

## **ВОЗМОЖНОСТИ УЛУЧШЕНИЯ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ЛАЗЕРНОМ И УЛЬТРАЗВУКОВОМ ВОЗДЕЙСТВИЯХ**

*Научно-производственное частное унитарное предприятие "ИНТРАК"  
Минск, Беларусь*

### **1. ВВЕДЕНИЕ**

Процесс износа сопрягаемых поверхностей деталей можно описать четырьмя главными механизмами износа — адгезионный, абразивный, усталостный и деформационный, которые на практике обычно действуют в сочетании. Доминирующий механизм износа зависит от конкретной ситуации трибологического нагружения и свойств материала. Повышение износостойкости деталей требует знание системы, материала, условий окружающей среды и доминирующего механизма износа. Локальные давления и высокая температура в зонах микроконтакта сопровождают процессы износа постоянно. Поэтому свойства материала при этих условиях являются более важными при процессах повреждения. Идея, что твердость материала является главным параметром, который определяет поведение износа только частично верна для абразивных процессов [1], в то время как для усталостных процессов такими параметрами являются микротвердость, микроструктура, шероховатость поверхности и остаточные напряжения [2]. В этой связи комплексное лазерно-ультразвуковое упрочнение является одним из эффективных процессов изменения поверхностных свойств и ее влияние на триботехнические характеристики упрочняемых поверхностей вызывает определенный интерес. В данной статье анализируются возможности новых подходов в комбинированной лазерно-ультразвуковой обработке поверхностей деталей по формированию упрочненных слоев с целью улучшения их триботехнических свойств в узлах трения.

### **2. ЛАЗЕРНОЕ ПОВЕРХНОСТНОЕ ТЕРМОУПРОЧНЕНИЕ**

Лазерное упрочнение при обработке без оплавления поверхности происходит за счет аустенитно-мартенситных превращений, что вызывает увеличение твердости в зоне термического воздействия, что автоматически не ведет к увеличению износостойкости. Твердость в общем увеличивает сопротивление материалов трущихся поверхностей к абразивному изнашиванию, а также усталостному износу. В тоже время твердость не влияет на коэффициент трения и скорость износа при адгезионных процессах [3]. При обработке без оплавления поверхности и поглощающих покрытий шероховатость поверхности на следе лазерной обработки не изменяется по сравнению с исходной, а только ее средний уровень в центральной зоне выше среднего уровня необрабатываемой поверхности порядка на 0,01 мм [4] (рис. 1).

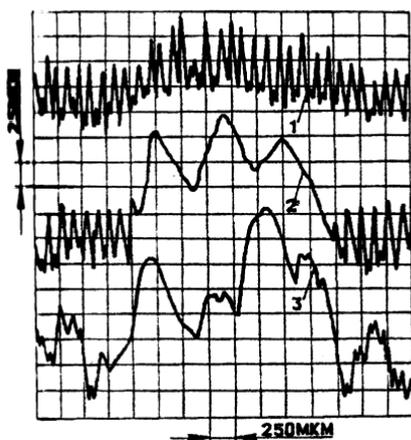


Рис. 1. Профилограммы следов лазерной обработки: 1 — обработка без оплавления поверхности и без поглощающих покрытий; 2 — обработка без оплавления с поглощающим покрытием; 3 — обработка с проплавлением поверхностного слоя.

Рис. 2. Конструкторско-технологическая схема лазерно-ультразвукового термоупрочнения наружных цилиндрических поверхностей деталей (1 — деталь, 2 — зеркало, 3 — лазерный пучок, 4 — ультразвуковой инструмент).

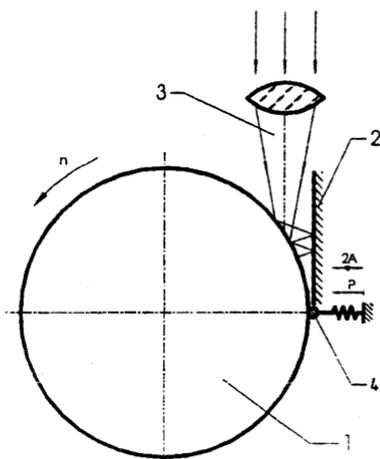
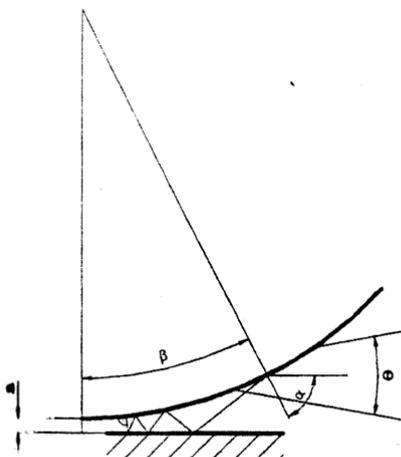


Рис. 3. Основные регулируемые параметры схемы лазерно-ультразвукового термоупрочнения.



