

УДК 621.43.002

## ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО РЕСУРСА ГИЛЬЗ ЦИЛИНДРОВ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Тимофеева Л.А., Тимофеев С.С., Дёмин А.Ю., Ягодинский Е.С.

## INCREASE THE SERVICE LIFE OF CYLINDER LINERS OF INTERNAL COMBUSTION ENGINES

Timofeyeva L., Timofeyev S., Dyomin A., Yagodinskiy Y.

*В статье рассматриваются причины разрушения рабочей поверхности гильз цилиндров двигателей внутреннего сгорания. Установлено, что разрушение гильз является следствием изменения микроструктуры их поверхностного слоя под действием высокой температуры, пластических деформаций и диффузии. Был разработан метод химико-термической обработки с применением новых насыщающих сред. Проведенные исследования эксплуатационных свойств деталей, обработанных в новых насыщающих средах, показали, что применение солей аммония в обработке гильз из стали 38Х2МЮА и использование водного 20-% раствора тиосульфата для чугуновых гильз позволяет повысить их антифрикционные свойства, а также увеличить срок службы деталей.*

**Ключевые слова:** гильза цилиндра, износ, поверхностный слой, насыщающая среда, антифрикционные свойства.

**Постановка проблемы.** Эффективным способом улучшения качества и эксплуатационных свойств поверхностей деталей цилиндро-поршневой группы является использование стали 38Х2МЮА и легированных чугунов с последующим их упрочнением различными технологическими методами. Существующие технологии недостаточно и не всегда обеспечивают стабильную работу пар трения гильза цилиндра – поршневое кольцо. Известные технологии поверхностного упрочнения характеризуются длительным циклом многих последовательных технологических операций, что увеличивает расходы и сроки изготовления деталей. Не всегда обеспечивается экологическая чистота технологического процесса [1, 2].

Поэтому, совершенствование технологии изготовления и ремонта деталей цилиндро-поршневой группы, для обеспечения высокого качества их рабочих поверхностей и повышения эксплуатационных свойств, является актуальной научной задачей, которая имеет важное практическое значение.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Вопросам повышения работоспособности деталей технологическими методами, в том числе благодаря разработке и применению поверхностного упрочнения, посвящено достаточно много как аналитических, так и экспериментальных исследований известных ученых Тимофеевой Л. А., Тартаковского Э. Д., Дёмина Ю. В., Остапчука В. Н., Мороза В. И., Фалендыша А. П., Кельриха М. Б. и др.

Статистический анализ показывает, что большинство из пар трения выходит из строя в связи с их износом. Среди таких пар трения, доминирующую роль занимают детали цилиндро-поршневой группы дизельных двигателей. Повышение их работоспособности является очень важной задачей. Отказы в работе двигателя, связанные с износом его деталей, требуют значительного расходования средств на замену запасных частей, а также увеличивают расходы на обслуживание и эксплуатацию [3, 4, 5].

В наше время в отечественной и зарубежной практике известно большое количество методов поверхностного упрочнения и способов их реализации.

Анализ существующих технологий повышения эксплуатационных свойств деталей показал, что до настоящего времени не разработан технологический процесс поверхностной обработки, с помощью которого можно было бы получать на рабочей поверхности слой, повышающий износостойкость и антифрикционные свойства поверхности детали одновременно с обеспечением заданного ресурса [6,7].

Это обеспечивало бы безотказную работу деталей цилиндро-поршневой группы двигателей внутреннего сгорания на протяжении заданного срока эксплуатации.

**Цель статьи.** Целью работы является усовершенствование технологического процесса изготовления и восстановления деталей цилиндро-

поршневой группы, путем разработки методов повышения их износостойкости.

**Результаты исследований.** Гильза цилиндров форсированных дизелей представляет собой тонкостенную деталь с продувочными и выпускными окнами. Условия работы гильз и поршневых колец высокофорсированных дизелей в агрессивной газовой среде при высоких температурах предъявляют ряд специфических требований к их материалу: высокую прочность при достаточном запасе пластичности, повышенные теплостойкость и износостойкость и хорошую прирабатываемость пары гильза - поршневое кольцо.

Время прирабатываемости имеет особое значение. Начальный период работы этого узла связан со значительным прорывом газов через кольца, еще плохо прилегающие к цилиндру, что вызывает перегрев деталей, выгорание и коксования смазки, а также ухудшение условий трения. Повышения износостойкости трущихся деталей обычно стараются достигнуть подбором материала и созданием на его поверхности специального износостойкого слоя с улучшенными антифрикционными свойствами.

