

$$n = \frac{L}{T} = \frac{L \cdot \operatorname{tg} \beta}{2\pi R_d}, \quad (20)$$

где L – длина рабочей части инструмента, мм.

Площадь пятна контакта (n) витков круга на длине (L) равна:

$$S_{\text{конт.}} = S_{1B} \cdot n = 2\pi R_d \left(\frac{B + 2x \sin \beta}{\sin^2 \beta} \right) \cdot \frac{L \cdot \operatorname{tg} \beta}{2\pi R_d} = \frac{2L(B + 2x \sin \beta)}{\sin 2\beta} \quad (21)$$

Как видно из выражения (21) площадь контакта винтового полимер-абразивного круга с внутренней цилиндрической поверхностью зависит от длины обрабатываемой поверхности, фактической ширины контакта винтовой линии, угла ее подъема β и от силовых нагрузок, влияющих на инструмент в процессе работы.

Изучению влияния величины угла β при разных схемах обработки на величину пятна контакта и на производительность процесса обработки будут посвящены дальнейшие исследования.

Список литературы: 1. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения /Под общей ред. Ф.В.Новикова и А.В. Якимова. В 10 томах. «Теория абразивной и алмазно-абразивной обработки материалов» - Одесса: ОНПУ, 2002.- Т.4 (Гл.6) с.289-328 **2.** Экспериментальное исследование параметров обработки эластичными полимер – абразивными инструментами. Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Технології в машинобудуванні. - Харьков: НТУ "ХПІ". - 2006. **3.** Определение момента сопротивления при контактном взаимодействии эластичного инструмента и обрабатываемой поверхности по площадке в виде эллипса. Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Технології в машинобудуванні. - Харьков: НТУ "ХПІ". - 2005.- Вып. 23. - с.117-130 **4.** Аналитические исследования прочности волокна полимер-абразивного инструмента. Вісник Інженерної Академії Наук, спец.випуск "Машинобудування", вип. 4-й, Дніпропетровськ, 2002.- с.44-51 **5.** Определение момента сопротивления при контактном взаимодействии эластичного инструмента и обрабатываемой поверхности по площадке в виде эллипса. Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Технології в машинобудуванні. - Харьков: НТУ "ХПІ". - 2005.- Вып. 23. - с.117-130.

Сдано в редакцию 02.06.06

Рекомендовано д.т.н., проф. Михайлов А.Н.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТИ ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНЫМ ПОЛИРОВАНИЕМ

Синькевич Ю.В., Янковский И.Н. (БНТУ, Минск, Беларусь)

Results of researches of parameters of a roughness of the polished surface of steel 10 are resulted. Influence of time, temperature and structure of electrolyte on process of smootiry of a surface has been studies. The mathematical model allowing with high friability to predict change of parameters of a microstructure at electropulse polishing is received.

Введение

Шероховатость поверхности является одной из основных геометрических характеристик качества поверхности и оказывает значительное влияние на эксплуатационные по-

казатели детали. Существующие финишные методы обработки поверхностей деталей (механические, химические, электрохимические и др.) отличаются большой трудоемкостью и в ряде случаев имеют существенные недостатки. К перспективным методам снижения шероховатости поверхности можно отнести электроимпульсное полирование (ЭИП), обладающее высокой производительностью и преимуществами перед традиционными методами обработки [1].

Широкое промышленное внедрение ЭИП с одной стороны, и практически полное отсутствие систематизированных данных о микрогеометрии полированной поверхности с другой стороны, требуют разработки научно обоснованной теории формирования микропрофиля поверхности в процессе ЭИП. Настоящая работа является первым этапом комплексных экспериментальных и теоретических исследований в этом направлении и обобщает полученные авторами результаты исследований микрогеометрии полированной поверхности деталей из углеродистых конструкционных сталей.

Целью данной работы было исследование основных закономерностей изменения микропрофиля поверхности в процессе ЭИП.

