

**ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И ИЗНОСОСТОЙКОСТИ
УПРОЧНЕННЫХ СЛОЕВ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКОЙ**

1) Белорусский национальный технический университет, 2) ОАО «МЗКТ»

В статье представлены результаты исследования структуры, микротвердости и износостойкости поверхностных слоев, упрочненных лазерной обработкой (легированием и закалкой). Полученные результаты позволили определить область оптимальных параметров лазерной обработки, обеспечивающих высокий уровень свойств и необходимую глубину проплавления.

Обеспечение научно-технического прогресса в машиностроении связано, прежде всего, с созданием новых конструкционных материалов и совершенствованием технологий их упрочнения. Благодаря успехам современного материаловедения создан широкий спектр материалов различного назначения с высокими эксплуатационными свойствами. Наиболее распространенными среди металлических конструкционных материалов являются сплавы на основе железа и, прежде всего, стали и чугуны. Поэтому проблема совершенствования технологических методов упрочнения конструкционных сталей и чугунов остается весьма актуальной.

В настоящее время в связи с тем, что все больше узлов и механизмов работает в тяжелых эксплуатационных условиях – при постоянно возрастающих скоростях и нагрузках – серьезно ужесточаются требования к качеству продукции машиностроительной отрасли, в частности свойствам рабочих поверхностей деталей. Расширение применения легированных сталей с высокими физико-механическими свойствами, которые для Республики Беларусь являются статьей импорта, малоэффективно из-за их высокой стоимости. Решить проблему можно за счет применения упрочняющих технологий (газотермическое нанесение покрытий, лазерная ТО, ХТО).

Развитие инженерии поверхности предполагает разработку технологических процессов нового уровня, позволяющих модифицировать поверхностный слой, радикально менять его структуру и свойства. Для модифицирования поверхности металлов предпочтение отдается методам упрочняющей обработки, использующих в качестве теплового источника концентрированные потоки энергии: лазерные, ультразвуковые, высокочастотные индукционные и другие.

Обработка материала сфокусированным излучением лазера является научным и техническим направлением технологии машиностроения и других областей промышленности, появившимся после 1960 года, когда были созданы мощные импульсные генераторы монохроматического излучения.

В разработке теоретических основ процессов воздействия мощных световых потоков на материалы и в практических применениях указанных процессов достигнуты значительные успехи, однако лазерная обработка материалов не является ещё установленным и законченным разделом теории и практики обработки материалов концентрированными потоками энергии.

Применение различных типов лазеров во многих областях машино- и приборостроения и правильная их эксплуатация невозможны без четкого представления о принципах работы оптических квантовых генераторов и об основных физических явлениях, в них происходящих.

Преимущества и перспективность использования лазеров в машиностроении определяются не только прогрессом в области собственно лазерной техники, но и научно обоснованным выбором оптимальных для каждого конкретного применения режимов работы лазера и параметров его излучения.

Одной из областей широкого использования лазеров стала промышленная обработка материалов, особенно после появления лазеров высокой мощности. Лазерный луч применяется для резания и сверления отверстий, сваривания материалов и термообработки, обработки тонких металлических и неметаллических плёнок, получения на них рисунков и микросхем. Доводка номиналов пассивных элементов микросхем и методы получения на них активных элементов с помощью лазерного луча получили дальнейшее развитие и применяются в производственных условиях. Лазерная обработка материалов позволяет значительно повысить эксплуатационные характеристики и физико-механические свойства поверхностей деталей.

На сегодняшний день для таких предприятий как РУП «БМЗ» г. Жлобин, ООО «ГОСНИП», ОАО «Беларускабель» г. Мозырь и др. актуальной является проблема повышения износостойкости вытяжных роликов в производстве металлической проволоки, корда и другой кабельной продукции.

Одним из перспективных направлений использования лазеров является модифицирование напыленных покрытий (оплавление, легирование и др.) значительно повышающее эксплуатационные характеристики деталей с покрытиями и расширяющее область их применения. Однако для разработки эффективных технологий необходимо исследовать влияние технологических режимов обработки на структуру и физико-механические свойства упрочняемых поверхностей с целью определения области оптимальных значений, обеспечивающих требуемый уровень свойств.

