



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ(21), (22) Заявка: **2006101341/02, 11.06.2004**(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
11.06.2004(30) Конвенционный приоритет:
19.06.2003 DE 10327623.8(43) Дата публикации заявки: **20.09.2007**(45) Опубликовано: **20.06.2009** Бюл. № 17(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: **US 6077002 A, 20.01.2000. SU 70100 A, 30.01.1948. SU 217895 A, 09.08.1968. SU 319411 A, 24.12.1971. RU 2023547 C1, 30.11.1994.**(85) Дата перевода заявки РСТ на национальную фазу: **19.01.2006**(86) Заявка РСТ:
DE 2004/001212 (11.06.2004)(87) Публикация РСТ:
WO 2004/113000 (29.12.2004)

Адрес для переписки:
**101000, Москва, М.Златоустинский пер., д.10,
кв.15, "ЕВРОМАРКПАТ", пат.пов.
И.А.Веселицкой, рег.№ 0011**

(72) Автор(ы):

ГЛЭССЕР Арндт (DE)

(73) Патентообладатель(и):

МТУ АЭРО ЭНДЖИНЗ ГМБХ (DE)**(54) СПОСОБ ФРЕЗЕРОВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ**

(57) Реферат:

Способ относится к обработке резанием деталей из труднообрабатываемых материалов, фрезерованию используемых в газовых турбинах роторов с набором выполненных за одно целое с ними лопаток, включающий использование фрезы, которая характеризуется своим радиусом и которую для обеспечения централизованного вращения приводят во вращение вокруг ее собственной оси и в движение, при котором опорную точку фрезы, предпочтительно лежащую на ее оси,

перемещают по нескольким криволинейным траекториям, которые предпочтительно имеют различную кривизну и по которым фрезу перемещают относительно обрабатываемого материала с радиальной подачей на глубину. Для повышения производительности обработки и стойкости фрезы кривизну каждой траектории в каждой ее точке задают так, что в каждой точке траектории величина обхвата фрезы обрабатываемым материалом не превышает максимально допустимой величины. 11 з.п. ф-лы, 6 ил.



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,
PATENTS AND TRADEMARKS

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21), (22) Application: **2006101341/02, 11.06.2004**
 (24) Effective date for property rights:
11.06.2004
 (30) Priority:
19.06.2003 DE 10327623.8
 (43) Application published: **20.09.2007**
 (45) Date of publication: **20.06.2009 Bull. 17**
 (85) Commencement of national phase: **19.01.2006**
 (86) PCT application:
DE 2004/001212 (11.06.2004)
 (87) PCT publication:
WO 2004/113000 (29.12.2004)
 Mail address:
101000, Moskva, M.Zlatoustinskij per., d.10,
kv.15, "EVROMARKPAT", pat.pov.
I.A.Veselitskoj, reg.№ 0011

(72) Inventor(s):
GLEhSSER Arndt (DE)
 (73) Proprietor(s):
MTU AEhRO EhNDZhINZ GMBKh (DE)

(54) **MILLING METHOD**

(57) Abstract:
 FIELD: production processes.
 SUBSTANCE: proposed method relates to machining the parts made in intractable materials and to milling gas turbine rotor with blades made integral with the latter. The proposed method comprises using the milling cutter that features a particular radius. For the milling cutter to rotate aligned, it is set to rotate about its axis and to move so as to shift the milling cutter reference point located, preferably, on the tool axis, along

several curvilinear trajectories that feature, preferably, various curvilinearity. Note that the milling cutter is moved relative to milled workpiece with radial depth feed. Aforesaid curvilinearity of every trajectory at its every point is preset so that the milling cutter is surrounded by workpiece being machined by the amount not exceeding the maximum tolerable value.

EFFECT: higher efficiency of milling and increased milling cutter durability.

12 cl, 6 dwg

R U 2 3 5 8 8 4 3 C 2

R U 2 3 5 8 8 4 3 C 2

Настоящее изобретение относится к способу фрезерования деталей согласно ограничительной части п.1 формулы изобретения.

Настоящее изобретение относится к области фрезерования, прежде всего к технологии высокоскоростного фрезерования, называемого также
5 высокопроизводительным фрезерованием, и, в частности, к так называемому трохoidalному фрезерованию.

При так называемом трохoidalном фрезеровании фрезе, имеющую
определенный радиус, для обеспечения ее центрированного вращения приводят во
10 вращение вокруг ее собственной продольной оси. Одновременно с этим некоторую опорную точку фрезы, предпочтительно лежащую на ее оси, перемещают в целях фрезерной обработки детали по криволинейной траектории, которая согласно уровню техники при традиционном трохoidalном фрезеровании имеет форму окружности. На движение фрезы по этой траектории накладывают поступательное
15 движение подачи опорной точки. При наложении трех этих движений фрезы одно на другое, т.е. при наложении центрированного вращения фрезы вокруг ее собственной оси, движения опорной точки фрезы по круговой траектории и поступательного движения подачи опорной точки фрезы, фреза совершает результирующее движение по трохоиде или циклоиде.
20

