

PŘIHLÁŠKA VYNÁLEZU

Zveřejněná podle §31 zákona č. 527/1990 Sb.

(21) Číslo dokumentu:

2023-310

(13) Druh dokumentu: **A3**

(51) Int. Cl.:

B23Q 15/013 (2006.01)

B23Q 15/10 (2006.01)

B23Q 15/12 (2006.01)

G05B 19/23 (2006.01)

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA



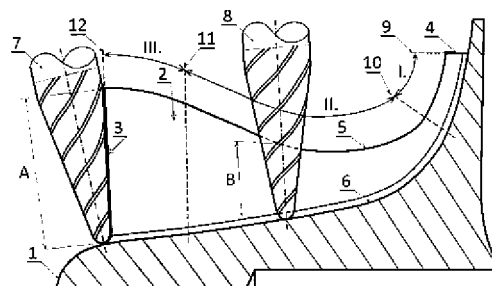
ÚŘAD
PRŮMYSLOVÉHO
VLASTNICTVÍ

(22) Přihlášeno: **10.08.2023**

(40) Datum zveřejnění přihlášky vynálezu: **01.01.2025**

(Věstník č. 1/2025)

- (71) Přihlašovatel:
České vysoké učení technické v Praze, Praha 6,
Dejvice, CZ
- (72) Původce:
Ing. Petr Vavruška, Ph.D., Ing.Paed.IGIP, Velešín,
CZ
Ing. Dominik Čech, Most, CZ
Mgr. Jan Lomička, Lysá nad Labem, CZ
Bc. Filip Kasík, Praha 4, Podolí, CZ
- (74) Zástupce:
Ing. Václav Kratochvíl, Husnikova 2086/22, 158 00
Praha 5, Stodůlky



- (54) Název přihlášky vynálezu:
**Způsob řízení posuvové rychlosti a otáček
vřetena pro CNC obráběcí stroje**

- (57) Anotace:
Při způsobu řízení posuvové rychlosti a otáček
vřetena pro CNC obráběcí stroje, při obrábění
lopatky (2) oběžného či stacionárního kola
bokem zejména kulového, kuželového a toroidního
nástroje se zuby, se v závislosti na aktuální délce
podélného průřezu nástroje, jež je v daném bodě
dráhy nástroje v kontaktu s lopatkou (2), v každém
předem stanoveném bodu dráhy nástroje, které jsou
v navzájem stejné vzdálenosti, určuje aktuální
velikost posuvové rychlosti, která je dána jako
součin výchozí posuvové rychlosti a poměru délky
řezné části nástroje v přímém kontaktu s lopatkou
(2) v místě náběžné hrany (3) lopatky (2) vůči
aktuální délce řezné části nástroje, která je
v kontaktu s lopatkou (2) v aktuální části dráhy
nástroje. Otáčky vřetena jsou v každé části dráhy
nástroje dány podílem posuvové rychlosti a součinu
počtu zubů a posuvu na zub, pro konstantní posuv
na zub.

Způsob řízení posuvové rychlosti a otáček vřetena pro CNC obráběcí stroje

Oblast techniky

5

Vynález se týká způsobu řízení posuvových rychlostí a otáček vřetena při tvorbě a odbavování NC programů pro ovládání CNC strojů při frézování lopatek bokem nástroje. Úpravou posuvových rychlostí, případně otáček vřetena je působeno na řídicí a pohonné jednotky stroje tak, aby bylo při frézování dosaženo efektivního nastavení technologických podmínek a tím

10

dosaženo časových úspor a zvýšení kvality při obrábění lopatek kompresorových kol oproti současnému stavu.

Dosavadní stav techniky

15

V technické praxi existuje několik možností řízení posuvových rychlostí a otáček nástroje při obrábění. Posuvové rychlosti a otáčky vřetena je obecně možné vypočítávat pomocí CAM systému, postprocesoru, nadstavbového SW pro CAM systémy, nebo pomocí řídicího systému CNC stroje. Průběžné řízení otáček nástroje je realizováno již velmi dlouhou dobu u soustružnických operací pro zachování konstantní řezné rychlosti při soustružení kontury s měnící se souřadnicí od osy rotace obrobku. Při využití této možnosti je poté dosahováno produktivnějšího soustružení, jelikož je úměrně zvyšování otáček rovněž zvyšován posuv nástroje v řezu tak, aby byl zachován posuv na zub-břit, resp. posuv na jednu otáčku. U frézování byl obdobný způsob průběžného řízení otáček pro dosažení konstantní řezné rychlosti představen v rámci vynálezu CZ 307463. Aktuální hodnota řezné rychlosti je v daném kroku frézování vypočítávána z aktuálního poloměru rotace vůči ose vřetena stroje, přičemž aktuální poloměr rotace je určen bodem kontaktu nástroje s obrobkem. Metoda je využitelná pro nástroje s kruhovou řeznou hranou, kdy se průběžně mění kontaktní bod mezi nástrojem a obráběným povrchem. Zároveň je při změně otáček nástroje řízena i posuvová rychlost tak, aby byla dodržena předepsaná a požadovaná hodnota posuvu na zub.

30

Řízení posuvové rychlosti při frézování je dále řešeno dvěma dalšími způsoby. Prvním předpokladem je, že při řízení je využíváno funkce řídicího systému stroje, využívající prostorové transformace souřadnic (funkce Tool Center Point) a řídicí systém tak mezi dvěma po sobě následujícími body dráhy nástroje interpoluje dostatečné množství bodů dráhy tak, aby byla splněna podmínka dosažení lineární dráhy mezi dvěma následujícími body dráhy nástroje. V tomto případě řídicí systém provádí transformaci souřadnic z obrobkového souřadného systému do strojního souřadného systému podle typu konfigurace rotačních os obráběcího stroje. Druhým předpokladem je, že funkce Tool Center Point není, nebo nemůže být, při víceosém obrábění využita. Poté řídicí systém neprovádí transformaci souřadnic, jelikož je transformace souřadnic předpřipravena postprocesorem. Zároveň při použití funkce řídicího systému stroje pro prostorovou transformaci souřadnic většinou dochází ke korekci posuvové rychlosti mezi nástrojem a obrobkem tak, aby byla dodržena technologem předepsaná posuvová rychlost v místě referenčního bodu nástroje. Bez použití funkce pro transformaci souřadnic však korekci posuvové rychlosti při víceosém obrábění řídicí systém neprovádí a technologem předepsaná posuvová rychlost není dodržena. Pro tyto případy již existuje řešení způsobu korekce dráhy nástroje víceosého počítačem řízeného obráběcího stroje např. dle patentu CZ 306228, které rovněž řeší i řízení posuvové rychlosti v těchto případech. Určitá řešení způsobů řízení posuvových rychlostí jsou i v řídicích systémech obráběcích strojů, nebo v dostupných softwarových řešeních, např. CAM systémech a jejich nadstavbách, avšak pouze pro řízení posuvové rychlosti tak, aby nedošlo k přetížení nástroje vlivem nárůstu objemu odebíraného materiálu v daném bodu dráhy nástroje.

