

Для оценки механических свойств наплавленных слоев на поперечных шлифах измерялось распределение микротвердости от поверхностного слоя к основному металлу (рисунок 4). Установлено, что значение микротвердости наплавленного слоя примерно в 5 раз превышает значение микротвердости материала основы.

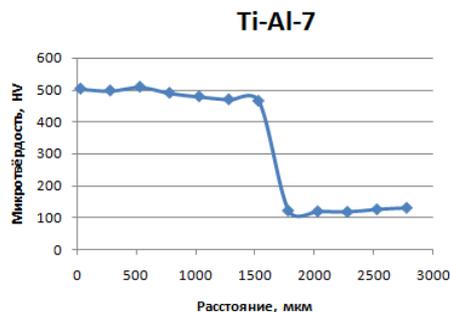


Рис. 4. Результаты измерений микротвердости покрытий системы Ti-Al, полученных методом электронно-лучевой наплавки

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Метод вневакуумной электронно-лучевой наплавки позволяет формировать высококачественные интерметаллидные слои на поверхности титановых сплавов.
2. Полученные слои не содержат крупных дефектов в виде пор или трещин.
3. В случае наплавки слоев системы Ti-Al обнаружено, что наплавленные слои состоят из трех фаз: TiAl, Ti₃Al и α-Ti.
4. Твердость наплавленных слоев примерно в 5 раз превышает твердость материала основы.

ИЗНОСОСТОЙКИЕ КОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ СМЕСИ «СВМПЭ+ПТФЭ», НАПОЛНЕННЫЕ НАНО- И МИКРОЧАСТИЦАМИ И ВОЛОКНАМИ

Нгуен Суан Тьук¹, асп., С.В. Панин^{1,2}, д.т.н., проф., Л.А. Корниенко², к.ф.-м.н.

¹Национальный исследовательский Томский политехнический университет

²Институт физики прочности и материаловедения СО РАН

E-mail: nxthuc1986@gmail.com

При создании твердосмазочных композитов в полимерную матрицу вводят дисперсные наполнители, например, графит и дисульфид молибдена, что расширяет возможности применения антифрикционных композитов в высоконагруженных узлах трения, когда жидкие либо пастообразные смазки не выдерживают условий эксплуатации [1-4]. В [5] показано, что политетрафторэтилен выполняет роль твердой смазки в процессе изнашивания композиций СВМПЭ-ПТФЭ при сухом трении скольжения и в условиях смазочной среды, увеличивая износостойкость кратно. Наилучшие показатели износостойкости показывает композиция СВМПЭ+10 вес.% ПТФЭ с мелким наполнителем Ф4 (в 3.5 раз). Целесообразно использовать эту гибридную полимерную матрицу для разработки антифрикционных экструзируемых нано и микрокомпозитов как способ повышения износостойкости изделий и расширения номенклатуры антифрикционных композитов для применения в различных отраслях техники и условиях эксплуатации трибосопряжений.

Методики исследований. Для определения износостойкости композитов в условиях сухого трения, граничной смазки и абразивного изнашивания в работе использовали порошок СВМПЭ фирмы Ticona (GUR-2122) молекулярной массой 4,0 млн и размером частиц 5-15 мкм, порошок политетрафторэтилена Ф-4ПН20 (Ø 14 мкм), нановолокна углерода (УНВ - Ø 60 нм) и AlO(OH) (Ø 10 нм), наночастицы SiO₂ (Ø 90-100 нм), микрочастицы AlO(OH) (2-3 мкм) и Al₂O₃ (50 мкм). Образцы полимерных композитов получали горячим прессованием при давлении 10 МПа и температуре 200° С со скоростью последующего охлаждения 4°С/мин. Перемешивание смесей порошков СВМПЭ, ПТФЭ и наполнителей проводили в планетарной шаровой мельнице МР/0,5*4 с предварительным диспергированием компонентов в ультразвуковой ванне. Износостойкость материалов в режиме сухого трения определяли по схеме «вал-колодка» при нагрузке на образец 68,8 Н и скорости вращения вала 100 мин⁻¹ в соответствии с ASTM G99 на машине трения СМТ-1 (скорость скольжения 0,32 м/с).

Размер образцов В×Ш×Д=7×7×10 мм. Диаметр контртела из стали ШХ15 составлял 62 мм. Поверхности трения образцов исследовали на оптическом профилометре ZygoNewView 6200.

