

Для стальных материалов типа жести можно использовать конфигурацию абразивной головки с меньшим диаметром отверстия, что приводит к более высокой скорости подачи водного луча. Отсюда можно сделать вывод, что чем меньше диаметр отверстия фильеры, тем лучше условия резания с точки зрения механики жидкости, экономии материалов и скорости резания.

Процесс резания водным лучом холодный, что позволяет резать различные материалы, чувствительные к температурным изменениям, например, различные пластмассы, взрывчатые вещества, материалы, чувствительные к окислению (титан, кобальт, никель и их сплавы). Процесс резания беспыльный (не требуется вентиляция), что особенно важно при резании канцерогенных и ядовитых материалов и веществ, а также таких материалов, как асбест и полиуретан

ЛИТЕРАТУРА

1. BLAGODARNY V., HLOCH S., KMEC J.: Plánovanie experimentov vplyvu technologických parametrov vodného lúča na kvalitu obrobenej plochy, 5. Vedecká konferencia s medzinárodnou účasťou: Informatika a algoritmy 2002, ISBN 80-88941-21-0.
2. BLAGODARNY V., KMEC J., HLOCH S.: Supersonic hydroabrasive erosion, Zborník tretej medzinárodnej vedecko-technickej konferencie: Balttechmaš – 2002, str. 24-28, ISBN. 2.
- LIPTÁK J., MODRÁK V.: Rezanie vodným prúdom, Technická práca, roč. 39.č.9, September 1987, ČSVTS Praha (str. 26-28), ISSN 0040-1056.
3. BLAGODARNY V., PAVLENKO S., HLOCH S.: Experimentálna metodika a hodnotenie experimentov vplyvu procesných parametrov vysokorýchlostného hydroabrazívneho prúdu na kvalitu obrobenej plochy a na hladinu akustického tlaku, Zborník referátov V. medzinárodná vedecká konferencia Nové trendy v prevádzke výrobnéj techniky 2003, FVT TU Košice so sídlom v Prešove, 2003 ISBN 80-8073-059-8 (strany 185 – 191).
4. BLAHUŠ, P.: Faktorová analýza a její zobecnění, SNTL Praha 1985, ISBN 04-028-85.
5. HANOUSEK, CHARAZMA: Moderní metody zpracování dat, Educa, Praha 1999, ISBN 80-85623-31-5.
5. HASHISH M, WASHINGTON K.: Experimental studies of cutting with abrasive waterjets, Flow Industries, Inc., Kent, Washington.
6. ANNONI, M., MONNO, M., VERGARI A.: The macrogeometrical quality of the kerf in the awj process parameters selection, Politecnico di Milano - Dipartimento di Meccanica, Milano, Italy.

УДК 621.923.7

Синькевич Ю.В., Беляев Г.Я., Янковский И.Н., Войтех А.Ю.

ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОПРОФИЛЯ ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛЕЙ ИЗ УГЛЕРОДИСТОЙ КОНСТРУКЦИОННОЙ СТАЛИ ПРИ ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНОМ ПОЛИРОВАНИИ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Шероховатость поверхности является одной из основных геометрических характеристик качества поверхности и оказывает существенное влияние на эксплуатационные показатели 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 дру-

гой 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. В данной работе не затрагивается механизм физико-электрохимического взаимодействия парогазовой оболочки с обрабатываемой поверхностью.

Анализ имеющихся данных и механизма ЭИП позволил предположить, что основными факторами, влияющими на процесс сглаживания и формирования микропрофиля поверхности при ЭИП, являются время обработки, химический состав и температура 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.

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 ($Ra=1,3 \dots 0,63$ 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. В качестве электролита использовали 2...7 % водный раствор хлористого аммония (NH_4Cl), обеспечивающий устойчивое протекание процесса ЭИП [1]. 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.

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 поверхности образца в течение заданного времени, мкм.

Поскольку в работе [1] приведено влияние концентрации электролита только на съем металла и при этом зависимость носит ярко выраженный экстремальный характер, то на первом этапе с целью определения оптимальной концентрации мы исследовали влияние концентрации электролита на эффективность сглаживания микропрофиля поверхности при времени обработки 4 мин и температуре электролита 75 °С (Рисунок 1).