50

Žádné současné řešení však nenabízí řízení, natož průběžné řízení otáček vřetena a posuvové rychlosti podél lopatky při obrábění bokem nástroje tak, že řízení otáček vřetena a posuvové

55

rychlosti je specifické pro danou oblast podél lopatky, přičemž tato oblast je definovaná zejména ve vazbě na změnu výšky lopatky, resp. změnu aktuální délky podélného průřezu nástroje, jež je v daném bodě dráhy nástroje v kontaktu s lopatkou.

- 5 V současné době je tedy obrábění lopatek bokem nástroje neproduktivní, jelikož nedochází k průběžnému řízení otáček vřetena a posuvové rychlosti v závislosti na aktuální výšce lopatky, resp. aktuální délce podélného průřezu nástroje, jež je v daném bodě dráhy nástroje v kontaktu s lopatkou, a technolog se tedy musí s volbou technologických podmínek na celé dráze omezovat podle nejkritičtějšího místa na lopatce, což často bývá náběžná hrana lopatky, kde je lopatka
10 nejvyšší. Obrábění pak není produktivní, jelikož technologické podmínky, jako jsou posuvová rychlost a otáčky vřetena, jsou na celé dráze omezeny právě podle jednoho nejkritičtějšího místa. V případě, že nedojde k omezení technologických podmínek vzhledem k této kritické oblasti na lopatce tak není dodržena kvalita obrobené plochy.

15

Podstata vynálezu

- Výše uvedené nedostatky jsou do značné míry odstraněny způsobem řízení posuvové rychlosti pro CNC obráběcí stroje při obrábění lopatky oběžného či stacionárního kola bokem nástroje se
20 zuby, podle tohoto vynálezu. Jeho podstatou je to, že v závislosti na aktuální délce podélného průřezu nástroje, jež je v daném bodě dráhy nástroje v kontaktu s lopatkou, a/nebo v závislosti na aktuální výšce lopatky ve směru kolmém na směr proudění média se v každé části dráhy nástroje určuje velikost posuvové rychlosti, která je dána jako součin výchozí programované velikosti posuvové rychlosti a poměru podélného průřezu nástroje, jenž je v daném bodě dráhy nástroje v
25 kontaktu s lopatkou v místě náběžné hrany lopatky, vůči aktuální délce podélného průřezu nástroje, jež je v daném bodě dráhy nástroje v kontaktu s lopatkou v aktuální části dráhy nástroje, a/nebo jako součin výchozí programované velikosti posuvové rychlosti a poměru výšky lopatky v místě náběžné hrany lopatky vůči aktuální výšce lopatky v aktuální části dráhy nástroje, a hodnota otáček vřetena je při řízení posuvové rychlosti v každé části dráhy nástroje dána jako
30 podíl, kdy v čitateli je hodnota posuvové rychlosti a ve jmenovateli je součin počtu zubů a hodnoty posuvu na zub pro konstantní posuv na zub, a/nebo je hodnota otáček vřetena je při řízení posuvové rychlosti v každé části dráhy nástroje dána jako reálně dosažitelná hodnota otáček z výchozí hodnoty otáček vřetena dosažené v předchozí části dráhy nástroje na základě skutečné změny rychlosti vřetena, přičemž výsledný předpis posuvu nástroje je uveden v
35 příslušném bloku NC programu.

Část dráhy nástroje je v podobě úseku nebo v podobě bodu.

- 40 Lopatka je s výhodou po délce rozdělena na několik oblastí, ve kterých se posuvová rychlost a/nebo hodnota otáček stanovuje podle uživatelem definovaných koeficientů, přičemž dochází ke spojitě změně posuvové rychlosti a/nebo ke spojitě změně otáček vřetena.

- Řešení využívá průběžné řízení posuvové rychlosti nástroje, řízením otáček vřetena nebo řízením obou těchto parametrů, tj. technologických podmínek, najednou při obrábění lopatek bokem
45 nástroje tak, tak aby byly nastaveny specifické technologické podmínky pro určitou oblast podél lopatky. Oblasti podél lopatky jsou definované zejména s ohledem na velikost změny výšky lopatky, resp. aktuálního podélného průřezu nástroje, jež je v daném bodě dráhy nástroje v kontaktu s lopatkou.

- 50 Posuvová rychlost již tedy nemusí být snížena na určitou minimální hodnotu podél celé dráhy nástroje vzhledem k nejkritičtějšímu místu na lopatce jako ve standardním případě, ale v navrženém řešení je efektivně řízena v závislosti na tom, v jaké oblasti podél lopatky se nástroj nachází. Přizpůsobením technologických podmínek přímo určité oblasti podél lopatky se tak obrábění stává efektivní a produktivní, na rozdíl od standardního stavu, kdy tyto parametry řízeny

nebyly a posuvová rychlost tak byla zbytečně na nízké hodnotě, čímž docházelo k prodlužování výrobních časů.