Для обеспечения стабильного процесса обработки при трохoidalном фрезеровании важно не превышать максимально допустимого усилия резания на фрезе. Помимо этого образующаяся при фрезеровании стружка должна иметь такие
25 длину и толщину, при которых возможно ее беспрепятственное удаление из зоны резания по соответствующим канавкам фрезы. Поэтому релевантные при трохoidalном фрезеровании параметры, к которым относятся, в частности, радиус фрезы, радиусы круговых траекторий, по которым перемещают опорную точку фрезы, подача фрезы на глубину и подача на зуб фрезы и которые поддерживают
30 постоянными в процессе всей фрезерной обработки, необходимо задавать с таким расчетом, чтобы на протяжении всей фрезерной обработки, с одной стороны, усилия резания не превышали допустимых значений, а с другой стороны, постоянно обеспечивалась возможность беспрепятственного и эффективного удаления стружки из зоны резания. Однако из-за необходимости соблюдения этих условий величина
35 обхвата фрезы обрабатываемым материалом изменяется согласно уровню техники в широких пределах. В результате этого эффективность известной из уровня техники трохoidalной фрезерной обработки ограничивается. Связанные с этим недостатки состоят в увеличении машинного времени фрезерования и снижении стойкости фрезы.

Исходя из вышеизложенного, в основу настоящего изобретения была положена
40 задача предложить новый способ фрезерования деталей.

Эта задача в отношении способа фрезерования деталей указанного в начале описания типа решается с помощью признаков отличительной части п.1 формулы изобретения.

Согласно изобретению кривизну каждой траектории в каждой ее точке задают
45 таким образом, что в каждой точке траектории обеспечивается оптимальная величина обхвата фрезы обрабатываемым материалом, т.е. длина дуги контакта фрезы с обрабатываемым материалом. Благодаря этому удается сократить
50 машинное время фрезерования. Помимо этого повышается стойкость, соответственно увеличивается время загрузки фрезы благодаря сокращению для выполнения фрезерной обработки количества проходов фрезой и соответственно первоначальных врезаний фрезы в обрабатываемый материал при

каждом проходе.

В одном из предпочтительных вариантов осуществления изобретения в начальной точке, соответственно в начале каждой траектории фрезу перемещают на глубину во фрезеруемый материал таким образом, что вектор траектории фрезы проходит по касательной к выфрезеровываемой боковой стенке изготавливаемой детали. Фрезу продолжают перемещать на глубину в обрабатываемый материал в этом касательном направлении до тех пор, пока величина обхвата фрезы обрабатываемым материалом не достигнет максимально допустимой величины. По достижении максимально допустимой величины обхвата фрезы обрабатываемым материалом вектор траектории перемещения фрезы, а тем самым и кривизну этой траектории в каждой ее точке задают в функции радиуса фрезы, в функции выфрезеровываемого контура боковых стенок, соответственно углублений и в функции контура первичной заготовки, соответственно контура, полученного за последний предшествующий проход фрезой, таким образом, чтобы примерно в каждой последующей точке траектории величина обхвата фрезы обрабатываемым материалом равнялась максимально допустимой. Величину обхвата фрезы обрабатываемым материалом предпочтительно поддерживать на максимально допустимом значении в каждой последующей точке траектории перемещения фрезы вплоть до участка вывода фрезы из фрезеруемого материала.

Предпочтительные варианты осуществления изобретения представлены в зависимых пунктах формулы изобретения и рассмотрены в последующем описании.

Ниже изобретение более подробно рассмотрено на примере одного из не ограничивающих его объем вариантов его осуществления со ссылкой на прилагаемые чертежи, на которых показано:

на фиг.1 - предельно упрощенная схема, поясняющая известный из уровня техники процесс трохоидального фрезерования,

на фиг.2 - график зависимости величины обхвата фрезы обрабатываемым материалом при известном из уровня техники трохоидальном фрезеровании,

на фиг.3 - предельно упрощенный схематичный вид фрезеруемого, ограниченного двумя изогнутыми боковыми стенками межлопаточного канала с изображением траекторий фрезы при известном из уровня техники трохоидальном фрезеровании,

на фиг.4 - график зависимости величины обхвата фрезы обрабатываемым материалом от радиуса траектории фрезерования при известном из уровня техники трохоидальном фрезеровании,

на фиг.5 - график, отражающий устанавливаемую при предлагаемом в изобретении трохоидальном фрезеровании величину обхвата фрезы обрабатываемым материалом, и

на фиг.6 - траектории фрезы при предлагаемом в изобретении трохоидальном фрезеровании.

Ниже настоящее изобретение более подробно поясняется со ссылкой на прилагаемые к описанию чертежи. Однако перед детальным описанием собственно предлагаемого в изобретении способа снаала необходимо дать определение некоторым понятиям, используемым ниже в настоящем описании.

Инструмент, используемый для фрезерной обработки детали, соответственно материала, называют фрезой. Обычно фреза имеет круглое поперечное сечение с радиусом R_{FW} .

В процессе фрезерования фреза соприкасается с обрабатываемым материалом. Длинной дуги окружности, форму которой имеет та часть контура круглого

поперечного сечения фрезы, которая соприкасается с обрабатываемым материалом, определяется, соответственно задается величина обхвата фрезы обрабатываемым материалом.

5 При фрезерной обработке инструмент, соответственно фрезу перемещают относительно обрабатываемой детали, соответственно обрабатываемого материала. Перемещение инструмента, соответственно фрезы относительно обрабатываемой детали принято описывать в связанной с инструментом, так называемой инструментальной, системе координат, задающей положение точки отсчета
10 координат инструмента, т.е. его опорной точки. Линию перемещения опорной точки инструмента в процессе фрезерной обработки детали называют траекторией инструмента, соответственно траекторией фрезерования.

