РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2870170

СПОСОБ НАНЕСЕНИЯ ВЫПУКЛОЙ МАРКИРОВКИ НА ИЗДЕЛИЯ ИЗ СТАЛЕЙ АУСТЕНИТНОГО КЛАССА

Патентообладатель: ***Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II" (RU)***

Авторы: ***Вологжанина Светлана Антониновна (RU), Хузнахметов Руслан Маратович (RU), Курилова Татьяна Сергеевна (RU)***

Заявка № **2025137271**
Приоритет изобретения **22 декабря 2025 г.**
Дата государственной регистрации
в Государственном реестре изобретений
Российской Федерации **16 сентября 2026 г.**
Срок действия исключительного права
на изобретение истекает **22 декабря 2045 г.**

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(19) **RU** (11) **2 870 170**(13) **C1**

(51) МПК
B23K 15/08 (2006.01)
B23K 26/18 (2006.01)
B23K 26/40 (2014.01)

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
B23K 15/08 *(2026.05);* ***B23K 15/085*** *(2026.05);* ***B23K 26/18*** *(2026.05);* ***B23K 26/40*** *(2026.05)*

(21)(22) Заявка: **2025137271, 22.12.2025**

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
22.12.2025

Дата регистрации:
16.09.2026

Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: **22.12.2025**

(45) Опубликовано: **16.09.2026** Бюл. № **26**

Адрес для переписки:
199106, Санкт-Петербург, В.О., 21 линия, 2, ФГБОУ ВО "Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II", патентно-лицензионный отдел

(72) Автор(ы):
Вологжанина Светлана Антониновна (RU),
Хузнахметов Руслан Маратович (RU),
Курилова Татьяна Сергеевна (RU)

(73) Патентообладатель(и):
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II" (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: **АМЯГА Д.В. и др. Возможности лазерной обработки при получении выпуклого рельефа на поверхности стальных изделий. Перспективные машиностроительные технологии. Сборник научных трудов Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2023, стр.499-505. EP 1387734 B1, 26.11.2008. US 7486705 B2, 03.02.2009. RU 2460619 C2,** (см. прод.)

(54) СПОСОБ НАНЕСЕНИЯ ВЫПУКЛОЙ МАРКИРОВКИ НА ИЗДЕЛИЯ ИЗ СТАЛЕЙ АУСТЕНИТНОГО КЛАССА

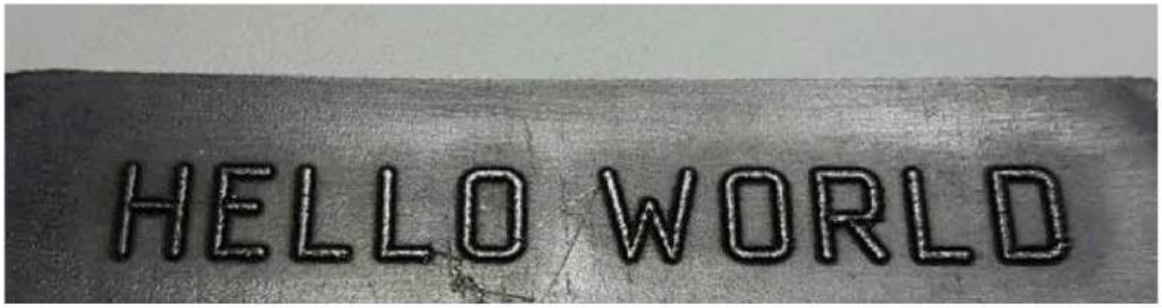
(57) Реферат:

Изобретение относится к области машиностроения, в частности к лазерной обработке поверхностей изделий из коррозионно-стойкой аустенитной стали для нанесения на них долговечной выпуклой маркировки. Способ нанесения выпуклой маркировки на изделия из сталей аустенитного класса включает обработку поверхности изделия сфокусированным энергетическим пучком, сканирование по заданной траектории, формирование рельефа в виде выступов и впадин за счёт локального плавления и перераспределения материала основы без использования присадочного материала. Маркировку наносят на изделие из коррозионно-стойкой стали аустенитного класса источником импульсного лазерного излучения наносекундной длительности. Причем задают однонаправленную параллельно-линейную траекторию сканирования вдоль контура символов маркировки, скорость сканирования устанавливают не менее 100 мм/с. При этом обеспечивают направленное перемещение ванны расплава вдоль траектории без разбрызгивания, с частотой следования импульсов от 300 до 500 кГц, мощностью излучения от 80 до 100 Вт. При этом энергию одиночного импульса обеспечивают находящейся в диапазоне от 0,16 до 0,33 мДж, а расстояние между линиями сканирования равным 10 мкм, длину векторов сканирования задают от 0,1 до 1 мм. Причем при одном цикле обработки

RU 2870170 C1

RU 2870170 C1

формируют рельеф высотой от 20 до 250 мкм, а при двух - высотой до 400 мкм. Техническим результатом является обеспечение получения долговечной выпуклой маркировки заданной геометрии на изделиях из сталей аустенитного класса. 6 ил.