Обработка с проплавлением поверхности на определенную глубину используется для увеличения глубины получаемого упрочненного слоя (слоя закалки из твердого состояния и слоя закалки из жидкого состояния) а также устранения поверхностных дефектов, измельчения и растворения включений. Включения действуют как концентраторы напряжений и источниками формирования трещин ведущих к поверхностной усталости. Удаление источника начала трещин увеличивает усталостную прочность поверхности. Упрочненный слой получаемый закалкой из жидкого состояния обладает мелкоизмельченной структурой и наличием метастабильных фаз, что повышает стойкость поверхности к адгезионному износу [3]. Однако лазерная обработка с проплавлением поверхности на определенную глубину увеличивает шероховатость поверхности на упрочненной дорожке и еще более значительно увеличивает превышение среднего уровня следа лазерной обработки над уровнем необработанной поверхности (рис. 1) [4]. Таким образом при лазерном термоупрочнении изменяются такие параметры качества как шероховатость и волнистость профиля исходной поверхности. Поэтому в большинстве случаев после лазерной обработки требуется дополнительная финишная обработка с целью доведения микрорельефа поверхности до требуемых показателей.

### 3. СХЕМЫ КОМБИНИРОВАННОЙ ЛАЗЕРНО-УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКИ

Из всех видов финишной обработки наиболее перспективной является комбинированная лазерно-ультразвуковая обработка [5,6], где авторы приводят схему и анализируют процессы лазерного термоупрочнения импульсным лазерным излучением совмещенный с поверхностно-пластическим деформированием (ППД) ультразвуковым инструментом и анализируют физико-механические, геометрические, прочностные и эксплуатационные характеристики получаемых упрочненных слоев. Однако на практике наибольшее применение в процессах упрочнения получило непрерывное лазерное излучение, которое имеет на порядок более низкую степень поглощения металлическими поверхностями [7], чем импульсное и поэтому в работах [8, 9] приводятся новые схемы метода комплексного лазерно-ультразвукового упрочнения непрерывным лазерным излучением без использования поглощающих покрытий. На рис.2. приведена конструкторско-технологическая схема лазерно-ультразвукового термоупрочнения наружных цилиндрических поверхностей деталей. К основным особенностям нового подхода к решению задачи комплексного лазерно-ультразвукового упрочнения непрерывным лазерным излучением без использования поглощающих покрытий относится следующее:

1) Обеспечение требуемой степени поглощения лазерного луча обрабатываемой поверхностью за счет последовательного многократного воздействия его на последующие зоны следа лазерной обработки, где угол падения и температура поверхности последующего акта воздействия больше чем у предыдущего, а в зоне нормального падения луча обеспечивается максимальное его поглощение;

2) Воздействие статической и динамической силы ультразвукового инструмента в зоне следа лазерной обработки, где температура после лазерного воздействия снижается до значений  $400^{\circ}\dots 600^{\circ}\text{C}$ . Причем значения статической силы прижима ультразвукового инструмента, амплитуду колебаний и диаметр его сферической рабочей части выбирают из условия компенсации объемного увеличения материала в зоне упрочнения при последующих аустенитно-мартенситных превращениях и получения нулевого значения высоты волнистости профиля обрабатываемой поверхности.

Решение первой задачи осуществляется нахождением оптимальных параметров лазерного пучка  $q$ , условий его воздействия на обрабатываемую поверхность  $a$ ,  $b$  и параметров конструкторско-технологической схемы лазерной обработки (Рис. 3). Данная задача выполняется графическими построениями пути каждого элементарного луча лазерного пучка между рабочей поверхностью зеркала и обрабатываемой поверхностью детали в среде AutoCAD 2000 по законам геометрической оптики и оптимизируется математическими методами в среде MathCAD 2000.

