

**ОПИСАНИЕ  
ИЗОБРЕТЕНИЯ  
К ПАТЕНТУ**  
(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР  
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ  
СОБСТВЕННОСТИ

(19) **ВУ** (11) **18409**

(13) **С1**

(46) **2014.08.30**

(51) МПК

**C 21D 1/09** (2006.01)

(54) **СПОСОБ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТИ  
СТАЛЬНОЙ ДЕТАЛИ**

(21) Номер заявки: а 20111419

(22) 2011.10.25

(43) 2013.06.30

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

(72) Авторы: Филонов Игорь Павлович;  
Кукин Святослав Феокистович;  
Девойно Олег Георгиевич; Веремей Павел Валерьевич; Кардаполова Маргарита Анатольевна (ВУ)

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

(56) KUKIN S.F. Laser Technologies in Welding and Materials Processing. Proceedings of International Conference. Kiev, E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, 2003. - P. 199-201.

ВУ 12978 С1, 2010.

RU 2275433 С1, 2006.

RU 2107739 С1, 1998.

SU 1611947 А1, 1990.

CN 1670226 А, 2005.

(57)

Способ термомеханической обработки поверхности стальной детали, при котором воздействуют лазерным излучением на обрабатываемую поверхность движущейся детали, осуществляют последующее высокоскоростное деформационное воздействие цилиндрическим ультразвуковым инструментом по всей ширине следа лазерной обработки от центра пятна лазерного луча на расстояние, где температура на поверхности составляет от 400 до 600 °С, **отличающийся** тем, что воздействие лазерным излучением осуществляют сканирующим лазерным лучом перпендикулярно направлению движения детали с частотой  $f$ , а высокоскоростное деформационное воздействие - импульсно-периодически с частотой  $f_n$  перпендикулярно направлению движения детали с длительностью, равной от 0,4 до 0,6 периода импульса, причем частоту импульсов  $f_n$  выбирают равной из интервала от  $2,0f$  до  $3,5f$ .

Изобретение относится к области термомеханической обработки поверхности детали с помощью концентрированных источников энергии, конкретнее лазерного излучения и ультразвука, и может быть использовано в машиностроении для поверхностного упрочнения стальных деталей машин.

Известен способ лазерной термической обработки поверхности детали [1], заключающийся в том, что поверхность детали подвергается воздействию колеблющегося лазерного луча поперечно направлению движения самой детали.

Недостатком данного способа является наличие остаточных напряжений растяжения в поверхностном слое из-за чередования зон закалки с зонами отпуска и необходимость в последующей чистовой обработке из-за увеличения шероховатости вследствие оплавления поверхности, так как обработка производится высококонцентрированным пятном лазерного луча.

**ВУ 18409 С1 2014.08.30**

Известен способ термомеханической обработки поверхности детали [2], включающий воздействие импульсного лазерного излучения на движущуюся обрабатываемую поверхность и последующее высокоскоростное деформационное воздействие сферического ультразвукового инструмента в неостывшую зону следа лазерной обработки на определенном расстоянии от центра пятна лазерного луча.

Недостатком данного способа является то, что упрочненная зона обрабатываемой поверхности формируется из последовательности соприкасающихся или частично перекрывающихся пятен лазерно-ультразвукового воздействия с чередованием упрочненных зон с зонами разупрочнения в местах соприкосновения или перекрытия пятен лазерного луча как в продольном, так и в поперечном направлениях.

Наиболее близким по технической сущности к предлагаемому изобретению является способ термомеханической обработки поверхности детали [3], включающий воздействие лазерного излучения на движущуюся обрабатываемую поверхность, последующее высокоскоростное деформационное воздействие цилиндрическим ультразвуковым инструментом по всей ширине следа лазерной обработки на расстоянии от центра пятна лазерного луча, где температура составляет 400-600 °С.

