



Российская академия наук
Физический институт
им. П.Н. Лебедева,
Самарский филиал ФИАН

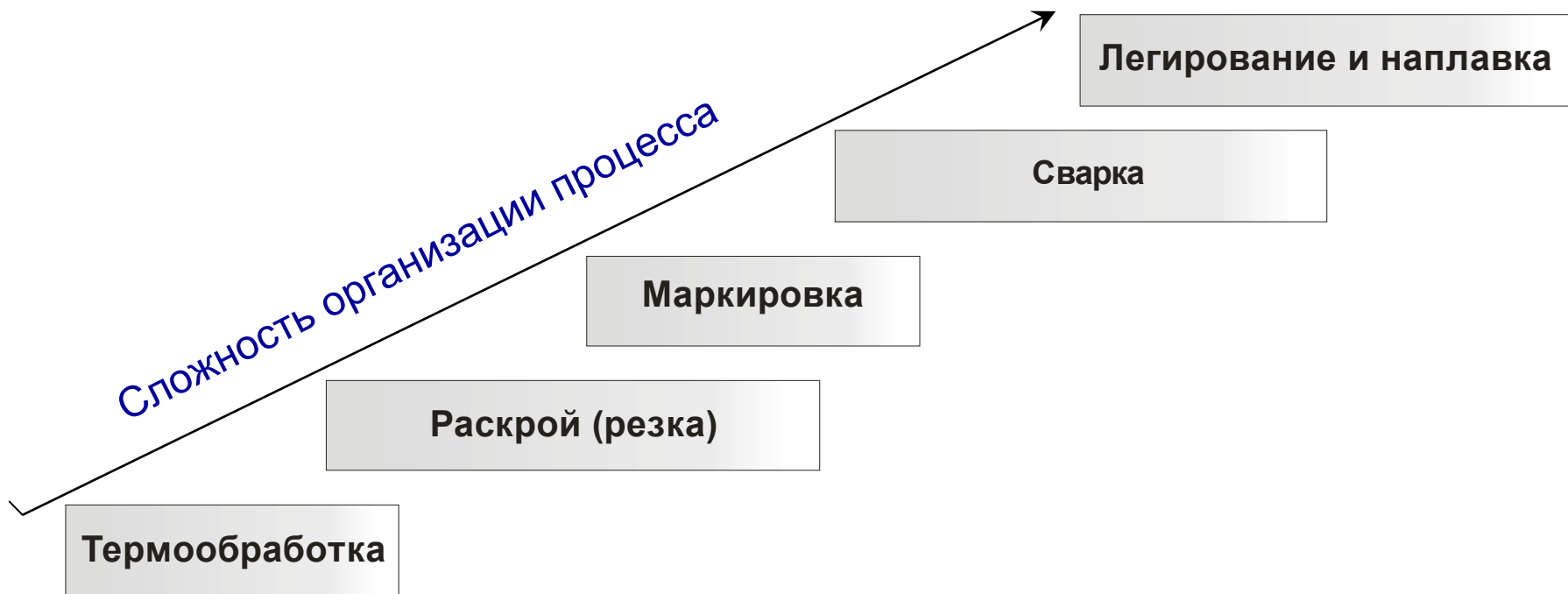


Перспективы импульсного лазерного легирования и наплавки

Гусев Александр Алексеевич
к.т.н., старший научный сотрудник

Воздействие импульсного лазерного излучения на металлы

Технологические процессы



АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ

1. Импульсное лазерное легирование:

- Практически неограниченные возможности модификации поверхности металлов;
- Создание поверхностных слоев с износостойкими, высокотвердыми, температуростойкими свойствами;
- Получение легированных слоев большой глубины (более 1 мм).

2. Импульсная лазерная наплавка:

- Наплавка защитных покрытий:
основа сталь – наплавка молибден;
основа титан – наплавка кобальт;
основа сталь – наплавка титан;
- Восстановление изношенных и дефектных поверхностей:
кромки режущего инструмента, штампов, литьевые формы, прессформы и т.д.
- Залечивание трещин:
поверхностных, разгарных, труднодоступных и т.д.

3. Импульсная лазерная наплавка с последующим легированием:

- Многослойные покрытия для специальных условий эксплуатации:
абразивный износ, адгезионный износ, химическая среда и т.д.