Вторая задача решается нахождением места воздействия ультразвукового поверхностно-пластического деформирования на след лазерной обработки, которое определяется расположением изотерм поверхности от лазерного воздействия, рассчитываемых математическими методами в среде MathCAD 2000 [10].

#### 4. ВЛИЯНИЕ КОМБИНИРОВАННОЙ ЛАЗЕРНО-УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКИ НА ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Новые конструкторско-технологические схемы комплексной лазерно-ультразвуковой обработки позволяют формировать упрочненные слои на металлических поверхностях с новым комплексом триботехнических свойств, обеспечивающих более высокие эксплуатационные характеристики деталей при различных механизмах трения и износа. Основными особенностями получаемых новых свойств является следующее:

1) Последовательное многократное лазерное воздействие на обрабатываемую поверхность в зоне лазерного взаимодействия обеспечивает более плавный градиент температуры в начале взаимодействия, что позволяет избежать трещинообразования при обработке железоуглеродистых сплавов, инструментальных и легированных сталей склонных к трещинообразованию;

2) Ультразвуковое поверхностно-пластическое деформирование (ППД) следа лазерной обработки, выполненной без оплавления поверхности, обеспечивает в упрочненной зоне преобразование остаточного аустенита в мартенсит и выделение высокодисперсных карбидных частиц. Кроме того ультразвуковое ППД устраняет трещины и поры, которые могут возникать при лазерной упрочнении за счет фазовых превращений в твердом состоянии некоторых металлов и сплавов;

3) Ультразвуковое ППД следа лазерной обработки, выполненной с проплавлением поверхности на определенную глубину, обеспечивает ликвидацию междендрит-

ной пористости зоны оплавления, преобразование остаточного аустенита в мартенсит и выделение высокодисперсных частиц во всех зонах упрочнения;

4) Во всех случаях лазерной закалки из жидкого и твердого состояния ультразвуковое ППД следа лазерной обработки устраняет наводимую волнистость профиля и уменьшает исходную шероховатость поверхности. Кроме того создается специальный ячеистый микрорельеф, обеспечивающий хорошее удержание смазки и создаются остаточные поверхностные напряжения сжатия.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Fohl J., Wiedemeyer J., Thomasch A. Metallurgical aspects of laser treated surfaces with respect to tribological applications. //3<sup>rd</sup> European Conference on Laser Treatment of Materials / Sprechaal Publ Group.-1990-P/81-93.
2. Majid M.A., Hussain L.B., Yaseen Alani S.K. Fatigue strength of low roughness laser treated alloy steel. //3<sup>rd</sup> European Conference on Laser Treatment of Materials / Sprechaal Publ Group.-1990-P/291-299.
3. Mordike B.L. Improvement of wear properties by laser surface treatment. //3<sup>rd</sup> European Conference on Laser Treatment of Materials / Sprechaal Publ Group.-1990-P/371-388.
4. Кукин С.Ф. Технология лазерного термоупрочнения поверхностей цилиндрических деталей. //Автореферат диссертации соискания степени кандидата технических наук. Минск: БПИ, 1988.
5. 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.
6. Синдеев В.И., Исхакова Г.А. Особенности формирования поверхностного слоя деталей при лазерном и ультразвуковом воздействиях // Физика и химия обработки материалов. - 1988. - №7. - С.59 – 64.
7. Stern G. Absorptivity of CO<sub>2</sub>, CO and YAG-laser because by different metallic alloys. //3<sup>rd</sup> European Conference on Laser Treatment of Materials /Sprechaal Publ Group.-1990-P/25-36.
8. Kykin S.F., Kykin A.S., Devoyno O.G., Kalenik A.M. The analysis of process on laser hardening with the subsequent ultrasonic surface-plastic deforming.// International Conference TOOLS 2002/P/79.
9. Kukin S.F. Influencing of Combined Laser – Ultrasonic Processing on the Tribotechnical Characteristics of the Hardened Surfaces.// International Conference INTERTRIBO 2002 / P / 51.
10. Кукин С.Ф., Кукин А.С. Расчет размеров упрочненных зон получаемых лазерным оплавлением металлических поверхностей. — В международном сборнике научных трудов. Прогрессивные технологии и системы машиностроения. Донецк 2001. 293-297.