

Значения  $\alpha=0,3$  и  $\alpha=0,8$  лежат в допустимой области  $0,225 < \alpha < 4,4$  и дают одинаковую скорость затухания возмущения, обеспечивая затухание возмущения за время около  $10^{-3}$  с. Значение  $\alpha=0,1$  выходит за ее границы и приводит к значительно меньшей скорости затухания возмущения.

Рассмотренный пример подтверждает возможность использования предложенной методики для расчета цепи питания плазмотрона по ее заданным временным характеристикам.

#### Литература

1. Капцов Н.А. Электрические явления в газах и вакууме. – М.: ГИТТЛ, 1950. – 836 с.
2. Даутов Г.Ю., Дзюба В.Л., Карп И.Н. Плазмотроны со стабилизированными электрическими дугами. – Киев: Наук. Думка, 1984. – 168 с.
3. Я.Б.Зельдович, А.Д.Мышкис. Элементы прикладной математики. – М.: Наука, 1967. – 648 с.

УДК 621.74:669.15.196.

В.А. Колесников

### ОСОБЕННОСТИ ИЗНАШИВАНИЯ ГРАФИТИЗИРОВАННЫХ МАРГАНЦЕВЫХ ЧУГУНОВ В УСЛОВИЯХ СУХОГО ТРЕНИЯ

Рассмотрено поведение графитизированных марганцевых чугунов в условиях сухого трения с учетом возрастания нагрузки. Показано, что на интенсивность изнашивания существенное влияние оказывает пластичность и вязкость марганцевого аустенита. Отмечены некоторые аспекты поверхностного и объемного разрушения исследуемых чугунов с учетом гетерогенности их структурно-фазового состава.

Развитие современной науки и техники, а также создание новых материалов предназначенных для работы в условиях трения, не смогли отодвинуть проблему изнашивания сопряженных поверхностей. Накопление большого количества экспериментальных данных и развитие новых методов исследования, а также применение системного подхода при изучении проблемы износа стимулировали возникновение такого концептуально нового научного направления в областях, связанных с созданием и применением конструкционных материалов как инженерия поверхности [1,2]. С точки зрения трибологии все основные процессы, оказывающие влияние на износостойкость материала, локализуются в поверхностных и подповерхностных слоях, входящих в окрестности зоны трения и непосредственно в саму зону трения. Поэтому более детальное исследование процессов поверхностного разрушения и формирование свойств материалов при их эксплуатации с точки зрения инженерии поверхности должно явиться мощным толчком при создании новых сплавов и оценке триботехнических возможностей существующих.

Узлы трения современных машин и механизмов работают при различных нагрузках, что существенным образом влияет на их износостойкость. В то же время износостойкость практически всех литых железоуглеродистых сплавов является структурно чувствительным свойством. Регулируя с помощью специальных технологических методов (легирование, модифицирование и т. д.) структурно-фазовый состав сплавов, можно существенным образом влиять на их триботехнические характеристики.

Особый интерес в этой связи представляют железоуглеродистые графитизированные марганцевые сплавы. Они обладают высокой чувствительностью к скорости охлаждения, что позволяет при правильной корректировке химических составов и технологических процессов получать практически все виды металлических матриц, характерных для данного типа сплавов [3,4].

Однако  
железоуглеродистые сплавы  
которые высокая износостой  
высоких повышенных нагруз  
технический материал дан  
происхождение под действием наг  
Многие исследовател  
стенина, проявляющейся, в  
способностью к наклепу [6,7]  
можно объяснить изменением  
углерода и железа, в результа  
связи, что и я  
железоуглеродистых сплавов [3  
происходит упрочнение как п  
существенным образом влияет  
Анализ литературны  
оказывающих влияния нагруз  
железоуглеродистых чугунов, практич  
Следует также отмети  
сплавов в условиях сухого  
структуры получить одинак  
эксперимента удается не всег  
трения комплексно легирован  
строения носит очень сложный  
аспекты, как особенности прир  
результатов повторных эксп  
факторов: изменение микрогео  
среды, возможное попадание  
сопряженных поверхностей,  
поверхности тела или контрте  
возможное прилегание повер  
эксперимента данных может и  
материала. Выявлению общ  
способствовать отображение э  
нагрузка-износ).

Целью данной работы я  
исследований по выявлению в  
железоуглеродистых сплавов в  
Сплав 1 имел следующ  
Ni = 1,0 % ; Cu = 2,5%; Cr =  
химическим составом, за ис  
следующим: Cr = 0,1%; V = 0,1%  
В качестве базы сравн  
коммерческое название «нирез  
будем обозначать как сплав 3 и  
Испытания на износ пр  
колодка в режиме сухого трени  
оценить влияние структуры на т  
сухое трение можно рассмат  
когда происходит так называем  
либо причинам масляного слоя из  
Из исследуемых чугунов  
используемые в качестве контр

Однако наибольшую известность и распространенность получили высоколегированные сплавы высоколегирования марганцем, структура металлической которых состоит из аустенита [5,6,7,8,9,10]. Их характерной особенностью является высокая износостойкость, причем в наибольшей мере это проявляется в условиях повышенных нагрузок (особенно при ударных нагрузках). Так, например, марганцевый материал данного вида, сталь «Гадфильда» может претерпевать значительное изменение под действием нагрузки, ее твердость может повышаться в 2-3 раза [6,7].

