

14–18.

9. Саушкин Б.П. Развитие и применение технологий и оборудования для гидроабразивной обработки /Ритм. 2012, № 4.– С. 68–74.

10. Саушкин Б.П., Шандров Б.В., Моргунов Ю.А. Перспективы развития и применения физико-химических методов и технологий в производстве двигателей Журнал «Известия МГТУ «МАМИ», 2012, №2, стр.242...248.

11. Технология производства авиационных газотурбинных двигателей / Ю.С.Елисеев, А.Г.Бойцов, В.В.Крымов, Л.А.Хворостухин.– М.: Машиностроение. 2003.– 513 с.

12. Елисеев Ю.С., Саушкин Б.П. Электроэрозионная обработка изделий авиационно-космической техники. – М.:– Издательство МГТУ им. Н.Баумана. 2010 – 437 с.

13. Моргунов Ю.А., Саушкин Г.Б., Вилигданов Т.В. Электрохимическое гравирование аэродинамических занижений в оснастке с проточным каналом. «Металлообработка», 2010г., №2, с.70-75

14. Новые наукоемкие технологии в технике: Энциклопедия. Т. 24 / Под общей ред. К.С.Касаева.– М.: ЗАО НИИ «ЭНЦИТЕХ», 2005. – 367 с.

15. Шандров Б.В., Морозов Е.М., Жуковский А.В. Основы технологии микродугового оксидирования: учеб. пособие. М.: Альянс. 2008.

16. Саушкин Б.П. Комбинированные методы обработки в машиностроительном производстве. / Металлообработка. 2003, №1. – С. 8–17.

Влияние технологических факторов на структуру и свойства порошковой углеродистой стали, полученной электроимпульсным спеканием и упрочненной наночастицами

Панов В.С., Скориков Р.А., Еремеева Ж.В., Ниткин Н.М., Шарипзянова Г.Х.,
Жердицкая Н.Н., Иванов С.А.

*Национальный исследовательский технологический университет МИСиС
(НИТУ МИСиС)*

*Московский государственный машиностроительный университет (МАМИ)
Южно-Российский государственный технический университет (НПИ)
Новочеркасская государственная мелиоративная академия*

Анотация. В статье рассматривается исследование влияния температуры электроимпульсного спекания на свойства порошковой стали. Определены оптимальные условия получения среднеуглеродистых сталей, определен порог хладноломкости, позволяющий судить о возможности применения порошковой стали для работы с ударными нагрузками в условиях низких температур.

Ключевые слова: температура спекания, порошковые стали, электроимпульсное спекание.

Порошковые углеродистые конструкционные материалы с высокими механическими свойствами и плотностью находят большое применение в машиностроении. Однако получить такие материалы обычными способами порошковой металлургии не всегда возможно. Метод электроимпульсного спекания позволяет получать порошковые стали с высокими механическими свойствами и плотностью. Электроимпульсное спекание проводили в Научно-исследовательском центре «Конструкционные Керамические Наноматериалы» НИТУ МИСиС на установке искрового плазменного спекания (Spark Plasma Sintering - Labox 650, Sinter Land, Япония).

Целью исследований являлось определение оптимальных температур и времени электроимпульсного спекания и состава порошковых смесей, содержащих различное количество наноразмерных добавок, обеспечивающих наилучшее сочетание прочностных и эксплуатационных свойств.

В работе для изготовления образцов использовались:

- порошок железный марки ПЖР2.200.28;
- графит искусственный специальный малозольный ГИСМ ТУ;
- порошок нанонитрида кремния;
- порошок нано Al_2O_3 ;
- порошок наноуглеродных волокон.

Для получения среднеуглеродистых сталей требуемого состава с наилучшим сочетанием механических и эксплуатационных свойств и определения оптимальных времени и температуры нагрева при проведении электроимпульсного спекания проводили исследования на следующих составах шихт с содержанием наноупрочняющих добавок: 0,1; 0,25; 0,5; 0,75 и 1% и при содержании углерода в шихте равном 0,6 мас.%. Исследования проводились на призматических образцах размером 6x5x50мм и на цилиндрических образцах размером диаметр 10 мм, высота 5 мм.

Электроимпульсное спекание проводилось в графитовых пресс-формах в вакууме при давлении, равном 3 т. Шихта перемешивалась в планетарно-центробежной мельнице в течение 5 мин. Определялись следующие механические свойства: твердость по Бринеллю, прочность на изгиб, ударная вязкость. Результаты испытаний представлены в таблице 1.

