

УВЕЛИЧЕНИЕ СРОКА СЛУЖБЫ ФОРМОКОМПЛЕКТОВ В УСЛОВИЯХ СТЕКЛОТАРНЫХ ЗАВОДОВ

П. А. Тополянский, к. т. н.,
генеральный директор НПФ «Плазмацентр» (Санкт-Петербург)

В условиях экономического кризиса эффективность использования технологий повышения стойкости, надежности и качества формокомплектов многократно возрастает.

Производитель стеклотары чаще всего использует покупные формокомплекты, в том числе зарубежных поставщиков, которые изготавливаются, будем считать, максимально качественно. При этом применяются высококачественные заготовки, на кромки наплавляются порошковые никелевые сплавы, соблюдается высокая точность изготовления деталей благодаря использованию современных металлообрабатывающих станков, режущего инструмента, оптимальных средств измерения.

В связи с этим напрашивается вопрос, можно ли еще повысить срок службы покупаемых формокомплектов и кто это будет делать – изготовитель оснастки или тот, кто ее эксплуатирует. Известно, что экономический эффект от увеличения долговечности формокомплектов получает лишь стеклотарный завод. При этом изготовителю оснастки в связи с возможным уменьшением количества заказов не совсем выгодно использовать дополнительные упрочняющие технологии (в том числе и за счет увеличения себестоимости). Поэтому наиболее рационально в ремонтном производстве стеклотарного завода иметь собственное оборудование, способное многократно повысить стойкость деталей формокомплектов.

В настоящий момент отечественный рынок предлагает в основном четыре технологии упрочнения, способные повысить ресурс стеклоформирующей оснастки, а именно химико-термическую обработку (борирование), лазерную закалку, вакуумное ионно-плазменное напыление нитрида титана и безвакуумное финишное плазменное упрочнение с нанесением алмазоподобного нанопокртия.

Борирование заключается в диффузионном насыщении бором поверхностного слоя и образовании в нем боридов железа и твердого раствора бора в железе. Процесс проводят в смеси борсодержащих порошков, паст, газов или в расплаве солей при температуре среды 900 – 1000 °С. Данная химико-термическая обработка приводит к увеличению твердости и коррозионной стойкости поверхностного слоя. Но при этом возможно изменение размеров деталей, повышение хрупкости упрочненного слоя и соответственно более высокая склонность к выкрашиванию при эксплуатационной температуре более 800 °С. Кроме того, надо учитывать, что высокая твердость борированного слоя сохраняется только до 900 °С, имеются трудности при шлифовании и полировке бори-

рованного слоя, а также экологические проблемы. Данная технология не является финишной операцией.

Технология лазерной закалки начала активно использоваться еще с 70-х гг. прошлого столетия. Этот процесс осуществляется путем нагрева лазерным лучом тонкого поверхностного слоя обрабатываемого материала (выше температуры структурных превращений) и его высокоскоростного охлаждения быстрым отводом тепла в основную массу материала. Следствием такой обработки являются структурно-фазовые изменения поверхностных слоев и образование мелкодисперсной структуры с повышенной твердостью. Применительно к деталям формокомплектов лазерной закалке подвергаются лишь кромки сопрягаемых деталей, которые по своей площади составляют менее 10 % от всей рабочей поверхности, участвующей в формообразовании. При этом в условиях эксплуатации формокомплектов неупрочненные зоны также изнашиваются. Образующийся нагар, требующий регулярной зачистки, в том числе с использованием шлифовального инструмента, активно осажается около упрочненных зон. Надо также учитывать, что часть формокомплектов уже изготавливается и поставляется с износостойкими кромками благодаря наплавке порошковыми материалами и не требует лазерной закалки. Современное лазерное оборудование для термоупрочнения достаточно сложное и нуждается в профессиональном обслуживании, поэтому его использование возможно на специализированных фирмах, предлагающих услуги по упрочнению. Применение этой технологии для ремонтируемых форм малоэффективно из-за потери времени и расходов на транспортировку.

