

ОТДЕЛОЧНО-УПРОЧНЯЮЩАЯ ОБРАБОТКА НАРУЖНОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ УЛЬТРАЗВУКОВЫМИ КРУТИЛЬНЫМИ КОЛЕБАНИЯМИ ИНСТРУМЕНТА

Осипенкова Г.А., Филимонов И.Е. (НТИ УГТУ-УПИ, г. Нижний Тагил, Россия)

Finishing-and-reinforcement processing of steel parts by means ultrasonic torsional vibrations of a causes residual stress in the parts surfaces, decreases surface roughness of detail and forms a specific microrelief which contributes to increased wear resistant of the steel part.

Отделочно-упрочняющая обработка с ультразвуковыми крутильными колебаниями инструмента создает в поверхностном слое стальных деталей остаточное напряжение, уменьшает шероховатость поверхности детали, формирует специфический микрорельеф, способствующий повышению износостойкости детали.

Существует большой ряд деталей, для повышения износостойкости которых, используют поверхностное пластическое деформирование. Пластическое деформирование обеспечивает повышение износостойкости и других эксплуатационных свойств обрабатываемых деталей на 20...50%. Вместе с тем для традиционных методов упрочняющей технологии характерны значительные деформирующие усилия, что ограничивает их применение при обработке маложестких и тонкостенных деталей. Поэтому, введение в зону обработки ультразвуковых колебаний способствует снижению сопротивления пластическому деформированию и силам трения, что в конечном итоге приводит к значительному снижению статических усилий деформирования.

На износостойкость влияют параметры микрорельефа поверхностного слоя и деформационные параметры поверхностного слоя.

Эффективность ультразвуковой обработки определяется главным образом технологическим методом обработки и ее режимами.

Отделочно-упрочняющая обработка методом ультразвукового выглаживания крутильными колебаниями (метод УВКК) представлен на схеме рис. 1 [1]. В данной схеме инструменту 2 (концентратору) задаются крутильные колебания в плоскости касательной к поверхности детали. На выходном торце концентратора установлен индентор 1, смещение которого относительно оси концентратора может изменяться от $e = 0$ (ось индентора совмещена с осью концентратора) до e_{\max} (определяется геометрическими параметрами концентратора).

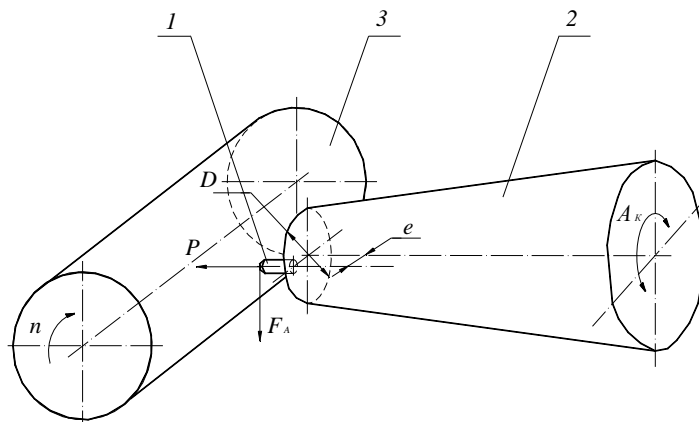


рис. 1. Схема ультразвуковой обработки
1 – индентор, 2 – концентратор, 3 – обрабатываемая деталь

Индентор под действием статической силы P и динамической Fa пластически деформирует поверхностный слой детали 3, вращающейся с окружной скоростью n . При этом происходит сглаживание микронеровностей и упрочнение поверхности. Существенным отличием данной схемы обработки является то, что за счет сложного движения инструмента, т.е. совмещения продольных и тангенциальных колебаний инструмента, создаются в касательной плоскости по отношению к оси детали напряжения сдвига одновременно в двух направлениях, что ведет к снижению статической нагрузки в 10 ? 150 раз.