Многие исследователи это связывают со специфичностью марганцевого аустенита, проявляющейся, в первую очередь, в том, что он обладает повышенной прочностью к наклепу [6,7]. Особые свойства марганцевого аустенита, по мнению многих исследователей, можно объяснить изменением характера пространственного взаимодействия атомов железа и марганца, в результате чего d-электроны атомов железа принимают большее участие в связи, что и является основным фактором в определении свойств марганцевых сплавов [9,10]. Это приводит к тому, что под действием нагрузки происходит упрочнение как поверхностных, так и подповерхностных слоев, а значит, существенным образом влияет на износостойкость [11,12].

Анализ литературных источников показал, что систематических данных, касающихся влияния нагрузочных параметров на триботехнические характеристики марганцевых чугунов, практически нет.

Следует также отметить, что особенностью изнашивания железоуглеродистых сплавов в условиях сухого трения является то, что ввиду сложной гетерогенной структуры получить одинаковые значения данных при повторном проведении эксперимента удастся не всегда. Также следует учитывать, что разрушение в процессе изнашивания комплексно легированных марганцевых чугунов ввиду их гетерогенного строения носит очень сложный характер. Многие исследователи опускают такие важные моменты, как особенности приработки сплавов в условиях сухого трения, а также анализ результатов повторных экспериментов. Кроме того, на износ влияет множество факторов: изменение микрогеометрии контакта, температура и влажность окружающей среды, возможное попадание инородных тел в процессе контактирования, схватывание на контактных поверхностях, а также приваривание крупных частиц износа к поверхности тела или контртела, что не позволяет тем самым получить максимально-возможное прилегание поверхностей трения, и т. д. Усреднение полученных в ходе эксперимента данных может исказить представления о триботехнических возможностях материала. Выявлению общих закономерностей изнашивания материалов может способствовать отображение экспериментального материала в виде кривых (например, нагрузка-износ).

Целью данной работы являлось проведение экспериментальных и аналитических исследований по выявлению влияния нагрузки на износостойкость графитизированных железоуглеродистых сплавов высоколегирования марганцем.

Сплав 1 имел следующий химический состав: C = 3,7%; Si = 3,0%; Mn = 12%; P = 0,01%; S = 0,005%; Cu = 2,5%; Cr = 1,0%; V = 0,5%; Ti = 0,5%. Сплав 2 обладал таким же химическим составом, за исключением Cr, V и Ti, содержания которых было соответственно: Cr = 0,1%; V = 0,1%; Ti = 0,1%.

В качестве базы сравнения были выбраны никелевый (ЧН15Д7Х2, имеющий торговое название «нирезист») и серый (СЧ 20) чугуны, которые в дальнейшем будут обозначать как сплав 3 и 4 соответственно.

Испытания на износ проводились на машине трения СМЦ-2 по схеме ролик-шарик в режиме сухого трения, так как именно этот режим позволяет максимально полно выявить влияние структуры на триботехнические характеристики чугунов. Кроме того, при сухом трении можно рассматривать как граничный случай трения в масле, а точнее, происходит так называемое «масляное голодание», т. е. исчезновение по каким-либо причинам масляного слоя из трибосоприжения.

Из исследуемых чугунов были изготовлены колодочки, а из стали 45Г ролики (используемые в качестве контртела), закаленные до твердости HRC 55-58. Испытания

проводился при удельных нагрузках 0,5 – 5,0 МПа и скорости скольжения равной 1,528 м/с.

Перед испытанием осуществлялась обработка (при удельных нагрузках 0,5–1,5 МПа) образцов до появления признаков начальной трения и постоянства момента трения.

Износ образцов определялся весовым методом на аналитических весах, точности измерения состава 0,0001г.

Сталь 1 и 2 имели дуриститную металлическую основу, в которой дисперсизированы сложносоединенные комплексные карбиды типа  $(Fe, Ni)_3C$ . Свободный графит дисперсизирован в виде пластин, а также присутствовал в виде энтогенных колоний. Микротвердость  $H_v$  дуритов твердого дуриститного нитрида составила 2400–3000 МПа, а карбидов 1200–11500 МПа.

В стали 3 твердый раствор состоит из дуристита, однако в отличие от марганцевитного чугуна его образование связано, естественно, с преобразованием ПЦК-СДК преобразованием под действием никеля. Микротвердость металлической основы составила 2500 – 2800 МПа.

Структура серого чугуна состоит из феррита-перлитной смеси с равномерно распределенными включениями графита пластинчатой формы. Твердые структурные составляющие были представлены в виде цемента  $H_v = 5000-6000$  МПа. Микротвердость металлической основы составила 1800–2800 МПа.

Для большинства известных сплавов прослеживается следующая закономерность: с увеличением нагрузки износ возрастает [13]. Однако эта закономерность выполняется не всегда [14].

Зависимость интенсивности изнашивания от нагрузки сплава 1 представлена на рис. 1 (кривая отображает данные полученные в условиях последовательного увеличения нагрузки). Из него видно, что особенностью изнашивания этого сплава является появление минимума износа на указанной кривой. Такой же характер зависимости отмечается и для других чугунов на основе высокомарганцевого дуристита.