Вакуумное ионно-плазменное напыление основано на формировании потока частиц, находящихся в атомарном, молекулярном или ионизированном состоянии в результате испарения или распыления различных материалов посредством воздействия на них определенных источников энергии. При одновременной подаче реактивных газов (азот, ацетилен, метан и др.) на всех поверхностях деталей, находящихся в вакуумной камере, могут образовываться тонкопленочные покрытия (2 – 5 мкм) на основе карбидов, нитридов, карбонитридов, окислов, обладающих высокой твердостью, тепло- и износостойкостью. Эта технология, давая определенный эффект, имеет недостатки, специфичные для данного процесса: повышенную температуру разогрева основы (порядка 400 °С) для обеспечения высокой адгезионной прочности покрытия, наличие вакуумных систем и другого сложного и дорогостоящего оборудования. Детали перед загрузкой в вакуумную камеру

должны пройти тщательную предварительную обработку (мойка, сушка, обезвоживание, подогрев). Кроме того, не рекомендуется наносить покрытия этим методом на изделия из разнородных металлов (например, для деталей с наплавленными кромками), из нескольких деталей, собранных вместе (например, нераскрывных форм с охлаждающей рубашкой), на глубокие внутренние отверстия (в связи с разнотолщинностью наносимого покрытия), на чугунные детали (из-за их повышенной микропористости и газопроницаемости), на стальные детали, имеющие низкую температуру отпуска (ввиду потери прочностных свойств материала основы). Внедрение и эксплуатация вакуумного оборудования для ионно-плазменного напыления, в частности нитрида титана, на стеклотарных производствах маловероятно.

Технология безвакуумного финишного плазменного упрочнения (ФПУ) с нанесением алмазоподобного нанопокрытия основана на использовании мобильного, компактного, несложного оборудования, работающего по принципу сварочных установок. Материалом покрытия является оптимизированный состав на основе карбидов, нитридов и оксидов кремния. Осаждение такого покрытия возможно благодаря использованию паров жидкого технологического препарата «Сетол», вводимого в малогабаритный плазмохимический генератор. При односменной работе установки расход технологического препарата «Сетол» в год не превышает 0,5 л. Температура нагрева изделий в процессе обработки – не более 100 °С, параметры шероховатости формирующих поверхностей не изменяются, размеры упрочняемых изделий не ограничены. Технологический процесс ФПУ состоит из операций предварительной очистки (любым известным методом, например обезжириванием обрабатываемой поверхности бензином) и собственно нанесения покрытия путем взаимного перемещения изделия и плазмотрона. Это экологически чистый метод, позволяющий практически в течение нескольких минут нанести на рабочие поверхности износостойкое, жаростойкое и неокисляемое нанопокрытие с низким коэффициентом трения, удлиняющее цикл работы формокомплектов до момента необходимой чистки от нагара. При этом всегда имеется возможность после зачистки в течение короткого времени (5 – 15 мин) вновь нанести данное износостойкое покрытие (при наличии оборудования на ремонтном участке стеклотарного производства). Повышение стойкости более чем в три раза подтверждено актами испытаний упрочненных деталей

стеклоформ ОАО «Опытный стекольный завод» и ЗАО «Торговый дом “Азовстекло”».

Если рассмотреть аналогию между рынком предложенных поставок формокомплектов и рынком металлообрабатывающего инструмента, то можно заметить, что примерно 70 – 80 % инструмента в настоящий момент выпускается со специальными тонкопленочными (1 – 3 мкм) износостойкими покрытиями, которые наносятся на заключительной стадии его изготовления. При этом известно, что режущий инструмент с покрытием является более эффективным и долговечным.

Уместен вопрос, почему нельзя положительный опыт нанесения тонкопленочных износостойких покрытий на металлорежущий инструмент применить на деталях формокомплектов. На многих производственных предприятиях существует практика использования собственного оборудования для нанесения износостойких покрытий, например, на инструмент индивидуального изготовления или после его переточки. Может быть, такие покрытия не подходят для упрочнения стеклоформирующей оснастки? Но насчитывается порядка 15 различных видов составов современных тонкопленочных износостойких покрытий, наносимых на режущий инструмент, которые обладают:

- высокой твердостью;
- химической инертностью при взаимодействии с обрабатываемым материалом;
- устойчивостью к окислению при повышенных температурах резания;
- высокой сопротивляемостью усталостному разрушению в условиях циклических нагрузок;
- низким коэффициентом трения с обрабатываемым материалом;
- высокой адгезией к инструментальному материалу;
- низкой теплопроводностью для уменьшения влияния температур резания на инструментальный материал и отвод тепла в стружку и смазочно-охлаждающую жидкость;
- высоким удельным электрическим сопротивлением для уменьшения электромеханического износа при трении и резании металла.