Методика и оборудование для лазерного легирования

В качестве легирующих материалов были выбраны: порошок бориды железа (FeB), карбида хрома (Cr_3C) и бора (B), грануляцией 40..50 мкм в виде водной суспензии толщиной 0,2 мм. Данные материалы при взаимодействии с материалом основы (сталь, чугун) образуют износостойкие компоненты. Для оплавления использовали газовый углекислотный лазер непрерывного действия «Комета-2» с измеренной мощностью 1 кВт. Установка лазерная "Комета-2" предназначена для термической обработки различных материалов лучом газового CO_2 - лазера. Потребляемые газы CO_2 , N_2 , He . Длина волны излучения 9,2 – 10,8 мкм.

Критерием выбора режимов легирования являлись требуемая твердость поверхностного слоя, глубина проплавления основного материала, а также шероховатость упрочненной поверхности. Лазерное легирование производилось на установке «Комета-2» при следующих режимах:

- продольная подача – 50 мм/мин, 150 мм/мин;
- плотность мощности – 1,57 кВт/мм²;
- диаметр луча на обрабатываемой поверхности – 1 мм;
- коэффициент перекрытия – 0,25.

Перекрытия необходимо для того, что бы избежать необработанных участков. Но его присутствие уменьшает твердость поверхности из-за частичного отпуска уже о поверхности.

Закалка также производилась с использованием газового углекислотного лазера непрерывного действия «Комета-2» с измеренной мощностью 1 кВт при следующих режимах:

- продольная подача – 50, 150, 250, 350 мм/мин;
- плотность мощности – 1,57 кВт/мм²;
- диаметр луча на обрабатываемой поверхности – 1 мм;
- коэффициент перекрытия – 0,25.

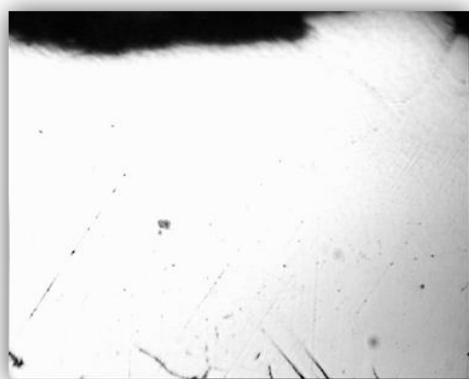
Критерием выбора режимов лазерной закалки являлись твердость и глубина закаленного материала.

При больших подачах происходит заметное снижение свойств закаленной поверхности. При уменьшении подачи, так же происходит снижение эксплуатационных свойств и может произойти оплавление поверхности. Поэтому использование данных режимов не целесообразно.

Исследование структуры покрытий

Структуры покрытий, полученные методом сканирующей электронной микроскопии, представлены на рисунке 1.

