

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2764449

СПОСОБ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ СТАЛЬНОЙ ЗАГОТОВКИ С ДРОБЛЕНИЕМ СТРУЖКИ

Патентообладатель: *федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет» (RU)*

Авторы: *Максаров Вячеслав Викторович (RU), Ефимов Александр Евгеньевич (RU)*

Заявка № 2021121296

Приоритет изобретения 19 июля 2021 г.

Дата государственной регистрации
в Государственном реестре изобретений
Российской Федерации 17 января 2022 г.

Срок действия исключительного права
на изобретение истекает 19 июля 2041 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев





ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
B23B 1/00 (2021.08)

(21)(22) Заявка: 2021121296, 19.07.2021

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
19.07.2021

Дата регистрации:
17.01.2022

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 19.07.2021

(45) Опубликовано: 17.01.2022 Бюл. № 2

Адрес для переписки:
190106, Санкт-Петербург, 21 линия, В.О., 2,
ФГБОУ ВО "Санкт-Петербургский горный
университет", Патентно-лицензионный отдел

(72) Автор(ы):

Максаров Вячеслав Викторович (RU),
Ефимов Александр Евгеньевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования «Санкт-Петербургский горный
университет» (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2699469 C1, 05.09.2019. SU
1024155 A1, 23.06.1983. RU 2578875 C1,
27.03.2016. RU 2641444 C2, 17.01.2018. CN
111390205 A, 10.07.2020. EP 220421 A2,
14.06.1988.

(54) СПОСОБ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ СТАЛЬНОЙ ЗАГОТОВКИ С ДРОБЛЕНИЕМ СТРУЖКИ

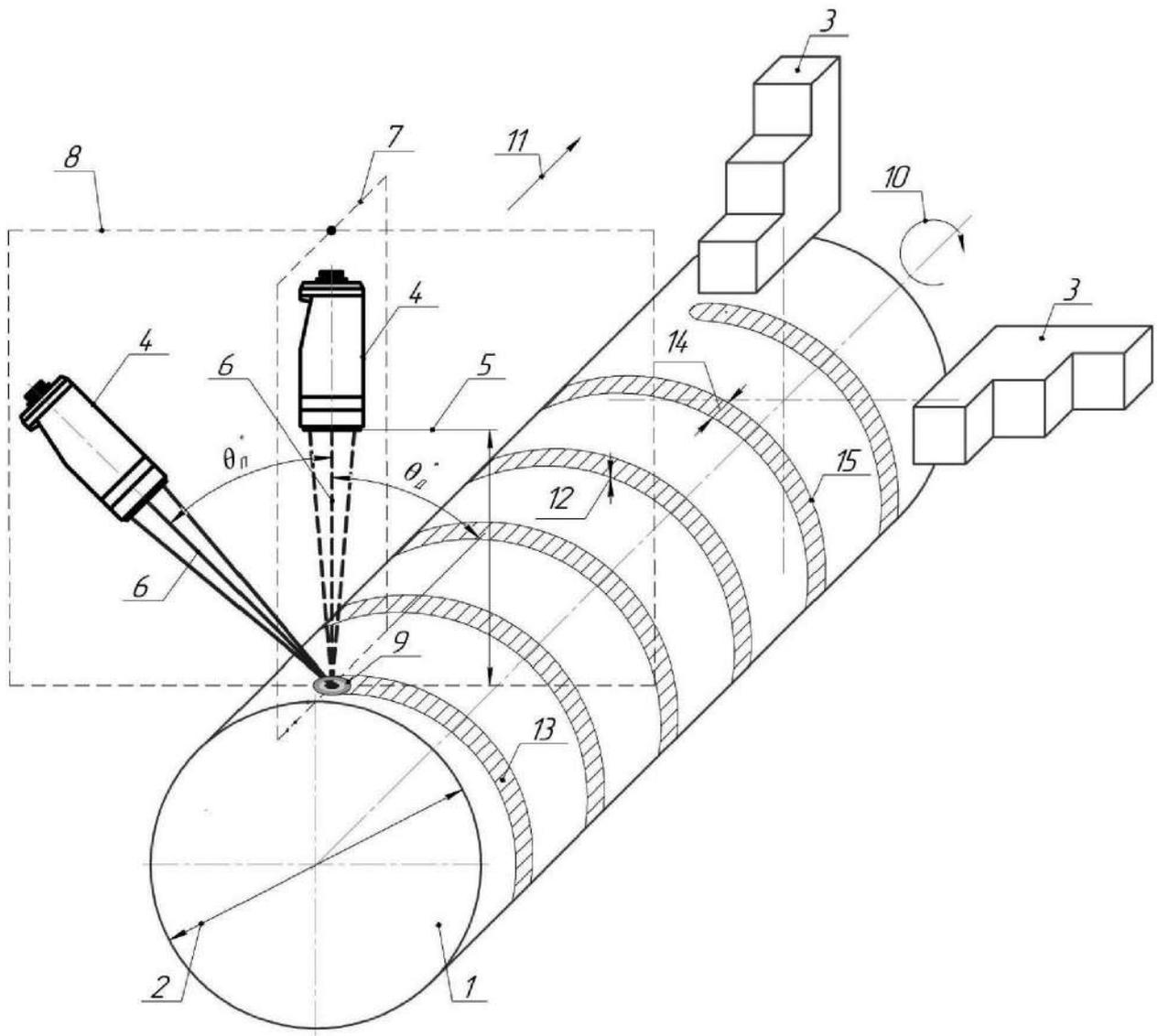
(57) Реферат:

