

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ СПОСОБОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ РАЗНЫХ КЛАССОВ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ИХ НАДЕЖНОСТИ

О.Л. Пирозерская¹, А.Н. Малышев²

¹Санкт-Петербургский государственный университет сервиса и экономики (СПбГУСЭ),
191015, Санкт-Петербург, ул. Кавалергардская, 7, лит. А;

²Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, 248000, г. Калуга, ул. Гагарина, дом 3

Проведен анализ результатов сочетания выходных параметров технологических процессов сварки, ленточного глубинного шлифования и листовой штамповки, и даны рекомендации по их применению с целью повышения надёжности автомобильных деталей.

Ключевые слова: ленточное глубинное шлифование, остаточные напряжения, сварные листовые заготовки, холодная штамповка, надёжность.

FEASIBILITY ANALYSIS OF USING MODERN METHODS FOR MANUFACTURING AND RECOVERY OF DIFFERENT AUTOMOBILE PARTS IN ORDER TO INCREASE RELIABILITY

O.L. Pirozerskaia, A.N. Malyshev

*St.-Petersburg state university of service and economy (SPbSUSE),
191015, St.-Petersburg, street Kavalergardsky, 7 A;*

Kaluga branch of Bauman AD. Bauman, 248000, str. Kaluga, ul. Gagarin, the house 3

The paper analyzes the results of the combination of the output parameters of welding procedures, tape deep grinding and stamping, and recommendations for their use in order to improve the reliability of automobile parts

Keywords: tape deep grinding, residual stresses, tailored welded blanks, cold stamping, reliability.

Введение

Повышение надёжности автомобильной техники можно осуществлять по двум основным направлениям:

1) повышение надёжности изготавливаемых деталей автотранспортных средств в условиях массового производства;

2) повышение надёжности эксплуатируемых автотранспортных средств путём применения перспективных способов восстановления автомобильных деталей в условиях единичного и серийного производства.

Надёжность, как известно, это комплексное свойство, которое в зависимости от назначения изделия и условий его эксплуатации может включать безотказность, долговечность, сохраняемость и ремонтпригодность изделия и его составных частей.

Ведущие мировые производители автомобилей при конструировании и изготовлении своих изделий в настоящее время применяют системы автоматизированного проектирования 4 поколения – CAD/CAM/CAE/EDMS системы. Так, например, при проектировании автомобилей FORD использовалась система высокого уровня Pro/ENGINEER. Проектирование в этой

и подобных системах начинается с создания трехмерной твердотельной модели. По ней после задания основных механических характеристик материала детали можно провести анализ смоделированных упруго-пластических деформаций, как результата внешнего воздействия на исследуемый объект. Также модули инженерного анализа, например Pro/MECHANICA, позволяют моделировать статические, кинематические и динамические процессы, оптимизировать геометрию и конструкцию технических объектов.

Однако, подобные системы позволяют решать далеко не все задачи, возникающие перед производителями автомобилей и перед теми, кто занимается восстановлением автомобильных деталей.

Восстановление деталей машин обеспечивает существенную экономию высококачественного металла и трудовых ресурсов. Как известно, для восстановления работоспособности изношенных деталей требуется в несколько раз меньше технологических операций по сравнению с изготовлением новых. Это особенно актуально в современных условиях, когда более половины продаваемых автомобильных деталей являются восстановленными. Од-

нако ресурс восстановленных деталей по сравнению с новыми зачастую остается низким. Это связано с тем, что за последние 15 лет авторемонтное производство пришло в упадок, и, соответственно, значительно снизилось качество восстановления автомобильных деталей.

На сегодняшний день известно множество современных прогрессивных способов восстановления деталей, позволяющих не только восстановить прежние размеры и форму деталей, но и повысить их ресурс по сравнению с новыми.

В настоящее время в современном кузовостроении автомобильной промышленности все большее развитие получает применение деталей, полученных штамповкой из разнотолщинных сварных листовых заготовок. Реализация такой технологии получения деталей позволяет снизить общую массу автомобиля, сократить номенклатуру отдельных штампованных деталей, количество элементов жесткости конструкции и разнообразных усиливающих элементов, повысить точность деталей, сократить номенклатуру сварочного оборудования, применяемого для сборочных операций, а так же повысить прочность деталей и уменьшить затраты на сборочно-сварочные операции при повышении их качества. Тем не менее, существуют определенные трудности, возникающие при реализации технологического процесса изготовления подобных деталей, и ограничение области применения сварных деталей. Например, технологический процесс штамповки сварных листовых заготовок не применяется для изготовления наружных лицевых деталей.