Аналогичную зависимость интенсивности изнашивания от давления (0,5–1,5 МПа) получили Майендер и Дик [14] при истирании образцов по абразивной ленте (железная сталь по твердой хромистой стали) в условиях сухого трения, при скорости скольжения 1 м/с. Интенсивность изнашивания, согласно экспериментальным данным этих исследователей, возрастает по мере увеличения давления, затем падает и далее вновь увеличивается. Изучая продукты износа, Дик показывает, что снижение интенсивности изнашивания связано с образованием окиси  $\alpha - Fe_2O_3$ , которая предохраняет поверхность от повреждения. Так же следует упомянуть, что при малых удельных нагрузках и низких скоростях скольжения, согласно данным, приведенным в работе [14], пленка в основном состоит из  $Fe_2O_3$ , а при небольших давлениях и высоких скоростях скольжения – из  $Fe_3O_4$ .



Рис. 1. Зависимость изменения интенсивности изнашивания сплава 1 от удельного давления

Для серого и аустенитного никелевого чугуна отмечается постепенный рост интенсивности износа с увеличением нагрузки (см. табл. 1).

Таблица 1

Удельный износ различных чугунов г/см<sup>2</sup> на 1000 метров пути при различном удельном давлении кг/см<sup>2</sup>

| Удельное давление, МПа | Износ сплавов г/см <sup>2</sup> на 1000 метров пути |         |         |          |
|------------------------|---|---------|---------|----------|
|                        | Сплав 1   | Сплав 2 | Сплав 3 | Сплав 4  |
| 0,5                    | 0,6738  | 7,1125  | 6,3564  | 33,9482  |
| 1,0                    | 1,2946  | 11,123  | 6,5864  | 56,9445  |
| 1,5                    | 1,0824  | 7,5456  | 6,8561  | 69,5095  |
| 2,0                    | 0,8056  | 4,9361  | 7,0234  | 76,5093  |
| 2,5                    | 0,6048  | 4,8236  | 7,2356  | 125,4562 |
| 3,0                    | 0,8816  | 5,2356  | 7,4587  | -        |
| 3,5                    | 1,124   | 6,6234  | 7,5862  | -        |
| 4,0                    | 1,354   | 7,2484  | 7,8592  | -        |
| 4,5                    | 1,5054  | 8,4845  | 8,3459  | -        |
| 5,0                    | 1,747   | 9,0802  | 8,7258  | -        |
| Твердость HB           | 250   | 161     | 192     | 174      |

Если изобразить кривую зависимости интенсивности износа от нагрузки для сплавов 3 и 4, то она будет иметь классический идентичный вид ступенчатого характера с резким переходом из области слабого износа в область интенсивного износа.

При нагрузке в 2,5 МПа у сплава 1 появились заусенцы. Однако, они были значительно меньше, чем у «нирезиста», у которого заусенцы стали появляться при нагрузках 1,0-1,5 МПа. У серого чугуна заусенцев почти не было. Следовательно, у сплава 1 и 2 с аустенитной основой характер разрушения сплава носит дисперсионный характер, а у серого чугуна – диспергированный.

У сплава 1 вблизи поверхности трения цвета побежалости появились только при нагрузке в 5,0 МПа и имели соломенный цвет, а сплава 3 цвета побежалости появились при нагрузке в 1,5 МПа и были желтого цвета.

Появление цветов побежалости свидетельствует об увеличении температуры в зоне трения, а также о протекании окислительных процессов на поверхностях трения и в результате появления вторичных структур, которые оказывают существенное влияние на интенсивность изнашивания [11] и могут являться одной из причин, объясняющих характер изнашивания данных сплавов. Появление пленок окислов на поверхностях трения способствует переходу от режима схватывания при нагрузках 0,2-1,5 МПа к режиму «скольжению» протеканию изнашивания данных сплавов при более высоких нагрузках. В пользу этого утверждения косвенным доказательством служит тот факт, что при нагрузке 1,0 МПа был слышен сильный свист, наличие которого свидетельствует об схватывании материалов. При более высоких нагрузках такого характера не наблюдалось. О схватывании при небольших нагрузках можно судить по характеру разрушения поверхностей трения как ролика, так и колодочки, а также по количеству продуктов износа.

Одним из доводов возникновения процессов схватывания могут служить периодические (иногда резкие) колебания величины момента трения и его повышенные значения. Присутствие в продуктах износа крупных включений по внешнему виду (их структура напоминает форму пластин) и цвету, которые можно отнести к контртелу (шпалу), чего почти не наблюдалось при более «спокойных режимах» протекания износа. О более «спокойных режимах» протекания износа можно судить по более высокому моменту трения (коэффициенту трения), отсутствию свиста в процессе трения, а также более низким значениям износа. Для режимов схватывания и интенсивного износа наблюдалось: увеличение размеров частичек; отклонение от равноосной сферической формы; наличие сложной геометрической формы частичек; присутствие

крупных частиц, а также частиц, напоминающих микростружку. В целом это свидетельствует о сложном процессе разрушения поверхностных и подповерхностных слоев в условиях сухого трения, марганцевых чугунов.

Значения величины износа были выражены в массовых, объемных и линейных значениях и представлены для удобства сравнения в виде значений приведенного износа на 1000 метров пути. Это позволило более удобно сравнивать полученные значения, в том числе и с известной классификацией Б. Н. Костецкого [11], согласно которой данный режим повреждаемости можно квалифицировать, как схватывание 1 рода.