Время нагрева в течение 10 минут при температуре $T=1000^\circ C$ обеспечивает растворение углерода в исследуемых образцах, в свободном состоянии остается лишь 0,01 мас%. Газовый (РФА) анализ показал, что образцы исследуемой стали 60П содержат (в %): $O_2=0,07-0,11$; $N_2=0,003-0,004$; $H_2=0,0008-0,0012$ при остаточной пористости 94%. Содержание кислорода и водорода в порошковой стали выше, чем у компактной стали подобного состава. Газы находятся в порах и неметаллических включениях, которые располагаются по границам зерен, ухудшают механические свойства и особенно ударную вязкость.

Результаты исследований влияния температуры электроимпульсного спекания на свойства порошковой стали 60П представлены в таблице 2.

Температура спекания $1000^\circ C$ при времени спекания 10 и 20 мин. обеспечивает высокий уровень механических свойств. Увеличение температуры нагрева до $1100^\circ C$ приводит к некоторому повышению прочности и твердости. Это происходит за счет ускоренного протекания диффузионных процессов. Дальнейшее увеличение температуры электроимпульсного спекания до $1200^\circ C$ при времени 10 мин. может привести к росту зерна, а при времени выдержки 20 мин - к частичному оплавлению торцов образца.

Значения твердости имеют значительный разброс, что объясняется различной природой упрочняющих наноразмерных добавок, а также увеличением размера зерна от периферии к центру. Это же сказывается и на значительном разбросе при испытаниях на изгиб.

Ударная вязкость снижается с увеличением содержания упрочняющих наноразмерных добавок более чем на 0,5 мас.%. При содержании от 0,1 до 0,5 показатели ударной вязкости заметно изменялись в зависимости от вида упрочняющей нанодобавки. Наиболее низкую ударную вязкость имела сталь при введении нанопорошка Al_2O_3 .

Проведенный анализ показал, что основная часть вводимого углерода при $T=1100^\circ C$ и времени спекания 20 мин. растворяется в аустените и при распаде последнего в процессе охлаждения образуется структура, состоящая из мелкоглобульного перлита и мелкозерного феррита.

При изучении микроструктуры образцов с наноуглеродными волокнами «Таунит» было обнаружено, что перлит в этих образцах имеет тонкопластинчатое строение рис 1 в, также были выявлены и участки цементита (рисунок 1б) и отдельные углеродные волокна, находящиеся между пластинами цементита (рисунок 1 а).

При проведении изучения микроструктуры с помощью электронной микроскопии было выявлено более тонкое строение перлита. У образцов, содержащих в шихте наночастицы Si_3N_4 , это можно объяснить тем, что наночастицы нитрида кремния являются центрами зародышеобразования, при этом они имеют гораздо меньшие размеры самих частиц, чем углеродные нановолокна «Таунит».

Механические свойства порошковой стали, содержащей различные упрочняющие добавки от времени электроимпульсного спекания при T=1000°C.

Упрочняющая добавка	Количество упрочняющей добавки, мас.%. масс. %	Время нагрева, мин.	$\sigma_{и}$, МПа	Ударная вязкость, Дж/см ²	Твердость, НВ	
Si ₃ N ₄	0,1	5	210	180	220	
		10	260	280	260	
		20	245	260	240	
	0,25	5	255	260	240	
		10	350	330	270	
		20	280	310	250	
	0,5	5	240	250	235	
		10	310	320	250	
		20	290	300	240	
	0,75	5	235	220	210	
		10	305	310	230	
		20	285	290	220	
	1,00	5	220	190	200	
		10	300	280	220	
		20	270	260	210	
	углеродные нановолокна	0,1	5	200	170	200
			10	245	270	250
			20	225	250	230
		0,25	5	245	250	230
			10	320	310	260
			20	270	280	240
		0,5	5	240	230	225
			10	260	300	250
			20	250	270	240
0,75		5	225	190	210	
		10	265	280	230	
		20	245	260	220	
1,00		5	215	170	190	
		10	250	270	210	
		20	220	230	200	
Al ₂ O ₃		0,1	5	184	150	190
			10	225	260	230
			20	210	240	210
		0,25	5	225	180	220
			10	275	310	250
			20	250	280	230
		0,5	5	210	170	215
			10	260	300	240
			20	230	270	230
	0,75	5	215	160	200	
		10	265	280	220	
		20	225	250	210	
	1,00	5	205	160	190	
		10	260	260	220	
		20	220	240	200	

Механические свойства порошковой стали, содержащей различные упрочняющие добавки, в зависимости от температуры электроимпульсного спекания при времени спекания 10 мин.

