

Для всех оставшихся образов затем вычислялись отклонения $\Delta D = D_{box} - D_{\alpha}$, которые статистически обрабатывались в группах, что позволило выявить частные зависимости $\Delta D(\alpha)$ и $\Delta D(D_{\alpha})$, некоторые из которых приведены, соответственно, на рисунках 3, 4.

Анализ зависимостей $\Delta D(\alpha)$ показывает, что они достаточно монотонны для углов α из диапазона 10...40°, который и имеет наибольшее применение в практике контроля качества поверхностей. Ограничивая диапазон углов указанными значениями, был осуществлен поиск аппроксимирующей аналитической зависимости в виде:

$$\Delta D = \Delta D(\alpha, D_{\alpha}) = (A - B \cdot tg \alpha) \cdot D_{\alpha}^{-C} \quad (2)$$

Для поиска решения применялся метод сопряженных градиентов, в качестве критерия качества решения выступала минимизация отклонения (квадратичная оценка) клеточных размерностей, вычисленных по известной и новой методикам. В результате были найдены значения 1,44; 0,24 и 1,30, соответственно, для коэффициентов A , B и C уравнения (2). Среднее и максимальное абсолютные отклонения вычисления размерности, при данных коэффициентах, составили, соответственно, $\pm 0,018$ и $\pm 0,025$.

Окончательно, с учетом (1) и (2), математически формулируем методику определения клеточной размерности поверхности по ее теневому образу (микрофотографии)

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta D = (1,44 - 0,24 \cdot tg \alpha) \cdot D_{\alpha}^{-1,3} ; \\ 10^{\circ} \leq \alpha \leq 40^{\circ} ; 1,3 \leq D_{\alpha} \leq 1,7 ; \\ D_{box} \approx D = D_{\alpha} + \Delta D ; \\ 2,2 \leq D \leq 2,6 ; |D_{box} - D| \leq 0,025 . \end{array} \right. \quad (3)$$

Обсуждение и выводы

Новая методика определения фрактальной (клеточной) размерности поверхностей позволяет количественно оценивать морфологические свойства микрогетерогенной структуры по микрофотографиям поверхности, поэтому относится к неразрушающим и бесконтактным методам контроля. Методика достоверна в практически значимом диапазоне параметров, а ее общая погрешность, с учетом типичной погрешности измерения клеточных размерностей (0,01...0,015), не превышает $\pm 0,04$ (менее 2 %).

УДК 621.793.6:785.5

Хвисевич В.М., Сазонов М.И., Якушевич С.

СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ И УПРОЧНЕНИЯ В ХРОМИСТОЙ СТАЛИ 14X17H2 ПРИ ДВУХКРАТНОЙ ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКЕ В ЗАЩИТНОЙ СРЕДЕ АРГОНА

Эксплуатация многих деталей машин и механизмов, использующихся, например, в пищевой промышленности, происходит в условиях механического и коррозионного износов. В этой связи детали приходится изготавливать из дорогостоящих хромистых (нержавеющих) сталей и, в частности, 14X17H2. Одним из способов повышения долговечности таких деталей является формирование в поверхностном слое детали структур с высокой прочностью и вязкостью сердцевин. Учитывая широкие технологические возможности и производительность концентрированных источников энергии при их воздействии на изделия [1, 2], интересно изучить условия, при которых для этих целей может быть использована термообработка плазменной струей хромистых сталей. В отличие от лазерного и электронно-лучевого методов обра-

ботки, метод поверхностного плазменного упрочнения недорог, универсален и позволяет получить мелкоизмельченный мартенсит. За счет получения высоких скоростей нагрева и охлаждения материалов, происходит поверхностная плазменная закалка (ППЗ) и в результате образуются слои с высокими уровнями эксплуатационных свойств.

Для фрактальных размерностей более высоких порядков (информационной, корреляционной и т.д.) могут быть найдены зависимости, аналогичные (3), что повысит общность данной методики. Кроме того, предложенный принцип анализа может быть применен для разработки новых способов неразрушающего бесконтактного контроля других параметров рельефа поверхности, например, шероховатости.

