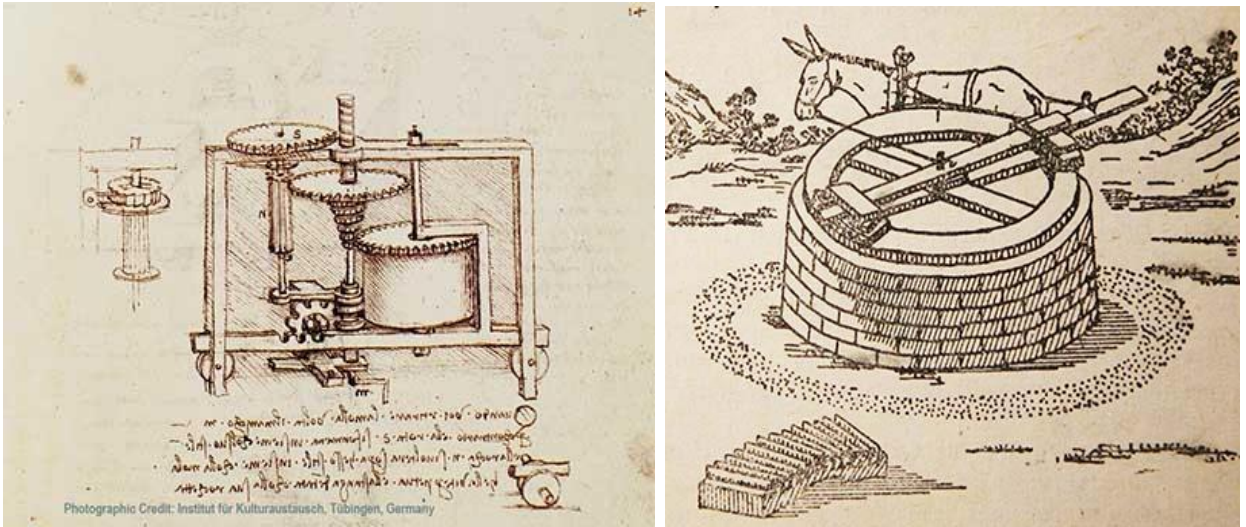


## I FƏSİL. FREZLƏMƏNİN NƏZƏRİ-METODOLOJİ ƏSASLARI

### 1.1 Frezləmə texnologiyasının təkamül mərhələləri

Frezləməmə haqqında ilk qeyd 16-cı əsrə aiddir və böyük italyan rəssamı, alimi və ixtiraçısı Leonardo da Vinçiyə (1452-1519) aid edilir. Onun qeydlərində, kəsici üçün prototip rolunu oynayan bir ox boyunca fırlanan dəyirmi faylı olan mexanizmin eskizi tapıldı.

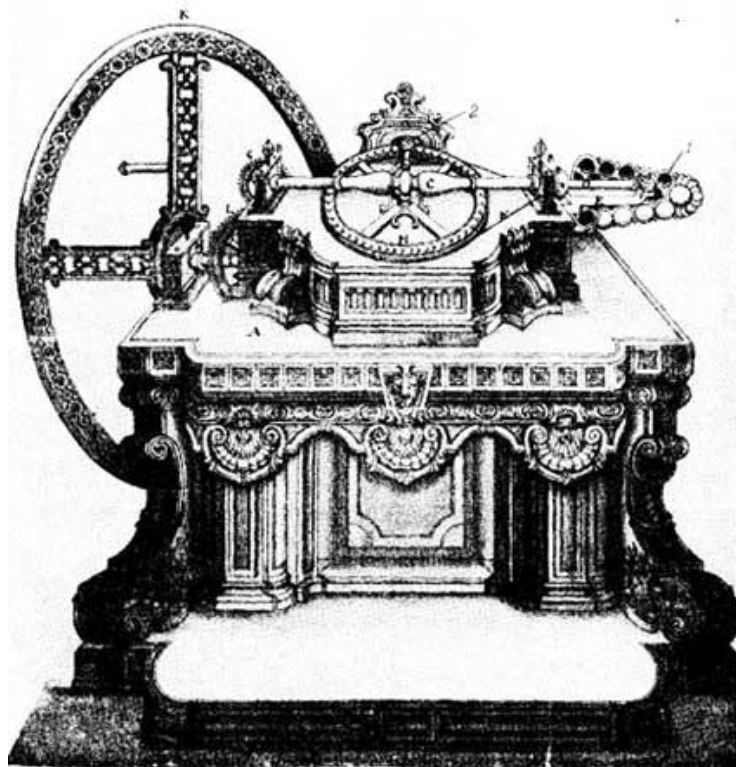
Frezləmənin ilk praktiki istifadəsi Flamand alimi və astronomu Ferdinand Verbiest (1623-1688) ilə əlaqələndirilir, o, həyatının demək olar ki, yarısını Çində riyazi şuranın rəhbəri və Köhnə Pekin Rəsədxanasının direktoru kimi keçirmişdir. 1668-ci ildə Çin İmperatori ona bir hissəsi olan astronomik alət yaratmağı tapşırırdı: mükəmməl yuvarlaq tunc üzük. Verbiest onu frezləmə üsulu ilə yaratmışdır. Birincisi, tökmə tunc boşluq düz, möhkəm təməl üzərində quraşdırılmışdır. Sonra, hissənin ortasında, sabit bir pin üzərində, kəsicilərlə fırlanan bir şüa var idi. Kəsmə dərinliyi kəsici üzərində ağırlıq basaraq tənzimlənir. Bütün bu mexanizmin hərəkəti paket heyvanlar tərəfindən təmin edilmişdir (Şək.1.1).



Şək.1.1 Heyvanlar tərəfindən hərəkət etdirilən frezləmə mexanizmi

Mənbə: <https://cnc-rezka.com>

1775-ci ildə rus alimi, mexanik, heykəltəraş və ixtiraçı Andrey Konstantinoviç Nartov özünün "Theatrum machinarum" əlyazmasında sümükdən hazırlanmış sənət əşyaları üzərində sferoid girintilərin frezlənməsi üçün maşının dizaynını təsvir etmişdir (Şək.1.2). Cihazın təfərrüatlarının nəzəri təsviri və onun işləmə diaqramı ilə vaxtınızı almayacağam. Niyə nəzəri? Çünki dəzgah üçün əlyazma və çertyojlara əsasən cihazın yalnız bir hissəsi təsvir olunur. Tarix onun digər komponentlərinin necə işlədiyi barədə susur.



Şək.1.2 Frezləmə alətinin ilk dizaynı

Mənbə: <https://cnc-rezka.com>

İlk frezləmə maşınının ixtirası və yaradılması amerikalı ixtiraçı və sənayeçi Eli Uitniyə (1765-1825) aiddir. Bununla belə, Uitninin frezləmə maşınının dizaynına və təkmilləşdirilməsinə töhfə verən mühəndislərdən yalnız biri olduğuna inanan tarixçilər var.

Bu hekayənin başlanğıcı fransız artilleriya zabiti və mühəndisi Jan-Batist Vaquette de Qribeauval (1715-1789), xüsusilə artilleriya silahlarında hissələrin bir-birini əvəz etməsi prinsipinin ehtiraslı tərəfdarı ilə bağlıdır. Qribeauval sistemi kralın 15 oktyabr 1765-ci il tarixli fərmanı ilə standartlaşdırıldı. Fransız silah ustası Honoré Blanc (1736-1801) bu prinsipi digər sənaye sahələrinə, xüsusən də silah sənayesinə yaymağa çalışdı, lakin onun texnikası bir istinad modelinə uyğun olaraq “əllə doldurma”ya əsaslanırdı və frezləmə ilə heç bir əlaqəsi yox idi.

Təzə ideyalarına baxmayaraq, Blan mütəxəssislər tərəfindən anlaşılmazlıqlarla üzləşdi. O, dəstək üçün o zaman ABŞ-ın Fransadakı səfiri Tomas Ceffersona (1743-1826) müraciət etməli oldu. Cefferson bu konsepsiyada ABŞ-ı avropa silahlarından asılılıqdan xilas etmək üçün bir fürsət görürdü, çünki ABŞ-da o dövrün silahları avropadan verilirdi. Blanın ABŞ-a köçmək və ideyalarını həyata keçirmək dəvəti fransız tərəfindən rədd edilib.

Lakin amerikalı Cefferson yeniliyi yüksək qiymətləndirdi və ideyanı dəstəkləyən prezident Corc Vaşinqtona (1732-1799) təqdim etdi.

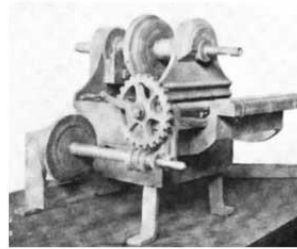
1798-ci ildə ABŞ hökuməti o vaxt nisbətən gənc (33 yaşlı) Eli Whitney ilə müqavilə bağladı. Müqavilə imzalanarkən Uitninin nə istehsalı, nə işçisi, nə də silah istehsalında təcrübəsi var idi. Müqavilə niyə Uitniyə verildi, tarix susur. Bununla belə, qeyd etmək lazımdır ki, Eli Konnektikut Demokratik Partiyasının rəhbərinin qızı ilə evli idi və xəzinədarlıq katibi Oliver Volkott ilə dostluq münasibətlərini davam etdirdi. Ola bilsin ki, bu faktlar hansısa şəkildə bağlıdır ancaq gəlin müqaviləyə qayıdaq.

Hökumətin sərəncamına əsasən, Whitney 28 ay ərzində yeni dəyişdirilə bilən sistemdən istifadə edərək 10.000 müşket istehsal etməyi öhdəsinə götürdü. Sifarişi əl ilə tamamlamağın qeyri-mümkün olduğunu başa düşən ixtiraçı, işləmə prinsipinə əsaslanaraq təhlükəsiz şəkildə frezləmə maşını adlandırılı bilən bir dəzgah hazırlamağa başladı, çünki material qazma ilə deyil, bir frezləmə kəsici ilə nümunə götürüldü. və ya əvvəllər olduğu kimi planlaşdırma. Eli ömrünün qalan hissəsini onun təkmilləşdirilməsi üzərində işləməyə həsr etdi. Birinci ildə cəmi 500 müşket istehsal edildi və Whitney sifarişi yalnız 1808-ci ildə, 8 il gec yerinə yetirdi. Buna

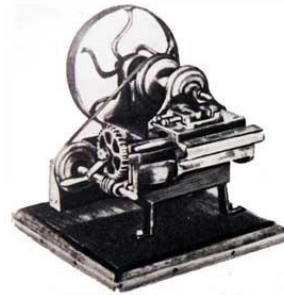
baxmayaraq, o, hökumətdən 15.000 müşket üçün daha bir sifariş aldı və razılaşdırılmış 2 il ərzində tamamlaya bildi.

Whitney 1821-ci ildə avtomatik şaquli mil yemini tətbiq edərək maşının son modernləşdirilməsini etdi.

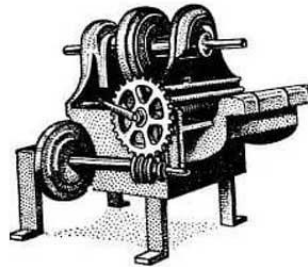
Beləliklə, Eli Whitney, frezləmə texnologiyasının ixtiraçısı olmasa da, işləyən frezləmə dəzgahını ilk dəfə yaratdı. Buna əlavə edim ki, onun hazırladığı maşın köhnəlmiş kimi istismardan çıxarılıb, yalnız nəvələri tərəfindən. Müasir frezləmə maşınlarında onun işinin bəzi prinsipləri qorunub saxlanılmışdır (Şək.1.3).



1807 r.



1810 r.



1818 r.



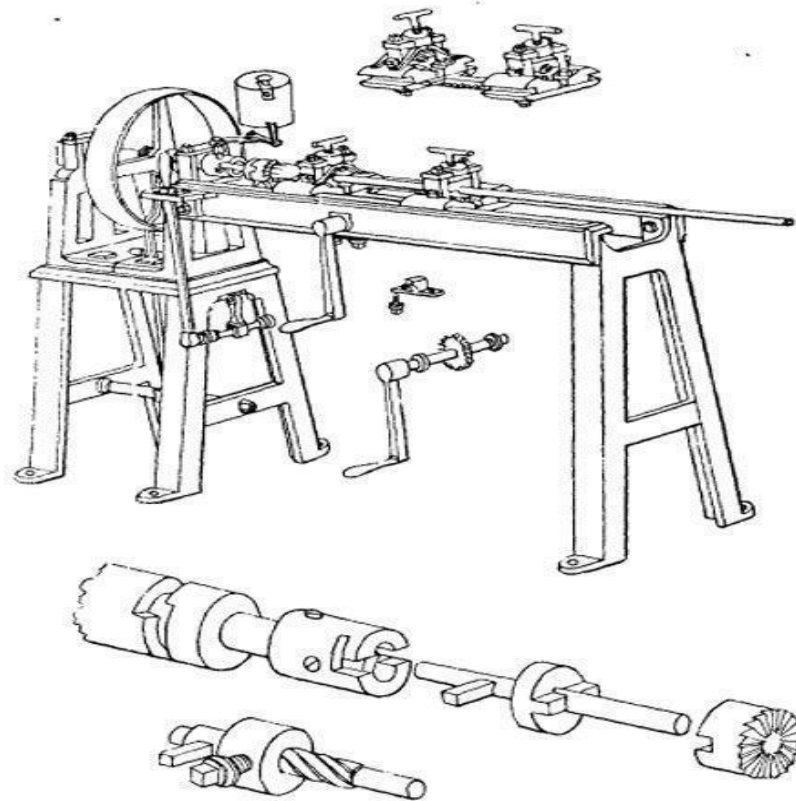
1821 r.

### Şək.1.3. Frezləmə alətinin təkamülü

Mənbə: technology for performing milling - jurnalı

Sənayeləşmə və elmi və texnoloji kəşflər əsrində frezləmə texnologiyası bir çox sənaye sahələrində və maşınqayırmada tətbiqini tapdı. Maşınların mexanizmləri getdikcə daha funksional, avtomatlaşdırılmış, dəqiq və istifadəsi asan oldu. Tətbiq sahəsi yalnız "hərbi ehtiyaclar üçün" olmaqdan çıxdı və mülki sənayeyə qədər genişləndi. Rus alimi İosif Kristianoviç Qamel (1788-1862) 1826-cı ildə frezləmə

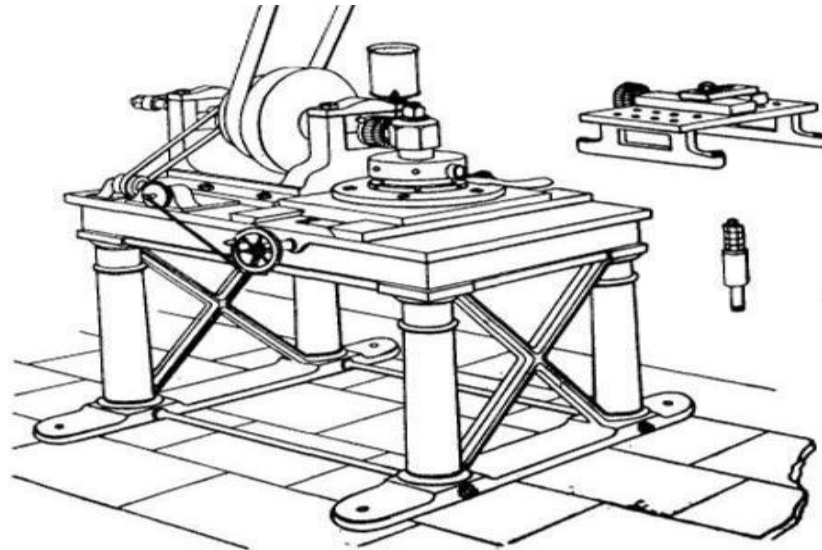
maşını üçün dizaynını işləyib hazırladı və təqdim etdi. Maşın Tula Silah Zavodunda dizayn edilmiş və istifadə edilmişdir. Yatağın ağacdən olduğu Whitney maşınından fərqli olaraq, bu maşında artıq tökmə çarpayı, bələdçi kəsicilər və hətta soyutma sistemi var idi. Silah lüləsinin arxa ucunu emal etmək üçün istifadə edilmişdir.



Şək.1.4. Rus alimi İosif Kristianoviç Qamelin dizaynı

Mənbə: technology for performing milling - jurnalı

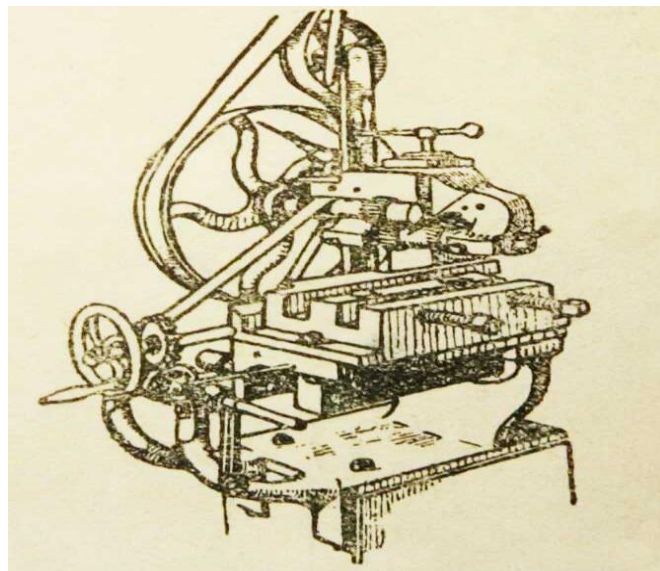
Şotlandiyalı mühəndis, ixtiraçı, rəssam və filosof Ceyms Nasmit (1808-1890), buxar çəkicini ixtira etməsi ilə məşhurdur, 1829-1831-ci illər arasında frezləmə maşınının öz versiyasını təqdim etdi (dəqiq məlumat təəssüf ki, mövcud deyil). Cihazın fərqli bir xüsusiyyəti, fırlanan bir cihaza birləşdirərək bir neçə hissəni (məsələn, altıbucaqlı qoz-fındıqların frezləməsi) eyni vaxtda emal etmək qabiliyyəti idi. Bundan əlavə, maşın adı üfüqi frezləmə kimi istifadə edilə bilər.



Şək.1.5 Ceyms Nasmitin dizaynı

Mənbə: <https://cnc-rezka.com>

Növbəti irəliləyiş 1835-ci ildə Amerika şirkəti "Gay, Silver və Co" tərəfindən əldə edildi. Onlar kəsicinin şaquli yerdəyişməsi mexanizminin olması ilə sələflərindən fərqlənən bir maşın qurdular. Bənzər bir maşın 1908-ci ilə qədər Baxter Uitni zavodunda uğurla işlədildi.