Упрочняющая добавка	Количество упрочняющей наноразмерной добавки, мас. %.	Температура, °С	$\sigma_{и}$, МПа	Ударная вязкость	Твердость, НВ	
Si ₃ N ₄	0,1	900	735	150	210	
		1000	260	280	260	
		1100	255	285	270	
	0,25	900	300	290	220	
		1000	350	330	270	
		1100	355	330	270	
	0,5	900	295	290	210	
		1000	310	320	250	
		1100	320	320	240	
	0,75	900	280	270	200	
		1000	305	310	230	
		1100	300	300	230	
	1,00	900	275	260	180	
		1000	300	280	220	
		1100	305	280	210	
	углеродные нановолокна	0,1	900	190	170	170
			1000	245	270	250
			1100	240	250	260
		0,25	900	210	200	180
			1000	275	310	250
			1100	270	300	260
		0,5	900	220	200	190
			1000	275	310	250
			1100	290	300	250
0,75		900	210	180	200	
		1000	265	280	240	
		1100	250	280	240	
1,00		900	200	150	180	
		1000	250	270	210	
		1100	265	280	220	
Al ₂ O ₃		0,1	900	190	150	170
			1000	225	260	230
			1100	230	250	230
		0,25	900	200	230	195
			1000	275	310	250
			1100	290	300	250
		0,5	900	225	250	180
			1000	260	300	240
			1100	250	300	230
	0,75	900	200	230	180	
		1000	265	280	220	
		1100	270	280	220	
	1,00	900	190	170	170	
		1000	260	260	220	
		1100	270	250	220	

При смешивании в ПЦМ происходит образование новых дефектов частиц, что ускоряет спекание, но при этом образуется мелкая структура зернистого перлита (рисунок 2 а, б, в).