Základem pro řešení je znalost dráhy nástroje (např. z CAM systému), vektoru osy nástroje a znalost hlavové křivky lopatky, tj. křivky na špičce lopatky. Nejprve se automaticky najde místo na dráze nástroje, kde je lopatka nejvyšší, tj. je zde největší vzdálenost bodu dráhy nástroje vůči hlavové křivce lopatky v rovině tvořené vektorem osy nástroje a příslušným bodem na hlavové křivce. Poté se stanoví délka podélného průřezu nástroje, jež je v daném bodě dráhy nástroje v kontaktu s lopatkou v místě největší výšky lopatky, resp. přímo výška lopatky. V místě největší výšky lopatky je každopádně nutné omezovat posuvovou rychlost z důvodu největšího záběru nástroje s lopatkou, a tedy technolog volí omezení posuvové rychlosti právě na toto místo a toto je tedy výchozí hodnota posuvové rychlosti. V navrženém řešení se tedy proto v každém předem stanoveném bodu dráhy nástroje, které jsou ve stejné vzájemné vzdálenosti stanovuje aktuální posuvová rychlost jako součin výchozí programované hodnoty posuvové rychlosti a poměru délky podélného průřezu nástroje, jež je v daném bodě dráhy nástroje v kontaktu s lopatkou v místě největší výšky lopatky vůči aktuální délce podélného průřezu nástroje, jež je v daném bodě dráhy nástroje v kontaktu s lopatkou v aktuálním bodě dráhy nástroje. Řešení je také možné upravit tak, že v jakémkoliv dalším bodě dráhy nástroje se stanovují aktuální posuvová rychlost jako součin výchozí programované velikosti posuvové rychlosti a poměru největší výšky lopatky vůči výšce lopatky v aktuálním bodě dráhy nástroje. Tím, že v jakémkoliv dalším bodě dráhy nástroje je délka řezné části, resp. výška lopatky menší, než je délka řezné části v nejvyšším místě lopatky, resp. největší výška lopatky, tak dochází ke zvyšování posuvové rychlosti, tedy zproduktivnění technologické operace frézování.

Avšak tím, že dochází k průběžnému řízení posuvové rychlosti, tak dochází ke změně hodnoty posuvu na zub. Pro zachování konstantní hodnoty posuvu na zub je zapotřebí měnit otáčky vřetena, stanovené jako podíl, kdy v čitateli je hodnota posuvové rychlosti a ve jmenovateli je součin počtu zubů a hodnoty posuvu na zub. Proto navržené zařízení také umožňuje automaticky přepočítávat hodnotu otáček vřetena, čímž je zachován konstantní posuv na zub v každém bodě dráhy nástroje a dochází tak k průběžnému řízení otáček vřetena.

Navržené řešení je ještě rozšířeno tak, že je vymezován počet oblastí, na které je rozdělena lopatka a jsou určeny délky těchto jednotlivých oblastí. Počet oblastí může zvolit uživatel podle svého uvážení, nebo je možné využít doporučeného rozvržení počtu oblastí. Jako doporučený počet je šest oblastí, přičemž tři oblasti jsou na tlakové straně lopatky a tři oblasti jsou na sací straně lopatky. Délka jednotlivých oblastí je určena podle velikosti změny výšky lopatky. Buďto může uživatel délky jednotlivých oblastí zvolit podle svých zkušeností, nebo může využít doporučeného nastavení. Jako doporučené nastavení je následující rozdělení lopatky, přičemž celková délka lopatky je počítána jako součet délky sací strany lopatky a délky tlakové strany lopatky: první oblast má délkový rozsah 10 % z celkové délky lopatky přičemž počáteční hranice je na odtokové hraně lopatky, tj. začátek dráhy nástroje, druhá oblast má délkový rozsah 25 % z celkové délky lopatky přičemž počáteční hranice je koncová hranice první oblasti, třetí oblast má délkový rozsah 15 % z celkové délky lopatky přičemž počáteční hranice je koncová hranice druhé oblasti, čtvrtá oblast má délkový rozsah 15 % z celkové délky lopatky přičemž počáteční hranice je koncová hranice třetí oblasti, pátá oblast má délkový rozsah 25 % z celkové délky lopatky přičemž počáteční hranice je koncová hranice čtvrté oblasti a šestá oblast má délkový rozsah 10 % z celkové délky lopatky přičemž počáteční hranice je koncová hranice páté oblasti.

Na každém přechodu, tj. hranici mezi dílčími oblastmi na lopatce a také na začátku a na konci lopatky jsou nastaveny hodnoty koeficientů, pomocí kterých jsou hodnoty posuvových rychlostí a otáček vřetena průběžně přepočítávány a při testech obrábění na stroji je s jejich využitím možno efektivně uživatelsky dodatečně upravit, tj. korigovat průběžné změny posuvových rychlostí tak, aby bylo obrábění ještě produktivnější, nebo bylo pro určitou oblast na lopatce dosaženo individuální úpravy technologických podmínek pro dosažení lepší kvality obrobeného povrchu. Aby nedocházelo ke skokovým změnám hodnot posuvových rychlostí nebo hodnot otáček

- vřetena na úrovni přechodů dílčích oblastí na lopatce, je řešení upraveno tak, že na dílčích oblastech jsou pro dílčí body dráhy nástroje koeficienty určovány výpočtem podle určité matematické funkce, kde vstupem jsou vždy hodnoty koeficientů určených na dvou přechodech, tj. hranicích dané oblasti na lopatce. Nejjednodušším a dostatečně spolehlivým řešením je využít
- 5 lineární interpolaci dílčích koeficientů na určité oblasti lopatky mezi dvěma koeficienty na krajních hranicích dané oblasti. Je však možno využít jiné matematické definice pro interpolaci dílčích koeficientů na určité oblasti lopatky mezi dvěma koeficienty na krajních hranicích dané oblasti.
- 10 Postup je upraven tak, aby bylo zároveň kontrolováno dosahování limitních hodnot otáček vřetena a posuvové rychlosti a v případě, že by mělo být v průběžném řízení těchto hodnot překročeno, tak jsou generovány takové hodnoty posuvové rychlosti, případně otáček vřetena, aby nedošlo k překročení limitních hodnot.
- 15 Toto řešení pro průběžný výpočet technologických parametrů je možné aplikovat u jakýchkoliv frézovacích operací bokem nástroje, kde jsou využity kulové, kuželové, toroidní, či další speciální nástroje, tedy např. u třísoých operací, víceosých souvisle řízených operací, či víceosých operací, kde dochází k napolohování rotačních os apod. Principiálně je možné toto zařízení realizovat jako část CAM systému, nebo část postprocesoru, nebo využitím kombinace
- 20 výše uvedeného.