Şək.1.6 "Silver və Co" tərəfindən əldə edilən model

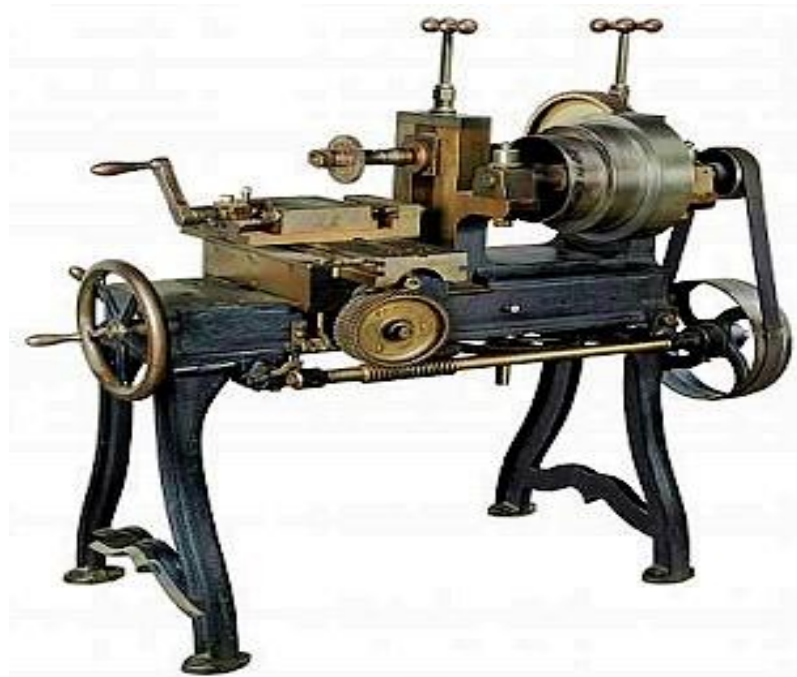
Mənbə: technology for performing milling - jurnalı

1855-ci ildə Amerika şirkəti George S. Lincoln və Co frezləmə maşınının öz versiyasını təqdim etdi. Yeniliklər arasında masanın volandan istifadə edərək çarpayı boyunca hərəkət etdirilməsi, həmçinin mandrel podşipniklərini hərəkət etdirərək kəsicini şaquli olaraq qidalandırmaq imkanlarını qeyd edə bilərik.

Diqqətə layiq olan növbəti maşın 1861-ci ildə Brown və Sharpe tərəfindən dizayn edilmiş və patentləşdirilmişdir. Cihaz tək cə dizaynda deyil, həm də funksionallıqda unikal olduğu ortaya çıxdı. Onun fırlanan mili başlığı var idi, həmçinin hissənin avtomatik uzununa qidalanması var idi.

Başqa bir növ üfüqi frezləmənin ixtira edildiyi də məlumdur. Onun rəsmi 1862-ci ildə orijinaldan köçürülüb və orijinalın özü İjevsk Silah Zavodunda yerləşdirilib və istismar edilib. Cihazın bu variasiyasında eyni vaxtda bir mandrelə quraşdırılmış bir neçə kəsici istifadə edilmişdir.

Bu gün bildiyimiz formada frezləmə maşınının yaradıcısı amerikalı mühəndis Cozef Uikham Rouya hesab edilə bilər. Yaradılış prosesi 1912-ci ildən 1916-cı ilə qədər baş verib. Robert S. Vudberi və bir sıra digər alimlər Roenin orijinal maşınının dizaynını və funksionallığını təkmilləşdirdilər.



Şək.1.7 Cozef Uikham Rouya modeli

Mənbə: technology for performing milling - jurnalı

Birinci və İkinci Dünya Müharibələri frezləmə üçün dəzgahların inkişafına əhəmiyyətli dərəcədə kömək etdi. Maşınların müxtəlif modifikasiyaları dünyanın silah fabriklərində istifadə edilmişdir. İkinci Dünya Müharibəsinin sonunda bəzi sənaye və resurslar mülki istifadə üçün azad edildi. O vaxta qədər frezləmə maşınları kifayət qədər universal alətə çevrilmiş və gəmiqayırma, təyyarə və maşınqayırma, dəzgahqayırma, zərgərlik və s. Maşınqayırma və dəzgah mexanizmlərinin istehsalı sahəsində frezləmə imkanları, mübaliğəsiz, əvəzolunmaz hala gəldi. Ötürücülər, kollar, mühərrikin fərdi hissələri, gövdə elementləri, silindrik hissələr - bütün bunlar və daha çox şey frezləmə maşını olmadan qeyri-mümkün olardı.



Şək.1.8 20-ci əsrin frezləmə modeli

Mənbə: technology for performing milling - jurnalı

## 1.2 Yüksək sürətli Frezləmə prosesinin iş prinsipi

Müasir istehsal sənayesində yüksək sürətli frezləmə (HSM) mühüm rol oynayır (*Sandvik Coromant .2012*). Bəzi nümunələrə qəlib istehsalı (Brovovan P.2008) və təyyarə istehsalı sənayesi daxildir. Yüksək sürətli frezləmənin əsas üstünlüyü alətin yüksək fırlanma sürətinə görə nisbətən kiçik alətlərdən istifadə



edərək böyük həcmdə materialı tez kəsmək imkanındır. Bu, eyni strukturu bir neçə hissədən yığmaqdan, böyük və mürəkkəb nazik divar konstruksiyalarını bir material blokundan frezləmə etməyə imkan verən nisbətən aşağı qüvvələrlə nəticələnir. Nəticə etibarilə, tez-tez orijinal iş parçası materialının 90% -dən çoxu kəsilməlidir. İstehsal sürətini artırmaq üçün yüksək keyfiyyət səviyyəsini qoruyarkən əhəmiyyətli materialın çıxarılması sürəti (MRR) tələb olunur. Maşın və iş parçasının birləşməsinə nəzərə alaraq, bu MRR mil sürəti  $n$ , eksenel və radial kəsmə dərinliyi (müvafiq olaraq  $a_p$  və  $a_e$ ) və çip yükü  $F_z$  -nin birləşməsi ilə müəyyən edilir. Bundan əlavə, iş parçalarının səth keyfiyyətinin və ölçü dəqiqliyinin yaxşılaşdırılması tendensiyası var. MRR-dən ödənmədən buna nail olmaq arzuolunandır.

Bir çox insanlar sərt metalların emalının qara sənət olduğuna inanırlar, lakin bir neçə əsas prinsipə əməl edilərsə, bu, təkcə sərfəli deyil, həm də asan emal prosesidir. Prosesə bir neçə komponent daxildir: dəzgahdan səmərəli istifadə, kəsici alətlər, alət tutacaqları və proqramlaşdırma. Bu sahələr düzgün həll olunarsa, sərt metalların emalı öz sirrini və mistikasını itirir və müəyyən edilmiş düsturlar və təlimatlardan istifadə edə bilən proqnozlaşdırıla bilən bir prosesə çevrilir. Bu məqalə kəsici alətlərə diqqət yetirir, lakin digər sahələr də əhatə olunacaq.

### Proses seçimi

Yüksək sürətli emal, xüsusilə yüksək sürətli frezləmə, ənənəvi frezləmə ilə eyni dəyişənləri əhatə edir. Prosesə başlamazdan əvvəl kəsmə sürəti, yem sürəti və kəsmə dərinliyi kimi bütün lazımi parametrlər müəyyən edilir. Bununla belə, yüksək sürətli emalda yavaş və ağır frezləmə keçidləri sürətli və daha yüngül olanlarla əvəz olunur. Daha ağır yüklərə malik olanlar üzərində daha yüngül frezləmə keçidlərini seçmək qeyri-məhsuldar görünsə də, bir çox metal emalı sehləri iddia edirlər ki, karbid kəsicilər kimi alətlərdən istifadə etməklə öz frezləmə strategiyasını dəyişdirmək dəqiq hissələrin istehsalında məhsuldarlığı əhəmiyyətli dərəcədə artırabilir. Yüksək sürətli frezləmənin özünün tərif çətinidir, çünki o, bir çox frezləmə əməliyyatlarından biri və ya onların birləşməsi ola bilər. (Тверской М.М .1982)

Yüksək sürətli frezləmənin (HSM) məqsədi yüksək material çıxarma sürətinə nail olmaq üçün yüksək sürətlərdən istifadə etməkdir. Bu məqsədə uğurla nail olmaq üçün səkkiz əsas prinsipi başa düşmək lazımdır:

- Alətin və iş parçasının sərtliyi.
- Balans alətləri.
- Alətlərin harmonik sınağı.
- Alətdə idarə olunan yük.
- Qısa alət addımları.
- Düzgün alətin seçilməsi.
- Materialın xüsusiyyətlərini başa düşmək.
- Maşın tələblərinin ödənilməsi.

Bununla belə, yüksək sürətli frezləmə böyük eksenel kəsmə dərinliyindən ( $a_p$ ) və ya böyük radial kəsmə dərinliyindən ( $a_e$ ) istifadə edərək yüksək material çıxarma sürəti ilə emal kimi müəyyən edilmir. Yüksək sürətli frezləmə adətən sürətli hərəkətlərin birləşməsidir. Ən yaxşı nəticələr üçün bütün bu hərəkətlər diqqətlə planlaşdırılmalıdır. Yüksək sürətli frezləmə istifadə olunursa, lakin metal kəsicinin alət müddəti və iş parçasının səth keyfiyyəti məqbul hədlər daxilində deyilsə, bütün yüksək sürətli frezləmə prosesi düzgün həyata keçirilmir.

Dəzgah və ya gövdə kəsicisi iş parçasına cavab verməzdən əvvəl beş parametrlə nəzərə alınmalıdır. Bunlara daxildir:

1. İşlənmiş materialın növü və xüsusiyyətləri.
2. Frezləmə maşınının növü və frezləmə strategiyası.
3. Metal üçün kəsici növünün seçilməsi.
4. Kəsmə rejimləri, mili sıxma sistemi və onun balanslaşdırılması.
5. CAM sistemlərində proqramlaşdırma.

Bundan əlavə, yüksək sürətli emal üçün bir neçə ümumi problem var:

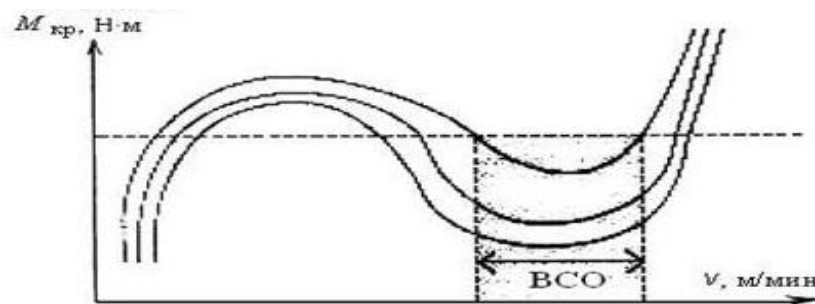
- ✓ Bir çox material bərkimiş vəziyyətdə işlənir. Yüksək sürətlə işləmək kəsmə zamanı daha çox istilik əmələ gətirə bilər. Bəzi metallar qızdırıldıqda çox

sərtləşir və istiliyi azaltmaq üçün tədbirlər görülməzsə, alətin fəlakətli sıradan çıxmasına səbəb ola bilər.

- ✓ Yüksək sürət kəsmə zamanı vibrasiya riskini artırır. Bu, alətin xidmət müddətini kəskin şəkildə azaldır və hissələri asanlıqla zədələyə və qıra bilər.
- ✓ Kəsmə qüvvələri kifayət qədər yüksək ola bilər. Ümumi problem alətlərin tutacaqlarından çıxarılması və ciddi problemlərə səbəb olmasıdır.
- ✓ Bu yüksək performanslı emaldır. Bütün maşınlar, xüsusən də köhnə olanlar bu işə hazır deyil.
- ✓ Bu sürətləri təmin edən trayektoriyalar daha təkmildir. Uğurla işləmək üçün bəzi əlavə təlimlər, eləcə də möhkəm CAM paketi tələb olunur.

Yüksək sürətli emal üçün metal kəsicinin seçilməsi hər hansı digər frezləmə növü üçün seçimə bənzəyir. Yüksək sürətli frezləmə əməliyyatı iş parçası ilə təmasda başlayır və bitir. Bir karbid kəsici almaq və ya mövcud olanlardan seçmək üçün müəyyən bir tətbiqin bütün parametrlərini - emal olunan materialın növü, emal olunan iş parçasının ölçüləri və hansı metal kəsicini təyin etməyə kömək edəcək digər xüsusiyyətləri nəzərə almaq lazımdır. ən uyğundur.

1930-cu illərin əvvəllərində C. Salomon dairəvi mişarlarla sınaqdan keçirərək çox yüksək kəsmə sürətlərinin təsirini araşdırırdı. 15.000 m/dəq sürətlə işləyərək belə nəticəyə gəldi ki, kəsmə zamanı temperatur maksimuma çatır və kəsmə sürətinin daha da artması ilə emal olunan material üçün kritik dəyərdən aşağı qalaraq geri azalır.



Qrafik.1.1 C. Salomon sınaq nəticəsi

Mənbə: <https://www.ibagnorthamerica.com>

523594 nömrəli patent ərizəsini təqdim etdikdən sonra (yüksək kəsmə sürətlərində emal), bu nəzəriyyənin praktik tətbiqini tapması hələ çox vaxt keçəcək. Onilliklər ərzində bir çox elm adamları özlərini bu nəzəriyyəyə həsr etdilər. 1947-ci ildə 50000 m/dəq ilə Kuznetsov, 1958-ci ildə 72000 m/dəq ilə Kronenberg, 1972-ci ildə Arndt 132000 m/dəq. Hamısı alət boyunca məhsulları keçdikləri ballistik sınaqlar həyata keçirdilər.

Lakin yalnız 1960-cı illərin əvvəllərində kəsmə prosesi və yüksək sürətlə hərəkət mexanizmləri haqqında həlledici əsas biliklər əldə edildi. Darmstadt Texniki İnstitutunun İstehsal Texnologiyaları və Kəsmə Alətləri İnstitutu (PTW) maqnit bilyalı podşipniklərdən istifadə edərək  $V_c$  4700 m/dəq yüksək sürət diapazonuna nüfuz edə bildi. Bununla, sənaye tətbiqləri üçün böyük faydalar ilk dəfə göründü. Təkmilləşdirilmiş dəqiqliklə 40% emal müddətini azaltmaq mümkün oldu. (C.A. Van Lauttervelt, 1998)

Sonralar bu institutda professor Şultsun rəhbərliyi ilə elmi-tədqiqat layihələri təşkil edilmiş və bu texnologiyanın praktiki istifadəsi üzrə əsas sənədlər hazırlanmışdır.

Hələ 80-ci illərin əvvəllərində mütəxəssislər bu texnologiyanın gələcəyini görmürdülər. Bunun səbəbi, yalnız mümkün vaxt qazancının çox yüksək alət aşınması ilə qarşılanmasından irəli gəlmələri idi ki, bu da bu metodun qənaətini şübhə altına alır. Bu gün biz əminliklə deyə bilərik ki, arqument yanlış idi. Faydaları o qədər böyükdür ki, artıq onun haqqında mübahisə etməyə belə dəyməz.

Xüsusilə Yüksək Sürətli Emal (HSM) və Yüksək Sürətli Frezləmə (HSM) son illərdə emal texnikalarında inqilab etdi. HSM emal prosesinin qiymətləndirilməsində həlledici amil istehsalın maya dəyərini və emal prosesinin keyfiyyət xüsusiyyətlərinin yaxşılaşdırılmasını müəyyən edən dəzgahların məhsuldarlığıdır.

### **1.3 Yüksək sürətli Frezləmə materialları və onların xüsusiyyətləri**

Üç əsas emal üsulu var: yumşaq emal, sərt emal və elektrik boşalma emal. Qəlib materialının konfigurasiyası və sərtliyi hansı metodun və ya metodlar kombinasiyasının ən yaxşı işləyəcəyini müəyyən edəcək. Yumşaq emal - istilik emalından əvvəl bir hissənin emal edilməsi - böyük hissələri və ya dərin kəsiklər tələb edən hissələri emal edərkən nəzərə alınmalıdır. Yarım bitirmə və bitirmə daha sonra bərkimiş vəziyyətdə həyata keçirilə bilər. Əgər hissə çox böyük deyilsə və ya dayaz emal tələb edirsə, onda bütün hissə bərkimiş vəziyyətdə frezləmə edilə bilər. Əgər hissənin həndəsəsi nazik xüsusiyyətlər və dərin kəsiklər tələb edirsə, EDM yeganə seçim ola bilər.

Sərtləşdirilmiş metalın işlənməsi zamanı düzgün kəsici alətin seçilməsi vacibdir. Üç əsas kəsici dizayn var: top ucu, künc radiusu (yuvarlaq uc) və ya kvadrat uc (şəkl.1.1). Sərt metalları emal edərkən ilk seçim dairəvi patron gövdələr olmalıdır. Kobud işləmə və əksər tamamlama əməliyyatları üçün bilyalı dəyirman istifadə edilməlidir. Onun böyük radiusu sərt materialları yüksək sürətlə kəsərkən və qidalanarkən yaranan gücü və istiliyi dağdır. Bilyalı dəyirman istifadəçiyə təmiz 3D formaya daha yaxın kəsməyə imkan verir və daha yüksək sürət və yemləmə imkanı verir. (Киселев И.А. 2013)

Bir hissənin altındakı böyük düz sahələr tələb olunursa, hissəni top burunlu alətlə kobudlaşdırdıqdan sonra künc radius alətindən istifadə edilməlidir. Künc radiuslu alət top kimi böyük radiusa malik deyil və buna görə də istilik və qüvvəni, eləcə də bilyalı dəyirmanı yaymır. Kvadrat künc aləti son çarə kimi və yalnız top ucun alət və künc radius aləti hissədən mümkün qədər çox material çıxardıqdan sonra istifadə edilməlidir. (И.В.Горбунов САЕ.2013) Kvadrat uçlu alətin kəskin bucağı bütün istilik və qüvvənin mərkəzi rolunu oynayır və qırılmaya meyillidir. Kvadrat ölçülü dəyirman yalnız döşəmədən divara keçid zamanı kəskin bucaq lazım olduqda istifadə edilməlidir.



Şək.1.9 Frezləmədə kəsicilərin növləri

Mənbə: [robjack.com/support-article/high-speed-hard-metal/](http://robjack.com/support-article/high-speed-hard-metal/)

Kiçik diametrlı kəsicilər üçün alətin sapı kəsici diametrdən çox böyük olmalıdır (şək.1.7). Bu, kəsicinin sərtliyini artırır, bu da daha yaxşı bitirmə əldə etməyə kömək edir və alətin ömrünü uzadır.

MRR-nin artırılması ilə yanaşı, istehsalın avtomatlaşdırılmasının da artırılmasına ehtiyac var. Bu o deməkdir ki, alətlər və iş parçaları avtomatik olaraq dəyişdirilir və proses müxtəlif sensorlar tərəfindən daim izlənilir (L.N.Lopez de Lacalle, A.Lamikiz,2002). Bu cür sistemlər, həddindən artıq aşınma səbəbindən alətin nasazlığının qarşısını almaq üçün yerləşdirilmiş alətin dəyişdirilməsi lazım olduqda operatoru xəbərdar edir. Belə sistemlərin istifadəsi həmçinin qırıntıların və qüsurlu iş parçalarının miqdarının azalmasına səbəb olmalıdır. (A.B.Савилов,2013)

Emal edilmiş materialın yüksək sürətli frezləməyə təsiri

Yüksək sürətli frezləmə həm aerokosmik sənayedə, həm də qəlib sənayesində məşhurdur. Bu səbəbdən, bu tətbiqlərdə ən çox yayılmış metallar titan, poladlar (paslanmayan poladlar daxil olmaqla) və alüminiumdur. İşlənən bu metalların hər biri fərqli xüsusiyyətlərə malikdir, buna görə də yüksək sürətli frezləmə hər birinə fərqli şəkildə tətbiq olunur.