Изобретение относится к области металлообработки и предназначено для обработки деталей из различного сортамента сталей и их сплавов, где предъявляются повышенные требования к удалению стружки из зоны обработки на токарных станках, оснащенных ЧПУ. Способ включает придание заготовке и формирование с помощью локального лазерного луча лазерной головки локальной метастабильной зоны на поверхности заготовки по винтовой линии с последующей обработкой режущим инструментом. При этом локальный лазерный луч лазерной головки

настраивают на фокусное расстояние, обеспечивающее формирование переменной по глубине локальной метастабильной структуры на поверхности стальной заготовки, а последующую обработку осуществляют с использованием режущего инструмента с отрицательным передним углом в диапазоне от (-10°) до (-30°), создающим дополнительную деформацию сжатия срезаемого слоя для устойчивого сегментирования сливной стружки. Повышается стойкость резца за счет уменьшения динамической силовой нагрузки и снижения вибраций. 4 ил.

RU 2 764 449 C1

RU 2 764 449 C1



Фиг. 1

RU 2764492 C1

RU 276449 C1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC
B23B 1/00 (2021.08)

(21)(22) Application: **2021121296, 19.07.2021**

(24) Effective date for property rights:
19.07.2021

Registration date:
17.01.2022

Priority:

(22) Date of filing: **19.07.2021**

(45) Date of publication: **17.01.2022** Bull. № 2

Mail address:

**190106, Sankt-Peterburg, 21 liniya, V.O., 2, FGBOU
VO "Sankt-Peterburgskij gornyj universitet",
Patentno-litsenziionnyj otdel**

(72) Inventor(s):

**Maksarov Viacheslav Viktorovich (RU),
Efimov Aleksandr Evgenevich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**federalnoe gosudarstvennoe biudzhethnoe
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego
obrazovaniia «Sankt-Peterburgskii gornyi
universitet» (RU)**

(54) **METHOD FOR MECHANICAL PROCESSING OF A STEEL WORKPIECE WITH CHIP CRUSHING**

(57) Abstract:

FIELD: metal working.

SUBSTANCE: invention relates to the field of metal working and is intended for processing parts from various grades of steels and alloys thereof, wherein high requirements are raised for removing chips from the processing area on lathes equipped with CNC. The method includes imparting to the workpiece and forming, by means of a local laser beam of the laser head, a local metastable area on the surface of the workpiece along a helical line, followed by processing by a cutting tool. The local laser beam of the laser head