Как видно из графика, максимальная эффективность сглаживания поверхности наблюдается при 2 % концентрации электролита. Влияние исходной шероховатости поверхности образца на эффективность сглаживания прослеживается до 4...5 % концентрации. Дальнейшее ее повышение это влияние полностью нивелирует. Объяснение этому эффекту можно дать с учетом электрохимического механизма ЭИП – повышение концентрации хлорид ионов приводит к пассивации поверхности, в результате чего процесс сглаживания замедляется.

По значимости более важными факторами, влияющими 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 съем 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.

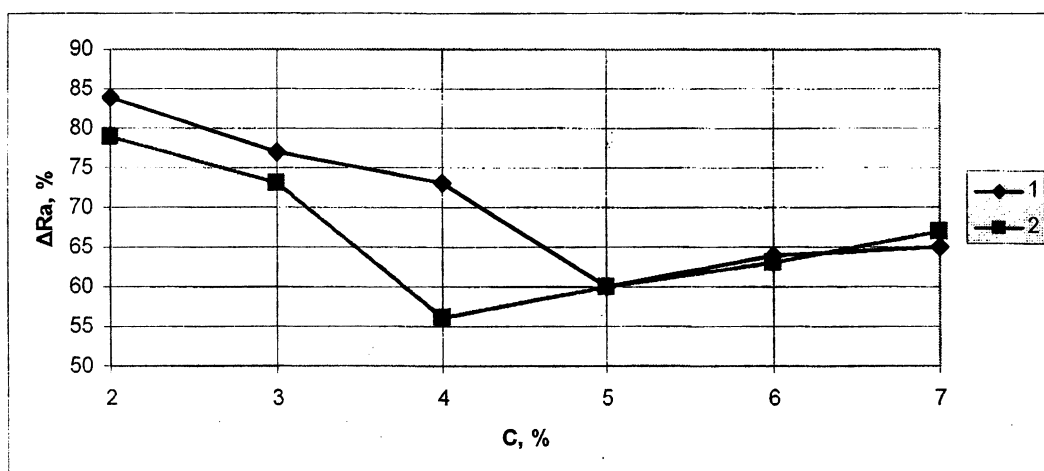


Рисунок 1 – Относительное сглаживание поверхности в зависимости от концентрации электролита: 1 – $Ra^{нач} = 1,25$ мкм; 2 – $Ra^{нач} = 0,40$ мкм;

Учитывая важность этих технологических режимов и отсутствие экспериментальных данных об их влиянии на формирование качества поверхности, на следующем этапе был проведен комплексный эксперимент, результаты которого приведены на рисунках 2, 3. Аналогичный характер приведенному на рисунке 3 имеют зависимости изменения параметров Ra и Rz от времени обработки и температуры электролита.

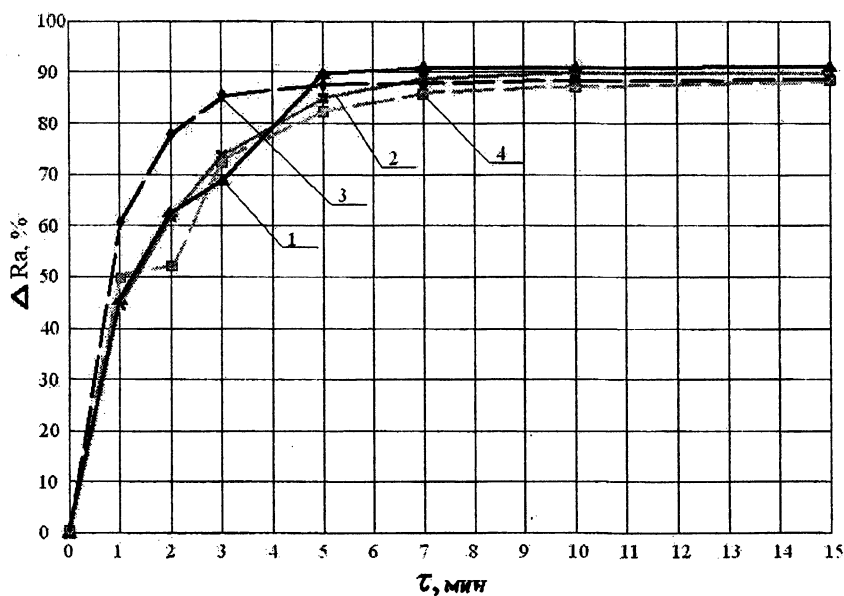


Рисунок 2 – Изменение ΔRa в зависимости от времени обработки и температуры электролита:

- 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, $T^{эл} = 85^{\circ}C$

Полученные результаты показывают, что, не смотря на существенное снижение съема металла при повышении температуры электролита, эффективность сглаживания микрорельефа не снижается. Причем при одинаковой исходной шероховатости поверхности, но при

разных температурах электролита кривые ΔRa или R_{max} практически сливаются (кривые 1 и 2; 3 и 4 на рисунках 2 и 3). Этот факт имеет важное значение при назначении режимов ЭИП прецизионных деталей, обеспечивая при минимальном съеме металла достижение заданного качества поверхности.