Недостатком данного способа является то, что интенсивность ультразвукового деформационного воздействия максимальна в центре следа лазерной обработки и снижается до минимального значения по краям из-за рассеивания энергии в пятне лазерного луча по закону Гаусса. Это вызывает неравномерность микротвердости, глубины и ширины упрочненного слоя и значений внутренних напряжений. В центральной зоне возможно формирование критических значений напряжений сжатия (перенаклеп), в то время как в крайних зонах остаются участки с остаточными напряжениями растяжения. Кроме того, ультразвуковая обработка поверхности следа лазерной обработки на скорости, равной скорости перемещения лазерного луча, требует тщательного подбора величины амплитуды ультразвуковых колебаний контактной поверхности ультразвукового инструмента для исключения перенаклепа, что требует значительных по времени и материальным затратам предварительных опытно-экспериментальных работ.

Задачей предлагаемого изобретения является улучшение качества изделия путем создания упрочненного слоя с однородными физико-механическими свойствами (микротвердостью, глубиной и шириной зоны упрочнения).

Задача решается за счет того, что в способе термомеханической обработки поверхности стальной детали, включающем воздействие лазерного излучения на обрабатываемую поверхность движущейся детали и последующее высокоскоростное деформационное воздействие цилиндрическим ультразвуковым инструментом по всей ширине следа лазерной обработки от центра пятна лазерного луча на расстоянии, где температура на поверхности составляет от 400 до 600 °С, согласно предлагаемому изобретению лазерное излучение осуществляют сканирующим лазерным лучом перпендикулярно направлению движения детали с частотой  $f$ , высокоскоростное деформационное воздействие - импульсно-периодически с частотой  $f_n$  перпендикулярно направлению движения детали с длительностью, равной от 0,4 до 0,6 периода импульса, причем частоту импульсов  $f_n$  выбирают равной из интервала от  $2,0f$  до  $3,5f$ .

Импульсно-периодическое ультразвуковое воздействие цилиндрического инструмента позволяет за счет выбора частоты и соотношения времени воздействия ультразвука со временем его отключения оптимизировать процесс ультразвукового поверхностно-пластического деформирования поверхности, исключив процессы разупрочнения (перенаклепа).

Высокоскоростное деформационное воздействие цилиндрическим ультразвуковым инструментом по линии перпендикулярно направлению перемещения обрабатываемой поверхности относительно лазерного луча обеспечивает одинаковую интенсивность ультразвуковой обработки по всей ширине следа лазерной обработки, что обеспечивает фор-

мирование упрочненного слоя одинакового по глубине и значениям микротвердости материала в нем по всей ширине следа лазерной обработки.

Увеличение частоты импульсно-периодического ультразвукового воздействия более  $3,5f$  приводит к малому количеству ( $n < 10$ ) контактирующего воздействия поверхности ультразвукового инструмента с обрабатываемой поверхностью, что приводит к недостаточному поверхностно-пластическому деформированию поверхностного слоя и, как следствие, формированию упрочненного слоя повышенной твердости малой глубины.

Уменьшение частоты импульсно-периодического ультразвукового воздействия менее  $2,0f$  приводит к большому количеству ( $n > 20$ ) контактирующего воздействия поверхности ультразвукового инструмента с обрабатываемой поверхностью, что приводит к разупрочнению (перенаклепу) поверхностного слоя и формированию упрочненного слоя с меньшей микротвердостью материала в нем и неравномерным ее распределением по глубине.

Увеличение длительности импульсно-периодического ультразвукового воздействия свыше  $0,6$  от длительности его периода приводит к большому количеству ( $n > 20$ ) контактирующего воздействия поверхности ультразвукового инструмента с обрабатываемой поверхностью, что приводит к разупрочнению (перенаклепу) поверхностного слоя и формированию упрочненного слоя с меньшей микротвердостью материала в нем и неравномерным ее распределением по глубине.

Уменьшение длительности импульсно-периодического ультразвукового воздействия менее  $0,4$  от длительности его периода приводит к малому количеству ( $n < 10$ ) контактирующего воздействия поверхности ультразвукового инструмента с обрабатываемой поверхностью, что приводит к недостаточному поверхностно-пластическому деформированию поверхностного слоя и, как следствие, формированию упрочненного слоя повышенной твердости малой глубины.

