

**Муниципальное бюджетное образовательное учреждение Физико-математический  
лицей  
города Сергиев-Посад**

**Всероссийская конференция «Юные техники и изобретатели»**

**Название работы: «Упрочнение и пассивирование поверхности стальных изделий  
микродеформированием»**

**Тема: Освоение Арктики**

Автор работы: Суров Василий Андреевич, 15 лет  
Научный руководитель: Классен Николай Владимирович, ИФТТ РАН

## Оглавление

- Введение:
- Методика
- Экспериментальные результаты
- Прототип установки
- Заключение
- Библиографический список
- Приложения

## Введение

Актуальность темы данного проекта определяется, в первую очередь, тем, что сплавы железа (в частности различные виды стали) уже более двух веков остаются главным конструкционным материалом обширного круга всевозможных механизмов и устройств. Этому типу материалов посвящено наибольшее количество научных публикаций и патентов. Однако до сих пор остается невыясненным множество вопросов по технологическим приемам получения сталей с заданными свойствами и факторами формирования тех или иных физико-химических характеристик этих материалов. Одному из этих вопросов – разработке новых технологически простых и экономичных методик механического и антикоррозионного упрочнения поверхности сталей посредством ее микродеформации и посвящен данный проект. Работы по упрочнению и антикоррозионной защите поверхности занимают в этом наборе обширное поле. Наш проект посвящен обработке сталей при комнатной температуре с помощью локальной деформации с целью образования в приповерхностной области особой структуры с улучшенными механическими и химическими характеристиками. Применение предлагаемой методики может быть особенно эффективно в труднодоступных местах – например, для обработки трубопроводов в условиях Арктики или под водой. Применительно к освоению Арктики наша технология упрочнения и пассивирования стальных конструкций представляет дополнительный интерес для обработки корпусов кораблей, что не только повысит их сопротивление коррозии, но и уменьшит трение об лед.

Мы провели сравнительный анализ ныне существующих методик обработки сталей и сделали вывод, что все из них либо малоэффективны, либо очень энергозатратны (табл. 1).

## Методика

Механизм формирования квазипериодического рельефа состоит в том, что первоначально под нажимом шарик (к примеру, шарик в стержне шариковой ручки) утапливается в материал на определенную глубину, а вокруг шарика образуется навал выдавленного материала. При движении шарика зоны утопленного и выдавленного материала сдвигаются вместе с ним. Но при таком перемещении материала вместе с шариком в материале непрерывно идет деформационный процесс, и накапливаются структурные дефекты, которые начинают препятствовать дальнейшему перемещению. Когда величина силы, необходимой для дальнейшего передвижения навала перед шариком, становится равной силе, необходимой для того, чтобы шарик поднялся на гребень навала и переехал через него, навал остается на месте, а движущийся шарик начинает следующий цикл формирования области с увеличенной концентрацией структурных дефектов в окрестности навала. Если режим нагружения или движения шарика изменить, характеристики рельефа изменятся. Поэтому «старый» рельеф должен сглаживаться с утапливанием дефектных «околонавалных» областей в приповерхностный слой. Таким образом, ожидается получить в приповерхностном слое квазипериодическую модуляцию содержания структурных дефектов.

Диффузионные перемещения инородных атомов в твердых телах заметно быстрее происходят в зонах с повышенным содержанием структурных дефектов. Поэтому можно ожидать, что в околонавалных областях диффузия атомов с поверхности вглубь (например, атомов углерода) будет идти заметно быстрее, чем в областях с низким содержанием дефектов. Таким путем планируется произвести модулированное легирование приповерхностных слоев упрочняющими атомами (прежде всего – атомами углерода).

## Экспериментальные результаты

### Эксперимент №1

Оборудование: поляризационный микроскоп, стальная пластина, шариковая ручка

Суть эксперимента: посредством прокатки шариковой ручки по стальному листу образовалась продольная канавка, по обе стороны канавки ясно видны неровности исходной поверхности стали. В канавке также присутствуют неровности, но их количество стало заметно меньше, т.е. обкатывающий шарик оказал на поверхность разглаживающее воздействие.