Испытания на абразивный износ проводили на трибометре МИ-2 для испытаний резины на истираемость. Сопротивление изнашиванию оценивали при нагрузке 0,15 МПа и скорости скольжения вала относительно пары образцов 17,0 м/мин. Использовали частицы закрепленного на бумажной основе абразива Р 240 с размером зерна 58,5 мкм (ГОСТ 426). Объемный абразивный износ определяли взвешиванием образцов с последующим вычислением потери массы через каждые 5 минут. Методика тестирования соответствовала требованиям ASTM G99 и DIN 50324. Триботехнические характеристики оценивали усреднением по четырем образцам. Структурные исследования проводили с помощью растрового электронного микроскопа LEO EVO 50 при ускоряющем напряжении 20 кВ на поверхностях скола образцов с надрезом, механически разрушенных после выдержки в жидком азоте.

Результаты исследований и их обсуждение. На рис. 1 приведена диаграмма интенсивности изнашивания на стадии установившегося износа (I , мм²/мин) указанных выше композитов с наполнителями различной дисперсности. Видно, что интенсивности изнашивания композитов на основе матрицы «СВМПЭ+*n* мас.% ПТФЭ» слабо зависят как от содержания, так и от размеров частиц наполнителя (снижается на 10÷35 % в зависимости от типа наполнителя). При этом нанонаполнители более эффективны (столбцы 3÷5), но микрочастицы AlO(OH) на 60 % увеличивают сопротивление изнашиванию по сравнению с образцами с ненаполненной матрицей и в 8 раз по сравнению с чистым СВМПЭ. Шероховатость поверхности дорожек трения всех исследованных композитов аналогичным образом зависит от типа наполнителя (рис. 1).

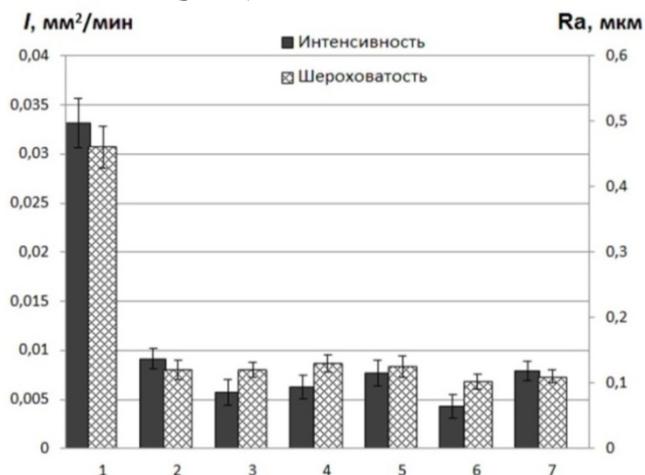


Рис. 1. Диаграмма интенсивности износа (I), шероховатости поверхности дорожки трения (R_a) СВМПЭ и композитов на основе «СВМПЭ+*n* мас.% ПТФЭ»: чистый СВМПЭ (1), «СВМПЭ+10 мас.% ПТФЭ» (2), «СВМПЭ+10 мас.% ПТФЭ+0,5 мас.% AlO(OH)» (3), «СВМПЭ+10 мас.% ПТФЭ+0,5 мас.% SiO₂» (4), «СВМПЭ+ 10 мас.% ПТФЭ+0,5 мас.% УНВ» (5), «СВМПЭ+10 мас.% ПТФЭ+20 мас.% Al₂O₃» (6), «СВМПЭ+10мас.%ПТФЭ+20 мас.% AlO(OH)» (7) на стадии установившегося износа

На рис. 3 приведены РЭМ-микрофотографии надмолекулярной структуры исследованных композитов. Видно, что наполнение гибридной матрицы наночастицами не приводит к изменению вида надмолекулярной структуры, тогда как микронаполнители подавляют формирование сферолитной структуры (в, г). В отличие от СВМПЭ-матрицы роль нанонаполнителей как твердой смазки в гибридной матрице нивелируется формированием пленки переноса политетрафторэтилена на контртело, также выступающей в качестве твердой смазки и определяющей триботехнические характеристики композиции. Максимальный эффект снижения интенсивности изнашивания при сухом трении скольжения был получен при введении 20 мас. % Al₂O₃ в гибридную полимерную матрицу «СВМПЭ+10 мас.% ПТФЭ» (рис. 1). Выявленный «синергетический» эффект повышения износостойкости, по мнению авторов, обусловлен двумя причинами (механизмами): во-первых, смазывающее действие частиц ПТФЭ, что обеспечивает формирование пленки переноса на поверхности контртела. Во-вторых, армирующее действие микрочастиц Al₂O₃, благодаря которым нагрузка от контртела перераспределяется более равномерно на эти твердые частицы (см. изображения поверхности образцов после испытания рис. 2, д). В то время

