

Створення і застосування прогресивних технологій в машинобудуванні

УДК 621.9.01

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ОБРАБОТАННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ ИЗ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Филатов Ю.Д., Сидорко В.И., Ковалев С.В., Филатов А.Ю., Ящук В.П.
(ИСМ им. В.Н. Бакуля, КНУ им. Т. Шевченко, г. Киев, Украина)

Введение

Повышение эффективности финишной алмазно-абразивной обработки и, особенно заключительной операции – полирования, неметаллических материалов (НМ) немислимо без применения современных методов контроля их качества. В технологических процессах полирования изделий из природных (строительных и поделочных камней) и синтетических материалов (плавленого базальта, декоративных ситаллов и керамического гранита), деталей оптических систем из стекла, оптических кристаллов и керамики, элементов электронной техники из диэлектриков и полупроводниковых кристаллов, а также ювелирных и декоративно-художественных изделий из минералов, синтетических кристаллов и драгоценных камней, все более широко используются методы контроля качества, эксплуатационных показателей и функциональных характеристик. Качество обработанных поверхностей деталей из неметаллических материалов характеризуется наличием дефектов (царапин, точек, выколов, воздушных пузырей), отражательной способностью, шероховатостью, полнотой проявления идиохроматической окраски и эллипсометрическими параметрами отраженного от них поляризованного излучения. Наиболее перспективными являются методы, которые обеспечивают возможность *in process*-мониторинга параметров шероховатости поверхностей, их рефлектометрических и колориметрических характеристик, эллипсометрических параметров и оптических постоянных, дефектности и глубины нарушенного слоя [1-6].

Обработка плоских поверхностей деталей из неметаллических материалов – образцов диаметром 60 мм осуществлялась на шлифовально-полировальном станке мод. ЗШП-350 при давлении прижима детали к инструменту 0,05 МПа, частоте вращения инструмента 200 об/мин. В качестве смазывающе-охлаждающей технологической среды (СОТС) использовалась вода. Для шлифования образцов использовались инструменты из алмазных микропорошков АСМ 40/28–10/7 и полиэтилентерефталата, а для полирования – инструменты со связанными полировальными порошками оксидов алюминия и церия, а также ультрадисперсного алмаза [5-8].

Основная часть

Качество обработанных поверхностей деталей из неметаллических материалов. Поверхности деталей после обработки на технологических операциях тонкого (ТАШ) и супертонкого (СТАШ) алмазного шлифования, а также полирования инструментами со связанными полировальными порошками характеризуется различной дефектностью, шероховатостью и отражательной способностью.

Оценка дефектности обработанных поверхностей осуществляется методами оптической микроскопии. Наличие дефектов на поверхностях деталей из НМ контролировалось визуально и при помощи микроскопа ЛОМО «Метам Р-1», оснащенного цифровой камерой Vision «STD-Res Series» и компьютером. На рис. 1 представлены изо-

бражения дефектов на обработанных поверхностях: выколов и направленных царапин (а) на исходной (после резки), царапин и точек (б) на шлифованной (после СТАШ) поверхностях антимонида индия (InSb), а также отдельных выколов (в) и налета (г) на полированной поверхности природного базальта Ивановолинского месторождения (Украина).