Objasnění výkresů

- 25 Způsob řízení posuvové rychlosti pro CNC obráběcí stroje při obrábění lopatky oběžného či stacionárního kola bokem nástroje se zuby podle tohoto vynálezu bude podrobněji popsán na konkrétním příkladu provedení s pomocí přiložených výkresů, kde obr. 1 je vidět řez kompresorovým kolem, kde je patrna hlavní lopatka. Na obr. 2 je řez A-A lopatkou kompresorového kola z obr. 2. Na obr. 3 je již vidět i frézovací nástroj ve dvou polohách vůči
- 30 lopatce kompresorového kola jako příkladech dvou pozic na dráze nástroje z NC programu. Na obr. 4 je vyznačen případ, kdy je plocha lopatky rozdělena na tři oblasti. Na obr. 5 je uveden jeden z příkladů možné realizace navrženého zařízení ve formě postprocesoru. Na obr. 6 je uveden další z příkladů možné realizace navrženého zařízení.

35

Příklad uskutečnění vynálezu

- Příkladný způsob řízení posuvové rychlosti pro CNC obráběcí stroje při obrábění lopatky 2 oběžného či stacionárního kola bokem nástroje se zuby spočívá v závislosti na aktuální délce
- 40 řezné části nástroje v podélném řezu nástrojem, která je v přímém kontaktu s lopatkou a/nebo v závislosti na aktuální výšce lopatky ve směru kolmém na směr proudění média se v každé části dráhy nástroje určuje velikost posuvové rychlosti, která je dána jako součin výchozí programované velikosti posuvové rychlosti a poměru délky řezné části nástroje v přímém kontaktu s lopatkou v místě náběžné hrany lopatky vůči aktuální délce řezné části nástroje, která
- 45 je v kontaktu s lopatkou v aktuální části dráhy nástroje, a/nebo jako součin výchozí programované velikosti posuvové rychlosti a poměru výšky lopatky v místě náběžné hrany lopatky vůči aktuální výšce lopatky v aktuální části dráhy nástroje a hodnota otáček vřetena je při řízení posuvové rychlosti v každé části dráhy nástroje dána jako podíl, kdy v čitateli je hodnota posuvové rychlosti a ve jmenovateli je součin počtu zubů a hodnoty posuvu na zub pro
- 50 konstantní posuv na zub a/nebo je hodnota otáček vřetena je při řízení posuvové rychlosti v každé části dráhy nástroje dána jako reálně dosažitelná hodnota otáček z výchozí hodnoty otáček vřetena dosažené v předchozí části dráhy nástroje na základě skutečné změny rychlosti vřetena, přičemž výsledný předpis posuvu nástroje je uveden v příslušném bloku NC programu.

- 55 Část dráhy nástroje je v podobě úseku nebo v podobě bodu.

Lopatka je po délce rozdělena na několik oblastí, ve kterých se posuvová rychlost a/nebo hodnota otáček stanovuje podle uživatelem definovaných koeficientů, přičemž dochází ke spojitě změně posuvové rychlosti a/nebo ke spojitě změně otáček vřetena.

5

Princip vynálezu je blíže naznačen na obr. 4. až obr. 6. Na obr. 1 je vidět řez kompresorovým kolem, s jádrem 1, kde je patrna hlavní lopatka 2, kterou je možné obrábět bokem nástroje, tedy tvořícím profilem ploch lopatky je úsečka. Kompresorové kolo je typickým příkladem pro využití navrženého řešení s dosažením maximálních přínosů. Tvořící profil lopatky 2 je vidět na obr. 2, kde je zachycen řez A-A lopatkou 2 kompresorového kola. Na obr. 1 je označeno jádro 1 kompresorového kola, které také určuje křivku patního meridiánu oběžného kola. Dále je patrná lopatka 2 kompresorového kola s náběžnou hranou 3 lopatky 2, odtokovou hranou 4 lopatky 2 a špičkou 5 lopatky 2, která určuje křivku meridiánu špičky lopatky neboli vnější meridián kompresorového kola. Dále je patrný patní rádius 6 lopatky 2. Na obr. 2 je tvořící profil vidět jak v případě tlakové plochy 13 lopatky 2, tak v případě sací plochy 14 lopatky 2. Na obr. 2 je ještě označen patní rádius R lopatky 2.

Na obr. 3 je již vidět i frézovací nástroj ve dvou polohách vůči lopatce 2 kompresorového kola jako příkladech dvou pozic na dráze nástroje z NC programu. Jako frézovací nástroj je na tomto příkladu použita kuželová fréza s kulovou špičkou, která má shodný poloměr jako je patní rádius R lopatky 2. Na obrázku je znázorněna poloha 7 nástroje při frézování náběžné hrany 3 lopatky 2, tedy v místě, kde je lopatka 2 nejvyšší a toto místo je při obrábění kritické, jelikož hrozí vibrace lopatky 2, a proto technolog v tomto místě omezuje hodnotu posuvové rychlosti. Délka A řezné části nástroje je právě v pozici frézování náběžné hrany lopatky 2. Další poloha 8 nástroje při frézování plochy lopatky v obecné poloze je v tomto případě přibližně v polovině sací plochy lopatky 2, přičemž je zde vyznačena aktuální délka B řezné části nástroje právě v této poloze nástroje vůči lopatce 2. V tomto místě dráhy nástroje je tedy v navrženém řešení posuvová rychlost zvýšena úměrně poměru délky A a aktuální délky B.

Na obr. 4 je vyznačen případ, kdy je plocha lopatky 2 rozdělena na tři oblasti, přičemž oblast I. začíná u odtokové hrany 4 lopatky 2 s počáteční hranicí 9 a koncovou hranicí 10, dále navazuje druhá oblast II., s počáteční hranicí 10 a koncovou hranicí 11. Poslední oblastí na této ploše lopatky je třetí oblast III., která končí na náběžné hraně 3 lopatky 2, tedy s její počáteční hranicí 11 a koncovou hranicí 12 v místě náběžné hrany 3 lopatky 2. Na těchto vyznačených hranicích jsou stanoveny koeficienty, podle kterých probíhá dodatečná plynulá úprava posuvové rychlosti, případně otáček vřetena, podle dříve uvedeného postupu, podle reálných zkušeností při obrábění lopatky 2 na stroji, přičemž tyto koeficienty mohou být upravovány podle individuálních potřeb dané lopatky 2 a použitého obráběcího nástroje tak, aby došlo k efektivnímu obrábění, tedy dosažení nejvíce produktivních technologických podmínek a požadované kvality obrobené plochy lopatky 2 v dílčích oblastech plochy lopatky 2.