Закалка



образец 1 - подача 400 мм/мин

Легирование



образец 1 - Cr_3C

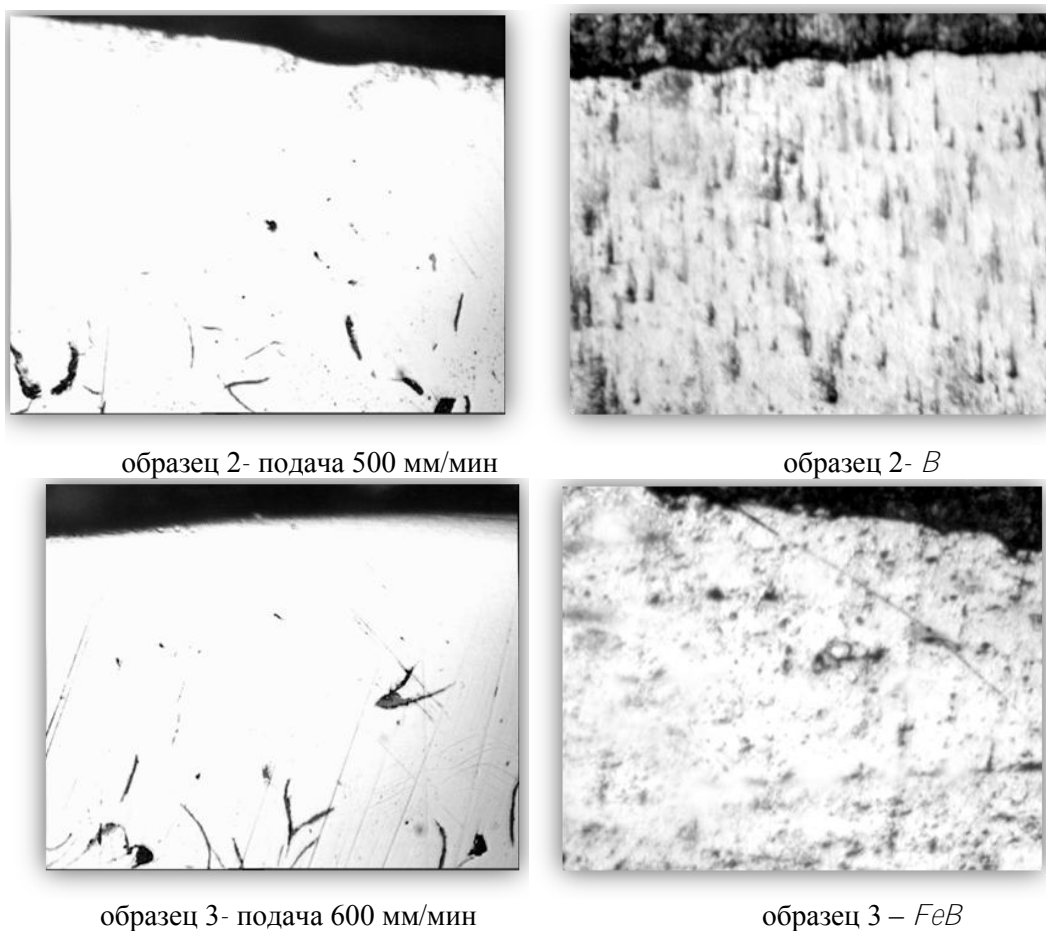


Рис. 1. – Микроструктура покрытий

Как видно из представленных фотографий, у чугуна закаленного при разных подачах заметно изменяется структура. При подаче 400 мм/мин, закаленный слой более глубокий и равномерный, по сравнению с чугуном закаленным с более высокой подачей, у которого заметно меньше упрочненный слой. Так же больше неоднородность структуры, заметны включения графита, что снижает механические свойства упрочненного слоя.

У легированного чугуна граница покрытия и основы является слабо выраженной. Наблюдается переходная зона, состоящая из Fe и Cr (образец 1), Fe и B (образец 2 и 3). Данный факт говорит о повышенных адгезионных свойствах. Более выражена структура Шарпи, т.е. мягкая матрица с твердыми включениями, что очень благоприятно для износостойкости.

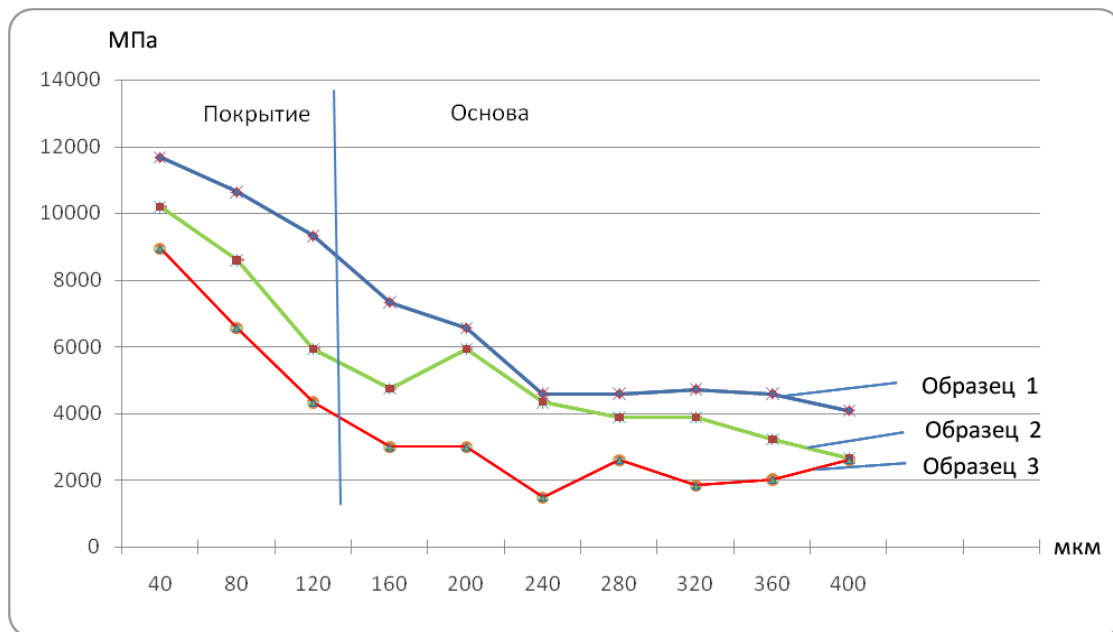
Распределение частиц различных химических элементов по покрытию гетерогенное. Это может свидетельствовать о неоднородности исходных композиций. Также это может быть обусловлено разными условиями застывания частиц.