Расположение индентора на выходном торце концентратора по отношению к оси детали показано на рис. 2. Возможное расположение: под углом γ к оси детали; на оси детали, $\gamma = 0^\circ$; перпендикулярно оси детали, $\gamma = 90^\circ$.

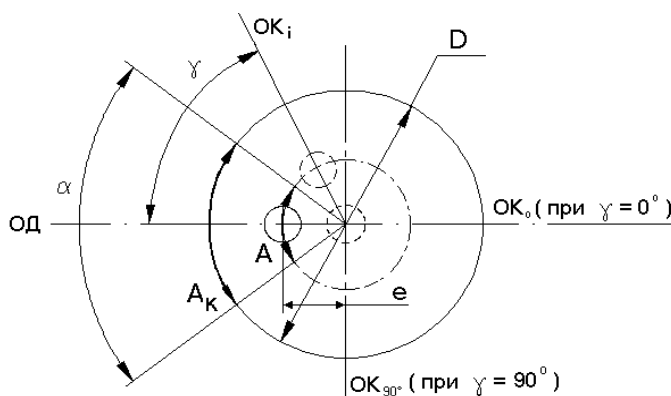


Рис. 2. Расположение индентора по отношению к оси детали

ОД – ось детали; ОК – ось колебаний индентора;

γ – угол смещения оси колебания индентора относительно оси детали

Такое расположение индентора будет влиять на траекторию результирующего движения инструмента и, соответственно, направление микронеровностей. Оптимальным является направление неровностей, перпендикулярное движению трущихся поверхностей, т.к. образующиеся на поверхности «карманы» способствуют удержанию смазки и твердых частиц, возникающих на поверхности в процессе работы сопрягаемых деталей. Разработана математическая модель построения траектории результирующего движения индентора при УВКК (выражение 1...4). В зависимости от расположения индентора по отношению к оси детали (угол γ) будет меняться траектория движения и величина амплитуды колебаний в тангенциальном направлении (A_t) и продольном направлении (A_s) (рис. 3). Анализ траектории позволил заключить, что при вращательном движении вала лучшим является вариант б) рис. 3. В этом случае получены «карманы», удерживающие смазку и микрочастицы износа, перпендикулярные направлению движения. При поступательном движении вала лучшим является вариант а).

$$X^{(AB)} = e \cdot \left(1 - \cos \left(\gamma - \frac{\alpha}{2} + \beta \right) \right) - S \cdot \frac{\beta}{\alpha} \cdot \frac{n}{2N}, \quad (1)$$

$$Y^{(AB)} = e \cdot \left(\sin \left(\gamma - \frac{\alpha}{2} + \beta \right) - \sin \left(\gamma - \frac{\alpha}{2} \right) \right) + \pi \cdot R \cdot \frac{\beta \cdot n}{\alpha \cdot N}; \quad (2)$$

$$X^{(BA)} = e \cdot \left(1 - \cos \left(\gamma - \frac{\alpha}{2} + \beta \right) \right) - S \cdot \frac{2\alpha - \beta}{\alpha} \cdot \frac{n}{2N}, \quad (3)$$

$$Y^{(BA)} = e \cdot \left(\sin \left(\gamma - \frac{\alpha}{2} + \beta \right) - \sin \left(\gamma - \frac{\alpha}{2} \right) \right) + \pi \cdot R \cdot \frac{(2\alpha - \beta) \cdot n}{\alpha \cdot N}, \quad (4)$$

где $X^{(AB)}$, $Y^{(AB)}$ – результирующее движение при прямом ходе индентора в осях координат X , Y ; $X^{(BA)}$, $Y^{(BA)}$ – результирующее движение при обратном ходе индентора; e – величина смещения индентора относительно оси концентратора; γ – угол смещения оси колебания индентора относительно оси детали; α – угол колебания индентора, β – текущий угол перемещения индентора; R – радиус обрабатываемой заготовки; n – частота вращения заготовки; N – частота колебаний индентора.