Na obr. 5 je uveden jeden z příkladů možné realizace navrženého řešení ve formě postprocesoru 20. Technické řešení v tomto případě předpokládá znalost matematického popisu hlavové křivky lopatky 2, která je získávána z CAD systému 15. Tento matematický popis hlavové křivky je prostřednictvím textového souboru v bloku C přenesen jako vstup do sekundárního postprocesoru 18, kde jsou soustředěny průběžné výpočty posuvové rychlosti a otáček vřetena. Dalšími vstupy do sekundárního postprocesoru 18 jsou textový soubor s informacemi o dráze nástroje, tzv. CL data, což je výstup z CAM systému 16 obsahujícího zejména dílčí polohy a orientace nástroje a textový soubor s informací o délce celé dráhy nástroje. CL data jsou v dalším bloku D a jsou výstupem z CAM systému 16. Z CL dat je nejprve primárním postprocesorem 17 vypočítávána délka E dráhy nástroje a uložena v podobě textového souboru. Sekundární postprocesor 18 tedy generuje optimalizovaný NC program s plynulým řízením posuvové rychlosti, resp. otáček F vřetena a tento optimalizovaný NC program je vstupem do řídicího systému 19 stroje.

Na obr. 6 je uveden další z příkladů možné realizace navrženého zařízení ve formě funkční části CAD/CAM systému, resp. Další CAD systému 22 a CAD/CAM systém, resp. Další CAM systém 21. Technické řešení v tomto případě předpokládá znalost matematického popisu hlavové křivky lopatky. Tento matematický popis hlavové křivky reprezentovaný blokem G je přenesen jako vstup do navrženého zařízení, ve kterém jsou soustředěny průběžné výpočty posuvové rychlosti a otáček vřetena. Dalšími vstupy do navrženého zařízení jsou informace o dráze nástroje, obsahující zejména dílčí polohy a orientace nástroje, a informace o délce celé dráhy nástroje. Informace o dráze H nástroje a délce I dráhy nástroje. Zařízení v řídicím bloku 22 průběžně vypočítává posuvové rychlosti a otáčky vřetena, které mohou být v CAD/CAM systému, resp. v CAM systému interně uloženy ve formě tzv. CL dat vzhledem k dílčím bodům dráhy nástroje, přičemž soubor CL dat je reprezentovaný blokem J. NC program K, obsahující průběžné změny posuvové rychlosti a otáček vřetena, je vygenerovaný dalším postprocesorem 23 a je vstupem do řídicího systému 19 stroje.

Příkladem řešení je realizace zařízení pro řízení otáček a posuvové rychlosti v podobě postprocesoru pro stroj MCVL1000 z produkce Kovosvit MAS Machine Tools a.s. s řídicím systémem iTNC530. V tomto postprocesoru bylo implementováno řešení, kdy v generovaných NC programech je využito řízení posuvové rychlosti při obrábění lopatek bokem nástroje. Tím dochází ke zproduktivnění výroby např. při technologických operacích dokončování lopatek kompresorových kol, která se na stroji realizují, což bude demonstrovat následující příklad.

Pro ověření funkce zařízení pro průběžný výpočet posuvové rychlosti při obrábění bokem nástroje byla zvolena tři různá kompresorová kola, označená podle největšího průměru – 60 mm, 100 mm, 160 mm, jejichž lopatky 2 jsou frézovány bokem nástroje. Příklad kompresorového kola je vidět na obr. 1 a obr. 2, přičemž bližší popis dílčích označených pozic je popsán výše. Při uplatnění zařízení pro průběžný výpočet posuvové rychlosti byla lopatka 2 podél dráhy nástroje rozdělena na šest oblastí, přičemž tři oblasti se nacházejí na tlakové ploše 13 a tři oblasti se nacházejí na sací ploše 14 lopatky 2. Oblasti jsou rozděleny dle následujícího procentuálního vyjádření délky lopatky 2, přičemž začátek je na odtokové hraně 4 lopatky 2. První oblast sahá do 10 % délky lopatky 2, druhá oblast do 35 % délky lopatky 2, třetí oblast do 50 % délky lopatky 2, čtvrtá oblast do 65 % délky lopatky 2, pátá oblast do 90 % délky lopatky 2 a šestá oblast do 100 % délky lopatky 2. Pro frézování byly použity třízubé karbidové kuželové frézy s vrcholovým úhlem 9°. Příklady dvou pozic kuželové frézy vůči lopatce 2 jsou vidět na obr. 3, přičemž pro kolo o průměru 60 mm byla použita fréza s rádiusem 0,8 mm a délkou ostří 14 mm, pro kolo o průměru 100 mm byla použita fréza s rádiusem 2,2 mm a délkou ostří 31 mm a pro kolo o průměru 160 mm byla použita fréza s rádiusem 3,2 mm a délkou ostří 38 mm. Materiálem kompresorových kol byla slitina hliníku EN AW 7075. Podle dostupnosti měřicího hrotu byly zvoleny čtyři oblasti na lopatce 2, kde byla měřena drsnost. Pro kontrolu drsnosti plochy lopatky 2 byla zvolena limitní hodnota drsnosti Ra0,8.

V případě kompresorového kola o průměru 60 mm byla nejprve obrobena lopatka 2 konvenčními technologickými podmínkami, přičemž byla zvolena posuvová rychlost 800 mm/min a otáčky vřetena byly 6300 ot/min. Lopatka 2 byla obrobena za 29 s a v první oblasti byla naměřena drsnost Ra 0,51, ve druhé oblasti Ra 0,46, ve třetí oblasti Ra 0,57 a ve čtvrté oblasti Ra 3,71. Bylo testováno více kombinací technologických parametrů, ve čtvrté měřené oblasti nebylo nikdy dosaženo nižší hodnoty drsnosti. Toto bylo způsobeno tím, že nástroj byl velmi tenký z důvodu nejužšího prostoru mezi lopatkami 2. Proto v poslední oblasti docházelo vždy k rozkmitání nástroje, a tedy zhoršení drsnosti obrobene plochy. Poté byla obrobena lopatka 2 s využitím zařízení pro průběžný výpočet posuvové rychlosti, přičemž nominální hodnota posuvové rychlosti byla průběžně přepočítávána podle aktuální délky rezné části nástroje, která je v kontaktu s lopatkou 2 a otáčky vřetena byly na hodnotě 6300 ot/min. Lopatka 2 byla obrobena za 15 s v první oblasti byla naměřena drsnost Ra 0,43, ve druhé oblasti Ra 0,40, ve třetí oblasti 0,22 a ve čtvrté oblasti Ra 3,38. Je patrné, že díky uplatnění řešení pro průběžný výpočet posuvové rychlosti došlo ke snížení času obrábění lopatky 2 o 13 % oproti původnímu strojnímu času a zároveň došlo ke zlepšení drsnosti povrchu ve všech měřených oblastech. Ve čtvrté oblasti

sice nedošlo ke splnění požadovaného limitu drsnosti, ale po obrobení lopatky 2 kompresorového kola s využitím zařízení pro průběžný výpočet posuvové rychlosti došlo ke zlepšení hodnot drsnosti obrobené plochy a zároveň je výroba produktivnější.