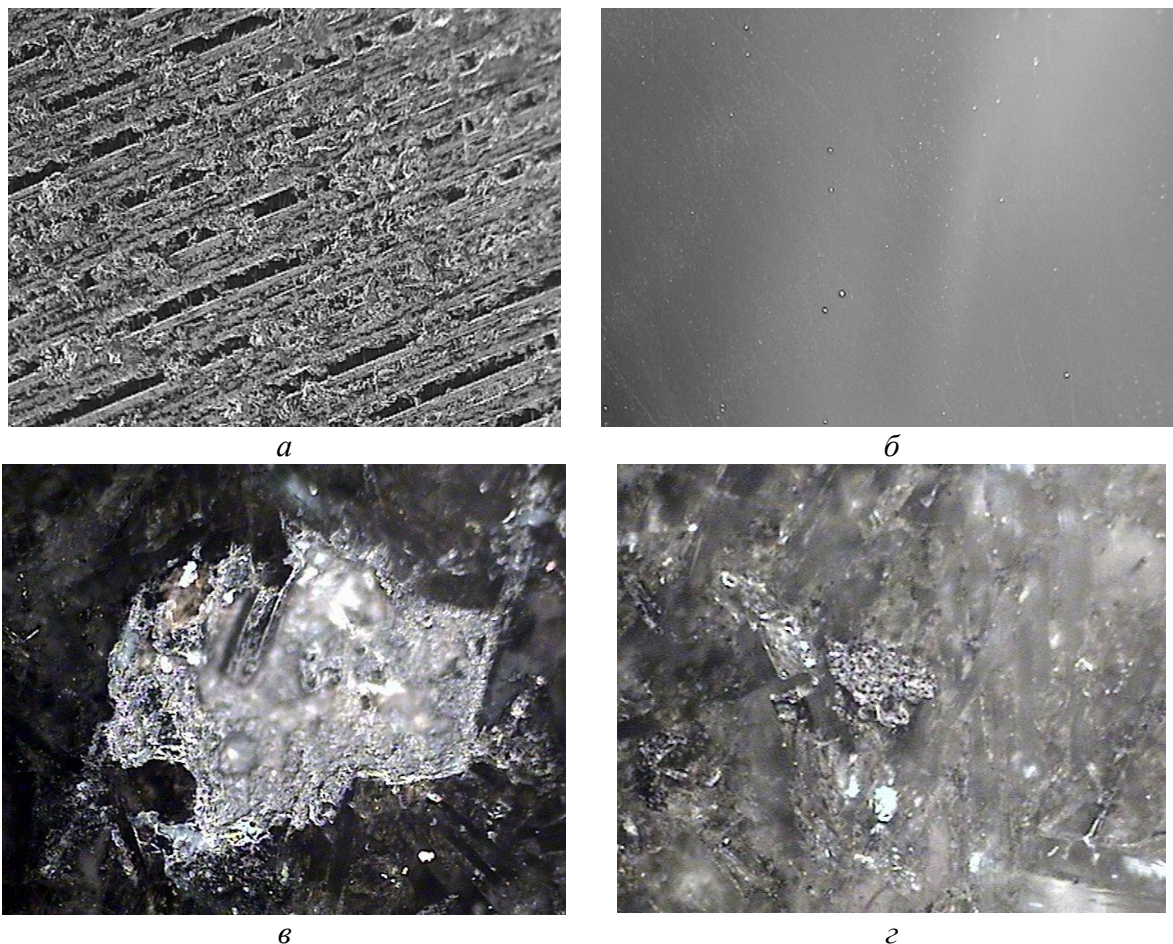
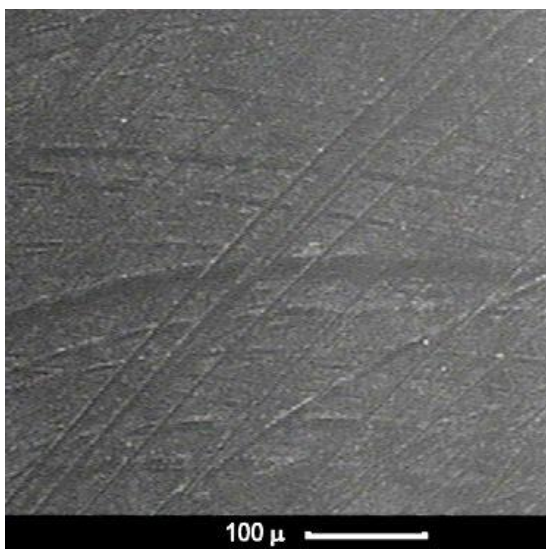