Məsələn, titanın yüksək sürətli emal edilməsi yalnız bitirmə mərhələsində baş verir. Karbid kəsicinin hər dişinə verilən qidalanma eyni qalsa da, dəqiqədə yem

(SFM) arta bilər. Bu o deməkdir ki, kobud frezləmə zamanı frezləmə dəzgahının milinin sürəti aşağı səviyyədə saxlanılır, lakin yüksək sürətli frezləmənin tamamlanması zamanı frezləmə maşınının mili sürəti əhəmiyyətli dərəcədə artır.

Yüksək sürətli frezləmə üçün frezləmə tipi: yüksək sürətli emal üçün frezləmə maşını seçərkən çətinliklər yaranır, çünki dəzgahın fırlanma momenti, gücü və iş mili sürəti tələbləri emal olunan materialın növündən asılı olaraq dəyişir. Titanın yüksək sürətli emalı üçün uyğun olan bir frezləmə, polad frezləmə kimi xüsusi bir sıra alətlərdən istifadə edərkən belə, polad kimi digər materialı frezləmək üçün tamamilə təsirsiz ola bilər. Yüksək sürətli frezləmə əməliyyatına başlamazdan əvvəl, frezləmə maşınının metal frezləmənin kəsmə tələblərinə cavab verə biləcəyinə əmin olmaq üçün onun güc və fırlanma anı cədvəlini yoxlamaq lazımdır.







Tez-tez yüksək sürətli frezləmə əməliyyatları zamanı frezləmə maşını öz limitində işləyir. Buna görə də, karbid və ya gövdə kəsicilərindən istifadə edərək düzgün frezləmə strategiyasını tətbiq etmək xüsusilə vacibdir. İş parçasına daxil olan və çıxan radius yolları, künc radiusuna əsaslanan qidalanma sürətinin kompensasiyası və troxoidal frezləmə üsulları kimi müvafiq künc yuvarlaqlaşdırma və çiplərə nəzarət üsullarından istifadə edilməlidir. (A.G. Rehorn, J. Jiang, P.E. Orban, and E.V. Bordatchev, 2012)

Adi frezləmə zamanı metal kəsici düz bir xətt izləyir və adətən metal çipləri formalaşdırarkən çoxlu gərginlik yaşayır. Troxoidal frezləmədə CNC kəsici dairəvi hərəkətlə hərəkət edir və çipləri formalaşdırarkən aşağı, lakin sabit bir yükə malikdir. Bu, arzu olunan səth keyfiyyətini qoruyarkən yüksək sürətli frezləmə proseslərində məhsuldarlığı və etibarlılığı təmin edərək, ardıcıl çiplərin çıxarılmasını və aşağı gərginliyi təmin edir. İş yükünün və onun istiqamətinin dəyişməsinin minimuma endirilməsi də frezləmə maşınının həddindən artıq yüklənməsinin qarşısını alır.

Yüksək sürətli emal üçün kəsici seçilməsi:

Yüksək sürətli frezləmənin çox vacib bir cəhəti metal kəsicinin düzgün və etibarlı sıxılması və mili sıxma avadanlığı ilə balansıdır. Karbid və ya gövdə kəsicisində sabitliyin olmaması vibrasiyaya gətirib çıxarır, bu da onların xidmət




müddətini qısaldır. Əslində, hər 0,01 mm boşalma üçün bir metal kəsicinin alət ömrü 50% azala bilər. Qaçış iş parçasının səth keyfiyyətini də azaldır.

104P		P	SF	3	Cx45°	DH	NC
110P		P	F/SF	4	Cx45°	DH	NC
115P		P	F/SF	4	Cx45°	DH	NC
120P	NO PHOTO	P	F/SF	4	Cx45°	DH	NC
130P		P	F/SF	4	Cx45°	DH	
135P	NO PHOTO	P	F	4	Cx45°	DH	
160P		P	F/SF	4	R	DH	
165P	NO PHOTO	P	F/SF	4	R	DH	
170P		P	F/SF	2	R	30°	
180P	NO PHOTO	P	F/SF	4	R	30°	

Şək.1.10 Polad frezləmə kəsiciləri

Mənbə: [Фреза твердосплавная купить \(met-instrument.ru\)](http://met-instrument.ru)



304M	NO PHOTO	M	F/SF	3	Cx45°	DH	NC	CM
306M		M	F/SF	3	Cx45°	DH	NC	CM
308M		M	F/SF	3	Cx45°	DH	NC	CM
309M	NO PHOTO	M	F/SF	3	Cx45°	DH	NC	CM
310M	NO PHOTO	M	F/SF	4	Cx45°	DH	NC	CM
315M	NO PHOTO	M	F/SF	4	Cx45°	DH	NC	CM
320M		M	F/SF	4	Cx45°	DH	NC	CM
321M	NO PHOTO	M	F/SF	4	Cx45°	DH	NC	CM
330M	NO PHOTO	M	F/SF	4	Cx45°	DH		CM
335M	NO PHOTO	M	F	4	Cx45°	DH		CM

Şək.1.11 Paslanmayan poladın emalı üçün frezləmə kəsiciləri

Mənbə: [Фреза твердосплавная купить \(met-instrument.ru\)](http://met-instrument.ru)

Karbid kəsici balanssızlığını və ya mil eksentrikliyini hesablamaq üçün istifadə edilən Nyutonun ikinci qanununu əhatə edən riyazi tənliklərə baxaq. Qeyd etmək vacibdir ki, hətta yüksək sürətlərdə minimal balanssızlıq eksentrikliklə bağlı problemlərə səbəb ola bilər. Müasir metal kəsici istehsalçıları, metal kəsicilərinin düzgün tərəflərinə balans stikerləri əlavə edərək, balanssız qüvvələrin nəticələrini erkən nəzərə alırlar. Bu təcrübə bir çox frezləmə markaları arasında geniş yayılmışdır və metal kəsmə texnoloqlarına müxtəlif üz və son dəyirmanları asanlıqla fərqləndirməyə imkan verir.

500N	NO PHOTO	N	F/SF	1	90°	25°	PN	
502N	NO PHOTO	N	F/SF	2	Cx45°	45°	PN	
515N		N	F/SF	3	Cx45°	DH	NC	PN
516N	NO PHOTO	N	F/SF	3	Cx45°	DH	NC	CN
520N		N	F/SF	3	Cx45°	DH	NC	PN
521N		N	F/SF	3	Cx45°	DH	NC	CN
528N		N	F/SF	3	90°	45°		PN
530N		N	F/SF	3	Cx45°	DH		PN
531N		N	F/SF	3	Cx45°	DH		CN
535N		N	F	3	Cx45°	DH		PN
536N	NO PHOTO	N	F	3	Cx45°	DH		CN
550N	NO PHOTO	N	F/SF	3	R	DH	NC	PN
565N	NO PHOTO	N	F/SF	3	R	DH	NC	PN
570N		N	F/SF	2	R	30°		PN
571N	NO PHOTO	N	F/SF	2	R	30°		CN
575N	NO PHOTO	N	F/SF	2	R	30°		PN

Şək.1.12 Alüminium emalı üçün frezləmə kəsiciləri

Mənbə: [Фреза твердосплавная купить \(met-instrument.ru\)](http://met-instrument.ru)

Digər növ metal kəsicilər incə bitirmə frezləmə üçün uygundur. Karbid son dəyirman alətinin ömrünü və səth keyfiyyətini əhəmiyyətli dərəcədə azaldan ən ümumi problemlərdən biri vibrasiyadır. Karbid kəsicinin spiral kəsicini kənar həndəsəsi və dəyişən spiral fleyta konfigurasiyası minimal avadanlıq enerji sərfiyyatı ilə yüksək metal çiplərin çıxarılması sürətinə kömək edən iki əsas amildir. Harmonik titrəmələri aradan qaldıran xüsusi həndəsə ilə vibrasiyaya qarşı karbid uc dəyirmanı bu problemi həll edir. Hər hansı bir metal kəsicinin əsas məqsədi müxtəlif materialları kəsərkən maksimum məhsuldarlığı təmin etməkdir ki, bu da son nəticədə gəlirliliyi artırır. Buna yalnız hər bir material üçün xüsusi olaraq hazırlanmış düzgün karbid kəsicini konfigurasiyası ilə nail olmaq olar. Hər bir

material növü üçün öz kəsici konfigurasiyasının işlənib hazırlanması idealdır, lakin bu, çeşidin və dəyərin artmasına səbəb ola bilər. Buna görə də, materiallar qruplara birləşdirilir və orta həndəsə ilə kəsicilər yaradılır. Məsələn, polad, paslanmayan polad, titan, alüminium, plastik və digər materiallar üçün kəsicilər. Frezləmə kəsiciləri dişlərin sayına görə də fərqli ola bilər, məsələn, tək, iki fleyta, üç fleyta .

Mükəmməl balanslaşdırılmış 1,25 kq-lıq BT40 konik uc dəyirmanına 0,25 qramlıq balans stikerinin əlavə edilməsi göstərir ki, belə aşağı kütlə 15000 rpm-lik mil sürətində 12N balanssızlıq qüvvəsi yarada bilər. Karbid kəsicinin balanslaşdırılması onun fırlanmasına səbəb olur ki, mərkəzdənqaçma qüvvələri yaranır və bu qüvvələr daha sonra xüsusi balanslaşdırma maşını və ya müasir frezləmə maşınının mili ilə rulmanlarda ölçülür. Bu, müəyyən bir hündürlükdə balanssızlığın ölçüsünü və istiqamətini müəyyən edir. Balans əsas rol oynayır, çünki CNC stendində balanssız kəsici dərhal dəzgah milini zədələyə bilər və həmçinin onun davamlılığını əhəmiyyətli dərəcədə azalda bilər.

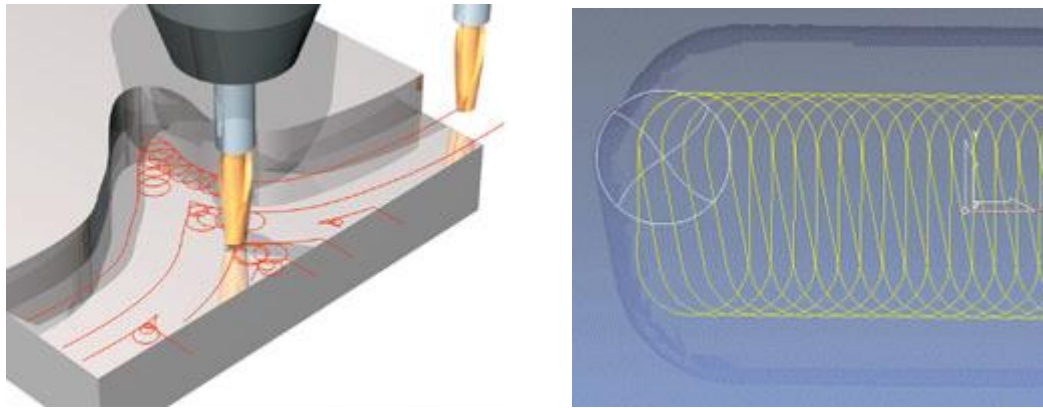
Metal kəsicini balanslaşdırmaq üçün 7 addım:

- Balans aparatını işə salın.
- Balans aparatının təmiz olduğundan əmin olun.
- Balans maşınındakı balanssızlığı sifıra qoyun.
- Kəsicinin çəkisini daxil edin (lazım olduqda G sinfini göstərin).
- Kəsici təmizləyin.
- Kəsicini balans maşınına qoyun.
- Balanssızlığı ölçün.

CAM sistemlərində yüksək sürətli frezləmənin proqramlaşdırılması:

Yüksək sürətli frezləməni həyata keçirmək istəyən metal istehsalçıları lazımı hərəkəti, CAM interfeysini və dəyirmanı baxış funksionallığı ilə səmərəli idarəetməni təmin edə bilən frezləmə maşınına sahib olmalıdırlar. Düzgün CAM proqramı mürəkkəb 3D və profil səthləri yaratmağa imkan verir və çip formalaşması zamanı və bütün kəsmə şəraitlərində yükün ardıcılığını təmin edir. Yüksək sürətli frezləmənin uğurlu tətbiqi üçün bir neçə amili nəzərə almaq vacibdir. Karbid kəsici,

frezləmə, CNC sistemi və CAM proqramı mühüm rol oynayır. Yuxarıda göstərilən amillərin hamısının düzgün nəzərə alınması, o cümlədən həqiqətən yüksək mil sürətinə malik marşrutlaşdırıcıların istifadəsi yüksək sürətli frezləmə prosesində maksimum səmərəliliyə nail olmağa imkan verir.



Şək.1.13 CAM sistemləri

Mənbə: müəllif tərəfindən proqram təminatı ilə hazırlanıb

Yüksək sürətli frezləmə emal olunan hər bir material qrupu üçün xüsusi seçilmiş karbid markasını tələb edir. Karbid kəsicinin konfigurasiyasının və kəsmə şəraitinin düzgün seçilməsi xüsusilə yüksək kəsmə sürətlərində frezləmə dövrünün vaxtını azalda bilər və buna görə də istehsal vahidi üçün metal kəsmə avadanlığının ümumi enerji istehlakını azalda bilər. Dəyirmanın sürətli metal çıxarılması prosesi yüksək məhsuldarlığı təmin etməklə yanaşı, həm də enerjiyə qənaət edir. Digər vacib parametrlər, CNC kəsici kimi də tanınan bir CNC kəsicinin kəsici hissəsinin iş parçası ilə birləşməsinin uzunluğudur. Bu uzunluq nə qədər qısa olarsa, performans və enerjiyə qənaət bir o qədər yüksək olar. Vahid vaxtda çıxarılan materialın həcmi ilə ölçülən yüksək məhsuldarlığa müvafiq emal strategiyası ilə dəqiq mil və sıxma avadanlığı ilə nail olunur. Effektiv frezləmə strategiyalarından istifadə kəsici qüvvələri azaltmağa, bu qüvvələri effektiv şəkildə paylamağa, vibrasiyanı aradan qaldırmağa, çiplərin boşaldılmasını asanlaşdırmağa və nəticədə metalın çıxarılmasını artırmağa kömək edir.

## II FƏSİL. YÜKSƏK SÜRƏTLİ FREZLƏMƏ ZAMANI ALƏTİN BALANSLIĞINA TƏSİR EDƏN AMİLLƏR

### 2.1 Alət balanslığa təsir edən həndəsi amillər və qeyri-balanslığın yaranması

Yüksək sürətli frezləmə zamanı prosesin səmərəliliyi birbaşa alətin düzgünlüyündən və balanssızlığının minimuma endirilməsindən asılıdır. Alətin həndəsi xüsusiyyətləri bu kontekstdə əsas rol oynayır, yüksək fırlanma sürəti şəraitində onun performansını və balanslaşdırma qabiliyyətini müəyyənləşdirir. Bu girişdə biz yüksək sürətli frezləmə zamanı alət balanssızlığına təsir edən müxtəlif həndəsi aspektləri nəzərdən keçirəcəyik və onların materialların emal prosesi üçün təsirlərini araşdıracağıq. (J.Machinery.2014)

Birinci və bəlkə də ən vacib həndəsi amil alətin işçi hissəsinin forması və ölçüsüdür. Müxtəlif növ kəsicilər müxtəlif kəsici konfigurasiyalara, meyl açılmasına və həndəsi parametrlərə malik ola bilər. Müəyyən bir kəsici formanın seçimi onun materialı optimal səmərəlilik və minimum vibrasiya ilə çıxarmaq qabiliyyətini müəyyənləşdirir, bu da öz növbəsində alət balanssızlığına təsir göstərir. Məsələn, simmetrik kəsici kənarı olan kəsici qeyri-bərabər həndəsə ilə kəsici ilə müqayisədə yüksək fırlanma sürətlərində daha vahid yük paylanmasını təmin edə bilər.

Digər vacib həndəsi cəhət alətin uzunluğu və diametridir. Uzun və nazik alətlər dinamik yüklərə və vibrasiyalara daha çox həssasdırlar, bu da yüksək fırlanma sürətlərində balanssızlığın artmasına səbəb ola bilər. Bundan əlavə, kəsicinin diametri onun sərtliyinə və özünü balanslaşdırma qabiliyyətinə təsir göstərir. Optimal diametr emal dəqiqliyi və balanssızlığı minimuma endirmək tələbləri nəzərə alınmaqla seçilir.

Alət sahibinin həndəsəsini də nəzərə almaq lazımdır. Saxlayıcı alətin etibarlı bərkidilməsini təmin etməli və onun vibrasiyasını minimuma endirməlidir. Yanlış dizayn edilmiş və ya köhnəlmiş tutacaq alətdə əlavə dinamik yüklərə və alət balansının artmasına səbəb ola bilər.

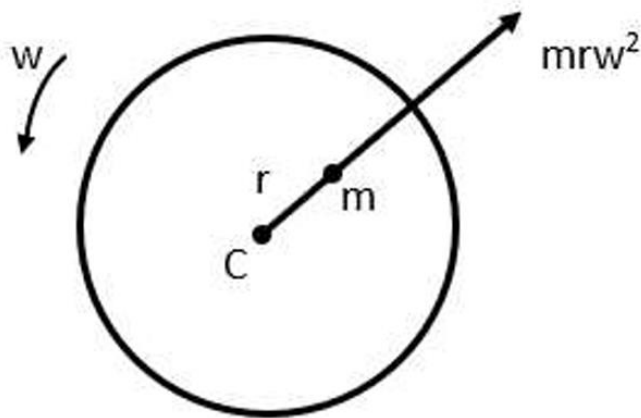
Bundan əlavə, iş parçasının forması və həndəsəsi də alət balanssızlığına təsir göstərə bilər. Məsələn, iş parçasının səthində qabarların və ya qeyri-bərabər paylanmış kütlənin olması əlavə vibrasiyaya səbəb ola bilər və frezləmə zamanı balanssızlığı artırır. Buna görə də, frezləmə prosesini planlaşdırarkən yalnız alətin deyil, həm də iş parçalarının həndəsi xüsusiyyətlərini nəzərə almaq vacibdir.

Yekun olaraq qeyd edək ki, yüksək sürətli frezləmə zamanı alət qeyri-balanslıq yaranmasında həndəsi amillər əsas rol oynayır. Bu aspektləri başa düşmək və optimallaşdırmaq alətdəki dinamik yükləri azalda və materialın emalı prosesinin səmərəliliyini artırır. Növbəti bölmələrdə biz alət həndəsəsinin müxtəlif aspektlərinə və onların qeyri-balanslıq təsirinə, həmçinin bu fenomenin qarşısının alınması və idarə olunmasına daha yaxından nəzər salacağıq.

Frezləmənin qeyri-balanslıq rotorun kütlə mərkəzi ( $m$ ) onun fırlanma oxuna uyğun olmadıqda baş verir ( $C$ ). qeyri-balanslıq rotorlar onların komponentlərinə zərər verə biləcək vibrasiya yaradır. Bölmələrin xidmət müddətini artırmaq üçün qeyri-balanslıqdan yaranan vibrasiyanı məqbul səviyyəyə endirmək lazımdır. qeyri-balanslıq birbaşa fırlanma oxundan ( $r$ ) məsafədə yerləşən maddi kütlənin ( $m$ ) nöqtəsi kimi müəyyən edilir.

$$U = m \cdot r [\Gamma \times \text{MM}]$$

Rahatlıq üçün, alət parametrlərini balanslaşdırarkən, kiçik ölçülərinə görə, adətən SI dəyərlərindən daha çox ( $g, x, mm$ ) ölçüsü istifadə olunur.



