

УВЕЛИЧЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ СТЕКЛОФОРМ НАНЕСЕНИЕМ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ АЛМАЗОПОДОБНЫХ ПОКРЫТИЙ

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

Традиционное конструирование деталей стеклоформ включает в себя геометрическое соответствие, выбор материала и учет технологических операций обработки (механическая, термическая, абразивная, в отдельных случаях – наплавка самофлюсующимися никелевыми сплавами с последующей абразивной обработкой). На основании чертежа контролируемые параметры деталей стеклоформ являются их геометрические размеры, шероховатость поверхности и твердость (для зон с наплавленным слоем). Следует признать, что имеющиеся резервы повышения износо-

стойкости деталей стеклоформ с точки зрения свойств исходных материалов и известных технологий их изготовления практически полностью реализованы.

Одним из новых направлений на пути создания конкурентоспособных и долговечных формокомплектов является применение современных нанотехнологий.

Известно, что выход из строя подавляющей части деталей стеклоформ связан с появлением нагара, а следовательно, с необходимостью частой очистки рабочих поверхностей и постепенным изменением размеров формообразующих зон.

В общем случае при формировании стеклянных изделий имеет место механическое и молекулярное взаимодействие стекломассы с рабочими поверхностями формокомплектов в условиях трения при граничной смазке. Механическое взаимодействие включает внедрение и зацепление отдельных участков шероховатых поверхностей формы со стекломассой, молекулярное – проявляется в образовании адгезионных связей при их контакте. Последнее взаимодействие сопровождается схватыванием и налипанием стекломассы. В целях минимизации молекулярной составляющей процесса изнашивания и соответственно повышения долговечности деталей стеклоформ целесообразно использовать химически инертные, жаропрочные и износостойкие материалы, которые обеспечивают антиадгезионные (барьерные) свойства при контакте поверхностей формы со стекломассой даже в условиях граничной смазки. Рекордной приближенностью к указанным свойствам обладают алмаз и алмазоподобные материалы, которые при изготовлении деталей стеклоформ могут быть использованы в виде тонкопленочных покрытий. Эффективность таких покрытий дополнительно связана с их антифрикционными свойствами, которые соотносят их с твердыми высокотемпературными смазками. Это особенно важно, так как на качество смазки

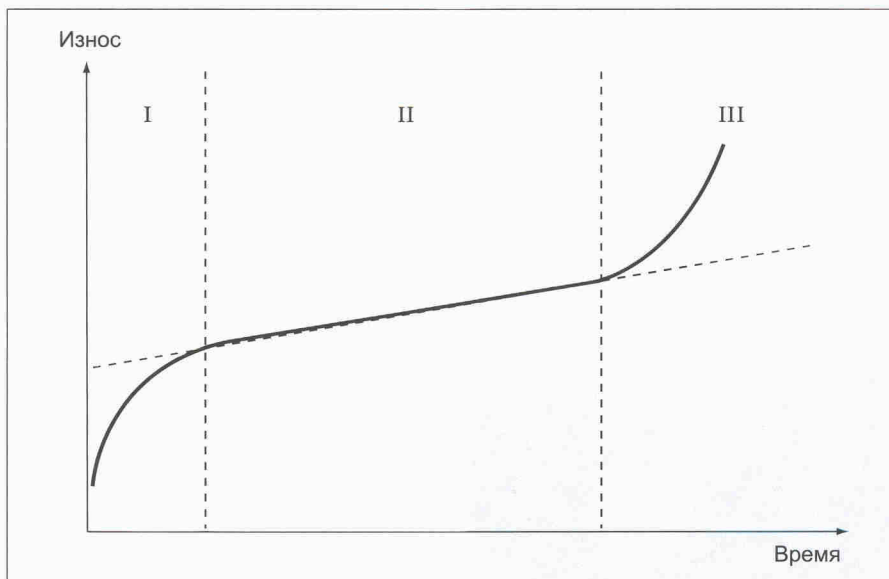


Рис. 1. Характеристика износа и стадии изнашивания от времени эксплуатации изделия: I – приработка; II – стабильный износ; III – катастрофический износ