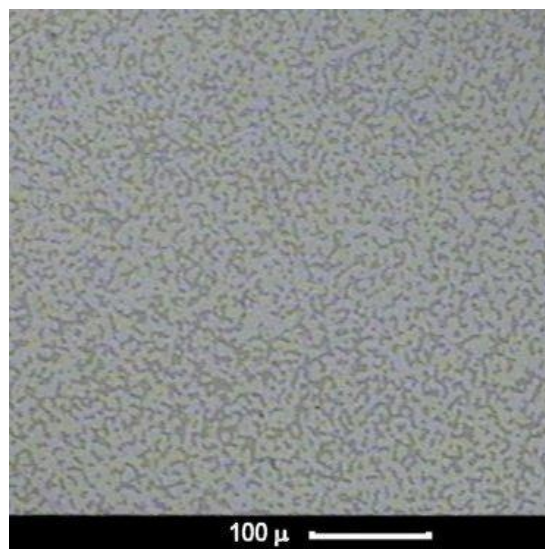
Рис. 1. Дефекты на обработанных поверхностях антимонида индия и базальта

Дефектность обработанных поверхностей декоративно-художественных изделий Сваровски иллюстрируется рис. 2, а, на котором отчетливо видны следы механической обработки в виде сетки царапин. Для сравнения на рис. 2, б представлено микроскопическое изображение поверхности образца из декоративного ситалла (производства завода «ЭКСОМ», г. Чернигов, Украина), обработанной при ТАШ, СТАШ и полировании инструментом из порошков оксида алюминия, на которой дефекты отсутствуют.

В процессе финишной обработки НМ образующиеся дефекты (царапины, выколы) на последующих операциях обработки удаляются. На рис. 3 представлены изображения обработанных поверхностей детали из оптического стекла марки К8 после ТАШ, СТАШ и полирования. При ТАШ количество дефектов на поверхности уменьшается (рис. 3 а, б), на операции СТАШ (рис. 3, в) ликвидируются целые группы дефектов и образуется гладкая поверхность, дефекты с которой полностью удаляются при полировании (рис. 3, г).