как при наполнении микрочастицами $AlO(OH)$ со средней дисперсностью $\varnothing 2\div 3$ мкм оно меняется незначительно, что связано с определяющей ролью надмолекулярной структуры, которая в случае более крупного наполнителя остается сферолитной.

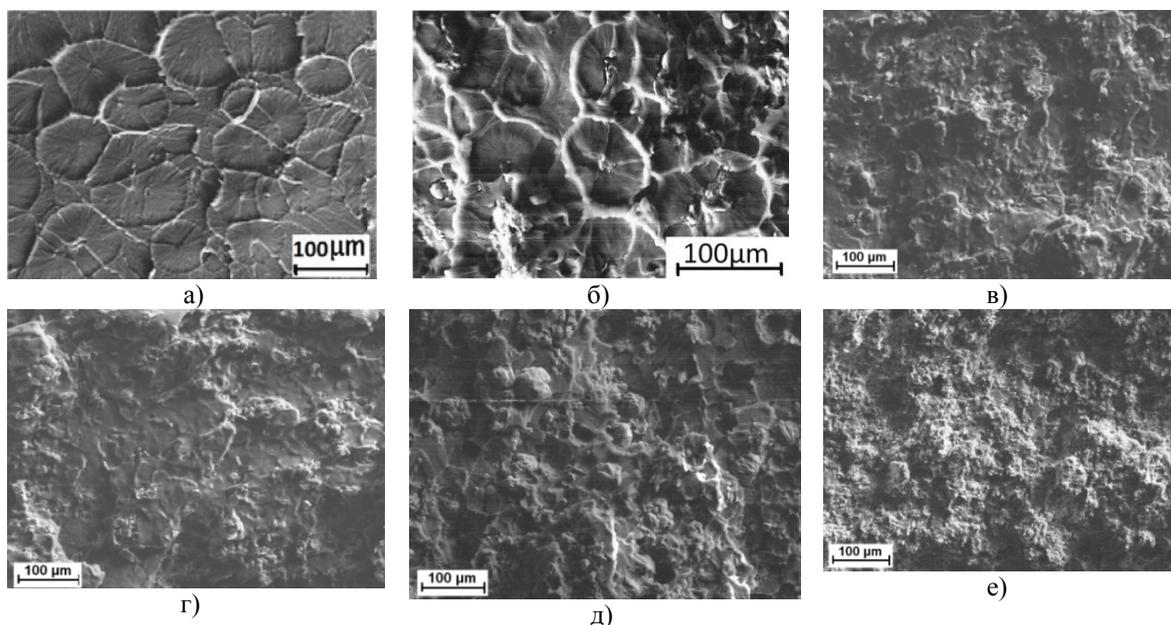


Рис. 2. Надмолекулярная структура СВМПЭ (а), СВМПЭ+ 10 мас.% ПТФЭ» (б), 10 мас.% ПТФЭ+0,5 мас.% Al_2O_3 » (в), 10 мас.% ПТФЭ+0,5 мас.% SiO_2 » (г), 10 мас.% ПТФЭ+20 мас.% Al_2O_3 » (д) и 10 мас.% ПТФЭ+20 мас.% $AlO(OH)$ ». Размер частиц наполнителя 14 мкм

Анализ изображений поверхности дорожек трения исследованных композитов (рис. 3) показал, что микроборозды, сформировавшиеся на поверхности трения чистого СВМПЭ, практически не наблюдаются на поверхности микро-, и нанокompозитов, что коррелирует с данными по интенсивности их изнашивания, а также их шероховатости.