Методика исследований

В качестве объекта исследований была выбрана углеродистая конструкционная качественная сталь 10 (ГОСТ 1050-88). ЭИП подвергались плоские образцы с размерами 40x20x3 мм. Исходная шероховатость образцов обеспечивалась шлифованием на плоскошлифовальном станке до уровня, который обычно задается в производственных условиях перед операцией полирования ($Ra=1,3...0,63$ мкм). При проведении экспериментов время обработки выдерживалось с точностью ± 1 с, температура электролита изменялась в диапазоне 65...85 °С с шагом 5 °С и поддерживалась с помощью термостата СЖМЛ – 19/2,5 – И1 с точностью ± 1 °С, колебание напряжения не превышало ± 5 В. По стандартной методике (ГОСТ 2789-73) на профилографе-профилометре Talysurf фирмы Taylor-Hobson снимались профилограммы поверхности образцов и измерялись следующие параметры шероховатости: Ra - среднее арифметическое отклонение профиля от средней линии, Rz - высота неровностей микропрофиля по десяти точкам, $Rmax$ - наибольшая высота неровностей и Sm - средний шаг неровностей профиля.

Результаты исследований и их обсуждение

Анализ имеющихся данных и механизма ЭИП позволил сделать вывод о том, что основными факторами, влияющими на процесс сглаживания и формирования микропрофиля поверхности при ЭИП, являются исходная шероховатость поверхности, время обработки, температура и химический состав электролита. Следует отметить, что влияние перечисленных факторов может происходить без взаимной связи друг с другом, а изменение того или иного из них может как положительно, так и отрицательно сказываться на процессе сглаживания микропрофиля поверхности.

По значимости наиболее важными технологическими факторами, оказывающими влияние на сглаживание поверхности, являются время обработки и температура электролита [1 – 3]. Следует обратить внимание на то, что при кажущейся идентичности механизмов электрохимического растворения металла при ЭИП и электрохимическом полировании влияние температуры электролита на съём металла для этих процессов абсолютно противоположно. Согласно данным [1], при увеличении температуры электролита при ЭИП происходит существенное снижение скорости съема металла, которое, на первый взгляд, должно безусловно отрицательно влиять на эффективность сглаживания обрабатываемой поверхности.

Учитывая важность этих технологических режимов и отсутствие экспериментальных данных о их влиянии на формирование качества поверхности, был проведен ком-

плексный эксперимент, результаты которого приведены на рис. 1. Аналогичный характер, приведенному на рис. 1, имеют зависимости изменения параметров Rz и $Rmax$.