Фиг. 1

(56) (продолжение):
10.09.2012. RU 2696804 C1, 06.08.2019. RU 2852885 C1, 16.12.2025. US 8076607 B2, 13.12.2011. US 9346124 B2, 24.05.2016.

RU 2870170 C1

RU 2870170 C1

RUSSIAN FEDERATION

FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(19) **RU** (11) **2 870 170**(13) **C1**

(51) Int. Cl.
B23K 15/08 (2006.01)
B23K 26/18 (2006.01)
B23K 26/40 (2014.01)

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(52) CPC
B23K 15/08 *(2026.05);* ***B23K 15/085*** *(2026.05);* ***B23K 26/18*** *(2026.05);* ***B23K 26/40*** *(2026.05)*

(21)(22) Application: **2025137271, 22.12.2025**

(24) Effective date for property rights:
22.12.2025

Registration date:
16.09.2026

Priority:
(22) Date of filing: **22.12.2025**

(45) Date of publication: **16.09.2026** Bull. № **26**

Mail address:
199106, Sankt-Peterburg, V.O., 21 liniya, 2, FGBOU VO "Sankt-Peterburgskij gornyj universitet imperatritsy Ekateriny II", patentno-litsenzionnyj otdel

(72) Inventor(s):
Vologzhanina Svetlana Antoninovna (RU),
Khuznakhmetov Ruslan Maratov (RU),
Kurilova Tatiana Sergeevna (RU)

(73) Proprietor(s):
federalnoe gosudarstvennoe biudzhetnoe obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego obrazovaniia «Sankt-Peterburgskii gornyi universitet imperatritsy Ekateriny II» (RU)

RU 2870170 C1

(54) METHOD OF APPLYING CONVEX MARKINGS TO PRODUCTS MADE OF AUSTENITIC STEEL

(57) Abstract:

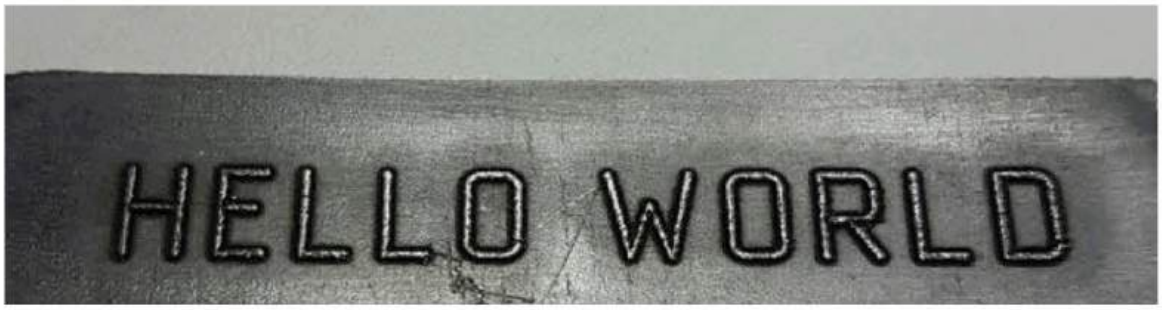
FIELD: mechanical engineering.

SUBSTANCE: laser processing of surfaces of products made of corrosion-resistant austenitic steel for applying durable convex markings to them. The method for applying convex markings to products made of austenitic steels involves treating the product's surface with a focused energy beam, scanning along a given trajectory, and forming a relief in the form of protrusions and depressions through local melting and redistribution of the base material without the use of filler material. The marking is applied to a product made of corrosion-resistant austenitic steel using a source of pulsed laser radiation of nanosecond duration. A unidirectional, parallel-linear scanning path is set along the contour of the marking symbols, with a scanning speed of at least 100 mm/s. Directed movement of the melt pool along the path is ensured without splashing, with a pulse repetition rate of 300 to 500 kHz and a radiation power of 80 to 100 W. In this case, the energy of a single pulse is provided in the range from 0.16 to 0.33 mJ, and the distance between scanning lines is equal to 10 mcm, the length of scanning vectors is set from 0.1 to 1 mm. Moreover, with one processing cycle, a relief with a height of 20 to 250 mcm is formed, and with two, a relief with a height of up to 400 mcm is formed.

EFFECT: ensuring production of durable convex markings of a given geometry on products made of austenitic steels.

1 cl, 6 dwg

RU 2870170 C1



Фиг. 1

RU 2870170 C1

RU 2870170 C1

Изобретение относится к области машиностроения, в частности к лазерной обработке поверхностей изделий из коррозионностойкой аустенитной стали, и предназначено для нанесения на них долговечной выпуклой маркировки.