От вершины инструмента, соответственно от опорной точки инструмента можно провести вектор вдоль оси, соответственно хвостовика инструмента, соответственно фрезы.
15 Такой вектор, начинающийся в вершине инструмента и проходящий вдоль оси инструмента в направлении его хвостовика, называют вектором инструмента.

Ниже со ссылкой на фиг.1-4 поясняются особенности традиционного трохoidalного фрезерования, известного из уровня техники. Так, в частности, на
20 фиг.1 показана фреза 10, которая для фрезерования обрабатываемой детали 11 входит в имеющееся в ней углубление. Фрезу 10 перемещают в углублении заготовки 11 таким образом, что после фрезерной обработки получают деталь с поверхностью требуемой пространственной формы.

Согласно фиг.1 фреза 10 имеет круглое поперечное сечение с радиусом R_{FW} . В
25 процессе фрезерования фрезу 10 для обеспечения ее центрированного вращения приводят во вращение вокруг ее собственной продольной оси 12. При традиционном трохoidalном фрезеровании лежащую на оси 12 фрезы ее опорную точку 13 перемещают согласно фиг.1 по круговой траектории 14 с радиусом R_{KB} . На оба этих
30 движения фрезы 10 накладывается поступательное движение подачи по прямолинейной или криволинейной траектории. Наложение трех этих движений фрезы 10 соответствует обычному, известному из уровня техники трохoidalному фрезерованию, при котором фрезу 10 перемещают относительно заготовки 11 с радиальной подачей A_E на глубину.
35

При известном из уровня техники трохoidalном фрезеровании величина обхвата фрезы 10 обрабатываемым материалом, т.е. длина той части контура круглого поперечного сечения фрезы, которая соприкасается с обрабатываемой деталью 11, не является постоянной. Сказанное можно пояснить, в частности, на примере
40 приведенного на фиг.2 графика, где по оси X отложено положение фрезы 10 на круговой траектории с радиусом R_{KB} , а по оси Y отложена величина обхвата U фрезы 10 обрабатываемым материалом. Из приведенного на фиг.2 графика следует, в частности, что величина обхвата фрезы 10 обрабатываемым материалом
45 колеблется в широких пределах в зависимости от положения фрезы на круговой траектории 14.

При изготовлении трохoidalным фрезерованием роторов с набором выполненных за одно целое с ними лопаток для газовых турбин, т.е. так называемых
50 облопаченных дисков (блисков), трохoidalным фрезерованием выбирают показанный на фиг.3 межлопаточный канал 15, ограниченный двумя изогнутыми и не параллельными друг другу боковыми стенками 16, 17. Из приведенного на этом чертеже изображения непосредственно следует, что радиус R_{KB} круговой

траектории, по которой перемещают опорную точку 13 фрезы 10, изменяется от одной круговой траектории 14 к другой. Однако изменение радиуса R_{KB} круговой траектории 14 влияет, как показано на фиг.4, и на величину обхвата U фрезы обрабатываемым материалом. На фиг.4 показан, в частности, график, где по оси X также отложено положение фрезы 10 вдоль круговой траектории 14. По оси Y также отложена величина обхвата U фрезы 10 обрабатываемым материалом. На фиг.4 для шести различных радиусов круговых траекторий показан график изменения величины обхвата фрезы обрабатываемым материалом в зависимости от ее положения на круговых траекториях 14. С уменьшением радиусов круговых траекторий степень изменения величины обхвата фрезы 10 обрабатываемым материалом постоянно возрастает.

Из приведенного выше описания известного из уровня техники трохоидального фрезерования непосредственно следует, что максимально допустимую величину обхвата фрезы 10 обрабатываемым материалом, которая определяется исходя из необходимости обеспечить надежное удаление образующейся при фрезеровании стружки из зоны резания, можно выдерживать только при определенном радиусе траектории 14 и при нахождении фрезы 10 в определенном положении на этой траектории 14. Во всех же других положениях фрезы 10 на этой траектории и при перемещении фрезы по любой из всех других траекторий различных радиусов величина обхвата фрезы обрабатываемым материалом при известном из уровня техники трохоидальном фрезеровании всегда меньше максимально допустимого и тем самым оптимального значения.

В изобретении предлагается способ трохоидального фрезерования, который оптимизирован по сравнению с известным из уровня техники способом трохоидального фрезерования в том отношении, что независимо от траектории, по которой перемещают фрезу 10, и независимо от положения фрезы 10 на ее траектории удастся обеспечить оптимальную величину обхвата фрезы 10 обрабатываемым материалом. Сказанное более подробно поясняется ниже ссылкой на фиг.5 и 6.

Согласно настоящему изобретению опорную точку фрезы предлагается перемещать не по круговым траекториям, а в более общем случае по криволинейным траекториям. Кривизну каждой траектории в каждой ее точке задают при этом с таким расчетом, чтобы в каждой точке траектории величина обхвата фрезы обрабатываемым материалом была оптимальной. Для каждой точки траектории величину обхвата фрезы обрабатываемым материалом оптимизируют путем ее приближения к максимально допустимому значению, но без его превышения.

На фиг.6 показан фрезеруемый межлопаточный канал 18, ограниченный двумя изогнутыми и не параллельными друг другу боковыми стенками 19, 20. В начальной точке, соответственно в начале каждой траектории фрезу перемещают на глубину во фрезеруемый материал таким образом, что вектор траектории фрезы, задающий направление ее перемещения, проходит по касательной к боковой стенке 20, которую требуется выфрезеровать и с которой начинается процесс фрезерной обработки. В этом касательном направлении фрезу перемещают на глубину в обрабатываемый материал до тех пор, пока величина обхвата фрезы обрабатываемым материалом не достигнет максимально допустимого значения.