Обзор литературных источников показывает, что существуют немногочисленные работы, в которых приведены отдельные и достаточно общие рекомендации по проектированию новой технологической оснастки для штамповки деталей из разнотолщинных сварных листовых заготовок, но практически отсутствуют конкретные расчетные и экспериментальные технологические параметры исследуемого процесса, которые можно использовать при работе на уже существующей оснастке при изменении вида исходной заготовки (замена однородной листовой заготовки на сварную заготовку одинаковой толщины или сварную разнотолщинную заготовку).

Объект, направление и результаты исследований

В связи с выше изложенным, в данной статье приведём результаты:

1) анализа возможностей систем высокого уровня для решения прикладных задач, свя-

занных с изготовлением и восстановлением автомобильных деталей;

2) сравнительного анализа способов восстановления автомобильных деталей;

3) анализа выходных параметров технологических процессов сварки, листовой штамповки и ленточного глубинного шлифования.

1. Несмотря на широчайшие возможности, системы автоматизированного проектирования далеко не всегда позволяют учитывать изменения, происходящие в поверхностных слоях заготовок в процессе их получения и последующей механической обработки. В то же время долговечность ответственных автомобильных деталей, например, деталей двигателя, работающих при повышенных температурах и испытывающих динамические нагрузки, во многом зависит именно от состояния металла поверхностного слоя.

Модули построения крупных сборок предоставляют широкие возможности управления крупномасштабными сборками, вплоть до учета допусков и посадок, что является весьма существенным этапом при изготовлении автомобиля. Однако, учесть дефекты, возникающие и проявляющиеся в результате действия остаточных напряжений, внесенных на стадии получения заготовок или в результате механической обработки, не представляется возможным.

Модуль, позволяющий моделировать штамповку листовых деталей, учитывает макро- и микрогеометрические параметры этого технологического процесса. Но при этом не учитывается такой существенный фактор, как технологические остаточные напряжения, непосредственно влияющие на надежность штампованных деталей.

Твердотельную модель детали, созданную с помощью систем высокого уровня, можно использовать и для проектирования технологической оснастки, и для разработки управляющей программы механической обработки в соответствии с заданными допусками и шероховатостью поверхности в модуле CAM, например Pro/MANUFACTURING.

Однако, в силу технологических факторов, из-за наложения различных погрешностей профиль реальной поверхности всегда будет отличаться от заданного чертежом и от смоделированного с помощью систем автоматизированного проектирования. Следовательно, режимы резания и созданная NC-последовательность обработки, установленные для идеальной математической модели объекта, могут не обеспечить требуемую точность обработки реальной детали.

Для исключения такой ситуации предлагается осуществлять контроль геометрической точности автомобильных деталей на различных стадиях технологического процесса с помощью специальных измерительных машин [1]. Полученную информацию о действительной геометрии объекта предлагается автоматически передавать в используемую систему автоматизированного проектирования через соответствующий модуль.

2. Рассмотрим перспективные способы восстановления деталей, трудности, препятствующие их широкому использованию, и пути их преодоления.

К современным способам восстановления деталей можно отнести следующие:

- наплавка (скоростная электродуговая наплавка в среде защитных газов с дополнительной присадкой металлических порошковых материалов, скоростная плазменно-порошковая наплавка дугой прямого действия, плазменная, вибродуговая, под флюсом, индукционная, и другие);

- газотермическое напыление (газопламенное, плазменное, электродуговое, детонационное, высокоскоростное), холодное газодинамическое напыление;

- восстановительная ремонтная сварка (электродами, проволокой, в аргоне, в CO_2);

- процесс «холодной сварки» с использованием различных металлополимерных составов;

- электроконтактное и индукционное припекание порошков;

- нанесение гальванических ремонтных покрытий;

- пластическое деформирование, термическая и упрочняющая обработка;

- безабразивная ультразвуковая финишная обработка;

- магнитно-абразивная, ультразвуковая абразивная и др. виды обработки.

