

В результате проведения теоретических и экспериментальных работ доказано, что при воздействии сильного электромагнитного поля происходят довольно существенные структурные изменения в металлических изделиях, приводящие к упрочнению. При увеличении мощности импульса электромагнитного поля от 1 до 5 кДж для образцов из стали 35ХГТ глубина упрочненного слоя увеличилась в среднем в 1,5 раза, а микротвердость – до 235–245 HV, что говорит о перспективности данного метода для упрочняющей обработки стальных изделий. Проходя через проводящий металл, склонный к структурным и фазовым превращениям, импульсный электрический ток действует в первую очередь на элементы структуры, обладающие избыточной запасной энергией, на области со скоплениями дислокаций, примесных атомов, вакансий и т.д., вызывая необратимые физико-химические процессы в металле, которые еще недостаточно изучены. Изучение этих процессов и управление ими может привести к необходимому качеству материалов – повышенной твердости (за счет дисперсионного твердевания), вязкости (за счет получения мелкого зерна), прочности, пластичности, износостойкости. Вместе с тем, высокая технологичность и экологичность магнитных методов воздействия делает их перспективными в плане создания на их базе разнообразных технологий обработки металлов и сплавов.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Дриц, М.Е. Технология конструкционных материалов и материаловедение / М.Е. Дриц, М.А. Москалев. – Мн.: Высш. шк., 1990. – 447 с.
2. Исследование эффектов обработки сильным импульсным магнитным и электрическими полями на пластические и физико-механические свойства материалов для машино- и приборостроения: отчет о НИР / Фонд фундаментальных исследований РБ; Физико-технический институт НАН РБ. Проект №Т94-367, № ГР. 19942666. – Минск, 1997.
3. Кидин, И.Н. Термическая обработка стали при индукционном нагреве / И.Н. Кидин. – М., 1950. – 316 с.
4. Счастливец, В.М. Электронно-микроскопическое исследование структуры кристаллов мартенсита, зародившихся под действием импульсного магнитного поля / В.М. Счастливец [и др.] // Физика металлов и материаловедение. – 1981. – Т. 51. – Вып. 4. – С. 773–782.
5. Пинчук, Л.С. Материаловедение и конструкционные материалы // Л.С. Пинчук, В.А. Струк, Н.К. Мышкин, А.И. Свириденко – Мн.: Высш. шк. – 461с.
6. Лахтин, Ю.М. Материаловедение и термическая обработка металлов / Ю.М. Лахтин. – М., 1984. – 360 с.

Материал поступил в редакцию 15.04.12

#### POPOVA Zh.A. Features of physical and mechanical changes of structural steels properties after magnetic-pulse treatment

The objective of this research is to study phase and structural transformations and mechanical properties of structural steel 35 HGT exposed to a pulsed electric current and to develop the technology to improve the durability of machine parts.

In the article analyzes experimental researches of the effects of electromagnetic fields to change the structure and properties of steel 35 HGT used in machine building, and substantiates the efficiency of magnetic-pulse treatment for hardening of metal products.

This article describes experimental studies.

УДК 67.017

**Кострицкий В.В., Лисовский А.Л.**

### ЛАЗЕРНАЯ ОБРАБОТКА ГИЛЬЗ ЦИЛИНДРОВ

**Введение.** Совершенствование двигателей внутреннего сгорания (ДВС) связано с повышением мощности и снижением расхода топлива. Эти мероприятия обеспечиваются впрыскиванием бензина в цилиндры, регулированием фаз газораспределения, уменьшением рабочего объема и применением высокого наддува [1]. Форсирование ДВС связано с повышением эксплуатационных характеристик: давления в камере сгорания, числа оборотов коленчатого вала, удельной мощности на единицу массы двигателя. Все эти методы в различной мере повышают механические и тепловые нагрузки на детали ДВС. Особенно актуальна проблема снижения трения в трибосопряжениях ДВС. При испытаниях бензиновых ДВС по новому европейскому циклу около 20% топлива расходуется на преодоление трения. Для дизелей эти расходы еще больше [2]. Потери на трение связаны с изнашиванием ДВС. Перевод высокооборотных дизелей на тяжелое топливо приводит к повышению износа цилиндропоршневой группы (ЦПГ) в 2 раза [3]. Исходя из этих условий, научно-технический прогресс постоянно ищет новые технологические приемы упрочнения ЦПГ, в частности, гильз цилиндров с целью существенного улучшения основных технологических свойств: твердости, износостойкости, теплостойкости, коррозионной и адгезионной стойкости. Все эти перечисленные свойства должны позволить сократить затраты на производство и увеличить производительность труда, при этом с точки зрения экономики должны использоваться материалы с меньшим количеством легирующих элементов.