В настоящее время гильзы цилиндров дизелей изготавливают из стали 38Х2МЮА (табл. 1).

Таблица 1

**Химический состав стали 38Х2МЮА**

Материал	Содержание химических элементов, %										
	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Mo	Cu	Al	Fe
Сталь 38Х2МЮА	0,35-0,42	0,2-0,45	0,3-0,6	до 0,025	до 0,025	1,35-1,65	до 0,3	0,15-0,25	до 0,3	0,7-1,1	~95

Гильзы подвергаются термической и химико-термической обработке: отжигу, нормализации, закалке, высокому отпуску с последующим азотированием при температуре  $t=570^{\circ}\text{C}$  в течение  $\tau=3$  ч. Глубина азотированного слоя с твердостью 750 HV в окончательно обработанной детали составляет 0,3...0,5 мм.

С целью улучшения поверхности трения на нее наносится сетка микрошероховатости, затем производится травление перемычек и нанесение слоя дисульфида молибдена.

На надежность и долговечность элементов трения существенное влияние оказывает формирующийся при эксплуатации микрорельеф поверхности. Изучение структуры и изменения свойств поверхностного слоя гильз цилиндров в процессе эксплуатации производилось при помощи микрометрирования гильз, снятых непосредственно с двигателя, причем обмер велся в семи поясах с одновременным визуальным осмотром их внутренней поверхности. Для исследования трущихся поверхностей из них выре-

зались образцы по всей длине в виде полос шириной 20 мм.

В результате исследования были выявлены узлы схватывания, наплывы металла поршня, натирсы, образование белых слоев (рис. 1).

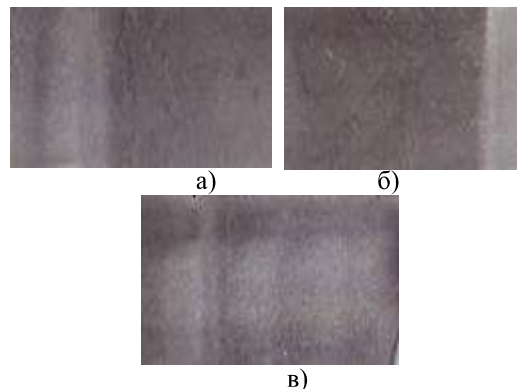


Рис. 1. Исследуемый образец внутренней поверхности гильзы цилиндра с характерными признаками износа: а) – наплывы металла поршня; б) – следы схватывания металла; в) – натирсы и образовавшиеся белые слои

С увеличением наработки дизеля число узлов схватывания увеличивается по всей длине гильзы, возрастает также зона натиров.

Исследования показали, что поверхность трения по длине гильзы имеет различное строение. Наиболее интенсивное изнашивание этой поверхности наблюдается вблизи камеры сгорания.

На этом участке металл окислен, видны глубокие царапины, темные углубления, следы выкрашенного металла, из глубины на поверхность выступают твердые составляющие. Формируются участки вторичных структур с микротвердостью 894 HV несколько большей, чем у азотированного слоя. Микротвердость темных участков составляет 535 HV. При увеличении длительности наработки двигателя средняя микротвердость рабочей поверхности гильзы уменьшается, а диаметральный износ увеличивается (рис. 2).

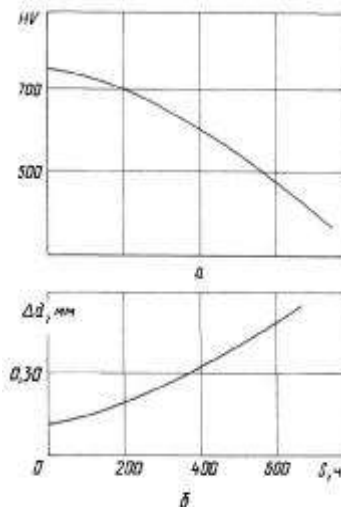


Рис. 2. Зависимость твердости (а) и диаметрального износа (б) рабочей поверхности гильзы от наработки S двигателя

Причем, износ неравномерен, а в наиболее нагруженных поясах гильзы в азотированном слое отмечены фазовые превращения: по границам бывших зерен аустенита образуется сетка белых нитевидных включений. Как показали проведенные исследования, в азотированном слое происходит формирование вторичных структур (рис. 3).