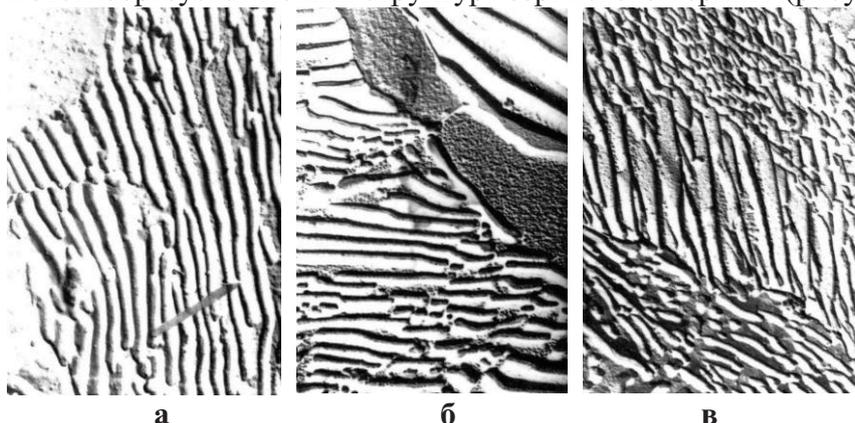


Рисунок 1. Микроструктура образцов с углеродными нановолокнами X16000

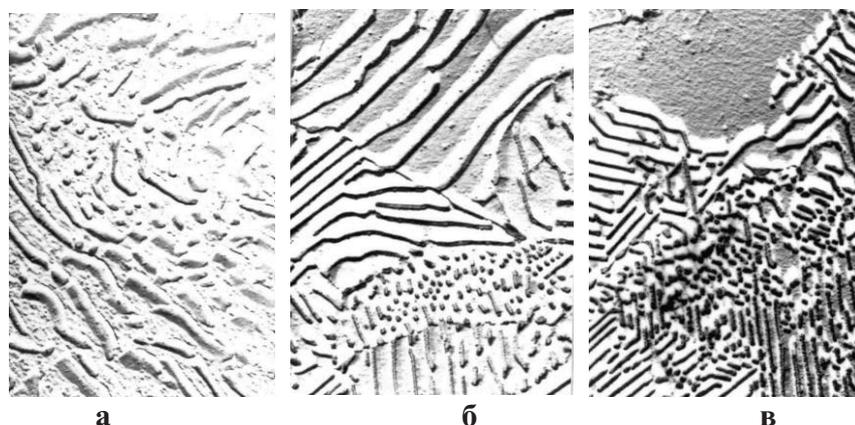


Рисунок 2. Микроструктура образцов с нано Si_3N_4 X16000

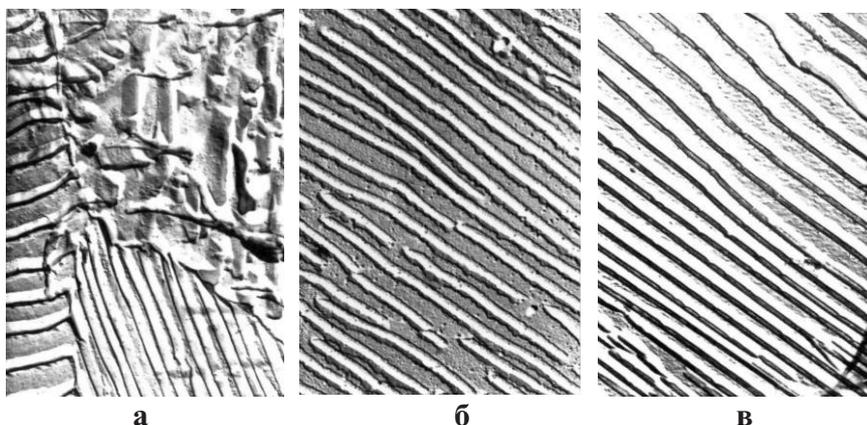


Рисунок 3. Микроструктура образцов с Al_2O_3 x 16000

Введение наночастиц нитрида кремния может привести к его разложению при температуре 1100°C , причем кремний снижает растворимость углерода в γ -железе. Точка эвтектоидного превращения также сдвигается к меньшим концентрациям углерода, а температура эвтектоидного превращения повышается. Влияние кремния на положение границ гамма-области частично компенсируется влиянием углерода, который действует в обратном направлении.

При изучении структуры стали с добавками нанопорошка Al_2O_3 структура после спекания имеет также строение пластинчатого перлита (рисунок 3 а, б и в), но пластины имеют большее межпластинчатое расстояние.

В результате диффузионного распада аустенита цементитная составляющая перлита

может иметь пластинчатую, ленточную, стержневую и зернистую морфологии. Изучение их распределения в порошковой стали позволяет получить данные для оценки и прогнозирования свойств материала на различных стадиях обработки.

С помощью электронной микроскопии было определено влияние малых добавок нитрида кремния при одинаковом содержании углерода на морфологию перлитной составляющей углеродистых сталей.

Образцы 30x20x1,5 мм исследуемых сталей после механической полировки дополнительно полировали в вводимом растворе уксусной кислоты и хромистого ангидрида при 20 вольтах, 0,1 А/см², а затем травили в 2% нитале. Углеродные реплики отделяли электролитически и оттеняли платиной.

При обычном увеличении дисперсность перлитной составляющей в исследуемых сталях не различима. С уменьшением содержания углерода наблюдается лишь незначительное увеличение α -фазы. Различия в размере зерен не носит стабильного характера.

При электронномикроскопическом исследовании тонкой структуры определяли межпластинчатое расстояние S_{cp} и морфологические особенности перлитной составляющей.

Сравнение тонкой структуры перлита исследуемых сталей показало, что как межпластинчатое расстояние S_{cp} , так и морфологические особенности перлита при малых добавках наночастиц нитрида кремния или углеродных нановолокон заметно меняются. Так, введение наночастиц нитрида кремния межпластинчатое расстояние возрастает на 0,2 мкм, а при введении наночастиц Al_2O_3 - на 0,5 мкм, введение нановолокон «Таунит» практически не сказывается на межпластинчатом расстоянии перлита. При сравнении тонкой структуры перлита стали при смешивании в ПЦМ с концентрацией нитрида кремния 0,5 мас.% наблюдается более грубое строение, преобладает ленточный и пластинчатый перлит, несколько возрастает количество ферритной составляющей. При более низком содержании добавок кремния перлит имеет более дисперсное строение. Так, при сопоставлении скорости роста колоний перлита в углеродистых сталях показало, что добавки нанопоршка нитрида кремния уменьшают скорость роста перлита в 10 раз. Это уменьшение обусловлено необходимостью перераспределения кремния между фазами при эвтектоидном распаде, поскольку кремний мало растворим в цементите.