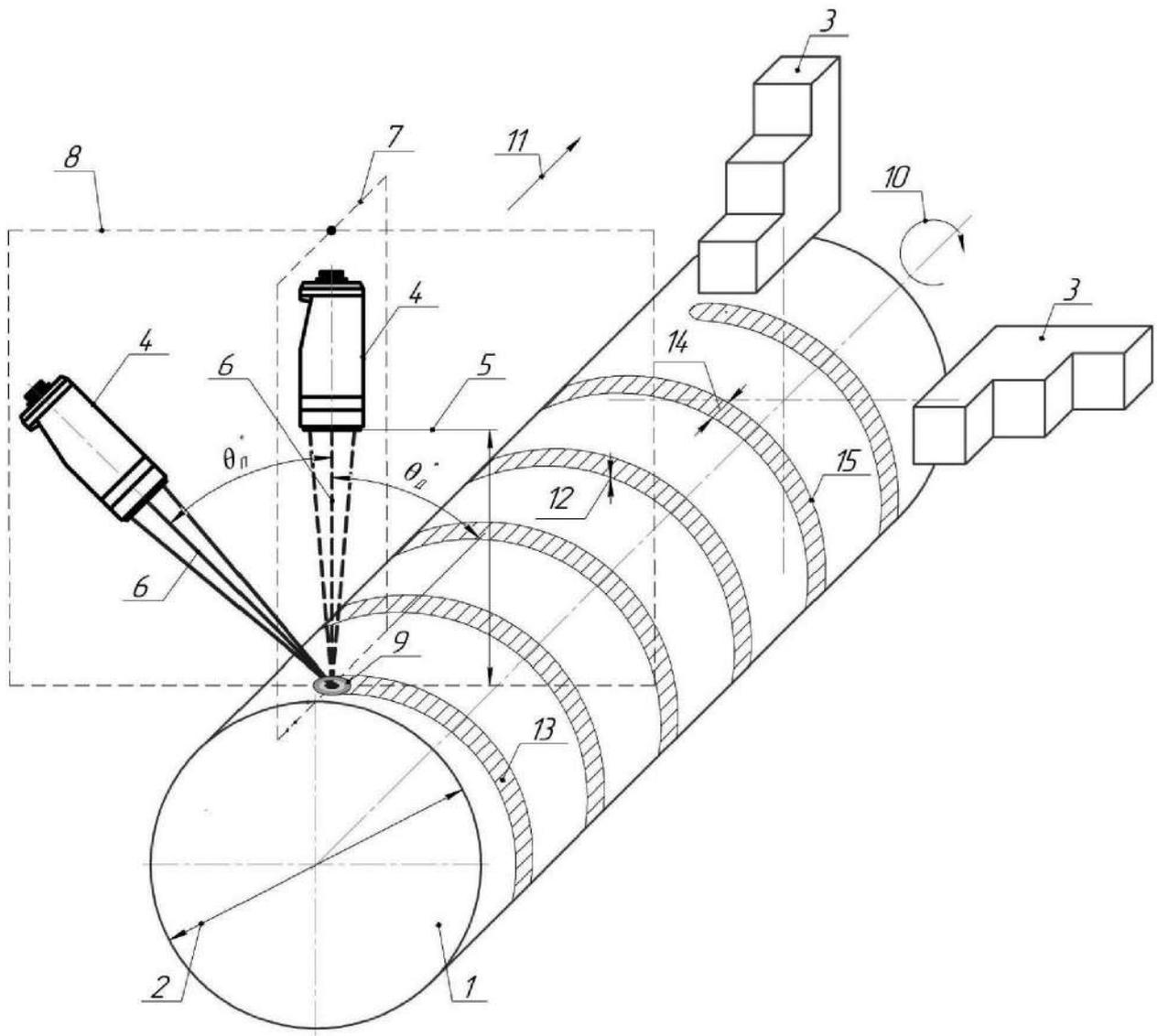
is therein adjusted to the focal length ensuring formation of a local metastable structure, variable in depth, on the surface of the steel workpiece, and the following processing is executed using a cutting tool with a negative front angle in the range from (-10°) to (-30°), creating additional compression deformation of the cut layer for stable segmentation of the flow chips.

EFFECT: durability of the cutter is increased due to the reduction in the dynamic force load and reduction in vibrations.