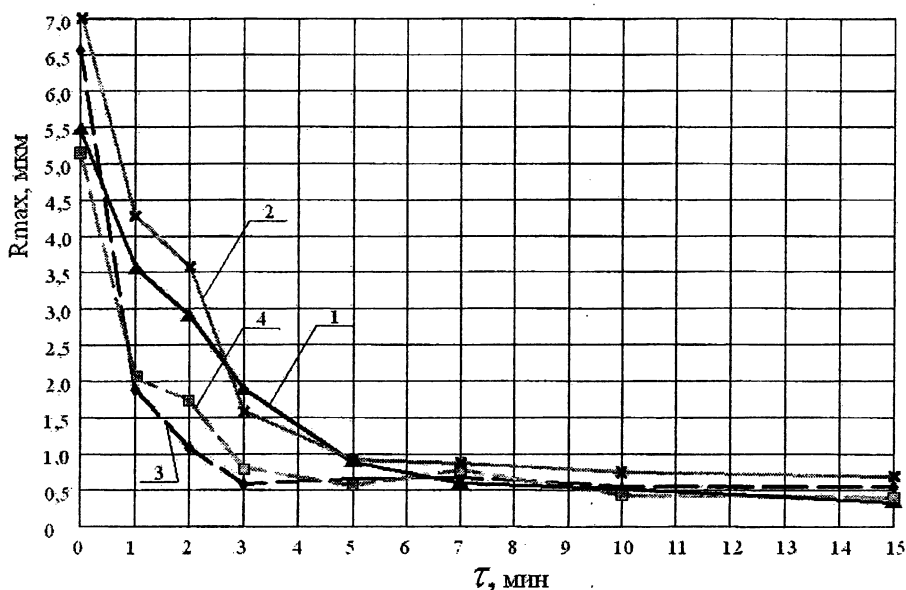


Рисунок 3 – Изменение R_{max} в зависимости от времени обработки и температуры электролита:

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, $T^{эл} = 85^{\circ}C$.

Также важным фактом является то, что вне зависимости от исходной шероховатости поверхности и температуры электролита ЭИП в течение 5...7 мин обеспечивает достижение практически одинаковой шероховатости поверхности – Ra снизилось с $Ra^{нач} = 1,3$ и $0,63$ мкм до $Ra^{кон} = 0,1$ мкм. Таким образом, при полировании не ответственных деталей уровень исходной шероховатости заготовки можно поднять, что снизит стоимость предварительной механической обработки и себестоимость детали в целом.

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 R_{max} . При этом происходит уменьшение выступающих над средней линией количества полных пиков в 3...7 раз, что свидетельствует о равномерности растворения микровыступов поверхности вне зависимости от их высоты.

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 R_{max} достигают минимального значения, 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 с течением времени незначительно, а минимально достигаемый уровень шероховатости определяется микроструктурой обрабатываемого материала.

Таким образом, с точки зрения производительности обработки и качества поверхности, время ЭИП углеродистых конструкционных сталей не должно превышать 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:

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

где $\Pi^{кон}$ – исследуемый параметр (Ra , Rz или $Rmax$), мкм; $\Pi^{нач}$ – 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 рисунке 4 представлено изменение среднего шага неровностей профиля Sm в зависимости от времени обработки и температуры электролита. Видно, что эмпирические кривые с достаточной точностью можно аппроксимировать линейными функциями. Эти зависимости могут быть весьма информативны при анализе механизма сглаживания микропрофиля в процессе ЭИП, линейный характер которых подтверждает, что в процессе обработки происходит равномерное растворение микровыступов поверхности.