Выполнив дополнительные исследования, можно также определить оптимальные, по точности и информативности фрактального анализа, углы освещения для формирования теневых образов, что позволит выработать рекомендации по наилучшим режимам применения аппаратных средств контроля.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. В.А. Емельянов, В.В. Баранов, Т.В. Петлицкая и др. Аппаратные средства контроля параметров твердотельных структур в производстве СБИС / Под редакцией А.П. Достанко.- Мн.: НПО «Интеграл», 1997.- 71 с.
2. Иванова В.С., Баланкин А.С., Бунин И.Ж., Оксогоев А.А. Синергетика и фракталы в материаловедении.- М.: Наука, 1994.- 384 с.
3. Раткевич А.В., Дереченник С.С. Применение фрактальных методов в экспериментальных и теоретических исследованиях тонкоплёночных структур // Вестник БГТУ.- Машиностроение, автоматизация, ЭВМ.- 2003, № 4(22).- С. 54-58.
4. Пелегов Д.В. Использование фрактального формализма для описания кинетики фазовых превращений в конечных системах / Автореф. дисс. на соискание уч. степени канд. физ.-мат. наук по спец. 01.04.07 «Физика твердого тела».- Екатеринбург: Уральский политехн. ин-т, 2000.
5. Федер Е. Фракталы.- М.: Мир, 1991.- 262 с.
6. Хвисюк Д.А., Шепелевич И.С. Программная система для фрактального анализа поверхностей / Научный руководитель С.С. Дереченник // Сборник конкурсных научных работ молодых ученых, аспирантов и студентов.- Брест: БГТУ, 2004.- С. 155-158.

ботки, метод поверхностного плазменного упрочнения недорог, универсален и позволяет получить мелкоизмельченный мартенсит. За счет получения высоких скоростей нагрева и охлаждения материалов, происходит поверхностная плазменная закалка (ППЗ) и в результате образуются слои с высокими уровнями эксплуатационных свойств.

Сталь 14X17H2 относится к полуферритному классу [3] и содержит 0,18 % С, 17 % Cr, 2,0 % Ni, 0,4 % Mn, 0,32 % Mo и др.

ППЗ этой стали осуществляли плазмотроном с плотностью теплового потока $2,5 \cdot 10^7 - 6,0 \cdot 10^7$ Вт/м², в качестве плазмообразующего и защитного газов применялся аргон.

Для определения влияния термообработки на микроструктуру и свойства стали были изготовлены шлифы в поперечном сечении к обработанной поверхности. Шлифы травили

специальным реактивом Адлера для хромистых сталей. Металлографические исследования проводили с помощью оптического приборного комплекса NEOPHOT 21.

В связи с высоким содержанием легирующих добавок процесс структурных превращений стали 14X17N2, по сравнению со сталью 40X, другой. Рентгеноструктурный анализ образцов, выполненный на дифрактометре D8 Discover показал, что исходная структура этой стали является α -ферритной. Эксперименты проводили при различных скоростях движения плазменной дуги, изменяя ток дуги и объемы расхода плазмообразующего и защитного газов с целью получения максимальной твердости поверхностного слоя. Оптимизируя процесс упрочнения получили, что наибольший прирост микротвердости стали достигается при скорости движения плазменной дуги $V=11,0$ мм/с, расходе аргона $Q_{Ar}=1,8$ л/мин (плазмообразующий газ), $Q_{Ar}=0,9$ л/мин (защитный газ). При таких параметрах процесса ППЗ были подготовлены образцы для металлографического анализа.

Анализ микрогеометрии поверхности образцов в области действия плазменной струи при упрочнении в твердой фазе и из жидкого состояния показал, что при термообработке без оплавления не требуется дополнительная механическая обработка изделий.

В поверхностном слое образца непосредственно в зоне теплового влияния видны равноосные зерна, полученные вследствие перекристаллизации материала во время нагрева (рис. 1). На микрофотографии наблюдается слой с повышенным содержанием углерода, отчетливо видны зерна феррита и пластины мартенсита.

