

УДК 677.052

УПРОЧНЕНИЕ РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ЛАЗЕРНЫМ МОДИФИЦИРОВАНИЕМ

ВЕДЕРНИКОВА И.И., канд. техн. наук, ПОЛЕТАЕВ В.А., д-р техн. наук

Рассматриваются вопросы разработки метода упрочнения рабочих поверхностей деталей машин. Представлен метод лазерного модифицирования и результаты применения его в различных режимах.

Ключевые слова: упрочнение, лазерная обработка, износ, структура, модифицирование, анодированная поверхность.

HARDENING (STRENGTHENING) OF WORKING SURFACES OF PARTS OF MACHINES BY LASER MODIFYING

I.I. VEDERNIKOVA, Candidate of Engineering, POLETAEV V.A., Doctor of Engineering

The problems of finding of a method of hardening (strengthening) of working surfaces of parts of machines are considered. The method of laser modifying is submitted (shown). Is described both method, and obtained outcomes of different operational modes.

Key words: hardening (strengthening), laser processing, wearing, frame, modifying, anodized surface.

Технологическое оборудование предприятий имеет большое количество узлов трения. Около 80 % мощности машин расходуется на преодоление работы сил трения. Износ деталей является следствием работы сил трения, возникающих при взаимном перемещении трущихся поверхностей. Характер износа, интенсивность и природа изнашивания во многом зависят от вида фрикционного контакта. Скорость изнашивания деталей машин зависит, в том числе, от точности и качества их изготовления, качества сборки и наладки оборудования, а также от технологии изготовления и упрочнения деталей.

Предлагается комбинированный метод упрочнения рабочей поверхности детали из сплава Д16, представляющий собой лазерное модифицирование анодированной поверхности.

Термическое упрочнение лазерным излучением основано на локальном нагреве участка поверхности под воздействием излучения и охлаждении этого участка со сверхкритической скоростью после прекращения воздействия за счет теплоотвода во внутренние слои металла. Основной особенностью воздействия лазерного излучения на материалы является локальный характер теплового источника, обеспечивающий формирование жесткого термического цикла при поверхностной обработке с высокими скоростями перемещения источника нагрева и высокими скоростями нагрева и охлаждения материала.

Тепловое воздействие при лазерном упрочнении регулируется в широких пределах за счет изменения параметров лазерного излучения и режимов обработки. Это обеспечивает регулирование скоростей нагрева и охлаждения металла, времени пребывания металла при высоких температурах, что позволяет по-

лучать требуемую структуру поверхностного участка и соответствующие свойства.

Технологические возможности лазерного упрочнения позволяют использовать этот процесс в качестве заключительной операции без последующей механической обработки. Причем лазерное термоупрочнение отдельных участков можно проводить после сборки конструкции или узла машины. Следует особо подчеркнуть возможность автоматизации процесса лазерного термоупрочнения. С учетом высокой производительности процесса операции лазерного модифицирования могут быть встроены в современное гибкое автоматизированное производство.

Требуемые свойства поверхности при лазерном термоупрочнении получают за счет создания соответствующего термического цикла с заданными оптимальными параметрами, определяемыми максимальной температурой нагрева, скоростью нагрева, скоростью охлаждения, временем пребывания металла при температуре выше характерной.

Лазерную обработку образцов осуществляли импульсным излучением неодимового лазера на стекле ГОС-301 в режиме свободной генерации импульса при различной энергии накачки и степени расфокусировки ΔF , которая влияет на плотность энергии, рассеиваемой по поверхности.

Режимы лазерной обработки приведены в таблице. Диапазон интенсивности воздействия на поверхность излучения варьировался от 10 до 200 кВт/см².

Зависимость изнашивания модифицированного слоя от режимов лазерного воздействия приведена на рис. 1.