По достижении максимально допустимой величины обхвата фрезы обрабатываемым материалом вектор траектории перемещения фрезы, а тем самым и

кривизну этой траектории в каждой ее точке задают таким образом, чтобы предпочтительно в каждой последующей точке траектории величина обхвата фрезы обрабатываемым материалом имела максимально допустимое значение. Вектор траектории, соответственно кривизну траектории в каждой ее точке определяют в функции радиуса R_{Fw} фрезы, в функции требуемого, соответственно фрезеруемого контура боковых стенок или углублений и в функции контура первичной заготовки, соответственно контура, полученного за последний предшествующий проход фрезой. По достижении максимально допустимой величины обхвата фрезы обрабатываемым материалом ее можно выдерживать в каждой точке траектории, за исключением тех точек, которые находятся в конце криволинейных траекторий и вдоль которых фрезу выводят из фрезеруемого материала, соответственно отводят от обрабатываемой детали.

На фиг.5 в графическом виде представлено изменение величины обхвата фрезы обрабатываемым материалом при фрезеровании предлагаемым в изобретении способом. По оси X при этом отложено положение фрезы 10 вдоль ее траектории. По оси Y отложена величина обхвата U фрезы 10 обрабатываемым материалом. В начале каждой траектории, обозначенной точкой 21, фреза 10 входит в контакт с обрабатываемой заготовкой, и соответственно величина обхвата фрезы обрабатываемым материалом в этой точке 21 еще равна нулю. В этой точке фреза лишь по касательной соприкасается с выфрезеровываемой боковой стенкой 20 межлопаточного канала. В этом касательном направлении фрезу перемещают далее на глубину в обрабатываемый материал, соответственно в обрабатываемую деталь до достижения максимально допустимой величины обхвата U_{MAX} фрезы обрабатываемым материалом. На фиг.5 этому моменту соответствует точка 22. По достижении в точке 22 максимально допустимой величины обхвата U_{MAX} фрезы обрабатываемым материалом кривизну траектории в каждой ее последующей точке задают таким образом, чтобы величина обхвата фрезы обрабатываемым материалом в каждой последующей точке траектории равнялась максимально допустимому значению. Величину обхвата фрезы обрабатываемым материалом перестают поддерживать на максимально допустимом значении лишь в конце криволинейной траектории, где фрезу необходимо отвести от обрабатываемой поверхности фрезеруемой детали, т.е. переместить фрезу в касательном направлении к другой боковой стенке, и в процессе выведения фрезы из обрабатываемого материала постепенно уменьшают до нуля. Этот последний участок траектории, на котором фрезу отводят от обрабатываемой поверхности фрезеруемой детали, расположен между точками 23 и 24.

На фиг.6 показана криволинейная форма нескольких траекторий 25 переменной кривизны, которые можно получить при использовании предлагаемого в изобретении способа. Очевидно, что характер изменения кривизны таких траекторий в существенной мере зависит от контуров выфрезеровываемых боковых стенок межлопаточного канала и тем самым от контура самого выфрезеровываемого межлопаточного канала.

Необходимо еще раз отметить, что при предлагаемом в изобретении оптимизированном трохoidalном фрезеровании фреза одновременно с перемещением ее опорной точки по криволинейным траекториям совершает, как очевидно, еще и центрированное вращение вокруг своей собственной оси. Направление движения фрезы по криволинейным траекториям 25 и ее

центрированное вращение вокруг собственной продольной оси в предпочтительном варианте должны быть взаимно противоположны. При соблюдении этого условия фрезерование происходит по подаче в щадящем для фрезы и обрабатываемого материала режиме.

5 На оба указанных выше движения накладывается, кроме того, поступательное движение подачи опорной точки инструмента. В соответствии с этим при предлагаемом в изобретении оптимизированном трохоидальном фрезеровании, как и при известном из уровня техники традиционном трохоидальном фрезеровании, три
10 движения, а именно: центрированное вращение фрезы вокруг своей оси, движение опорной точки фрезы по криволинейной траектории и движение подачи опорной точки фрезы, накладываются одно на другое. Однако согласно изобретению кривизну траекторий в каждой их точке оптимизируют в том отношении, что в
15 каждой точке траектории величина обхвата фрезы обрабатываемым материалом имеет оптимальное значение.

Поскольку в соответствии со сказанным выше величина обхвата фрезы обрабатываемым материалом практически в каждой точке ее траектории имеет
20 максимально допустимое значение, в процессе фрезерования всегда снимается максимально возможный объем стружки. Тем самым предлагаемый в изобретении способ оптимизированного трохоидального фрезерования позволяет существенно сократить необходимое машинное время фрезерования. Помимо этого использование предлагаемого в изобретении способа оптимизированного
25 трохоидального фрезерования положительно сказывается на стойкости фрезы. Обусловлено это тем, что стойкость фрезы определяется также количеством проходов фрезой и соответственно количеством первоначальных врезаний фрезы в обрабатываемый материал при каждом проходе. Поскольку при фрезеровании
30 деталей предлагаемым в изобретении способом величину обхвата фрезы обрабатываемым материалом в каждой точке траектории фрезы оптимизируют, приближая ее к максимально допустимому значению, уменьшается также количество
необходимых первоначальных врезаний фрезы в обрабатываемый материал. Благодаря этому можно также повысить стойкость фрез.