Şək.2.1 Qeyri-sabit rotorun diaqramı (eksenel bölmə)

Mənbə: Müəllif tərəfindən proqram təminatı ilə hazırlanıb

Qeyri-balanslıq nəticəsində Nyutonun ikinci qanununa uyğun olaraq aşağıdakı kimi təsvir edilən mərkəzdənqaçma qüvvələri yaranır:

$$F = m \cdot a = m \cdot r \cdot \omega^2 = U \cdot \left(\frac{n}{9549}\right)^2 [H]$$

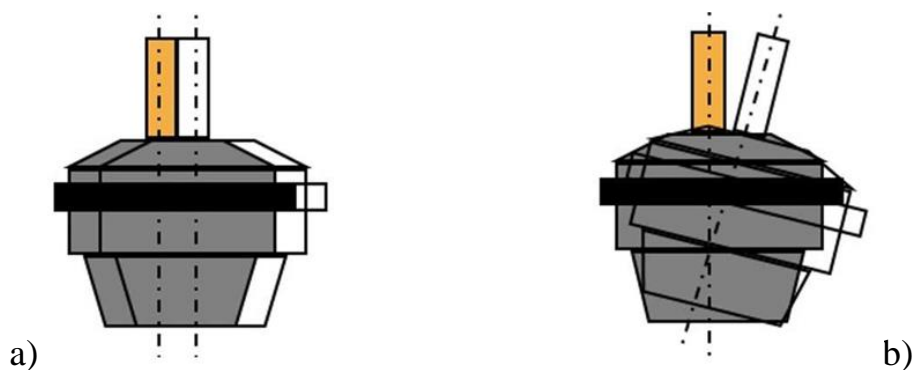
Bu halda:

- ( $\omega$ ) - saniyədə radyanla bucaq sürətini bildirir,
- (n) - dəqiqədə mil sürətini təmsil edir,
- (k) - bucaq sürətinin xətti fırlanma sürətinə çevrilmə əmsalı.

Eyni qeyri-balanslıq vəziyyəti müxtəlif yollarla təmsil oluna bilər. Statik və dinamik qeyri-balanslıq ayırd etmək də vacibdir.

Statik qeyri-balanslıq rotorun vəziyyətidir, nəticədə qeyri-balanslıq vektoru rotorun həndəsi kütlə mərkəzindən keçir. Belə bir rotor fırlananda yalnız mərkəzdənqaçma qüvvəsi yaranır ki, bu da onun fırlanma oxundan paralel olaraq uzaqlaşmasına səbəb olur.

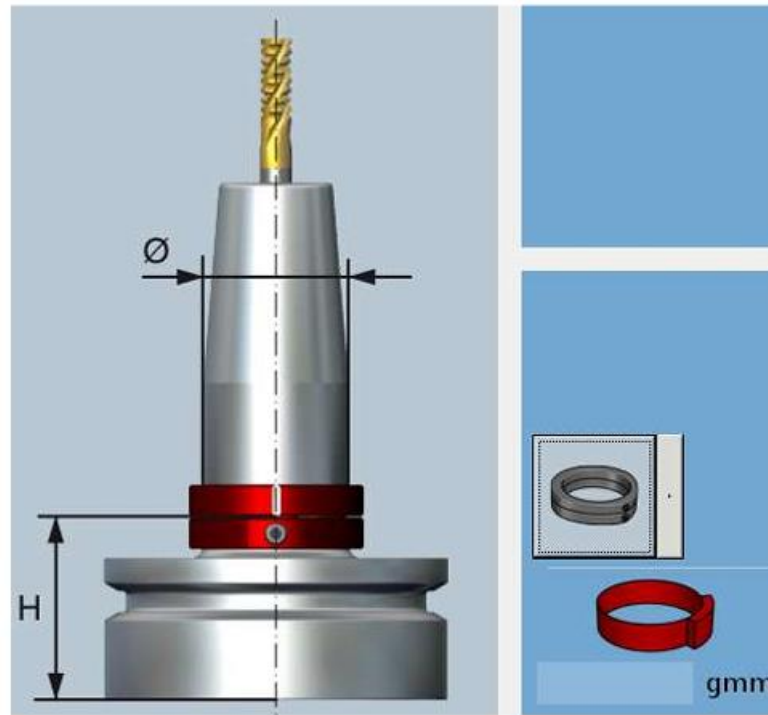
Digər hallarda, yaranan qeyri-balanslıq vektoru rotorun kütləsinin həndəsi mərkəzindən keçmədikdə, dinamik qeyri-balanslıqdan danışırıq. Bu, kütlə mərkəzinin müstəvisində alətin ortoqonal oxları arasındakı məsafəyə bərabər bir çiyin və nəticədə qeyri-balanslıq vektoru olan əlavə bir əyilmə anının görünüşünə səbəb olur. Belə bir rotor dönəndə əyilir. (Ahmadi.K,Altintas.Y,2014)



Şək.2.2 Alət quraşdırmada qeyri-balanslıqın təsiri: paralel yerdəyişmə (a), rotorun bucaq yerdəyişməsi (b)

Mənbə: <https://www.istu.edu/>

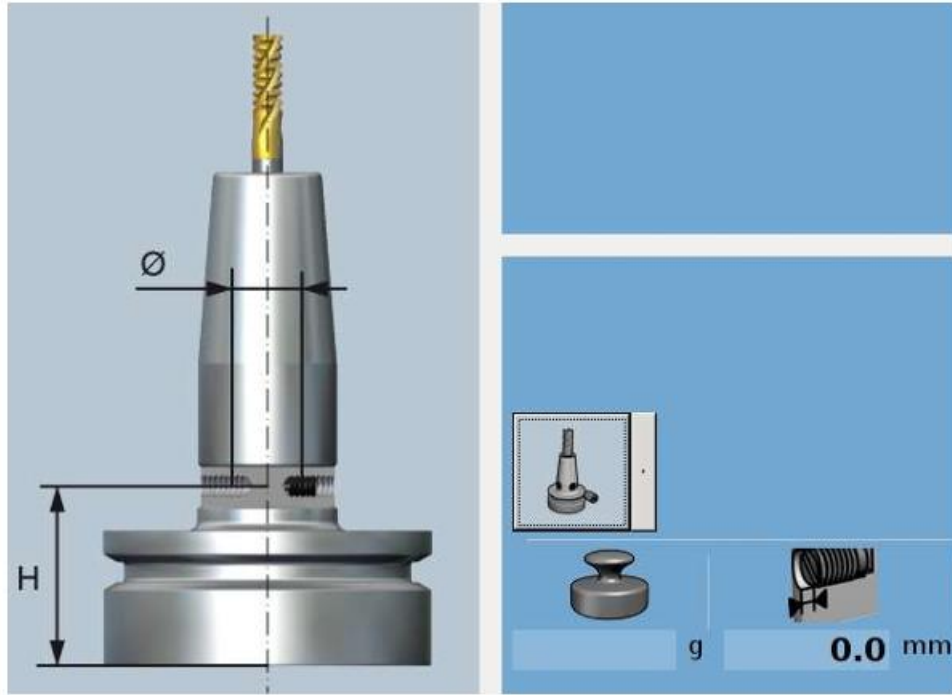
Alət parametrlərinin dağıdıcı olmayan balanslaşdırılmasının iki üsulu var: vintlər və üzüklərdən istifadə edərək balanslaşdırma (Şək.2.2 və Şək.2.3-ə baxın). Bu üsulların əsas üstünlüyü, adından da görüldüyü kimi, balanslaşdırma prosesi zamanı armaturun özü heç bir dəyişikliyə məruz qalmaması və nəzəri olaraq istənilən sayda balanslaşdırıla bilməsidir. Şəkillər xüsusi proqram təminatında yaradılmışdır. (Stanotex.v, 2004)



Şək.2.3 Üzüyün köməyi ilə qeyri-balanslığın aradan qaldırılması

Mənbə: Müəllif tərəfindən proqram təminatı ilə hazırlanıb





Şək.2.4 Vintlərin köməyi ilə qeyri-balanslığın aradan qaldırılması

Mənbə: Müəllif tərəfindən program təminatı ilə hazırlanıb

Qeyri-dağıdıcı tarazlaşdırma üsulları əks istiqamətdə qeyri-balanslıq vektorunu daxil etməklə qalıq qeyri-balanslığın kompensasiyasını təmin edir. Bunun üçün alətin tənzimlənməsinə ciddi şəkildə müəyyən edilmiş yerdə çuxura vidalanmış vintlər şəklində və ya kənardan mandrelə qoyulan çəkilərlə yaxası halqalar şəklində əlavə kütlə əlavə edilir.

Belə metodların əsas çatışmazlıqları aşağıdakılardır:

- Təyin edilmiş vintlərin çuxura vidalanma dərinliyinin dəqiq tənzimlənməsində məhdudiyətlər.
- Xüsusi patronlardan istifadə ehtiyacı.
- Vintlərin öz-özünə açılma riski.
- Müəyyən hallarda üzüklərin istifadəsinə məhdudiyətlər.
- Balanslaşdırma prosesinin nisbi mürəkkəbliyi.
- Bir sıra vintlər/üzüklərə ehtiyac var.

Bu amillər dağdııcı olmayan metodların tətbiq dairəsini müəyyən edir. Nadir istisnalarla, onlar tək və ya kiçik miqyaslı istehsalla məşğul olan kiçik müəssisələrdə balanslaşdırma alətləri üçün istifadə olunur.

## **2.2 Alətin material xassələri və balanslığa təsiri**

Frezləmə zamanı alət materialının xassələrinin balanslığa təsir:

Maşın hissələri və mexanizmlərinin istehsalı texnologiyasının əsas məqsədi müəyyən ölçülərə, formalara və səth keyfiyyətinə nail olmaq üçün müxtəlif texnoloji üsul və üsullardan istifadə edərək iş parçaları formalaşdırmaqdır. Metal kəsmə prosesi xüsusi avadanlıqda frezləmə alətlərindən istifadə etməklə həyata keçirilir. (Kiselev I.A, 2012)

Maşın və mexanizmlərin hissələri müxtəlif konstruktiv materiallardan, əsasən metallardan hazırlanır. Tikinti materiallarının əsas kateqoriyalarına qara və əlvan metallar daxildir. Qara metallara dəmir əsaslı ərintilər, əlvan metallara isə mis, alüminium, titan və digər elementlər əsasında ərintilər daxildir.

Kəsmə qabiliyyəti konstruktiv materialların qiymətləndirilməsi üçün əsas meyarlardan biridir. Bütün bu materialları emal qabiliyyətinə görə dörd əsas qrupa bölmək olar:

- 1) Asanlıqla işlənən materiallar, məsələn, əlvan metallar və aşağı sərtliyə malik ərintilər.
- 2) Karbon və aşağı alaşımli poladlar da daxil olmaqla orta emal qabiliyyətinə malik materiallar.
- 3) Yüksək alaşımli konstruksiya poladları və çuqunlar daxil olmaqla, orta emal qabiliyyətindən aşağı olan materiallar.
- 4) Yüksək alaşımli austenit poladları, istiliyədavamlı və turşuya davamlı çeliklər, xüsusi ərintilər və titan ərintiləri kimi çətin kəsilən materiallar.

frezləmə müxtəlif sənaye sahələrində istifadə olunan ən çox yayılmış material emal üsullarından biridir. Bu, fırlanan alətdən - frezləmə kəsicisindən istifadə edərək materialın çıxarılması prosesidir. (Carbidetool H, 2014) Bununla belə, bu proses zamanı tez-tez qeyri-balanslıq problemləri yaranır ki, bu da emal keyfiyyətinə,

istehsalın səmərəliliyinə və hətta iş təhlükəsizliyinə əhəmiyyətli dərəcədə təsir göstərə bilər.

Qeyri-balanslıq, fırlanan alətin kütləsinin qeyri-bərabər paylanması özünü göstərir ki, bu da alətin dizaynı, istehsal qüsurları, materialın aşınması və başqaları da daxil olmaqla müxtəlif amillərdən qaynaqlana bilər. Alət materialının xüsusiyyətlərinin frezləmə qeyri-balanslığa təsiri emal prosesinin müvəffəqiyyətini müəyyən edən əsas aspektlərdən biridir.

Frezləmə zamanı qeyri-balanslığa təsir edən əsas alət materialı xüsusiyyətlərinə aşağıdakılar daxildir:

- **Material Sıxlığı və Tərkibi:** Müxtəlif sıxlıqlara və tərkiblərə malik olan materiallar qeyri-balanslığa qarşı müxtəlif müqavimət səviyyələrinə malik ola bilər. Məsələn, daha sıx materiallar daha yaxşı kütlə paylanmasını təmin edə bilər, qeyri-balanslıq ehtimalını azaldır.
- **Güc və Sərtlilik:** Yüksək möhkəmliyə və sərtliyə malik materiallar ümumiyyətlə deformasiyaya və aşınmaya daha az həssas olur, nəticədə alətin daha stabil işləməsi və balansın pozulması şansı daha az olur.
- **Aşınmaya davamlılıq:** Materialın uzun müddət istifadə zamanı öz xüsusiyyətlərini saxlamaq qabiliyyəti qeyri-balanslıq qarşısının alınmasında mühüm rol oynayır. Yüksək aşınma müqavimətinə malik materialların zamanla forma və ya kütləsini dəyişmək ehtimalı azdır.
- **İstilik keçiriciliyi və İstilik Müqaviməti:** Materialın yüksək istilik keçiriciliyi və istilik müqaviməti alətin həddindən artıq istiləşməsinin qarşısını almağa kömək edə bilər ki, bu da deformasiyaya və qeyri-balanslığa səbəb ola bilər.
- **Səthin Mexaniki Xüsusiyyətləri:** Alətin səthində artan pürüzlülük və ya qeyri-bərabərlik kütlənin qeyri-bərabər paylanmasına və qeyri-balanslıq artmasına səbəb ola bilər.
- **Dəqiq İşlənmə:** Alətin işlənməsinin keyfiyyəti qeyri-balanslıqın qarşısının alınmasında əsas rol oynayır. İstehsal prosesindəki kiçik qüsurlar və ya

səhvlər belə əhəmiyyətli dis qeyri-balanslığa səbəb ola bilər və qəza riskini artırır.

Frezləmə zamanı qeyri-balanslığın qarşısını almaq üçün yalnız uyğun alət materiallarının seçilməsi deyil, həm də düzgün emal texnikası, müntəzəm texniki qulluq və keyfiyyətə nəzarət tələb olunur. Alət üçün optimal material seçərkən xüsusi iş şəraitini, emal olunan materialın növünü və son məhsul tələblərini nəzərə almaq vacibdir. (A.САВИЛОВ,2015)

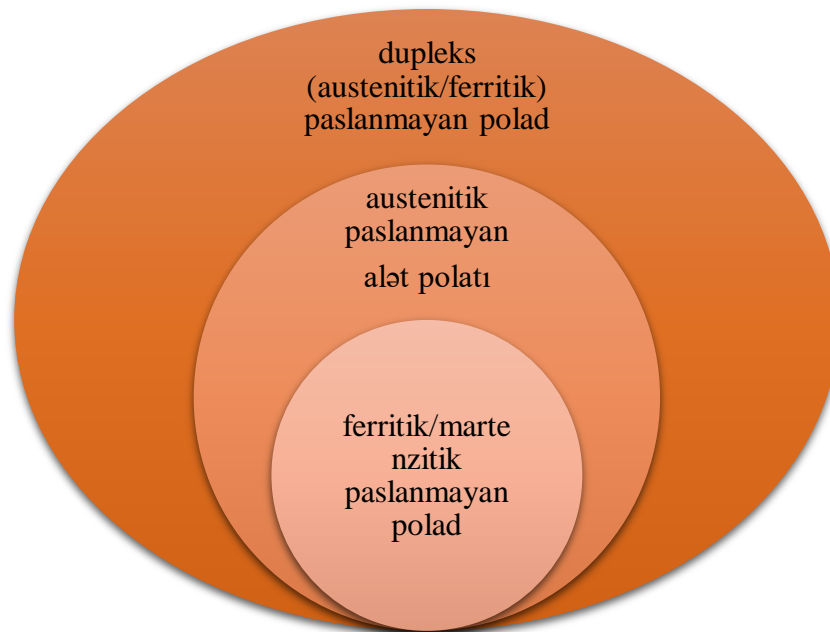
Poladın emalına ərinti elementlərinin olması, yerinə yetirilən istilik müalicəsi və döymə və tökmə də daxil olmaqla istifadə olunan istehsal prosesləri kimi müxtəlif amillər təsir göstərir.

Daha yumşaq aşağı karbonlu polad ilə işləyərkən əsas problem iş parçasında yığılmış kənarların və buruqların əmələ gəlməsidir.

Sərt polad frezləmə edərkən, alətin aşmasının qarşısını almaq üçün kəsicini iş parçasına nisbətən dəqiq yerləşdirmək vacibdir.

Polad hissələrin frezlənməsi prosesini optimallaşdırmaq üçün kəsicinin vəziyyətini aləti geri çəkərkən qalın çiplərin əmələ gəlməməsi üçün tənzimləmək tövsiyə olunur. Xüsusilə kobud işləyərkən quru kəsməni də nəzərə almağa və kəsici mayelərdən istifadə etməməyə dəyər.

Hər bir növün özünəməxsus marşrutlaşdırma qaydaları var.



Şək.2.5 Paslanmayan polad frezləmə üç əsas növü

Mənbə: Müəllif tərəfindən proqram təminatı ilə hazırlanıb

### 1) Ferritik/martenzitik paslanmayan poladın frezlənməsi

Materialın təsnifatı:

Ferritik paslanmayan poladın emalı aşağı alaşımly poladın emalına bənzəyir, buna görə də polad frezləmə qaydaları tətbiq olunur. Bunun əksinə olaraq, martensitik paslanmayan polad daha yüksək sərtliyə malikdir və daha güclü kəsmə tələb edir.

Optimal nəticələr əldə etmək üçün düzgün alət yolundan və qövs kəsmə üsulundan, həmçinin sərtləşməni aradan qaldırmaq üçün artan kəsmə sürətindən " $V_c$ " istifadə etmək lazımdır.

Artan təhlükəsizlik yüksək kəsmə sürəti, daha güclü materiallar və təkmilləşdirilmiş kəsici kənarların istifadəsi ilə əldə edilir.

### 2) Ostenitik və dupleks paslanmayan poladın frezlənməsi

Materialın təsnifatı:  $M_1.x$ ,  $M_2.x$  və  $M_3.x$

Ostenitik və dupleks paslanmayan poladın frezlənməsi zamanı əsas aşınma amilləri termal çatlar, fleyta aşınması və kənarların yığılması nəticəsində yaranan

kəsici qırılmalarıdır. Hissələrə gəldikdə, əsas problemlər burr əmələ gəlməsi və səthin keyfiyyətidir. İlk emal üçün tövsiyələr:

Kənarların yığılmasının qarşısını almaq üçün daha yüksək kəsmə sürətindən istifadə etmək tövsiyə olunur ( $V_c = 150-250$  m/dəq).

Termal krekinqlə bağlı problemləri minimuma endirmək üçün kəsici mayelərdən istifadə etmək əvəzinə quru kəsmə seçmək tövsiyə olunur.

Bitirmə üçün tövsiyələr:

Materialın səthinin keyfiyyətini yaxşılaşdırmaq üçün tez-tez sürtkü mayesi və ya yağ dumanı/minimal yağlama istifadə etmək lazımdır. Bu, aşağı istilik yükü səbəbindən kəsmə zonasında termal çatların sayını azaldır.