1 cl, 4 dwg

RU 2 764 449 C1

RU 2 764 449 C1



Фиг. 1

RU 276449 C1

RU 276449 C1

Изобретение относится к области металлообработки и предназначено для обработки деталей из различного сортамента сталей и их сплавов, где предъявляются повышенные требования к удалению стружки из зоны обработки на токарных станках оснащенных ЧПУ.

5 Известен способ дробления стружки (авторское свидетельство SU № 664753, опубл. 30.05.1979 г.), при котором стружку завивают в спираль, диаметр которой вписывается в область термического влияния дуги, а затем осуществляют дополнительную ориентацию стружки в направлении, перпендикулярном оси ее перемещения с помощью свободно вращающегося на оси ролика.

10 Недостатком является необходимость обеспечивать изменение ориентации стружки в зависимости от изменяющихся режимов резания и размеров припуска в рабочем пространстве технологического оборудования с помощью свободно вращающегося на оси ролика.

15 Известен способ механической обработки с подогревом (авторское свидетельство SU № 665983, опубл. 05.06.1979 г.), заключающиеся в том, что для осуществления дробления стружки создаются периодические кратковременные воздействия импульса тока плазматрона на поверхность резания для нанесения стружкоразделительных канавок.

20 Недостатком является наличие ударных нагрузок на режущий клин при прохождении стружкоразделительных канавок, приводящих к возникновению вибраций резца и снижению стойкости режущего инструмента. Помимо этого одновременное совмещение нанесения канавок и лезвийной обработки для устойчивой сегментации стружки является технологически сложным процессом.

25 Известен способ механической обработки с подогревом (авторское свидетельство SU № 860936, опубл. 07.09.1981 г.), при котором перед резцом на поверхности резания источником-плазмотроном на пересечении поверхности резания и обработанной поверхности, образуют канавку при помощи нагрева слоя металла подлежащего удалению до температуры, при которой его механические свойства изменяются, с последующим удалением обычным резцом.

30 Недостатком способа является возможность обеспечения стружкодробления исключительно на технологических операциях обдирки литых и кованных слитков, что является энергозатратным процессом.

35 Известен способ механической обработки труднообрабатываемых материалов с подогревом срезаемого слоя (авторское свидетельство SU № 982847, опубл. 23.12.1982 г.), в соответствии с которым осуществляют локальный нагрев срезаемого слоя выше температуры рекристаллизации металла.

40 Недостатком способа является высокий коэффициент износа режущего кромки лезвийного инструмента, вызванного тем, что в зоне резания образуются высокие температуры из-за одновременного опережающего нагрева срезаемого слоя и операции точения, приводящего к увеличению вязкости обрабатываемого металла, что не позволяет обеспечить равномерную сегментацию сливной стружки.

45 Известен способ механической обработки с дроблением стружки (авторское свидетельство SU № 1024155, опубл. 23.06.1983 г.), включающий нагрев обрабатываемой поверхности заготовки, осуществляемый газовой горелкой по винтовой линии с последующим охлаждением.

Недостатком способа является неустойчивость сегментирования стружки при механической обработке на различных режимах вследствие неопределенности параметров теплового воздействия и несогласованности их с параметрами механической

обработки, приводя к неравномерным нагрузкам на режущий инструмент.

Известен способ механической обработки с дроблением стружки (патент РФ № 2578875, опубл. 20.01.2016 г.), включающий нагрев обрабатываемой поверхности заготовки пламенем газовой горелки, при этом ось факела расположена по касательной к обрабатываемой поверхности, за счет чего на этапе механической обработки обеспечивается безударное врезание лезвийного инструмента, вследствие параллельного расположения главной режущей кромки, в линию с локальным термическим воздействием, что приводит к дроблению стружки вследствие изменения упругих ее свойств.

Недостатком способа является длительный нагрев поверхностного слоя и низкая скорость охлаждения после термической обработки. Сформировавшаяся структура неравномерно распределяется в поверхностном слое по объему термического воздействия, приводя в процессе резания к периодическим ударным нагрузкам инструмента, что сказывается на кинетике изнашивания режущей кромки, а так же понижает надежность стружкодробления.