Вывод: анализ структуры покрытий методом электронной микроскопии показывает, что у покрытий граница с основой не четкая. Распределение элементов по покрытию – гетерогенное, что вызвано предположительно разными условиями застывания частиц.

Исследование микротвердости легированного чугуна

На рис. 2. представлены графики распределения микротвердости чугуна легированного различными элементами.

Как видно из рисунка образец легированные карбидом хрома имеет большую микротвердость и глубину проникновения легирующих элементов в основу, которая составляет 0,2 мм.



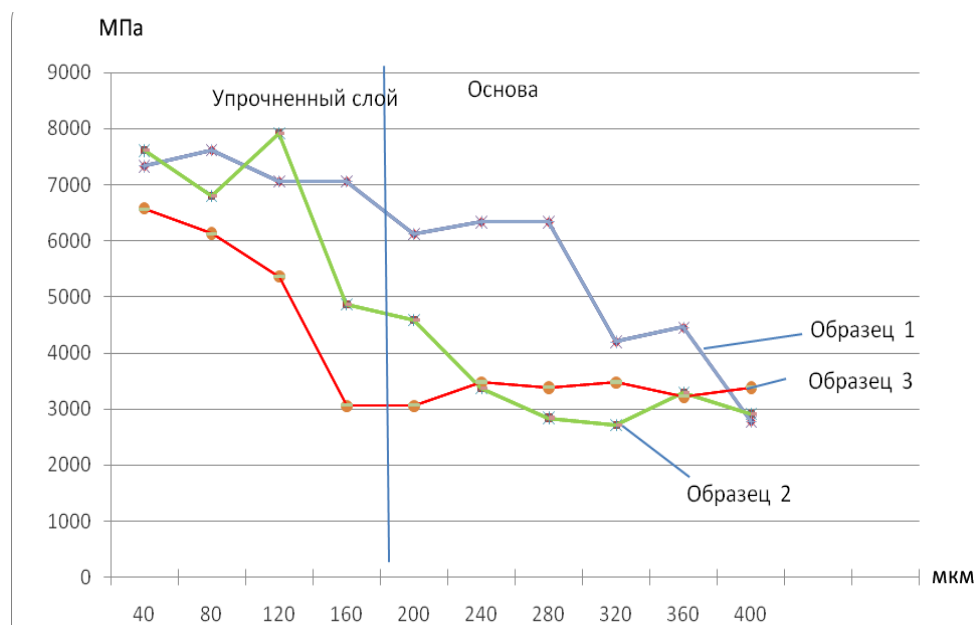
образец 1- Cr_3C ; образец 2- B ; образец 3- FeB

Рис. 2. – Распределения микротвердости по глубине покрытия

Анализ результатов проведенных испытаний показал, что наибольшей микротвердостью обладает образец, модифицированный карбидом хрома (Cr_3C), максимальная микротвердость у него составила 11680 МПа, при изначальной микротвердости чугуна 4590 МПа. Так же у него наблюдается значительно более глубокое проникновение легирующих элементов в основу. Образцы под номером 2 и 3, легированные бором (B) и боридом железа (FeB) соответственно, обладают меньшей микротвердостью и степенью проникновения, что в некоторых случаях ограничивает их применение.

Исследование микротвердости закаленного чугуна

На рис. 3. представлены графики распределения микротвердости чугуна закаленного при различных режимах.



образец 1- подача 400 мм/мин; образец 2- подача 500 мм/мин;
образец 3- подача 600 мм/мин

Рис. 3. – Распределения микротвердости по глубине закаленной поверхности

Как видно из рисунков, при закалке чугуна микротвердость поверхности меньше, чем при легировании, однако глубина упрочненного слоя больше и составляет 0,25 мм. При подаче 400 мм/мин упрочненный слой более равномерный, чем при больших подачах. Так же видно, что при изменении времени влияния лазерного излучения на поверхность, изменяется её микротвердости не одинаково (рис. 4.). Значения микротвердости определялись на глубине 80 мкм от поверхности.