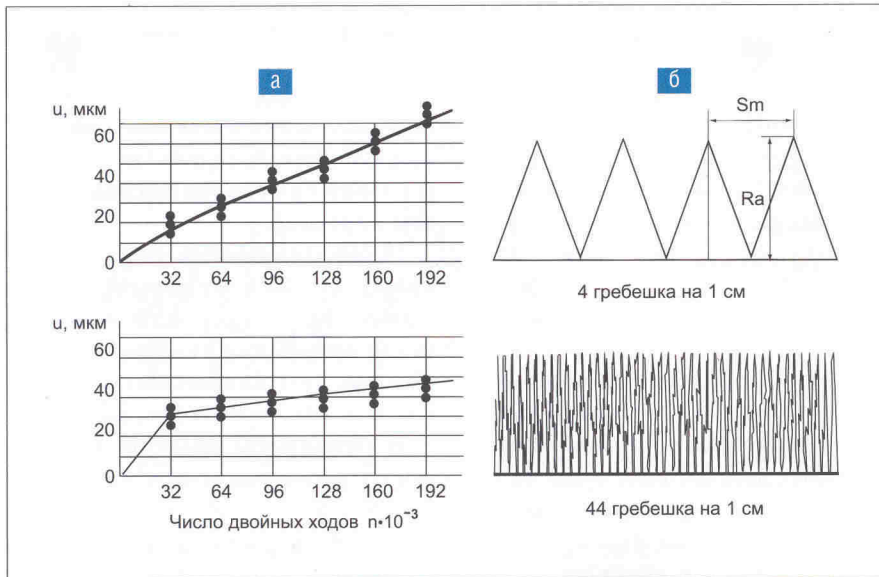


Рис. 2. Зависимость величины износа u (а) поверхностей с различным средним шагом S_m неровности профиля (б) при одинаковом значении параметра R_a от числа n двойных ходов перемещений исследуемой поверхности относительно калиброванной

формового оборудования оказывает влияние человеческий фактор, в связи с тем что она в большинстве случаев осуществляется вручную операторами, работающими посменно. Поэтому дополнительное наличие всегда существующей твердой смазки в виде тонкопленочного алмазоподобного покрытия на рабочих поверхностях стеклоформ позволяет ослабить требования к «искусству» нанесения смазок операторами машин.

В условиях граничной смазки, при которых формируется стеклоизделие, имеет место раскливающее действие тонких смазочных слоев. Оно заключается в том, что при взаимодействии поверхностей стеклоизделия и формокомплекта с молекулами смазочного материала пленка, разделяющая эти поверхности, будучи сжатой до определенной толщины, сопротивляется своему утонению и развивает противодействие, стремящееся раздвинуть эти поверхности.

На изнашивание за счет этого раскливающего эффекта особенно влияют всегда имеющиеся на поверхности дефекты материала стеклоформ. Уменьшению количества дефектов поверхности как раз и должна способствовать финишная нанотехнология (Стеклоплавильная тара. – 2008. – № 4. – С. 24 – 27).

Кроме того, известно, что даже в условиях нормальной граничной смазки контакт между формой и стеклоизделием может иметь место. Это связано с тем, что на наиболее высоких выступах профиля рабочих поверхностей стеклоформ, где локальное давление превышает предел прочности металла, смазка может быть полностью вытеснена. Это усугубляется влиянием высоких температур. Поэтому целесообразно уменьшать высотные параметры шероховатости и защищать поверхность от схватывания нанесением твердосмазочных покрытий.

Любая деталь после изготовления традиционными методами обладает неоднородностью свойств поверхностного слоя из-за образования многочисленных дефектов, а также из-за неоднородности физико-химических свойств исходного материала. Так, в результате механической обработки детали имеют различную шероховатость поверхности, неравномерную степень наклепа и толщину наклепанного поверхностного слоя, в котором могут также возникать остаточные напряжения растяжения, что в целом негативно сказывается на износостойкости деталей.