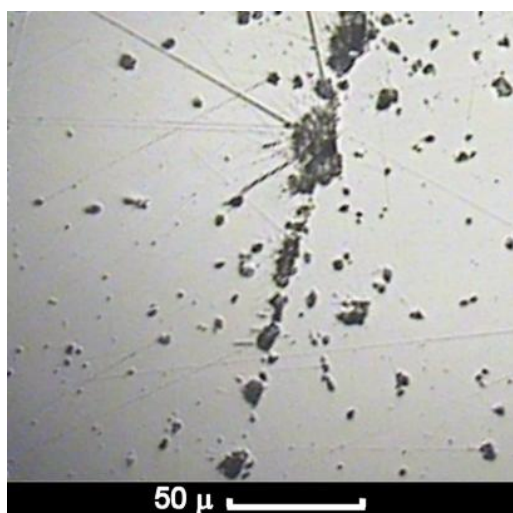


a

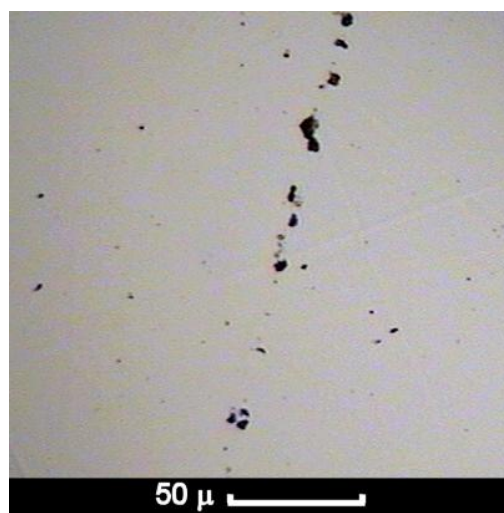


б

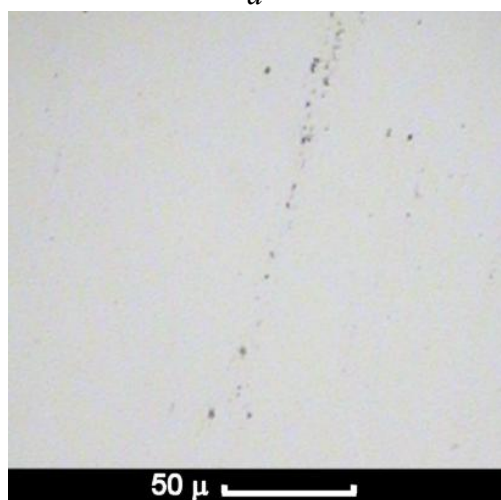
Рис. 2. Дефекты на полированных поверхностях изделия Сваровски и декоративного ситалла



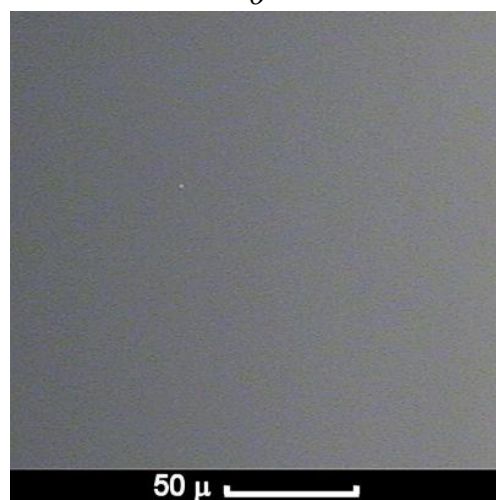
a



б



в



г

Рис. 3. Характерные группы дефектов на поверхности стекла марки К8

Для определения коэффициента отражения света обработанной поверхности изделия использовалась лазерная установка, схема которой приведена на рис. 4. Излучение лазера 1 на ИАГ: Nd^{3+} ($\lambda = 1,06$ мкм) проходит через диафрагму 2, которая выделяет наиболее однородную часть пучка, преобразуется нелинейным кристаллом 3 (KDP) во вторую гармонику, длина волны $\lambda = 530$ нм которой соответствует середине видимого диапазона спектра. Часть пучка ответвляется плоскопараллельной пластинкой 5 на фотодиод 10 для контроля интенсивности лазерного пучка. Вторая часть пучка после прохождения пластинки 5 падает на плоскую поверхность исследуемого образца 6 и, отразившись от нее, поступает через диафрагму 7 и фильтр 9 на фотодиод 11 для контроля интенсивности зеркально отраженного луча. Диафрагма 7 служит для выделения света, который распространяется в зеркальном направлении. Фильтры 8, 9 ограничивают интенсивности падающих на фотоприемники пучков до уровня, соответствующего линейной области световой характеристики фотодиодов. Фототоки фотодиодов после усиления в модулях 12 и 13 поступают на амплитудно-цифровой преобразователь (АЦП) 14 и записываются в файл на персональном компьютере 15.

Коэффициент отражения света поверхностей из джеспилита (на различных участках), изделия Сваровски, а также поверхностей образцов из гранита Токовского и Янцевского месторождения, оптического стекла марки К8 и декоративного ситалла, обработанных инструментами со связанными полировальными порошками на основе диоксида церия и оксида алюминия, составляет 4,5– 9,5%. Значения коэффициента отражения света полированных поверхностей указанных НМ приведены в табл. 1.