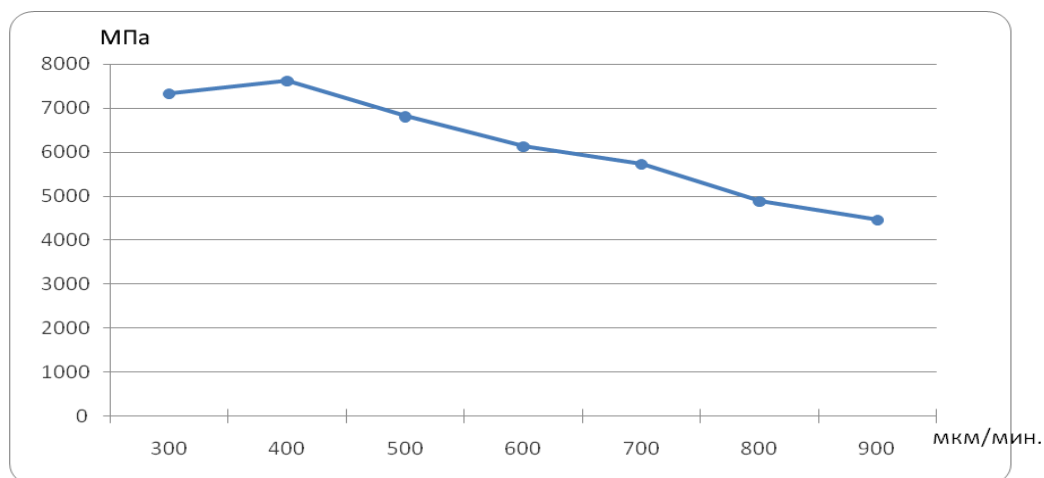


Рис. 4. – Распределение микротвердости в зависимости от скорости перемещения лазерного луча

Вывод. Наиболее твердые образцы, легирующим элементом у которых является карбид хрома, а также закаленные с подачей 500 мм/мин и более. Их можно рекомендовать для упрочнения чугунных деталей типа роликов и бандажей, как наиболее перспективный способ. Другие композиции можно использовать для упрочнения других менее ответственных деталей.

Исследование износостойкости покрытий

Исследования износостойкости проводились экспресс-методом на машине торцевого трения по схеме диск – втулка в условиях сухого трения. В качестве входных параметров были выбраны нагрузка и время испытания. Они менялись на двух уровнях: минимальном и максимальном. Значения нагрузки составили 100 Н и 1000 Н, время испытаний - 300 сек и 12000 сек. Серия состояла из 4 основных опытов.

Сравнительная гистограмма износостойкости чугуна легированного различными элементами представлена на рис. 6., а закаленного чугуна на рисунке 5.

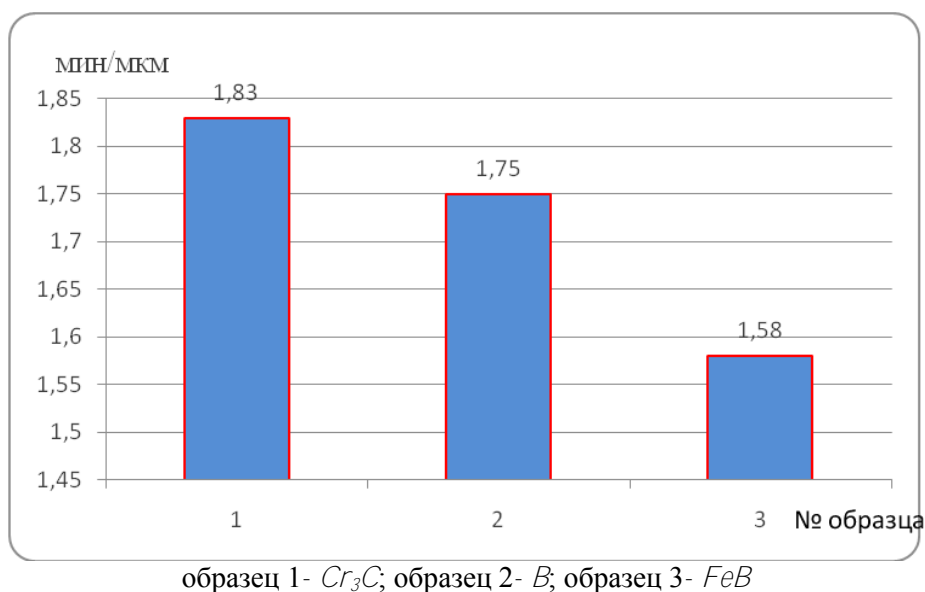


Рис. 5. – Гистограмма износостойкости различных материалов

Как видно из гистограммы, наибольшей износостойкостью обладает образец №1, легирующим элементом у которого является карбид хрома. Наименьшая износостойкость у образца легированного боридом железа. От части, это обусловлено небольшой глубиной проникновения легирующего элемента в основу.