Предлагаемый в изобретении способ фрезерования может использоваться прежде
35 всего для изготовления роторов с набором выполненных за одно целое с ними лопаток для газовых турбин, т.е. так называемых облопаченных дисков (блисков) или лопаточных венцов. Вместе с тем предлагаемый в изобретении способ может также использоваться для фрезерной обработки так называемых "scallops".

40 Предлагаемый в изобретении способ фрезерования предполагает также возможность наложения на три описанных выше движения фрезы четвертого движения. Так, в частности, на движение опорной точки фрезы по криволинейным траекториям, на центрированное вращение фрезы вокруг своей оси и на
поступательное движение подачи опорной точки фрезы дополнительно можно
45 накладывать поворотное движение оси фрезы для получения прецессионного движения с переменным углом наклона оси фрезы. Подобная возможность обеспечивает оптимальный контакт фрезы с невертикальными боковыми стенками. Для этого ось фрезы можно периодически поворачивать вокруг определенной
50 точки, лежащей на оси фрезы вблизи ее вершины, приводя таким путем фрезу в своего рода прецессионное движение, при котором ось фрезы временно оказывается расположена параллельно касательным к фрезеруемым боковым стенкам.

Формула изобретения

1. Способ фрезерования деталей из трудно поддающихся обработке резанием материалов с образованием в них углублений по меньшей мере с одной боковой стенкой, преимущественно фрезерования используемых в газовых турбинах роторов с набором выполненных за одно целое с ними лопаток, у которых (роторов) указанными углублениями являются прежде всего межлопаточные или проточные каналы, а боковыми стенками являются поверхности лопаток, с использованием фрезы, которая характеризуется своим радиусом и которую для обеспечения центрированного вращения приводят во вращение вокруг ее собственной оси, а также приводят в движение, при котором опорную точку фрезы, предпочтительно лежащую на ее оси, перемещают по нескольким криволинейным траекториям, которые предпочтительно имеют различную кривизну и по которым фрезу перемещают относительно обрабатываемого материала с радиальной подачей на глубину, отличающийся тем, что кривизну каждой траектории в каждой ее точке задают таким образом, что в каждой точке траектории величина обхвата фрезы обрабатываемым материалом не превышает максимально допустимой величины.
2. Способ по п.1, отличающийся тем, что кривизну каждой траектории в каждой ее точке задают таким образом, что в каждой точке траектории величина обхвата фрезы обрабатываемым материалом достигает оптимального значения, равного максимально допустимой величине обхвата фрезы обрабатываемым материалом.
3. Способ по п.2, отличающийся тем, что в начальной точке, соответственно в начале каждой траектории, фрезу перемещают на глубину во фрезеруемый материал таким образом, что вектор траектории фрезы проходит по касательной к выфрезеровываемой боковой стенке изготавливаемой детали, и продолжают перемещать на глубину в обрабатываемый материал в этом касательном направлении до тех пор, пока величина обхвата фрезы обрабатываемым материалом не достигнет максимально допустимой величины.
4. Способ по п.3, отличающийся тем, что по достижении максимально допустимой величины обхвата фрезы обрабатываемым материалом вектор траектории перемещения фрезы, а тем самым и кривизну этой траектории в каждой ее точке задают в функции радиуса фрезы, в функции выфрезеровываемого контура боковых стенок, соответственно углублений, и в функции контура первичной заготовки, соответственно контура, полученного за последний предшествующий проход фрезой, таким образом, чтобы примерно в каждой последующей точке траектории величина обхвата фрезы обрабатываемым материалом равнялась максимально допустимой.
5. Способ по п.4, отличающийся тем, что максимально допустимую величину обхвата фрезы обрабатываемым материалом обеспечивают в каждой последующей точке траектории перемещения фрезы вплоть до участка вывода фрезы из фрезеруемого материала.
6. Способ по любому из пп.1-5, отличающийся тем, что на движение опорной точки фрезы по траекториям оптимизированной кривизны и на центрированное вращение фрезы вокруг ее собственной оси накладывают поступательное движение подачи опорной точки фрезы.
7. Способ по п.6, отличающийся тем, что поступательное движение подачи опорной точки фрезы осуществляют по прямолинейной и/или криволинейной траектории подачи.
8. Способ по п.7, отличающийся тем, что направление перемещения фрезы по

траекториям оптимизированной кривизны и направление централизованного вращения фрезы взаимно противоположны.

5 9. Способ по любому из пп.1-5, 7, 8, отличающийся тем, что на движение опорной точки фрезы по траекториям оптимизированной кривизны, на централизованное вращение фрезы вокруг ее собственной оси и на поступательное движение подачи опорной точки фрезы накладывают поворотное движение оси фрезы для получения прецессионного движения с переменным углом наклона оси фрезы.

10 10. Способ по п.6, отличающийся тем, что на движение опорной точки фрезы по траекториям оптимизированной кривизны, на централизованное вращение фрезы вокруг ее собственной оси и на поступательное движение подачи опорной точки фрезы накладывают поворотное движение оси фрезы для получения прецессионного движения с переменным углом наклона оси фрезы.

15 11. Способ по п.9, отличающийся тем, что для получения прецессионного движения ось фрезы периодически поворачивают вокруг точки, лежащей вблизи ее вершины.

20 12. Способ по п.10, отличающийся тем, что для получения прецессионного движения ось фрезы периодически поворачивают вокруг точки, лежащей вблизи ее вершины.