Практически все эти свойства тонкопленочных покрытий важны и для стеклоформирующей оснастки. Таким образом, целесообразно использовать опыт нанесения тонкопленочных износостойких покрытий на режущий инструмент и для повышения ресурса формокомплектов. Среди технологий нанесения покрытий на режущий ин-

ЕСТЬ ВОПРОСЫ?
АКТУАЛЬНЫЕ ТЕМЫ ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ?

Звоните на горячую линию, задавайте вопросы, называйте темы публикаций. На страницах журнала будут опубликованы ответы и комментарии специалистов.

8-800 - 200 - 11-12
 бесплатный звонок из любого региона России

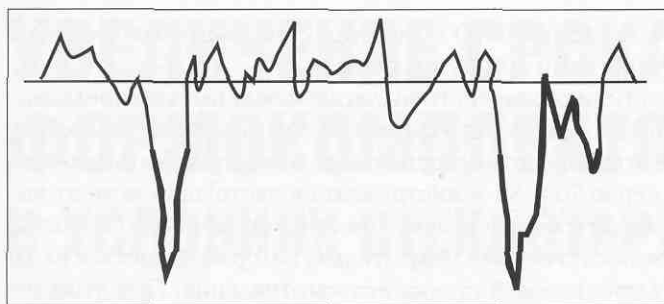


Рис. 1. Профилограмма поверхности с дефектами

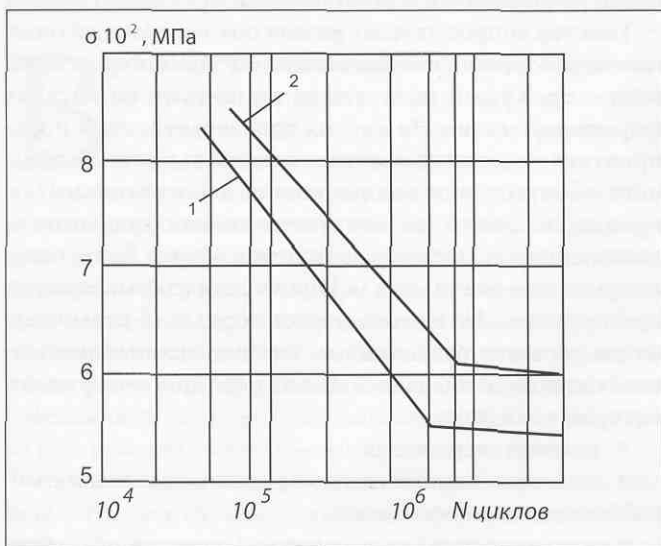


Рис. 2. Зависимость усталостной прочности от количества циклов нагружений и метода обработки: 1 — шлифовка, $R_a = 0,74$; 2 — полировка, $R_a = 0,28$

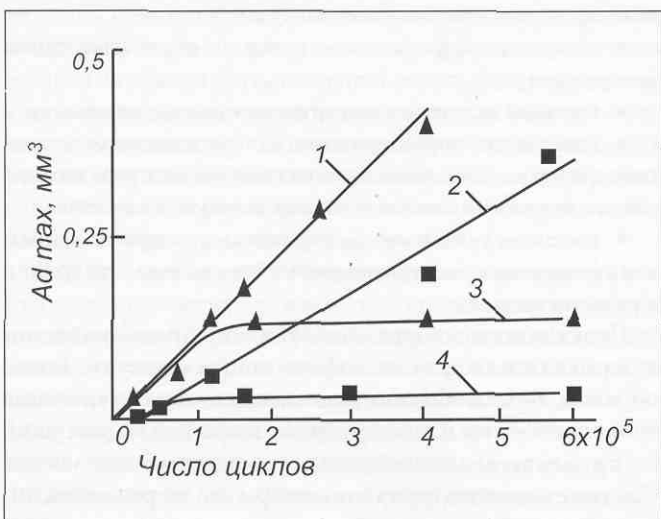


Рис. 3. Влияние на усталостный износ количества циклов нагружений, а также шероховатости и температуры поверхности: 1 — $R_a = 0,025$, $T = 713$ К; 2 — $R_a = 0,025$, $T = 773$ К; 3 — $R_a = 0,005$, $T = 713$ К; 4 — $R_a = 0,005$, $T = 773$ К

струмент наибольшее распространение имеют вакуумные методы ионно-плазменного напыления и технология финишного плазменного упрочнения с нанесением алмазоподобного покрытия.