Известен способ лазерно-механической обработки (авторское свидетельство SU № 1583216, опубл.07.08.1990г.), с целью повышения точности и расширения технологических возможностей, включающий нагрев заготовки лучом лазера, охлаждения ее до температуры окружающей среды, причем глубину лазерного воздействия определяют из соотношения $h_c - f \leq t \leq h_c$, где h_c - глубина лазерного воздействия; f - допустимая глубина дефектного слоя; t - глубина резания.

Недостатком предлагаемого способа является скалывание режущей кромки по передней и задней поверхности в результате ударной нагрузки инструмента об упрочненный слой с микротвердостью $H = 165 \text{ кг/мм}^2$, что не позволит достичь снижения шероховатости по параметру R_z в 2.5 раза.

Известен способ механической обработки стальной заготовки с дроблением стружки (патент РФ № 2641444, опубл. 17.01.2018 г.), включающий предварительную подготовку обрабатываемой поверхности путем нагрева непрерывным лазерным лучом на глубину снимаемого припуска. Лазерный луч перемещают по прямой траектории с линейной скоростью и с постоянными мощностью излучения и длиной волны под углом наклона к обрабатываемой поверхности заготовки в пределах от 75 до 80° в виде сфокусированного светового пятна, диаметр которого выбирают из условия обеспечения плотности мощности, достаточной для фазовых превращений в структуре заготовки на глубину припуска и формирования в ней локальной метастабильной зоны с измененными упругими свойствами, пересечение которой с плоскостью резания обеспечивает сегментацию и дробление стружки. Достигается повышение надежности стружкодробления.

Недостатком вышеприведенного способа является высокая динамическая силовая нагрузка на вершину резца, образованной передней и вспомогательной режущей кромкой, возникающая при соударении с метастабильной структурой, сформированной на глубину припуска, что приводит к снижению стойкости, возникновению механических дефектов на вершине и формирующих ее прилегающих кромках, увеличению вибраций, ухудшению шероховатости поверхности, снижению сегментирующих свойств.

Известен способ механической обработки стальной заготовки с дроблением стружки (патент РФ № 2699469, опубл. 22.04.2019 г.), принятый за прототип, включает дополнительное сообщение заготовке вращения с частотой $n_{\text{заг}}$, которое формирует

локальную метастабильную зону на поверхности заготовки по винтовой линии с углом наклона, который при последующей обработке режущим инструментом, с положительным углом наклона главной режущей кромки, в плоскости резания совместно с главным углом в плане образует угол не более 90° , при этом необходимое соотношение объема метастабильной структуры v_M к объему срезаемого слоя $v_{\text{срез}}$ определяется из диапазона $0.66 \leq v_M/v_{\text{срез}} \leq 8$ в пределах подач $0.063 \dots 0.2$ мм/об, глубин резания $0.15 \dots 1$ мм и глубин метастабильной структуры от 0.1 до 0.7 мм для увеличения стойкости инструмента и устойчивой сегментации сливной стружки.

Недостатком вышеприведенного способа является сформированная метастабильная структура, которая в поперечном сечении заготовки однородно распределена по глубине резания в виде сегмента. Выбранное соотношение вызовет дополнительную силовую нагрузку на главную режущую кромку инструмента при сжатии и разрушении метастабильной структуры, что приведет к снижению стойкости инструмента, повышению уровня вибраций, ухудшению качества поверхности, понижает эффективность сегментации стружки.

Техническим результатом является повышение эффективности сегментирования сливной стружки и стойкости инструмента, посредством формирования в поперечном сечении переменной по глубине метастабильной структуры с последующей механической обработкой режущим инструментом с отрицательным передним углом, создающим дополнительную деформацию сжатия срезаемого слоя.

Технический результат достигается тем, что локальный лазерный луч лазерной головки настраивают на фокусное расстояние, обеспечивающее формирование переменной по глубине локальной метастабильной структуры на поверхности стальной заготовки, а последующую обработку осуществляют с использованием режущего инструмента с передним углом в диапазоне от -10° до -30° , создающим дополнительную деформацию сжатия срезаемого слоя для устойчивого сегментирования сливной стружки.

