

# Повышение износостойкости формообразующих деталей технологической оснастки

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

*Общепринятый алгоритм конструирования формообразующих деталей (ФОД) технологической оснастки включает в себя выбор материала в соответствии с условиями эксплуатации и с учетом методов их изготовления с использованием традиционных технологических операций получения заготовки (механическая, термическая, абразивная обработка, в отдельных случаях – химико-термическая обработка или электролитическое хромирование). В соответствии с чертежом контролируемыми параметрами ФОД являются их геометрические размеры, шероховатость поверхности и твердость, характеризующая фазовое и структурное состояние поверхностного слоя и сердцевины деталей. Следует признать, что имеющиеся резервы повышения износостойкости ФОД, с точки зрения свойств исходных материалов и известных технологий их изготовления, практически полностью реализованы. Одним из новых направлений на этом пути является применение современных нанотехнологий.*

1. Влияние шероховатости на износостойкость ФОД.
2. Влияние микротвердости на износостойкость ФОД.
3. Влияние остаточных напряжений на износостойкость ФОД.

Известно, что выход из строя подавляющей части ФОД оснастки, как и многих других деталей машин, механизмов, оборудования и инструмента, связан с износом и разрушением их поверхностных слоев, что проявляется в постепенном изменении размеров и формы рабочих поверхностей. Существуют три стадии процесса изнашивания: взаимодействие поверхностей, изменение в поверхностных слоях и повреждение поверхностей. Все эти стадии взаимосвязаны и протекают на единичных пятнах микроконтактов рельефа поверхности. Причины и характер изнашивания обусловлены превышением допустимых для основного материала эксплуатационных напряжений, повышенными температурами и химическими реакциями в зоне контакта. При этом критерием отбраковки деталей изнашиваемых ФОД обычно является износ порядка 0,1 – 0,2 мм. Поэтому очевидно, что в целях повышения долговечности и борьбы против износа таких деталей достаточно производить упрочнение именно поверхностного слоя.

Сказанное в первую очередь относится к оснастке, предназначенному для формообразования изделий из металлов (пресс-формы и формы для литья под давлением алюминиевых и латунных деталей, гибочные, вытяжные или чеканочные штампы), и к стеклоформующей оснастке. Можно предположить, однако, что и

в случае формования изделий из менее твердых, полимерных материалов (ПМ) останутся справедливыми как основные положения теории износа прирабатываемых поверхностей, так и описанные в статье мероприятия и рекомендации по повышению износостойкости ФОД.

В общем случае при формообразовании изделий взаимодействие контактирующих поверхностей может быть механическим и молекулярным. Механическое взаимодействие включает внедрение и зацепление отдельных участков шероховатых поверхностей, молекулярное – проявляется в образовании адгезионной связи при контакте двух поверхностей. Последнее взаимодействие сопровождается схватыванием, образованием наростов, задиров, глубинным вырыванием материала, переносом его с одной поверхности трения на другую и воздействием возникших неровностей на сопряженную поверхность. Для минимизации молекулярной составляющей процесса изнашивания и соответственно повышения долговечности ФОД целесообразно использовать химически инертные, температуроустойчивые, диэлектрические и износостойкие материалы, которые обеспечивают антиадгезионные (барьерные) свойства при контакте труящихся материалов. Важно отметить, что данными свойствами может обладать только одно из участвующих во взаимодействии труящихся тел, например, ФОД. Максимальной приближенностью к указанным свойствам обладают алмаз и алмазоподобные материалы, которые при изготовлении ФОД могут быть использованы только в виде тонкопленочных покрытий.

Любая деталь после изготовления ее традиционными методами обладает неоднородностью свойств поверхностного слоя из-за образования многочисленных дефектов, а также из-за неоднородности физико-химических свойств исходного материала [1]. Так, в результате механической обработки детали имеют различную шероховатость поверхности, неравномерные степень наклена и толщину наклепанного поверхностного слоя, в котором могут также возникать остаточные напряжения, что в целом негативно сказывается на износостойкости деталей.

