

# ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР  
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ  
СОБСТВЕННОСТИ

(19) ВУ (11) 24750

(13) С1

(45) 2025.12.05

(51) МПК

В 23К 26/342 (2014.01)

## (54) СПОСОБ ФОРМИРОВАНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОЙ 3D-СТРУКТУРЫ НА ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ДЕТАЛИ

(21) Номер заявки: а 20230294

(22) 2023.11.20

(43) 2025.06.20

(71) Заявитель: Белорусский национальный технический университет (ВУ)

(72) Авторы: Девойно Олег Георгиевич; Луцко Николай Иванович; Лапковский Александр Сергеевич (ВУ)

(73) Патентообладатель: Белорусский национальный технический университет (ВУ)

(56) ВУ 23656 С1, 2022.

ШИШОВ А.Ю. и др. Особенности применения лазерного коаксиального плавления порошковых материалов для создания объектов из сплавов на основе меди. Инженерный журнал: наука и инновации, № 12, 2020, с. 1-14.

RU 2562584 С1, 2015.

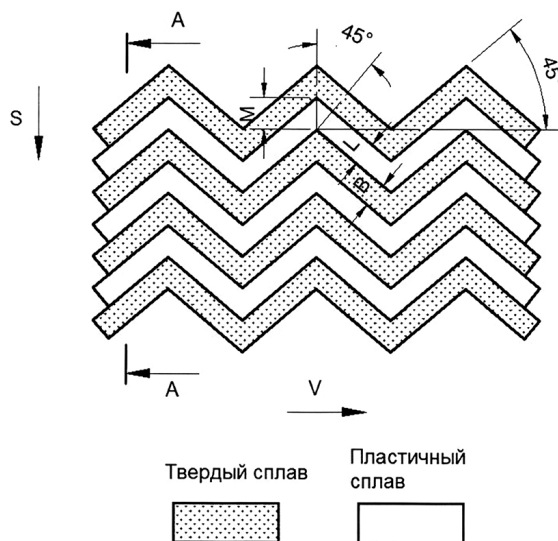
RU 2420610 С1, 2011.

ВУ 18736 С1, 2014.

RU 2424888 С2, 2011.

(57)

Способ формирования износостойкой 3D-структуры на поверхности металлической детали, при котором на поверхность детали, помещенной в среду защитного газа, методом коаксиальной лазерной наплавки наносят зигзагообразные валики из твердого износостойкого сплава, разделенные одинаковыми промежутками с шириной, составляющей от 0,5 до 0,7 ширины валиков, при угле между каждым участком валика и общим направле-



Фиг. 1

ВУ 24750 С1 2025.12.05

# ВУ 24750 С1 2025.12.05

нием наплавки, лежащем в пределах от 40 до 50°, затем наносят в указанных промежутках валики из пластичного сплава, ширина которых равна ширине валиков из твердого сплава, при этом коэффициент термического расширения твердого сплава составляет не менее 80 % коэффициента термического расширения пластичного сплава, **отличающийся** тем, что наносят второй слой покрытия со смещением относительно первого слоя на величину 0,85 ширины валика из твердого сплава в направлении, перпендикулярном направлению наплавки, таким образом, чтобы зигзагообразные валики из твердого сплава во втором слое покрытия находились над валиками из пластичного сплава в первом слое покрытия, при этом толщина переходной зоны между валиками из пластичного сплава и валиками из твердого сплава составляет не менее 0,1 высоты валика из твердого сплава.

---

Изобретение относится к способу получения многослойных износостойких покрытий и может найти применение при восстановлении или упрочнении деталей в различных областях машиностроения.

Известен способ формирования дискретного износостойкого покрытия на детали [1], при котором дискретное покрытие наносится методом коаксиальной лазерной наплавки. При этом сначала выполняют наплавку в виде пересекающихся под углом 90° валиков, образующих сетку при их пересечении из пластичного сплава. Затем полученные ячейки заполняют твердым износостойким материалом. Полученное покрытие представляет собой пластичную матрицу, заполненную твердым износостойким материалом, обладающую высокой стойкостью к трещинообразованию.

Способ характеризуется крайне низкой производительностью, так как нанесение сетки валиков из пластичного сплава и заполнение промежутков между валиками твердым сплавом - это две разные операции. Кроме того, износостойкость такого покрытия сильно зависит от направления изнашивания.