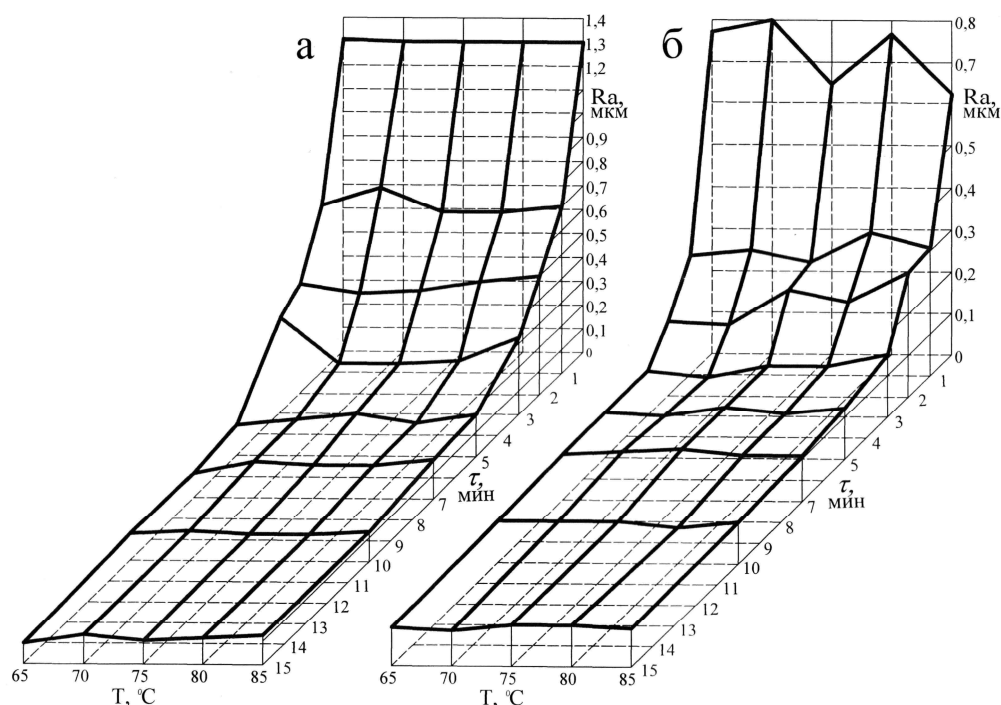


Рис. 1. Изменение параметра Ra при ЭИП

В качестве критерия при оценке эффективности сглаживания микропрофиля поверхности было выбрано относительное сглаживание [2], которое рассчитывалось по формуле:

$$\Delta Ra = \frac{Ra^{нач} - Ra^{кон}}{Ra^{нач}} \cdot 100\%,$$

где $Ra^{нач}$ – среднее арифметическое отклонение профиля исходной (необработанной) поверхности образца, мкм; $Ra^{кон}$ – среднее арифметическое отклонение профиля полированной в течение заданного времени поверхности образца, мкм.

На рис. 2 приведено относительное сглаживание поверхности в зависимости от исходной шероховатости поверхности, времени обработки и температуры электролита.

Полученные результаты показывают, что, не смотря на существенное снижение съема металла при повышении температуры электролита, эффективность сглаживания микрорельефа при этом не снижается. Причем при одинаковой исходной шероховатости поверхности, но при разных температурах электролита изменение параметра Ra происходит практически одинаково. Этот факт имеет важное значение при назначении режимов ЭИП прецизионных деталей, обеспечивая при минимальном съеме металла достижение заданного качества поверхности.

Важным фактом является также то, что вне зависимости от исходной шероховатости поверхности и температуры электролита ЭИП в течение 5...7 мин обеспечивает достижение практически одинаковой шероховатости поверхности – $Ra=0,1$ мкм. Таким образом, при полировании не ответственных деталей уровень исходной шероховатости поверхности заготовки можно поднять, что снизит стоимость предварительной механической обработки и себестоимость изготовления детали в целом.