- 5 V případě kompresorového kola o průměru 100 mm byla nejprve obrobena lopatka 2 konvenčními technologickými podmínkami, přičemž byla zvolena posuvová rychlost 550 mm/min a otáčky vřetena byly 4800 ot/min. Lopatka 2 byla obrobena za 55 s a v první oblasti byla naměřena drsnost Ra 0,36, ve druhé oblasti Ra 0,64, ve třetí oblasti Ra 0,55 a ve čtvrté oblasti Ra 0,41. Poté byla obrobena lopatka 2 s využitím zařízení pro průběžný výpočet posuvové rychlosti, přičemž nominální hodnota posuvové rychlosti byla průběžně přepočítávána podle aktuální délky řezné části nástroje, která je v kontaktu s lopatkou 2 a otáčky vřetena byly na hodnotě 4800 ot/min. Lopatka 2 byla obrobena za 32 s v první oblasti byla naměřena drsnost Ra 0,29, ve druhé oblasti Ra 0,44, ve třetí oblasti Ra 0,36 a ve čtvrté oblasti Ra 0,63. Je patrné, že díky uplatnění zařízení pro průběžný výpočet posuvové rychlosti došlo ke snížení času obrábění lopatky 2 o 41 % oproti původnímu strojnímu času a zároveň došlo ke zlepšení drsnosti povrchu v prvních třech oblastech. Ve čtvrté oblasti sice došlo k mírnému zhoršení drsnosti, avšak stále je tato hodnota nižší, než je stanovený limit hodnoty drsnosti, takže s dosaženou hodnotou drsnosti obrobená lopatka 2 splňuje požadované limity drsnosti povrchu. Bylo tedy ověřeno, že po obrobení lopatky kompresorového kola s využitím zařízení pro průběžný výpočet posuvové rychlosti došlo k dodržení limitu drsnosti obrobené plochy a zároveň je výroba produktivnější.

- 25 V případě kompresorového kola o průměru 160 mm byla nejprve obrobena lopatka 2 konvenčními technologickými podmínkami, přičemž byla zvolena posuvová rychlost 2800 mm/min a otáčky vřetena byly 3100 ot/min. Lopatka 2 byla obrobena za 89 s a v první oblasti byla naměřena drsnost Ra 0,25, ve druhé oblasti Ra 0,81, ve třetí oblasti Ra 0,1 a ve čtvrté oblasti Ra 0,16. Poté byla obrobena lopatka 2 s využitím zařízení pro průběžný výpočet posuvové rychlosti, přičemž nominální hodnota posuvové rychlosti byla průběžně přepočítávána podle aktuální délky řezné části nástroje, která je v kontaktu s lopatkou 2 a otáčky vřetena byly na hodnotě 3100 ot/min. Lopatka 2 byla obrobena za 61 s v první oblasti byla naměřena drsnost Ra 0,20, ve druhé oblasti Ra 0,68, ve třetí oblasti Ra 0,13 a ve čtvrté oblasti Ra 0,20. Je patrné, že díky uplatnění zařízení pro průběžný výpočet posuvové rychlosti došlo ke snížení času obrábění lopatky 2 o 31 % oproti původnímu strojnímu času a zároveň došlo ke zlepšení drsnosti povrchu v prvních dvou oblastech. Ve třetí a čtvrté oblasti sice došlo k velmi mírnému zhoršení drsnosti, avšak stále je tato hodnota nižší, než je stanovený limit hodnoty drsnosti, takže s dosaženou hodnotou drsnosti obrobená lopatka 2 splňuje požadované limity drsnosti povrchu. Bylo tedy ověřeno, že po obrobení lopatky 2 kompresorového kola s využitím zařízení pro průběžný výpočet posuvové rychlosti došlo k dodržení limitu drsnosti obrobené plochy a zároveň je výroba produktivnější.

- 40 Na obr. 5 je schematicky uvedeno technické provedení zařízení pro průběžný výpočet posuvové rychlosti, pomocí kterého uživatel, tj. technolog vygeneruje optimalizované NC programy s průběžným řízením posuvové rychlosti, resp. otáček vřetena a tyto optimalizované NC programy jsou standardním způsobem odbaveny v řídicím systému stroje. V rámci provedené optimalizace se tedy mění pouze posuvové rychlosti a případně i otáčky vřetena a žádné jiné úpravy, jako např. úpravy pozice a orientace nástroje, nejsou zapotřebí. Zařízení pro průběžný výpočet posuvové rychlosti a otáček vřetena však může být implementováno i přímo jako funkce v CAD/CAM systému.

50 Průmyslová využitelnost

- Toto řešení pro výpočet otáček a posuvové rychlosti u je využitelné pro všechny typy obráběcích strojů, které mají alespoň dvě lineární osy, anebo minimálně jednu rotační osu a umožňují realizovat frézovací operace lopatek bokem nástroje. K obrábění může být použit jakýkoliv frézovací nástroj, který umožňuje realizovat frézovací operace bokem nástroje. Technologické