Тем не менее, около 70% объема работ по восстановлению деталей приходится на наплавку и сварку с последующей механической обработкой. Выбор того или иного способа зависит от материала детали, степени и характера повреждений, толщины материала, технологических требований, экономических соображений и ряда других факторов. В любом случае при восстановлении деталей необходимо обеспечить требуемую шероховатость, точность размеров и относительного расположения поверхностей, твердость, сплошность покрытия, прочность сцепления нанесенных слоев с основным металлом.

Широкому внедрению перечисленных способов восстановления автомобильных деталей препятствует то, что наплавленные поверхности являются труднообрабатываемыми, в связи с чем требуемое качество поверхностных слоев зачастую не обеспечивается [2].

Особую трудность вызывает механическая обработка поверхностей, восстановленных наплавкой или напылением износостойких порошков. Это вызвано тем, что такие покрытия состоят из карбидов высокой твердости и вязкой металлической основы. Помимо электрофизических и электрохимических методов обработки наиболее эффективным представляется шлифование указанных поверхностей абразивным инструментом. Так, для хромированных деталей шлифование кругами является едва ли не единственным способом обработки. Однако несоблюдение условий и режимов шлифования может привести к отслаиванию покрытия или образованию шлифовочных трещин и прижогов. К тому же абразивные круги засаливаются, что в свою очередь не может не отражаться на качестве обрабатываемой поверхности. Но, как уже говорилось выше, именно состояние поверхностных слоев деталей во многом определяет долговечность и безотказность технических объектов.

Одним из вариантов решения описанной проблемы является применение ленточного глубинного шлифования ЛГШ для обработки наплавленных поверхностей. Этот перспективный вид механической обработки обладает целым рядом преимуществ перед обработкой абразивными кругами, как при глубинной схеме шлифования, так и при многоходовой [3].

Состояние поверхностных слоев деталей характеризуется, в частности, такими показателями, как технологические остаточные напряжения, степень упрочнения металла и шероховатость поверхности. Рассмотрим по порядку перечисленные выходные параметры процесса ленточного глубинного шлифования и их влияние на качество готового изделия.

Особенностью шлифования абразивными лентами является то, что в поверхностных слоях детали формируются остаточные напряжения сжатия, что приводит к увеличению её долговечности. Что особенно важно, благоприятная эпюра технологических остаточных напряжений наблюдается как при многоходовой, так и при глубинной схеме шлифования. В отдельных случаях, как показали исследования [3], на глубине от 50 до 10 мкм эпюра может поменять знак, и тогда сжимающие остаточные напряжения переходят в растягивающие, что характерно, например, для стали 20Х13. Одна-

ко дополнительный чистовой ход резко (в 1,5...2 раза) снижает напряженность поверхностного слоя.

Глубинная схема шлифования абразивными лентами отличается от многоходовой иной схемой распределения максимальных контактных температур в зоне резания [3]. Температура на обработанной поверхности в зависимости от условий охлаждения составляет 25...60% от максимальной. Температурные дефекты, которые могут возникнуть при обработке на жестких режимах резания, легко можно удалить с помощью зачищающего хода, выполненного на мягких режимах.

Также установлено [3], что в результате глубинного шлифования абразивными лентами поверхностные слои заготовок из стали 20Х13 и 12Х18Н10Т упрочняются по сравнению с исходной структурой в 2...3 раза. В тоже время поверхностные слои термообработанного сплава Д14 подвергаются разупрочнению на глубину 50...100мкм на 30...45 процентов. У первых материалов степень упрочнения и толщина упрочненного слоя уменьшается с уменьшением подачи заготовки и глубины резания. При шлифовании сплава Д14 увеличение подачи и уменьшение глубины резания снижает степень разупрочнения и глубину разупрочненного слоя. Результаты исследований показали [3], что чистовой рабочий ход с глубиной резания, равной глубине залегания дефектного слоя, позволяет избежать изменения микротвёрдости поверхностного слоя.

Влияние режимов резания на величину шероховатости поверхности при ленточном глубинном шлифовании такое же, как и для других видов абразивной обработки. Увеличение подачи заготовки и глубины резания приводит к увеличению шероховатости поверхности, а увеличение скорости движения инструмента ведет к снижению шероховатости [3].