Формокомплекты работают в условиях циклических термомеханических нагрузок, вибраций, контакта и течения технической смазки и расплавленной стекломассы. Рабочая поверхность формокомплектов в процессе эксплуатации вследствие чередования нагрева и охлажде-

ния, подвергаясь пластической деформации, растрескивается, покрывается сеткой трещин. Образование нагара и его осаждение в трещины усугубляет процесс износа. Поэтому первопричина изнашивания рабочих поверхностей стеклоформирующей оснастки связана с явлением термоусталости, которое приводит к изменению микрогеометрии поверхностного слоя, иногда даже без заметного линейного или объемного износа. В этом случае на пятнах фактического контакта наблюдаются риски, пittingи, следы схватывания, микротрещины, выкрашивания, которые при эксплуатации формокомплектов являются концентраторами напряжений, приводящими к более опасным повреждениям, чем равномерный износ того же объема. Термоусталостная прочность деталей в значительной степени определяется шероховатостью поверхности и физико-механическими характеристиками поверхностного слоя.

Известно, что чем меньше параметры шероховатости поверхности и, следовательно, степень дефектности поверхностного слоя, тем выше термоусталостная прочность деталей. Кроме того, многочисленными исследованиями доказано повышение термоусталостной прочности созданием на поверхности (при финишной операции) технологических остаточных напряжений сжатия.

На рис. 1 приведена профилограмма дефектной поверхности формокомплекта с явно выраженными рисками, которые образовались в результате термоусталости. Современные измерительные приборы микрогеометрии поверхности легко позволяют снять такие кривые и рассчитать параметры шероховатости.

Некоторым усредненным критерием дефектности поверхности является параметр

$$K = 1 - R_a/R_{max}$$

где R_{max} — наибольшая высота неровностей профиля; R_a — среднее арифметическое отклонение профиля.

При стремлении R_{max} к R_a параметр K близок к нулю. В этом случае поверхность лишена концентраторов напряжений в виде глубоких выступов или впадин, что соответствует минимальному значению дефектности поверхности. Наоборот, при наличии дефектов наибольшая высота неровностей профиля будет намного превышать среднее арифметическое отклонение профиля, при этом параметр K будет стремиться к единице.

Определяя параметр дефектности K поверхностного слоя, например, до и после технологии упрочнения, при оптимизации режимов упрочнения или при исследовании деталей после эксплуатационных нагрузок, можно выявить динамику изменения свойств поверхности с уменьшением количества дефектов, влияющих на термоусталость.

Снижение параметра дефектности указывает на то, что среднее арифметическое отклонение профиля увеличивается в большей мере, чем наибольшая высота неровностей профиля. Это свидетельствует об изменении свойств поверхности без образования глубоких дефектов.

При повышении параметра дефектности, наоборот, быстрее увеличивается наибольшая высота неровностей профиля по сравнению со средним арифметическим отклонением профиля. Это указывает на рост наибольшей высоты неровностей профиля при одновременном

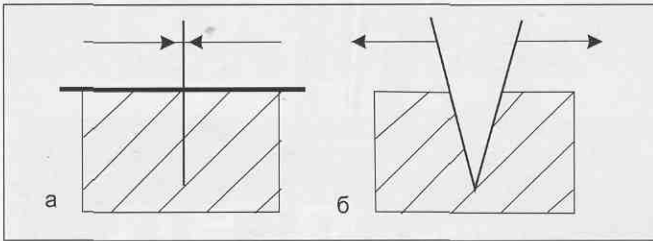


Рис. 4. Влияние знака технологических ОН в поверхностном слое на динамику залечивания («схлопывания») или раскрытия микротрещины: а – при сжимающих остаточных напряжениях; б – при растягивающих остаточных напряжениях

уменьшении среднего арифметического отклонения профиля, что отражает возникновение на поверхности дефектов в виде концентраторов напряжений.

Известно, что поверхности с более низким параметром шероховатости R_a имеют более высокую усталостную прочность (рис. 2), а при повышении температуры повреждаются меньше (рис. 3).