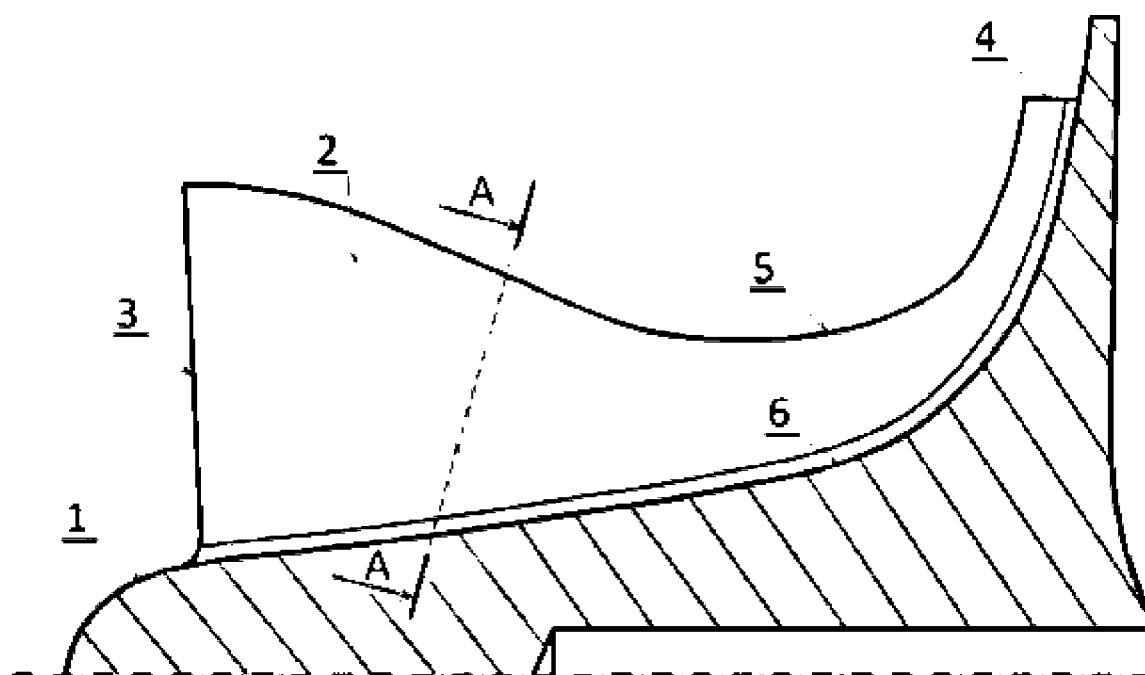
operace frézování bokem nástroje jsou často uplatňovány při frézování lopatek na oběžných, nebo stacionárních kolech, jejichž plochy jsou tvořeny přímkovým profilem. Největší uplatnění tohoto způsobu řízení otáček a posuvové rychlosti je v případě frézování lopatek kompresorových kol bokem nástroje, jelikož u těchto lopatek dochází k velkým průběžným
5 změnám výšky lopatky podél lopatky. Největší výška lopatky bývá v místě náběžné hrany lopatky a v tomto místě bývá lopatka nejpoddajnější. Proto je zapotřebí, aby technolog v konvenčním případě řízení technologických podmínek omezil posuvovou rychlost a případně otáčky vřetena právě tomuto kritickému místu na lopatce. Při konvenčním způsobu nastavení technologických podmínek je tedy obrábění neproduktivní. Využitím zařízení pro průběžný výpočet posuvové
10 rychlosti a otáček vřetena jsou technologické podmínky přizpůsobeny aktuální oblasti na lopatce v závislosti na změně aktuální délky řezné části nástroje, která je v kontaktu s lopatkou, či aktuální výšce lopatky. Zmiňovaným zařízením je možné docílit vyšší produktivity a hospodárnosti procesu. Využití je vhodné zejména pro zapracování do postprocesorů pro generování NC programů pro řízení CNC obráběcích strojů, nebo může být využito pro
15 implementaci do CAD/CAM systému, tedy ve fázi přípravy dráhy nástroje.

PATENTOVÉ NÁROKY

5 1. Způsob řízení posuvové rychlosti a otáček vřetena pro CNC obráběcí stroje, při obrábění lopatky (2) oběžného či stacionárního kola bokem, zejména kulového, kuželového a toroidního nástroje se zuby, **vyznačující se tím**, že v závislosti na aktuální délce podélného průřezu nástroje, jež je v daném bodě dráhy nástroje v kontaktu s lopatkou (2), se v každém předem stanoveném bodu dráhy nástroje, které jsou v navzájem stejné vzdálenosti, určuje aktuální velikost posuvové rychlosti, která je dána jako součin výchozí programované velikosti posuvové rychlosti a poměru délky řezné části nástroje v přímém kontaktu s lopatkou (2) v místě náběžné hrany (3) lopatky (2) vůči aktuální délce řezné části nástroje, která je v kontaktu s lopatkou (2) v aktuální části dráhy nástroje, a hodnota otáček vřetena je při řízení posuvové rychlosti v každé části dráhy nástroje dána jako podíl, kdy v čitateli je hodnota posuvové rychlosti a ve jmenovateli je součin počtu zubů a hodnoty posuvu na zub pro konstantní posuv na zub, přičemž výsledný předpis posuvu nástroje je uveden v příslušném bloku NC programu.

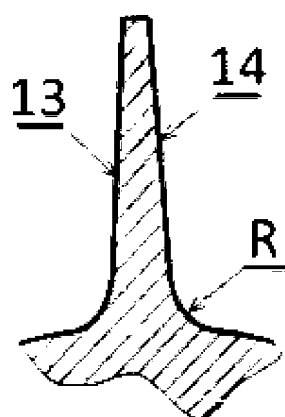
15 2. Způsob řízení posuvové rychlosti podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že lopatka (2) je po délce rozdělena na několik oblastí, ve kterých se posuvová rychlost a/nebo hodnota otáček řídí, přičemž dochází ke spojitě změně posuvové rychlosti a/nebo ke spojitě změně otáček vřetena.