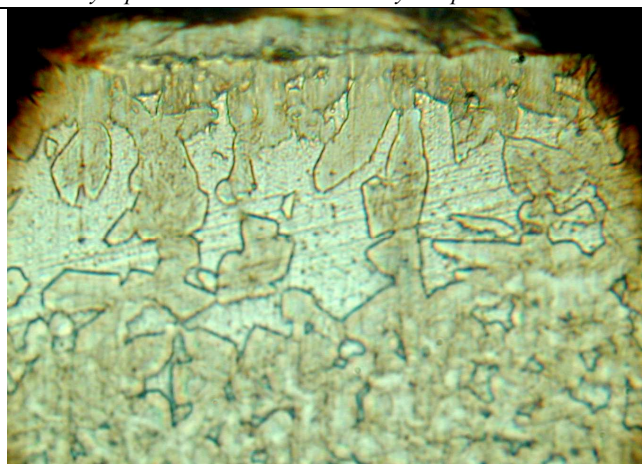


Рис. 1. Микроструктура поверхностного слоя стали 14X17N2 после плазменной обработки; $\times 1600$.

Рентгеноструктурный анализ, обработанных плазменной струей образцов показал, что материал имеет аустенитную структуру. Раствор твердого углерода в железе (Fe, C) γ -аустенит составляет 0,75%.

Пики на дифрактограмме "а" (рис. 2) незначительно сдвинуты влево на оси 2θ относительно положения характерных линий эталонных фаз. Это обстоятельство объясняется увеличением постоянной решетки аустенита и феррита в результате растворения атомов аргона в их структуре, а также искажени-