Способ механической обработки стальной заготовки с дроблением стружки поясняется следующими фигурами:

фиг. 1 - схема ориентирования локального лазерного луча на поверхности стальной заготовки;

фиг. 2 - схема механической обработки заготовки с переменной по глубине локальной метастабильной структурой;

фиг. 3 - износ режущей кромки инструмента при точении заготовки с переменной по глубине локальной метастабильной структурой;

фиг. 4 - износ режущей кромки инструмента при точении заготовки с равномерной по глубине локальной метастабильной структурой, где:

1 - стальная заготовка;

2 - диаметр заготовки, $D_{\text{заг}}$;

3 - шпиндельный узел;

4 - лазерная головка;

5 - фокусное расстояние, f_p ;

6 - локальный лазерный луч;

7 - лазерный пучок, $d_{\text{л.п}}$;

8 - частота вращения, $n_{\text{заг}}$;

9 - постоянная линейная скорость лазерного излучения, $V_{\text{лаз}}$;

10 - глубина локальной метастабильной структуры, t_M ;

11 - локальная метастабильная структура;

12 - ширина локальной метастабильной структуры, h_M ;

13 - винтовая траектория лазерного воздействия;

14 - скорость резания, $V_{\text{рез}}$

15 - режущий инструмент;

16 - отрицательный передний угол, γ_p ;

17 - глубина резания, $t_{\text{рез}}$;

18 - сегментированная сливная стружка.

Способ осуществляется следующим образом. На этапе предварительной подготовки, стальную заготовку 1 диаметром $D_{\text{заг}}$ 2 устанавливают в шпиндельный узел токарного станка с ЧПУ 3 (Фиг. 1). К поверхности стальной заготовки 1 подводится лазерная головка 4 на фокусное расстояние f_p 5 для точечного позиционирования локального лазерного луча 6. При этом в сфокусированном лазерном пучке 7 необходимо сконцентрировать достаточную плотность мощности для осуществления аллотропного превращения, находящуюся в интервале от 10^3 до 10^6 Вт/см².

После настройки лазерного луча 6, стальной заготовке 1 сообщается движение с заданной частотой вращения 8. Локальный лазерный луч 6 с длиной волны излучения $\lambda = 1.07$ мкм перемещается с постоянной линейной скоростью лазерного излучения 9 вдоль осевой линии, осуществляя нагрев поверхности стальной заготовки 1 выше температуры критических точек фазового перехода. Последующий сверхскоростной процесс охлаждения вглубь стальной заготовки 1 приводит к формированию в поперечном сечении переменной по глубине t_M 10 локальной метастабильной структуры 11, с шириной локальной метастабильной структуры h_M 12 по винтовой траектории лазерного воздействия 13.

На стадии последующей механической обработки стальной заготовки 1 придается движение с частотой вращения $n_{\text{заг}}$ 8. Процесс резания осуществляется со скоростью $V_{\text{рез}}$ 14 режущим инструментом 15 с отрицательным передним углом γ_p 16, который осуществляет обработку на глубину резания t_p 17, превышающую глубину локальной метастабильной структуры 10 (Фиг. 2). Режущий инструмент 15 с отрицательным передним углом γ_p 16 в диапазоне от -10° до -30° обеспечивает входение в область с переменной по глубине t_M 10 локальной метастабильной структурой 11 с шириной локальной метастабильной структуры h_M 12 и создает дополнительную деформацию сжатия срезаемого слоя для устойчивого сегментирования сливной стружки 18 от стальной заготовки 1 и повышения стойкости инструмента.

Предлагаемый способ механической обработки с дроблением стружки позволяет: снизить динамические силовые нагрузки на главную режущую кромку; уменьшить

вибрации при механической обработке; повысить стойкость режущих кромок резцов; повысить эффективность сегментирования сливной стружки. При таком способе возможна обработка с дроблением стружки не только конструкционных материалов, но и труднообрабатываемых сталей и их сплавов.