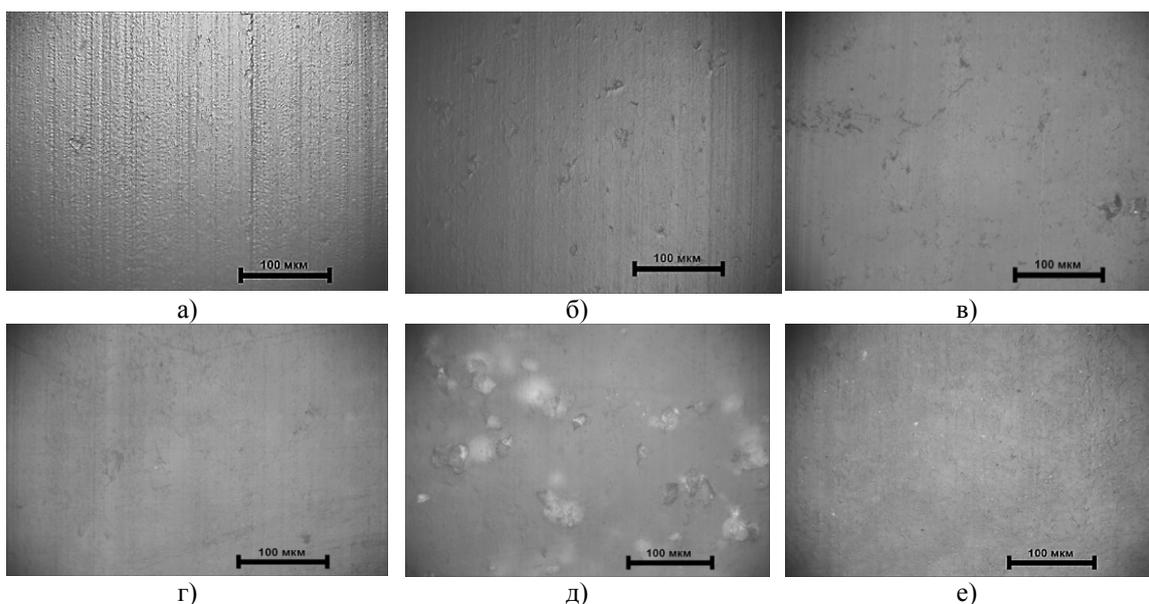


Рис. 3. Микрофотографии поверхности дорожек трения образцов СВМПЭ (а), «СВМПЭ+10 мас.% ПТФЭ» (б), СВМПЭ+10 мас.% ПТФЭ+0,5 мас.% $AlO(OH)$ (в), СВМПЭ+10 мас.% ПТФЭ+0,5 мас.% УНВ (г), СВМПЭ +10 мас.% ПТФЭ+ 20 мас.% Al_2O_3 (д) при испытаниях в режиме сухого трения скольжения. Размер частиц наполнителя 14 мкм.

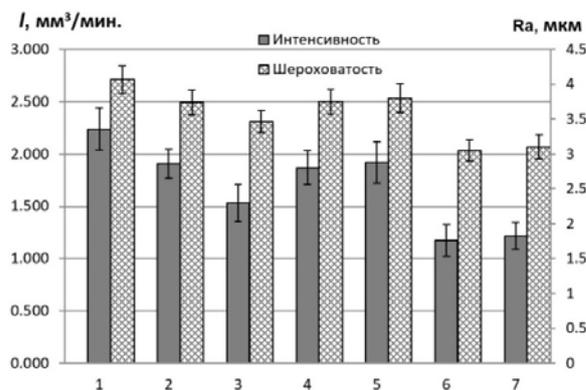


Рис. 4. Диаграммы интенсивности изнашивания (I) и шероховатости поверхности дорожки трения (Ra) образцов СВМПЭ (1) и композитов «СВМПЭ+10 мас.% ПТФЭ» (2), «СВМПЭ+10 мас.% ПТФЭ+0,5 мас.% Al_2O_3 » (3), «СВМПЭ+10 мас.% ПТФЭ+0,5 мас.% SiO_2 » (4), «СВМПЭ+10 мас.% ПТФЭ+0,5 мас.% УНВ» (5) «СВМПЭ+10 мас.% ПТФЭ+20 мас.% Al_2O_3 » (6), «СВМПЭ+10 мас.% ПТФЭ+20 мас.% $AlO(OH)$ » (7) при условии абразивного изнашивания (Р 240).