1. Импульсное лазерное легирование

Легирование тонкого (до 100 мкм) приповерхностного слоя

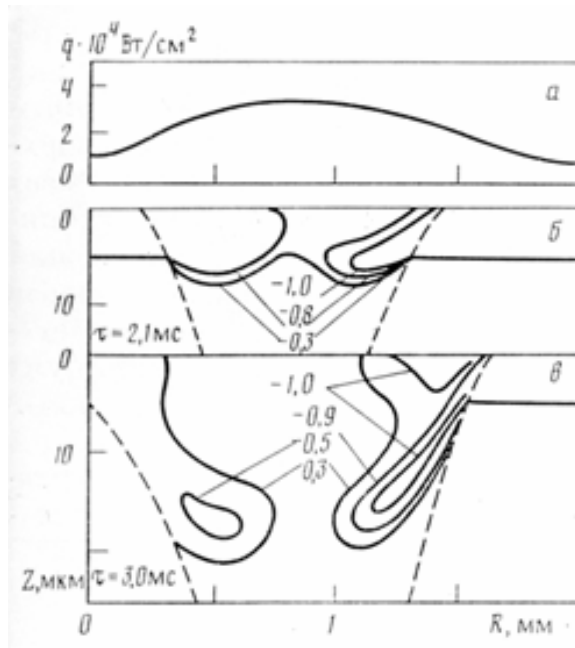


Рис.1

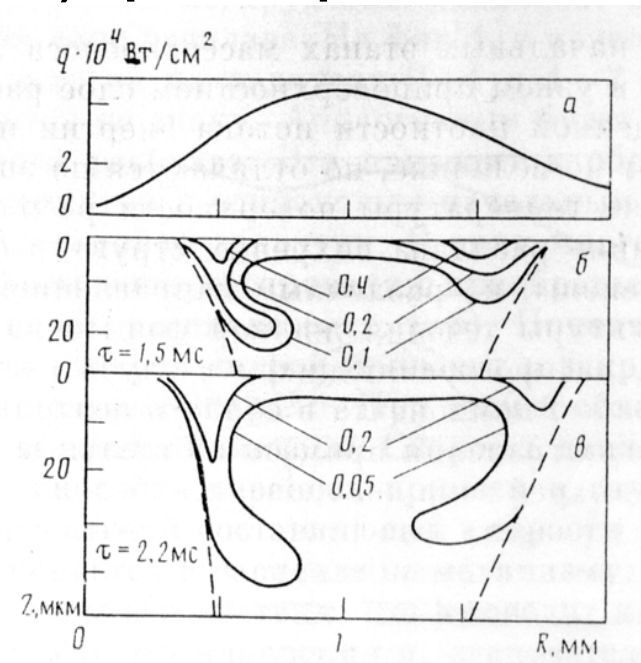


Рис.2

Рис.1 Поле концентрации примеси при легировании железа хромом из предварительно нанесенного покрытия толщиной 5 мкм; зависимость $q(r)$ имеет один локальный максимум и один локальный минимум.

Рис.2 После концентрации примеси при легировании титана азотом из газовой фазы в различные моменты времени.

Цифрами указаны относительные значения концентрации; штриховые линии – положения границы фронта плавления.

Углов А.А., Смуров И.Ю., Тагиров К.И., Гуськов А.Г. Массоперенос легирующих примесей при облучении металлов лазерным импульсом с немонотонным распределением энергии в луче. М.: Металлы, 1991, № 2, с. 187 – 193 [1]. 4