При нагрузках, начиная от 1,5 - 2,0 МПа, у сплавов 1, 2 наблюдалось интенсивное выкрашивание графита, который «намазывался» на поверхностях трения, что, безусловно, также отразилось на результатах эксперимента. Графит по сути дела, выполнял роль твердой смазки, что, очевидно, и обусловило снижение интенсивности износа в интервале нагрузок 1,0-2,5 МПа. Включения графита сглаживали неровности, уменьшали удельные давления и контактные напряжения, «сглаживая» тем самым процесс трения и способствуя уменьшению износа, схватыванию, сопряженных поверхностей, а также снижению коэффициента трения. В результате присутствия графита нарушался контакт металлических поверхностей, что позволило облегчить их относительное перемещение снизить потери на трение.

По данным В.Е. Канарчука [13] включения пластинчатого графита, неориентированные в направлении относительного движения, расклинивая отдельные участки металлической основы, способствуют их выкашиванию. Следовательно, ориентация пластинчатого графита в направлении движения, будет расклинивать отдельные участки металлической основы.

Однако в настоящее время уровень литейной технологии еще не позволяет сформировать отливку (будущую деталь) с учетом нужной морфологии, ориентации и распределения всех структурных и фазовых составляющих, чтобы обеспечить максимально возможный уровень триботехнических характеристик материала. И очевидно, что на решение этой задачи потребуется длительный период времени, связанный, в том числе, и с накоплением необходимого количества информации о роли, влиянии и распределении структурных и фазовых составляющих, обеспечивающих требуемую работоспособность трибосопрежения, с учетом всех значимых факторов.

Области в чугуне, в которых располагаются графитные включения, некоторые исследователи рассматривают как поры [13]. Тогда можно предположить, что вследствие деформации некоторых объемов материала поверхностных и подповерхностных слоев, входящих в зону трения, часть не выкрошившегося графита остается закрытой в поре «наплавляющимися» слоями, что может производить расклинивающее действие и способствовать появлению микротрещин как в металлической основе сплава. А разрушение поверхности и образование продуктов износа во многих случаях как раз и является результатом возникновения и развития микротрещин в поверхностном слое материала [7].

В процессе проведения испытаний была отмечена следующая закономерность: при повторном проведении испытаний после более высоких нагрузок износ колодок при более низких нагрузках снижался. Так, например, при уд. давл. 0,5 и 1,0 МПа износ составил 0,0392 и 0,0628 г соответственно за 1 мин. После того, как были сделаны испытания при нагрузке в 2,5 МПа, повторно проведены испытания при нагрузке 0,5 МПа и 1,0 МПа, износ соответственно составил 0,0254 и 0,0488 г.

В работе [14] приведены такие результаты: при переходе с большей нагрузки на меньшую наблюдается период, в течение которого износ вовсе прекращается. В этом явлении авторы усматривают аналогично с закономерностью распределения усталостных трещин в объеме материала, когда при переходе от больших нагрузок к меньшим трещина временно прекращает свой рост, а затем вновь развивается. Это является подтверждением усталостной природы износа.

Наибольшее расхождение в результатах происходило когда были повторно испытаны при нагрузках, начиная от 0,5 МПа и далее, после нагрузок

Говоря о влиянии на интенсивность износа существенное влияние оказывает форма трющихся поверхностей, которая существенным образом влияет на

В работе [15] приведены данные о том, что для марганцевого чугуна, имеющего химический состав 3,4-3,6 % С; 4,0-4,3 % Si; 11,1-11,3 % Mn; 0,1-0,15% S; 0,18-0,3% Р и с включениями карбидов и графита, отмечалась следующая закономерность: коэффициент трения был больше, чем при нагрузке в 35 кг/см<sup>2</sup>, а износ при вышеупомянутых нагрузках был практически одинаковым. Причем при проведении экспериментов в работе [15] были аналогичными с условиями, указанными в данной работе, за исключением того, что скорость скольжения составляла

Дополнительно автором статьи были проведены испытания при скорости скольжения 1,05 м/с, результаты которых подтвердили отмеченные выше закономерности. Увеличение скорости скольжения позволяет прирабатывать образцы за более короткий период, снижает интенсивность изнашивания, а также уменьшает износ при меньших нагрузках, при которых происходит схватывание сопряженных поверхностей.

Микроструктурный сравнительный анализ поверхностей трения исследуемых образцов позволил сделать выводы о том, что при небольших нагрузках и в случае малой скорости износа изменения топографии и характер рельефа поверхностей незначительны. Металлографическими и дюрометрическими исследованиями установлено, что поверхностные структуры мелкодисперсны, по внешнему виду они отличаются от структур основного материала и обладают при небольших нагрузках несколько большей микротвердостью, что свидетельствует об интенсивных физико-химических процессах, протекающих в поверхностных объемах, расположенных в зоне трения. Проводилось изучение структуры поверхностных и подповерхностных слоёв образцов, после каждого эксперимента при увеличении нагрузки (особенно с 3,5 МПа). Полученные данные свидетельствуют о том, что в этих слоях происходят процессы, значительно ускоряющие их разрушение. А анализ продуктов износа показывает, что происходит выкрашивание крупных блоков. Более тщательное изучение поверхностей показывает, что помимо выкрашивания крупных блоков происходит срезание и макровыступов. В конечном итоге приводит к адаптации поверхности и формированию топографии поверхности, характеризующейся значительно меньшей шероховатостью.

Существенную роль на интенсивность изнашивания оказывают вязко-упругие свойства марганцевого аустенита данных сплавов.