25

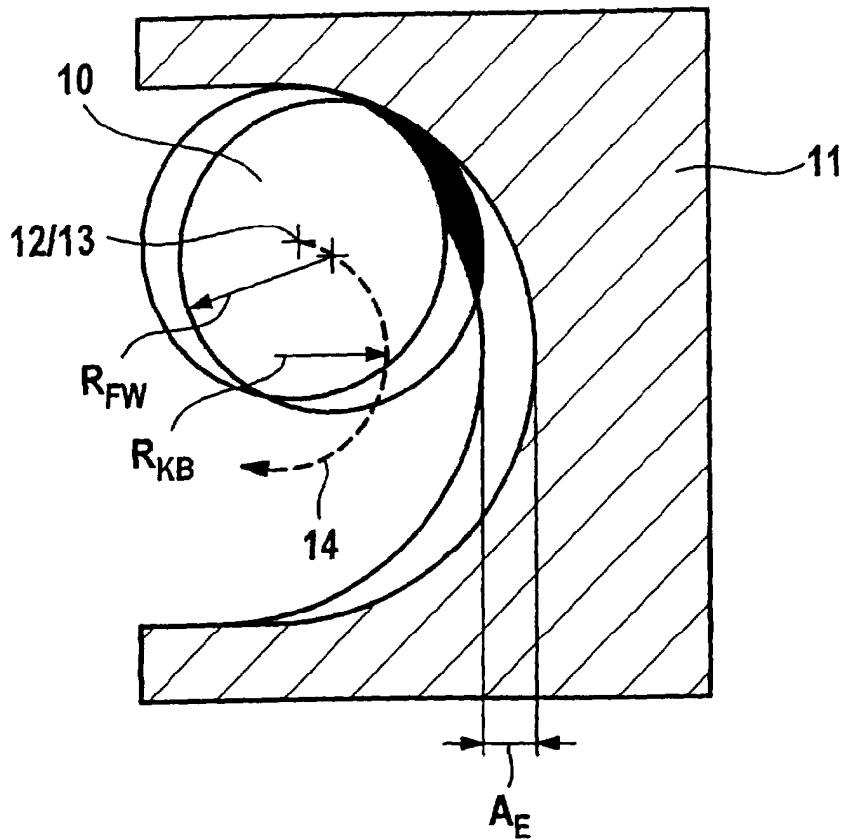
30

35

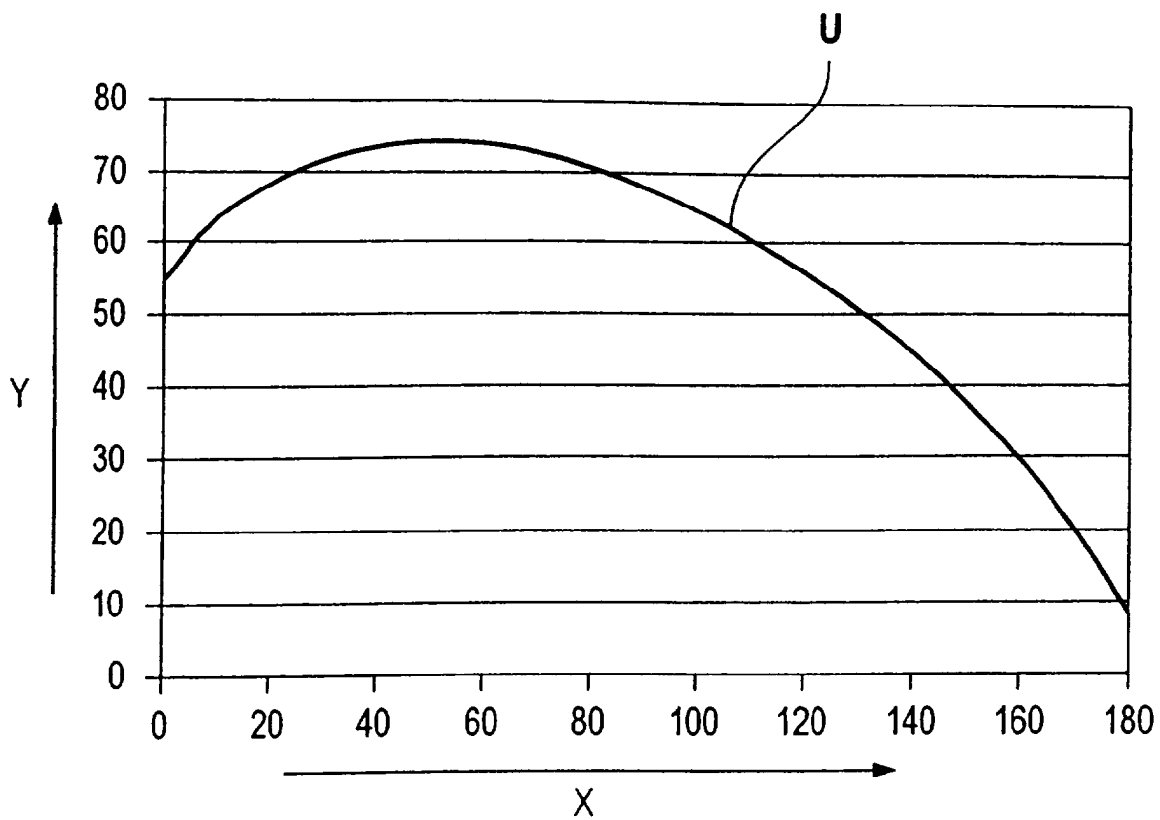
40

45