Отношение R_{\max} / R_z является критерием неоднородности шероховатости, который отражает влияние на процесс обработки дополнительных факторов, таких, как засаливание инструмента, неравномерность припуска, загрязнение СОТС и т.д. Неоднородность шероховатости обработанной поверхности практически не зависит от глубины резания. При увеличении подачи заготовки неоднородность возрастает, а увеличение скорости резания уменьшает неоднородность шероховатости [3].

Таким образом, высокое качество восстановления деталей может быть достигнуто путем рационального сочетания одного или нескольких способов восстановления заданной геометрии и механической обработки нанесен-

ных покрытий путём ЛГШ. Причём для обеспечения надежности необходимо уделять особое внимание восстановлению свойств поверхностного слоя детали.

3. Примерами деталей современного автомобиля, изготовленных штамповкой разнотолщинных сварных листовых заготовок, являются лонжероны и дно. Из литературных источников известно, что фирма «Soundronic Neftenbuch AG» (Швейцария) предлагает в кузове современного автомобиля среднего класса использовать порядка пятнадцати листосварных штампованных деталей, а на ОАО «ГАЗ» выполнены работы по сборке и испытанию опытно-экспериментального кузова автомобиля ГАЗ -3110 «Волга», для которого была подобрана номенклатура из одиннадцати листосварных разнотолщинных штампованных деталей [4].

При проведении исследований [5], направленных на изучение штампуемости листовых сварных заготовок в условиях действующего производства ОАО «АвтоВАЗ», в качестве образца использовалась внутренняя панель передней двери автомобиля «Лада-Калина». В рамках этой работы разрабатывалась методика исследования деформационной способности металла швов разнотолщинных листовых сварных заготовок для холодной штамповки.

К трудностям реализации технологического процесса штамповки разнотолщинных сварных листовых заготовок следует отнести недостаточную изученность поведения сварного шва в процессе формоизменения (особенно при вытяжке), а так же проектирование технологической оснастки (штампов), принимая во внимание разнотолщинность штампуемого материала и кинематику перемещения сварного шва в процессе деформирования.

На практике при штамповке деталей из разнотолщинных сварных листовых заготовок наблюдаются трещины и разрывы в месте сварного шва (Рисунок 1а, 1б и 1в).

К числу наиболее важных характеристик материала, определяющих его пригодность к листовой штамповке, относятся показатели прочности (предел текучести σ_T , временное сопротивление разрыву σ_B и истинное сопротивление разрыву) и показатели пластичности. В зависимости от значения величины σ_T / σ_B листовая сталь классифицируется по механическим и технологическим признакам: при $\sigma_T / \sigma_B \leq 0,6$ – сталь пригодна для весьма глубокой вытяжки и очень сложной штамповки, $0,6 < \sigma_T / \sigma_B \leq 0,65$ – для глубокой вытяжки и сложной штамповки, $\sigma_T / \sigma_B = 0,75$ – для обычной несложной штамповки.

В рамках исследования [6] операций штамповки разнотолщинных сварных листовых заготовок были испытаны образцы (параметры образцов по ГОСТ 6996-66, ИСО 4136-89) из стали HX260YD (EN 10346:2009 (D)). На растяжение были испытаны образцы толщиной 2.0 мм, 2.5 мм и сварной разнотолщинный образец

(2.5мм и 2мм, шов расположен вдоль направления приложения усилия). Составной образец был изготовлен из частей с разной толщиной (2.5мм и 2мм), соединенных сваркой встык.

Результаты проведенных испытаний представлены в виде графиков на рисунке 2.