Режимы лазерной обработки образцов сплава Д16 с покрытием

№ опыта	Режимы обработки			Размеры образцов		Величина износа, мкм (за 20 км пути трения)
	E , кДж	ΔF , см	q , кВт/см ²	a , мм	b , мм	
1	5	-32	10	21	21	13
2	5	-22	20	16	16	8
3	7,5	-22	30	16	16	6
4	12,5	-22	50	16	16	15
5	10	-15	60	8,5	14,2	16
6	10	-10	110	7	12	18
7	10	-5	120	6	10	-
8	10	-2	200	5	7	-

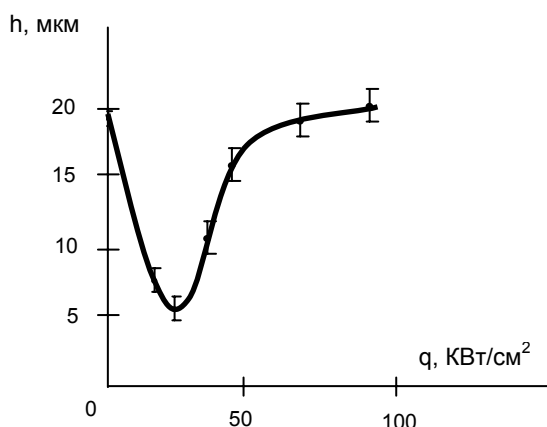


Рис. 1. Зависимость износа от интенсивности импульса (за 20 км пути трения)

Далее проводилось исследование упрочненной поверхности. Микротвердость образцов измерялась с помощью прибора ПМТ-3 по стандартной методике.

Зависимость интенсивности импульса лазерного воздействия на микротвердость поверхности образцов показана на рис. 2.

Наличие зоны с повышенными механическими свойствами покрытия свидетельствует о том, что при обработке поверхности лазерным излучением требуемой интенсивности можно достичь упрочнения оксидного покрытия. Оптимальным режимом упрочняющей лазерной обработки является 10–15 кВт/см². При этом максимальная величина микротвердости достигает 700 HV.

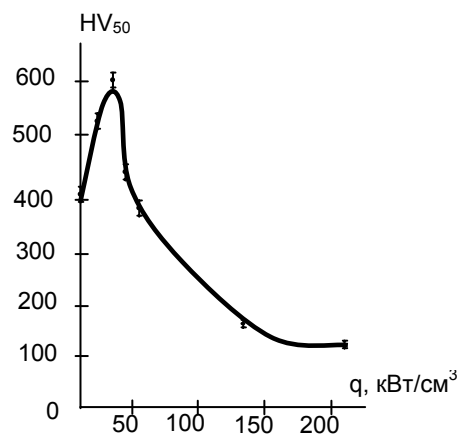


Рис. 2. Влияние интенсивности импульса на микротвердость поверхности ЗЛВ алюминиевого сплава Д16 с оксидным покрытием

На рис. 3–5 приведены фотоснимки образцов с оксидным покрытием после лазерной обработки.

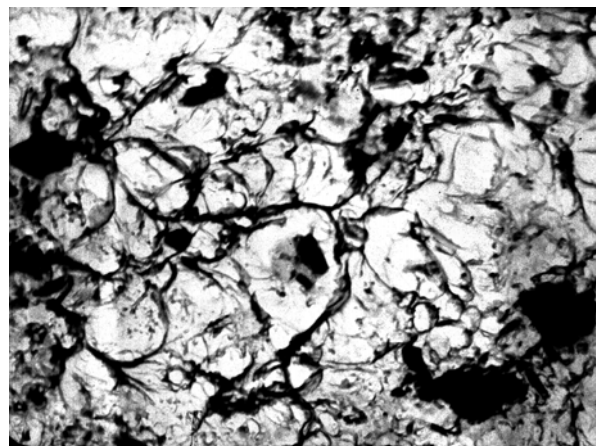


Рис. 3. Структура покрытия после анодирования: x 10600 – электронная микроскопия

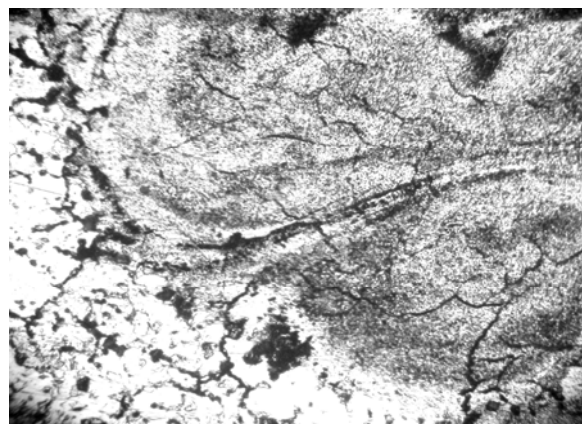


Рис. 4. Структура сплава Д16 в зоне лазерного оплавления (400°)