Известен способ лазерной маркировки изделий (патент США US20210285084, опубл. 16.09.2021), заключающийся в нанесении маркировки на поверхность изделия за счёт лазерно-индуцированного травления с локальным плавлением поверхностного слоя и введением красителя из расположенного рядом носителя; при этом формируются микротекстурированные цветные участки с незначительным подъёмом над поверхностью.

Недостатком данного способа является ориентация на получение прежде всего цветового контраста и микрорельефа малой высоты при использовании дополнительного расходуемого носителя красителя, что не обеспечивает формирование крупномасштабной выпуклой тактильной маркировки на массивных деталях из аустенитной коррозионностойкой стали, работающих в агрессивных средах.

Известен способ лазерной маркировки бритвенных лезвий из нержавеющей стальной полосы (международная заявка WO2018118560, опубл. 21.06.2018), согласно которому в процессе непрерывной обработки стальной ленты лазерным излучением формируют маркировку в виде гравировки или травления; при описании лазерного травления указывается, что за счёт локального плавления и расширения металла возможно образование выпуклых меток на поверхности. При этом для конкретного технологического процесса подчеркнуто, что маркировка не должна приводить к заметной деформации тонкого лезвия.

Недостатком данного способа является его ориентация на обработку тонких стальных полос и получение маркировки малой глубины и высоты, без обеспечения тактильной читаемости и работы в условиях коррозионно-агрессивной среды, не предусматривает использование сталей аустенитного класса и не обеспечивает формирование крупномасштабных выпуклых элементов маркировки на изделиях из аустенитной стали.

Известен способ формирования противоскользящих поверхностей (патент США US8076607, опубл. 13.12.2011), заключающийся в нанесении на металлический субстрат множества выпуклых элементов путём подачи металлического порошка в зону действия высокоэнергетического излучения и его наплавки с образованием выпуклых элементов рельефа (выступов) на поверхности, обеспечивающих повышенную шероховатость и сцепление.

Недостатком данного способа является использование порошковой наплавки с формированием покрытия, отличного по происхождению от основного металла, что усложняет обеспечение однородности свойств и точной геометрии мелких элементов; кроме того, способ ориентирован на создание грубого противоскользящего рельефа, а не на формирование высокоточной выпуклой информационной и тактильной маркировки на деталях из стали.

Известен способ фемтосекундной лазерной обработки поверхностей (патент США US7486705, опубл. 03.02.2009), предусматривающий формирование микрорельефа и периодических структур на поверхности различных материалов за счёт подбора параметров серии ультракоротких импульсов (длины волны, поляризации, энергии, частоты и др.), что позволяет получать волнообразные структуры и другие элементы микрорельефа для изменения трибологических и оптических свойств.

Недостатком данного способа является ориентация на микромасштабные структуры с малой высотой и сложная, дорогостоящая реализация фемтосекундных лазерных систем; способ не описывает целенаправленного формирования крупных выпуклых

элементов, пригодных для тактильного считывания и маркировки изделий из аустенитных сталей.

Известен способ лазерной маркировки гибких полимерных материалов (международная заявка WO2004045857, опубл. 03.06.2004), согласно которому на поверхность пластиковой подложки наносят лазерочувствительный слой, покрывают его газонепроницаемой плёнкой и облучают лазером; при нагреве выделяется газ, вспучивающий покрытие и формирующий выпуклую маркировку на поверхности.

Недостатком данного способа является его ориентация на обработку полимерных подложек с многослойными покрытиями и использование газообразования в органическом слое для формирования рельефа, что не позволяет получать монолитную выпуклую маркировку непосредственно на металлических изделиях и не обеспечивает требуемую термо- и механическую стойкость рельефа.

Известен способ формирования рельефных структур на металлических поверхностях с использованием технологии Surfi-Sculpt (патент EP1387734, опубл. 12.05.2004), принятый за прототип, при котором фокусированный электронный луч периодически отклоняют по заданной траектории, вызывая локальное расплавление и перемещение металла; в результате на поверхности формируется массив выступов и соответствующих углублений, применяемых для повышения теплоотдачи, улучшения сцепления и создания функциональных текстур. В последующих работах технология адаптируется и для лазерных источников излучения.

Недостатком данного способа является то, что он не ориентирован на формирование высококонтрастной и легко различимой тактильной маркировки на деталях и изделиях из аустенитной стали, не обеспечивает проработку влияния режимов обработки на структурно-фазовое состояние и коррозионную стойкость зоны маркировки, а также изначально разработан для электронно-лучевой обработки при более высоких мощностях, что затрудняет его прямое применение для лазерного маркирования изделий.

Техническим результатом является обеспечение получения долговечной выпуклой маркировки заданной геометрии на изделиях из сталей аустенитного класса.