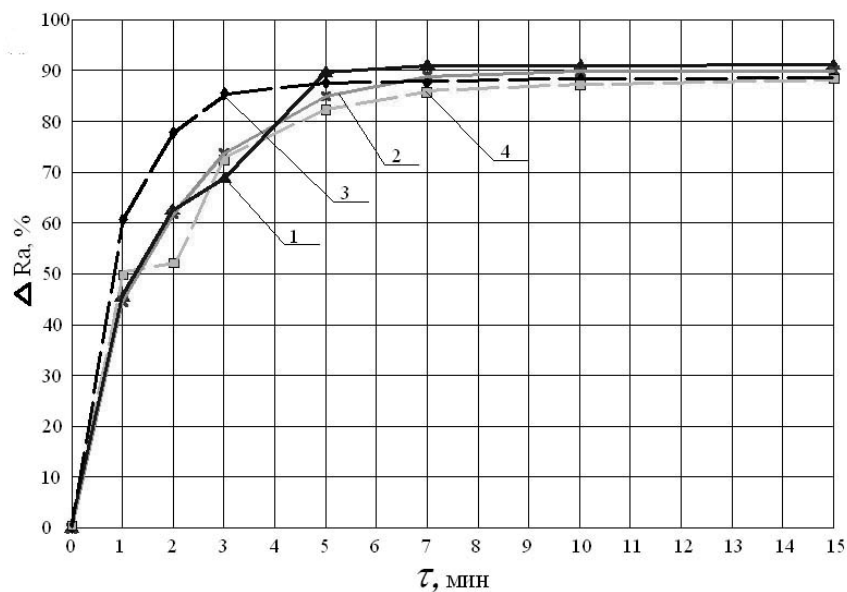


Рис. 2. Относительное сглаживание поверхности: 1 – $Ra^{нач} = 1,3$ мкм, $T^{эл} = 65^{\circ}C$; 2 – $Ra^{нач} = 1,3$ мкм, $T^{эл} = 85^{\circ}C$; 3 – $Ra^{нач} = 0,78$ мкм, $T^{эл} = 65^{\circ}C$; 4 – $Ra^{нач} = 0,63$ мкм, $T^{эл} = 85^{\circ}C$

Анализ полученных результатов позволяет процесс ЭИП в зависимости от продолжительности обработки условно разделить на три периода:

1. Период интенсивного сглаживания продолжительностью до 1 мин. Он характеризуется резким снижением параметров Ra , Rz и $Rmax$. При этом происходит уменьшение выступающих над средней линией профиля поверхности количества полных пиков в 3...7 раз.
2. Рабочий период (время обработки от 1 до 5...7 мин). Он характеризуется постепенным, прогнозируемым снижением шероховатости поверхности. К концу периода параметры Ra , Rz и $Rmax$ достигают минимальных значений, а количество полных пиков, выступающих над средней линией в пределах базовой длины, не превышает 5 вне зависимости от высоты исходного микропрофиля поверхности.
3. Период постоянной шероховатости (время обработки более 5...7 мин). Это период, в течение которого в основном происходит изменение линейных размеров детали, изменение же перечисленных параметров микропрофиля незначительно, а минимально достижимый уровень шероховатости ограничивается микроструктурой обрабатываемого материала.

Таким образом, с точки зрения производительности обработки и качества поверхности оптимальное время ЭИП углеродистых конструкционных сталей составляет 5...7 мин вне зависимости от исходной шероховатости поверхности и температуры электролита.

Математическая обработка полученных результатов показала, что изменение параметров шероховатости Ra , Rz и $Rmax$ на участке до 7 мин имеет экспоненциальный характер, а математическую модель описания данных параметров можно представить в виде:

$$P^{кон} = P^{нач} \cdot e^{-\tau \cdot k},$$

где $P^{кон}$ – исследуемый параметр (Ra , Rz или $Rmax$), мкм; $P^{нач}$ – исходное значение исследуемого параметра, мкм; τ – время обработки, мин; k – коэффициент, зависящий от температуры электролита (при ЭИП углеродистых конструкционных сталей $k=const$).

Данная модель позволяет с высокой достоверностью прогнозировать изменение параметров Ra , Rz или $Rmax$ в зависимости от режимов обработки, а также решать обратную задачу – зная $\Pi^{кон}$ и $\Pi^{нач}$, оптимальное время обработки можно рассчитать по формуле:

$$\tau = -\frac{1}{k} \cdot \ln \frac{\Pi^{кон}}{\Pi^{нач}}$$

На рис. 3 представлено изменение среднего шага неровностей профиля Sm в зависимости от времени обработки и температуры электролита.