Наиболее близок к заявляемому способ формирования мультимодального покрытия на поверхности металлической детали [2], при котором методом коаксиальной лазерной наплавки на поверхность детали наносят зигзагообразные к направлению наплавки валики из твердого сплава с промежутками между ними, равными 0,5-0,7 ширины валиков, угол зигзага валиков к направлению наплавки составляет 40-50°, в полученные промежутки между валиками твердого сплава наплавляют зигзагообразные валики из порошка пластичного сплава, при этом величина коэффициента термического расширения твердого сплава составляет не менее 80 % величины коэффициента термического расширения пластичного сплава.

Главным недостатком прототипа является сильное уменьшение износостойкости покрытия при увеличении давления в контакте трущихся поверхностей.

Задачей, решаемой изобретением, является повышение износостойкости и уменьшение влияния на износостойкость покрытия давления в контакте трущихся поверхностей.

Поставленная задача решается тем, что способ формирования износостойкой 3D-структуры на поверхности металлической детали, при котором на поверхности детали, помещенной в среду защитного газа, методом коаксиальной лазерной наплавки наносят зигзагообразные валики из твердого износостойкого сплава, разделенные одинаковыми промежутками с шириной, составляющей от 0,5 до 0,7 ширины валиков, при угле между каждым участком валика и общим направлением наплавки, лежащем в пределах от 40 до 50°, затем наносят в указанных промежутках валики из пластичного сплава, ширина которых равна ширине валиков из твердого сплава, при этом коэффициент термического расширения твердого сплава составляет не менее 80 % коэффициента термического расширения пластичного сплава, отличается тем, что наносят второй слой покрытия со смещением относительно первого слоя на величину 0,85 ширины валика из твердого сплава в направлении, перпендикулярном направлению наплавки, таким образом, чтобы

зигзагообразные валики из твердого сплава во втором слое покрытия находились над валиками из пластичного сплава в первом слое покрытия, при этом толщина переходной зоны между валиками из пластичного сплава и валиками из твердого сплава составляет не менее 0,1 высоты валика из твердого сплава.

Сущность изобретения поясняется фиг. 1-3. На фиг. 1 показан вид нанесенного покрытия сверху, показаны зигзагообразные валики из твердого сплава и валики из пластичного сплава, стрелка с буквой V показывает общее направление наплавки, стрелка с буквой S показывает направление смещения системы координат при наплавке второго слоя покрытия, В - ширина валика из твердого сплава, L - ширина промежутков между валиками из твердого сплава, М - величина смещения системы координат при наплавке второго слоя покрытия, стрелки с буквами А показывают место сечения покрытия, которое показано на фиг. 2. Величина смещения системы координат, как следует из фиг. 1, составляет  $M = L/\cos 45^\circ = 0,6B/0,7071 = 0,85B$ .

На фиг. 2 показано повернутое и увеличенное сечение нанесенного покрытия по линии А-А (фиг. 1), h - высота валиков из твердого сплава, t - толщина переходной зоны между валиками из пластичного сплава и валиками из твердого сплава. На фиг. 2 видно, что валики из твердого сплава во втором слое покрытия располагаются над валиками из пластичного сплава в первом слое покрытия. Толщина переходной зоны между валиками из пластичного сплава и валиками из твердого сплава составляет больше чем 0,1 высоты валика из твердого сплава h ( $t = \min 0,1h$ ), что обеспечивается назначением соответствующих режимов наплавки. При  $t = \min 0,1h$ , толщина переходной зоны обеспечивает плавный градиент свойств между валиками из пластичного сплава и валиками из твердого сплава и способствует значительному увеличению износостойкости покрытия.

На фиг. 3 показаны результаты испытания покрытий на износ.

### Пример.

Производили лазерную коаксиальную наплавку трех покрытий:

покрытия по способу прототипа;

покрытия по предлагаемому способу (3D-структуры), когда толщина переходной зоны t между валиками из пластичного сплава и валиками из твердого сплава превышала 0,1 высоты валиков из твердого сплава h ( $t = 0,11h$ );

покрытия, когда толщина переходной зоны t между валиками из пластичного сплава и валиками из твердого сплава была меньше чем 0,1 высоты валиков из твердого сплава h ( $t = 0,09h$ ).