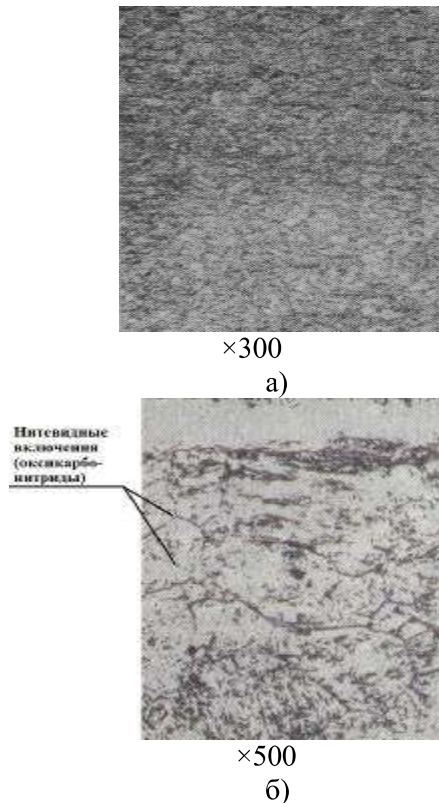


Рис. 3. Строение азотированного слоя, полученного на стали 38Х2МЮА: а) – исходная структура азотированного слоя; б) – структура азотированного слоя с образовавшейся сеткой белых нитевидных включений (вторичная структура)

Появление такой сетки обусловлено тем, что температура в высоконагруженных поясах гильзы во время вспышки в камере сгорания может превышать 800 °С. При этом в условиях действия агрессивной среды может происходить распад карбидов железа и легирующих элементов с образованием свободного углерода. Углерод в камере может также образовываться при сгорании дизельного топлива. Такие процессы могут вызвать образование сложных соединений типа оксикарбонитридов (комплексные соединения Fe, C, N<sub>2</sub> и O<sub>2</sub>). Развитие этой зоны в азотированном слое сопровождается разрыхлением последнего, что приводит к разрушению и выходу из строя гильз.

Совместное действие процессов происходящих при изнашивании: нагрева, пластической деформации и диффузионных процессов в микрообъемах, вызывает изменения в микроструктуре на определенную глубину поверхностного слоя. Электронно-микроскопическое исследование показало, что эти процессы приводят к выпадению частиц оксикарбо-

нитридов, образующих пространственный разветвленный каркас. При нагреве они в значительных количествах скапливаются на плоскостях сдвига металла.

В результате процесса изнашивания мягкие структурные составляющие на поверхности гильзы уходят в продукты износа, твердые составляющие при воздействии пластической деформации выкрашиваются, что приводит к схватыванию трущихся поверхностей и последующему разрушению гильзы. Проведенные исследования подтвердили также, что схватывание трущихся поверхностей сопровождается образованием значительных очагов налипания и натиров. Образующиеся натирные слои имеют сложную структуру, являющуюся результатом нагрева до температур выше критических, охлаждения и давления. Увеличение размеров натиров происходит в результате износа.

Исследование процесса износа цилиндров двигателей внутреннего сгорания показало, что разрушение рабочей поверхности стенок цилиндров происходит вследствие увеличения содержания в них оксикарбонитридов, образующихся при фазовых превращениях металла под действием высокой температуры, пластических деформаций и диффузии.

Для устранения таких эффектов необходимо, чтобы в результате термомеханохимических реакций, происходящих на поверхности детали, шла регенерация ее поверхностного слоя, без образования структур, которые по своим свойствам отличаются от исходных. Имеется ввиду, что вторичные структуры, сформировавшиеся в процессе трения, должны соответствовать исходным по химическому составу.

Для достижения этой цели были проведены испытания деталей работающих в условиях трения и изнашивания. Детали подвергались обработке в известных насыщающих средах и новой с применением солей аммония, с последующим определением их эксплуатационных свойств.

Детали испытывали на задиростойкость, теплостойкость, износостойкость и определяли время приработки (табл. 2).