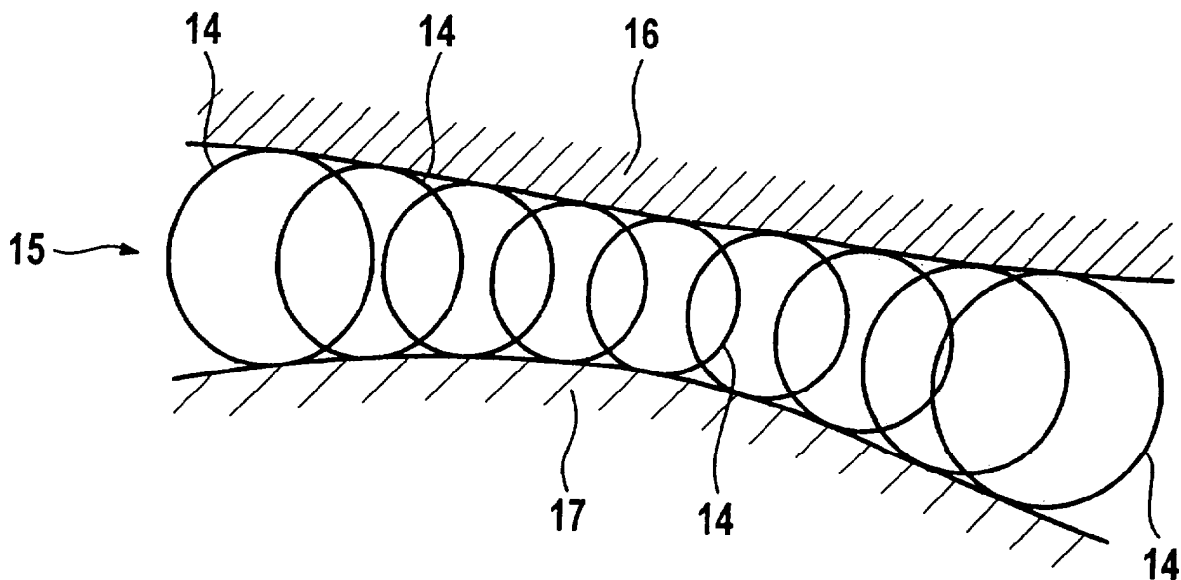
50



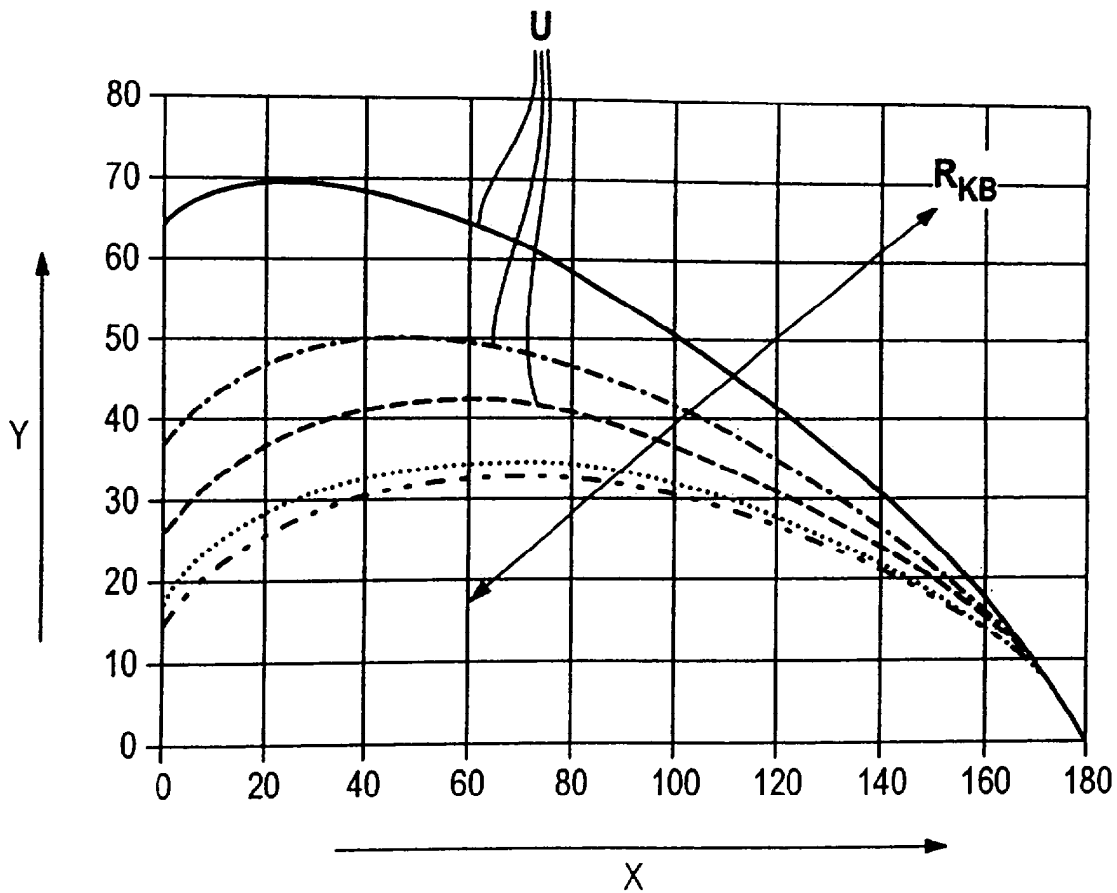
ФИГ. 1