Проводились исследования влияния процесса ФПУ с нанесением алмазоподобного покрытия на возможность изменения степени дефектности поверхностного слоя. Для этих целей были изготовлены плоские образцы 100×100×10 мм из стали 40Х13, которые подвергли с одной стороны шлифовальной операции. После этого на одну из половин обработанной поверхности было нанесено покрытие методом ФПУ. С использованием профилографа-профилометра «Пертометр М2» (фирма Mahr, Германия) были сняты параметры шероховатости поверхности до и после ФПУ (см. таблицу).

Параметры шероховатости поверхности W до и после ФПУ

Параметр шероховатости	До ФПУ	После ФПУ
R_{max}	4,17	2,69
R_a	0,43	0,39
Степень дефектности К	0,89	0,85

Одним из аспектов усталостного изнашивания твердых тел является изучение технологических остаточных напряжений (ОН), возникновение которых связано с неоднородностью линейных и объемных изменений материала в процессе изготовления деталей. Вид и режимы технологического воздействия определяют знак, величину и картину распределения ОН. Растягивающие напряжения обычно отрицательно влияют на эксплуатационные характеристики, способствуя раскрытию и развитию усталостных трещин (рис. 4), которые образуются на дефектах, всегда имеющих в реальном твердом теле вследствие его неоднородности. Напряжения сжатия, наоборот, тормозят развитие поверхностных трещин, способствуют перемещению очага зарождения усталостной трещины под поверхность, где действуют меньшие нагрузки и отсутствует контакт с внешней средой. В результате возрастает сопротивление усталостному разрушению. Возникновению усталостных трещин способствуют также дефекты механической обработки (царапины, риски), металлургические дефекты (поры, оксидные и шлаковые включения). Усталостные трещины могут возникать также на межфазных и межкристаллитных границах.

В условиях работы стеклоформирующая оснастка испытывает растягивающие напряжения поверхностных слоев. Практически все детали формокомплектов проходят финишную технологическую операцию абразивной обработки, которая приводит к образованию на поверхности также растягивающих ОН. В результате в условиях эксплуатации рабочие растягивающие напряжения складываются с технологическими ОН, что негативно сказывается на процессах износа.

При использовании ФПУ с нанесением алмазоподобного покрытия температура основы не превышает 100 – 120 °С, а температура наносимого покрытия – более 1000 – 2000 °С, коэффициент линейного расширения наносимого покрытия составляет порядка $0,8 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, а коэффициент линейного расширения основного материала формообразующих деталей – порядка $11 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$. Поэтому теоретически данный процесс должен обеспечивать образование в металле основы сжимающих остаточных напряжений.

В целях определения влияния процесса ФПУ как окончательного на технологические ОН в поверхностном слое инструментальных сталей, прошедших механическую, термическую и абразивную обработку, были проведены измерения ОН. Для этого использовалась аппаратура неразрушающего контроля остаточных и эксплуатационных напряжений в металлах и сплавах «Ситон», которая позволяет определять механические напряжения при измерении амплитудно-фазочастотных характеристик. На основании анализа полученных эпюр напряжений было доказано, что после окончательной шлифовальной операции на поверхности образуются растягивающие остаточные напряжения. После ФПУ в подпленочной зоне возникают сжимающие остаточные напряжения порядка 80 МПа. На этом основании технология ФПУ может быть рекомендована как окончательный финишный процесс обработки поверхностей, работающих в условиях трения и износа, препятствующий распространению трещин и повышающий усталостную прочность.