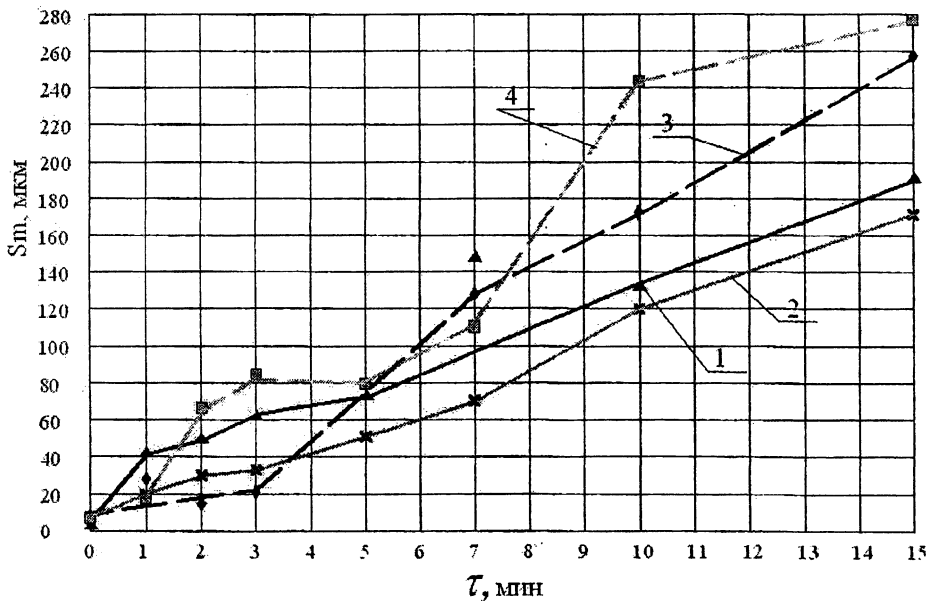


Рисунок 4 – Изменение среднего шага неровностей профиля Sm :

- 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, $T^{эл} = 85^{\circ}C$

Наглядную информацию об изменении микропрофиля поверхности образцов при ЭИП дают профилограммы, представленные на рисунке 5 ($Ra^{нач} = 1,3$ мкм, $T^{эл} = 85^{\circ}C$).