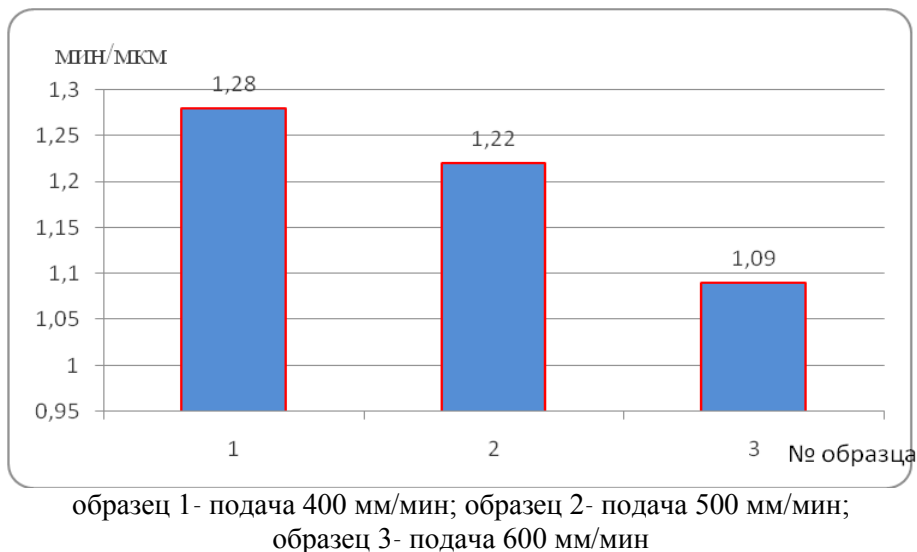


Рис. 6. – Гистограмма износостойкости различных материалов

Набольшая износостойкость у образцов, закаленные с подачей 400мм/мин. При увеличении подачи происходит уменьшение износостойкости из-за недостаточного количества энергии, вложенного в металл. При уменьшении подачи так же происходит уменьшение износостойкости, и поверхность может оплавиться.

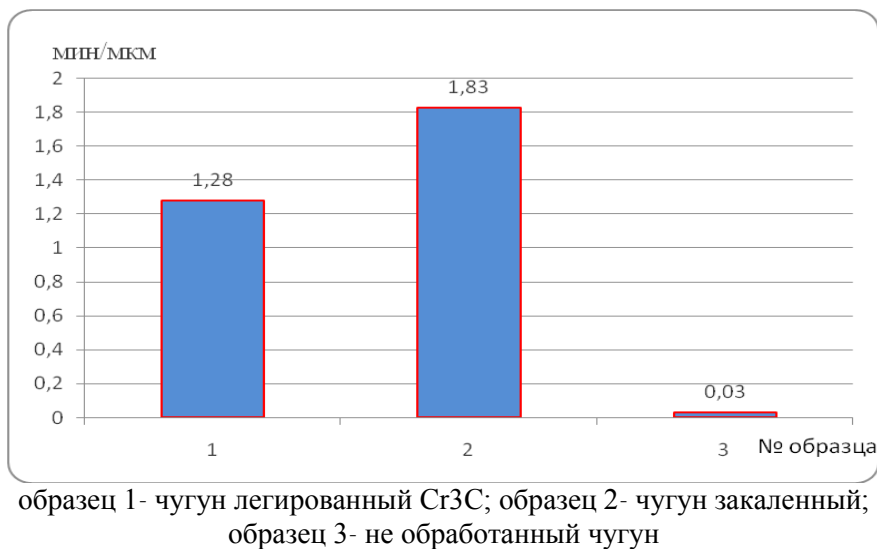


Рис. 7. – Гистограмма износостойкости различных материалов

Вывод. Исследования износостойкости покрытий показали, что легированный чугун обладает большей износостойкостью, по сравнению с закаленным. Как у закаленного, так и у легированного чугуна наблюдается более интенсивное изнашивание в начале процесса трения, что обусловлено процессом приработки. При закалке, наибольшую износостойкость имеет чугун, обработанный лазерным излучением с подачей 400 мм/мин. При снижении подачи, так же снижается и износостойкость, а при увеличении подачи возникает вероятность оплавления поверхности, что так же снижает эксплуатационные характеристики поверхности.