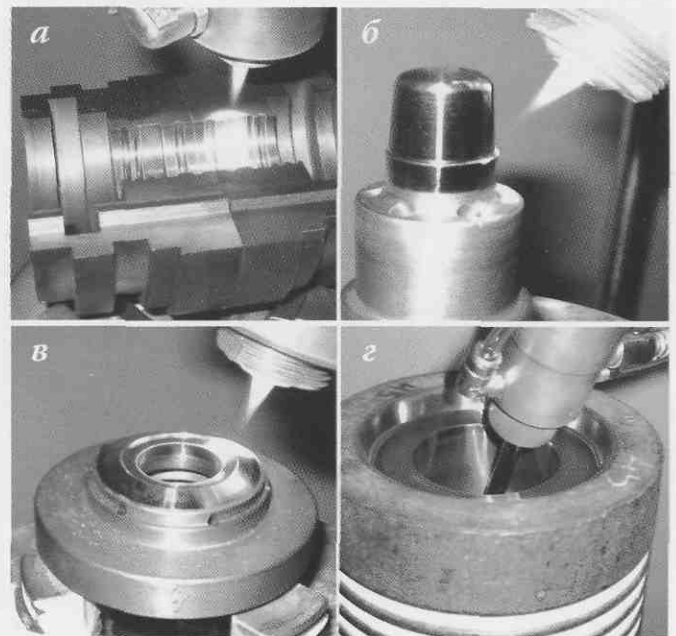


Рис. 5. Нанесение алмазоподобного нанопокртия на горловое кольцо (а), плунжер (б), поддон (в), нераскрывную форму (г)

ФОРМЫ: разработка и эксплуатация

На рис. 5 показаны примеры использования технологии ФПУ с нанесением алмазоподобного покрытия на детали формокомплектов, а на рис. 6 – общий вид установки для реализации этого способа.

Выводы

1. В целях повышения долговечности деталей формокомплектов целесообразно использовать финишные упрочняющие технологии, обеспечивающие на всех рабочих поверхностях стеклоформ нанесение защитного покрытия и изменение физико-механических свойств поверхностного слоя.

2. Одним из наиболее эффективных методов повышения долговечности формокомплектов является процесс ФПУ с нанесением алмазоподобного нанопокрyтия, которое характеризуется химической инертностью, высокой микротвердостью (порядка 52 ГПа), жаростойкостью, низким коэффициентом трения, препятствующим развитию термоусталости в результате уменьшения дефектности поверхности и создания в подпленочной зоне металла основы сжимающих остаточных напряжений. Эффективность данной технологии подтверждена повышением стойкости стеклоформирующей оснастки более чем в 3 раза на ОАО «Опытный стекольный завод» и ЗАО «Торговый дом «Азовстекло»».

3. Преимущества метода ФПУ связаны с нанесением защитного покрытия на все рабочие поверхности деталей стеклоформ, с небольшой длительностью нанесения по-

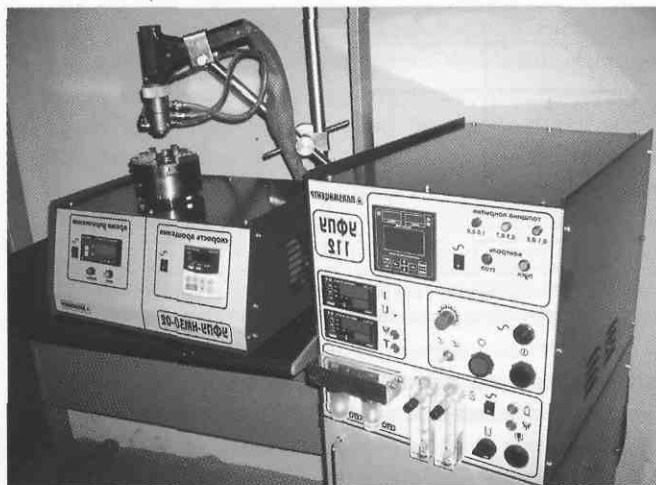


Рис. 6. Установка для финишного плазменного упрочнения с нанесением алмазоподобного нанопокрyтия

крытия (исчисляемой минутами как для новых формокомплектов, так и для прошедших ремонт), с низкой себестоимостью (составляющей менее 5 % от стоимости формокомплекта).

4. Внедрение на стеклотарных заводах малогабаритного и несложного оборудования для ФПУ стеклоформирующей оснастки с низким потреблением электроэнергии и расходных материалов (работающего по принципу сварочных установок) максимально эффективно и имеет минимальный срок окупаемости (не более 3 – 5 мес).

формы: разработка и эксплуатация

ПОДПИСКА 2009

КАК подписаться?



**В редакции
Звоните
8-800-200-11-12**

звонок бесплатный
(495) 514-21-06
(499) 267-47-74

Пишите
podpiska@vedomost.ru
Обращайтесь
www.glassbranch.com

Предоставляется полный пакет бухгалтерских документов.

По каталогам:
«ПРЕССА РОССИИ» - 40872
«РОСПЕЧАТЬ» - 80889