При сравнении тонкой структуры перлита углеродистой стали У10П, содержащей углеродные нановолокна, наблюдается также изменение межпластинчатого расстояния и погрубение перлита. В перлите как при содержании наночастиц нитрида кремния, так и при содержании углеродных нановолокон наблюдается значительное количество нерегулярных колоний. Это колонии, в которых пластины имеют зигзагообразный и стержневидный характер.

При неизменном межпластинчатом расстоянии в колонии постепенный переход от пластинчатой морфологии цементита к ленточному и далее к стержневидной морфологии энергетически оправдан, т.к. при этом, несмотря на некоторое утолщение лент, уменьшается суммарная площадь межфазных границ и связанная с ней поверхностная энергия системы. В ряде колоний наблюдались зоны перехода цементита от пластинчатого к ленточному, а также от ленточного к стержневидному, поэтому, при определенном межпластинчатом расстоянии процесс развития цементитной составляющей перлитной колонии происходит в несколько стадий: зародышеобразование – ветвление – формирование пластин – расчленение на ленты – образование стержней.

Важной характеристикой исследуемых порошковых сталей является ударная вязкость при пониженных температурах и критическая температура хрупкости (порог хладноломкости). За критическую температуру хрупкости принимали минимальную температуру, при которой ударная вязкость хотя бы одного надрезанного образца исследуемых порошковых сталей была равна или меньше 2 кгм/см². Для определения ударной вязкости при низких температурах образцы перед испытанием нужно охладить. Охлаждение производится в ванне с ацетоном, бензином, спиртом или другой жидкостью с низкой температурой затвердевания. Ванна изготавливается из материала с низкой теплопроводностью (например, из пенопласта).

Для охлаждения ванны и поддержания в ней нужной температуры применяется жидкий азот. Температура кипения азота -196°C . При заливке жидкого азота в ванну он кипит, испаряется и охлаждает при этом ванну с жидкостью и помещенными в нее образцами. Температура ванны замеряется пентаным термометром. Для выравнивания температуры по всему объему образцов они должны находиться в ванне не менее 15 минут. Температура образцов в ванне должна быть на $3-5^{\circ}\text{C}$ ниже температуры испытания. Тогда за время переноса образца из ванны на опоры копра он нагреется не выше требуемой температуры. Время с момента извлечения образца из ванны до момента его разрушения не должно превышать 5 секунд. Ударные испытания проводили при температуре от $+20$ до -60°C на образцах ГОСТ. Испытания проводили на установке в центре коллективного пользования НИТУ МИСиС. Результаты ударных испытаний представлены на рисунок 4.

Каждая экспериментальная точка соответствует среднему значению трех опытных точек. Значение ударной вязкости исследуемых порошковых сталей с понижением температуры испытания уменьшается, однако это уменьшение носит замедленный характер. Это результат мелкозернистой структуры образца, измельчения субзернистой структуры и наличия упрочняющих частиц. В итоге эксперимента порог хладноломкости исследуемых порошковых сталей смещается в сторону низких температур.

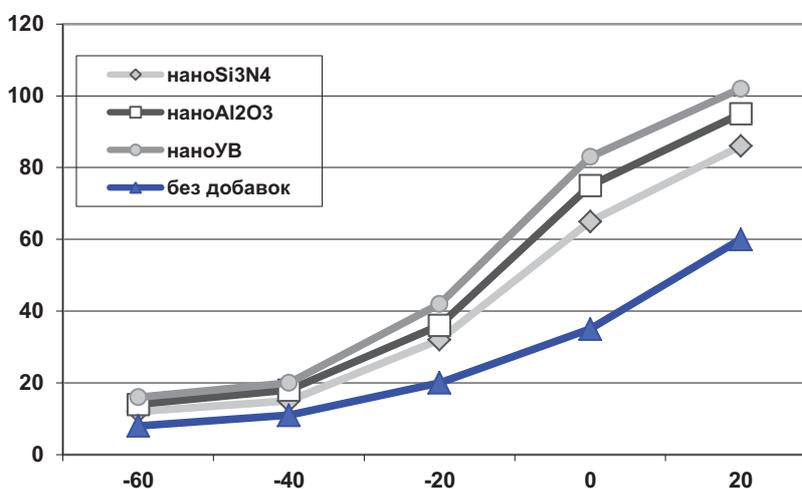


Рисунок 4. Результаты ударных испытаний

Выводы

Определены оптимальные условия получения электроимпульсным спеканием среднеуглеродистых сталей $T=1100^{\circ}\text{C}$ и время выдержки 20 мин.