Технический результат достигается тем, что маркировку наносят на изделие из коррозионностойкой стали аустенитного класса, источником импульсного лазерного излучения наносекундной длительности и задают однонаправленную параллельно-линейную траекторию сканирования вдоль контура символов, скорость сканирования устанавливают не менее 100 мм/с, при этом обеспечивают направленное перемещение ванны расплава вдоль траектории без разбрызгивания, с частотой следования импульсов от 300 до 500 кГц, мощностью излучения от 80 до 100 Вт, при этом энергия одиночного импульса находиться в диапазоне от 0,16 до 0,33 мДж и расстоянии между линиями сканирования 10 мкм, которое обеспечивает высокую степень перекрытия соседних линий и формирование сплошного линейного рельефа, длину векторов сканирования задают от 0,1 до 1 мм, при этом при одном цикле обработки, формируют рельеф высотой от 20 до 250 мкм, а при двух, - высотой до 400 мкм, с получением долговечной выпуклой маркировки в виде линейного рельефа с плавным профилем и минимальным числом дефектов.

Способ поясняется следующими фигурами:

фиг. 1 - вид нанесенной надписи, сформированной из выпуклого линейного рельефа;

фиг. 2 - вид сформированного выпуклого линейного рельефа в поперечном сечении после одного цикла обработки;

фиг. 3 - график зависимости высоты рельефа (h) от мощности излучения (P);

фиг. 4 - график зависимости высоты рельефа (h) от частоты следования импульсов

(f);

фиг. 5 - график зависимости высоты рельефа (h) от длины векторов сканирования (L);

фиг. 6 - график зависимости высоты рельефа (h) от количества циклов обработки (N).

Способ осуществляется следующим образом. Маркировку наносят на изделия из коррозионностойкой стали аустенитного класса путём обработки поверхности изделия сфокусированным энергетическим пучком. Такие стали обладают высокой коррозионной стойкостью в газовых и жидких агрессивных средах, сохраняет пластичность и вязкость при пониженных температурах, а аустенитная структура обеспечивает хорошую свариваемость и отсутствие хрупких структур при локальном термическом воздействии. Благодаря этому возможно формирование рельефа в виде выступов и впадин лазерным излучением за счёт локального плавления и перераспределения материала основы без использования присадочного материала без снижения коррозионной стойкости и без появления хрупких зон в приповерхностном слое.

Сначала изделие из коррозионностойкой аустенитной стали закрепляют в рабочей зоне лазерной установки. Затем на поверхность изделия наносят надпись или символы в виде выпуклого линейного рельефа, состоящего из выступов и впадин. Для этого включают источник импульсного лазерного излучения наносекундной длительности и задают сканирование по заданной однонаправленной параллельно-линейной траектории сканирования вдоль контура символов, из которых состоит маркировка.

В качестве источника излучения используют волоконный лазерный излучатель с длиной волны не менее 1064 нм и длительностью импульса не менее 120 нс совместно со сканирующей лазерной системой, обеспечивающей диаметр фокального пятна не менее 75 мкм. Длину волны 1064 нм выбирают потому, что аустенитные коррозионностойкие стали обладают высоким коэффициентом поглощения в ближнем инфракрасном диапазоне, что обеспечивает эффективное преобразование энергии лазерного излучения в тепло в приповерхностном слое. Длительность импульса 120 нс выбирают как обеспечивающую достаточную пиковую мощность для плавления материала основы с формированием стабильной ванны расплава без перехода к режиму интенсивной абляции и без развития выраженных ударно-волновых эффектов, характерных для сверхкоротких импульсов. Это позволяет ограничить глубину зоны термического влияния и сохранить аустенитную структуру и коррозионную стойкость поверхности вблизи сформированного рельефа.

Скорость сканирования устанавливают не менее 100 мм/с, которая обеспечивает направленное перемещение ванны расплава вдоль заданной траектории без разбрызгивания и даёт возможность формировать рельеф заданной формы. Частоту следования импульсов выбирают от 300 до 500 кГц.

Мощность излучения устанавливают от 80 до 100 Вт. При мощности, соответствующей нижней границе диапазона, достигается порог плавления поверхности и начинается формирование выпуклого рельефа в виде выступов и впадин за счёт локального плавления и перераспределения материала основы. При увеличении мощности высота и ширина выступов после одного цикла обработки возрастают до предельного значения порядка 250 мкм. Дальнейшее увеличение мощности приводит к переходу в испарительный режим, при котором геометрические размеры рельефа уменьшаются, а дефектность, в том числе образование пор и грата, возрастает.

Расстояние между линиями сканирования принимают равным 10 мкм. При таком шаге обеспечивается высокая степень перекрытия соседних линий и формируется

сплошной линейный рельеф без промежутков. Длину векторов сканирования задают от 0,1 до 1 мм, что позволяет формировать как мелкие элементы рельефа, так и протяжённые линейные участки маркировки. Количество циклов обработки выбирают от одного до двух в зависимости от нужного результата. При одном цикле формируется рельеф высотой от 20 до 250 мкм, при увеличении числа циклов до двух высота выступа возрастает до 400 мкм.