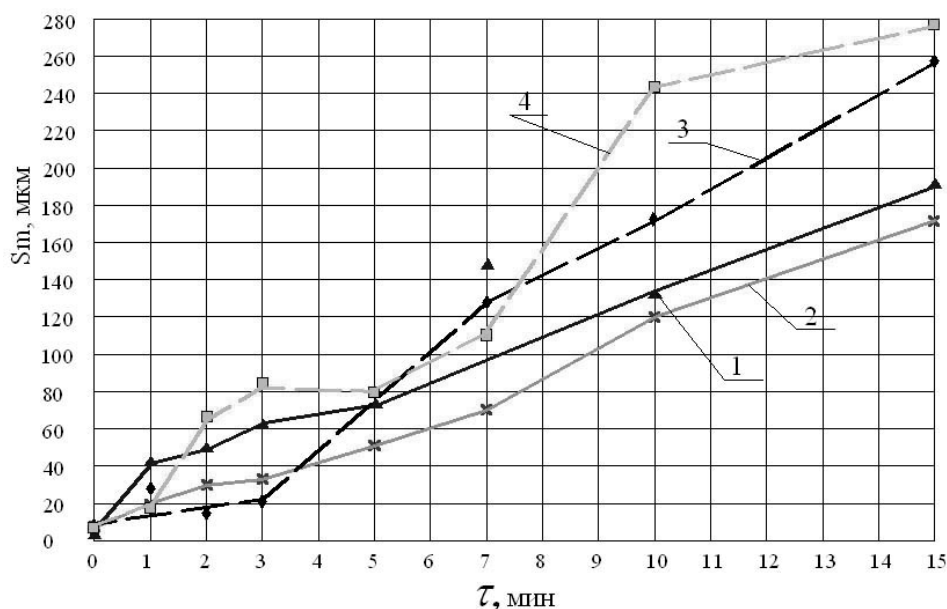


Рис. 3. Изменение среднего шага неровностей профиля Sm : 1 – $Ra^{нач} = 1,3$ мкм, $T^{эл} = 65^{\circ}C$; 2 – $Ra^{нач} = 1,3$ мкм, $T^{эл} = 85^{\circ}C$; 3 – $Ra^{нач} = 0,78$ мкм, $T^{эл} = 65^{\circ}C$; 4 – $Ra^{нач} = 0,63$ мкм, $T^{эл} = 85^{\circ}C$

Видно, что эмпирические кривые с достаточной точностью можно аппроксимировать линейными функциями. В отличие от амплитудных параметров (Ra , Rz и $Rmax$), которые характеризуют только высоту пика или впадины, параметр Sm может быть весьма информативным при анализе механизма сглаживания микропрофиля в процессе ЭИП. Линейный характер изменения Sm позволяет предположить, что в процессе обработки происходит равномерное растворение микровыступов поверхности.

Наглядную информацию о изменении микропрофиля поверхности образцов при ЭИП дают профилограммы, представленные на рис. 4 ($Ra^{нач} = 1,3$ мкм, $T^{эл} = 85^{\circ}C$).

Для анализа механизма сглаживания микропрофиля поверхности в процессе ЭИП дополнительно был измерен параметр Rsk , характеризующий расположение микропрофиля поверхности относительно средней линии [4] – положительный Rsk говорит о том, что большая часть металла микропрофиля расположена выше средней линии, отрицательный Rsk – ниже. На рис. 5 представлено изменение параметра Rsk при ЭИП ($Ra^{нач} = 1,3$ мкм). Как видно из графика, колебание параметра Rsk происходит около нулевой линии без существенного смещения в область положительных или отрицательных значений, что, на наш взгляд, вызвано равномерным растворением микровыступов поверхности.