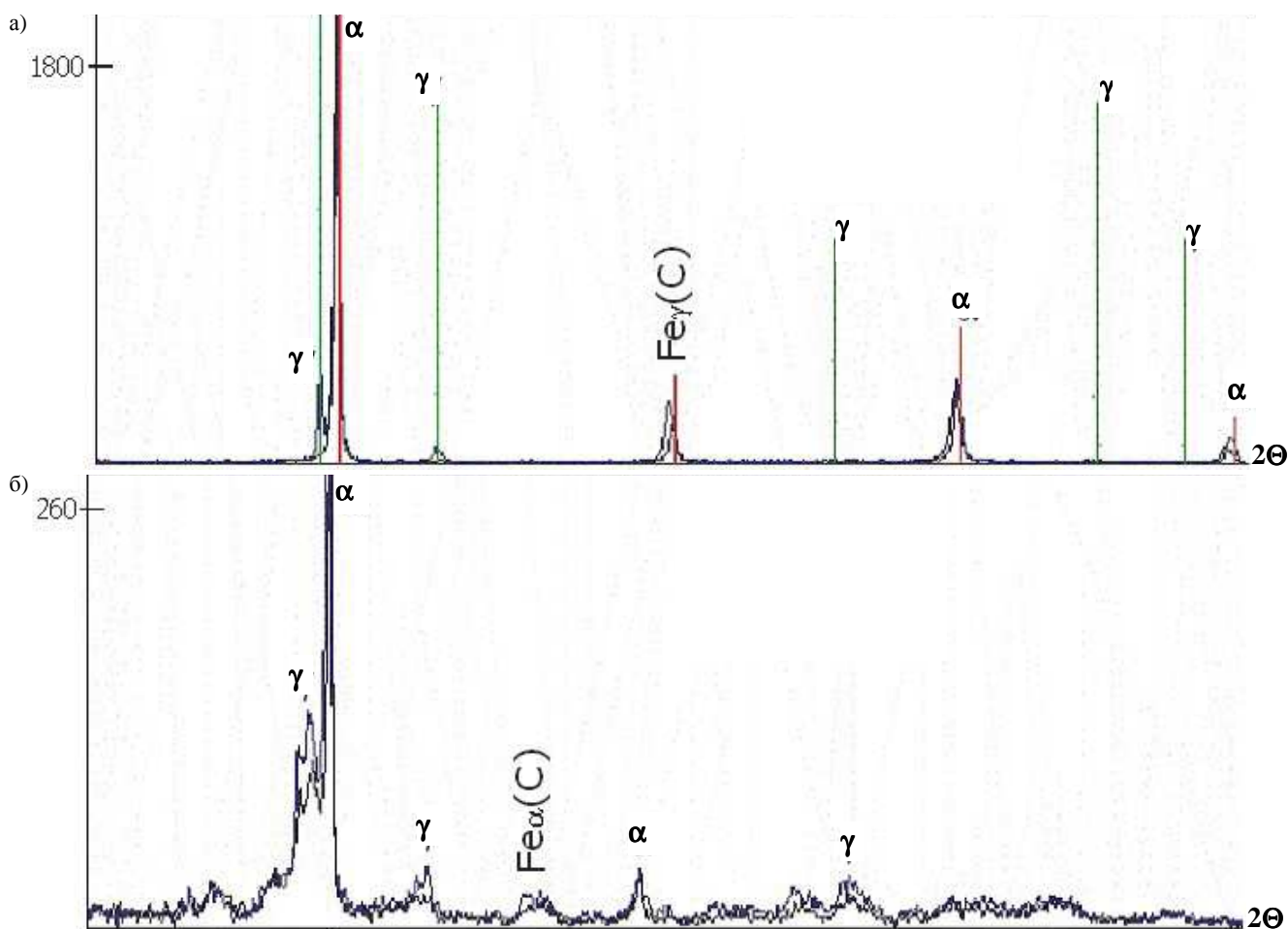


Рис. 2. Дифрактограммы фазового анализа исходного материала и плазменных дорожек:

а) исходный материал и дорожка с обработкой в защитной среде аргона;

б) дорожка с повторной обработкой в защитной среде аргона.

ем кристаллической решетки в результате температурных напряжений.

Исследовано распределение микротвердости упрочненного образца стали по глубине поверхностного слоя, при однократной обработке плазменной струей в защитной среде аргона (рис. 3).

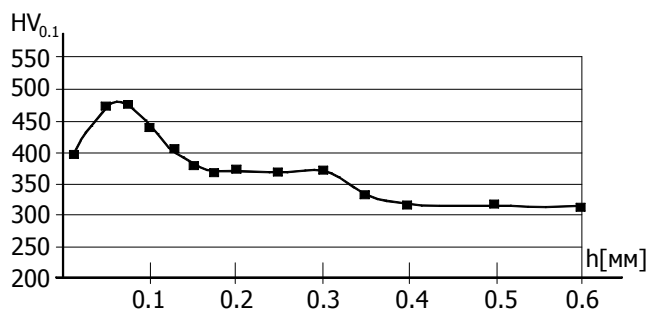


Рис. 3. Характер распределение микротвердости стали 14X17H2 по глубине при однократной обработке в защитной среде аргона.

Из этой зависимости следует, что значительного роста микротвердости при таких параметрах обработки не произошло. Только вблизи обработанной поверхности максимальное значение микротвердости близко к $500\text{HV}_{0,1}$, при глубине упрочненного слоя до 0,3 мм. Очевидно, для данной стали при таких параметрах обработки плазменной дугой температура нагрева превышает критическую точку, что обуславливает малую скорость и степень растворения карбидов в аустените. Такое повышение температуры не приводит к росту зерен, так как нерастворенные частицы карбидов тормозят рост зерен аустенита, а, как известно [4], условия аустенизации и состояние аустенита оказывают сильное влияние на кинетику фазовых превращений при последующем охлаждении стали и соответственно на конечные ее свойства и образующиеся структуры.

По видимому, нерастворенные карбиды способствовали ускоренному распаду аустенита при охлаждении в результате уменьшилась закаливаемость стали, так как значительное количество углерода находится не в аустените, а в нерастворившихся карбидах.

Проведены эксперименты поверхностного упрочнения образцов, при таких же параметрах, повторной обработкой уже полученной дорожки плазменной струей (след в след). Металлографический анализ показал, что в поверхностном слое стали (рис.4) наблюдается зона с сильно измельченным зерном. В результате фазового анализа установлено, что в этом слое произошли мартенситные превращения (образование фазы $Fe_\alpha(C)$). Об этом свидетельствуют дифрактограмма "б" (рис.2), где наблюдается раздвоение пиков аустенита и появление новых. Размер зерна по шкале 3 эталонов микроструктуры ГОСТ 8233-56 составил 0,2-10мкм.

Исследования показали, что на поверхности стали после такой термообработки произошло значительное увеличение микротвердости (рис. 5), достигающее значений до $610\text{HV}_{0,1}$. Однако глубина упрочненного слоя незначительна, микротвердость плавно снижается на глубине 0,5 мм до исходного значения.