Выбранный диапазон параметров охватывает область от порога плавления, при котором при направленном перемещении ванны расплава инициируется формирование выпуклого рельефа, состоящего из выступов и впадин. При повышении частоты следования импульсов и скорости сканирования при прочих равных условиях высота сформированного рельефа уменьшается, однако поверхность выступа и впадины становится более плавной и характеризуется минимальным количеством дефектов.

При формировании рельефа особенно важны энергия импульса и степень перекрытия импульсов. Эти параметры должны обеспечивать плавление материала основы без перехода к абляции и без использования присадочного материала.

Энергию одиночного импульса $E_{имп}$ определяют по выражению:

$E_{имп} = \frac{P_{avg}}{f}$, где

P_{avg} - средняя мощность излучения; f - частота повторений импульсов.

Формирование плавного линейного рельефа и бездефектной структуры энергия одиночного импульса должна находиться в диапазоне от 0,16 до 0,33 мДж. Указанный диапазон энергий обеспечивают подбором средней мощности излучения от 80 до 100 Вт и частоты следования импульсов от 300 до 500 кГц при скорости сканирования 100 мм/с.

Степень перекрытия импульсов вдоль заданной траектории сканирования определяют следующим образом. Сначала вычисляют шаг между центрами соседних импульсов вдоль вектора сканирования по выражению:

$s = \frac{v}{f}$, где

s - расстояние между импульсами, мм;

v - скорость сканирования, мм/с;

f - частота импульсов, Гц.

Далее степень перекрытия выражают через диаметр пятна d. Процент перекрытия вдоль траектории сканирования рассчитывают по выражению:

$O_{\parallel} = \left(1 - \frac{s}{d}\right) \cdot 100\% = \left(1 - \frac{v}{fd}\right) \cdot 100\%$, где

d - диаметр пятна на поверхности.

Перекрытие между соседними линиями сканирования определяют из выражения:

$O_{\perp} = \left(1 - \frac{R}{d}\right) \cdot 100\%$, где

R - расстояние между соседними линиями сканирования (шаг, мкм);

d - диаметр пятна одиночного импульса, мкм.

При диаметре пятна 75 мкм, скорости сканирования 100 мм/с, частоте следования

импульсов от 300 до 500 кГц и расстоянии между линиями сканирования 10 мкм перекрытие импульсов вдоль траектории сканирования составляет от 99,56 до 99,73 %, а перекрытие между линиями сканирования составляет около 86,7 %. Такие значения обеспечивают стабильный процесс перераспределения расплава материала основы и формирование выпуклого рельефа без перехода к интенсивной абляции.

За пределами рабочей области параметров при недостаточной энергии импульсов наблюдают лишь прогрев поверхности без расплавления, что не приводит к формированию выпуклого рельефа. При избыточной энергии импульсов в рельефе образуются пористость, неровности и значительное количество оксидных включений, что ухудшает геометрию и эксплуатационные характеристики маркировки на готовом изделии.

В результате осуществления способа при указанных режимах на поверхности изделий из коррозионностойкой аустенитной стали формируется долговечная выпуклая маркировка (фиг. 1) в виде линейного рельефа (фиг. 2) высотой от 20 до 400 мкм с плавным профилем и минимальным числом дефектов, обеспечивающая визуальную и тактильную читаемость при сохранении аустенитной структуры и коррозионной стойкости материала в зоне рельефа при этом рельеф формируется за счёт локального плавления и перераспределения материала основы без использования присадочного материала.

Способ поясняется следующими примерами

Пример 1 На цилиндрическую поверхность корпуса задвижки арматуры из коррозионностойкой аустенитной стали 12Х18Н10Т, входящей в состав криогенного оборудования, наносят выпуклую маркировку, включающую условное обозначение типоразмера, направление потока среды, серийный номер и информацию о назначении арматуры.

Для этого корпус задвижки закрепляют в рабочей зоне автоматизированного лазерного комплекса TurboMarker, включающего волоконный лазерный излучатель YPL-V2-1-100-100-100 от IPG Photonics с длиной волны 1064 мкм, длительностью импульса 120 нс, максимальной энергией импульса 1 мДж и номинальной средней выходной мощностью 100 Вт, а также сканирующую лазерную систему на базе F-Theta-объектива, обеспечивающую диаметр фокального пятна 75 мкм, скорость сканирования до 10000 мм/с и рабочее поле 180×180 мм.

Запускают комплекс, фокусируют излучение волоконного лазера на поверхность корпуса задвижки арматуры и задают однонаправленную параллельно-линейную траекторию сканирования в пределах рабочей зоны. В ходе серии опытов скорость сканирования поддерживают постоянной, равной $V = 100$ мм/с, расстояние между линиями сканирования принимают $R = 10$ мкм, диаметр фокального пятна составляет $d = 75$ мкм, а варьируемыми параметрами являются мощность излучения P в диапазоне от 80 до 100 Вт, частота следования импульсов f в диапазоне от 300 до 500 кГц, длина векторов сканирования L в диапазоне от 0,1 до 1 мм и количество циклов обработки от одного до трех.