### 1. Влияние шероховатости на износостойкость ФОД

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

Формообразующие поверхности с минимальной шероховатостью (малые значения среднего арифметического отклонения  $R_a$  профиля) при трении в процессе эксплуатации испытывают интенсивное адгезионное воздействие, которое сопровождается скреплением, схватыванием и интенсивным молекулярным взаимодействием трущихся материалов. 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 [3].

На процессы изнашивания влияет значение шага  $Sm$  неровностей профиля [2]. Многочисленные неровности поверхности, обладающие меньшим значением  $Sm$  (при одинаковом значении  $R_a$ ), обеспечивают более высокую износостойкость (рис. 1). Таким образом, для увеличения стойкости к износу формообразующих поверхностей не-



обходимо стремиться к использованию такой финишной операции, которая обеспечивает получение поверхности с минимальным значением параметра  $Sm$ .

Основным высотным параметром шероховатости формообразующих поверхностей, указываемым на чертежах, является среднее арифметическое отклонение профиля  $R_a$ , принимаемое равным от 0,16 до 0,8 мкм. На рис. 2 приведены профилограммы и опорные кривые поверхностей после различных технологических операций [3].

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 более пологой является кривая опорной поверхности.

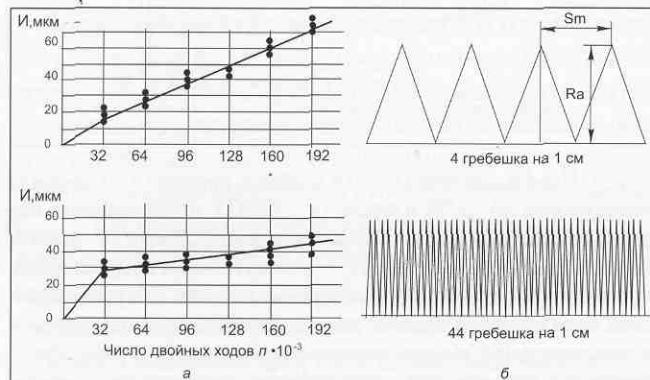


Рис. 1. Зависимость величины износа  $I$  (а) поверхностей с различным средним шагом  $Sm$  неровностей профиля (б) при одинаковом значении параметра  $R_a$  от числа  $n$  двойных ходов перемещений исследуемой поверхности относительно калиброванной

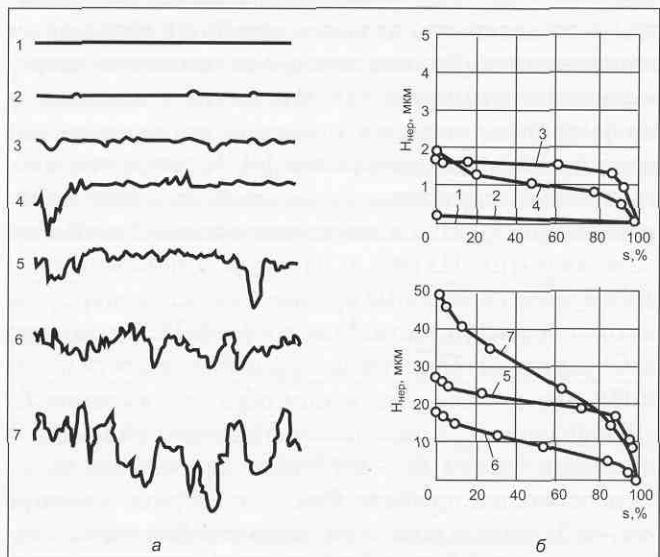


Рис. 2. Профилограммы (а) и опорные кривые поверхности (б) [3]: 1 – идеальной; 2 – измерительной плитки; 3 – после хонингования; 4 – после шлифования; 5 – после фрезерования; 6 – после тонкого растачивания; 7 – после сверления ( $H_{\text{нер}}$  – высота неровностей над линией впадин;  $s$  – относительная площадь 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 гребешков вершин неровностей и они меньшеказываются на составляющей механического изнашивания. Поэтому для увеличения стойкости формообразующих поверхностей необходимо использовать такую финишную технологическую операцию, которая обеспечивает получение более пологой кривой опорной поверхности и минимального количества высоких требней выступов.