Легирование тонкого (до 100 мкм) приповерхностного слоя

Результаты теоретических исследований

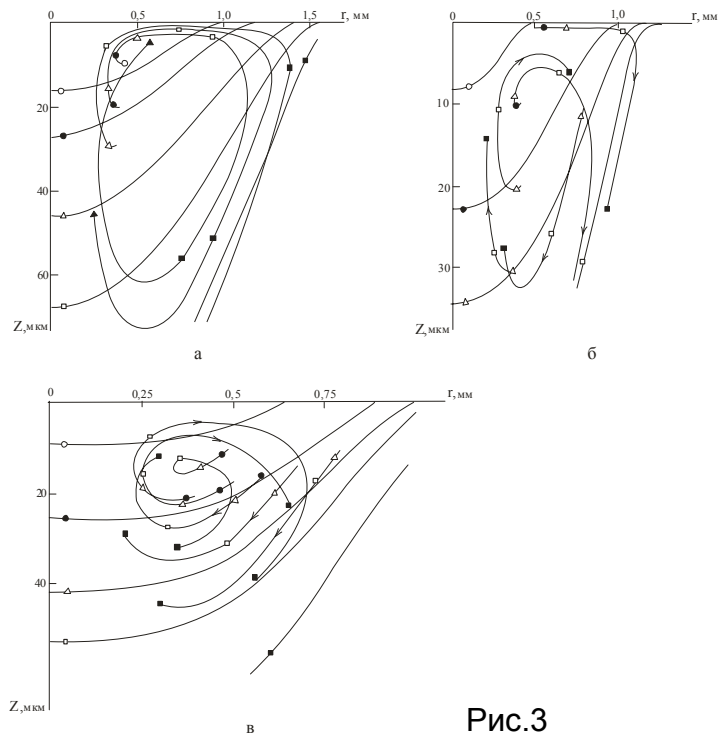


Рис.3



а



б

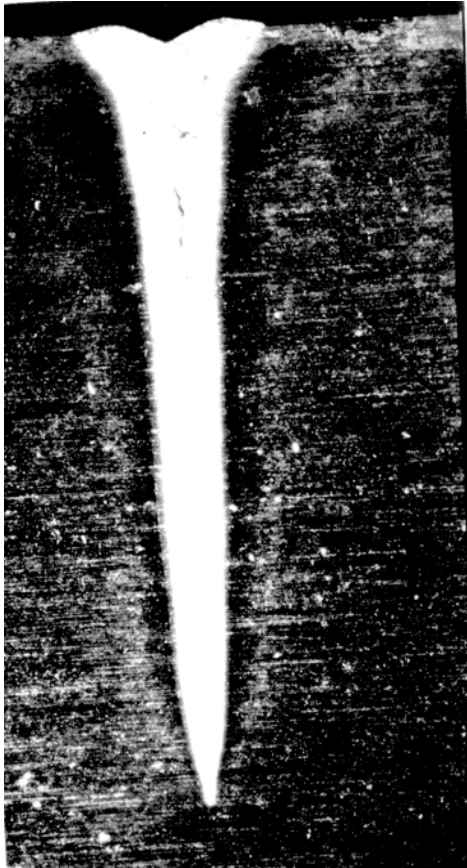
Рис.4

Рис.3 Расчётные траектории движения частиц расплава при плавлении титана.

Рис.4 Конвективные потоки в ванне расплава: а – радиальные, б – продольные.

Углов А.А., Смуров И.Ю., Гуськов А.Г., Тагиров К.М. Особенности термокапиллярного движения расплава в зоне воздействия концентрированных потоков энергии на металлы. М.: Теплофизика высоких температур. 1988г., Т.26, №5, с.953-959 [2].

Легирование с большой глубиной залегания примесей



Энергия в импульсе – 20 Дж;
Длительность импульса – 15 мс;
Глубина плавления – 6,5 мм;
Средний диаметр расплава – 0,65 мм;
Скваженность (отношение длины к диаметру) – 10.

Рис.5 Фото продольного осевого сечения расплава металла в условиях «кинжального» проплавления.

