УДК 621.923.7

СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О МЕХАНИЗМЕ СГЛАЖИВАНИЯ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ В УСЛОВИЯХ ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНОГО ПОЛИРОВАНИЯ

Ю.В. Синькевич, В.К. Шелег, Г.Я. Беляев, И.Н. Янковский
Белорусский национальный технический университет, Минск

Приведены современные гипотезы о механизме сглаживания профиля поверхности в условиях электроимпульсного полирования (ЭИП).

Механизм сглаживания шероховатости поверхности в условиях ЭИП включает в себя физические, химические, геометрические и технологические аспекты, которые, как правило, взаимосвязаны и на сегодняшний день изучены недостаточно. В настоящее время существует несколько гипотез о механизме сглаживания неровностей профиля поверхности. Так, согласно [1], наиболее интенсивному эрозионному воздействию микроразрядов и активной газовой среды парогазовой оболочки (ПГО) подвергаются выступы профиля обрабатываемой поверхности. Поскольку поверхность во впадинах профиля, по мнению авторов, частично пассивирована, то поверхность впадин в меньшей степени подвержена эрозионному воздействию. Физическая природа микроразрядов в ПГО не раскрывается.

Авторы работ [2, 3] полагают, что в ПГО в результате электрического разряда возникает высокотемпературная плазма, способствующая испарению металла на вершинах выступов профиля. Снижение шероховатости поверхности происходит вследствие того, что поверхность электролита на границе с ПГО является предельно гладкой, а поверхность анода стремится повторить рельеф поверхности электролита [3].

Автор работы [4], опираясь на результаты экспериментальных исследований тепловых потоков, теоретического расчета теплового баланса процесса ЭИП и конечно-элементного моделирования распределения теплового поля при воздействии разряда на поверхность анода, считает, что сглаживание шероховатости поверхности анода происходит в результате локальных микро испарений металла объемом $2{,}26\cdot10^{-2}$–$4{,}02\cdot10^{-2}$ мкм^3 на вершинах выступов профиля под действием разрядов в ПГО, физическая природа которых в работе не раскрывается. Для подтверждения адекватности предложенной модели представлена фотография полированной поверхности образца из стали 12Х18Н10Т, полученная с помощью атомно-силового сканирующего микроскопа. На фрагменте поверхности размером 50х50 мкм имеется единственный вулканообразный выступ с кратером диаметром порядка 0,6–0,8 мкм. Однако этот дефект поверхности связан с селективным растворением структурных составляющих стали 12Х18Н10Т, непосредственно примыкающих к карбидной фазе, с последующим удалением карбидной фазы в раствор электролита [5].

По мнению авторов работы [6], при ЭИП сглаживание рельефа поверхности может обеспечиваться путем реализации двух механизмов. Во-первых, при температуре газа в ПГО ≈100 °С высокая напряженность электрического поля способна вызвать ионизацию паров ПГО и эмиссию ионов и электронов, необходимых для поддержания стационарного тлеющего разряда в ПГО. Авторы полагают, что распределение напряженности электрического поля в ПГО точно соответствует форме рельефа обрабатываемой поверхности при максимальной напряженности поля на выступах профиля, в результате чего возникают импульсные искровые разряды, в которых выделяется значительная энергия, сглаживающая вершины выступов. Во-вторых, сглаживание шероховатости поверхности возможно путем растворения неровностей по аналогии с электрохимической обработкой. В этом случае оксидная пленка разрушается тогда, когда отрывающие усилия, создаваемые электрическим полем, превысят прочность сцепления пассивной пленки с поверхностью. При этом травление оксидной пленки происходит в первую очередь на выступах профиля поверхности анода с большим градиентом напряженности электрического поля и более тонким оксидным слоем.

Согласно [7], сглаживание шероховатости поверхности в условиях ЭИП происходит за счет двух основных механизмов, одновременно реализуемых на поверхности анода. Авторы считают, что первый механизм представляет собой процесс окисления поверхности анода в результате ее взаимодействия с ионами кислорода O^- и гидроксильными группами OH^-, присутствующими в ПГО. Избирательное сглаживание окисленных выступов профиля происходит в результате ионно-пучкового травления или ионного распыления оксидных слоев. Также предполагается, что электрические разряды в ПГО сопровождаются микровзрывами, которые могут отрывать оксидный слой на вершинах выступов.