Шероховатости формообразующих поверхностей стеклоформ после окончательной финишной обработки с точки зрения процессов изнашивания в основном влияет на процесс приработки (рис. 1), который характеризуется изменением параметров микрорельефа в начальный период эксплуатации. В процессе приработки повышенные напряжения испытывают высокие и острые микронеровности, которые при этом срезаются или пластически деформируются.

Рабочие поверхности с минимальной шероховатостью (малые значения среднего арифметического отклонения профиля R_a) при контакте со стекломассой в процессе эксплуа-

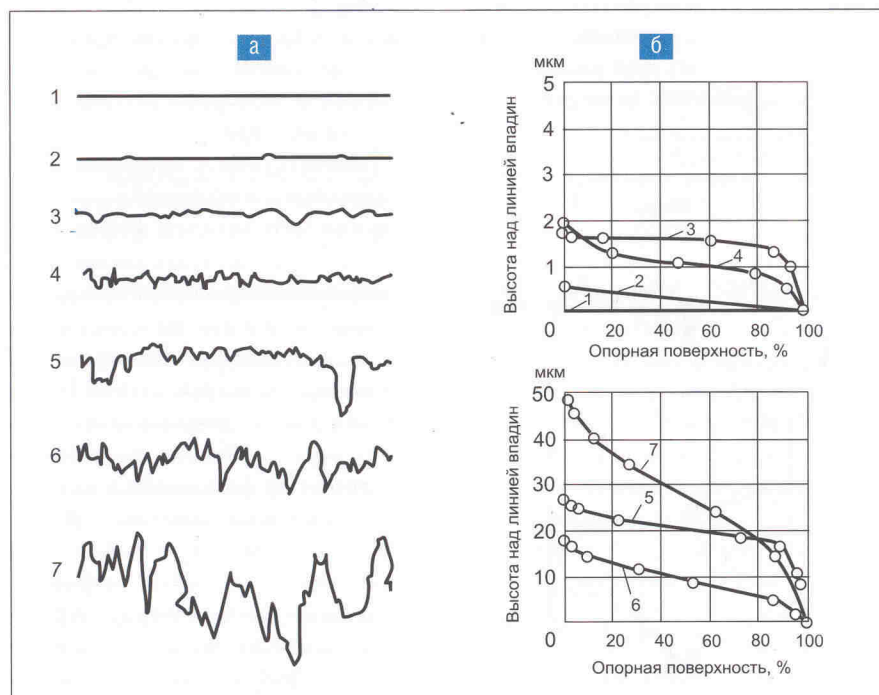


Рис. 3. Профилграммы (а) и кривые опорной поверхности (б): 1 – идеальной; 2 – измерительной плитки; 3 – после хонингования; 4 – после шлифования; 5 – после фрезерования; 6 – после тонкого растачивания; 7 – после сверления

тации испытывают интенсивное адгезионное воздействие, которое сопровождается сцеплением, схватыванием и интенсивным молекулярным взаимодействием. При больших значениях R_a доля молекулярной составляющей износа убывает, но при этом возрастает механическая составляющая. Оптимальной с точки зрения износостойкости является равновесная шероховатость, которая характеризуется минимальной работой трения и невысокими температурами контакта.

На процессы изнашивания влияет значение шага неровностей профиля S_m (Маталин А. А. Технология машиностроения. – Л.: Машиностроение, 1985. – 496 с.). Многочисленные неровности поверхности, обладающие меньшим значением S_m (при одинаковом значении R_a), обеспечивают более высокую износостойкость (рис. 2). Таким образом, для увеличения износостойкости рабочих поверхностей стеклоформ необходимо стремиться к использованию такой финишной операции, которая обеспечивает получение поверхности с минимальным значением параметра S_m .

Основным высотным параметром шероховатости рабочих поверхностей стеклоформ, указываемым на чертежах, является среднее арифметическое отклонение профиля R_a , принимаемое равным от 0,4 до 0,63 мкм. На рис. 3 приведены профилограммы и кривые опорной поверхности после

различных технологических операций [Гаркунов Д. Н. Триботехника (износ и безызносность). – М.: Издательство МСХА, 2001. – 616 с.].