5 Способ поясняется следующим примером. На стадии предварительной подготовки, к поверхности заготовки из углеродистой стали 45 цилиндрической формы диаметром $D_{\text{заг}} = 40$ мм, закрепленной в шпинделе станка с ЧПУ, подводится лазерная головка иттербиевого волоконного лазерного комплекса мод. Лс-5 на фокусное расстояние
10 $f_p = 30$ см для позиционирования локального лазерного луча в декартовых координатах под прямым углом $\theta_d 90^\circ$. Последующую ориентацию лазерной головки осуществляют таким образом, чтобы локальный лазерный луч в полярных координатах находился под углом наклона $\theta_n 105^\circ$ в виде лазерного пучка эллиптической формы. При этом
15 выбранная мощность лазерного излучения $P = 2$ кВт позволяет сконцентрировать в лазерном пучке достаточную плотность мощности 10^6 Вт/см² для совершения структурно-фазовых превращений в поверхностном слое стальной заготовки.

20 Цилиндрической стальной заготовке сообщается вращательное движение $n_{\text{заг}} = 10$ об/мин с постоянной частотой. Генерирующееся локальное лазерное излучение, движущееся с постоянной линейной скоростью вдоль осевой линии $V_{\text{лаз}} = 2000$ мм/мин, осуществляет нагрев поверхности стальной заготовки выше температуры критических точек фазового перехода. Сверхскоростное охлаждение
25 вглубь заготовки приводит к формированию в поперечном сечении переменной по глубине $t_M = 0,34$ мм локальной метастабильной структуры шириной $h_M = 4,1$ мм по винтовой траектории лазерного воздействия.

30 Последующая механическая обработка стальной заготовки осуществляется с частотой вращения $n_{\text{заг}} = 1250$ об/мин. Режущим инструментом с твердосплавной пластиной, имеющей отрицательный передний угол $\gamma_p = -10^\circ$, осуществляют механическую обработку со скоростью резания $V_{\text{рез}} = 161$ м/мин на глубину $t_{\text{рез}} = 0,4$ мм,
35 превышающую глубину локальной метастабильной структуры $t_M = 0,34$ мм.

Режущий инструмент с отрицательным передним углом $\gamma_p = -10^\circ$ обеспечивает плавное вхождение в область с переменной по глубине $t_M = 0,34$ мм локальной метастабильной структурой и создает дополнительную деформацию сжатия для
40 устойчивого сегментирования сливной стружки от стальной заготовки и повышения стойкости инструмента (Фиг. 3) по сравнению с предлагаемым способом, взятым за прототип (Фиг. 4).

45 Предлагаемый способ механической обработки с дроблением стружки позволяет снизить динамические силовые нагрузки на главную режущую кромку и уменьшить вибрации при механической обработке. Повысить стойкость режущих кромок резцов, эффективность сегментирования сливной стружки. При таком способе возможна обработка с дроблением стружки не только конструкционных материалов, но и

труднообрабатываемых сталей и их сплавов.

(57) Формула изобретения

Способ механической обработки стальной заготовки с дроблением стружки, включающий придание заготовке вращения с частотой $n_{\text{заг}}$ и формирование с помощью локального лазерного луча лазерной головки локальной метастабильной зоны на поверхности заготовки по винтовой линии с последующей обработкой режущим инструментом, отличающийся тем, что локальный лазерный луч лазерной головки настраивают на фокусное расстояние, обеспечивающее формирование переменной по глубине локальной метастабильной структуры на поверхности стальной заготовки, а последующую обработку осуществляют с использованием режущего инструмента с отрицательным передним углом в диапазоне от (-10°) до (-30°) , создающим дополнительную деформацию сжатия срезаемого слоя для устойчивого сегментирования сливной стружки.