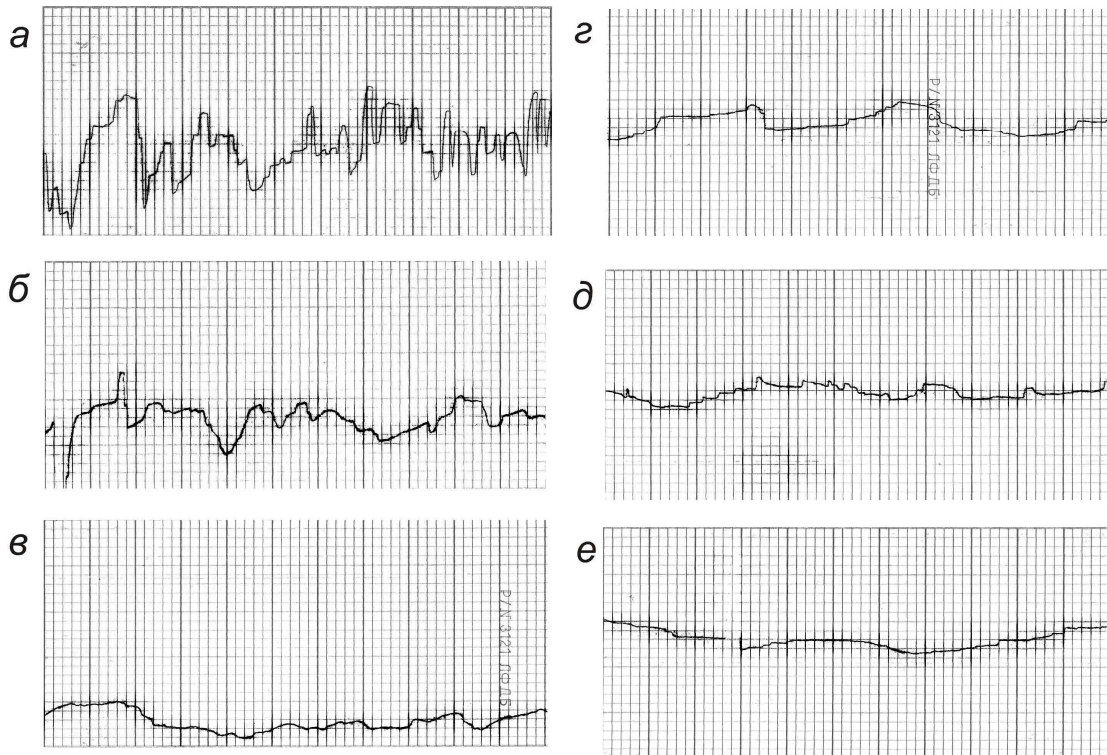


Рис. 4. Профилограммы поверхности образцов ($\Gamma\text{У} \times 100$, $\text{ВУ} \times 5000$):
а – до обработки, *б* – 1 мин, *в* – 2 мин, *г* – 5 мин, *д* – 7 мин, *е* – 10 мин

Учитывая полученные данные и соизмеримость толщины парогазовой оболочки с высотой микровыступов, можно утверждать, что парогазовая оболочка в процессе ЭИП оказывает равновероятное воздействие на все микровыступы поверхности вне зависимости от их высоты. Рис. 4 показывает, что при ЭИП одновременно со снижением высоты микронеровностей происходит сглаживание рельефа поверхности, увеличение радиуса вершины микровыступа, уменьшение угла наклона его боковых граней и количества полных пиков микропрофиля, выступающих над средней линией.