Следует отметить, что кривая опорной поверхности характеризует закономерность нарастания фактической площади контакта данной шероховатой поверхности в процессе контактирования с абсолютно гладким телом. Если проанализировать вид профилограмм и опорной кривой с точки зрения теории трения и износа, то можно предположить, что более долговечной будет та поверхность, у которой меньше высотные характеристики, и соответственно более пологой является кривая опорной поверхности. Действительно, в условиях трения поверхности после традиционного изготовления детали контактируют на очень малой площади, составляющей менее 1% от номинальной площади сопряжения. В результате участки фактического контакта испытывают высокие напряжения, что приводит к их взаимному внедрению, пластической деформации и выкрашиванию. Чем больше фактическая контактная площадь, тем более эффективно распределена нагрузка, меньше количество выкрашиваемых выступов шероховатой поверхности и соответственно они меньше сказываются на составляющей механического изнашивания. Поэтому для увеличения стойкости рабочих поверхностей

стеклоформ необходимо использовать такую финишную технологическую операцию, которая обеспечивает получение более пологой кривой опорной поверхности и минимального количества высоких гребней выступов.

Подтверждением вышесказанного является стабильный износ после приработки. Кривая опорной поверхности после приработки становится более полой, что соответствует более высокой ее износостойкости (рис. 4).

В зарубежной практике поверхности, работающие в условиях интенсивного износа (в том числе формообразующие), дополнительно оцениваются параметрами шероховатости Rpk , Rk , Rvk (ISO 13565-2:1996), связанными с расшифровкой кривой опорной поверхности. Эти параметры характеризуют окончательно полученную поверхность, как трехкомпонентную, состоящую отдельно из выступов (параметр Rpk), основного профиля (параметр Rk) и впадин (параметр Rvk). На основании этого международного стандарта более износостойкой формообразующей поверхности соответствуют меньшие значения параметров Rk и Rpk . Поэтому при выборе оптимальной технологии изготовления рабочих поверхностей стеклоформ с повышенной долговечностью целесообразно провести анализ финишных операций изготовления и замерить получаемые значения Rk и Rpk .

В соответствии с традиционной технологией изготовления рабочих поверхностей деталей формокомплектов основным технологическим финишным методом обработки, позволяющим влиять на параметры шероховатости, является обработка абразивным инструментом. В последнее время появились современные методы обработки, связанные с нанесением на финишном этапе изготовления тонкопленочных износостойких нанопокровов. К таким технологиям относится и процесс финишного плазменного упрочнения (ФПУ) с нанесением алмазоподобного нанопокровов. Отличительной характеристикой этого процесса является нанесение на финишной стадии изготовления готовых деталей