Одним из таких технологических приёмов является упрочнение

поверхностного слоя гильзы цилиндра за счёт изменения его химического состояния или структуры. Упрочнение поверхности может быть достигнуто различными методами, а именно – химико-термической, плазменной, лазерной обработкой и др. Все эти методы применяются в промышленности, каждый из которых имеет свои особенности, преимущества и недостатки. В рамках этой статьи мы рассмотрим последний вариант – лазерное упрочнение.

Работоспособность гильзы цилиндра ДВС во многом определяет ресурс ЦПГ и всего двигателя. Если поршень ДВС относится к быстроремонным деталям, то замена и восстановление гильзы связано с существенно большими затратами. Общая тенденция к снижению массы двигателей привела к тому, что блок цилиндров изготавливается почти исключительно из алюминиевых сплавов [1]. Кроме преимуществ в снижении веса, в снижении трудоемкости изготовления, преимущество алюминиевого блока заключается в лучших условиях охлаждения ДВС за счет высокой теплопроводности алюминиевых сплавов. Поэтому возникла тенденция применения блоков цилиндров из легкого металла с различными втулками. Необходимость применения втулок вызвана низкой износостойкостью алюминиевого сплава в трибосопряжениях ЦПГ [4].

В случае применения в алюминиевом блоке стальных и чугунных гильз остается вечная проблема повышения износостойкости и прочности. Качественно новым методом упрочнения поверхности гильз является лазерная обработка. В течение последних трёх – пяти лет появились мощные газовые лазеры, обеспечивающие в

**Кострицкий Виталий Владимирович**, инженер, аспирант кафедры технологии конструкционных материалов Полоцкого государственного университета.

**Лисовский Александр Леонидович**, к.т.н., доцент, заведующий кафедрой технологии конструкционных материалов Полоцкого государственного университета.

Беларусь, ПГУ, 211440, Витебская обл., г. Новополоцк, ул. Блохина 29.

режиме непрерывной генерации мощность порядка нескольких киловатт. Это особенно важно для обработки таких поверхностей, где мощный лазерный луч имеет преимущества или где необходимо получение сложной геометрии упрочненной поверхности, которая создаёт трудности для применения традиционного теплового метода. На режимах, не вызывающих разрушения материала, реализуются различные процессы лазерной поверхностной обработки. В основе этих процессов лежат необычные структурные и фазовые изменения в материале, возникающие вследствие сверхвысоких скоростей его нагрева и последующего охлаждения в условиях лазерного облучения. Важную роль при этом играют возможность насыщения поверхностного слоя элементами окружающей среды, рост плотности дислокаций в зоне облучения и другие эффекты [5].

В зависимости от степени развития указанных явлений в материале различают несколько видов поверхностной лазерной обработки (рис. 1), возможность реализации которых определяется в основном уровнем плотности мощности излучения и получением необходимых свойств рабочей поверхности.

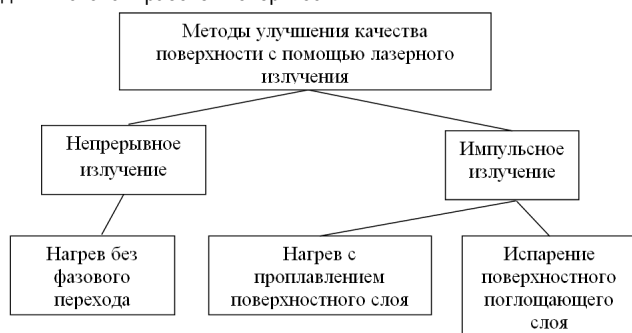


Рис. 1. Методы улучшения эксплуатационных характеристик деталей машин, основанных на использовании лазерного излучения

Для чугунных и стальных гильз цилиндров наиболее действенными способами восстановления лазерной обработкой являются лазерное упрочнение и лазерная наплавка.