Поэтому дополнительно были проведены эксперименты по выявлению степени вязкости и упругости исследуемых сплавов.

На стандартных образцах Ø 30 и высотой 20 мм на прессе Бринелля в центре образцов, сделанных 10-мм шариком, вторично измеряли твердость 5-мм шариком для определения упрочнения.

При этом в первом случае нагрузка составляла 3000 кг, а во втором – 750 кг. Так для сплавов 1 и 2 увеличение твердости составило соответственно 57 и 27%.

Для оценки величины упрочнения твердого раствора проводили измерение его твердости в литом состоянии и после трения. Измерение микротвердости проводилось в направлении, перпендикулярном к поверхности трения. Увеличение твердости отмечается на глубину до 0,12-0,15 мм. Вычисленный на основе

проведенных измерений коэффициент упрочнения марганцевого аустенита по формуле 1, оказался равным  $K_{упр} = 0,12-0,15$ .

$$K_{упр} = \frac{H_{лнт}}{H_{цупр}}, \quad (1)$$

где  $H_{лнт}$ ,  $H_{цупр}$  - микротвердость материала в литом и упрочненном состоянии соответственно.

На основании вышеизложенного можно заключить, что одними из главных факторов (помимо нагрузки и скорости скольжения, и внешней среды), оказывающих существенное влияние на изнашивание марганцевых чугунов в режиме сухого трения являются:

- 1) гетерогенность структуры, обуславливающие сложный механизм разрушения поверхностных и подповерхностных слоёв материала;
- 2) пластичность и вязкость марганцевого аустенита;
- 3) характер приработки, который определяет первоначальное формирование микрорельефа, в дальнейшем влияющего на износ.
- 4) интенсификация активных физико-химических процессов, протекающих в поверхностных и подповерхностных объемах, расположенных в зоне трения.
- 5) выкрашивание графита, играющего роль сухой смазки.

#### Выводы

1. Выявлена особенность изнашивания чугунов на основе высокомарганцевого аустенита, состоящая в аномально нисходящем ходе кривой интенсивность износа, – удельная нагрузка.

2. В процессе проведения экспериментов была отмечена следующая закономерность: при повторном проведении испытаний после более высоких нагрузок износ колодочки при более низких нагрузках снижался.

3. Для режима схватывания и интенсивного износа отмечено наличие крупных частиц износа, имеющих форму микростружки и неравноосных лепестков, в то время как для более «спокойных» режимов трения характерно наличие более мелких частиц износа, имеющих форму равноосных лепестков.

#### Литература

1. Харламов Ю. А., Будагянц Н. А. Физика, химия и механика твдого тела: Луганск: ВУГУ, 2000. – 624 с.
2. Abstracts paper. 2 nd world tribology congress. Vienna : OTG, 2001- 1268 p.
3. Справочник по чугунному литью. - М: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1978.-758 с.
4. Мирошниченко И.Н. Коррозионно-абразивная стойкость марганцевого чугуна, легированного медью и алюминием // Литейное производство. - 1984. -№8. - С. 8-10.
5. Лагуа В. И., Хинчагов Г. В., Колесников В. А. Связь характеристик трения графитизированных аустенитных сплавов с их исходными внутренними параметрами. Ресурсозбигаючи технології виробництва та обробки тиском матеріалів у машинобудуванні. Зб.наук. пр. – Луганськ: Видцтво СНУ, 2001. –268 с.
6. Волюнова Т.Ф. Высокомарганцевые стали и сплавы М: Металлургия, 1988. - 343 с.
7. Коршунов Л.Г., Черненко Н.Л. Влияние марганца на износостойкость марганцовистых метастабильных аустенитных сталей. – Трение и износ, 1984. - №1. - С. 109-112.
8. Кузьменко А. Ю., Платонов Е. А., Федоров Г. Е. Новый безникелевый чугун для деталей систем гидрозолоудаления тепловых электростанций // Литейное производство 2001 № 4 с. 9-10.
9. Филлиппов М. А. Метастабильный марганцевый аустенит как структурная основа сталей с высокой стойкостью в условиях динамического контактного нагружения // Металловедение и термическая обработка металлов - 1995. - № 10. с. 12-15

10. Литвинов В. С. Межатомное взаимодействие и свойства // Металловедение и термическая обработка металлов. - Киев: Техника, 1976. - 202 с.
11. Бекркович И. И. Громашевский. Технические приложения Самары. - 264 с.
13. Канарчук В. Е. Адаптация материалов. - 264 с.
14. Крагельский И. В., Добычин М. И., М. Машиностроение, 1977. - 526 с.
15. Волков А. Н., Ровнова Э. А. Влияние литейное производство. - 1976. - № 10.

УДК 52-13

И.В. Севостьянов

ИСТОЧНИК

Сделан обзор  
Рассматриваются  
на сегодняшний  
гравитационный

Данная работа носит обобщающий характер. Гравитационные волны как наиболее интересные объекты для исследования также проекты по детектированию гравитационных волн.

Спиноры, точно так же как и векторы, легко обобщаются от случая плоского пространства к искривленному.

Каждое событие  $P$  в искривленном пространстве. В нем существуют локализованные в  $P$ . Геометрически это локально лоренцева геометрия. Любые двух векторов  $u$  и  $v$  в  $P$ , можно определить метрический тензор  $\eta_{ab}$ .