В зарубежной практике поверхности, работающие в условиях интенсивного износа (в том числе и формообразующие), дополнительно оцениваются параметрами шероховатости  $Rpk$ ,  $Rk$ ,  $Rvk$  (ISO 13565-2:1996), связанными с опорной кривой. 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 ФОД с повышенной долговечностью целесообразно провести анализ финишных операций изготовления и замерить получаемые значения  $Rk$  и  $Rpk$ .

В соответствии с традиционной технологией изготовления ФОД 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 нанопокрытий [4]. К таким технологиям относится и процесс финишного плазменного упрочнения (ФПУ) с нанесением алмазоподобного нанопокрытия. Из рис. 3, 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; высота неровностей профиля по десяти точкам  $Rz$  – в 1,6 раза; наибольшая высота неровностей профиля  $Rmax$  – 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  $Rpk + Rk$ , характеризующая изнашиваемость рабочих поверхностей, – в 2,6 раза.

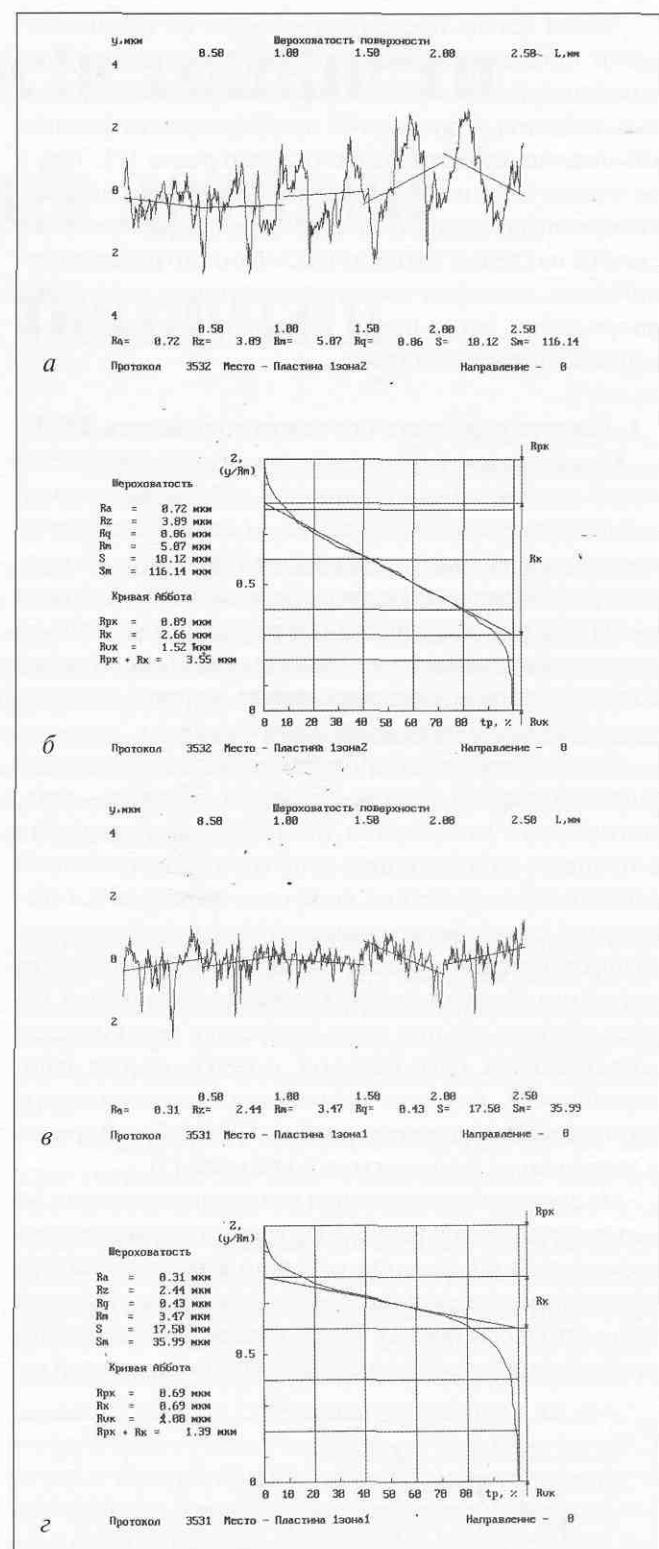


Рис. 3. Профилограммы (а, в) и опорные кривые (б, г) профиля поверхности до (а, б) и после (в, г) ФПУ шлифованного образца из стали Р6М5;  $L$  – база измерений (2,5 мм);  $y$  – высота неровностей профиля (мкм);  $t_p$  – относительная опорная длина профиля (%);  $z$  – отношение суммы сечений микронеровностей образованной прямой линией, проведенной на уровне  $y$  к максимальной высоте неровностей профиля ( $y/Rm$ ) (расшифровку обозначений характеристик профиля см. в тексте статьи; данные получены с использованием измерительно-вычислительного комплекса «Профиль», включающего стандартный профилограф-профилометр модели 201, персональный компьютер, интерфейс связи профилографа с компьютером и пакет прикладных программ)

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, оптимальной (обеспечивающей более высокую износостойкость) финишной технологией обработки деталей формообразующей оснастки является процесс, характеризующий получение минимальных значений параметров  $Sm$ ,  $Rk$  и  $Rpk$ .

Следует отметить, что такую же тенденцию изменения параметров шероховатости, как и при использовании технологии ФПУ, можно получить при применении на финишной стадии обработки ФОД технологий поверхностного пластического деформирования (ППД), например, алмазного выглаживания, обкатки роликом, безабразивной ультразвуковой обработки. Однако при использовании технологий ППД невозможно получить химически инертную и температуроустойчивую поверхность, которая сводит к минимуму адгезионную составляющую процесса изнашивания ФОД.