Таблица 2

**Результаты сравнительных испытаний стальных изделий**

Насыщающая среда	Теплостойкость, °С	Время до полного разрушения детали, ч	Весовой износ, мг	Время до стабилизации момента трения, мин
Газовая – аммиак или азот (азотирование)	600	12	4,6	182
Перегретый водяной пар (пароокисление)	400	10	4,8	176
Перегретый пар водного раствора солей аммония	900	20	2,7	130

Сравнение полученных показателей показывает, что поверхностный слой, образованный в насыщающей среде перегретого пара водного раствора солей аммония и имеющий слоистую структуру, позволяет повысить теплостойкость изделий и их срок службы в 1,6 раза.

За критерий оценки теплостойкости поверхностного слоя принимали его стойкость при высоких нагрузках и температурах.

После окончания испытаний проводился внешний осмотр зеркала гильзы, с целью выявления охрупчивания и выкрашивания поверхностного слоя, а также проводили замеры внутреннего диаметра гильзы цилиндра для выявления износа, овала и конусности (табл. 3).

Таблица 3

**Результаты замеров отработанных гильз цилиндров двигателей внутреннего сгорания с пробегом более 120 тыс. км.**

Способ обработки	Состояние внутренней поверхности зеркала гильзы	Замеры внутреннего диаметра гильз (среднее в 3-х плоскостях) по поясам, мкм*				
		I	II	III	IV	V
Азотирование, пароксидирование	охрупчивание, выкрашивание до 50-60% от всей поверхности	0,07	0,08	0,09	0,10	0,11
		0,08	0,09	0,12	0,14	0,12
		0,12	0,10	0,10	0,12	0,10
		овал: 0,04				
		конус: 0,05				
Новая насыщающая среда при химико-термической обработке	охрупчивание и выкрашивание не выявлено	0,09	0,10	0,12	0,10	0,09
		0,08	0,09	0,10	0,09	0,08
		0,07	0,11	0,13	0,11	0,08
		овал: 0,02				
		конус: 0,02				

\* Отклонения от номинального размера диаметра гильзы

Проведенные исследования показали, что теплостойкость и срок службы детали увеличился, а время приработки сократилось. Данные исследования подтверждаются результатами произведенных замеров детали (табл. 4).

Таблица 4

**Состав поверхностных слоев, полученных в различных насыщающих средах**

Насыщающая среда	Поверхностный слой		
	Фазовый состав	Износ, мг	Значения коэффициента трения
Газообразная – сероводород	FeS	68	0,3 – 0,31
Паровая – перегретый водяной пар	FeO; Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	49	0,45 – 0,50
Парогазовая – перегретый водяной пар раствора соли тиосульфата	FeO; Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> ; FeOS; FeS	22	0,2 – 0,22

Таким образом, проведенные испытания выявили, что несмотря на термомеханохимические реакции, происходящие на поверхности детали, полученный слой не разрушился.

Известно, что многие гильзы цилиндров изготавливают не только стальными но и чугунами. Поэтому, с целью улучшения антифрикционных свойств поверхности чугунных гильз, были проведены испытания, в ходе которых, для чугунных гильз предлагается, в качестве насыщающей среды, использовать водный 20-% раствор тиосульфата.

Поверхностный слой, полученный в процессе насыщения, в своем составе содержит такие химические элементы: кислород, железо, сера и углерод. Проведенные исследования, структуры полученного слоя, выявили, что образованный слой состоит из различных фаз (рис. 4).



×250

а)



×340

б)

Рис. 4. Строение поверхностного слоя чугуна: а) – с пластинчатым графитом; б) – с шаровидным графитом

Верхний подслоя состоит преимущественно из сульфидов железа, хотя содержит также оксиды, а нижний – из оксидов железа и шпинелей, переходный слой состоит в основном из окисульфидов. Это дает основание считать, что в атмосфере перегретого пара водного раствора солей, содержащих серу, на поверхности железа химические реакции идут в две стадии: окисление металлов до оксидов и взаимодействие их с серой с образованием сульфидов. Эти фазы в поверхностном слое оказывают существенное влияние на износостойкость и антифрикционные свойства железоуглеродистых сплавов, а именно улучшается приработываемость, снижается значение коэффициента трения (табл. 5).

Таблиця 5  
Свойства железоуглеродистых сплавов после обработки в насыщающих средах

Насыщающая среда	Момент трения, Н·м	Нагрузка стабилизации трения, Н	Фазовый состав
Сероводород	38	1600	FeS
Перегретый водяной пар	50	1800	FeO; Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>
Перегретый пар раствора соли	22	1400	FeO; Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> ; FeOS; FeS

**Выводы.** 1. Установлено, что разрушение гильз является следствием изменения микроструктуры поверхностного слоя гильз цилиндров под действием высокой температуры, пластических деформаций и диффузии.