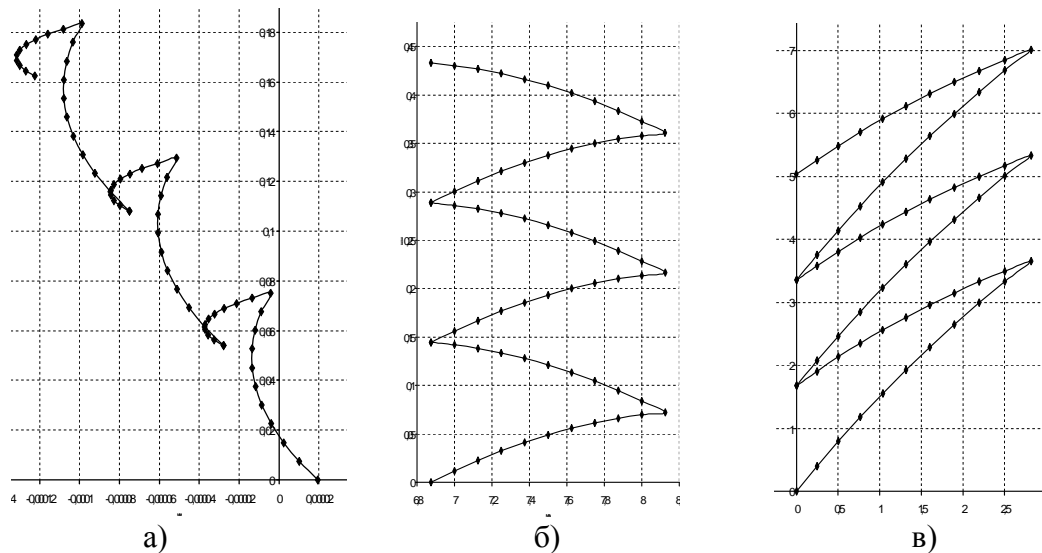


Рис. 3. Траектории движения индентора для:

- а) $\gamma = 0^\circ$; б) $\gamma = 90^\circ$; в) $\gamma = 45^\circ$
- а) $n = 300$ об/мин; $S = 0,17$ мм/об
- б) $n = 800$ об/мин; $S = 0,17$ мм/об
- в) $n = 800$ об/мин; $S = 0,17$ мм/об

Наибольший интерес представляет схема с расположением индентора на оси детали ($\gamma = 0$) (рис. 3а). В данном случае будет преобладание тангенциальных колебаний индентора.

При тангенциальном колебании индентора были построены траектории для разных режимов обработки (рис. 4.). Из схем видно, что при малых скоростях вращения детали происходит дополнительная деформация поверхностного слоя за счет изменения направления движения индентора, уменьшающая шероховатость (рис. 4б).

Для анализа протекания деформации поверхностного слоя введен коэффициент деформации K_d

$$K_d = \frac{V}{V_{ин}},$$

где V – скорость вращения детали; $V_{ин}$ – скорость перемещения индентора.

Анализируя рис. 4, можно сделать вывод, что при различных значениях коэффициента деформации K_d , деформация поверхностного слоя проходит:

- только в прямом направлении – при прямом и обратном ходе индентора его результирующее движение совпадает с направлением скорости вращения детали, $K_d > 1$;

– при обратном ходе индентора его результирующее движение имеет противоположное направление по отношению к направлению скорости вращения детали, $K_D < 1$.