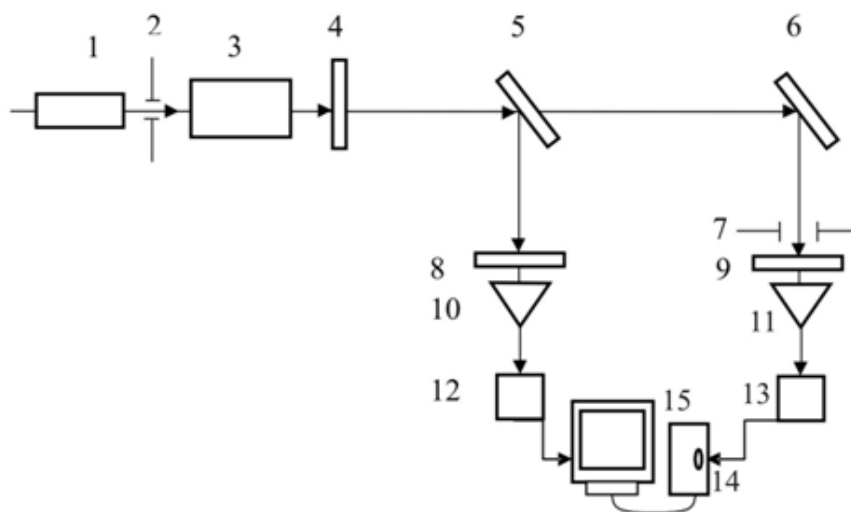


Рис. 4. Схема установки для определения коэффициента отражения

Таблица 1. Коэффициент отражения полированных поверхностей

Материал (исследуемая зона)	K , %	Материал	K , %
Джеспилит		Изделие Сваровски	$5,69 \pm 0,08$
- серый участок	$5,2 \pm 0,1$	Ситалл белый	$9,10 \pm 0,05$
- черный участок	$5,8 \pm 0,2$	Стекло К8	$6,71 \pm 0,10$
- красно-черный участок	$6,8 \pm 0,1$	Янцевский гранит	$4,51 \pm 0,10$
- красный участок	$9,5 \pm 0,1$	Токовский гранит	$5,55 \pm 0,10$

Шероховатость обработанных поверхностей деталей из НМ оценивалась при помощи метода профилометрии. В табл. 2 приведены значения параметров шероховатости Ra , Rz , $Rmax$ полированных поверхностей изделий из указанных НМ.

Таблица 2. Параметры шероховатости полированных поверхностей

Исследуемая зона	Ra , мкм	Rz , мкм	$Rmax$, мкм
Джеспилит			
- красный участок	0,015±0,010	0,02±0,01	0,27±0,05
- красно-черный участок	0,014±0,010	0,09±0,01	0,15±0,05
- черный участок	0,050±0,010	0,13±0,02	0,21±0,05
Изделие Сваровски	0,052±0,010	0,16±0,03	0,42±0,05
Ситалл белый	0,020±0,004	0,10±0,01	0,15±0,01
Стекло К8	0,01	0,05	0,07
Янцевский гранит	0,016±0,005	0,08±0,01	0,13±0,01
Токовский гранит	0,014±0,010	0,09±0,01	0,16±0,03

Для оценки идиохроматической окраски полированных поверхностей изделий декоративно-художественного назначения из природного камня использовались спектры отражения и рассеяния света в диапазоне длин волн видимого спектра 400–680 нм [9-11], полученные на установке, которая функционирует следующим образом. Свет источника со сплошным спектром излучения (галогенная лампа накаливания) фокусировался на образце, сориентированном так, чтобы зеркальная составляющая отраженного света задерживалась экраном. Угол между направлением регистрации и зеркальным направлением составлял 30° . Рассеянная составляющая диафрагмировалась и фокусировалась на входное отверстие световода, затем поступала на вход дифракционного монохроматора МДР-2 и регистрировалось с помощью фотоэлектронного умножителя ФЭУ-136, сигнал которого усиливался, превращался в цифровой код амплитудно-цифровым преобразователем (АЦП) и записывался с помощью специальной программы на персональном компьютере (ПК). Полнота проявления идиохроматической окраски характеризовалась коэффициентом, который определяется отношением интенсивностей спектров рассеяния обработанной и эталонной поверхностей. Поверхность эталона – образца из джеспилита была обработана с помощью классического метода формообразования полировальным порошком на основе оксида хрома на войлочном полировальнике. Величина коэффициента $\zeta = I/I_{et}$ (I , I_{et} – интенсивности рассеянного света обработанной и эталонной поверхностями соответственно) для исследуемого материала (джеспилита) составляет $\zeta \approx 0,5$.