где  $\eta_{ab}$  метрический тензор.

Таким образом, математическое описание плоского пространства-времени в математическом плане в однопараметрическом формализме спиноров, разработанный Дираком, может быть без изменения применен к произвольному событию  $P$  в искривленном пространстве.

Спиноры в искривленном пространстве являются математическим аппаратом, позволяющим описывать квантованные частицы с полуквантовым спином. Возьмем в качестве примера спиноры, которые могут действовать на внешнем пространстве (т.е. на пространстве слабого взаимодействия). Это доказательство было бы интересно в искривленном пространстве. Чтобы воспользоваться

- Добрынин В. С. Межатомное взаимодействие в железомарганцевых сплавах, их стабильность // *Металловедение и термическая обработка металлов*. - 1995. - № 10 с. 16-17
- Костюков Б.И., Носовской И.Г., Караулов А.К. Поверхностная прочность материалов при трении. - Киев: Техніка, 1976. - 292с.
- Борисович Н. И. Громянский Д. Г. Трибология. Физические основы, механика и технологические приложения. Самара, Самарский гос. техн. ун-т., 2000. - 268 с.
- Савицкий В. Е. Адаптация материалов к динамическим воздействиям. К.: Наук. думка, 1986. - 364 с.
- Красильский И. В., Добычин М. Н., Комбалов В. С. Основы расчетов на трение и износ. М. Машиностроение, 1977. - 526с.
- Валков А. Н., Ровнова Э. А. Влияние хрома на свойства аустенитного марганцевого чугуна // *Луганское производство*. - 1976. - №10. - С. 6.

И.В. Севонькаев

## ИСТОЧНИКИ ГРАВИТАЦИИ

Сделан обзор о нынешнем состоянии науки в области гравитации. Рассматриваются источники гравитационных волн как наиболее информативные на сегодняшний день; а также освещены методы и проекты по детектированию гравитационных волн. Рис 1, табл. 3, ист. 14.

Данная работа носит обзорный характер. Здесь будут рассмотрены источники гравитационных волн как наиболее информативные. Представлены методы, способы, а также проекты по детектированию гравитационных волн.

Спиноры, точно так же, как векторы, тензоры и дифференциальные формы, обобщаются от случая плоского пространства-времени на случай искривленного.

Каждое событие  $P$  в искривленном пространстве-времени наделяется касательным пространством. В нем существуют и действуют все векторы, тензоры и формы, локализованные в  $P$ . Геометрия касательного пространства является лоренцевой (или лоренцева геометрия в событии  $P$ ), поскольку скалярное произведение двух векторов  $u$  и  $v$  в  $P$ , выраженное в ортогональной системе в  $P$ , есть

$$u * v = g(u, v) = \eta_{\alpha\beta} u^{\alpha} v^{\beta},$$

где  $\eta_{\alpha\beta}$  метрический тензор.

Таким образом, математически касательное пространство в  $P$ , с одной стороны, и плоское пространство-время — с другой ничем не различаются. Что можно сделать в математическом плане в одном из них, то можно сделать и в другом. В частности, весь формализм спиноров, разработанный первоначально в плоском пространстве-времени, может быть без изменения перенесен в касательное пространство, связанное с произвольным событием  $P$  в искривленном пространстве-времени.

Спиноры в искривленном пространстве-времени являются незаменимым математическим аппаратом, если мы желаем изучить влияние гравитации на локализованные частицы с полуцелым спином (нейтрино, электроны, протоны). Именно в качестве примера доказательство Хартли [1] того факта, что черная дыра не может действовать на внешнее вещество какими-либо далекодействующими силами (т. е. что у черной дыры нет "волос слабого взаимодействия"). Это доказательство было бы невозможно без спинорного описания нейтринных полей в искривленном пространстве-времени.