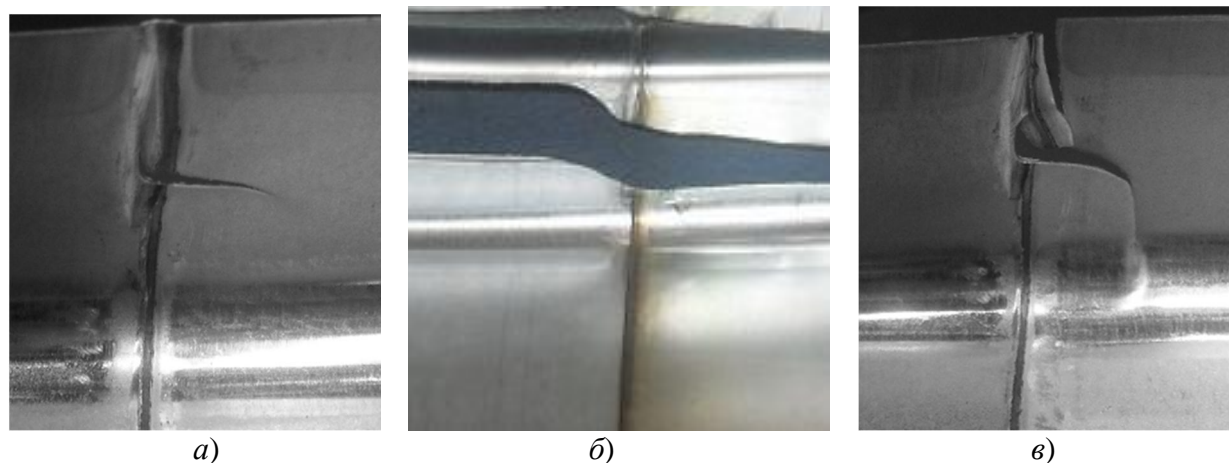


Рисунок 1. Разрывы при штамповке деталей из разнотолщинных сварных листовых заготовок

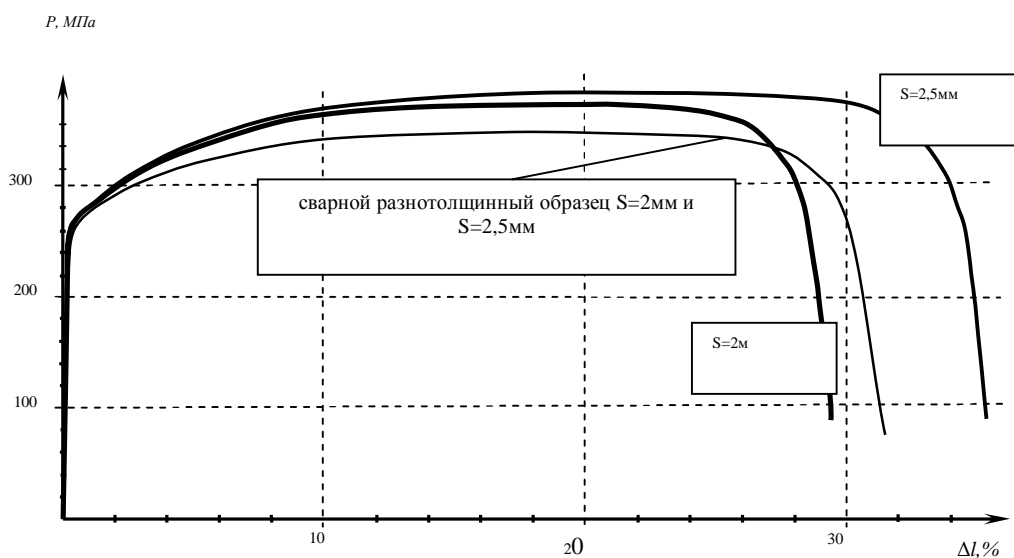


Рисунок 2. Диаграмма растяжения образцов из стали HX260YD (EN 10346:2009 (D))

Из графиков видно, что для однородных по толщине заготовок с увеличением толщины наблюдается увеличение относительного удлинения Δl при практически неизменном пределе текучести σ_T . Для сварного образца наблюдается уменьшение предела текучести на 10% по сравнению с однородными по толщине образцами, увеличение относительного удлинения Δl на 10% по сравнению с образцом толщиной $S=2$ мм и наоборот, уменьшение относительного

удлинения Δl на 20% по сравнению с образцом толщиной $S=2$ мм.

Исследования показали, что после выполнения сварочной операции в околошовной области образуются растягивающие технологические остаточные напряжения, которые в дальнейшем при штамповке и способствуют появлению разрывов и трещин.

Как было сказано выше, ленточное глубинное шлифование позволяет сформировать в

поверхностных слоях заготовки напряжения сжатия.