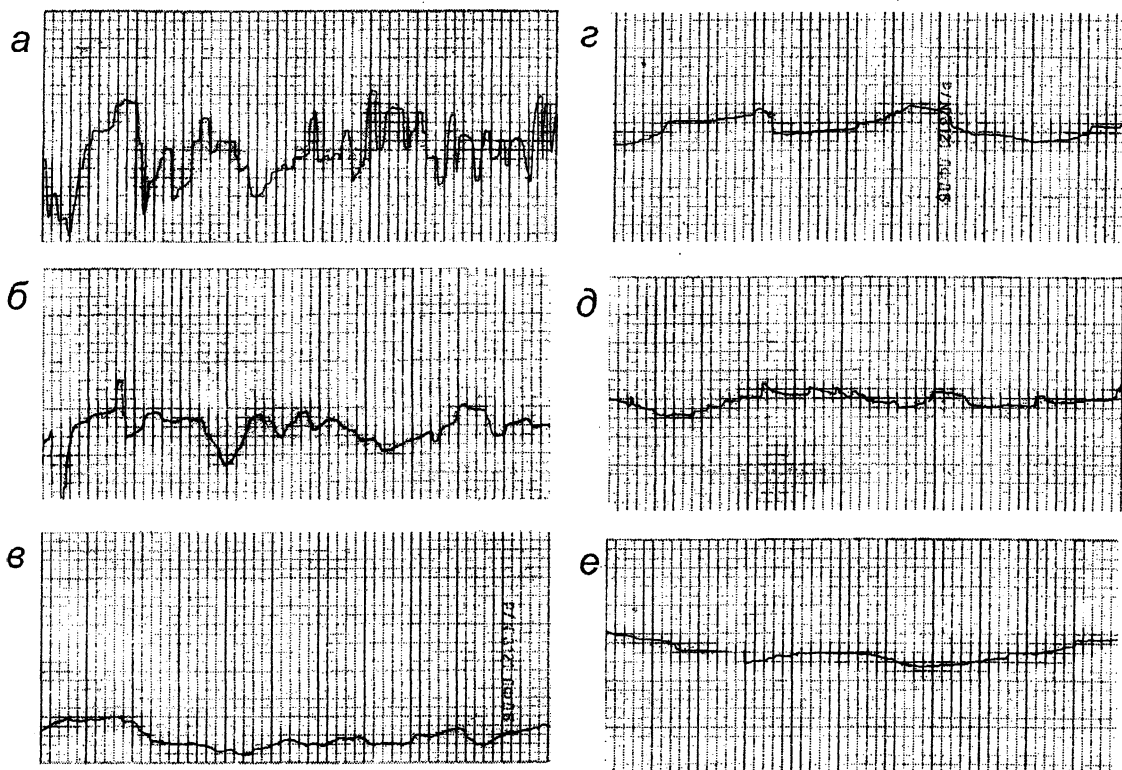


Рисунок 5 – Профилограммы поверхности образцов после ЭИП ($ГУ \times 100$, $ВУ \times 5000$):
а – до обработки, б – 1 мин, в – 2 мин, г – 5 мин, д – 7 мин, е – 10 мин

Учитывая полученные данные и соизмеримость толщины парогазовой оболочки с высотой микровыступов, можно утверждать, что парогазовая оболочка оказывает равновероятное воздействие на все микровыступы поверхности вне зависимости от их высоты. Рисунок 5 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 профиля, выступающих над средней линией.

Выводы:

1. При ЭИП формирование микропрофиля поверхности происходит за счет равномерного растворения микровыступов. Определяющими факторами, влияющими на эффективность сглаживания поверхности деталей из углеродистых конструкционных сталей, являются состав электролита, время обработки и высота исходного микропрофиля.

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

ЛИТЕРАТУРА

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 / С.Я. Грилихес. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение, 1987. – 232 с.
3. Исследование параметров шероховатости поверхности стальных деталей после электроим-

УДК 621.9.048.6

Девойно О.Г., Кукин С.Ф., Каленик А.М.

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКИ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПРИ СОВМЕСТНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ С ЛАЗЕРНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

*Белорусский национальный технический университет,
Минск, Беларусь*

В ряде известных применений лазерной технологии - таких, как наплавка, легирование полезный эффект достигается за счет оплавления поверхностного слоя изделия. Однако при этом имеют место нежелательные сопутствующие факторы, не позволяющие в полной мере использовать преимущества лазерной обработки. К ним можно отнести наличие после лазерной обработки остаточных растягивающих напряжений и большой шероховатости, требующей последующей механической обработки.

Одним из способов разрешения указанных недостатков может быть сочетание процессов деформации с лазерной обработкой.

Наиболее целесообразно использовать в качестве метода пластической деформации ультразвуковые колебания.[1]

Как известно, поверхностное пластическое деформирование обеспечивает улучшение комплекса физико-механических свойств, в том числе и повышение микротвердости.

Однако влияние ультразвукового ППД на физико-механические свойства лазерно-обработанных слоев изучено недостаточно, поэтому целью исследования явилось установление влияния параметров ультразвуковой обработки на физико-механические свойства формируемых при совместном воздействии с лазерным излучением покрытий.

При этом возможно использование следующих последовательностей:

- схемы, при которых деформацию осуществляют после лазерной обработки;

- схемы, при которой дополнительную пластическую деформацию металла производят в зоне, примыкающей к области теплового воздействия.

Для получения экспериментальных данных на поверхности образцов была проведена серия опытов, в которых оптимизировались следующие параметры: статическое усилие и угла поворота ультразвукового инструмента относительно оси детали, который, в свою очередь, определяет площадь контакта обрабатываемой детали и инструмента

Использовали цилиндрические образцы размерами $\varnothing 50 \times 150$ мм из стали 45. Лазерную обработку проводили на установке непрерывного действия «Комета-2М», мощностью 1,2 кВт. Поверхностное деформирование проводили по схеме, приведенной на Рисунок 1. Ультразвуковые колебания, от генератора УЗГ2-4М, на деталь 1 передавались индентором 2 в виде ролика из твердого сплава ВК6М через магнитострикционный преобразователь.3 ПМС-15А-18 и конический концентратор 4. Магнитострикционный преобразователь устанавливался в специальном приспособлении, которое закрепляется в резцедержатель токарного станка. Прижим преобразователя осуществлялся проградуированной пружиной.

Параметры микрогеометрии обрабатываемых поверхностей изучали с помощью профилметра-профилографа модели 201, а твердость и глубину упрочненного слоя - на микротвердометре ПМТ-3.