Легирование с большой глубиной залегания примесей

Влияние кратности облучения



а



б



в

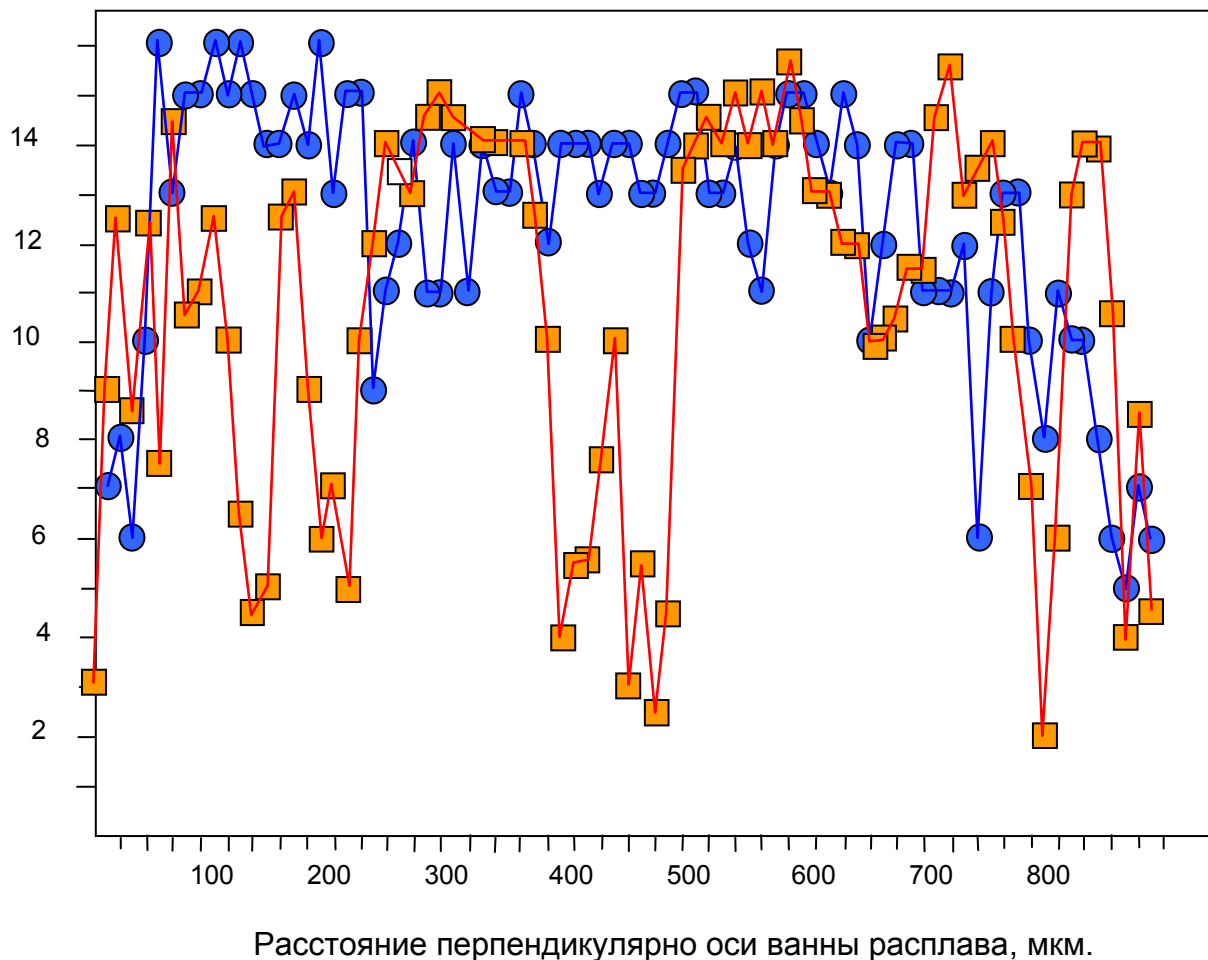


г

Вид продольных шлифов на образцах Ti-TiN_2 для энергии в импульсе излучения 15,0 Дж:
а – однократное облучение, б – двукратное, в – трехкратное, г – четырехкратное облучение

Легирование с большой глубиной залегания примесей

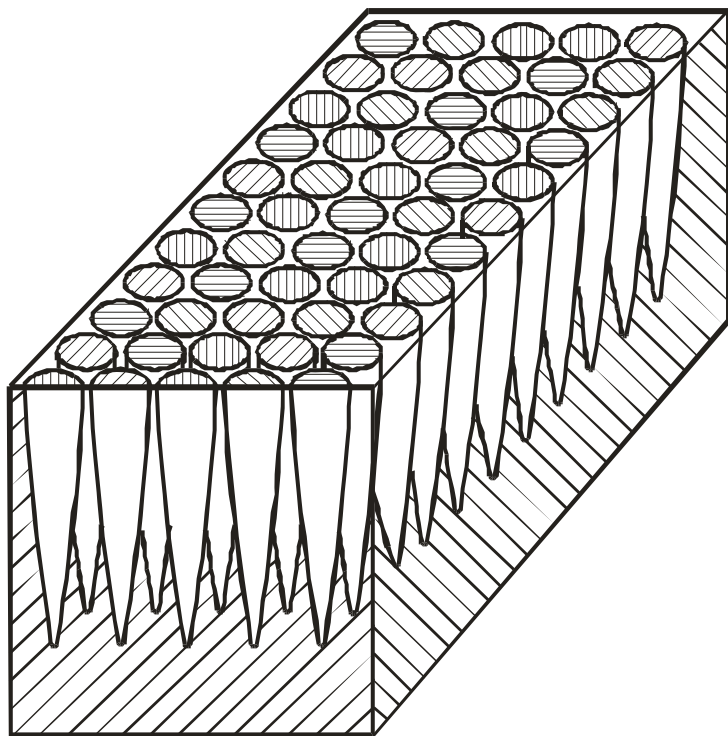
Распределение плотности почернения на шлифах вдоль линии перпендикулярно оси ванны расплава на глубине 250 мкм.



Отклонение концентрации примеси от среднего значения для однократного облучения составляет $\pm 26\%$, для четырехкратного: $\pm 19\%$.