Из экспериментальных данных оптимизированы составы порошковых смесей, при введении упрочняющей добавки в количестве 0,25 мас.% наблюдается наилучшее сочетание механических свойств сталей.

Определен порог хладноломкости порошковых сталей, позволяющий судить о возможности применения их для работы с ударными нагрузками в условиях низких температур.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ проект номер 13-08-0257

Литература

1. Райченко А.И. Основы процесса спекания порошков пропусканием электрического тока - М.: «Металлургия». 1987.- 206 с.
2. Особенности применения наноразмерных порошков углерода и хрома на процессы подготовки шихты и прессования порошковых сталей [Текст] / Ж. В. Еремеева Н. М. Ниткин, Г. Х. Шарипзянова. // Известия МГТУ «МАМИ». – 2011. - № 2. - С. 123-127.
3. Роман О.В., Габриелов И.П. Справочник по порошковой металлургии: порошки, материалы, процессы. – Минск: Беларусь, 1988.-175 с.
4. Еремеева Ж.В., Костиков В.И., Дорофеев Ю.Г.; Жердицкая Н.Н., Ульяновский А.П., Шарипзянова Г.Х. Особенности применения нетрадиционных углеродсодержащих компонентов в технологии порошковых сталей. Сообщение 3. Влияние технологических факторов на

Модернизация микроинтерферометра МИИ-4

Бавыкин О.Б., д.т.н. проф. Вячеславова О.Ф.
 Университет машиностроения
 smis@mami.ru

Аннотация. В статье на основе проведенного анализа преимуществ и недостатков микроинтерферометра МИИ-4 предложено направление модернизации данного средства измерений с целью приближения его возможностей к современным аналогам. Апгрейд прибора позволит получать цифровые изображения поверхности и вести их дальнейшую обработку на ЭВМ с вычислением фрактальной размерности.

Ключевые слова: микроинтерферометр, шероховатость, MathCad, ПЗС, фракталы

Оптические измерения шероховатости поверхности имеет ряд преимуществ по сравнению с контактными методами [1]. Наиболее распространенным оптическим средством измерений параметров шероховатости поверхности является микроинтерферометр МИИ-4, разработанный Владимиром Павловичем Линником в 30-х годах прошлого века.

На основе проведенного анализа конструкции микроинтерферометра, особенностей его настройки, а также получения и обработки результатов измерений можно выделить следующие преимущества и недостатки прибора (таблица 1).

Таблица 1

Преимущества и недостатки микроинтерферометра МИИ-4

Преимущества прибора	Недостатки прибора
1. Бесконтактный метод измерений позволяет оценить качество поверхности детали в труднодоступном месте. 2. Возможность использования прибора в качестве металлографического микроскопа; 3. Возможность фотографирования изображения поверхности при установке фотоаппарата в специально предусмотренное место	1. Высокая погрешность оператора, вызванная необходимостью ручной настройки прибора, выполнения измерений, а также математической обработки результатов. 2. Сложности в получении адекватной измерительной информации из-за трудностей в получении четкой интерференционной картины. 3. Низкое увеличение при установке камеры в специально отведенное место приводит к плохому качеству фотографий поверхности образца; 4. Ограниченность в вычисляемых параметрах шероховатости поверхности

Анализируя данные таблицы 1, можно отметить следующее:

- прибор МИИ-4 обладает серьезными недостатками, которые не позволяют ему составить адекватную конкуренцию современному оборудованию, предназначенному для оценки качества поверхности;
- в конструкции микроинтерферометра заложен потенциал (режим металлографического микроскопа, наличие специального окошка для установки фотокамеры), реализация которого относительно простыми и дешевыми цифровыми методами получения и обработки изображений даст возможность получить модернизированный интерферометр, сравнимый по своим возможностям с последними техническими и программными достижениями в области изучения рельефа поверхности деталей машин.

Предлагаются следующие действия по модернизации средства измерений параметров