## 2. Влияние микротвердости на износостойкость ФОД

В большинстве случаев ФОД проходят объемную термическую обработку. При этом различие в структуре и свойствах поверхностного слоя детали проявляется вследствие окисления поверхности и уменьшения концентрации углерода, неравномерности нагрева и охлаждения. Результатом этого является неравномерность характеристик поверхностного слоя, в том числе и по микротвердости. В существенно меньшей степени окисление и обезуглероживание происходят при использовании термической обработки в контролируемой защитной атмосфере, хотя эта технология для изготовления ФОД используется редко. Как показывает практика, любая объемная термическая обработка в большинстве случаев не обеспечивает равномерность распределения значений микротвердости по поверхности деталей.

Химико-термическая обработка (ХТО) позволяет в результате поверхностного диффузационного насыщения углеродом, азотом и другими элементами и последующей (или предыдущей) термической обработки обеспечить формирование в поверхностном слое более прочных и стабильных фаз и структур. При этом все же имеет место разброс значений долговечности упрочненных ХТО деталей, которая может отличаться в 10 и более раз [5]. Это также объясняется неоднородностью свойств поверхностного слоя после ХТО.

Электролитический и термодиффузионный методы нанесения покрытий (например, в виде твердого хрома) обеспечивают повышение микротвердости поверхностного слоя, но при этом происходит наводороживание поверхности, приводящее к так называемому водородному износу.

**ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ УЗКО-СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ЗАДАЧ**

**Прессформа** КБ

**ПРОИЗВОДСТВО горячеканальных систем**  
**ИЗГОТОВЛЕНИЕ пресс-форм**  
**РАЗРАБОТКА** конструкторской документации  
**РАЗРАБОТКА и ДИЗАЙН** изделий

**pressforma-kb@mail.ru**  
**www.pressforma-kb.ru**

ООО "ПК "КБ Прессформа" г. Екатеринбург тел./факс (343) 378 99 70; +7 922 214 71 27

Все вышеуказанные технологии, используемые при изготовлении ФОД, принципиально не являются финишными, так как после них всегда предусматривается операция абразивной обработки, которая характеризуется образованием неоднородной поверхности с явно выраженным многообразными рисками и дефектами.

Известно, что наиболее распространенным способом косвенной оценки распределения прочности по сечению деталей является измерение микротвердости [6]. Неравномерность усилий резания, а также температурного поля в зоне резания вызывает неоднородность пластических деформаций поверхностного слоя, которая характеризуется глубиной  $h_c$  наклепанного слоя и степенью наклена  $N$

$$N = \frac{H_1 - H}{H} \cdot 100\%,$$

где  $H_1$  и  $H$  – соответственно микротвердость поверхности и сердцевины металла.