#### Результаты

-Получены экспериментальные подтверждения возможностей варьировать в широком диапазоне микроструктуру поверхности канавок, получаемых при сжимающе – сдвиговом деформировании поверхности стали. Образованы канавки как с гладким микропрофилем, так и модуляцией дна канавки периодически повторяющимися выступами (рис. 1,2)

-Обнаружено, что при усилении скорости массопереноса стали инструментом, движущимся вдоль канавки, форма ее дна от микроскопически гладкой преобразуется в модулированную микробороздами, параллельными направлению канавки в целом (рис 3,4)

Так как при прокатке шариком по стали мы создаем более плотное расположение молекул в приповерхностном слое, на поверхности стали не может образоваться оксид стали из-за того, что он больше по объему, чем молекула стали и он просто не может пройти сквозь плотный слой, а значит, при прокатке мы можем увеличить стойкость стали к окислению

### Эксперимент №2

Оборудование: поляризационный микроскоп, стальная пластина, шариковая ручка

Суть эксперимента: мы закрепили кусок йодистого цезия под микроскопом, а с боковой стороны начали катать шариковой ручкой.

#### Результаты

-Во время эксперимента были зафиксированы линии движения дислокаций йодистого цезия в поляризованном свете (рис. 5)

### Эксперимент №3

Оборудование: банка краски, поляризационный микроскоп, кусок йодистого цезия, шариковая ручка

Суть эксперимента: мы нанесли на поверхность йодистого цезия краску и попытались применить нашу технологию. Благодаря этому, как мы можем видеть на рисунке 6,7, краска продиффундировала на глубину порядка 10 микрометров

1 микрометр =  $10^{-6}$  м

### Теоретический расчет коэффициента диффузии

Дано:

$t = 100$  с

$L = 10$  микрометров

$D = ?$

Решение:

$$L = \sqrt{D \cdot t}$$

Проведя расчеты, получим:

$$D = 10^{-12}$$

Данный результат мы получили при комнатной температуре ( $20^\circ\text{C}$ )  
Обычные же коэффициенты в твердых телах примерно  $= 10^{-20}$

### Результаты

-Экспериментальным путем было доказано, что наша технология многократно ускоряет процесс диффузии.

### **Прототип установки**

Мы создали прототип установки, работающей на нашем методе (рис. 8,9). Благодаря трем установленным моторам (двух сзади, приводящих в движения вал, на который намотана железная струна, на которую закрепляется каретка, и одному спереди, приводящем в движение саму плоскость, на которую кладется деталь) мы можем обкатывать изделие шариком сразу по двум направлениям.

### **Заключение**

Основываясь на результатах проведенных экспериментов можно сделать вывод, что данный метод является достаточно экономичным и простым. Обработанный данным методом металл может быть использован в промышленности, строительстве и вообще при обработке любых стальных конструкций (мостов, трубопроводов и т.д.). Кроме упрочнения, данный метод позволяет повысить стойкость стали к окислению.

### **Библиографический список**

Классен Н.В., Кобелев Н.П., Колыванов Е.Л., Орлов В.И., Шмытько И.М., Клубович В.В., Кулак М.М.: "Особенности структуры и свойств поверхности металлов, подвергнутых деформационной полировке",

### **Приложения**

Вид метода	Подвид метода	Краткое описание	Преимущества	Недостатки
Термический способ обработки	Закалка	Нагрев выше критической температуры с последующим быстрым охлаждением	Большое увеличение механической прочности	Энергозатратность
Механический способ обработки	Обкатывание	Обкатка шариком или роликом поверхности металла для уменьшения количества структурных дефектов	Дешевизна	Малое увеличение механической прочности
	Алмазное выглаживание	Обработка абразивной лентой с алмазным напылением	Дешевизна	Малая эффективность
Химико-термический способ обработки	Цементация	Насыщение малоуглеродистой стали углеродом с целью повышения твёрдости, износоустойчивости.	Большое увеличение механической прочности и стойкости к коррозии	Энергозатратность
Газотермическое напыление	Электродуговая металлизация	Нагрев (до плавления) электрической дугой в распылителе сходящихся проволок. Капли расплавленного металла сдуваются затем газовым потоком в направлении подложки, где и создается металлопокрытие.	Большое увеличение механической прочности и стойкости к коррозии	Энергозатратность
Наплавка	Наплавка под флюсом	На поверхность заготовки при помощи сварочного оборудования наносится слой металла, сварочная дуга между сварочным электродом и металлической деталью защищается с помощью слоя предварительно расплавленного флюса	Большое увеличение механической прочности и стойкости к коррозии	Энергозатратность