Чтобы воспользоваться математикой спиноров, не обязательно иметь дело с





# **ВІСНИК**

**Східноукраїнського  
національного  
університету  
імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ**

---

**НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ**

**№7(53)**

**2002**

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

# **ВІСНИК**

**Східноукраїнського  
Національного університету  
імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ**

**№7 (53) 2002**

**НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ**

Видання №7 (53)  
Луганськ 2002

|  |   |     |  |
|--|---|-----|--|
| И.А. Дунаев<br>И.А. Жуков  | Угол конформации в формировании структуры<br>решетки слоя двулобовых интерференционных<br>тонких слоев металла            | 211 | V.I. Dunaev<br>K.A. Zhukov   |
| И.А. Дунаев<br>И.А. Жуков<br>В.И. Александров<br>К.А. Карпов       | Применение перхлорного конформатора в разработке<br>технологии металлов тонкого типа                                      | 212 | V.I. Dunaev<br>K.A. Zhukov   |
| В.А. Гринь<br>Г.С. Калюцкий  | О выборе параметров схемы питания плазмотрона   | 213 | V.A. Grin<br>G.S. Kaluytskiy   |
| В.А. Калюцкий  | Особенности формирования графитированных<br>карбидных трубок в условиях сухого трения                                     | 214 | V.A. Kaluytskiy  |
| В.В. Сивильков   | Износостойкость графитов  | 215 | V.V. Sivilkov  |
| В.О. Шенченко<br>К.И. Сулима                                       | Экспериментальные исследования процесса формирования<br>варного шва при ЭПЗ   | 216 | V.O. Shenchchenko<br>K.I. Sulima                                     |
| А.А. Шинкин  | Механика соединения литейных и металлургических<br>швов в условиях производства   | 217 | A.A. Shinkin   |
| К.В. Воронцов  | Улучшение свойств сталей рафинированием при<br>воздействии низкотемпературной плазмы на<br>расплавленный металл           | 218 | K.V. Vorontsov   |
| В.И. Кротоцкий<br>В.И. Волчек<br>Л.А. Волчек<br>Ф.И. Златопольский | Повышение долговечности деталей<br>сельскохозяйственной техники нанесением<br>антикоррозионных металлов – эмалей напорной | 219 | V.I. Krototskiy<br>V.I. Volchek<br>L.A. Volchek<br>F.I. Zlatopolskiy |
| А.Б. Цыгановский   | Эффективность гидроабразивной обработки<br>заполненной стружки  | 220 | A.B. Tsyganovskiy  |
| В.В. Мишак<br>В.А. Медвинск<br>В.В. Савин<br>А.В. Мишак            | Совершенствование технологических процессов и<br>оборудования для виброабразивной обработки деталей                       | 221 | V.V. Mishak<br>V.A. Medvinsk<br>V.V. Savin<br>A.V. Mishak            |
| Д.А. Перов<br>Л.М. Дубенская<br>М.А. Калыпков                      | Расчет магнитного поля в системе<br>электродинамического виброразбудителя   | 222 | D.A. Perov<br>L.M. Dubenskaya<br>M.A. Kalypkov                       |
| Л.М. Дубенская<br>А.В. Мишак<br>С.Н. Ясуник                        | Система СПИЗ в виброабразивной обработке и ее<br>классификация  | 223 | L.M. Dubenskaya<br>A.V. Mishak<br>S.N. Yasunik                       |
| В.А. Дзюба<br>А.Н. Ткаченко<br>С.А. Ткаченко                       | Плазмотрон для резки с медным палом электродом  | 224 | V.A. Dzyuba<br>A.N. Tkachenko<br>S.A. Tkachenko                      |
|  | Аннотации   | 225 |  |
|  | Сведения об авторах   | 226 |  |

УДК 621.771.073

Н.А. Будагьянц, Н.А. Жижкина.

Роль модифицирования в формировании структуры рабочего слоя двухслойных центробежно-литых валков для горячей прокатки // Вісник СНУ ім. В. Даля – 2002. - №7.

Описаны особенности структурообразования таких валков. Установлено, что для улучшения качества материала рабочего слоя и измельчения его структуры необходимо дополнительное модифицирование ванадием. Показано, что дополнительное введение ванадия обеспечивает повышение стойкости высокохромистых валков в 3,2 раза.

УДК 621.74.043-621.771.07

Н.А. Будагьянц, Н.А. Жижкина,  
В.И. Кондратенко, Ю.А. Кордык.

Применение персонального компьютера в разработке технологии валков нового типа // Вісник СНУ ім. В. Даля – 2002. - №7.

В работе предложена методика обработки результатов исследований при разработке валков нового типа. Описана специализированная программа для анализа процесса изготовления двухслойных центробежнолитых валков с рабочим слоем из высокохромистого чугуна. Показано, что для обработки полученных данных с ее помощью возможно применить многие статистические методы. Получены математические модели с оценкой их погрешностей и достоверности.

УДК 537.527

В.Л. Дзюба, Г.С. Калюжный. О выборе параметров схемы питания плазмотрона // Вісник СНУ ім. В. Даля – 2002. - №7.

Рассматривается задача определения параметров схемы питания плазмотрона, обеспечивающих затухание случайных возмущений тока дуги за заданное время. Рис. 3, Ист. 3.

УДК 621.74:669.15.196.

В.А. Колесников. Особенности изнашивания графитизированных марганцевых чугунов в условиях сухого трения // Вісник СНУ ім. В. Даля – 2002. - №7.

Рассмотрено поведение графитизированных марганцевых чугунов в условиях сухого трения с учетом возрастания нагрузки. Показано, что на интенсивность изнашивания существенное влияние оказывает пластичность и вязкость марганцевого аустенита. Отмечены некоторые аспекты поверхностного и объемного разрушения исследуемых чугунов с учетом гетерогенности их структурно-фазового состава.

# ВІСНИК

Східноукраїнського національного університету  
імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ  
№ 7 (53) 2002  
науковий журнал

|                                 |               |
|---------------------------------|---------------|
| Відповідальний за випуск        | Дюба В.Л.     |
| Відповідальний секретар випуску | Андрух А.О.   |
| Літературний редактор           | Морозова І.О. |
| Технічний редактор              | Дрогова Т.М.  |
| Організаційний                  | Савін В.В.    |

Підготовлено до друку 7. 01. 02

Формат 70 x 108 1/16. Папір офсетний Гарнітура Times New Roman.  
Друк офсетний. Умов. друк арк. 27,8. Обл. друк арк. 28,5.  
Висота 100 арк. Вид. № 67/Львівський № 874 Ціна вільна.