На степень наклена влияют режимы резания, геометрические параметры режущего инструмента (степень его износа), свойства материала детали, условия охлаждения. На рис. 4 показано распределение микротвердости по формообразующей поверхности после финишной операции шлифования до значения  $Ra \approx 0,32$  мкм, откуда видно, что распределение

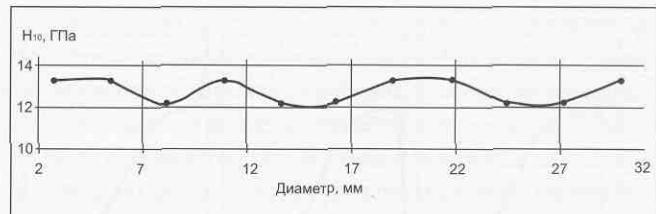


Рис. 4. Распределение микротвердости  $H_{10}$  (по Кнупу) по диаметру упрочненной торцевой шлифованной формообразующей поверхности цилиндра – прототипа штампа для чеканки монет (микротвердость определялась на микротвердомере МНТ-10 фирмы Anton Paar GmbH с видеоизмерительной системой для световых микроскопов с увеличением  $\times 1700$ ; индекс у обозначения микротвердости указывает нагрузку на вдавливаемый алмазный индентор Кнупа – 10 гс)

микротвердости по поверхности не является равномерным. Это связано с тем, что при абразивной обработке имеет место неравномерность усилий резания и температурного поля в зоне резания. Таким образом, механическая обработка не обеспечивает стабильности и однородности степени и глубины наклепанного слоя по поверхности детали. Поэтому важным фактором при конструировании изделий является выбор такой финишной операции обработки, которая обеспечила бы равномерность микротвердости по всей рабочей поверхности, а это возможно при использовании только финишной операции нанесения тонкопленочного износостойкого покрытия.

Обычно для деталей, работающих в условиях трения и износа, стремится получить распределение микротвердости по глубине подповерхностного слоя, приведенное на рис. 5, а [5]. Считается, что в этом случае должна обеспечиваться требуемая долговечность. Однако из-за образования различных дефектов поверхности слоя, как правило, микротвердость распределяется по глубине согласно рис. 5, б. И только при использовании специальных финишных методов ППД или нанесении тонкопленочных алмазоподобных покрытий микротвердость имеет значительно улучшенное распределение (рис. 5, в). Для сравнения: микротвердость исходной термообработанной штамповой стали X12M составляет около 8 ГПа (измерение при нагрузке 10 гс), после ППД – около 9 ГПа, после хромирования – около 11 ГПа, после нанесения покрытия нитрида титана – около 24 ГПа. Микротвердость же тонкопленочного алмазоподобного покрытия (метод ФПУ) достигает значения 52 ГПа (нагрузка – 0,5 гс).

Таким образом, уже на стадии проектирования ФОД целесообразно предусматривать отсутствие на формообразующих поверхностях зон с пониженной микротвердостью (см. рис. 5, б) и указывать в конструкторской документации такую финишную операцию, которая позволит на поверхности иметь более высокую микротвердость.

При изготовлении деталей оснастки по традиционной технологии (без использования современных упрочняющих технологий) всегда имеет место уменьшенная микротвердость на формообразующих поверх-

ностях. Кроме того, распределение микротвердости по поверхности является неравномерным и нестабильным по глубине (например, в связи со сложным геометрическим профилем или с тем, что выступы микрорельефа наклеиваются всегда больше, чем впадины). Поэтому для ФОД оснастки требования по повышенным значениям микротвердости поверхностного слоя могут быть удовлетворены только с использованием специальных финишных безабразивных технологий. Средством стабилизации микротвердости поверхности являются, например, специальные методы ППД или технологии нанесения тонкопленочных покрытий на финишной стадии изготовления деталей формообразующей оснастки, которые обеспечивают увеличение микротвердости на поверхности и получение более однородного распределения значений микротвердости в поверхностном слое.