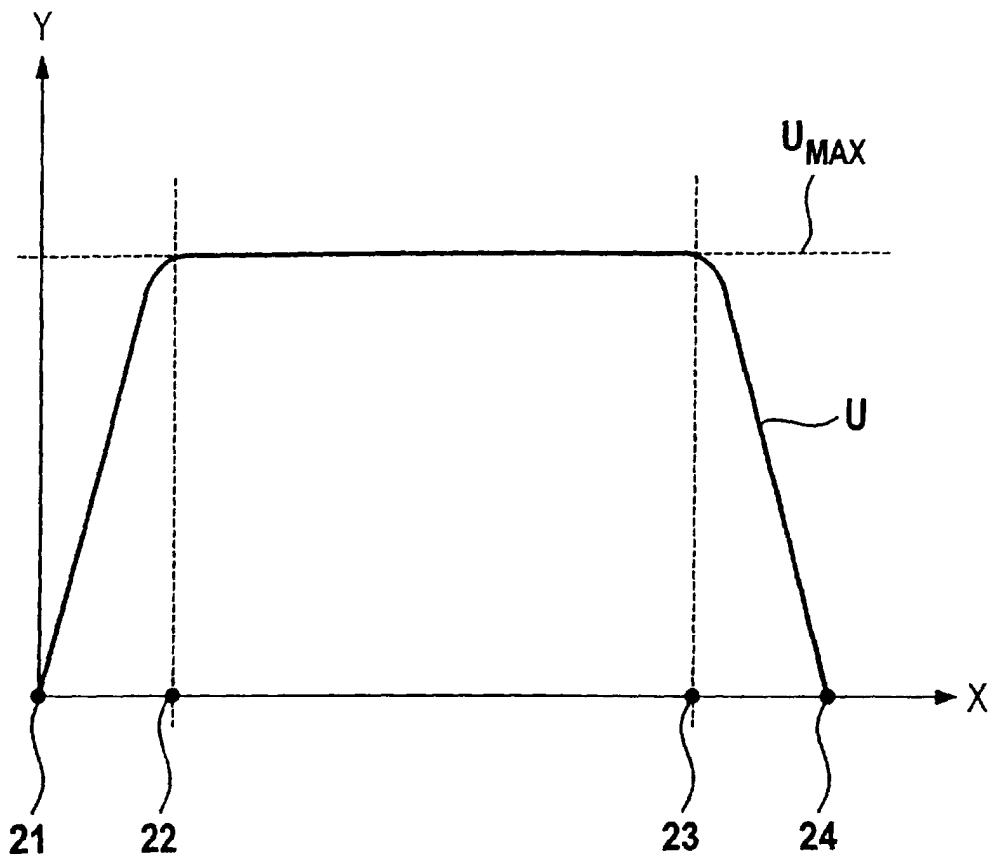
ФИГ. 2



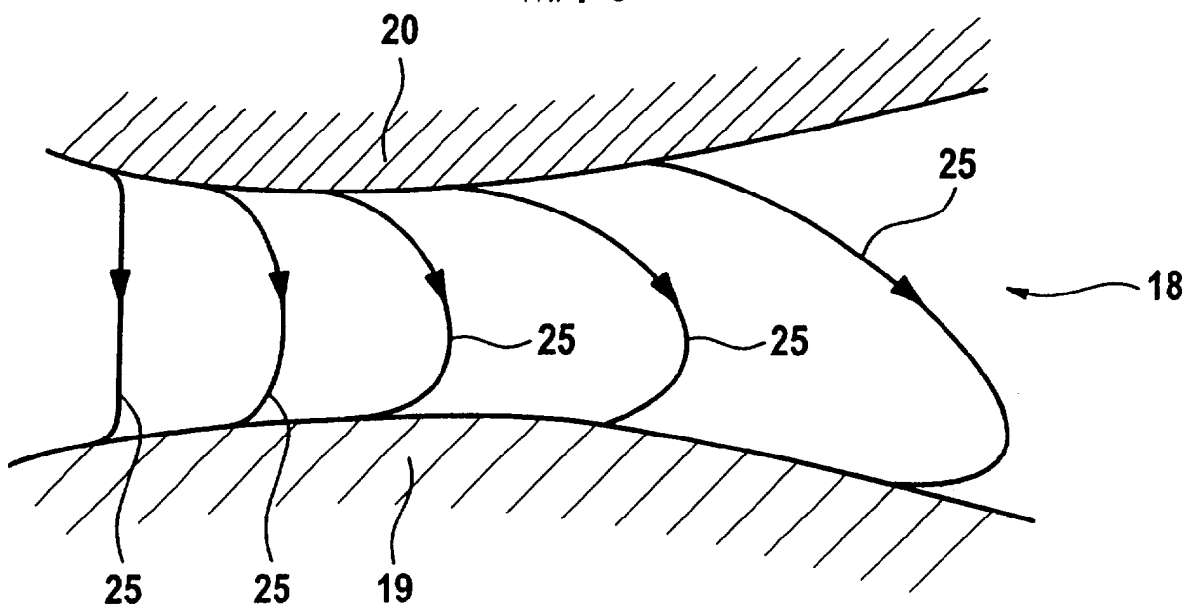
ФИГ. 3



ФИГ. 4



ФИГ. 5



ФИГ. 6