Bununla birlikdə, metal keramika materialları ilə işləyərkən, kəsici mayenin istifadəsi lazımsız ola bilər, çünki onsuz kifayət qədər yaxşı bir səth keyfiyyəti əldə edilə bilər.

Qeyd etmək lazımdır ki, çox aşağı qidalanma " $f_z$ " kəsici kənarın gərginlik sərtləşmə zonasının kəsilməsinə səbəb ola bilər ki, bu da əlavənin aşınma dərəcəsini artıracaqdır.

Çuqun frezləmə

1) Boz çuqun

Materialın təsnifatı:

Boz çuqunu frezləmə edərkən aşınmaya təsir edən əsas amillər aşınma və cinah aşınması, həmçinin isti çatlamadır.

Komponentlərə gəldikdə, diqqət yetirilməli olan ilk şey iş parçasının əyilməsi və səthin keyfiyyətidir.

1. İsti krekinqləri minimuma endirmək üçün qalın örtülmüş karbid bıçaqlarından istifadə edərək, maye kəsmədən quru kəsmək tövsiyə olunur.
2. İş parçasını əyərkən, cinahın aşınmasını yoxlamalı, çip qalınlığını azaltmaq üçün qidalanma  $f_z$ -ni azaltmalı, böyük müsbət meyl bucağı olan fleytdan istifadə etməli və  $65^\circ/60^\circ/45^\circ$  meyl bucağı kəsicisindən istifadə etməyi düşünməlisiniz.
3. Əgər kəsici mayedən istifadə etmək lazımdırsa, toz əmələ gəlməsinin və ya digər problemlərin qarşısını almaq üçün yağ frezləmə materialı seçilməlidir.

4. Sementlənmiş karbid örtük ümumiyyətlə üstünlük verilən seçimdir, lakin keramika materialları da istifadə edilə bilər. Kəsmə sürəti ( $V_c$ ) nisbətən yüksək olmalıdır, 800-1000 m/dəq, lakin nəzərə alın ki, iş parçasındakı buruqlar kəsmə sürətini məhdudlaşdırı bilər. Kəsmə mayesinin istifadəsi tövsiyə edilmir.

- Kəsmə mayesi olmadan kəsmə üçün nazik örtüklü və ya örtülməmiş karbid bıçaqlarından istifadə etmək tövsiyə olunur.
- Yüksək sürətli bitirmə üçün CBN (kub bor nitridi) materialından istifadə edilə bilər. Kəsmə mayesinin istifadəsi tövsiyə edilmir.

#### Çevik dəmir

Materialın təsnifatı:

1. Ferritik çevik dəmir və ferritik/perlitik çevik dəmir aşağı alaşımli poladla oxşar emal qabiliyyətinə malikdir. Alətləri seçərkən, həndəsələri və materialları daxil edin, polad materiallar üçün frezləmə təlimatlarına əməl edin.
2. Perlitik çevik dəmir daha aşındırıcıdır, ona görə də çuqun materiallarından istifadə etmək tövsiyə olunur.

Əlvan metalların və metal materialların frezlənməsi

Əlvan metallara alüminium ərintiləri, həmçinin maqnezium, mis və sink əsasında ərintilər daxildir. İşlənmə qabiliyyəti əsasən silikon tərkibindəki dəyişikliklərlə müəyyən edilir.

Ən çox yayılmış növü, 13% -dən çox olmayan silikon tərkibli hipoeutektik alüminium-silikon ərintisi.

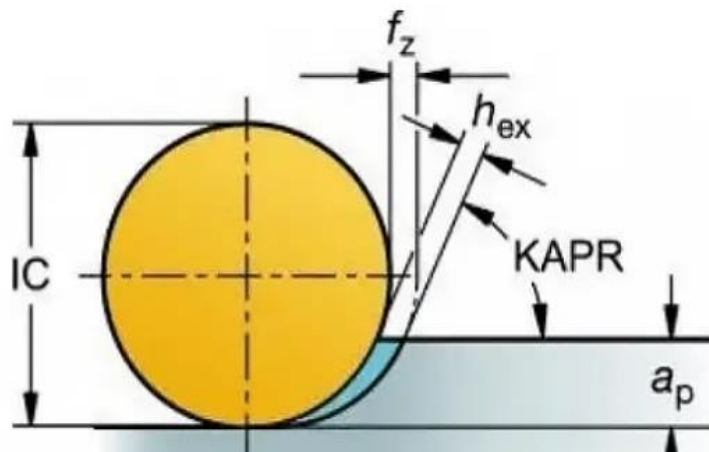
Aşınmanın əsas meyarı kəsici kənarında kənarın/bağlamanın əmələ gəlməsidir ki, bu da səthin keyfiyyətinin pisləşməsinə və buruqların əmələ gəlməsinə səbəb olur. Parçanın səthində cızıqların qarşısını almaq və çipin yaxşı çıxarılmasını təmin etmək üçün aşağıdakılar tövsiyə olunur:

1. Kəskin, cilalanmış kəsici kənarları olan PCD əlavələrinin istifadəsi çiplərin effektiv qırılmasını təmin edir və kənarların əmələ gəlməsinin qarşısını alır.
2. İti kəsici kənarları və pozitiv əyilmə bucağı olan əlavə seçin.

3. Alüminium ərintilərini emal edərkən, materialın bıçağın kəsici kənarına yapışmasının qarşısını almaq və səthin keyfiyyətini yaxşılaşdırmaq üçün həmişə kəsici maye istifadə edilməlidir. Kəsici mayenin tövsiyə olunan konsentrasiyası ərintinin tərkibindəki silikondan asılıdır. 12% silikon tərkibli ərintilər üçün 15% konsentrasiyası olan bir kəsici maye istifadə etmək tövsiyə olunur.
4. Daha yüksək kəsmə sürətləri ümumiyyətlə alətin xidmət müddətinə mənfi təsir göstərmədən məhsuldarlığı artırır.
5. Tövsiyə olunan material dəyəri 0,10-0,20 mm (0,0039-0,0079 düym) təşkil edir. Aşağı dəyərlər buruqlara səbəb ola bilər.
6. Masa yeminin yüksək olması səbəbindən, ölçülü səhvlərdən qaçınmaq üçün əvvəlcədən oxuma funksiyası olan bir maşın istifadə edilməlidir.
7. Alətin ömrü həmişə buruqların əmələ gəlməsi və ya hissələrin səthinin keyfiyyəti ilə məhdudlaşır. Bıçağın aşınmasını alətin ömrü üçün bir meyar kimi istifadə etmək çətinidir.

Super ərintilərin və titanın frezlənməsi adətən aşağı sürətlə işləyə bilən yüksək sərtliyə, gücə və fırlanma momentinə malik maşın tələb edir.

Ən çox yayılmış iki aşınma növü kəsicinin aşınması və kəsici kənarın yuvarlanmasıdır.



Şək.2.6 Dəyirmi kəsicilərin istifadəsi kəsik aşınmasını minimuma endirilməsi qrafiki



Frezləmə zamanı yaranan həddindən artıq istilik kəsmə sürətini məhdudlaşdırma bilər. Mümkün həll yollarından biri dəyirmi kəsicilərin istifadəsini maksimum dərəcədə artırmaqdır ki, bu da çipin incəlmə effektini gücləndirə bilər.

Kəsmə dərinliyi 5 mm-dən azdırsa, giriş bucağı  $45^\circ$  -dən az olmalıdır.

Praktikada dişdə sabit bir yük saxlamaq, prosesin hamar olmasını təmin etmək və ayrı-ayrı plitələrin vaxtından əvvəl uğursuzluğunun qarşısını almaq üçün müsbət yuvarlaqlığa malik bir bıçaqdan istifadə etmək tövsiyə olunur. Kəsicinin həm radial, həm də eksenel dəqiqliyi tələb olunur.

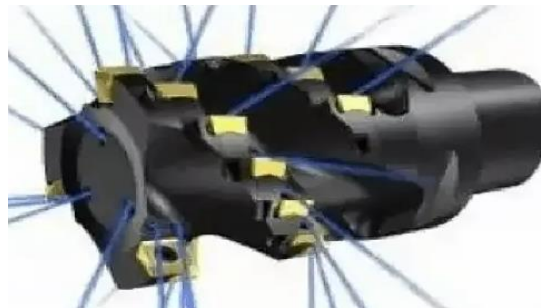
Alət istehsaldan çıxarıldıqda çipin yapışmasının qarşısını almaq üçün kəsici kənar həmişə müsbət yiv bucağına və optimal şəkildə yuvarlaqlaşdırılmış formaya malik olmalıdır.

Marşrutlama zamanı mümkün qədər çox kəsici dişdən istifadə etmək yaxşıdır. Stabil şəraitdə bu, optimal performansla imkan verir.

Müxtəlif dəyişikliklər alətin xidmət müddətinə müxtəlif təsir göstərir, ən böyük təsir kəsmə sürətinə ( $V_c$ ) malikdir, ondan sonra  $a_e$  və  $s$ .

Frezləmə edərkən, həmişə çipin çıxarılmasını təmin edən və kəsici kənarın istiləşməsini idarə edən, çiplərin ikincil kəsilməsinin qarşısını alan bir soyuducu istifadə etmək tövsiyə olunur. Mil/alət vasitəsilə verilən yüksək təzyiqli (70 bar) daxili soyuducu adətən aşağı təzyiqli xarici soyuducuya üstünlük verilir.

Bununla belə, qeyd etmək lazımdır ki, keramika əlavələri ilə frezləmə edərkən, istilik şoku riski səbəbindən kəsici mayenin istifadəsindən qaçınmaq lazımdır.

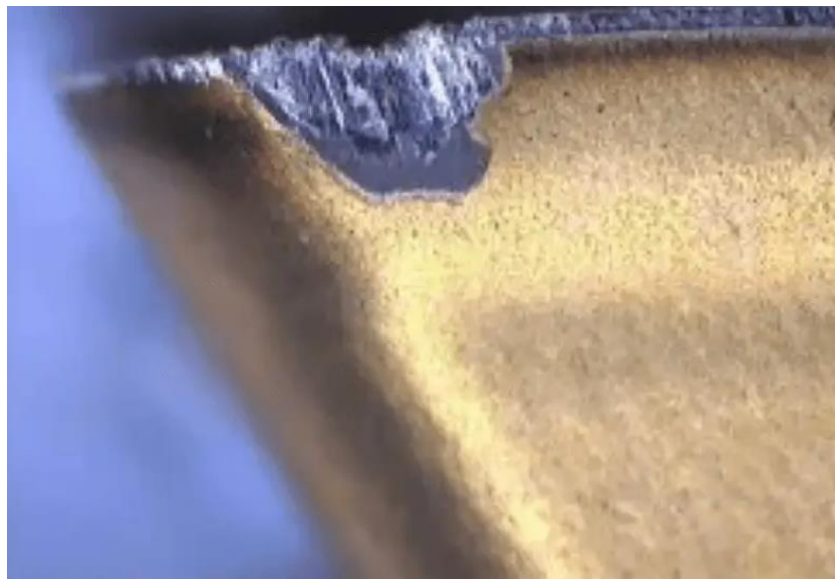


Şək.2.7 Sementlənmiş karbid bıçaqlarından istifadə edərkən daxili soyutma fayda verir

Mənbə: <https://www.machinemfg.com/>

### Bıçaq / alət aşınması:

Alətin nasazlığının və səthin keyfiyyətinin pis olmasının ən çox görülən səbəbləri fleyta aşınması, həddindən artıq cinah aşınması və kənarların qırılmasıdır. Etibarlı emal prosesini təmin etmək üçün ən yaxşı həll tez-tez kəsici kənarı indeksləşdirməkdir. Kəsici kənarın yanal aşınması  $90^\circ$  giriş bucağı olan kəsicilər üçün 0,2 mm-dən və ya həddindən artıq hallarda dairəvi əlavələr üçün 0,3 mm-dən çox olmamalıdır.



Şək.2.8 Tipik Bıçaq Aşınması

Mənbə: <https://www.machinemfg.com/>

Super ərintilərin kobud emal edilməsi üçün keramika bıçaq kəsicilərinin istifadəsi ümumi bir təcrübədir. Keramika ilə frezləmə sürəti, aşağı yem sürətinə (təxminən 0,1 mm/z) baxmayaraq, adətən sementlənmiş karbidlə frezləmə sürətindən 20-30 dəfə yüksəkdir. Bu, məhsuldarlığın əhəmiyyətli dərəcədə artması ilə nəticələnir.

Frezləmə fasiləli kəsmə istifadə edir, bu da dönmə ilə müqayisədə daha aşağı temperaturda nəticələnir. Buna görə də, frezləmə üçün 700-1000 m / dəq kəsmə sürəti tövsiyə olunur, dönmə üçün isə yalnız 200-300 m / dəq. (A.B.САВИЛОВ,2013)

Budur bəzi tövsiyələr:

1. Kiçik bir giriş bucağını təmin etmək və kəsiklərin aşınmasının qarşısını almaq üçün dəyirmi bıçaqlardan istifadə edin.
2. Kəsmə mayesindən istifadə etməyin.
3. Titan ərintilərini kəsərkən keramika bıçaqlarından istifadə etməyin.
4. Keramika səthin bütövlüyünə və digər xüsusiyyətlərə mənfi təsir göstərə bilər. Buna görə, hazır hissə emal üçün formalaşdırıldıqda keramika bıçaqlarından istifadə etməkdən çəkinin.
5. Yüksək temperaturlu ərintiləri keramika əlavələri ilə emal edərkən maksimum yan aşınma 0,6 mm-dir.

Sərtləşdirilmiş poladın frezlənməsi: Bu materiallar qrupuna sərtliyi 45-65HRC-dən çox olan bərkimiş polad daxildir. Frezləmə üçün tipik hissələr ştamplama qəlibləri, plastik qəliblər, döymə qəlibləri və enjeksiyon qəlibləridir. Əsas problemlər bıçağın aşınması və iş parçasının əyilməsidir. Budur bəzi tövsiyələr:

1. Kəsmə qüvvəsini azaltmaq və daha hamar kəsmə əldə etmək üçün kəskin kəsici kənarları olan müsbət əyilmiş əlavələrdən istifadə edin.
2. Kəsmə mayesi olmadan quru kəsmə tövsiyə olunur.
3. Sikloid frezləmə, eyni zamanda yüksək masa yemi və aşağı kəsmə qüvvəsinə nail ola bilən uyğun bir üsuldür. Bu, qabaqcıl kənar və iş parçasının temperaturunu aşağı saxlamağa, məhsuldarlığı, alət ömrünü və hissələrin tolerantlığını yaxşılaşdırmağa kömək edir.

Nəticə olaraq, alət materialının xüsusiyyətləri frezləmə zamanı qeyri-balanslığa əhəmiyyətli dərəcədə təsir göstərir. Bu xüsusiyyətləri və onların təsirini başa düşmək emal prosesini optimallaşdırmağa, məhsuldarlığı artırmağa və iş təhlükəsizliyini təmin etməyə kömək edir.

### 2.3 Frezləmə prosesində alətin texnoloji parametrləri

Yüksək sürətli frezləmə daha yüksək dəqiqlik sinfinə cavab vermək üçün iş parçaları tələb edir. Əks halda, onların səthindəki qüsurlar mil alt sistemində əhəmiyyətli və qeyri-bərabər yüklərə səbəb ola bilər ki, bu da bütün sistemin vibrasiyasının artmasına səbəb olacaqdır. İş parçaları bu tələblərə cavab vermirsə, səth qatını çıxarmaq üçün əvvəlcədən müalicə aparmaq lazımdır. İş parçasının düzliyündən icazə verilən sapmalar 12-ci dəqiqlik sinfindən çox olmamalıdır.

Yüksək sürətli frezləmə üçün nəzərdə tutulmuş alətlər üçün texniki spesifikasiyalar tipik materiallar üçün tövsiyə olunan kəsmə parametrlərini və istehsal dəqiqliyini göstərir. Bununla belə, bu parametrlər alətin müəyyən bir texnoloji sistemdə istifadəsi üçün yalnız zəruri, lakin kifayət olmayan şərtləri təmin edir. Alət aşağıdakı meyarlara cavab verməlidir: diametr tolerantlığı - ISO standartına görə 7-ci sinif, dişlərin radial axması - 4-cü dəqiqlik dərəcəsiindən çox deyil, qeyri-balanslıq - GOST 22061-ə uyğun olaraq 4-cü və ya 5-ci dəqiqlik sinfi (bu, kütlədən asılıdır. nisbət aləti və mil rotoru), həmçinin iş mili sürətinə uyğun gələn maksimum dövr sayı.

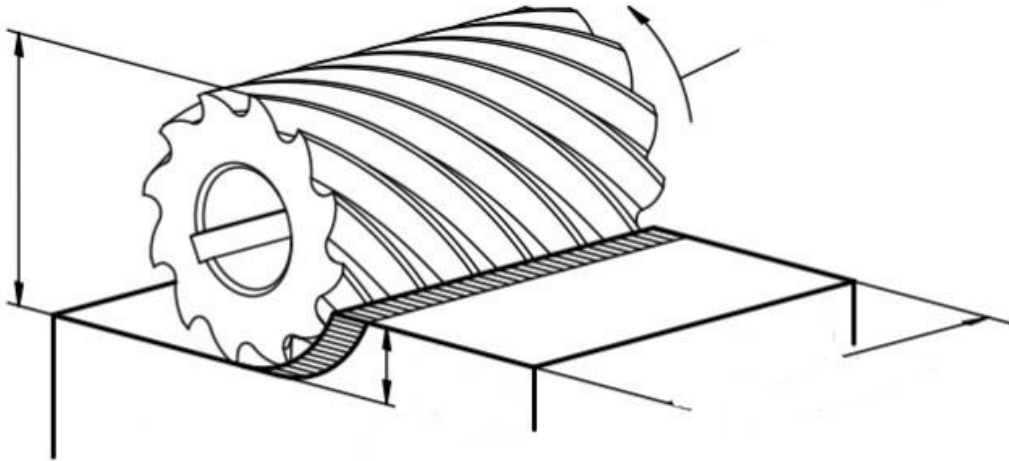
Frezləmə, bir kəsici istifadə edərək müxtəlif səthlərin işlənməsi üsuludur. Dəzgahın işləməsi zamanı iş parçasının materialı ona verilərkən dişləri olan kəsici alət öz oxu ətrafında fırlanır. Bu, çip şəklində metal, ərinti və ya ağac təbəqəsinin ayrılması və səth müalicəsi ilə nəticələnir. Hal-hazırda, frezləmə maşınlarının əksəriyyəti avtomatik işləməyə imkan verən ədədi idarəetmə ilə təchiz edilmişdir. Bir frezləmə maşınının işinə təsir edən əsas xüsusiyyətlərə baxaq. (Ahmadi.K A.Y,2014)

Kəsmə sürəti frezləmədə əsas hərəkət növüdür. Bu, kəsici elementin bir dəqiqə ərzində dişlərinin ətrafi boyunca hərəkət etdiyi sürətlə müəyyən edilir. Bu parametr frezləmə maşınının işləmə sürətini və dəqiqədə metrle (m/dəq) ölçülən işlənmiş səthdən materialın çıxarılması sürətini xarakterizə edir.

Təcrübədə frezləmə sürəti adətən axtarış cədvəllərindən və ya xüsusi kalkulyatorlardan istifadə etməklə müəyyən edilir. Dəyirmançı bu parametri birbaşa

idarə etmir, lakin sürətə təsir edən başqa bir göstəricini - mil sürətini tənzimləyə bilər.