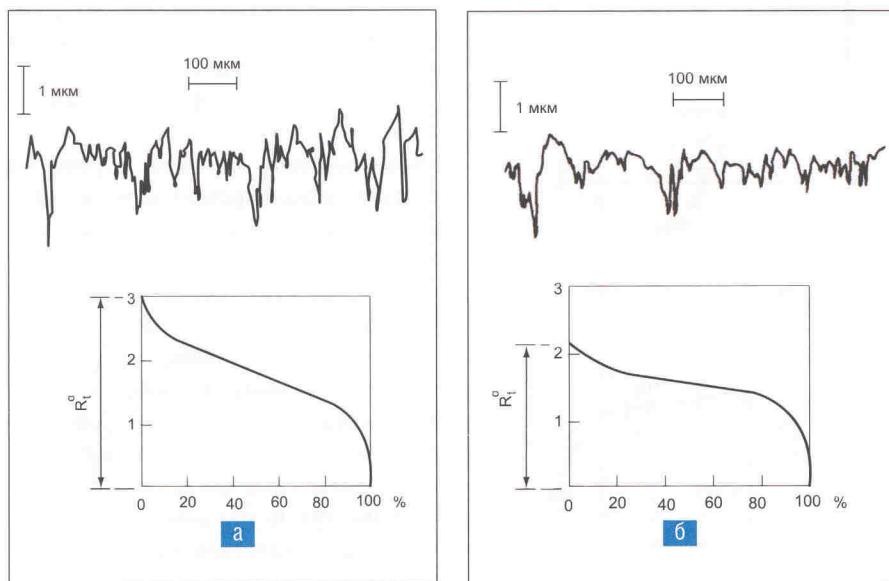


Рис. 4. Изменение вида профилограмм и кривой опорной поверхности: а – до приработки; б – после приработки