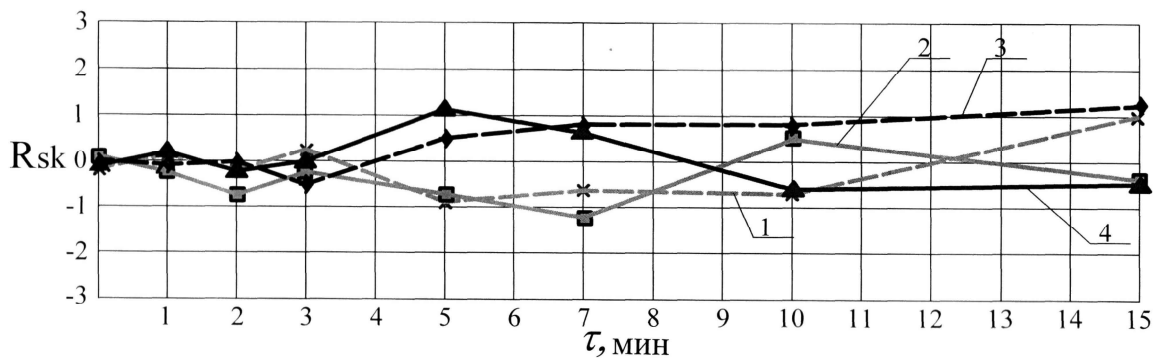


Рис. 5. Изменение параметра Rsk при ЭИП: 1 – $T^{\text{эл}} = 65^\circ\text{C}$; 2 – $T^{\text{эл}} = 70^\circ\text{C}$; 3 – $T^{\text{эл}} = 75^\circ\text{C}$; 4 – $T^{\text{эл}} = 80^\circ\text{C}$

Выводы

1. При ЭИП формирование микропрофиля поверхности происходит за счет равномерного растворения микровыступов. Определяющими факторами, влияющими на эффек-

тивность сглаживания поверхности деталей из углеродистых конструкционных сталей, являются время обработки и высота исходного микропрофиля.

2. Предложенная математическая модель в совокупности с ранее проведенными исследованиями позволяет с высокой достоверностью прогнозировать в процессе обработки обеспечение заданного качества поверхности, управлять величиной съема металла и скоростью сглаживания, что позволит широко использовать ЭИП для обработки прецизионных деталей.

Список литературы: 1. Синькевич Ю.В. Электроимпульсное полирование деталей из коррозионностойких и углеродистых конструкционных сталей: автореф. ... дис. канд. техн. наук: 05.03.01; 05.02.08 / Ю.В. Синькевич; Белорус. государств. политехн. акад. – Мн., 1998 – 23 с. 2. Грилихес С.Я. Электрохимическое и химическое полирование: Теория и практика. Влияние на свойства металлов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1987. – 232 с. 3. Исследование параметров шероховатости поверхности стальных деталей после электроимпульсного полирования и нанесения тонкопленочных покрытий / Головкина Е.Я., Синькевич Ю.В., Иващенко С.А., Фролов И.С. // Извест. ВУЗов СССР. Сер. Машиностроение. – 1989, – Вып. 6. – С. 134 – 138. 4. H.Dagnall M.A. Exploring surface texture. – Great Britain.: Rank Taylor Hobson, 1980. – 170 p.

Сдано в редакцию 4.05.06

Рекомендовано д.т.н., проф. Тока А.

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНОГО ПОЛИРОВАНИЯ

Синькевич Ю.В., Янковский И.Н. (БНТУ, Минск, Беларусь)

The physical and mathematical model of anode process featuring behavior of an electrolyte in a steam gas shell for four modes is offered: switching, a heating plasma of an electrolyte, electro-magnet hydrodynamic and discharge of an electrolyte.

Введение

Анодный и катодный процессы в электролитах имеют ряд существенных различий в природе явлений, протекающих около активного электрода, под которым понимают электрод с меньшей площадью поверхности. Анодный процесс сопровождается растворением металла, а катодный при определенных напряжениях электрического тока – эрозией. Поскольку анодное растворение металла приводит к сглаживанию поверхности, то для оптимизации существующих и разработки новых технологий электрополирования научно-практический интерес представляют исследования анодного процесса и сопровождающих его физико-химических явлений.

Анализ анодных эффектов при увеличении напряжения от 0 до 550 В показал, что процесс последовательно проходит через пять режимов (стадий): классический электролиз, коммутационный, нагрев электролитной плазмой, электрогидродинамический и электролитно-разрядный [1]. Высокое качество поверхности можно обеспечить только в режимах электролиза (электрохимическое полирование (ЭХП)) и электрогидродинамическом (электроимпульсное полирование (ЭИП)). По сравнению с ЭХП ЭИП обладает рядом существенных преимуществ, одним из которых является использование в