На рис. 4 приведены данные об результатах трибоиспытаний в условиях абразивного изнашивания. Видно, что сопротивление абразивному изнашиванию при наполнении гибридной матрицы нанонаполнителями близко к таковому для образцов на основе материала гибридной матрицы (столбцы 3,4, 5), а при наполнении микрочастицами микрокомпозитов оно выше в 2 раза, чем для исходной матрицы (столбцы 6,7). Аналогичная картина по изменению интенсивности абразивного изнашивания наблюдается и в композитах на основе гибридной матрицы с крупным порошком фторопласта. Кроме того, подобным же образом зависит шероховатость поверхностей трения (Ra) от размера наполнителя.

На рис. 5 для иллюстрации приведены микрофотографии поверхностей абразивного изнашивания матрицы «СВМПЭ+10 мас.% ПТФЭ» (а) и нано- и микрокомпозитов на ее основе (б, в, д). Из рис. 5 следует, что частицы закрепленного абразива режут матрицу, а

относительно мягкий политетрафторэтилен не способен «защитить» матрицу от подобного воздействия (борозды пропахивания смесей по размеру и форме сравнимы с таковыми в матрице и нанокомпозитах на ее основе). В микрокомпозитах крупные частицы наполнителя соизмеримы с размером зерна абразива и способны защитить матрицу от абразивно износа. Чем крупнее частицы микронаполнителя, тем выше их вклад в обеспечение абразивной износостойкости композитов [6]. Политетрафторэтилен при абразивном изнашивании лишь облегчает проскальзывание абразивной бумаги по поверхности образца композитов.

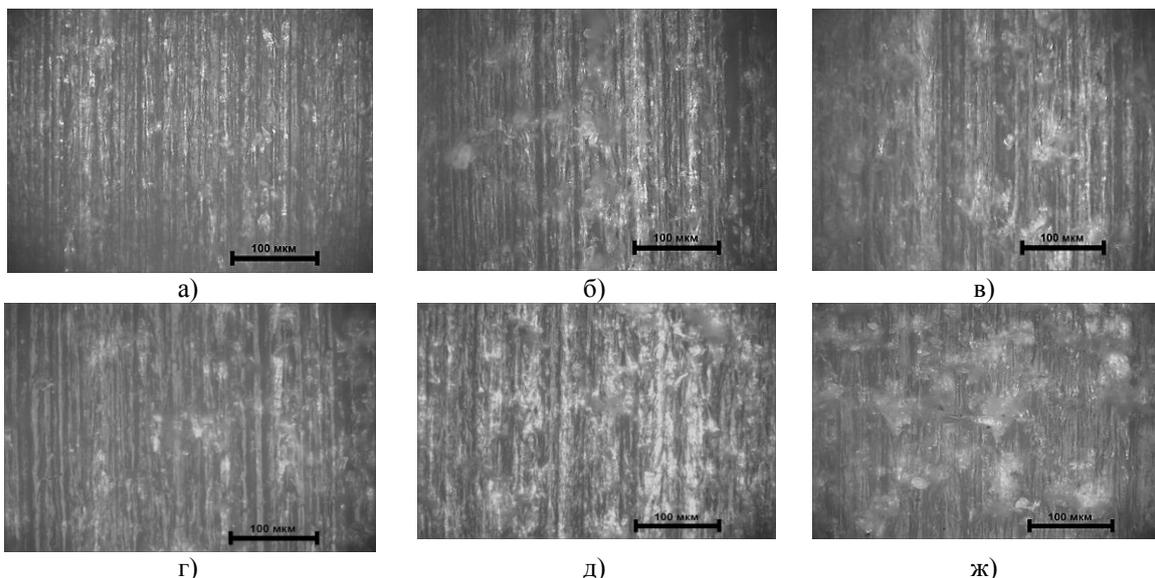


Рис. 5. Микрофотографии поверхностей износа образцов СВМПЭ (а) и композиций «СВМПЭ+10 мас.% ПТФЭ» (б), «СВМПЭ+40 мас.% ПТФЭ» (в), «СВМПЭ+10 мас.% ПТФЭ+0,5 мас.% SiO_2 » (г), «СВМПЭ+10 мас.% ПТФЭ+0,5 мас.% УНВ» (д), «СВМПЭ+10 мас.% ПТФЭ+20 мас.% Al_2O_3 » (ж) в режиме абразивного изнашивания. Р 240

Таким образом, введение нано- и микронаполнителей в смесевую матрицу «СВМПЭ – ПТФЭ» с мелкими частицами наполнителя (14 мкм) незначительно повышают износостойкость матрицы: т.е. нано- и микронаполнители и микрочастицы фторопласта функционально действуют подобно, поэтому одинаково эффективно могут быть использованы при разработке твердосмазочных износостойких композитов на основе СВМПЭ с учетом различных условий эксплуатации изделий (высокие нагрузки, низкие температуры, агрессивные среды).