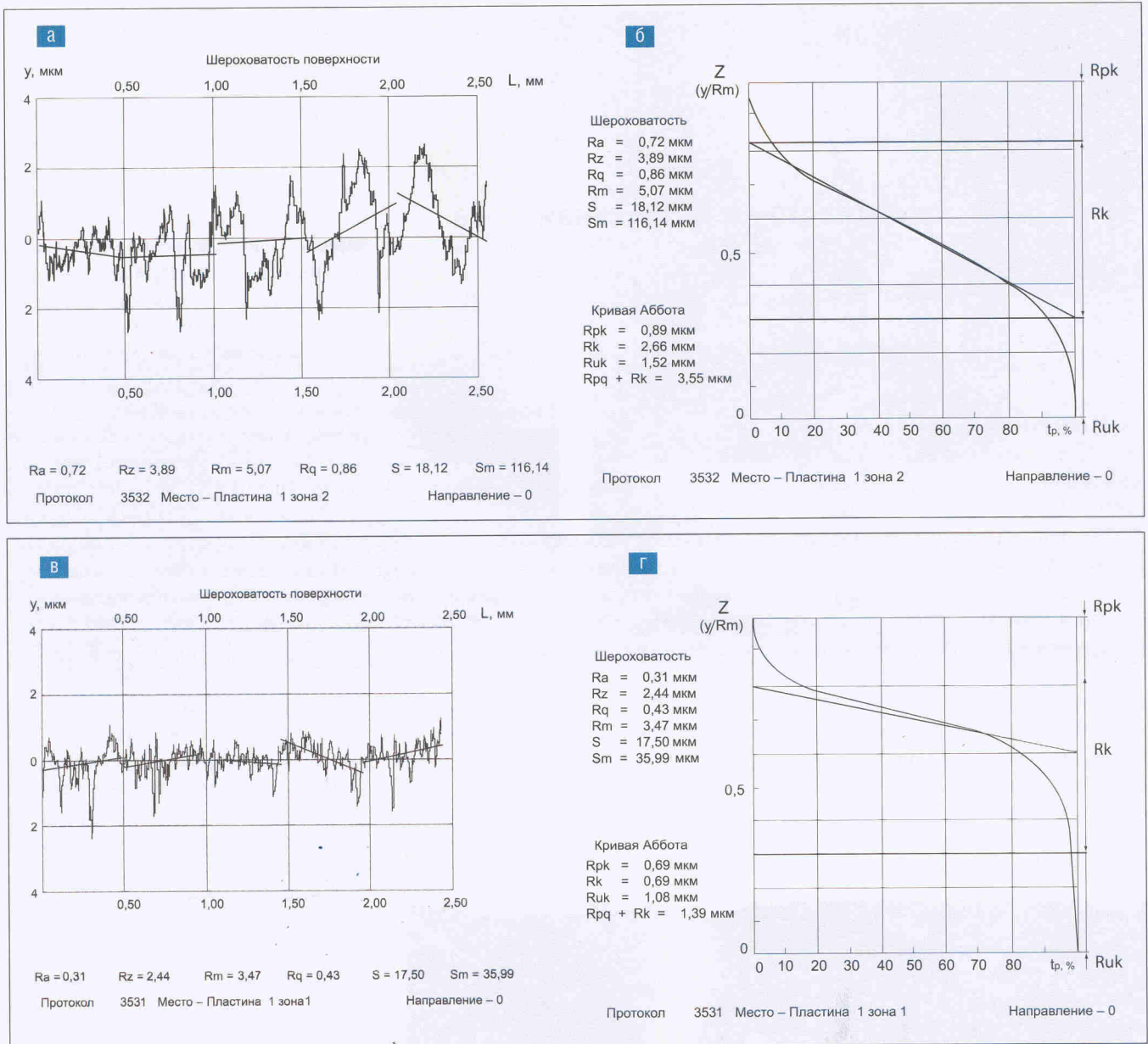


Рис. 5. Профилограммы (а, в) и опорные кривые (б, г) профиля поверхности до (а, б) и после (в, г) ФПУ шлифованного образца из чугуна ВЧ-70; L – база измерений (2,5 мм); y – высота неровностей профиля (мкм); t_p – относительная опорная длина профиля (%); z – отношение суммы сечений микронеровностей, образованной прямой линией, проведенной на уровне $y_{i,k}$ максимальной высоте неровностей профиля (y_i/R_m)

тонкопленочного покрытия повышенной износостойкости, близкого по своим свойствам к характеристикам алмаза. Покрытие толщиной от 10 до 2000 нм наносится при использовании малогабаритного и маневренного оборудования при атмосферном давлении и при минимальном нагреве изделий в процессе его нанесения (около 100 °С).

Из рис. 5, на котором показаны профилограммы и опорные кривые профиля конкретной исходной поверхности до и после ФПУ, видно, что высотные и шаговые параметры шероховатости после ФПУ изменяются следующим образом: значение Ra

уменьшается в 2,3 раза; наибольшая высота неровностей профиля R_{max} – в 1,5 раза; значение Sm – в 3,2 раза. Кроме того, параметр Rpk, характеризующий высоту выступов, быстро изнашивающихся в первый период эксплуатации, уменьшается в 1,3 раза; параметр Rk, характеризующий основу поверхности, которая длительное время находится в работе, – в 3,9 раза; сумма параметров $R_{pk} + R_k$, характеризующая изнашиваемость рабочих поверхностей, – в 2,6 раза.

При сравнении двух финишных технологий – традиционной абразивной обработки и шлифовальной операции с последующим нанесением

тонкопленочного покрытия (метод ФПУ) – параметры шероховатости по российскому стандарту при использовании процесса ФПУ уменьшаются (в том числе и по параметру Sm), а по международному стандарту характеризуют поверхность как более износостойкую. Таким образом, ФПУ является оптимальной (обеспечивающей более высокую износостойкость) финишной технологией обработки рабочих поверхностей деталей формокомплектов за счет получения минимальных значений параметров Sm, Rk и Rpk.

Недостатки существующих альтернативных технологий повышения



алмазоподобное покрытие

околошовная дефектная зона

наплавка

Рис. 6. Внешний вид плунжера с тремя переходными зонами: наплавки, околошовной зоной, алмазоподобного покрытия после испытания

долговечности стеклоформ (газопорошковой наплавки никелевых сплавов, лазерного упрочнения) связаны с использованием высокотемпературных источников нагрева. Сварочный нагрев и последующее охлаждение настолько изменяют структуру и свойства чугуна в зоне расплавления и околошовной зоне, что получить качественную наплавку без дефектов с необходимым уровнем свойств оказывается весьма затруднительно. Так, применение при газо-

порошковой наплавке окислительного пламени может вызвать сильное местное выгорание кремния в околошовной зоне с образованием зон отбеленного чугуна, а при неправильном ведении процесса существует вероятность затруднительного выхода растворенных газов (при интенсивном газовыделении) и в околошовной зоне образуется повышенная пористость. Кроме того, излишняя задержка пламени на одном месте приводит к перегреву поверхности

и, как следствие, к выгоранию углерода и кремния в данном месте шва, появлению по границам зерен жидкой фазы, образованию крупнозернистого строения, отбелу чугуна и образованию микропористости. Особенно это усугубляется при наплавке деталей сложных форм, имеющих неодинаковое сечение в различных частях. При использовании в качестве основного материала стеклоформ стали 20Х17Н2 с наплавкой никелевых сплавов применение окислительного газового пламени ведет к выгоранию хрома, образованию тугоплавких окислов и получению крупнозернистой структуры, а это, в свою очередь, сказывается на пониженной коррозионной стойкости околошовной зоны по сравнению с основным металлом. Для предупреждения выгорания хрома и выпадения карбидов хрома наплавку необходимо производить быстро, избегая перерывов и повторных нагревов, что является крайне затруднительным при наплавке кромок стеклоформ.