По-видимому, резкое увеличение микротвердости поверхностного слоя при повторной обработке объясняется тем, что произошло дальнейшее измельчение структуры поверхностного слоя стали, а также выделение дисперсных металлоподобных фаз из перенасыщенного мартенсита и вторичных карбидов из образованного после повторного воздействия плазменной струи метастабильного раствора. Это обстоятельство подтверждают дифрактограммы фазового анализа (рис. 3б).



Рис. 4. Микроструктура стали 14X17H2 при повторной обработке в защитной среде аргона.

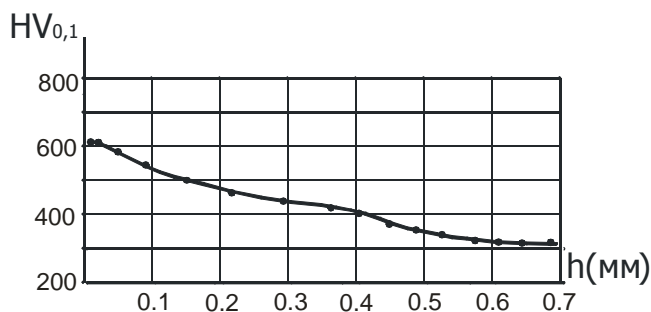


Рис. 5. Зависимость микротвердости стали H17N2 по глубине при двойной обработке в среде аргона.

Выводы

В результате проведенных исследований ППЗ хромистой стали 14X17H2 при обработке плазменной струей в защитной среде аргона следует:

1. Твердость стали при ее легировании карбидообразующими элементами, таким как Cr, W, при поверхностной плазменной закалке, ниже чем нелегированной стали, что объясняется наличием определенного количества углерода в карбидообразующих элементах.

2. При однократной обработке стали 14X17H2 плазменной струей в защитной среде аргона значительного роста микротвердости не происходит. Структура материала направленная и состоит из аустенита. Варьирование параметров ППЗ также не изменяет общую картину структурных превращений. Значительное количество углерода находится не в аустените, а в нерастворившихся карбидах.

3. Двойная обработка стали приводит к значительному увеличению микротвердости при небольшой глубине до 0,15-0,20 мм упрочняемого слоя. Повышение микротвердости объясняется измельчением структуры поверхностного слоя, выделением дисперсных металлоподобных фаз из перенасыщенного мартенсита и вторичных карбидов из метастабильного раствора.

Обработка изделий из этой стали плазменной струей в защитной среде аргона защищает их от окисления.

4. Испытания образцов упрочненных путем ППЗ и объемной закалкой на износостойкость показали, что износостойкость образцов, упрочненных ППЗ почти в 2 раза выше по

сравнению с износостойкостью образцов, упрочненных объемной закалкой.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Рыкалин Н.Н. и др. Лазерная и электронно-лучевая обработка материалов: Справочник. – М.: Машиностроение, 1985. – с.485.

2. Спиридонов Н.В. и др. Плазменные и лазерные методы упрочнения деталей машин. – Мн. Вышэйшая школа, 1988. – 155с.
3. Лахтин Ю.М. Металловедение и термическая обработка металлов. – М.: Металлургия, 1983. – 359с.
4. Кидин И.Н. Фазовые превращения при ускоренном нагреве стали. – М.: Металлургиздат, 1957. – 94 с.

УДК 621.891.67-762

Голуб М.В., Голуб В.М.

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ ТОРЦОВЫХ УПЛОТНЕНИЙ РОТОРОВ НЕФТЯНЫХ НАСОСОВ

Введение

Для добычи, транспорта и переработки нефти используются в основном центробежные насосы. Условия эксплуатации насосов весьма разнообразны и зависят от технологических режимов перекачки: подачи, давления, температуры и свойств перекачиваемой среды. Исходя из анализа внеплановых выходов из строя центробежных насосов нефтеперерабатывающих предприятий республики видно (рис. 1), что более 60% отказов приходится на долю торцовых уплотнений. Аналогичная картина отказов насосов, применяемых для добычи и транспорта нефти и нефтепродуктов.