Приведенные выше гипотезы априори базируются на основных закономерностях разрядных процессов и съема металла в условиях электролитного катодного нагрева, электроэрозионной обработки и электрохимического полирования и основываются на предположении о том, что напряженность электрического поля на вершинах выступов профиля поверхности должна быть значительно выше по сравнению с впадинами, вследствие чего возникновение электрических разрядов наиболее вероятно на вершинах выступов. Однако, по определению [8], газовый электрический разряд представляет собой процесс протекания электрического тока через газ за счет образования в активной части разряда (в катодном слое) свободных носителей заряда путем лавинообразной генерации заряженных частиц при ударной ионизации газа электронами, ускоряемыми электрическим полем в направлении от катода к аноду. В условиях ЭИП наличие свободных электронов в ПГО теоретически и экспериментально не доказано. Кроме того, гипотезы ошибочно базируются на том факте, что на про-

PolotskSU

филограмме реальной поверхности выступы имеют островершинный вид. На самом деле этот эффект связан с различием в масштабах вертикального и горизонтального увеличения профилограммы [5].

Литература

1. Электролитно плазменное полирование // ОДО «СТЕКЛОВАК» [Электронный ресурс]. – 2004. – Режим доступа: http://finishing.narod.ru/. – Дата доступа: 10.09.2015.

2. Podhorský, Š. The possibilities of plasma polishing of the steel DIN 1.0570 in electrolyte / Š. Podhorský, A. Malík // METAL 2010: 19th Anniversary International Conference on Metallurgy and Materials, Rožnov pod Radhoštěm, Czech Republic, May 18th – 20th 2010 [Electronic resource]. – 2011. – Mode of access: http://www. metal2011.com/en. – Date of access: 22.04.2012.

3. Хмыль, А.А. Влияние метода полирования стали на шероховатость и эксплуатационные свойства контактных поверхностей / А.А. Хмыль [и др.] // Трение и износ. – 1996. – Т. 17. – № 4. – С. 491 – 496.

4. Новиков, В.И. Повышение эффективности изготовления сложнопрофильных деталей из легированных сталей методом электролитно-плазменного полирования: автореф. дис. …канд. техн. наук: 05.02.07 / В.И. Новиков; СПб гос. политехн. ун-т. – СПб, 2010. – 19 с.

5. Синькевич, Ю.В. Электроимпульсное полирование сплавов на основе железа, хрома и никеля / Ю.В. Синькевич [и др.]. – Минск: БНТУ, 2014. – 324 с.

6. Куликов, И.С. Особенности электроимпульсного полирования металлов в электролитной плазме / И.С. Куликов, С.В. Ващенко, В.И. Василевский // Вести НАН Беларуси. Физико-технические науки. – 1995. – № 4. – С. 93 – 98.

7. Исследование физико-химических процессов на границе электролит-металл в условиях мощных электрических полей и знакопеременных гидродинамических потоков и создание процессов формирования и обработки поверхностей металлических изделий сложной конфигурации: отчет о НИР (заключ.) / БНТУ; рук. темы А.А. Кособуцкий. – Минск, 2008. – 109 с. – № ГР 20062292.

8. Райзер, Ю.П. Основы газоразрядных процессов / Ю.П. Райзер. – М.: Наука, 1980. – 416 с.

УДК 539.4:669.14.018.262

РЕНТГЕНОГРАФИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ ТОНКОЛИСТОВОЙ ТРИП-СТАЛИ ВНС9-Ш ПОСЛЕ СТАТИЧЕСКОГО РАСТЯЖЕНИЯ

В.П. Сиротинкин, В.Ф. Терентьев, А.К. Слизов
Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН,
Москва, Российская Федерация

Высокопрочная аустенитно-мартенситная тонколистовая холоднокатаная сталь ВНС9-Ш (23Х15Н5АМ3-Ш) используется в ответственных конструкциях авиационной техники, работающих в условиях циклического деформирования. Эта сталь относится к так называемому классу ТРИП-сталей (TRIP – transformation induced plasticity), т.е. сталей с приобретенной в процессе деформации пластичностью [1].