### 3. Влияние остаточных напряжений на износостойкость ФОД

Одним из аспектов молекулярно-механической теории трения и усталостного изнашивания твердых тел является изучение технологических остаточных напряжений  $\sigma_{ocm}$ , возникновение которых связано с неоднородностью линейных и объемных изменений материала в процессе изготовления деталей. Наличие и неравномерность распределения  $\sigma_{ocm}$  по толщине поверхностного слоя являются одними из основных причин изнашивания деталей в условиях эксплуатационных нагрузок [6]. На износостойкость ФОД главным образом влияют макронапряжения, возникающие в результате технологических процессов при изготовлении деталей и уравновешивающиеся в объеме всего тела.

В зависимости от причин появления технологические остаточные напряжения подразделяются на:

- силовые, возникающие за счет действия на деталь внешней силы (например, при механической обработке);
- тепловые, образующиеся в результате разности температур по сечению детали (например, при литье, сварке, наплавке, обработке давлением);
- структурные, возникающие за счет изменения структуры материала детали (например, при термической обработке);
- диффузионные, образующиеся в условиях изменения удельных объемов смежных зон металла, вследствие их диффузионного насыщения (например, при химико-термической обработке);
- связанные с нанесением покрытий и образующиеся за счет различных коэффициентов линейного термического расширения покрытия и основы и их различных температур в процессе нанесения покрытия.

Вид и режимы технологического воздействия определяют знак, величину и картину распределения  $\sigma_{ocm}$ . Растигивающие напряжения ( $\sigma_{ocm}^+$ ) обычно отрицательно влияют на эксплуатационные характеристики, способствуя развитию усталостных трещин, которые образуются в местах дефектов, всегда имеющихся в

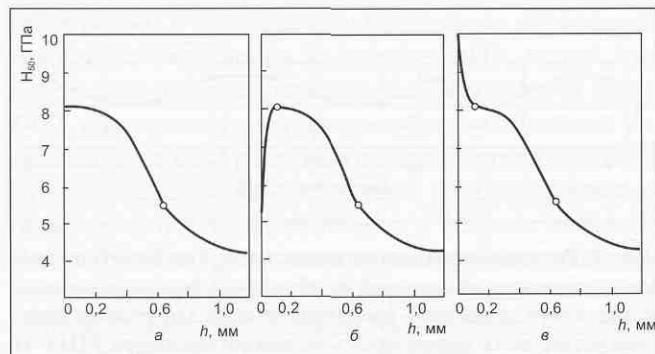


Рис. 5. Распределение микротвердости  $H_{50}$  по глубине  $h$  подповерхностного слоя детали: а – желательное распределение; б (в) – фактическое без использования (с использованием) специальных финишных методов ППД

реальном твердом теле вследствие его неоднородности. 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 большинстве случаев ФОД оснастки работают в условиях знакопеременных нагрузок и испытывают при эксплуатации растягивающие напряжения в поверхностных слоях. Растягивающие напряжения ( $\sigma_{ocm}^+$ ) вызывают раскрытие уже имеющихся и образование новых поверхностных трещин. Остаточные напряжения сжатия ( $\sigma_{ocm}^-$ ), напротив, тормозят развитие поверхностных трещин, способствуют перемещению очага зарождения усталостной трещины под поверхность, где действуют меньшие нагрузки и отсутствует контакт с внешней средой [6]. В результате возрастают сопротивление усталостному разрушению. Выбор конкретных значений  $\sigma_{ocm}$ , которые обеспечивали бы повышение долговечности деталей формообразующей оснастки, основан на оптимизации этого параметра применительно к условиям эксплуатации конкретных изделий.

Практически все ФОД проходят финишную технологическую операцию абразивной обработки. В процессе шлифования на величину и знак  $\sigma_{ocm}$  решающее влияние оказывает температурный фактор, который приводит к образованию на поверхности  $\sigma_{ocm}^+$  [6]. В процессах ППД  $\sigma_{ocm}$  возникают в результате холодного пластического деформирования тонкого поверхностного слоя материала деталей. В этом случае в поверхностном слое возникают  $\sigma_{ocm}$  [7].

В случае нанесения тонкопленочных покрытий могут возникать как сжимающие, так и растягивающие  $\sigma_{ocm}$ . Их величина и знак зависят от метода нанесения покрытий, а также от химического состава наносимого материала покрытия. Если нанесение покрытия производится в условиях незначительного нагрева основного материала (порядка 100 °C), то величина и знак  $\sigma_{ocm}$  зависят только от химического состава покрытия и скорости его охлаждения.