Для каждой серии опытов измеряют высоту сформированного линейного рельефа h и по результатам построены графики зависимости высоты рельефа от мощности $h(P)$, (фиг. 3) высоты рельефа от частоты следования импульсов $h(f)$ (фиг. 4) и высоты

рельефа от длины векторов $h(L)$(фиг. 5). Анализ графика зависимости высоты рельефа от мощности излучения $h(P)$показыват, что при увеличении мощности от 80 до 100 Вт высота рельефа возрастает до 250 мкм при 90 Вт, после чего дальнейшее увеличение мощности приводит к снижению высоты и росту дефектности рельефа. На графике зависимости $h(f)$ видно, что при увеличении частоты от 300 до 500 кГц высота рельефа несколько уменьшается, однако форма валика становится более плавной, а количество дефектов снижается. Зависимость $h(L)$ показывает, что при увеличении длины векторов сканирования от 0,1 до 1 мм высота рельефа изменяется в диапазоне от порядка 20 мкм до 250 мкм, при этом сохраняется требуемая форма выступа и впадины.

Дополнительно показано (фиг. 6), что увеличение числа циклов обработки с одного до двух приводит к росту высоты выступа с 250 мкм 400 мкм без появления пор и оксидных включений, а при увеличении циклов до трех также происходит увеличение высоты рельефа, но образуются огромное количество дефектов, которые не приемлемы для эксплуатации.

Для каждого сочетания параметров рассчитывают энергию одиночного импульса. При варьировании мощности от 80 до 100 Вт и частоты от 300 до 500 кГц энергия импульса изменяется в пределах от

$$E_{\text{имп}} = \frac{80\ \text{Вт}}{500000\ \text{Гц}} \approx 0{,}16\ \text{мДж}$$

до

$$E_{\text{имп}} = \frac{100\ \text{Вт}}{300000\ \text{Гц}} \approx 0{,}33\ \text{мДж},$$

что соответствует заданному рабочему диапазону $0{,}16–0{,}33$мДж.

Шаг между центрами соседних импульсов вдоль траектории сканирования при $v = 100$ мм/с и частоте от 300 до 500 кГц в пределах от

$$s = \frac{100\ \text{мм/с}}{300\ \text{кГц}} \approx 0{,}33\ \text{мкм}$$

до

$$s = \frac{100\ \text{мм/с}}{500\ \text{кГц}} \approx 0{,}20\ \text{мкм}$$

Степень перекрытия импульсов вдоль траектории сканирования при диаметре пятна $d = 75$ мкм и значениях шага между центрами соседних импульсов от $0{,}20$ мкм до 0,33 мкм составляет от:

$$O_{\parallel} = \left(1 - \frac{0{,}33\ \text{мкм}}{75\ \text{мкм}}\right) \cdot 100\% \approx 99{,}56\%$$

до

$$O_{\parallel} = \left(1 - \frac{0{,}20\ \text{мкм}}{75\ \text{мкм}}\right) \cdot 100\% \approx 99{,}73\%.$$

Перекрытие между соседними линиями сканирования при $R = 10$мкм и $d = 75$мкм составляет:

$$O_{\perp} = \left(1 - \frac{10\ \text{мкм}}{75\ \text{мкм}}\right) \cdot 100\% \approx 86{,}7\%.$$

Рассчитанные по приведённым формулам значения энергии импульса и степеней перекрытия экспериментально подтверждены, что во всём выбранном диапазоне режимов обеспечивается плавление материала без перехода к интенсивной абляции и устойчивое перераспределение расплава.

Таким образом, использование приведённых выражений для расчёта энергии импульса и степеней перекрытия, а также анализ экспериментальных зависимостей $h(P)$, $h(f)$, $h(L)$ и от числа циклов обработки подтверждают обоснованность выбранных диапазонов параметров лазерной обработки. В пределах этих диапазонов формируются символы маркировки в виде выпуклого линейного рельефа высотой от 20 до 400 мкм с плавной формой выступов, без заметных пор, грата и оксидных включений, обеспечивающие визуальную и тактильную читаемость маркировки.

Металлографические исследования показали сохранение аустенитной структуры в зоне рельефа, а модельные испытания, имитирующие условия эксплуатации, включающие циклические термонагружения, воздействия коррозионно-активной среды, контактные нагрузки показали сохранность геометрии и читаемость выпуклой маркировки в течение всего срока испытаний.

Преимущество предлагаемого способа состоит в том, что при лазерной обработке наносекундной длительности без использования защитных газов и присадочных материалов, в том числе тонкостенных изделий из сталей аустенитного класса обеспечивается формирование стабильной выпуклой маркировки заданной геометрии за счёт управляемого перераспределения расплава и подавления интенсивной абляции.