Легирование с большой глубиной залегания примесей

Поверхность детали, упрочненная легированным «игольчатым каркасом»



Предполагается получение металлических образцов, а в последствии деталей, с поверхностью упрочненной каркасом локальных точечных расплавов с аспектным отношением $h/d \sim 10$ (где h – глубина фронта плавления, мм; d – диаметр расплава, мм) глубиной не менее $4 \div 5$ мм направленных перпендикулярно от поверхности детали в глубь материала – «игольчатый каркас».

Диаметр пятна на поверхности $0,4 \div 0,6$ мм
Глубина легирования $4 \div 5$ мм

2. Импульсная лазерная наплавка

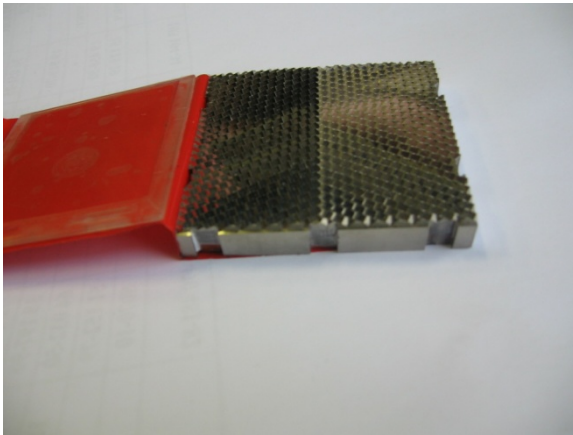
- Наплавка защитных покрытий интерметаллидов (FeMo, FeTi, TiNi и др.).
- Восстановление изношенных дефектных поверхностей (режущий инструмент, штампы, литьевые формы).
- Залечивание трещин (поверхностные, разгарные, труднодоступные и т.д.).



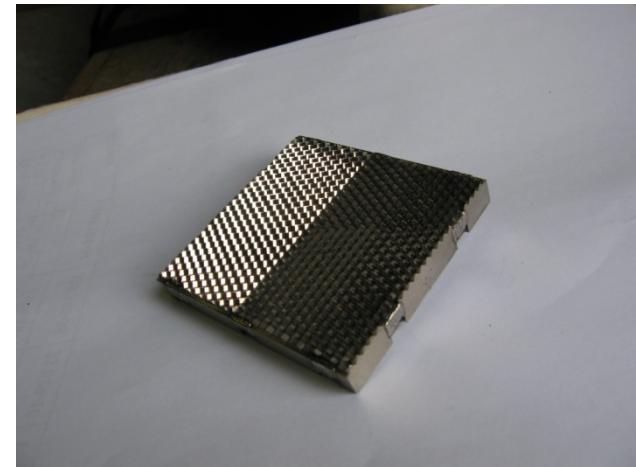
Вставка литьевой прессформы остекления передней блок-фары автомобиля со следами механических дефектов



Вставка деталь после лазерной наплавки



Сегментная вставка отражателя литьевой прессформы задней блок-фары автомобиля

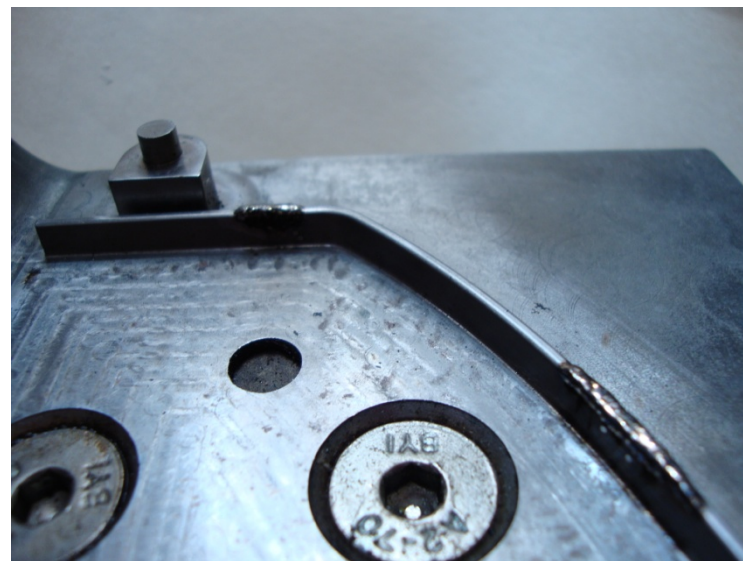
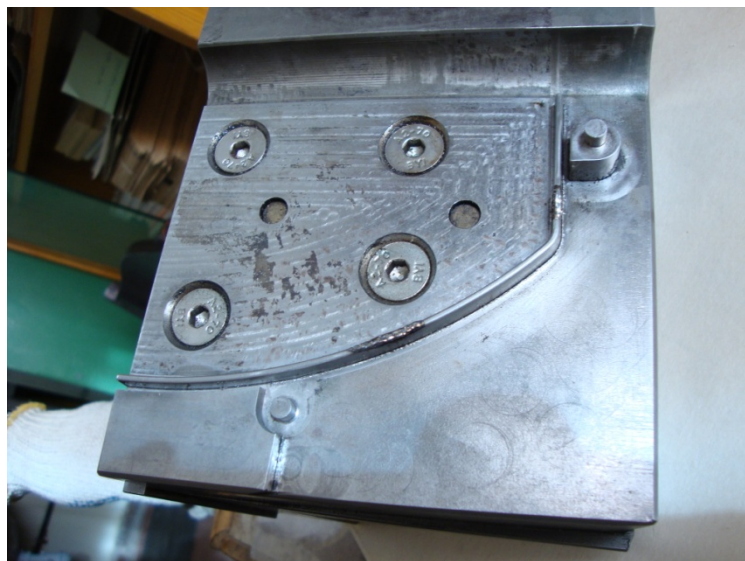