Таблица 1. Сравнение методов обработки стали

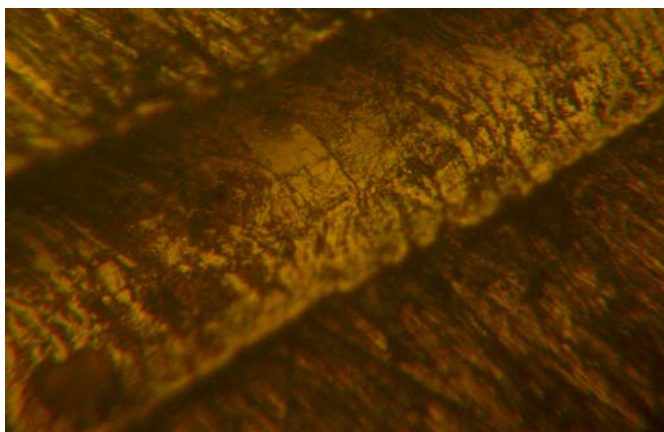


Рисунок 1. Вид поверхности металла после механического воздействия шариком с давлением примерно 0,5 кг

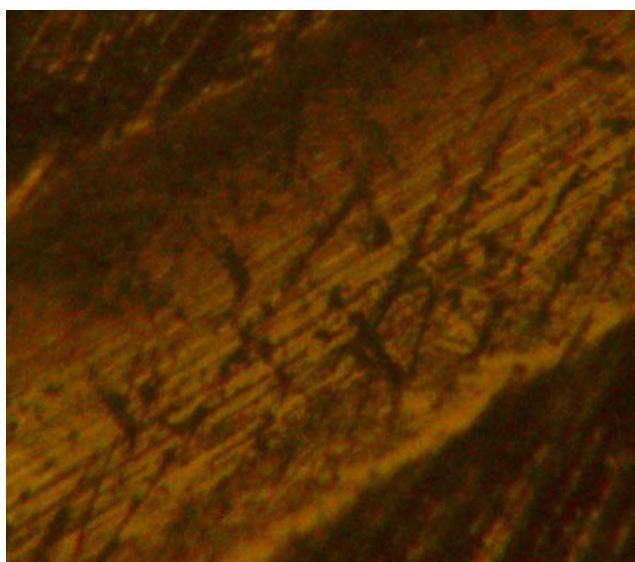


Рисунок 2. Вид поверхности металла после механического воздействия шариком с давлением примерно 1 кг

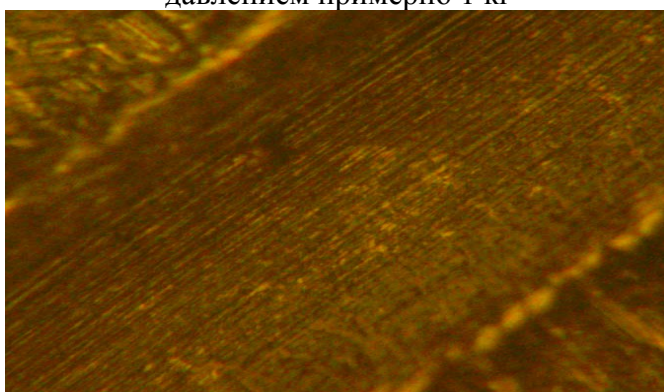


Рисунок 3. Вид поверхности металла после механического воздействия шариком с давлением примерно 2 кг