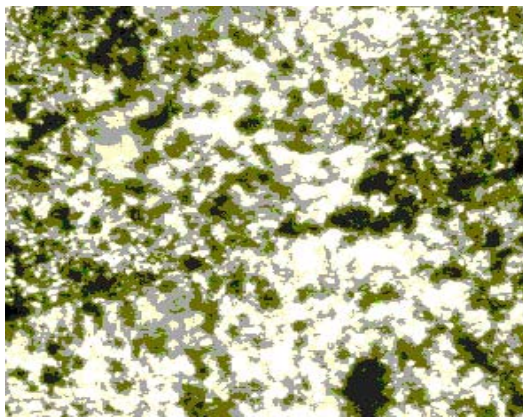


Рис. 5. Дисперсно-упрочненный слой

При воздействии лазерного излучения интенсивностью ниже 30 кВт/см^2 видимых изменений на поверхности не наблюдается. Внешние изменения начинаются при q свыше 30 кВт/см^2 – поверхность становится матовой и плохо рассеивает свет, на некоторых участках поверхности темный цвет покрытия изменяется на белый, плотность и толщина покрытия уменьшаются. Это свидетельствует о начале термодеструкции покрытия (рис. 3). При q свыше 100 кВт/см^2 на поверхности образуется зона оплавления. Она имеет форму эллипсоидного кратера размерами $3\text{--}5 \text{ мм}$ с углублением по середине и натеками расплавленного металла по краям (рис. 4). Явно видны закалочные трещины.

Структура в зоне оплавления является типичной для сплавов, закаленных из расплавленного состояния при лазерной обработке. Она представляет собой мелкие ячейки светлого поля, очерченные темным полем размера в несколько микрометров (рис. 4). Степень травимости различных макроучастков расплава различна, что свидетельствует о химической неоднородности легированного слоя. Форма макроучастков указывает на конвективный характер перемешивания расплава. Фазовый состав ячейки светлого поля – α -фаза, на границах ячеек - квазиэвтектика.

Ведерникова Ирина Игоревна,
ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
кандидат технических наук, доцент кафедры технологии автоматизированного машиностроения,
admin@tam.ispu.ru

Полетаев Владимир Алексеевич,
ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
доктор технических наук, профессор кафедры технологии автоматизированного машиностроения,
poletaev@tam.ispu.ru

Поверхность анодной пленки пористая, что снижает ее износостойкость при работе в паре трения. При воздействии лазером происходит передача теплоты в глубину металла. В результате алюминий, выплавляясь, поднимается вверх по капиллярам и заливает их, что приводит к получению беспористой, прочной и износостойкой рабочей поверхности детали.

Было изучено влияние лазерного воздействия на фазовый состав покрытия с помощью методов электронной микроскопии. Установлено, что микродифрактограммы поверхности до лазерной обработки являются кольцевыми.

В соответствии с этими результатами структура может быть интерпретирована как ГЦК с периодом решетки $a = 4,051 \pm 0,022$, что соответствует поликристаллическому алюминию. Других фаз, например, оксидов или гидроксидов не обнаружено. Очевидно, оксидное покрытие до обработки не имеет выраженной кристаллической решетки – оно аморфно.

Вид микродифрактограмм после лазерной обработки существенно изменяется. Все полученные микродифрактограммы точечные, что говорит о том, что порошок имеет кристаллическую структуру. Можно говорить о том, что при лазерной обработке в изначально аморфном оксидном покрытии перед его разрушением интенсивно развиваются процессы кристаллизации. Таким образом, удалось подтвердить наличие дисперсно-упрочненного слоя, формирующегося в процессе воздействия лазерного излучения на анодированно-пористую поверхность.

Была проведена проверка коррозионной стойкости различных покрытий. Проверялась модель износа в присутствии электролита. Установлено, что коррозионная стойкость получаемых покрытий на образцах (анодирование, эматалирование, лазерное модифицирование) в щелочной среде и в кислой среде удовлетворительна. Разрыхления получаемых покрытий не наблюдается.