Все покрытия наплавлялись на образцы из стали 45. В качестве твердого материала использовали порошок никелевого сплава ПГ-12Н-01, а в качестве пластичного материала - порошок бронзы ПГ-19М-01. После наплавки поверхность покрытий подвергали шлифованию до Ra 1,6 мкм. Испытания на изнашивание покрытий проводились на машине трения по схеме "торец твердосплавной втулки - образец с покрытием". Втулка из твердого сплава ВК6 во время испытаний вращалась со скоростью 2300 мин<sup>-1</sup>. Контактное давление в зоне контакта контртела с образцом создавалось с помощью грузов переменной массы. Использовались величины контактного давления 1,6, 3,2 и 4,8 МПа. Испытания проводились в условиях трения с граничной смазкой, в зону контакта контртела с образцом капельным способом подавалось масло И-20А. Глубина канавки износа на образцах определялась с помощью профилографа-профилометра "Профи-130". Величина удельного износа I в мм/м рассчитывалась по формуле:

$$I = \frac{H}{10^{-3} \cdot \pi \cdot n \cdot D \cdot T},$$

где H - средняя глубина канавки износа по результатам трех измерений, мм;

n - скорость вращения твердосплавной втулки, мин<sup>-1</sup>;

D - диаметр твердосплавной втулки, мм;

T - время испытания, мин.

# BY 24750 C1 2025.12.05

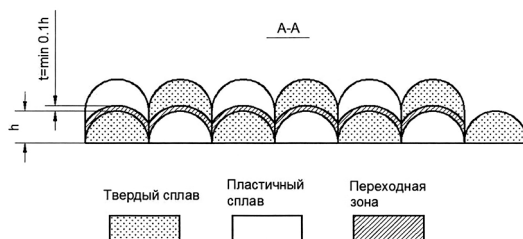
Результаты испытаний приведены на фиг. 3. Из фиг. 3 видно, что износ покрытия, полученного по способу прототипа, имеет гораздо большую величину, чем износ покрытия (3D-структуры), нанесенной по предлагаемому способу, когда толщина переходной зоны  $t$  между валиками из пластичного сплава и валиками из твердого сплава превышает  $0,1$  высоты валиков из твердого сплава  $h$  ( $t = 0,11h$ ). При давлении в контакте  $1,6$  МПа эта разница составляет  $9,4$  раза, при давлении в контакте  $3,2$  МПа -  $18,3$  раза, а при давлении в контакте  $4,8$  МПа -  $46,3$  раза.

Износ покрытия, когда толщина переходной зоны между валиками из пластичного сплава и валиками из твердого сплава  $t$  составляла  $0,09$  высоты валиков из твердого сплава  $h$ , также имеет большую величину, чем износ покрытия, нанесенного по предлагаемому способу ( $t = 1,1h$ ). Величина износа в этом случае сравнима с износом покрытия, нанесенного по способу прототипа.

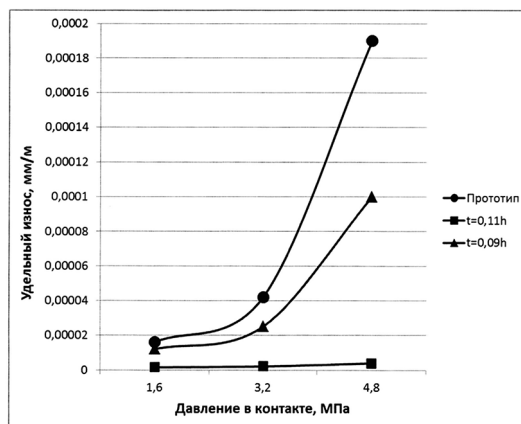
Преимущества покрытия (3D-структуры), нанесенного по предлагаемому способу ( $t = 1,1h$ ), особенно заметны при увеличении давления в контакте трущихся поверхностей. Так, при увеличении давления в контакте с  $1,6$  до  $4,8$  МПа износ покрытия, полученного по способу прототипа, увеличивается в  $11,9$  раза, износ покрытия при толщине переходных зон  $t = 0,09h$  - в  $8,3$  раза, а износ покрытия, нанесенного по предлагаемому способу ( $t = 1,1h$ ), - только в  $2,4$  раза.

Источники информации:

1. RU 2562584, 2015.
2. BY 23656, 2022.



Фиг. 2



Фиг. 3