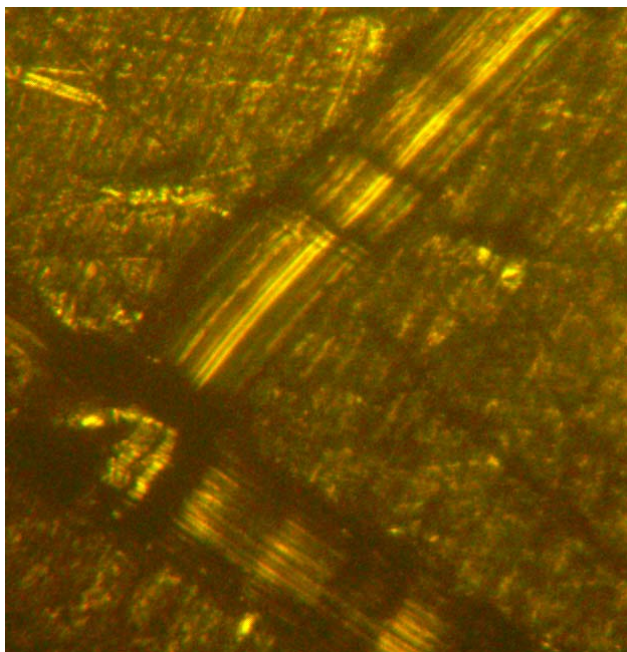


Рисунок 4. Вид поверхности металла после механического воздействия шариком с давлением примерно 3 кг



Рисунок 5. Вид линий движения дислокаций в йодистом цезии

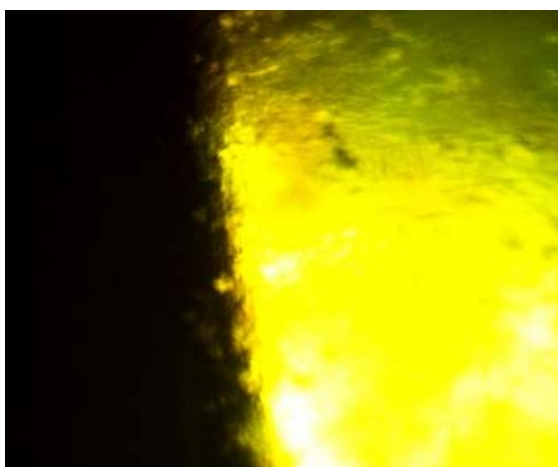


Рисунок 6. Йодистый цезий до обработки



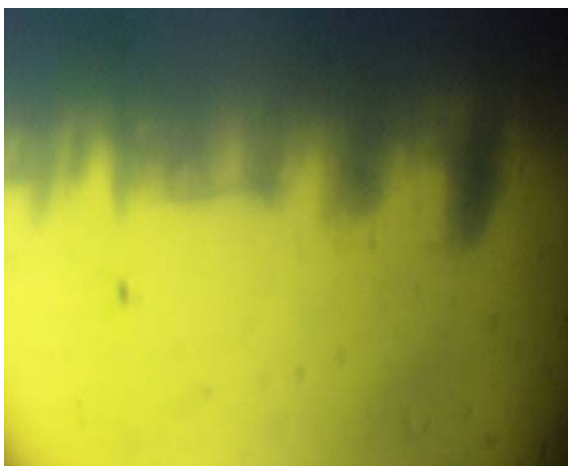


Рисунок 7. Продиффундировавшая краска в йодистый цезий после обработки



Рисунок 8. Основная часть установки. На каретку, закрепленную на двух трубках, устанавливается обкатывающий инструмент (возможно так же закрепление шариковой ручки)

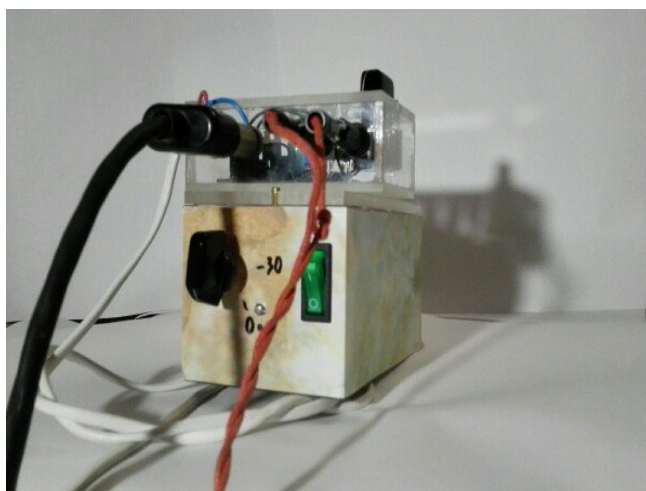


Рисунок 9. Блок управления установкой. Два регулятора позволяют варьировать скорость движения обкатывающего шарика в широком диапазоне