### **Пример реализации заявляемого способа.**

Проводили термомеханическую обработку наружных поверхностей трубчатых образцов из стали 45 ГОСТ 1050-88 с наружным диаметром 62 мм, внутренним диаметром 52 мм и длиной 70 мм. Образцы закреплялись в патроне токарно-винторезного станка, посредством которого задавалась необходимая скорость перемещения обрабатываемой поверхности относительно лазерного луча и ультразвукового инструмента.

Лазерная обработка производилась на волоконном лазере YLR-1000 с длиной волны излучения 1,07 мкм, мощностью 1,0 кВт колеблющимся лучом, диаметр пятна луча на обрабатываемой поверхности 0,6 мм, амплитуда колебаний 5 мм, частота колебаний 220 Гц. Скорость перемещения обрабатываемой поверхности относительно поперечно колеблющегося лазерного луча составляла 1 м/с.

Последующую обработку ультразвуком проводили при следующих конструкторских и технологических параметрах системы ультразвукового воздействия. Деформирующий элемент, изготовленный из сплава ВК-6М, имеет форму ролика диаметром 6 мм и длиной 5 мм. Деформирующий элемент жестко впаян в торец концентратора ультразвуковой колебательной системы на базе магнитострикционного преобразователя ПМС-15А-18, который помещен в специальный корпус с возможностью его поворота относительно своей оси на угол в диапазоне  $50^\circ$  и прижима деформирующего элемента к обрабатываемой поверхности под фиксированной статической нагрузкой. Питание магнитострикционного преобразователя осуществлялось от ультразвукового генератора УЗГ-3-4. Корпус преобразователя ПМС-15А-18 закреплялся в резцедержателе токарно-винторезного станка. Деформирующий элемент ультразвуковой колебательной системы прижимался к вращающемуся образцу со статической нагрузкой 800 Н. Амплитуда ультразвуковых колебаний рабочей поверхности деформирующего элемента при ультразвуковой обработке устанавливалась в диапазоне 20-25 мкм, при частоте  $f_n = (330-880)$  Гц и измерялась бесконтактным виброметром типа УВМ-4М.

# ВУ 18409 С1 2014.08.30

Импульсно-периодическое ультразвуковое воздействие осуществлялось посредством специального электронного блока, связанного с электронной системой управления ультразвукового генератора, которым обеспечивалась включение и выключение магнитострикционного преобразователя с требуемой частотой и длительностью работы во включенном состоянии.

Расстояние от зоны лазерного воздействия до зоны ультразвукового воздействия в направлении, перпендикулярном направлению сканирования лазерного луча, определялось из предварительного расчета теплового поля на поверхности от лазерного воздействия.

Глубина и микротвердость упрочненных зон измерялись на микротвердомере ПМТ-3. Результаты измерений сведены в таблицу.