Сегментная вставка деталь после лазерной наплавки

Импульсная лазерная наплавка

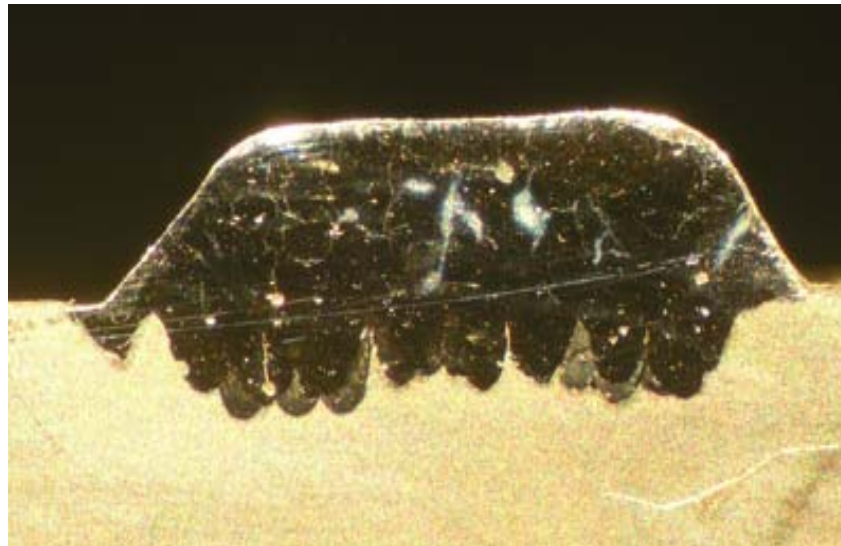
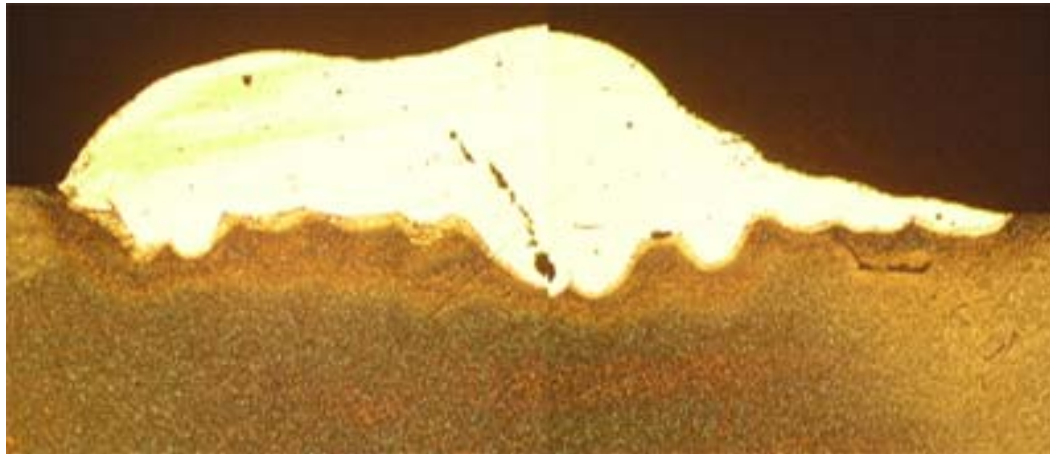


Наплавка направляющих штоков прессформы



Наплавка кромки элемента штампа

Импульсная лазерная наплавка



Продольный и поперечный шлифы зоны наплавки: основа – ШХ15, наплавка – 08Х18Н10Т, диаметр проволоки 0,5 мм. Высота валика 1,8 мм, перемешивание с металлом основы на глубину до 1 мм. Высокая плотность наплавленного валика.