**Лазерное упрочнение.** Основой процесса лазерного упрочнения является быстрый нагрев до высокой температуры (температуры плавления) поверхностного слоя металла с последующим быстрым охлаждением путем отвода тепла в основной объем металла, который остается практически холодным. В принципе, необходимое повышение температуры металла можно получить и стандартными методами – нагревом в термической или индукционной печи. Однако эти методы часто являются непригодными из-за неоднородности нагрева. Кроме того, для гильз очень часто необходимо закалить только часть поверхности, а не весь объем детали. Сделать это можно только лазерной обработкой (термообработкой), которая может проводиться с оплавлением и без оплавления поверхностного слоя. Чаще всего используют обработку без оплавления с сохранением исходной шероховатости  $Ra=0,16-1,25$  мкм. Глубина упрочняемого слоя металла определяется величиной допустимого линейного износа.

Производительность лазерного упрочнения определяется

$$G_{\text{лаз.обр.}} = K_{\text{п}} \cdot V \cdot d_0,$$

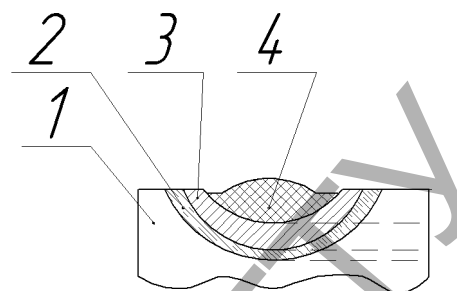
где  $K_{\text{п}}$  – коэффициент перекрытия;

$V$  – скорость движения луча (детали);

$d_0$  – диаметр пучка (ширина дорожки упрочнения),  $d_0 = 1-1,5$  мм.

Возможна обработка перекрывающимися и неперекрывающимися дорожками. При наложении дорожки упрочнения происходит частичный нагрев предыдущей упрочненной зоны, что может привести к отпуску и снижению твердости. При обработке неперекрывающимися дорожками зазор между ними составляет 10–30% от площади обрабатываемой поверхности. Износ уменьшается в 2–3 раза [6]. Если рассмотреть поперечное сечение дорожки, упрочненное лазерным излучением, то в нем можно выделить несколько основных зон (рис. 2): зону оплава (зону закалки из жидкого состояния), зону закалки, зону

отпуска и исходную структуру материала. В ряде частных случаев некоторые из этих зон могут отсутствовать (например, может отсутствовать зона оплава при закалке без оплавления поверхности или зона отпуска при закалке предварительно отожженного металла) [7].



1 – исходный металл, 2 – зона отпуска, 3 – зона закалки, 4 – зона закалки из жидкого состояния

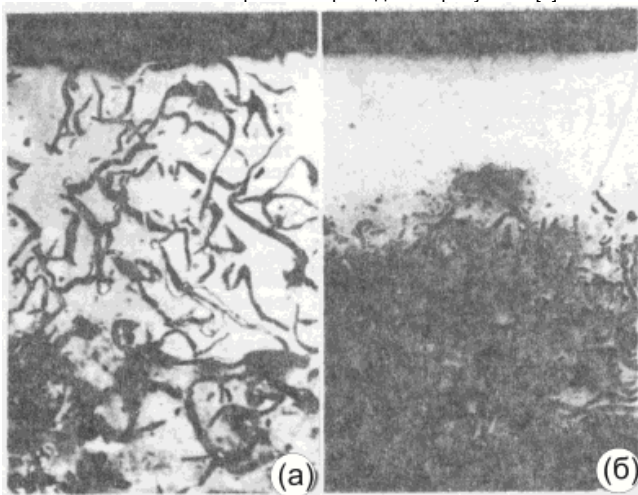
Рис. 2. Схема поперечного сечения зоны лазерной обработки