15

20

25

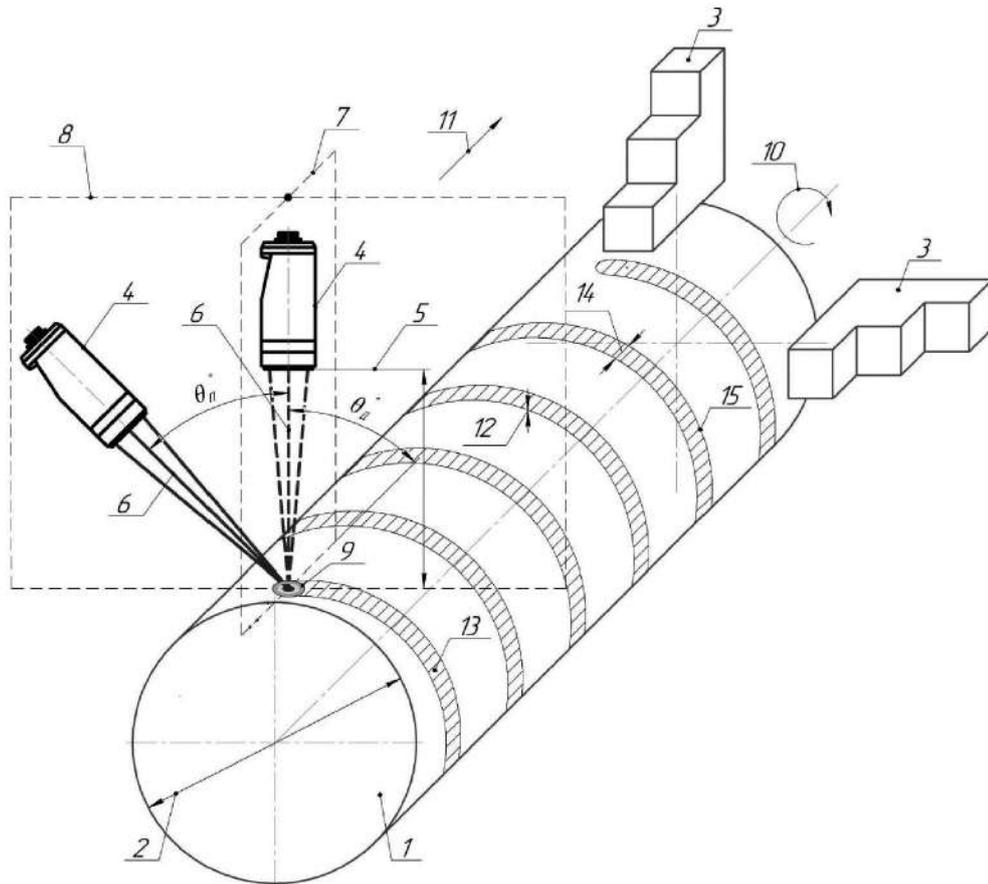
30

35

40

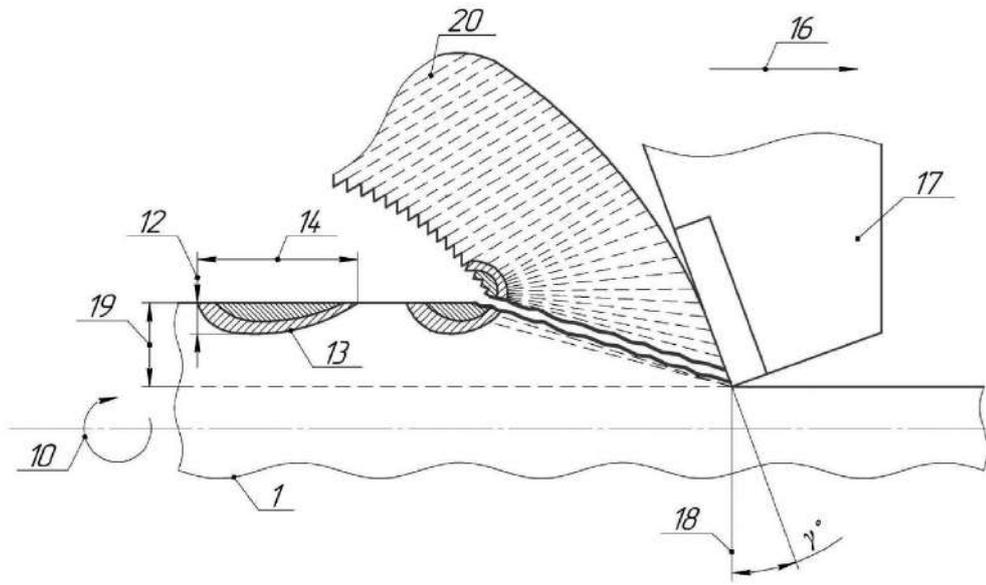
45

1



Фиг. 1

2



Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4