Актуальность проблемы повышения надежности насосного оборудования заключается в том, что эксплуатация насосов с неисправными уплотнениями, кроме потери перекачиваемого сырья, приводит к нарушению технологического режима транспорта и переработки, ухудшает условия работы обслуживающего персонала, а в ряде случаев и к критическим последствиям. В связи с этим предъявляются жесткие требования к герметичности насосов по пожаро- и взрывобезопасности. Высокие требования к уровню герметичности зачастую определяют не только конструкцию насосов, но и параметры технологических процессов. Многие эффективные технологические процессы не могут быть реализованы из-за недостаточной герметичности валов и надежности гидромашин.

1. Условия работы торцовых уплотнений

Работа контактных уплотнений торцового типа характеризуется режимом трения основного элемента – пары трения, смазка которой осуществляется перекачиваемой средой. Пе-

рекачиваемая среда в полной мере не отвечает требованиям, предъявляемым к смазкам узлов трения. Так нефть, обладая сравнительно хорошей маслянистостью, содержит различные примеси в виде абразивных частиц, песка и твердых химических соединений. В нефти содержится пластовая вода, сераорганические и хлороорганические соединения и растворенные в различных количествах сопутствующие газы (азот, сероводород, углекислый газ и др.).

При промывке резервуаров и очистке трубопроводов содержание механических примесей в нефти возрастает и достигает до 0,1% и более. Попадая в контакт уплотнения механические частицы царапают рабочие поверхности, нарушают их геометрию и герметичность. Интенсивному абразивному износу подвергаются кольца пары трения. Под действием механических примесей изнашиваются уплотнительные резиновые кольца аксиально-подвижного узла уплотнения. Механические частицы, попадающие под резиновые уплотнительные кольца втулки, истирают их. В месте контакта резинового кольца и корпуса уплотнения образуется выработка. Резиновые кольца из некоторых сортов резиновых смесей разбухают в нефти и заклинивают аксиально-подвижную втулку, а при повышенных температурах резиновые кольца деформируются.

Пластовые воды, находящиеся в нефти, вызывают коррозию деталей уплотнения. Их коррозионное влияние зависит от концентрации водородных ионов и возрастает с увеличением количества растворимых в воде газов, особенно сероводорода.

Минеральные соли содержатся как в воде, диспергированной в нефти, так и в высокомолекулярных компонентах

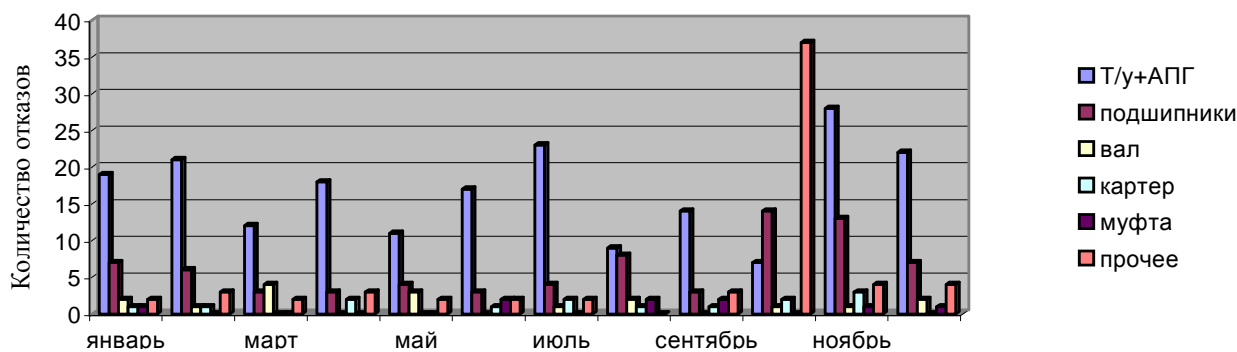


Рис. 1. Анализ внеплановых выходов из строя насосов за 2003 год.

Голуб Михаил Владимирович, д.т.н., профессор, зав. каф. машиноведения Брестского государственного технического университета.

Голуб Владимир Михайлович, к.т.н., доцент каф. машиноведения Брестского государственного технического университета. Беларусь, БГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.