Для чугунных гильз при лазерной закалке с оплавлением графит чугуна растворяется в расплаве, т.е. затвердевание происходит по метастабильной диаграмме железо – углерод без выделения свободного графита, и после кристаллизации формируется мелкодисперсная структура белого чугуна. Кристаллизация начинается с выделением первичных зерен аустенита, затем при температуре 1147°C происходит образование эвтектики – ледебурита. В структуре зоны оплавления трудно выделить избыточные кристаллы аустенита, в ней содержится мелкодисперсная смесь аустенита и цементита, имеющая дендритное строение. Очевидно, из-за высокой скорости охлаждения кристаллизация избыточного аустенита подавляется и весь расплав затвердевает квазиэвтектически с образованием связи – ледебурита. После обработки количество аустенита зоны оплавления колеблется в пределах 25–65%, цементита в пределах 10–45%, а  $\alpha - \text{Fe}$  в пределах 5–50%. При этом с увеличением скорости обработки количество  $\alpha - \text{Fe}$  увеличивается, а  $\gamma - \text{Fe}$  – уменьшается. Наличие  $\alpha - \text{Fe}$  связано с частичным превращением аустенита в процессе закалки в мартенсит. Присутствие графита в зоне оплавления обусловлено его неполным растворением, а также поступлением из нижних слоев расплава при всплывании графитовых включений. Микротвердость в зоне оплавления составляет 7400 – 10 000 Мпа.

Зона закалки из твердой фазы, характерная и для лазерной обработки с оплавлением, так и без оплавления, отличается очень неоднородной структурой. При лазерной закалке без оплавления фазовые превращения в матрице чугунов связаны с её структурой и со степенью насыщенности её углеродом. В наибольшей степени матрица насыщается углеродом вблизи скопления графита, особенно если они имеют развитую поверхность и время нагрева достаточно продолжительно. При лазерной закалке с оплавлением ниже линии оплавления находится светлая полоса шириной 10–20 мкм, что свидетельствует о том, что здесь имело место значительное насыщение матрицы углеродом из графитных включений. Из-за эффекта «контактного плавления» граница между зоной оплавления и зоной закалки очень неровная. Эффект заключается в том, что металлическая, или ферритная, матрица около графитных включений насыщается углеродом, в результате чего температура её плавления снижается. По этой же причине в верхней части зоны закалки матрица вокруг феррита оплавляется и насыщается углеродом. Степень насыщения на различном расстоянии от графита различна, поэтому около графита образуется светлый слой ледебурита, далее – слой аустенита и, наконец, аустенитно-мартенситная игольчатая структура. Микротвердость этого участка зоны закалки составляет 6400–6770 Мпа.

В нижней части зоны закалки или в зоне отпуска, где насыщение матрицы из графита очень незначительно, в структуру входит мартенсит и остаточный аустенит. Около границы с исходным металлом процесс аустенитизации перлита при нагреве не успевает завершиться, поэтому твердый раствор не насыщен углеродом, микротвердость снижается до 3500–4100 Мпа [8].

Характерный внешний вид упрочненных дорожек без оплавления и с оплавлением поверхности приведен на рисунке 3 [7].



а – закалка без оплавления (x50); б – закалка с оплавлением (x25)  
**Рис. 3.** Структура закаленных зон после лазерной обработки образцов из серого перлитного чугуна излучением CO<sub>2</sub>- лазера

Лазерное упрочнение стальных гильз часто используются в промышленности при упрочняющей обработке с оплавлением поверхности и без оплавления поверхности. Однако по сравнению с упрочнением без оплавления процесс с оплавлением не получил широкого применения и используется, как правило, с целью увеличения глубины зоны лазерного воздействия. Объясняется это тем, что при низких скоростях движения лазерного луча в зоне оплавления образуется микроструктура с пониженным значением микротвердости. Зона оплавления стали имеет столбчатое ячеисто-дендритное строение, причем кристаллы вытягиваются в направлении теплоотвода. Основной составляющей структурой является мартенсит (карбиды обычно растворяются). После лазерной обработки стальных гильз в интервале реально применяемых на практике режимов кратеры шлаковые включения и обезуглероженные зоны в зоне оплавления отсутствуют. При лазерной обработке стальных гильз без оплавления, как и в случае с чугунными, первый слой (зона оплавления) отсутствует.