При использовании технологии ФПУ с нанесением алмазоподобного покрытия интегральная температура основы не превышает 100 – 150 °C, а температура наносимого алмазоподобного покрытия значительно выше. И если учесть, что коэффициент линейного термического расширения наносимого покрытия составляет около  $0,8 \cdot 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ , а стальной основы ФОД – около  $11 \cdot 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ , то теоретически данный процесс должен обеспечивать образование в металле основы сжимающих остаточных напряжений  $\sigma_{ocm}$ .

В целях определения влияния процесса ФПУ на  $\sigma_{ocm}$  в поверхностном слое образцов инструментальных сталей, прошедших предварительную механическую, термическую и абразивную обработку, были проведены измерения  $\sigma_{ocm}$ . Для этого использовалась аппаратура неразрушающего контроля остаточных и эксплуатационных напряжений в металлах и сплавах «Ситон»,

которая позволяет косвенно определять механические напряжения за счет изменения электрической проводимости материала при воздействии на исследуемый участок сигналов переменной частоты и амплитуды [8]. Распределение  $\sigma_{ocm}$  после операции шлифования и процесса ФПУ показаны на рис. 6. Из эпюры  $\sigma_{ocm}$  после шлифования (рис. 6, а) видно, что технологическая наследственность ее изготовления предопределяет возникновение  $\sigma_{ocm}^+$  по всей глубине измерений, и их максимальное значение составляет 230 МПа на глубине 80 мкм от поверхности. По направлению к поверхности  $\sigma_{ocm}$  плавно снижаются и на глубине 5 мкм достигают значения  $\sigma_{ocm}^+ \approx 50$  МПа. Экстраполяция кривой эпюры напряжений до нулевой глубины (поверхность детали) дает значение  $\sigma_{ocm}^+ \approx 30$  МПа. Эпюра  $\sigma_{ocm}$  после ФПУ (рис. 6, б) имеет на глубине 10 мкм переход от  $\sigma_{ocm}^+$  к более благоприятным, сжимающим  $\sigma_{ocm}^-$ , и можно предположить, используя тот же метод экстраполяции, что на поверхности образца металла их значения составят около 80 МПа.

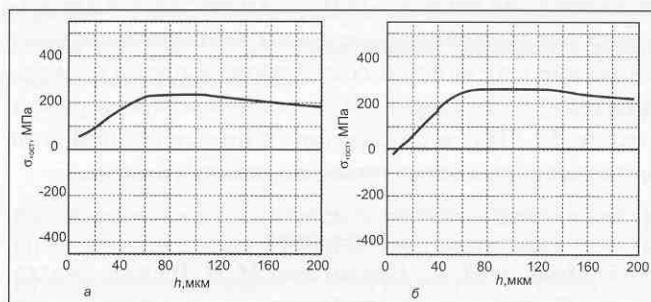


Рис. 6. Эпюры остаточных напряжений  $\sigma_{ocm}$  по глубине  $h$  подповерхностного слоя детали из материала X12М после операции шлифования (а) и после ФПУ с нанесением алмазоподобного покрытия (б)

### Заключение

С учетом вышеизложенного технологию ФПУ можно рекомендовать как окончательный финишный процесс обработки поверхностей ФОД, работающих в условиях трения и износа, препятствующий распространению трещин и повышающий усталостную прочность.

В настоящее время в целях многократного повышения долговечности ФОД оснастки многие предприятия уже используют технологию ФПУ с нанесением алмазоподобного покрытия (рис. 7). Отличительной характеристикой этого процесса является нанесение на финишной стадии изготовления готовых деталей тонкопленочного покрытия повышенной износостойкости, по своим свойствам близким 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 °C).