Методика эллипсометрических исследований полированных поверхностей изделий из НМ основана на определении эллипсометрических параметров – разности фаз колебаний взаимно перпендикулярных компонент электрического вектора Δ и отношения амплитуд этих компонент Ψ поляризованного света (на длине волны $\lambda = 632,8$ нм) при отражении от полированных поверхностей (при постоянном значении угла падения лазерного луча на поверхность образца $\varphi = 70^\circ$). Экспериментальные значения эллипсометрических параметров Δ и Ψ , а также оптические постоянные (показатель преломления n , показатель поглощения k , коэффициент отражения r) исследуемых НМ приведены в табл. 3.

Таблица 3. Эллипсометрические параметры и оптические постоянные НМ

Изделие	Δ , град	Ψ , град	Показатель преломления n	Показатель поглощения k	Коэффициент отражения r , %
Образец 1 Сваровски	173°18′	19°36′	1,542	0,090	5,90
Образец 2 Сваровски	176°13′	20°54′	1,511	0,050	4,90
Джеспилит	178°36′	21°16′	1,353	0,021	2,25
Янцевский гранит	178°01′	23°14′	1,390	0,028	2,73
Токовский гранит	177°31′	23°09′	1,400	0,035	2,78

Выводы

На основе приведенных результатов можно предложить универсальную методику контроля качества обработанных поверхностей деталей из неметаллических материалов. В зависимости от функционального назначения деталей, требований, которые предъявляются к качеству их обработки (точность формы, шероховатость, оптическая чистота, отражательная способность, идиохроматическая окраска и др.) и технологической операции их обработки методика промежуточного или окончательного контроля должна включать определение определенного набора параметров. При ТАШ и СТАШ поверхностей деталей из НМ их качество определяется методами оптической микроскопии и профилометрии. После окончательной обработки – полирования поверхности характеризуется дефектностью, шероховатостью, отражательной и рассеивающей способностью, идиохроматической окраской, значениями эллипсометрических параметров и оптическими постоянными. Для контроля качества обработки поверхностей изделий из природного и синтетического строительного и поделочного камня, бижутерии и декоративно-художественных изделий из прозрачных кристаллов Сваровски и стекла достаточно оценки параметров шероховатости и (или) коэффициента отражения света. Оптический метод рефлектометрии целесообразно использовать для оценки качества обрабатываемых поверхностей деталей из неметаллических материалов непосредственно в процессе их обработки - in process-мониторинга коэффициентов отражения и рассеяния света.

Список литературы: 1. Skryabin V.V., Filatov Yu.D., Sidorko V.I., Yashchuk V.P. The control of quality parameters of polished surfaces of articles from silica-alumina materials. – Scientific works of the conf. SPO 2004, Kyiv, October 2004, p.60. 2. Poperenko L.V., Filatov A.Y. In situ ellipsometry of surface layer of nonmetallic transparent materials during its finish processing // E-MRS 2005 Spring Meeting, May 31 – June 3, 2005, Symposium P: Current trends in optical and X-ray metrology of advanced materials for nanoscale devices, P/P.12. – p. 18/32. 3. Filatov Y. D., Sidorko V. I., Filatov A.Y. Finishing of non-metallic materials including real-time laser ellipsometry monitoring // SPIE International Symposium “Laser and Applications in Science and Engineering – LASE 2006”, San Jose, California USA, 21–26 January 2006, Abstracts 6106A–55. 4. Filatov A. Yu., Poperenko L.V. In situ ellipsometry of surface layer of nonmetallic transparent materials during its finish processing.– Applied Surface Science, V. 253, Issue 1, October 2006, p.163–166. 5. Закономірності фінішної алмазної обробки мармуру / Сідорко В.І., Філатов Ю.Д., Крамар В.Г. Шульженко О.О., Бочечка О.О., Скрябін В.В., Ковальов С.В. // Збірник наукових праць «Процеси механічної обробки в машинобудуванні». – Житомир, ЖДТУ, 2005. – Вип. 1. – 420 с. – С. 218–234.