Зона закалки отличается большой неоднородностью по глубине: ближе к поверхности имеются мартенсит и остаточный аустенит, полученные при охлаждении из области гомогенного аустенита, а ближе к исходному металлу – структуры, полученные при охлаждении из области негомогенного аустенита. Поэтому здесь наряду с мартенситом наблюдаются элементы исходной структуры феррита в доэвтектоидной и цементит в заэвтектоидной стали.

Третий слой образуется при нагреве металла ниже точки Ас<sub>1</sub>. При лазерной обработке предварительно закаленной или отпущенной стали в этом слое имеет место понижение микротвердости, связанное с образованием структуры отпуска – сорбита и троостита.

Принципиального различия в строении и микроструктуре различных слоев после лазерной обработки импульсным и непрерывным лазером нет, имеются лишь отдельные особенности, обусловленные разным временем воздействия [8].

**Лазерная наплавка.** Лазерная наплавка порошковыми материалами обеспечивает получение наплавленного слоя высокой степени однородности и качества без значительного термического влияния на нижележащие слои металла. Применяют порошки хрома, бора, никеля, кремния.

Сущность процесса наплавки заключается в нанесении на поверхность гильзы слоя порошка и последующего его расплавления лучом лазера. Порошок диффундирует в основной металл, а быстрое остывание позволяет получить однородную структуру поверхностного слоя. После последующей шлифовки толщина наплавки может достигать 0,2–0,4 мм, повышение износостойкости увеличи-

вается в 2–3 раза. Лазерная установка предназначена для поверхностного упрочнения металла, содержит в качестве основных элементов лазер с блоком питания, оптическую систему для транспортировки и фокусирования лазерного луча, систему позиционирования обрабатываемой детали, систему управления и контроля параметров обработки.

Лазеры могут быть электроразрядные – CO<sub>2</sub>-лазеры и твердотельные Nd-лазеры. Электроразрядные CO<sub>2</sub>-лазеры имеют большую длину волны (10,6 мкм), электроразрядные возбуждения, прокачку газовой смеси (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, He) по замкнутому контуру. Используются для непрерывной обработки. Мощность – 1–25 кВт. Твердотельные Nd-лазеры работают от активного элемента в виде стержня или пластины. Могут работать в прерывистом и непрерывном режимах. Мощность – до 200 Вт. Созданы до 3 кВт. Длина волны менее 10,6 мкм и, следовательно, более высокое поглощение в металле. Можно использовать транспортировку луча по световолокнам [6].

Ведущие моторостроительные фирмы для поверхностного упрочнения чугунных и стальных гильз применяют лазерное хонингование [9]. Фирма Audi выпустила в серийное производство форсированный дизель с рабочем объемом 3,0 л и турбонаддувом. В этом случае рабочие поверхности чугунных и стальных гильз цилиндров подвергается лазерному хонингованию, в результате чего снижается износ гильз и поршневых колец, на 25% снижается расход масла и на 3% - расход топлива. Наружный слой рабочей поверхности подплавляється на глубину 2 мкм с образованием плазмы паров металла, под действием которой в подплавленный слой проникает атмосферный азот. По окончании действия лазерного импульса слой при охлаждении образует нанокристаллическую структуру с содержанием до 18% азота. Слой толщиной около 200 нм состоит из нитридов и карбидов железа и обладает высокой твердостью и свойствами керамики. По данным фирмы Opel, лазерное хонингование снижает вдвое изнашивание гильз цилиндров и поршневых колец [9]. По данным ЗИЛ, лазерная обработка чугунных гильз повышает их износостойкость до уровня серийной гильзы с нерезиновой вставкой [10].

Также следует отметить такую тенденцию в моторостроении, как замена стальных и чугунных гильз в алюминиевых блоках на алюминиевые гильзы. Для этой цели применяют алюмоматричные композиции, содержащие дисперсные частицы графита с Ni-покрытием. В сравнении с чугунными гильзами из алюминиевого сплава показывают меньший износ и большую мощность двигателя [11]. Гильза из высоколегированного алюминиевого сплава с 3% графита обладает всеми положительными качествами чугуна, будучи значительно легче. Применение алюминиевых втулок вместо чугунных обеспечивает увеличение мощности двигателя на 11–27%, экономию топлива на 4–28%, снижение потерь на трение на 18%, значительное снижение износа поршневых колец [4]. С применением алюминиевых гильз отпадает проблема обеспечения прочной связи гильзы с блоком. Мощность ДВС с алюминиевым цилиндром повышается до 10%, на столько же снижается расход топлива [11]. Гильзы из алюминиевых сплавов решают проблему надежного отвода тепла, что особенно существенно для современных мотоциклетных ДВС при воздушном охлаждении цилиндров. Это обстоятельство позволяет увеличить литровую мощность до уровня 37–52 кВт/л [4].