В связи с этим, авторы предлагают изменить эпюру остаточных напряжений следующим образом. При проведении сварочной операции следует увеличить толщину сварного шва до 1...1,5 мм, а затем провести дополнительно операцию ленточного глубинного шлифования. Это позволит сформировать в поверхностных слоях деталей благоприятную эпюру технологических остаточных напряжений, и, следовательно, избежать возникновения поверхностных дефектов при обеспечении требуемой шероховатости, что значительно снизит трещинообразование и разрывы при штамповке.

В дальнейшем авторы предполагают провести ряд дополнительных исследований технологических параметров штамповки деталей из разнотолщинных сварных листовых заготовок, изготовленных путём сочетания операций сварки и ленточного глубинного шлифования, уточнить область применения исследуемого процесса, его ограничения, а также произвести расчет технико-экономических показателей процесса.

Выводы

1. Применение систем автоматизированного проектирования при восстановлении деталей и узлов автомобиля затруднено, и в лучшем случае возможно лишь частичное использование некоторых модулей САПР. Прежде всего, это связано с тем, что при восстановлении деталей применяются такие технологические процессы, для которых очень сложно создать математическую модель, поскольку эти процессы имеют вероятностный характер.

2. Ленточное глубинное шлифование позволяет путем сочетания чернового и чистового рабочих ходов и варьирования режимов обработки сформировать в поверхностных слоях деталей благоприятную эпюру технологических остаточных напряжений, избежать возникновения поверхностных дефектов и обеспечить требуемую шероховатость [3]. Этот факт определяет возможность применения ЛГШ при изготовлении и восстановлении ответственных автомобильных деталей различных классов.

3. Сочетание технологических процессов сварки и ленточного глубинного шлифования при изготовлении разнотолщинной заготовки позволит значительно снизить трещинообразование и её разрывы при штамповке.

4. С учетом вышесказанного можно заключить, что новые усовершенствованные способы изготовления, восстановления и ремонта при определённом их сочетании позволят значительно увеличить срок службы отдельных деталей и узлов, а также сократить эксплуатационные затраты. Тем самым увеличится долговечность, безотказность, ремонтпригодность, а, следовательно, и надежность отдельных узлов, агрегатов и автомобиля в целом.

Литература

1. Пирозерская О.Л. Повышение надежности и долговечности турбинных лопаток путем управления точностью обработки в процессе их изготовления. Трибология и надежность: Сборник трудов IX Международной конференции (8-10 октября 2009), Санкт-Петербург, / Под общ. ред. Проф. Войнова К.Н. - СПб.: ПГУПС, 2009. С. 228 – 233.
2. Пирозерская О.Л., Иванов А.В. Перспективные способы наплавки и механической обработки восстанавливаемых деталей // Техничко-технологические проблемы сервиса.- 2010.-№ 3 (13).- С. 7-9.
3. Пирозерская О.Л. Разработка научно-методического аппарата прогнозирования точности и качества обработки сложнопрофильных заготовок методом ленточного глубинного шлифования и технологических рекомендаций по его применению: Дисс. канд. техн. наук.- СПб., 1999.-165с.
4. «Разработка перспективных технологий штамповки листосварных разнотолщинных заготовок в ОАО «ГАЗ» // КИП. ОМД 2004г. №7.
5. «Методика исследования деформационной способности металла швов разнотолщинных листовых сварных заготовок для холодной штамповки» Т.В. Хайруллин, В.И. Столбов // Сварка и Диагностика. - 2012. - № 3. - С. 42-44.
6. «Штамповка деталей из разнотолщинных сварных листовых заготовок» А.Н. Малышев, Н.В. Зенкин // Наукоемкие технологии в приборостроении и развитии инновационной деятельности в ВУЗе. Материалы Всероссийской научно-технической конференции 7-9 декабря 2010г. Т1. - М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010, с.18-20.

¹ Пирозерская Ольга Леонидовна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Автосервис» СПбГУСЭ, тел.: (812) 362-44-13, моб.: +7 921 9253677; e-mail: PirozerskayaOL@yandex.ru;

² Малышев Александр Николаевич – кандидат технических наук, доцент, доцент Калужского филиала МГТУ им. Н.Э. Баумана, моб.: +79109142858; e-mail: mal_alexn@yahoo.com.