3 výkresy

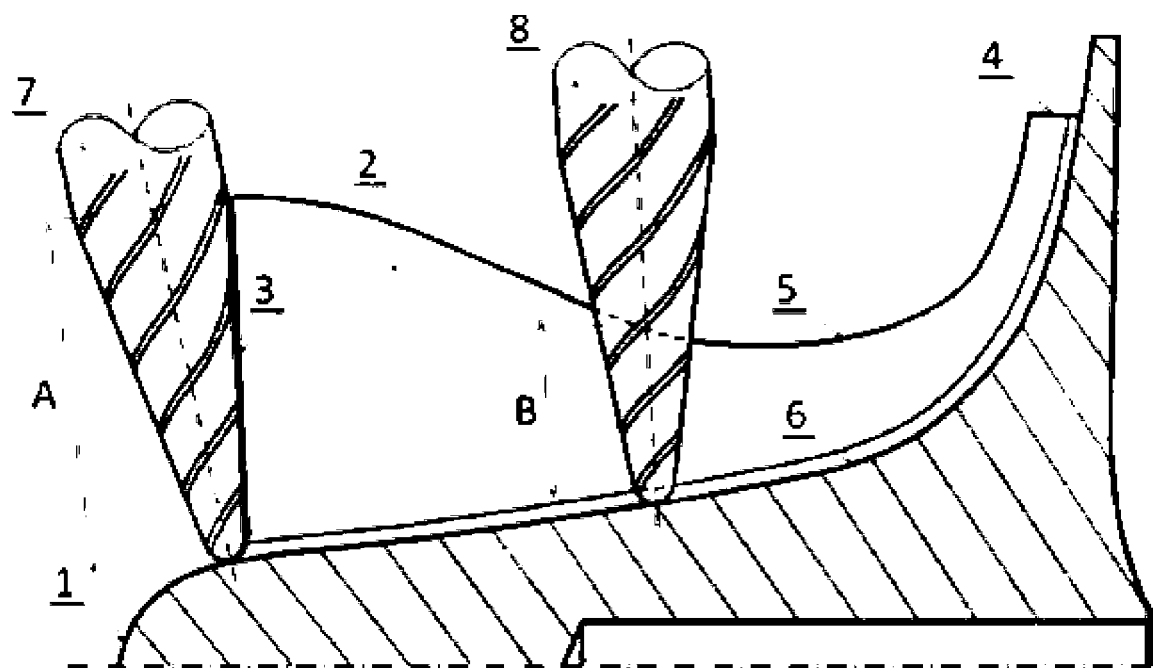


Obr. 1

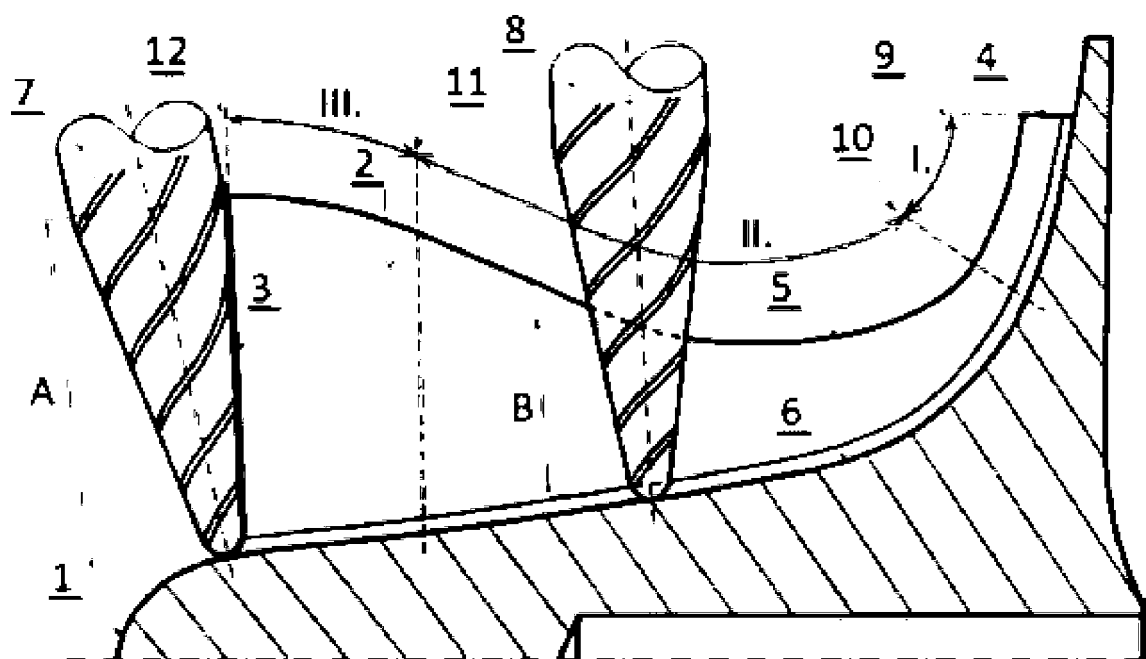
A - A



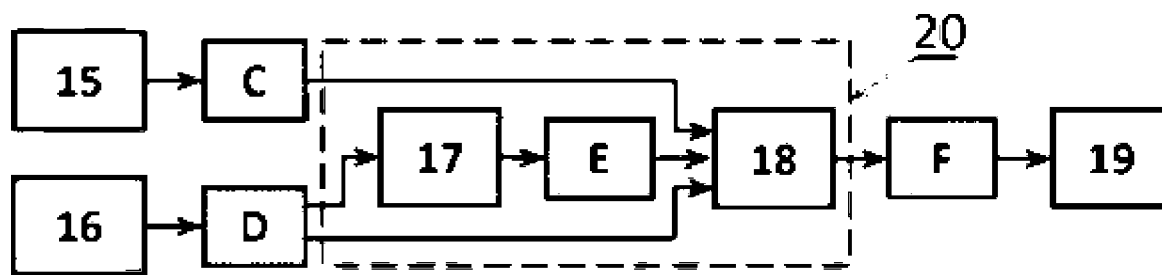
Obr. 2



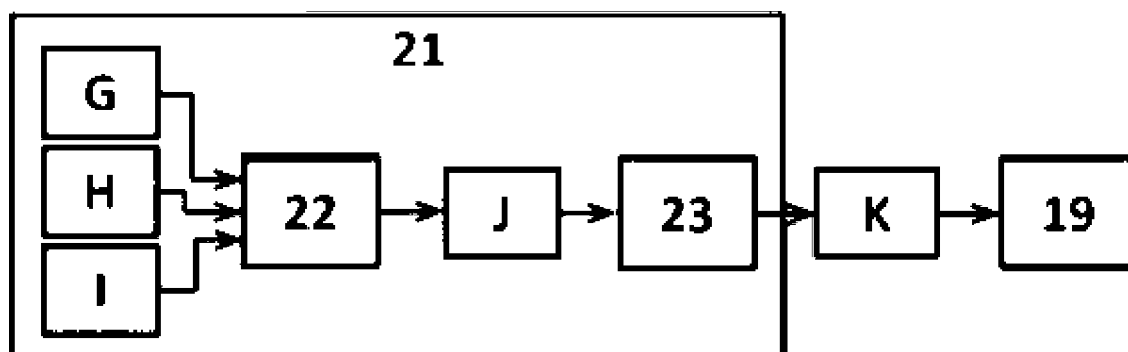
Obr. 3



Obr. 4



Obr. 5



Obr. 6