Kəsmə dərinliyi bir kəsici keçiddə iş parçasının səthindən çıxarılan material təbəqəsinin qalınlığını təyin edir. Bu parametr millimetrlə ölçülür və emaldan sonra orijinal səthlə səth arasındakı fərq kimi hesablanır.



Şək.2.9 Dərin frezləmə

Mənbə: <https://www.machinemfg.com/>

Frezləmə prosesi adətən iş parçası üzərindən bir neçə keçidi əhatə edir və iki mərhələdən ibarətdir: kobud işləmə və bitirmə. Birinci mərhələ hissə ehtiyatının, yəni materialın artıq hissəsinin maksimum çıxarılmasını nəzərdə tutur və 2-3 keçiddə həyata keçirilir. Bu vəziyyətdə, frezləmə dərinliyinin optimal dəyərləri minimum sürətlə seçilir. Bu rejim avadanlıqda az yüklə kifayət qədər miqdarda material çıxarmağa imkan verir.

İş parçasının səth təbəqəsi qeyri-bərabər və kobud olur, buna görə də növbəti addım adətən bir keçiddə yerinə yetirilən bitirmə mərhələsidir. Bu müddət ərzində kəsici kiçik bir kəsmə dərinliyi ilə mümkün olan ən yüksək sürətlə işləyir, emal olunan səthi üyüdür və nazik bir material təbəqəsini çıxarır. Qeyd etmək lazımdır ki, frezləmə dərinliyi iş parçasının materialından asılıdır və maşının dizayn xüsusiyyətləri ilə məhdudlaşır. Kiçik bir kəsici elementi olan zəif avadanlıqdan

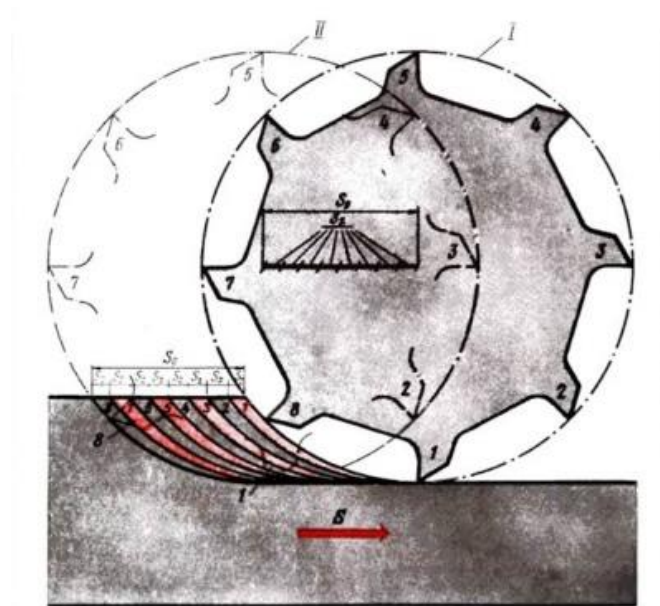
istifadə edərkən, ehtiyatı bir dəfə çıxarmaq üçün kifayət qədər güc olmadığı üçün iş parçası üzərində bir neçə keçid tələb oluna bilər. (Петраков Ю.В., Драчев О.И,2011)

Bir kəsicinin metal üçün tənzimlənməsini gəzinti arxasında işləyən traktorda şumun tənzimlənməsi ilə müqayisə etmək olar. Şum, öz səylərinizlə əvvəlcədən təyin etdiyiniz torpağı müəyyən bir dərinlikdə şumlayacaq. Əks halda, o, torpağı dayaz şəkildə becərəcək və heç bir səy göstərmədən, torpağı yerində qazmaqda qalacaq.

#### Təqdimat növləri

İş parçasını emal edərkən, maşının oxuna, yəni kəsiciyə nisbətən üç oxdan biri boyunca hərəkət edir: uzununa (x), eninə (y) və ya şaquli (z). İş parçasının hərəkət miqdarı yem adlanır. Teorik olaraq, iş parçasının qidalanmasının üç növü var.

Hər diş,  $S_z$ , kəsici element iki dişin kənarları arasındakı məsafədən fərqləndikdə iş parçasının hərəkət etdiyi məsafədir. Vahidlər: mm/diş.



Şək.2.10 Dişin kənarların sxemi

Mənbə: <https://stroy-podskazka.ru/>

Əksinə, kəsicinin bir tam dövrəsi zamanı iş parçasının hərəkət miqdarı da belədir. Onu aşağıdakı düsturla hesablamaq olar:  $S_o = S_z \cdot z$ , burada , “z” kəsici elementin dişlərinin sayıdır. mm/rev ilə ölçülür.

Təcrübədə, frezləmə maşınında hissələri emal edərkən kəsmə rejiminin mühüm xarakteristikası olan yalnız dəqiqə yem istifadə olunur. Bu parametr iş parçasının materialından, kəsici növündən, kəsmə rejimindən və avadanlıq gücündən asılı olaraq tənzimlənir. Qidalanma sürəti kəsmə sürətinə tərs mütənasibdir. Yüksək sürət yem sürətinin azaldılmasını tələb edir. Əks halda, dəzgahda eksenel yük və kəsicinin iş parçasına müqaviməti artır, bu da kəsici elementin, mili və digər avadanlıq hissələrinin sürətli mexaniki aşınmasına və ya qırılmasına səbəb ola bilər.

Genişlik: Tipik olaraq, bir frezləmə maşını bütün hissəni bir anda emal etməyə texniki cəhətdən qadir deyildir. Frezləmə yalnız frezləmənin enini təyin edən müəyyən bir səthə təsir göstərir. (Kiselev I.A, 2012) Bu parametr mm ilə ölçülür və qidalanmaya dik olan çıxarılan material təbəqəsinin enini təyin edir. Əslində, bu, kəsici elementin dişlərinin kənarlarının iş parçasının səthinə toxunduğu məsafədir. Frezləmə eninin dəyəri hissənin emalına başlamazdan əvvəl texnoloji diaqramda göstərilir. Bu dəyəri və iş parçasının ölçüsünü bilən usta əvvəlcədən tələb olunan keçid sayını təyin edə bilər.

Frezləmə eni parametri geniş diapazonda dəyişir və kəsicinin diametrindən asılıdır. Hər kəsici element üçün frezləmə genişliyi sabit qalır, çünki həndəsi xüsusiyyətləri dəyişdirmək mümkün deyil. Böyük həcmdə işlənən material üçün müvafiq ölçülü kəsici elementlərdən istifadə etmək tövsiyə olunur. Bu, maşının emal müddətini azaltmağa, əməliyyat xərclərini azaltmağa və avadanlıqdakı stressi azaltmağa kömək edəcəkdir.

Rejimin seçilməsi üçün tövsiyələr:

Frezləmə maşını üçün düzgün iş rejiminin seçilməsi materialların emalı və hissələrin hazırlanması prosesində mühüm rol oynayır. Tövsiyə olunan parametrlərin dəqiq nisbəti ustaya eyni əməliyyat xərcləri ilə daha yaxşı məhsuldarlığa nail olmağa, maşın hissələrinin aşınmasını azaltmağa və iş parçasını yaxşı vəziyyətdə saxlamağa imkan verəcəkdir. Frezləmə mütəxəssisləri optimal

rejimi seçərkən nümunə kimi istifadə edilə bilən çoxlu cədvəllər və texnoloji xəritələr hazırlamışlar.

Texnoloji rejimi seçərkən texniki işçilər aşağıdakı meyarları rəhbər tuturlar.

- Maşın parametrləri. Avadanlıq spesifikasiyası prosesə ən çox təsir göstərir. İşləyərkən avadanlıqların yaşını nəzərə alın. Müasir CNC dəzgahlarında nəticələr 10-15 yaşlı avadanlıqdan daha yaxşı olacaq.
- Bu, həm dəyişən texnologiyalar, həm də ayrı-ayrı hissələrin mexaniki aşınması ilə bağlıdır. Buna görə də vaxtaşırı avadanlıqların texniki vəziyyətini yoxlamaq, nasazlıqları operativ şəkildə aradan qaldırmaq və qüsurlu materialları atmaq lazımdır.
- Bundan əlavə, sistemin gücü onun yaşından asılıdır. Yeni avadanlıq yüksək yüklərə asanlıqla dözə bilir və istənilən sərt ərintiləri yüksək keyfiyyətlə emal edə bilir. Köhnə modellərin qırılma ehtimalı daha yüksəkdir və buna görə də bu cür materiallarla işləmək üçün uyğun deyil.

Nəticələrin bəziləri istifadə olunan materialdan asılı olaraq əvvəlcədən təyin edilmiş parametrlərdən asılıdır. Bu, 50 ilə 400 m/dəq arasında dəyişə bilən sürətə aiddir. Frezləmə zamanı orta qiymətlə işə başlamaq və onu müvafiq istiqamətdə dəyişmək tövsiyə olunur. Əks halda, milin yüksək fırlanma sürəti onun qırılmasına səbəb ola bilər və aşağı olanı materiala zərər verə bilər. Buna görə də, əməliyyat zamanı maşın müqavimət göstərməməlidir. (Петраков Ю.В., Драчев О.И, 2011)

Kəsici alətin xüsusiyyətləri prosesin keyfiyyətində mühüm rol oynayır. Bir alət seçərkən onun tərkibinə diqqət yetirməlisiniz. Adi yüksək sürətli polad kəsici əksər metallar, plastiklər və ağaclar üçün işləyəcək. Karbid ərintiləri ilə işləyərkən, dişlərdə odadavamlı lehimləmə ilə kəsici elementlərdən istifadə etmək tövsiyə olunur. Bu, qısa bir əməliyyat müddətindən sonra alətin xarab olmasının qarşısını alacaq və emal olunan iş parçasının keyfiyyətini qoruyacaqdır.

Kəsmə elementinin diametri də vacibdir: diametr artdıqca frezləmə sürəti və qidalanma azalır və kəsmə eni artır. Lazım olan kəsmə dərinliyinə və materialına uyğun bir diametr seçmək tövsiyə olunur. Bu şəkildə, işi başa çatdırmaq üçün bir neçə keçid kifayət edəcəkdir. İşlənmiş səthin keyfiyyəti kəsici elementin



uzunluğundan, dişlərin sayından və onların itiləmə bucağından asılıdır. Əksər kəsicilər dörd dişlə istehsal olunur ki, bu da proses sürəti və iş parçasının vəziyyəti arasında optimal tarazlığı təmin edir.

Materialın xüsusiyyətləri bütün prosesdə əsas meyardır. Tənzimlənən parametrlərin əksəriyyəti iş parçasının xüsusiyyətlərindən asılıdır. Materialın xüsusiyyətləri arasında sərtlik, çeviklik və elastiklik dərəcəsi vacibdir. Sərtlik dərəcəsi hissənin gücünə və aşınma müqavimətinə birbaşa təsir göstərir. Bununla belə, bu cür materialların emalı daha mürəkkəbləşir və aşınma və ya avadanlıqların sıradan çıxması riski var. Məsələn, bərk metalların və onların ərintilərinin, məsələn, bərkimiş polad və ya titan kimi emalı üçün maşının kəsmə dərinliyini və sürətini azaltmaq, həmçinin odadavamlı ucları olan kəsicilərdən istifadə etmək tövsiyə olunur. Plastiklik və elastiklik göstəriciləri materialın temperaturundan əhəmiyyətli dərəcədə asılıdır. Bürünc kimi ərintilərlə işləyərkən bu xüsusiyyətlər faydalı ola bilər, digər metallar üçün isə iş parçasının zədələnməsinə səbəb ola bilər.

#### **2.4 Yüksək sürətli frezləmə zamanı iş mühitinin alət balanslığa təsiri**

Yüksək sürətli frezləmə bir çox üstünlüklər təklif edir, lakin xərcləri azaltmaq və faydaları artırmaq üçün real istehsalda bir sıra çətinliklərin öhdəsindən gəlmək lazımdır. Yüksək sürətli emalda kəsmə sürətinin artması kəsicinin qüvvənin azalmasına səbəb olur. Bu xüsusiyyət, hissələrin daha az ölçülü sapma və səth pürüzlülüyü ilə işlənməsinə imkan verir, mil sürətini artırır.

Yüksək sürətli emalın dəqiq tərifini olmasa da, bəzi tədqiqatlar mili sürətlərini 500.000 rpm-ə qədər göstərdi və faktiki istehsalda onlar 100.000 rpm-ə çata bilər. İş mili sürəti 8000 rpm-dən çox olduqda, fırlanan hissələr balanslaşdırılmalıdır, bu da yüksək sürətli emal prosesini ən azı 8000 rpm sürəti kimi müəyyən edir. Mil sürəti 8000 rpm-dən aşağı olduqda, yalnız alət kütləsinin paylanması çox balanssız olarsa, mərkəzdənqaçma qüvvəsi emal etməyə mənfi təsir göstərəcəkdir.

Mil sürəti 8000 rpm-dən yuxarı olan maşınların sayı artmağa davam etdikcə, kombinasiya alətlərinin balansı kritik olur. Fırlanan alətin nəzəri mərkəzi oxu faktiki fırlanma oxuna uyğun gəlmədikdə, qeyri-balanslıq yaranır.

Aləti balanslaşdırmağa qərar verərkən nəzərə alınmalı bir çox məsələ var, lakin normal şəraitdə bir çox istifadəçi bu məsələlərə məhəl qoymur. Ən aktual problemlərdən biri yüksək sürətli emal zamanı alət balansının pozulması səbəbindən dəzgah mili rulmanlarının zədələnməsidir. Qeyri-balans bir alət mil üzərində əlavə gərginlik yaradır, bu da mili podşipniklərinin vaxtından əvvəl aşınmasına və sıradan çıxmasına səbəb olur. Bu, yastıqların təmiri və dəyişdirilməsi üçün lüzumsuz xərclərə, habelə dayanma vaxtı səbəbindən vaxt itkisinə səbəb olur.

Tənzimlənən alət tutucusu balanslaşdırma qabiliyyəti qeyri-balanslıqları kompensasiya etmək üçün məhduddur. Bəzi hallarda qeyri-balans kütlə balansı düzəltmək üçün çox böyük olur, nəticədə maşın müəyyən edilmiş sürətlə işləyə bilmir. Biz maşının sürətini azaltmalı və aləti yenidən yığmalıyıq.

Yüksək sürətli emal prosesini məhdudlaşdıran digər amillərə iş parçasının materialı, iş parçasının çıxıntısı, armatur, alət profili, kəsmə dərinliyi və s. daxildir.

Balanslaşdırma prosesi alət və onun tutucusu arasında kütlənin paylanmasını yaxşılaşdırır, fırlanan zaman balanssız mərkəzdənqaçma qüvvəsini azalda bilər. Bununla belə, balanslaşdırma zamanı bütün qeyri-balanslıq amilləri nəzərə alınmalıdır.

İstənilən dərəcədə qeyri-balanslıq vibrasiyaya səbəb olur. Vibrasiya xüsusiyyətləri alət sahibinə, onun quraşdırılmasına, maşının dizaynına və digər amillərə bağlıdır.

ISO1940/1 və ANSI2.191989 standartları balans tələblərini müəyyən etmək üçün G səviyyə sistemindən istifadə edərək balans dərəcəsini müəyyən edir. Məsələn, G2,5 balans səviyyəsi çevrəvi vibrasiya sürətinin 2,5 mm/s-dən çox olmaması deməkdir. Müəyyən edilmiş balans səviyyəsinə nail olunmazsa, mil sürəti azaldılmalıdır. (ISO/FDIS,1940)

Yüksək sürətli frezləmədə ISO1940/1 və ANSI2.191989 standartlarının əhəmiyyəti:

ISO1940/1 və ANSI2.191989 standartları yüksək sürətli CNC emalının keyfiyyətinin və təhlükəsizliyinin təmin edilməsində əsas rol oynayır. Bu standartlar alət və alət sahibinin balansına olan tələbləri müəyyən etməyə imkan verən “G” səviyyəli sistemindən istifadə edərək balans sinifini müəyyən edir. Gəlin bu standartların emal prosesinə necə təsir etdiyini və nə üçün bu qədər vacib olduğunu daha ətraflı nəzərdən keçirək. (ISO/FDIS,1940)

Birincisi, balans nədir və nə üçün vacibdir? Alət və alət tutucunun balanslaşdırılması fırlanma zamanı balanssız mərkəzdənqaçma qüvvələrini minimuma endirmək üçün onların kütlələrinin bərabərləşdirilməsi prosesidir. qeyri-balans alət vibrasiyaya səbəb ola bilər, nəticədə qeyri-sabit emal, keyfiyyətsiz səth və avadanlıq zədələnilir.

ISO1940/1 və ANSI2.191989 standartları G sinfi baxımından ifadə edilən balans səviyyələri üçün ədədi dəyərlər təyin edir. Məsələn, balans səviyyəsi G2.5 o deməkdir ki, periferik vibrasiya sürəti 2,5 mm/s-dən çox deyil. Bu, CNC maşınlarının istehsalı və istismarı zamanı yerinə yetirilməli olan standart balans tələblərini müəyyən etməyə imkan verir. (ISO/FDIS, 1940)

Yüksək sürətli frezləmədə bu standartlara cavab vermək nə üçün vacibdir? Maşını yüksək sürətlə işləyərkən düzgün balansdan cüzi bir sapma belə ciddi problemlərə səbəb ola bilər. Məsələn, qeyri-balans alət dəzgahda vibrasiyaya səbəb ola bilər ki, bu da öz növbəsində hissələrin zədələnməsinə, emal dəqiqliyinin azalmasına və hətta qəzalara səbəb ola bilər.

Standartlara uyğunluğu necə təmin etmək olar? Birincisi, tələb olunan standartlara uyğun balanslaşdırılmış keyfiyyətli alətlərdən və alət tutucularından istifadə etmək lazımdır. (S.D.Merdol,Y.Altintas,.2004) İkincisi, balans standartlarından hər hansı sapmaların dərhal müəyyən edilməsini və düzəldilməsini təmin etmək üçün avadanlıq müntəzəm olaraq yoxlanılmalı və texniki xidmət göstərilməlidir.

Standartlara riayət etməyin faydaları nələrdir? Alət və alət tutucusunun düzgün balanslaşdırılması dəzgahın sabit və dəqiq işləməsini təmin edir ki, bu da məhsuldarlığı və emal keyfiyyətini artırır. Bundan əlavə, standartlara uyğunluq

avadanlığın zədələnməsi və qəza riskini azaldır ki, bu da müəssisə üçün iqtisadi cəhətdən faydalıdır.

Yekun olaraq qeyd edək ki, ISO1940/1 və ANSI2.191989 standartları yüksək sürətli CNC emalının təhlükəsizliyi və səmərəliliyinin təmin edilməsində mühüm rol oynayır. Bu standartlara uyğunluq avadanlığın zədələnməsi riskini minimuma endirir, emal keyfiyyətini və dəqiqliyini artırır və zavodun məhsuldarlığını artırmağa kömək edir. Buna görə də, optimal istehsal səmərəliliyini qorumaq üçün avadanlıqların müəyyən edilmiş balans standartlarına cavab verməsini təmin etmək və müntəzəm texniki xidmət göstərmək vacibdir.