Образец №	Частота импульсно-периодического ультразвукового воздействия, Гц	Длительность импульсно-периодического ультразвукового воздействия, с	Микротвердость (H <sub>50</sub> ) материала в центральной зоне упрочненного слоя / глубина слоя повышенной твердости, $\frac{\text{ГПа}}{\text{мм}}$	Микротвердость (H <sub>50</sub> ) материала в крайней правой зоне упрочненного слоя / глубина слоя повышенной твердости, $\frac{\text{ГПа}}{\text{мм}}$	Микротвердость (H <sub>50</sub> ) материала в крайней левой зоне упрочненного слоя / глубина слоя повышенной твердости, $\frac{\text{ГПа}}{\text{мм}}$	Микротвердость (H <sub>50</sub> ) материала в правой зоне упрочненного слоя на расстоянии 0,25 ширины / глубина слоя повышенной твердости, $\frac{\text{ГПа}}{\text{мм}}$	Микротвердость (H <sub>50</sub> ) материала в левой зоне упрочненного слоя на расстоянии 0,25 ширины / глубина слоя повышенной твердости, $\frac{\text{ГПа}}{\text{мм}}$
1	330	0,0015	$\frac{8,6-10,8}{0,4}$	$\frac{8,5-10,6}{0,4}$	$\frac{8,5-10,7}{0,4}$	$\frac{8,6-10,6}{0,4}$	$\frac{8,5-10,7}{0,4}$
2	440	0,0011	$\frac{10,8-11,6}{0,35}$	$\frac{10,7-11,5}{0,35}$	$\frac{10,6-11,6}{0,35}$	$\frac{10,7-11,6}{0,35}$	$\frac{10,8-11,4}{0,35}$
3	550	0,0009	$\frac{11,2-11,6}{0,3}$	$\frac{11,2-11,6}{0,3}$	$\frac{11,2-11,6}{0,3}$	$\frac{11,2-11,6}{0,3}$	$\frac{11,2-11,6}{0,3}$
4	660	0,00076	$\frac{11,3-11,3}{0,3}$	$\frac{11,3-11,6}{0,3}$	$\frac{11,2-11,7}{0,3}$	$\frac{11,2-11,5}{0,3}$	$\frac{11,2-11,7}{0,3}$
5	770	0,00065	$\frac{11,2-11,6}{2,5}$	$\frac{11,2-11,6}{2,5}$	$\frac{11,2-11,6}{2,5}$	$\frac{11,2-11,6}{2,5}$	$\frac{11,2-11,6}{2,5}$
6	880	0,00057	$\frac{11,1-11,7}{2,0}$	$\frac{11,2-11,6}{2,0}$	$\frac{11,1-11,7}{2,0}$	$\frac{11,2-11,5}{2,0}$	$\frac{11,1-11,5}{2,0}$
7	660	0,0005	$\frac{11,1-11,6}{2,5}$	$\frac{11,1-11,8}{2,0}$	$\frac{11,2-11,7}{2,0}$	$\frac{11,1-11,7}{2,0}$	$\frac{11,2-11,6}{2,0}$
8	660	0,0006	$\frac{11,1-11,6}{2,5}$	$\frac{11,2-11,7}{2,5}$	$\frac{11,1-11,5}{2,5}$	$\frac{11,2-11,5}{2,5}$	$\frac{11,1-11,7}{2,5}$
9	660	0,00076	$\frac{11,3-11,3}{0,3}$	$\frac{11,3-11,6}{0,3}$	$\frac{11,2-11,7}{0,3}$	$\frac{11,2-11,5}{0,3}$	$\frac{11,2-11,7}{0,3}$
10	660	0,0009	$\frac{11,2-11,5}{0,3}$	$\frac{11,1-11,6}{0,3}$	$\frac{11,2-11,7}{0,3}$	$\frac{11,2-11,5}{0,3}$	$\frac{11,2-11,7}{0,3}$
11	660	0,0011	$\frac{10,5-11,6}{0,35}$	$\frac{10,6-11,5}{0,35}$	$\frac{10,5-11,6}{0,35}$	$\frac{10,6-11,6}{0,35}$	$\frac{10,7-11,4}{0,35}$
Прототип		непрерывно	$\frac{8,2-10,5}{0,4}$	$\frac{8,1-10,6}{0,1}$	$\frac{8,3-10,7}{0,1}$	$\frac{8,4-10,4}{0,2}$	$\frac{8,5-10,8}{0,2}$

# ВУ 18409 С1 2014.08.30

Микротвердость и глубина упрочненного слоя на образцах № 1 и 6 указывают на целесообразность ограничений по частоте  $f_{и}$ , а на образцах № 5-8 - по периоду воздействия.

Предлагаемый способ термомеханической обработки позволяет улучшить качество изделия путем создания однородного упрочненного слоя по глубине и ширине зоны упрочнения с равномерным распределением микротвердости материала в нем.

Источники информации:

1. Григорьянц А.Г., Сафонов А.Н. Методы поверхностной лазерной обработки. - М.: Высшая школа, 1987. - С. 105.

2. Муханов И.И., Синдеев В.И. Упрочняюще-чистовая обработка стальных деталей лучом лазера и ультразвуковым инструментом. В кн.: Новые методы упрочнения и обработки материалов. - Новосибирск: НЭТИ, 1979. - С. 87-89.

3. Kukin S.F. Influence of combined laser-ultrasonic treatment on tribotechnical characteristics of hardened surfaces. Proceedings of international conference / Laser technologies in welding and material processing. E.O. Paton electric welding institute, NASU. - Kiev, 2003. - P. 199-201.