2. Доказано, что для устранения эффектов разрушения необходимо, чтобы в результате термомеханохимических реакций, происходящих на поверхности детали, шла регенерация ее поверхностного слоя, без образования структур, которые по своим свойствам отличаются от исходных. Имеется ввиду, что вторичные структуры, сформировавшиеся в процессе трения, должны соответствовать исходным по химическому составу. Установлено, что формирование вторичных структур имеет важное значение, особенно при восстановлении износостойкости деталей.

3. Проведенные исследования эксплуатационных свойств деталей, обработанных в новых насыщающих средах, показали, что применение солей аммония в обработке гильз из стали 38Х2МЮА и использование водного 20-% раствора тиосульфата для чугунных гильз позволяет повысить их антифрикционные свойства, а также увеличить срок службы деталей.

4. Детали, обработанные в новой насыщающей среде, в 1,5 раза быстрее прирабатываются, чем детали со слоями, содержащими оксиды железа и прошедшими химико-термическую обработку в известных насыщающих средах. Антифрикционные свойства, полученного слоя, также улучшаются в 1,7–2 раза, на что указывает снижение значения коэффициента трения.

#### Л и т е р а т у р а

1. Бахтияров, Н. И. Производство и эксплуатация прецизионных пар / Н. И. Бахтияров, В. Е. Логинов. М.: Машиностроение, 1979. – 205 с.
2. Остапчук, В. Н. Математическая модель определения износов пары трения поршневое кольцо – гильза цилиндра, цилиндро-поршневой группы дизелей / В. Н. Остапчук // Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства. – 2004. Вип. – № 26. – С. 184–189.
3. Орлин, А. С. Двигатели внутреннего сгорания. Устройство и работа поршневых и комбинированных дви-

гателей / А. С. Орлин, М. Г. Круглов. М.: Машиностроение, 1990. – 284 с.

4. Лахтин, Ю. М. Азотирование стали / Ю. М. Лахтин, Я. Д. Коган. – М.: Машиностроение, 1976. – 256 с.
5. Остапчук, В. Н. Уменьшение коробления азотированного зеркала цилиндра / В. Н. Остапчук, А. Я. Мовшович // Вісник НТУ "ХПИ", зб. наук. праць "Транспортне машинобудування". – 2005. Вип. – № 37. – С. 387–390.
6. Перепелица, Б. А. Совершенствование технологии изготовления деталей цилиндро-поршневой группы транспортных дизелей / Б. А. Перепелица, С. С. Тимофеев // Зб. наук. праць УкрДАЗТ. – 2005. – №69. – С. 94–99.
7. Тимофеева, Л. А. Повышение эксплуатационных характеристик деталей масляного насоса двигателя СМД 60 / Л. А. Тимофеева, Л. В. Проскурина, С. С. Тимофеев // Зб. наук. праць НТУ "ХПИ". – 2001. – №1. – С. 263–265.

#### R e f e r e n c e

1. Bakhtiarov, N. I. Proizvodstvo i ekspluatatsiya pretsizionnykh par / N. I. Bakhtiarov, V. Ye. Loginov. M.: Mashinostroyeniye, 1979. – 205 s.
2. Ostapchuk, V. N. Matematicheskaya model opredeleniya iznosov pary treniya porshnevoye koltso – gilza tsilindra, tsilindro-porshnevoy gruppy dizeley / V. N. Ostapchuk // Visnik Kharkivskogo derzhavnogo tekhnichnogo universitetu silskogo gospodarstva. – 2004. Vip. – № 26. – S. 184–189.
3. Orlin, A. S. Dvigateli vnutrennego sgoraniya. Ustroystvo i rabota porshnevnykh i kombinirovannykh dvigateley / A. S. Orlin, M. G. Kruglov. M.: Mashinostroyeniye, 1990. – 284 s.
4. Lakhtin, Yu. M. Azotirovaniye stali / Yu. M. Lakhtin, Ya. D. Kogan. – M.: Mashinostroyeniye, 1976. – 256 s.
5. Ostapchuk, V. N. Umensheniye korobleniya azotirovannogo zerkala tsilindra / V. N. Ostapchuk, A. Ya. Movshovich // Visnik NTU "KhPI", zb. nauk. prats "Transportne mashinobuduvannya". – 2005. Vip. – № 37. – S. 387–390.
6. Perepelitsa, B. A. Sovershenstvovaniye tekhnologii izgotovleniya detaley tsilindro-porshnevoy gruppy transportnykh dizeley / B. A. Perepelitsa, S. S. Timofeyev // Zb. nauk. prats UkrDAZT. – 2005. – №69. – S. 94–99.
7. Timofeyeva, L. A. Povysheniye ekspluatatsionnykh kharakteristik detaley maslyanogo nasosa dvigatelya SMD 60 / L. A. Timofeyeva, L. V. Proskurina, S. S. Timofeyev // Zb. nauk. prats NTU "KhPI". – 2001. – №1. – S. 263–265.