Видання вийшло  
Східноукраїнського національного  
університету  
імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ  
91034, м. Луганськ,  
ву. Молодіжній, 20а

Надруковано з готових даних  
у ТОВ "СІ" "СІТ"

91034, м. Луганськ,  
ву. Молодіжній, 20а

Адреса редакції: 91034, м. Луганськ, ву. Молодіжній, 20а.  
Телефон: +38 (0642) 46-13-64. Факс: +38 (0642) 46-13-64.  
E-mail: [visnik@itn.edu.ua](mailto:visnik@itn.edu.ua)

|  |  |     |   |                   |
|--|--|-----|---|-------------------|
| А.Н. Гусаров<br>Н.А. Гудков<br>С.Н. Дроз<br>А.Н. Пелешко | Известия дуготермической стали (1987-1992) после сварки с газометаллическим швом, произведенной в транспортной машине-тракторе                           | 70  | А.Н. Чистиков   | Газовые           |
| Н.А. Гаррашвили  | Сварочные характеристики металлов в газной дуге  | 74  | Н.Н. Гарбунов<br>Н.Н. Варков                                      | Газовые<br>сварки |
| Н.А. Макарыча<br>В.А. Невидимский<br>Н.А. Граммаскин     | Разработка пористых проволок для газовой резки металлов АН-14 с помощью плазменной горелки   | 76  | Н.А. Васильев   | Газовые<br>сварки |
| В.А. Востов  | Регулирование теплового состояния системы газорезки при плавлении пористых проволок  | 84  | Н.В. Вайсман  | Газовые<br>сварки |
| В.А. Востов<br>А.Н. Анисимов<br>В.С. Скрипиченко         | Влияние газоплазменных компонентов пористой проволоки на характеристики макропрофиля   | 90  | В.А. Харламов<br>Н.А. Булаткин<br>С.А. Владимиров<br>А.В. Шибанов | Газовые<br>сварки |
| В.А. Киселов<br>С.В. Волгарев                            | Оптимизация состава газостойких композиций электродов  | 95  | В.А. Харламов   | Газовые<br>сварки |
| А.Н. Жуконя<br>А.Н. Кравцов                              | Структура технологической операции во взаимодействии с параметрами металлорежущего оборудования  | 98  | А.В. Халустов   | Газовые<br>сварки |
| С.Н. Ключников<br>В.М. Карпенко                          | Особенности поверхностного плазменного упрочнения сталей   | 103 | А.Н. Гусаров<br>С.Н. Дроз<br>Н.В. Фирсов                          | Газовые<br>сварки |
| Н.Н. Поконина  | Особенности процесса стружкообразования при электрофизической резке заготовок дисковой пилы трети  | 109 | А.Н. Голофлев<br>Н.С. Нелья                                       | Газовые<br>сварки |
| В.Н. Шинков<br>Н.Н. Ткач<br>С.А. Рейкина<br>Е.А. Мазнев  | Сравнительная оценка критериев работоспособности передач с различной геометрией зубьев   | 112 | В.Н. Осенин<br>В.Н. Сиринов                                       | Газовые<br>сварки |
| В.Н. Шинков<br>Н.Н. Ткач<br>А.В. Пимченко                | Обобщение геометрии зубьев цилиндрических колес, нарезанных режущим инструментом   | 117 | А.С. Захарчук<br>Н.В. Кукушкин                                    | Газовые<br>сварки |
| Н.Я. Бутурлин  | Определение потребности в выделении топлива при сгорании топлива через молекулярные массы компонентов в составе газа в процессе диагностирования дизелей | 122 | А.С. Захарчук<br>Н.В. Кукушкин<br>А.А. Сухаревский                | Газовые<br>сварки |
| В.Н. Сало<br>Л.Н. Карташова                              | Использование вибрации в технологии получения металловолоконных материалов   | 126 | Н.Н. Гарбунов<br>А.Н. Гусаров                                     | Газовые<br>сварки |
| Г.Г. Головинов   | Шоко-подвижения пружинистости моторно-осевых подшипников локомотивов   | 130 | В.Л. Дюба<br>А.В. Чаленко   | Газовые<br>сварки |
| С.В. Жариков<br>В.М. Карпенко                            | Влияние экзотермической смеси, входящей в состав наполнителя самозащитной порошковой проволоки, на повышение производительности наплавки                 | 133 | Н.В. Зайковский   | Газовые<br>сварки |
| В.М. Карпенко<br>А.Н. Цветков<br>М.В. Старницкий         | Влияние легирующих добавок на гомогенность сварного шва из меди  | 137 |   |                   |

**Колесников В.А.** Особенности износа графитизированных марганцевых чугунов в условиях сухого трения // Вісник СНУ ім. В. Даля – 2002.- №7. – С. 232-239.

Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира  
Даля  
Колесніков Валерій Олександрович  
Колесников Валерий Александрович  
Kolesnikov Valerii Oleksandrovich

[https://kidkrasnodon.at.ua/load/osobennosti\\_iznosa\\_grafitizirovannykh\\_margancevykh\\_chugunov\\_v\\_usloviyakh\\_sukhogo\\_trenija/1-1-0-73](https://kidkrasnodon.at.ua/load/osobennosti_iznosa_grafitizirovannykh_margancevykh_chugunov_v_usloviyakh_sukhogo_trenija/1-1-0-73)

[https://kolesnikov.ucoz.com/load/osobennosti\\_iznosa\\_grafitizirovannykh\\_margancevykh\\_chugunov\\_v\\_usloviyakh\\_sukhogo\\_trenija/1-1-0-268](https://kolesnikov.ucoz.com/load/osobennosti_iznosa_grafitizirovannykh_margancevykh_chugunov_v_usloviyakh_sukhogo_trenija/1-1-0-268)