Для алюминиевых гильз остается проблема повышения износостойкости. Поэтому наиболее перспективное направление – применение упрочняющих покрытий, которые повышают твердость поверхности и снижают коэффициент трения [2]. Одним из возможных методов нанесения упрочняющего покрытия на алюминиевую гильзу является лазерная наплавка. С помощью лазера в поверхностный слой гильзы вплавляется кремний до глубины 1 мм. Помимо кремния, используются Fe- и Si-порошки. Частицы спеченного плакирующего слоя диффундируют в алюминиевый расплав, образуя прочное сцепление по границам слоев. Фирма Audi запатентовала технологию нанесения гальванического покрытия сложного состава (1,8–2,8%Si; 0,3–1,0Mn; 0,15–0,4Cr; 10–20Co; 0,1Cu; 0,15S и Fe – остальное), которое обрабатывается короткими лазерными импульсами. Однако общепризнанным недостатком упрочняющих защитных покрытий является их растрескивание и отслаивание в экстремальных

условиях эксплуатации. Поэтому до сих пор ведутся исследования в этом направлении, которые заключаются в выборе оптимальных параметров лазерной обработки (мощности и времени излучения), а также нанесение узора, который бы обеспечил необходимую твердость и пластичность поверхностного слоя гильзы цилиндра [11].

**Заключение.** Таким образом, проведенный анализ показал, что для чугунных и стальных гильз цилиндров наиболее действенными способами восстановления лазерной обработкой являются лазерное упрочнение и лазерная наплавка, которые существенно увеличивают износостойкость и прочность поверхностного слоя. А для алюминиевых гильз, которые в последнее время все чаще стали заменять гильзами из железоуглеродистых сплавов, на современном этапе применяется в основном только лазерная наплавка с введением различных легирующих элементов, призванных повышать их эксплуатационные свойства. Однако поиск оптимальных методов лазерной обработки поверхностного слоя как для гильз цилиндров из железоуглеродистых сплавов, так и для гильз, изготовленных из алюминиевых сплавов, продолжается из-за огромного количества всевозможных вариантов.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Fuch, H. Leichtmetallwerkstoffe / H. Fuch, M. Wappelhorst // MTZ: Motortechn. – Z. 2003. – 64. – №1. – P. 868–875.
2. Schwaderlapp, M. Base engine design improves fuel efficiency / M. Schwaderlapp, J. Dohmen, N. Andors / Ing. Automob. – 2003. – № 726. – P. 44–46.

3. Шляхтов, В.А. Снижение износа цилиндропоршневой группы дизелей / 1 Междунар. конф. «Энергодиагностика» – Москва, сент. 1995. – Т. 3. – С. 57.
4. Sauer, H. Hoher Laufbahn // Auto, Met. und Sport. – 1999. – № 20. – P. 92–93.
5. Крылов, К.И. Применение лазеров в машиностроении и приборостроении / К.И. Крылов, В.Г. Прокопенко, А.С. Митрофанов. – Ленинград: Машиностроение, 1978. – 363 с.
6. Позняк, Г.Г. Современные методы проектирования нанотехнологических процессов в машиностроении. / Г.Г. Позняк, В.В. Копылов, В.А. Погов. – Москва, 2008. – 150 с.
7. Майоров, В.С. Исследование структуры и свойств сплавов при лазерной обработке и разработка технологии упрочнения промышленных изделий / В.С. Майоров, А.Н. Сафинов, В.М. Тарасенко. – Москва: ФИЗМАТЛИТ, 1987. – 664 с.
8. Григорьянц, А.Г. Технологические процессы лазерной обработки: учеб. пособие для вузов. / Под ред. А.Г. Григорьянца. – Москва: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. – 634 с.
9. Mayer, H.W. Winiger Reibungsverluste dank Laserstrahl // AMZ: Auto, Mot., Zubehor. – 2005. – № 10 – P. 20–21.
10. Седунов, В.К. Изменение структуры и свойств гильзы цилиндра ДВС после лазерной обработки / В.К. Седунов, В.М. Андрихин, Н.Т. Чекунова // МитОМ. – 1980. – № 9. – С. 10–13.
11. Bruni, L. Silgral. A new silicon-graphite-aluminium alloy for cylinder liners / L. Bruni, P. Igiera // Aotomit. Eng. (Gr. Brit.) – 1987. – № 1. – P. 29–32, 34–35.