### III FƏSİL. YÜKSƏK SÜRƏTLİ FREZLƏMƏNİN İŞ PROSESİNDƏ ALƏTİN QEYRI-BALANSLIĞIN TƏDQIQI

#### 3.1 Alətin iş prosesində təyini və göstəricilərinin təhlili

Yüksək sürətli frezeleme (HSM) müasir maşınqayırma sənayesində yüksək məhsuldarlıq və dəqiq emal təmin edən əsas texnologiyalardan biridir. VSF prosesinin keyfiyyətinə və səmərəliliyinə təsir edən mühüm aspekt freze alətinin balanslaşdırılmasıdır. Alət balansının pozulması vibrasiyaya, aşınmaya, emal dəqiqliyinin azalmasına və avadanlıqların saxlanması xərclərinin artmasına səbəb olur. Bu tədqiqat emal keyfiyyətini yaxşılaşdıracaq və avadanlığın xidmət müddətini uzadacaq yüksək sürətli freze zamanı alət balanssızlığını aradan qaldırmaq üçün üsulların işlənilib hazırlanması məqsədi daşıyır.

Freze alətinin tərfi və göstəriciləri

Bu tədqiqat üçün freze aləti “VSF-3000 freze” seçilmişdir. Alətin əsas xüsusiyyətlərinə aşağıdakılar daxildir:

- Material:  $T_i\text{AlN}$  örtüklü karbid (" $T_i\text{AlN}$ " termini titan ( $T_i$ ), alüminium (Al), azot (N) və karbon (C) elementlərinin birləşməsindən əmələ gələn örtük növünə aiddir.

- Kəsicinin diametri: 20 mm.
- Dişlərin sayı: 4.
- Maksimum sürət: 30000 rpm.
- Kəskin kənar növü: Düz.
- Kəsici növü: Şaquli kəsici.

İş prosesində kəsicinin göstəriciləri

VSF-3000 kəsici alüminium ərintiləri, paslanmayan polad və titan da daxil olmaqla müxtəlif materialların yüksək sürətli emalı üçün nəzərdə tutulmuşdur. Əsas göstəricilərə aşağıdakılar daxildir:

- Emal edilmiş material: Alüminium ərintiləri (məsələn, Al7075).
- Kəsmə rejimləri: Kəsmə sürəti - 2000 m/dəq, kəsici dişin eni - 0,05 mm.

- Kəsmə dərinliyi: 5 mm.
- Soyutma: Soyuducu təchizatı sistemi (soyuducu maye).

Frezləmə, dönmən çox dişli alətin iş parçasından materialı çıxardığı, tələb olunan forma və ölçüləri yaratdığı bir mexaniki işləmə prosesidir. Frezləmə prosesini riyazi düsturlar və rəqəmlər vasitəsilə təsvir etmək və təhlil etmək mümkündür ki, bu da emal parametrlərini dəqiq idarə etməyə və optimallaşdırmağa imkan verir. Frezləmə prosesini başlanğıcdan sona qədər, "VSF-3000" frezi və CNC frez dəzgahı istifadə edərək nəzərdən keçirək.

Frezləmənin əsas parametrləri

Frezləmə prosesini müəyyən edən əsas parametrlərə aşağıdakılar daxildir:

1. Kəsmə sürəti ( $V_c$ )
2. Şpindelini dönmə sürəti ( $n$ )
3. Hər bir dişin iş materialına verdiyi materialın miqdarı ( $f_z$ )
4. Frezləmə və ya milin bir dövrəsi zamanı iş parçasına verilən materialın ümumi miqdarı ( $f_n$ )
5. Dəqiqə ərzində material sərfiyyatı ( $V_f$ )
6. Kəsmə dərinliyi ( $a_p$ )
7. Kəsmə eni ( $a_e$ )

Kəsmə sürəti, frezanın kəsici kənarının iş parçasına nisbətə hərəkət sürəti olaraq müəyyən edilir. Bu aşağıdakı düsturla hesablanır:

$$V_c = \pi \cdot D \cdot n$$

burada:

- $V_c$  — kəsmə sürəti, m/dəq
- $D$  — frezanın diametri, mm
- $n$  — şpindelini dönmə sürəti, dövrlər/dəq

Bizim "VSF-3000" frezası üçün diametr  $D=20$  mm və şpindelini dönmə sürəti  $n=20000$  dövrlər/dəq:

$$V_c = \pi \cdot 20 \cdot 20000 / 1000$$

$$V_c = 3.14 \cdot 20 \cdot 20$$

$$V_c = 1256 \text{ m/dəq}$$

Hər bir dişin iş materialına verdiyi materialın miqdar ( $f_z$ ) və Frezləmə və ya milin bir dövrəsi zamanı iş parçasına verilən materialın ümumi miqdarı ( $f_n$ )

Hər bir dişin iş materialına verdiyi materialın miqdar, şpindelın hər dövrü üçün frezanın hər bir dişi üçün hərəkət etdiyi məsafədir. Fırlanma zamanı isə aşağıdakı kimi müəyyən edilir:

$$f_n = f_z \cdot z$$

burada:

- $f_n$  — fırlanmada, mm/dövrələr
- $f_z$  — Hər bir dişin iş materialına verdiyi materialın miqdar, mm/diş
- $z$  — frezanın diş sayı

Frezamız üçün hər bir dişin iş materialına verdiyi materialın miqdar  $f_z=0.05$  mm/diş və diş sayı  $z = 4$  olduğunu qəbul edək:

$$f_n = 0.05 \cdot 4 = 0.2 \text{ mm/dövrələr}$$

$$f_n = 0.2 \text{ mm/dövrələr}$$

Dəqiqə ərzində material sərfiyyatı ( $V_f$ )

Dəqiqə ərzində material sərfiyyatı, fırlanma zamanı və şpindelın dönmə sürətinin hasilatı kimi hesablanır:

$$V_f = f_n \cdot n$$

Bizim parametrlər üçün:

$$V_f = 0.2 \cdot 20000$$

$$V_f = 4000 \text{ mm/dəq}$$

Kəsmə dərinliyi ( $a_p$ ) və kəsmə eni ( $a_e$ )

Kəsmə dərinliyi, frezanın bir keçidində çıxardığı materialın qalınlığıdır. Kəsmə eni isə frezanın bir keçidində çıxardığı materialın enidir. Məsələn, kəsmə dərinliyi  $a_p=5\text{mm}$  və kəsmə eni  $a_e=10\text{mm}$  olduğunu qəbul edək.

Dəqiqə başına çıxarılan material həcmi (Q)

Dəqiqə başına çıxarılan material həcmi (xüsusi kəsmə məhsuldarlığı) dəqiqə ərzində material sərfiyyatı, kəsmə dərinliyi və kəsmə eninin hasilatı kimi müəyyən edilir:

$$Q = V_f \cdot a_p \cdot a_e$$

Bizim parametrlər üçün:

$$Q = 4000 \cdot 5 \cdot 10$$

$$Q = 200000 \text{ mm}^3/\text{d} \approx \text{q}$$

$$Q = 200 \text{ sm}^3/\text{d} \approx \text{q}$$

Kəsmə qüvvələri (F)

Kəsmə qüvvələri frezləmə prosesində mühüm rol oynayır, çünki onlar alətin aşınmasına və emal keyfiyyətinə təsir göstərir. Əsas kəsmə qüvvələrinə aşağıdakılar daxildir:

1. Əsas kəsmə qüvvəsi ( $F_c$ )
2. Yem qüvvəsi ( $F_f$ )
3. Radial qüvvə ( $F_r$ )

Əsas kəsmə qüvvəsi empirik düsturla müəyyən edilir:

$$F_c = K_c \cdot a_p \cdot a_e$$

burada:

- $K_c$  — xüsusi kəsmə qüvvəsi,
- $\text{N}/\text{mm}^2$

Bizim material üçün xüsusi kəsmə qüvvəsi  $K_c = 2000 \text{ N}/\text{mm}^2$  olduğunu qəbul edək:

$$F_c = 2000 \cdot 5 \cdot 10$$

$$F_c = 100000 \text{ N}$$

Yem qüvvəsi və radial qüvvə adətən əsas kəsmə qüvvəsinin payları kimi ifadə olunur. Sadəlik üçün qəbul edək:

$$F_f \approx 0.3 \cdot F_c$$

$$F_r \approx 0.2 \cdot F_c$$

Beləliklə:

$$F_f = 0.3 \cdot 100000 = 30000 \text{ N}$$

$$F_r = 0.2 \cdot 100000 = 20000 \text{ N}$$

Kəsmə gücü ( $P_c$ )



Kəsmə gücü əsas kəsmə qüvvəsinin və kəsmə sürətinin hasilatı kimi, 60000-ə bölünərək (kVt-ə çevirmək üçün) hesablanır:

$$P_c = 60000 F_c \cdot V_c$$

Bizim parametrlər üçün:

$$P_c = \frac{100000 \cdot 1256}{60000}$$

$$P_c = \frac{125600000}{60000}$$

$$P_c \approx 2093 \text{ kVt}$$

Optimal kəsmə parametrlərinin seçilməsi:

Kəsmə parametrlərinin optimallaşdırılması, alətin aşınmasını minimuma endirərkən və yüksək emal keyfiyyətini təmin edərkən maksimum məhsuldarlığı təmin edəcək qiymətlərin seçilməsini əhatə edir. Aşağıdakı amilləri nəzərə almaq vacibdir:

- **İş parçasının materialı.** Fərqli materiallar fərqli kəsmə sürətləri və yem tələb edir.
- **Alət.** Frezanın xüsusiyyətləri və materialı icazə verilən kəsmə rejimlərini müəyyən edir.
- **Dəzgah.** Dəzgahın gücü və sərtliyi mümkün kəsmə rejimlərini məhdudlaşdırır.

Frezləmə prosesini riyazi düsturlar və rəqəmlər vasitəsilə dəqiq təsvir etmək mümkündür ki, bu da emal parametrlərini optimallaşdırmağa imkan verir. Gətirilən hesablamalar, əsas kəsmə parametrlərindən istifadə edərək kəsmə sürətini, yemləri, qüvvələri və gücü necə müəyyən etməyi göstərir.

Düzgün alət seçimi və tənzimlənməsi, dəzgahın və iş parçasının material xüsusiyyətlərinin nəzərə alınması vacibdir. Statik və dinamik balanslama kimi alətin qeyri-balanslılığının aradan qaldırılması metodlarının işlənilib hazırlanması, xüsusi

tutucuların istifadəsi və monitoring texnologiyaları da sabit və effektiv frezləmə prosesinin təmin edilməsində mühüm rol oynayır.

### **3.2 Qeyri-balanslıq üçün görülən tədbirlərin təşkili**

Frezləmə, fırlanan çoxdişli alətin hissənin istədiyiniz formasını və ölçüsünü yaratmaq üçün iş parçasından material çıxardığı bir emal prosesidir. Prosesə aşağıdakı addımlar daxildir:

1. İş parçasının dəzgahda quraşdırılması. İş parçası vitse və ya xüsusi qurğular vasitəsilə freze maşınının iş masasına bərkidilir.

2. Kəsicinin qurulması. Kəsici dəzgahın milinə quraşdırılır və çəngəl və ya digər tutacaq vasitəsilə bərkidilir.

3. Kəsmə şəraitinin müəyyən edilməsi. İş mili sürəti, qidalanma və kəsmə dərinliyi kimi optimal kəsmə parametrləri müəyyən edilir.

4.Emal Kesici hərəkətə gətirilir və materialın iş parçasından çıxarılması prosesi başlayır.

#### **Yüksək Sürətli Frezləmə**

VSF ənənəvi frezləmədən artan fırlanma və qidalanma sürəti ilə fərqlənir ki, bu da emal vaxtını əhəmiyyətli dərəcədə azalda və səthin keyfiyyətini yaxşılaşdırmağa bilər. VSF-nin əsas üstünlüklərinə aşağıdakılar daxildir:

-Yüksək məhsuldarlıq. Artan kəsmə və yem sürəti sayəsində emal vaxtı əhəmiyyətli dərəcədə azalır.

-Daha yaxşı səth keyfiyyəti. Yüksək alət fırlanma sürətləri vibrasiyaları azaltmağa və işlənmiş səthin keyfiyyətini yaxşılaşdırmağa kömək edir.

-Azaldılmış istilik təsiri. Yüksək kəsmə sürətləri alətin materialla təmas müddətini azaldır, bu da istilik gərginliyini və hissələrin deformasiyası riskini azaldır.

Alətin qeyri-balanslılığının problemləri:

Frez aləti balanssızlığı VSF-də əsas problemlərdən biridir. Qeyri-balanslılığın səbəbləri arasında aşağıdakılar ola bilər:

- Çəkinin qeyri-bərabər paylanması. Alətin səhv quraşdırılması və ya onun dizaynındakı qüsurlar.

- Kəsici kənarların aşınması. Kesici dişlərin qeyri-bərabər aşınması kütlə paylanmasının dəyişməsinə səbəb olur.

- Oksial və radial axıntı. Alətin və dəzgah milinin uyğunsuzluğu.

Alət balansının pozulması vibrasiyaya səbəb olur ki, bu da səth keyfiyyətinin pisləşməsinə, alətin və dəzgahın aşınmasının sürətlənməsinə və səs-küyün artmasına səbəb olur.

Statik və dinamik balanslaşdırma

Frez alətinin balanssızlığını aradan qaldırmaq üçün statik və dinamik balanslaşdırma üsullarından istifadə olunur.

Statik balanslaşdırma

Statik balanslaşdırma xüsusi balanslaşdırıcı maşınlarda aparılır. Alət sərbəst dönmə bir mil üzərində quraşdırılmışdır. Ölçmə alətlərindən istifadə edərək kütlənin qeyri-bərabər paylanması müəyyən edilir və lazımı yerlərdə düzəldici çəkilər quraşdırılır və ya artıq material çıxarılır.

Dinamik balanslaşdırma

Dinamik balanslaşdırma alət işləmə sürətində fırlandıqda həyata keçirilir. Alət vibrasiya sensorları ilə təchiz edilmiş balans maşınına quraşdırılmışdır. Ölçmələr iki təyyarədə aparılır, bundan sonra düzəliş çəkiləri quraşdırılır. Bu üsul bizə yalnız statik deyil, həm də alət fırlanan zaman meydana gələn dinamik balanssızlığı nəzərə almağa imkan verir.

İxtisaslaşdırılmış sahiblərin istifadəsi

Müasir balanslaşdırılmış alət tutacaqlarının istifadəsi vibrasiya səviyyələrini əhəmiyyətli dərəcədə azalda bilər. Belə sahiblər balanssızlığı avtomatik düzəltmək üçün daxili mexanizmlərlə təchiz edilmişdir. Onlar aləti çıxarmağa ehtiyac olmadan birbaşa maşın üzərində balanslaşdırmağa imkan verir.

Monitoring və nəzarət texnologiyaları

Vibrasiya sensorları və alətin vəziyyətini təhlil etmək üçün proqramlar kimi müasir monitoring və nəzarət sistemləri real vaxt rejimində balanssızlığın

səviyyəsini izləməyə və onu aradan qaldırmaq üçün vaxtında tədbirlər görməyə imkan verir. Proqram təminatı sensorlardan gələn məlumatları təhlil edir və operatora aləti balanslaşdırmaq zərurəti barədə xəbərdarlıq edir.

#### Təkmilləşdirilmiş alət dizaynı

Frez alətinin dizaynı da balanssızlığın azaldılmasında mühüm rol oynayır. İstehsalçılar çəki paylamasını yaxşılaşdırmaq və balanssızlıq ehtimalını azaltmaq üçün alət dizaynlarını daim təkmilləşdirirlər. Yüksək dəqiqlikli istehsal texnologiyalarının istifadəsi alətləri minimum dözümlülüklə istehsal etməyə imkan verir ki, bu da balanssızlığı azaltmağa kömək edir.

#### Baxım və qulluq

Alətlərə və maşınlara müntəzəm texniki qulluq balanssızlıqların qarşısını almaq üçün açardır. Bura daxildir:

Alətlərin vaxtaşırı yoxlanılması və balanslaşdırılması. Alətlərin vəziyyətini mütəmadi olaraq yoxlamaq və onları balanslaşdırmaq yüksək keyfiyyətli emalın saxlanmasına kömək edir.

Maşının vəziyyətinə nəzarət etmək. Milin, rulmanların və digər komponentlərin yoxlanılması və tənzimlənməsi daxil olmaqla, maşına müntəzəm texniki qulluq balansın pozulması riskini azaldır.

Operator təlimi. Mexanizm operatorlarının bacarıqlarını təkmilləşdirmək və onlara alətlərin qurulması və istifadəsi üçün düzgün texnika öyrətmək.

### **3.3 Frezləmə zamanı qeyri-balanslıq nəticələrinin təhlili**

Frezləmə prosesində qeyri-balanslıq, alətin kütləsinin fırlanma oxu ətrafında qeyri-bərabər paylandığı zaman baş verir. Bu, vibrasiyalara, emal keyfiyyətinin aşağı düşməsinə və alətin aşınmasının artmasına səbəb olur. Bu bölmədə qeyri-balanslığın frezləmə prosesinə necə təsir etdiyini və bunu riyazi düsturlar və rəqəmlərlə təsvir edək.

#### Qeyri-balanslığın riyazi təsviri

Statik qeyri-balanslıq: Statik qeyri-balanslıq kütlə  $m$  və kütlə mərkəzinin fırlanma oxuna qədər olan məsafə  $e$  hasilatı kimi ifadə edilir:

$$U_s = m \cdot e$$

burada:

- $U_s$  — statik qeyri-balanslıq,  $\text{kg} \cdot \text{m}$
- $m$  — alətin kütləsi,  $\text{kg}$
- $e$  — eksentrisitet (kütlə mərkəzindən fırlanma oxuna qədər olan məsafə),  $\text{m}$

Dinamik qeyri-balanslıq: dinamik qeyri-balanslıqı təhlil etmək daha çətindir, çünki o, həm radial, həm də ox komponentlərini əhatə edir. Sadələşdirmək üçün yalnız radial komponenti nəzərə alaq:

$$U_d = I \cdot \omega$$

burada:

- $U_d$  — dinamik qeyri-balanslıq,  $\text{N} \cdot \text{m}$
- $I$  — inersiya momenti,  $\text{kg} \cdot \text{m}^2$
- $\omega$  — fırlanma bucaqlı sürəti,  $\text{rad/s}$

Qeyri-balanslıqın frezləmə prosesinə təsiri

Qeyri-balanslıq alətin və dəzgahın vibrasiyasına səbəb olan mərkəzdənqaçma qüvvələrinin yaranmasına gətirib çıxarır. Bu qüvvələr aşağıdakı düsturla hesablanabilir:

$$F_c = m \cdot \omega \cdot e$$

burada:

- $F_c$  — mərkəzdənqaçma qüvvəsi,  $\text{N}$
- $\omega$  — bucaqlı fırlanma sürəti,  $\text{rad/s}$  ( $n$  — fırlanma sürəti,  $\text{dövr/dəq}$ )

Qeyri-balanslıqın hesablanması üçün nümunə:

20,000 dövr/dəq sürətində fırlanan, kütləsi  $m=0.5$   $\text{kg}$  və eksentrisiteti  $e=0.001$   $\text{m}$  olan "VSF-3000" frezində nəzərdən keçirək.

1. Bu bucaqlı fırlanma sürətini hesablayın:

$$\omega = \frac{2\pi \cdot 20000}{60} \approx 2094 \text{ rad/s}$$

2. Mərkəzdənqaçma qüvvəsini tapın:

$$F_c = 0.5 \cdot (2094)^2 \cdot 0.001$$

$$F_c \approx 2194 \text{ N}$$

Bu, frezləmə prosesinə ciddi təsir göstərə biləcək böyük qüvvədir.