6. Глубина нарушенного слоя при финишной обработке неметаллических материалов / Сидорко В.И., Филатов Ю.Д., Майстренко А.Л. и др.// Резание и инструмент в технологических системах: Межд. научно-техн. сборник.– Харьков: НТУ «ХПИ», 2005.– Вып. 69. – С. 257–268. 7. Филатов Ю.Д. Полирование алюмосиликатных материалов инструментом со связанным полировальным порошком / Сверхтвердые материалы. – 2001. – № 3. – С. 36–49. 8. Rogov V.V., Filatov Yu.D., Kottler W., Sobol V.P. New technology of precision polishing of glass optic. – Optical Engineering, V. 40, August 2001, p.1641–1645. 9. Топорец А.С. Оптика шероховатой поверхности. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд., 1988. – 191 с. 10. Дослідження якості поверхонь деталей з неметалевих матеріалів оптичними методами / Сидорко В.И., Філатов О.Ю., Поперенко Л.В., Ящук В.П., Скрябін В.В., Філатов Ю.Д. // Наук. праці Наук.-практ. конф., присвяч. 100-річчю з дня народження засновника кафедри оптики професора Шишловського О.А., 30 березня - 1 квітня 2005 р. – К.: Видавничо-поліграфічний центр „Київський університет”, 2005. – С. 152–164. 11. Контроль качества поверхности изделий из керамического гранита и подолочного камня // Скрябин В.В., Сидорко В.И., Филатов Ю.Д., Ящук В.П.// Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технологии его изготовления и применения: Сборник научных трудов. – Вып. 7. – Киев: ИСМ им. В.Н. Бакуля, 2004. – С. 64–67.

ОЦІНКА ЯКОСТІ ОБРОБЛЕНИХ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ З НЕМЕТАЛЕВИХ МАТЕРІАЛІВ

Філатов Ю.Д., Сідорко В.І., Ковальов С.В., Філатов О.Ю., Ящук В.П.

Описано методику оцінки якості поверхонь деталей неметалевих матеріалів методами оптичної мікроскопії, профілометрії рефлектметрії, і лазерної еліпсометрії. Наведено результати контролю дефектності, шорсткості, відбиваючої здатності, ідіохроматичного забарвлення, еліпсометричних параметрів та оптичних сталих оброблених поверхонь деталей з каменю, оптичного скла, напівпровідникових кристалів та декоративно-художніх виробів.

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ОБРАБОТАННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ ИЗ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Филатов Ю.Д., Сидорко В.И., Ковалев С.В., Филатов А.Ю., Ящук В.П.

Описана методика оценки качества поверхностей деталей неметаллических материалов методами оптической микроскопии, профилометрии и рефлектметрии, и лазерной эллипсометрии. Приведены результаты контроля дефектности, шероховатости, преломляющей способности, идиохроматической окраски, эллипсометрических параметров и оптических постоянных обработанных поверхностей деталей из камня, оптического стекла, полупроводниковых кристаллов и декоративно-художественных изделий.

ESTIMATION OF QUALITY OF THE PROCESSED SURFACES DETAILS FROM NONMETALLIC MATERIALS

Filatov J.D., Sidorko V.I., Kovalev S.V., Filatov A.J., Jashchuk V.P.

The method of estimation of quality of surfaces of details is described from non-metallic materials by the methods of optical microscopy, profilometry, reflectometry and laser ellipsometry. The results of control of defectiveness, roughness, reflecting ability, idiochromatic colouring, ellipsometric parameters and optical permanent machined surfaces of details from a stone, optical glass, semiconductor crystals and decoratively wares are resulted.

Рецензент: д.т.н., проф. Калафатова Л.П.