**Тимофеева Л. А., Тимофеев С. С., Дьомін А. Ю., Ягодинський Є. С. Підвищення експлуатаційного ресурсу гільз циліндрів двигунів внутрішнього згорання.**

*У статті розглядаються причини руйнування робочої поверхні гільз циліндрів двигунів внутрішнього згорання. Встановлено, що руйнування гільз є наслідком зміни микроструктури їх поверхневого шару під дією високої температури, пластичних деформацій і дифузії. Був розроблений метод хіміко-термічної обробки із застосуванням нових насичуючих середовищ. Проведені дослідження експлуатаційних властивостей деталей, оброблених у нових насичуючих середовищах, показали, що застосування солей амонію в обробці гільз зі сталі 38Х2МЮА і використання водного 20 - % розчину тіосульфату для чавунних гільз дозволяє підвищити їх антифрикційні властивості, а також збільшити термін служби деталей.*

**Ключові слова:** гільза циліндра, знос, поверхневий шар, насичуюче середовище, антифрикційні властивості .

**Timofeyeva L., Timofeyev S., Dyomin A., Yagodinskiy Y. Increase the service life of cylinder liners of internal combustion engines.**

*The article discusses the reasons for the destruction of the working surface of the cylinder liners of internal combustion engines. Investigation of the wear process of internal combustion engines showed that the destruction of the working surface of the cylinder walls is due to the increasing content of oxycarbonitrides, formed during phase transitions of the metal under the influence of high temperature, plastic deformation and diffusion. To eliminate such effects it is necessary as to result in thermomechanical and chemical reactions, occurring on the surface of the part, occurs a process of regeneration of the surface layer, without the formations of structures, whose properties differ from the original.*

*Developed a method of chemical heat treatment using new saturation mediums. Studies of operational properties of parts processed in the new saturation mediums showed that the use of ammonium salts in the treating of cylinder liners of steel grade 38X2MЮA (38Cr2MoAl) and using 20-% water solution sodium thiosulfate for cast iron cylinder liners can increase their friction properties and service life.*

**Keywords:** cylinder liner, surface layer, chafe, saturation medium, anti-friction properties.

**Тимофєєва Л. А.** – д. т. н., професор, завідувача кафедрою матеріалів і технологією виготовлення виробів транспортного призначення, Українська державна академія залізничного транспорту, майдан Фейєрбаха, 7, м. Харків, Україна, 61050, E - mail: [fedcirina@yandex.ru](mailto:fedcirina@yandex.ru)

**Тимофєєв С. С.** – к. т. н., доцент кафедри матеріалів і технології виготовлення виробів транспортного призначення, Українська державна академія залізничного транспорту, майдан Фейєрбаха, 7, м. Харків, Україна, 61050 E - mail: [fedcirina@yandex.ru](mailto:fedcirina@yandex.ru)

**Дьомін А. Ю.** – аспірант кафедри матеріалів і технології виготовлення виробів транспортного призначення, Українська державна академія залізничного транспорту, майдан Фейєрбаха, 7, м. Харків, Україна, 61050 E - mail: [a.domin@mail.ru](mailto:a.domin@mail.ru)

**Ягодинський Є. С.** – аспірант кафедри матеріалів і технології виготовлення виробів транспортного призначення, Українська державна академія залізничного транспорту, майдан Фейєрбаха, 7, м. Харків, Україна, 61050 E - mail: [fedcirina@yandex.ru](mailto:fedcirina@yandex.ru)

Рецензент: д.т.н., проф. Чернецька-Білецька Н.Б.

Стаття подана 04.03.2014