Импульсная лазерная наплавка элементов прессформ после износа или поломки



Внешний вид базовой импульсной лазерной установки НТФ-150



Рабочее место оператора на установке импульсной лазерной наплавки элементов прессформ (г.Ульяновск)

3. Импульсная лазерная наплавка с последующим легированием

- Многослойные покрытия для специальных условий эксплуатации деталей и механизмов (абразивный износ, адгезионный износ, химическая среда и т.д.)

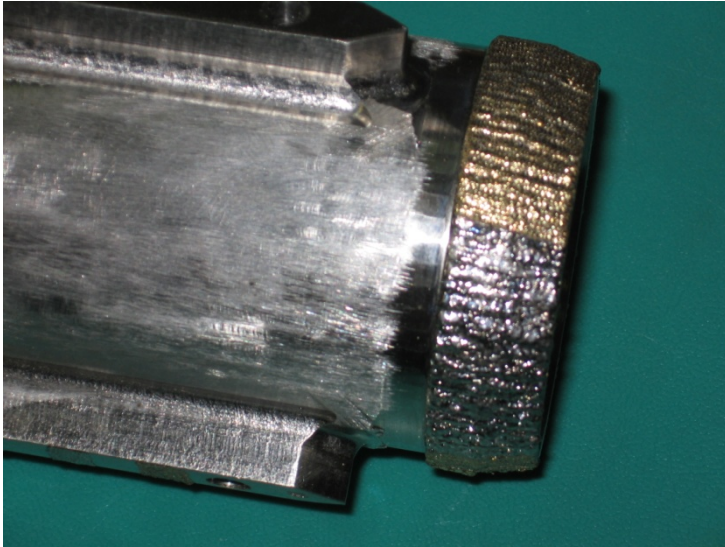


Новый корпус измерителя расхода нефти

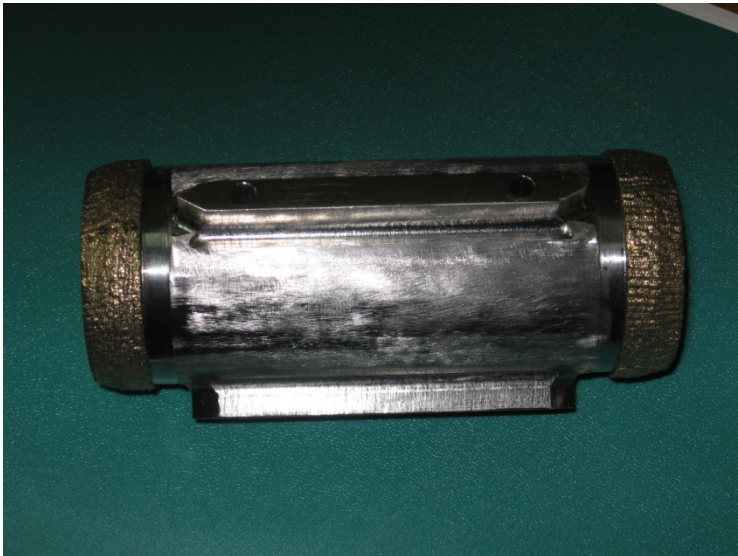


Корпус измерителя после 49 часов эксплуатации

Импульсная лазерная наплавка с последующим легированием



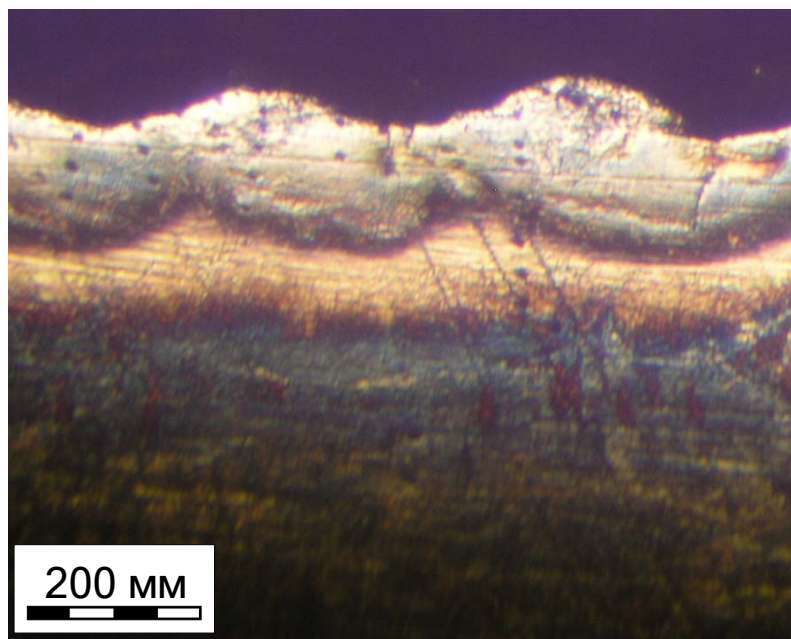
Корпус измерителя на этапе обработки –
наплавка титана с последующим
легированием нитридом титана