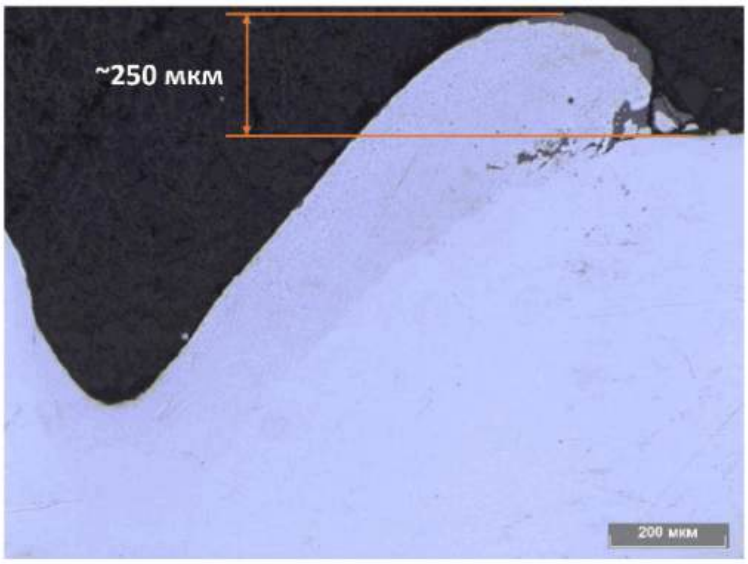
(57) Формула изобретения

Способ нанесения выпуклой маркировки на изделия из сталей аустенитного класса, включающий обработку поверхности изделия сфокусированным энергетическим пучком, сканирование по заданной траектории, формирование рельефа в виде выступов и впадин за счёт локального плавления и перераспределения материала основы без использования присадочного материала, отличающийся тем, что маркировку наносят на изделие из коррозионно-стойкой стали аустенитного класса источником импульсного лазерного излучения наносекундной длительности, причем задают однонаправленную параллельно-линейную траекторию сканирования вдоль контура символов маркировки, скорость сканирования устанавливают не менее 100 мм/с, при этом обеспечивают направленное перемещение ванны расплава вдоль траектории без разбрызгивания, с частотой следования импульсов от 300 до 500 кГц, мощностью излучения от 80 до 100 Вт, при этом энергию одиночного импульса обеспечивают находящейся в диапазоне от 0,16 до 0,33 мДж, а расстояние между линиями сканирования равным 10 мкм, длину векторов сканирования задают от 0,1 до 1 мм, причем при одном цикле обработки формируют рельеф высотой от 20 до 250 мкм, а при двух - высотой до 400 мкм.