На рис. 6 показан плунжер стеклоформы, изготовленный из стали 20Х17Н2, после финишного плазменного упрочнения и последующего испытания в натуральных условиях. Как видно, в области околошовной зоны (рядом с границей наплавленной поверхности) имеет место повышенное образование нагара. Это связано с повышенной дефектностью этой зоны из-за выгорания хрома и потери коррозионной стойкости. При этом в верхней части плунжера с алмазоподобным покрытием следов нагара не наблюдается. Таким образом, наиболее эффективно отказаться от наплавки никелевых сплавов, а общую защиту деталей стеклоформ обеспечивать тонкопленочным алмазоподобным покрытием.

С учетом изложенного технология ФПУ может быть рекомендована как окончательный финишный процесс обработки рабочих поверхностей формокомплектов. Как показали производственные испытания в ООО «Опытный стекольный завод» (г. Гусь-Хрустальный), после ФПУ стеклоформы кружки для чая (рис. 7) продолжительность ее работы до появления нагара увеличилась в три раза. ■

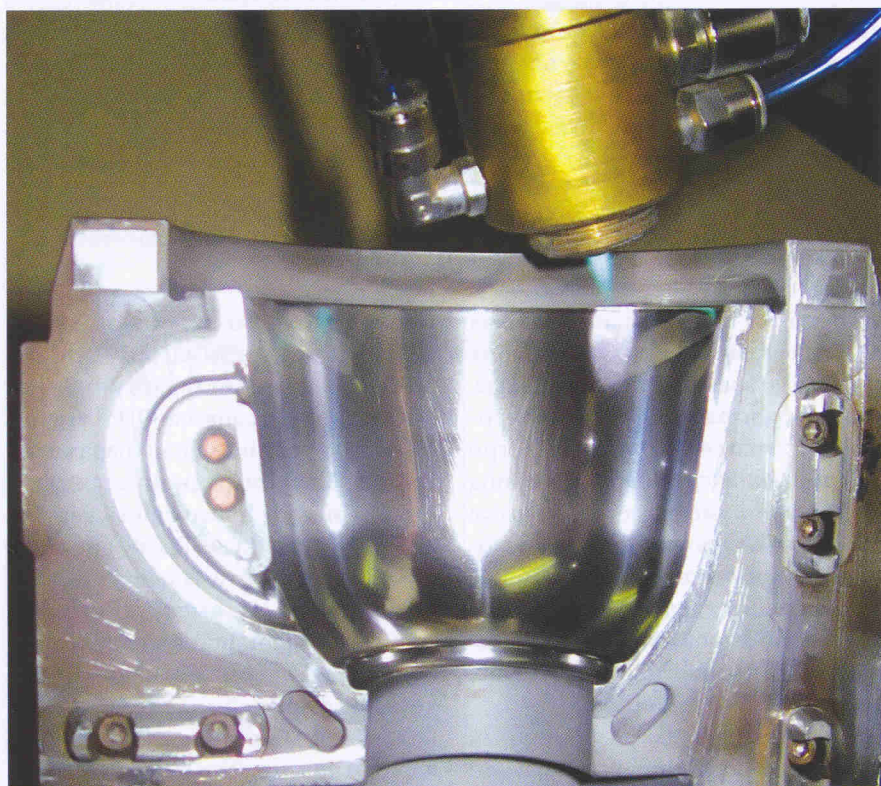


Рис. 7. ФПУ раскрывной полуформы кружки для чая