Окончательно обработанный корпус измерителя.
Основа – нержавеющая сталь;
наплавка – титан;
легированный слой – нитрид титана

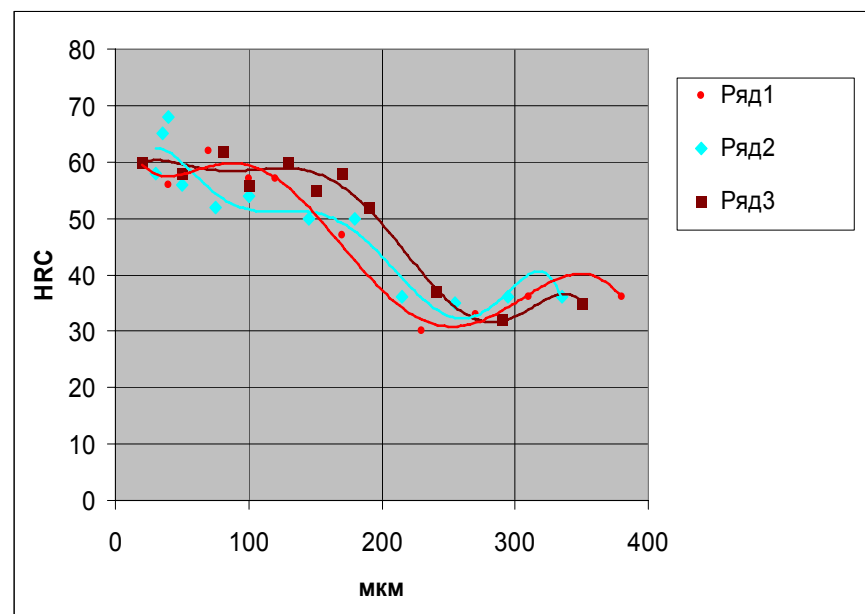
Импульсная лазерная наплавка с последующим легированием

Структура модифицированного слоя



Микрошлиф поперечного сечения наплавленного слоя титана с легированным нитридным покрытием

График зависимости микротвёрдости наплавленного слоя от глубины нитридного слоя



Перспективы импульсного лазерного легирования и наплавки

Выводы

- 1. Импульсное лазерное легирование позволяет эффективно модифицировать поверхность деталей как в тонком приповерхностном слое (до 100 мкм), так и в слоях с большой глубиной залегания примеси (до 5 мм).**
- 2. Импульсная лазерная наплавка является эффективным способом восстановления изношенных, дефектных, разрушенных в ходе эксплуатации дорогостоящих деталей и механизмов (штампы, литьевые формы, пресформы, валы, втулки и т.д.).**
- 3. Комбинированный способ лазерной наплавки с последующим легированием открывает новые возможности упрочнения (микротвёрдость до 70 HRC), работающих в тяжёлых условиях эксплуатации.**

Литература

1. Углов А.А., Смуров И.Ю., Тагиров К.И., Гуськов А.Г. Массоперенос легирующих примесей при облучении металлов лазерным импульсом с немонотонным распределением энергии в луче. М.: Металлы, 1991, № 2, с. 187 – 193 [1].
2. Углов А.А., Смуров И.Ю., Гуськов А.Г., Тагиров К.М. Особенности термокапиллярного движения расплава в зоне воздействия концентрированных потоков энергии на металлы. М.: Теплофизика высоких температур. 1988г., Т.26, №5, с.953-959 [2].
3. Каюков С.В., Гусев А.А., Гусева Г.В., Зайчиков Е.Г., Нестеров И.Г. Структура конвективных потоков в условиях глубокого плавления металлов импульсным лазерным излучением миллисекундной длительности. ФХОМ, 2009, №6, с.5-11.
4. Каюков С.В., Гусев А.А. Устойчивость расплава в парогазовом канале при плавлении металлов импульсным лазерным излучением. Квантовая электроника, т.23, №11, 1996, с. 5-8.