1

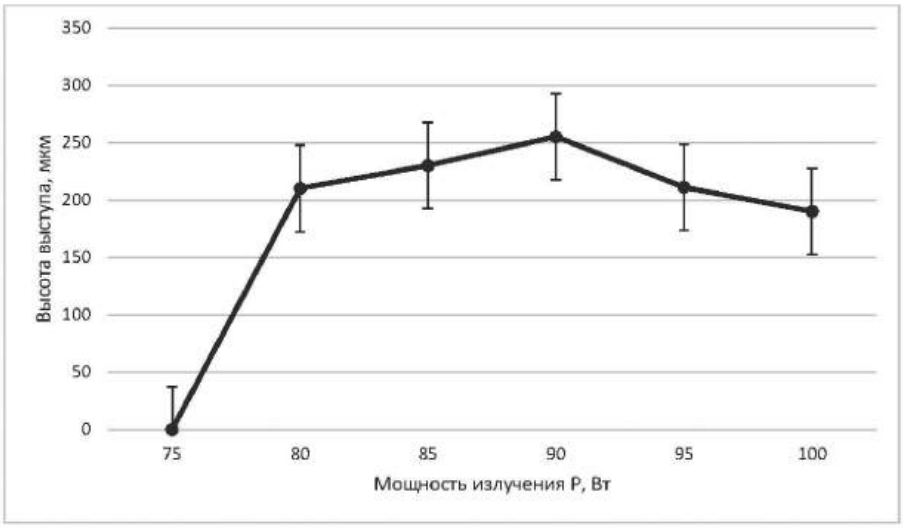


Фиг. 1

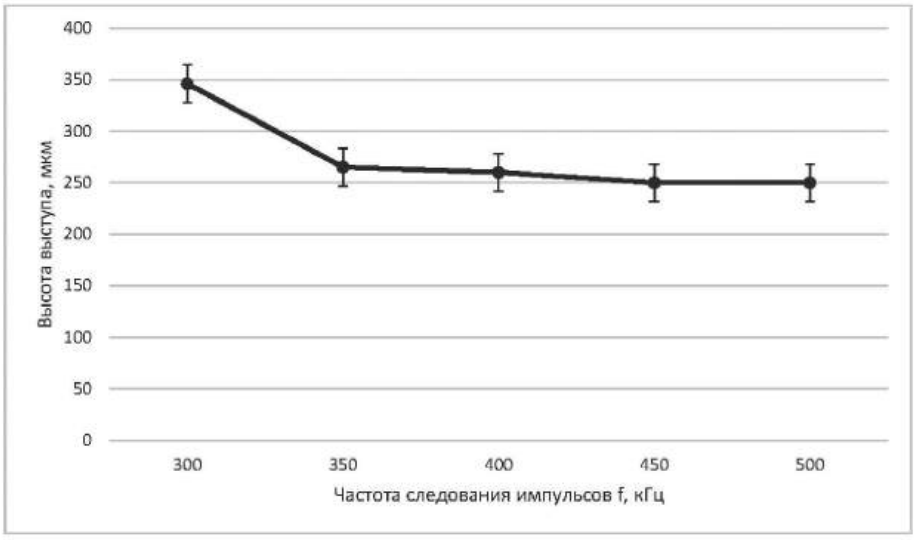


Фиг. 2

2

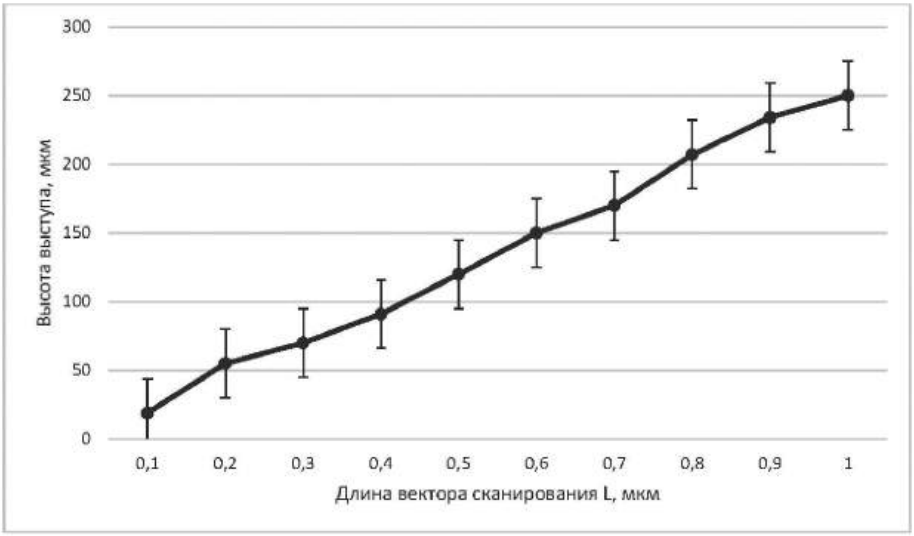

350
300
250
200
150
100
50
0
Высота выступа, мкм
75
80
85
90
95
100
Мощность излучения P, Вт

Фиг. 3

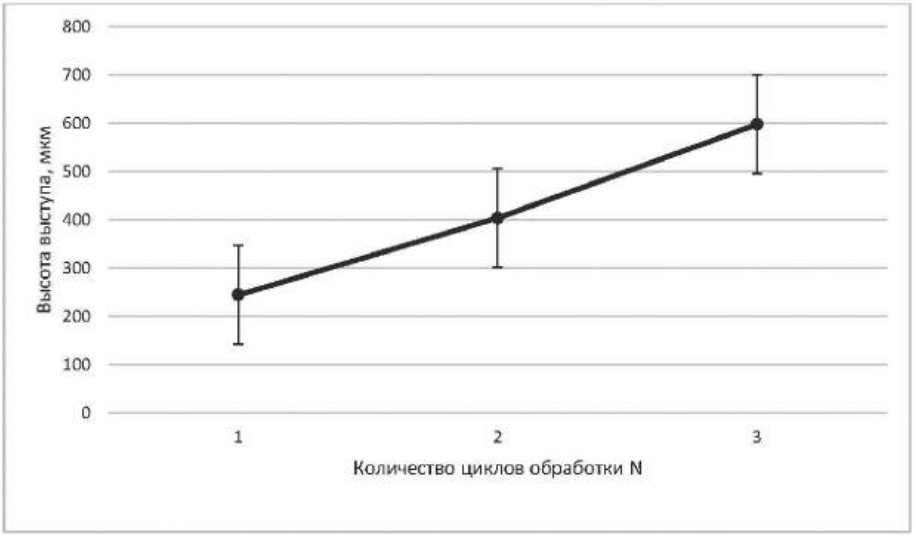

400
350
300
250
200
150
100
50
0
Высота выступа, мкм
300
350
400
450
500
Частота следования импульсов f, кГц

Фиг. 4

3


300
250
200
150
100
50
0
Высота выступа, мкм
0,1
0,2
0,3
0,4
0,5
0,6
0,7
0,8
0,9
1
Длина вектора сканирования L, мкм

Фиг. 5


800
700
600
500
400
300
200
100
0
Высота выступа, мкм
1
2
3
Количество циклов обработки N

Фиг. 6