Qeyri-balanslılığın aradan qaldırılması metodları

Statik balanslaşdırma:

Statik qeyri-balanslılığın aradan qaldırılması üçün alət xüsusi balanslaşdırma dəzgahlarına qoyulur, burada mərkəz kütləsini fırlanma oxuna yaxınlaşdırmaq üçün kütlələr əlavə edilir və ya çıxarılır.

$$\sum(m_i \cdot r_i) = 0$$

burada:

- $m_i$  — düzəldici kütlələr, kg
- $r_i$  — onların yerləşdirilməsi radiusu, m

Dinamik balanslaşdırma inersiya momentlərini nəzərə almağı tələb edir. Alət həm statik, həm də dinamik qeyri-balanslılığı aradan qaldırmaq üçün iki müstəvidə balanslaşdırılır.

$$\sum(I_i \cdot \omega) = 0$$

burada:

$i$  — düzəldici kütlələrin inersiya momenti,  $\text{kg} \cdot \text{m}^2$

Alətimiz üçün  $r_1 = 0.1$  m məsafədə 0.002 kq kütlə əlavə etmək tələb olunur. Bu balanslaşdırmanı təmin edəcək:

$$0.002 \cdot 0.1 \approx 0.0002 \text{ kg}$$

İndi balanslaşdırmanı nəzərə alaraq mərkəzdənqaçma qüvvəsini yenidən hesablayaq:

$$F_c = (0.5 - 0.002) \cdot 2094^2 \cdot 0.001$$

$$F_c \approx 2180 \text{ N}$$

Frezləmə prosesində qeyri-balanslıq ciddi problemlərə, məsələn vibrasiyalara, emal keyfiyyətinin aşağı düşməsinə və alətin sürətlə aşınmasına səbəb ola bilər. Qeyri-balanslılığın riyazi təsviri və mərkəzdənqaçma qüvvələrinin hesablanması bu problemlərin təbiətini anlamağa və onları aradan qaldırmaq üçün tədbirlər görməyə imkan verir. Statik və dinamik balanslaşdırma metodları sabit və effektiv frezləmə prosesini təmin etməkdə mühüm rol oynayır.

## NƏTİCƏ VƏ TƏKLİF

Yüksəksürətli frezləmə müasir istehsalat proseslərinin mühüm hissəsini təşkil edir və yüksək dəqiqliklə, sürətlə emal etməyə imkan verir. Bununla belə, yüksək sürətlə işləyən frezləmə alətlərində qeyri-balanslıq mühüm problemə çevrilir, çünki bu, alətin və dəzgahın vibrasiyasına, aşınmasına və nəticədə emal keyfiyyətinin azalmasına səbəb olur. Qeyri-balanslığın aradan qaldırılması metodlarının işlənilib hazırlanması bu baxımdan mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Alətin qeyri-balanslığı onun kütlə mərkəzinin fırlanma oxu ətrafında qeyri-bərabər paylanması nəticəsində yaranır. Bu, mərkəzdənqaçma qüvvələrinə səbəb olur ki, bu da alətin və dəzgahın vibrasiyasına gətirib çıxarır. Qeyri-balanslığı iki əsas növə bölmək olar: statik və dinamik qeyri-balanslıq. Statik qeyri-balanslıq, kütlə mərkəzinin fırlanma oxundan uzaqda yerləşdiyi vəziyyətdir. Dinamik qeyri-balanslıq isə kütlənin fırlanma oxu boyunca qeyri-bərabər paylanması ilə bağlıdır. Statik qeyri-balanslığı aradan qaldırmaq üçün kütlə mərkəzini fırlanma oxuna yaxınlaşdırmaq lazımdır. Bu, xüsusi balanslaşdırma dəzgahlarında kütlələrin əlavə edilməsi və ya çıxarılması ilə həyata keçirilir. Dinamik qeyri-balanslığı aradan qaldırmaq üçün isə aləti iki müstəvidə balanslaşdırmaq lazımdır ki, həm statik, həm də dinamik qeyri-balanslıq aradan qaldırılsın. Qeyri-balanslığın aradan qaldırılması üçün müxtəlif metodlar mövcuddur. Statik balanslaşdırma metodunda alət xüsusi balanslaşdırma dəzgahlarına qoyulur və kütlə mərkəzini fırlanma oxuna yaxınlaşdırmaq üçün kütlələr əlavə edilir və ya çıxarılır. Dinamik balanslaşdırma isə inersiya momentlərini nəzərə almağı tələb edir və alət iki müstəvidə balanslaşdırılır. Həm statik, həm də dinamik qeyri-balanslığı aradan qaldırmaq üçün kompensasiya kütlələri istifadə olunur. Yüksəksürətli frezləmə prosesində qeyri-balanslığın aradan qaldırılması üçün yeni metodlar işlənilib hazırlanmışdır. Bu metodlar arasında avtomatik balanslaşdırma sistemləri, adaptiv idarəetmə sistemləri və yeni materialların və texnologiyaların istifadəsi yer alır. Avtomatik balanslaşdırma sistemləri vibrasiyaları aşkar etmək və balanssızlığı düzəltmək üçün real vaxt rejimində işləyir. Bu sistemlər, vibrasiyaları azaldaraq alətin və dəzgahın ömrünü

uzadır və emal keyfiyyətini yaxşılaşdırır. Adaptiv idarəetmə sistemləri isə vibrasiyaları və qeyri-balanslılığı minimuma endirmək üçün frezləmə prosesinin parametrlərini dinamik olaraq tənzimləyir. Bu sistemlər, frezləmə sürətini, dərinliyini və digər parametrləri optimallaşdıraraq qeyri-balanslılığı azaltmağa kömək edir. Yüksək sürətli frezləmə prosesində qeyri-balanslılığın aradan qaldırılması üçün yeni materialların və texnologiyaların istifadəsi də əhəmiyyətlidir. Məsələn, yüngül və davamlı materiallardan hazırlanmış alətlər vibrasiyaları azaltmağa kömək edir. Eyni zamanda, yüksək dəqiqlikli istehsal texnologiyaları alətin dəqiq balanslaşdırılmasını təmin edir. Alətin qeyri-balanslılığının aradan qaldırılması metodlarının tətbiqi frezləmə prosesinin effektivliyini artırır və keyfiyyətini yüksəldir. Bu metodlar, alətin və dəzgahın ömrünü uzadır, emal keyfiyyətini yaxşılaşdırır və istehsalat xərclərini azaldır. Qeyri-balanslılığın aradan qaldırılması üçün tətbiq olunan metodlar müasir texnologiyaların və elmi-tədqiqat işlərinin nəticəsidir. Bu sahədə davam edən tədqiqatlar və inkişaflar frezləmə prosesinin daha da optimallaşdırılmasına və yüksək keyfiyyətli məhsulların istehsalına imkan verir. Nəticə etibarilə, yüksək sürətli frezləmə prosesində alətin qeyri-balanslılığının aradan qaldırılması metodlarının işlənib hazırlanması və tətbiqi müasir istehsalatın mühüm vəzifələrindən biridir. Bu metodlar, frezləmə prosesinin keyfiyyətini və effektivliyini artırmaqla yanaşı, istehsalat xərclərini azaldır və məhsulun rəqabət qabiliyyətini yüksəldir. Gələcək tədqiqatlar və inkişaflar bu sahədə daha çox yeniliklər və irəliləyişlər vəd edir, bu da müasir istehsalatın inkişafına böyük töhfə verəcək.



## İSTİFADƏ OLUNACAQ ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

A.В. Савилов [и др.] (2013). *Современное состояние производства высокопроизводительного режущего инструмента из порошковых быстрорежущих сталей и твердых сплавов* Вестник ИрГТУ. № 6 (77). С. 26–33.

<https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennoe-sostoyanie-proizvodstva-vysokoproizvoditelnogo-rezhushchego-instrumenta-iz-poroshkovyh-bystrorezhuschih-staley-i-tverdyh>

A.В. Савилов [и др.] (2013). *Современные методы оптимизации высокопроизводительного фрезерования* Известия Самарского научного центра РАН. № 6 (2). С. 476–479.

<https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennoe-sostoyanie-proizvodstva-vysokoproizvoditelnogo-rezhushchego-instrumenta-iz-poroshkovyh-bystrorezhuschih-staley-i-tverdyh>

A.G. Rehorn, J. Jiang, P.E. Orban, and E.V. Bordatchev (2012). *State-of-the-art methods and results in tool condition monitoring: a review. International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 26(7):693–710

<https://link.springer.com/article/10.1007/s00170-004-2038-2>

Ahmadi K., Altintas Y (2014). *Identification of Machining Process Damping Using Output-Only Modal Analysis, Journal of Manufacturing Science and Engineering*, V. 136. 13 p.

Ahmadi K., Savilov A (2015). *Modeling the mechanics and dynamics of arbitrary edge drills, International Journal of Machine tools and Manufacture*. Vol. 89. pp. 208–220.

A.В.Савилов (2013) *Современные методы оптимизации высокопроизводительного фрезерования* Известия Самарского научного центра РАН. № 6 (2). С. 476–479.

Bediaga, I., Munoa, J., Hernández, J., & De Lacalle, L. L. (2009). *An automatic spindle speed selection strategy to obtain stability in high-speed milling. International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 49(5), 384-394.

Borovan, P. (2008) *Požadavky navývážení rotační nástrojových systémů*, *Technický týdeník*, 23, p. 27. ISSN : 0040-106

<https://dspace.vut.cz/server/api/core/bitstreams/1ea1644f-9199-4b67-bb99-2d7c3beaf07f/content>

C.A. van Luttervelt, T.H.C. Childs, I.S. Jawahir, F. Klocke, and P.K. Venu vinod (1998). *Present situation and future trends in modeling of machining operations. progress report of the cirp working group 'modelling of machining operations'.* *Annals of the CIRP*, 47(2):587–626, .

[https://www.researchgate.net/publication/323773120\\_Present\\_Situation\\_and\\_Future\\_Trends\\_in\\_Modelling\\_of\\_Machining\\_Operations\\_-\\_Recent\\_Progress\\_in\\_computational\\_mechanics\\_of\\_machining\\_and\\_some\\_dif](https://www.researchgate.net/publication/323773120_Present_Situation_and_Future_Trends_in_Modelling_of_Machining_Operations_-_Recent_Progress_in_computational_mechanics_of_machining_and_some_dif)

C.H. Chen and K.W. Wang (2012). *An integrated approach toward the dynamic analysis of high-speed spindles, part 1: System model. Journal of Vibration and Acoustics, Transactions of the ASME*, 116(4):506–513

<https://asmedigitalcollection.asme.org/vibrationacoustics/article-abstract/116/4/514/441508/An-Integrated-Approach-Toward-the-Dynamic-Analysis?redirectedFrom=fulltext>

Dugas, A., Lee, J.-J., & Hascoët, J.-Y. (2002). *High Speed Milling. İçinde P. Chedmail, G. Cagnet, C. Fortin, C. Mascle, & J. Pegna (Ed.), Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering* (ss. 287-294). Springer

Netherlands. [https://doi.org/10.1007/978-94-015-9966-5\\_34](https://doi.org/10.1007/978-94-015-9966-5_34)

E.J.J. Doppenberg (2007). *Active control of dynamic instabilities during machining. Pending patent no. EP 07103787.3,*

<https://pure.tue.nl/ws/files/2921879/694429.pdf>

E.A.J. Geurtsen (2014). *Receptance coupling on a high speed milling machine. Master's thesis, Eindhoven University of Technology.*

<https://pure.tue.nl/ws/portalfiles/portal/46954972/656453-1.pdf>

Gomathi, K., & Balaji, A. (2021). *Tool condition monitoring of PCB milling machine based on vibration analysis. Materials Today: Proceedings, 45, 3386-3397.*

Gao, Y., Ma, J., Jia, Z., Wang, F., Si, L., & Song, D. (2016). *Tool path planning and machining deformation compensation in high-speed milling for difficult-to-machine material thin-walled parts with curved surface. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 84(9-12), 1757-1767.*

<https://doi.org/10.1007/s00170-015-7825-4>

Ge, Y. F., Xu, J. H., & Fu, Y. C. (2011). *Experimental study on high-speed milling of SiCp/Al composites. Advanced Materials Research, 291, 725-731.*

Gomathi, K., & Balaji, A. (2021). *Tool condition monitoring of PCB milling machine based on vibration analysis. Materials Today: Proceedings, 45, 3386-3397.*

Haimer (2009) *Manual Haimer Tool Dynamic Catalogue, p. 1-48*

[https://assetsglobal.websitefiles.com/5b10f6893a83964204727969/634a387fea4b4d170073d46b\\_Tool%20Dynamic.pdf](https://assetsglobal.websitefiles.com/5b10f6893a83964204727969/634a387fea4b4d170073d46b_Tool%20Dynamic.pdf)

ISO/FDIS 1940-1:(2000). *Mechanical vibration – Balance quality requirements of rigid rotors – Part 1: Specification and verification of balance tolerances. Geneva: ISO TC 108/SC 1/WG 8. 36 p.*

K.F. Ehmann, S.G. Kapoor, R.E. DeVor, and I. Lazoglu (2008). *Machining process modeling: A review. Journal of Manufacturing Science and Engineering, Transactions of the ASME, 119(4B):655–663*

<https://asmedigitalcollection.asme.org/manufacturingscience/article-abstract/119/4B/655/418859/Machining-Process-Modeling-A-Review?redirectedFrom=fulltext>

Kimmelman, M., & Stehle, T. (2017). *Measuring unbalance-induced vibrations in rotating tools. MATEC Web of Conferences, 121, 03012.* [https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/abs/2017/35/mateconf\\_mse2017\\_03012/mateconf\\_mse2017\\_03012.html](https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/abs/2017/35/mateconf_mse2017_03012/mateconf_mse2017_03012.html)

Kimmelman, M., & Stehle, T. (2017). *Measuring unbalance-induced vibrations in rotating tools. MATEC Web of Conferences, 121, 03012.* [https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/abs/2017/35/mateconf\\_mse2017\\_03012/mateconf\\_mse2017\\_03012.html](https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/abs/2017/35/mateconf_mse2017_03012/mateconf_mse2017_03012.html)

Kiselev I.A (2012). *Cutting process modelling geometric algorithm 3MZBL: working surface description approach. Engineering Journal: Science and Innovation, no. 6, pp. 158–175.*

Quintana, G., Bustillo, A., & Ciurana, J. (2012). *Prediction, monitoring and control of surface roughness in high-torque milling machine operations. International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 25(12), 1129-1138.*

<https://doi.org/10.1080/0951192X.2012.684717>

Layne, M. H. (2000). *Detecting and correcting unbalance in toolholders. Proceedings of the Korean Society of Precision Engineering Conference, 35-49.*

<https://koreascience.kr/article/CFKO200011920379567.pdf>

- L.N. L'opez de Lacalle, A. Lamikiz, M.A. Salgado, S. Herranz, and A. Rivero (2002). *Process planning for reliable high-speed machining of moulds*. *International Journal of Production Research*, 40:2789–2809  
[https://www.researchgate.net/publication/245330584\\_Process\\_planning\\_for\\_reliable\\_high-speed\\_machining\\_of\\_moulds](https://www.researchgate.net/publication/245330584_Process_planning_for_reliable_high-speed_machining_of_moulds)
- Layne, M. H. (2000). *Detecting and correcting unbalance in toolholders*. *Proceedings of the Korean Society of Precision Engineering Conference*, 1-49.  
<https://koreascience.kr/article/CFKO200011920379567.pdf>
- Manufacturing Automation Laboratories (2015), Inc. URL catalog hgt p48  
<http://www.malinc.com>
- Multi frequency solution of chatter stability for low immersion milling* / *Semantic Scholar*. (t.y.). Geliş tarihi 31 Mayıs 2024, gönderen  
<https://www.semanticscholar.org/paper/Multi-frequency-solution-of-chatter-stability-for-Merdol-Altintas/9a93fec999864497a5b645177634de8012069242>
- Seguy, S., Insperger, T., Arnaud, L., Dessenin, G., & Peigné, G. (2010). *On the stability of high-speed milling with spindle speed variation*. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 48(9-12), 883-895.  
<https://doi.org/10.1007/s00170-009-2336-9>
- Suh, J. D., Lee, D. G., & Kegg, R. (2002). *Composite machine tool structures for high speed milling machines*. *CIRP Annals*, 51(1), 285-288.
- Schmidt, R., & Ams, A. (2021). *Simulation of a tool shank for HSC-milling under the influence of an unbalance*. *PAMM*, 20(1), e202000105.  
<https://doi.org/10.1002/pamm.202000105>

S.D. Merdol and Y. Altintas (2004). *Multi frequency solution of chatter stability for low immersion milling. Journal of Manufacturing Science and Engineering, Transactions of the ASME, 126(3):459–466*

<https://asmedigitalcollection.asme.org/manufacturingscience/article-abstract/126/3/459/476865/Multi-Frequency-Solution-of-Chatter-Stability>

Schmidt, R., & Ams, A. (2021). *Simulation of a tool shank for HSC-milling under the influence of an unbalance. PAMM, 20(1), e202000105.*

<https://doi.org/10.1002/pamm.202000105>

Terrier, M., Dugas, A., & Hascoët, J.-Y. (2004). *Qualification of parallel kinematics machines in high-speed milling on free form surfaces. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 44(7-8), 865-877.*

Thouvenin, A., Li, X., He, N., & Li, L. (2016). *Reduction of vibrations due to unbalance with anti-vibration clearance angle in high speed milling. Materials Science Forum, 836, 161-167.* <https://www.scientific.net/MSF.836-837.161>

Тверской М.М. (1982) *Автоматическое управление режимами- обработки деталей на станках. -М.: Машиностроение.. — 208 с.*

<https://lib-bkm.ru/load/11-1-0-1430>

Tao, D. F., Zheng, D. S., Chen, J., & Wang, G. C. (2016). *Unbalance Response of HSK Hydraulic Chuck Tooling System for High-Speed Machining. Materials Science Forum, 836, 387-393.* <https://www.scientific.net/MSF.836-837.387>

И.В. Горбунов [и др.] (2013). *Особенности моделирования процессов механической обработки в САЕ-системах Известия Самарского научного центра РАН. Т. 15. № 4 (4). С. 846–853.*

<https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-modelirovaniya-protssosov-mehanicheskoy-obrabotki-v-cae-sistemah>

Петраков Ю.В., Драчёв О.И (2011). Моделирование процессов резания. Старый Оскол: ТНТ. 240 с.

Xue, Y. N., Xue, L., & Su, G. S. (2013). *Study on Balance Simulation of Milling Tool Handle in High Speed Machining. Applied Mechanics and Materials*, 397, 384-387.

Wydrzyński, D., Przeszłowski, Ł., Budzik, G., & Kamiński, B. (2020). *Impact of Tool Imbalance on Surface Quality in Al7075–T6 Alloy Machining. Içinde G. M. Królczyk, P. Niesłony, & J. Królczyk (Ed.), Industrial Measurements in Machining (ss. 226-235). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-49910-5\\_20](https://doi.org/10.1007/978-3-030-49910-5_20)*

Zulaika, J. J., Campa, F. J., & De Lacalle, L. L. (2011). *An integrated process-machine approach for designing productive and lightweight milling machines. International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 51(7-8), 591-604.