Материал поступил в редакцию 13.04.12

#### KOSTRITSKY V.V., LISSOVSKY A.L. Laser processing of sleeves of cylinders

Various methods of laser processing of a blanket of sleeves of cylinders made of zhelezouglерodisty alloys (steel and pig-iron sleeves) and aluminum alloys are given. Influence of laser radiation on structure and property of these alloys for the purpose of identification of an optimum method of hardening of a blanket of steel, pig-iron and aluminum sleeves of cylinders is considered.

УДК 621.833

Григорьев В.Ф., Дакало Ю.А., Плющев Ю.И.

### ОБОСНОВАНИЕ ЗАМЕНЫ ОТДЕЛОЧНОЙ ОБРАБОТКИ ЭВОЛЬВЕНТНЫХ ЗУБЬЕВ ПРИРАБОТКОЙ

**Введение.** Увеличение выпуска конкурентоспособной продукции машиностроения стимулирует поиск и внедрение экономичных и производительных методов обработки, поскольку основной задачей производства является изготовление качественных изделий с наименьшей трудоёмкостью и себестоимостью.

Значительную долю в трудоёмкости изготовления машин составляет трудоёмкость изготовления зубчатых колёс. Одним из методов отделочной обработки эвольвентных поверхностей зубьев зубчатых колёс является зубошлифование. Данный метод является распространённым и точным способом отделки зубчатых колёс, обеспечивающим надежные результаты и позволяющим получать требуемое качество поверхности, в первую очередь шероховатость. Обычно шлифованию подвергаются зубья ответственных цементированных и закаленных колёс. Однако данный метод обработки является трудоёмким и дорогостоящим способом обеспечения шероховатости и других показателей качества поверхности, определяющих её ресурс.

Для повышения долговечности пар трения обычно стараются уменьшить их приработку в процессе эксплуатации, добиваясь финишной обработкой близкой к оптимальной равновесной шероховатости. Заслуживает внимания и более экономичный подход, связанный с

переносом финишных операций на этап приработки деталей [1].

Такой подход позволяет в обоснованных случаях исключить из технологического процесса дорогостоящие отделочные операции, повысить производительность и снизить затраты на изготовление машин. Так, одним из вариантов совершенствования технологии изготовления эвольвентных зубчатых колёс может быть замена отделочной операции зубошлифования последующей приработкой в процессе эксплуатации для достижения требуемой шероховатости. Целью исследования было установление возможности такой замены при изготовлении синхронизирующих зубчатых колёс роторных насосов серий НМ, НР, ВЗ-ОР2-А-2 для снижения трудоёмкости.

Согласно ГОСТ 27674-88 под приработкой понимается процесс изменения геометрии поверхностей трения и физико-химических свойств поверхностных слоёв материала в начальный период трения, обычно проявляющийся при постоянных внешних условиях в уменьшении силы трения, температуры и интенсивности изнашивания. Процесс приработки сопряженных поверхностей сопровождается сложными необратимыми явлениями, протекающими в тонком поверхностном слое.

При трении в начальный период приработки участвует очень большое количество контактирующих между собой выступов, вслед-

Григорьев Владимир Федорович, к.т.н., доцент кафедры машиноведения Брестского государственного технического университета.

Дакало Юрий Александрович, магистр технических наук, старший преподаватель кафедры машиноведения Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

Плющев Юрий Иванович, зам. генерального директора по производству ОАО «Брестмаш», доцент.