В заключение следует заметить, что было бы целесообразным указывать в конструкторской документации на ФОД оснастки характеристики поверхностного слоя, определяющие долговечность и износостойкость ФОД. При этом финишная операция должна обеспе-



*Рис. 7. Практические примеры финишного плазменного упрочнения с нанесением алмазоподобного покрытия на рабочие поверхности вытяжной матрицы (а), вставки литьевой формы (б) и матрицы пресс-формы (в)*

чить минимальные значения высотных ( $R_a$ ) и шаговых ( $Sm$ ) параметров шероховатости формообразующих поверхностей, минимальные параметры опорной кривой поверхности, определяющие ее износостойкость ( $Rk$ ,  $Rpk$ ), максимальные значения микротвердости в тонком поверхностном слое и сжимающие остаточные напряжения в подповерхностном слое металла основы. Одним из наиболее эффективных методов повышения долговечности и износостойкости ФОД оснастки является процесс их финишного плазменного упрочнения, позволяющий наносить химически инертное и диэлектрическое алмазоподобное покрытие (обеспечивающее снижение адгезионной составляющей процесса изнашивания) с повышенным значением микротвердости (около 52 ГПа) и создающий в подпленочной зоне металла основы остаточные напряжения сжатия.

#### Литература

1. Мышикин Н. К., Петроковец М. И. Трение, смазка, износ. Физические основы и технические приложения трибологии. – М.: Физматлит, 2007. – 368 с.

2. Маталин А. А. Технология машиностроения. – Л.: Машиностроение, 1985. – 496 с.

3. Гаркунов Д. Н. Триботехника (износ и безызносность). – М.: Издательство МСХА, 2001. – 616 с.

4. Григорьев С. Н., Ильичев Л. Л., Волосова М. А. Нанесение покрытий и поверхностная модификация инструмента. – Оренбург: ИПК ГОУ ОГУ, 2007. – 393 с.

5. Зинченко В. М. Инженерия поверхности зубчатых колес методами химико-термической обработки. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2001. – 303 с.

6. Жарский И. М., Баршай И. Л., Свидунович Н. А., Спиридонов Н. В. Технологические методы обеспечения надежности деталей машин. – М.: «Высш. шк.», 2005. – 299 с.

7. Блюменштейн В. Ю., Смелянский В. М. Механика технологического наследования на стадии обработки и эксплуатации деталей машин. – М.: Машиностроение-1, 2007. – 400 с.

8. Васильков Д. В., Вейц В. Л., Шевченко В. С. Динамика технологической системы механической обработки. – СПб.: «Инвентекс», 1997. – 230 с.

#### *Improved wear resistance of forming parts in technological tooling P. A. Topoliynsky*

*Influence of surface roughness, microhardness and residual stresses on wear resistance of tooling forming parts is investigated. It is demonstrated that the process of their finishing plazma reinforcement with application of a diamond-like coating is one of the most efficient methods for improvement of the tooling forming part durability and wear resistance.*

#### НОВОСТИ

##### «MoldMaking Expo-2009», «NPE-2009» и «ANTEC-2009» – в одно время и в одном месте

По сообщению компании Gardner и Общества производителей промышленных пластмасс (The Society of Plastics Industry, Inc. – SPI), основателей и организаторов проводимой раз в три года выставки NPE, в 2009 г. ежегодная выставка и конференция «MoldMaking Expo-2009» («MME-2009») будет проводиться на одних площадях с международной выставкой пластмасс «NPE-2009» (22 – 26 июня 2009 г., комплекс McCormick Place, Чикаго). Одновременно состоится и крупнейшая в мире техническая конференция в области технологии пластмасс – ANTEC, организуемая Обществом инженеров по переработке пластмасс (Society of Plastics Engineers – SPE).

«Проведение на одних площадках этих трех важнейших мероприятий, в совокупности позволяет создать международный форум технологии пластмасс, беспрецедентный по своей широте и богатству представленных технологий», – сообщил Джин Сандерс, вице-президент по организации промышленных выставок SPI. «Мы ожидаем, что суммарное число экспозиций



значительно превысит 2000, а число конференций, семинаров и других учебных мероприятий, проводимых профессионалами отрасли, будет рекордным».

MME – мероприятие, посвященное исключительно технологии и стратегии изготовления форм и методам их экспресс-производства. Оно включает в себя промышленную выставку с более чем 130 участниками и конференцию, на которой в течение двух дней будут представлены доклады, состоятся обсуждения в рабочих группах и семинары. Как правило, число зарегистрированных посетителей составляет около 2500. В 2009 г. MME состоится в десятый раз.

*Martino Communications Inc.*