Заключение

Политетрафторэтилен выполняет роль твердой смазки в процессе изнашивания в равной степени как в гибридной матрице СВМПЭ+10 вес.% ПТФЭ, так и в композитах на ее основе в условиях сухого трения скольжения и смазочной среды.

Максимальный эффект снижения интенсивности изнашивания при сухом трении скольжения (до 8 раз по сравнению с чистым СВМПЭ) был получен при введении в гибридную полимер-полимерную матрицу «СВМПЭ+10 мас.% ПТФЭ» 20 мас.% Al_2O_3 . Выявленный эффект имеет «синергетическую» природу, сочетающую смазывающее и армирующее действие частиц наполнителей.

Для практического использования в составе узлов трения для машиностроительных приложений рекомендуется трехкомпонентный твердосмазочный композит «СВМПЭ+10 мас.% ПТФЭ+20 мас.% Al_2O_3 », который по сравнению с чистым СВМПЭ обладает в восемь раз большим сопротивлением изнашиванию при сухом трении скольжения, а также более чем в два раза высокой абразивной износостойкостью.

Литература

1. Гоголева О.В., Охлопкова А.А., Петрова П.Н. Износостойкие композиционные материалы на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена для эксплуатации в экстремальных условиях // *Материаловедение*. – 2011. – № 9. – С.10–13.
2. *Functional Fillers for Plastics*. Edited by M. Xanthos//Copyright 2005, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co KGaA, 507 p. ISBN 3-527-31054-1.
3. George Wypuch. *HANDBOOK OF FILLERS*. 2nd Edition, Toronto – New York, 2000, 895 p., ISBN 1-895198-19-4
4. . Sergey V. Panin, Lyudmila A. Kornienko, Nguyen XuanThuc, Larisa R. Ivanova, Sergey V. Shilko. Role of Micro- and Nanofillers in Abrasive Wear of Composites Based on Ultra-High Molecular Weight Polyethylene. *Advanced Materials Research* Vol. 1040 (2014). Pp. 148-154. doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.1040.148.
5. С.В. Панин, Л.А. Корниенко, Т. НгуенСуан, Л.Р. Иванова, М.А. Корчагин, С.В. Шилько, Ю.М. Плескачевский. Износостойкость композитов на основе полимер-полимерной матрицы СВМПЭ-ПТФЭ. Часть 1. Механические и триботехнические свойства полимер-полимерных композиций СВМПЭ-ПТФЭ // *Трение и износ*, 2015 (36), № 3, с. 244-251.
6. S.V. Panin, L.A. Kornienko, M.A. Poltaranin, L.R. Ivanova, S.V. Shilko. The role of micro- and nanofillers in abrasive wear of composites based on ultra-high molecular weight polyethylene (UHMWPE)// *International Journal of Engineering Science and Innovative Technology* , Volume 3, Issue 2, March 2014. PP. 532 -544.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЭРОГЕЛЯ В СОВРЕМЕННОЙ ТЕХНИКЕ

А.А. Окулова, Н.Ю. Орлова

СФТИ НИЯУ МИФИ, г. Снежинск

E-mail: alenaokulova1995@Gmail.com

Большинство современных телефонов могут повредиться или выйти из строя из-за перегрева, переохлаждения, намокания, удара его элементов.

В данном проекте предполагается элементы сотового телефона покрывать пленкой аэрогеля, толщиной 2-3 мм, это позволит защитить телефон от прямого солнечного воздействия, повышенных или пониженных температур, ударов, попадания влаги, благодаря полезным свойствам этого вещества, т.к. известно, что он обладает очень низким коэффициентом теплопроводности (который на порядок меньше коэффициента самого хорошего теплоизолятора), также аэрогель обладает хорошей звукоизоляцией и электроизоляцией, и поглощает вредные волны, излучаемые сотовыми телефонами, что гарантирует безопасность для их владельцев. Возможно в будущем производство аэрогеля