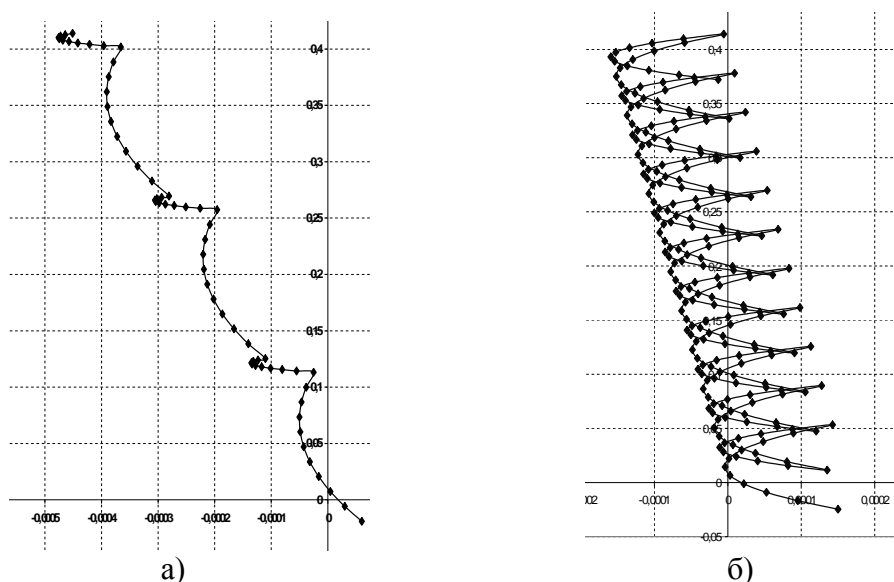


Рис. 4. Траектории движения индентора при тангенциальном движении

а) $n = 800$ об/мин; $S = 0,23$ мм/об; $A_t = 21,95$ мкм; $K_D = 1,16$

б) $n = 200$ об/мин; $S = 0,08$ мм/об; $A_t = 10,6$ мкм; $K_D = 0,6$

в зависимости от скорости деформации $\dot{\epsilon}$ (1/с) в поверхностном слое обрабатываемой заготовки происходят различные изменения. известно, что механизм деформации поверхностного слоя имеет место при скоростях деформации $100 < \dot{\epsilon} < 10^6$. При скоростях деформации больше скорости деформации для адиабатических условий $\dot{\epsilon}_a$ наблюдается адиабатический сдвиг. т.е., наибольшее упрочнение поверхностного слоя детали происходит при скоростях деформации $100 < \dot{\epsilon} < \dot{\epsilon}_a$, а при скоростях деформации $\dot{\epsilon} > \dot{\epsilon}_a$ упрочнение поверхностного слоя уменьшается (рис. 5).

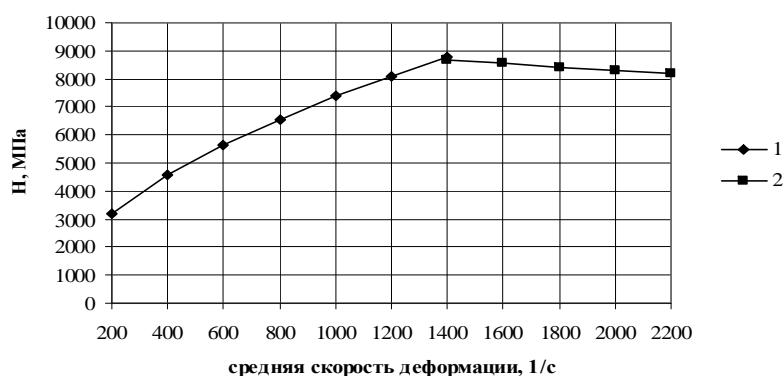


Рис. 5. Зависимость микротвердости обработанной поверхности от средней скорости деформации для материала 15XГН2ТА и радиуса детали 31 мм.

Из выше сказанного можно сделать вывод, что механизм УВКК протекает по способу:

- поверхностное деформирование при скоростях деформации $\dot{\epsilon} < \dot{\epsilon}_A$;
- поверхностное полирование при скоростях деформации $\dot{\epsilon} > \dot{\epsilon}_A$.

Средняя скорость деформации не постоянна в диапазоне одного двойного хода индентора.

Наибольшее влияние на среднюю скорость деформации оказывает величина смещения индентора (рис. 6б). С увеличением величины смещения индентора средняя скорость деформации увеличивается. С увеличением глубины внедрения индентора средняя скорость деформации уменьшается (рис. 6а). Частота вращения детали и подача индентора не оказывают влияние на среднюю скорость деформации.

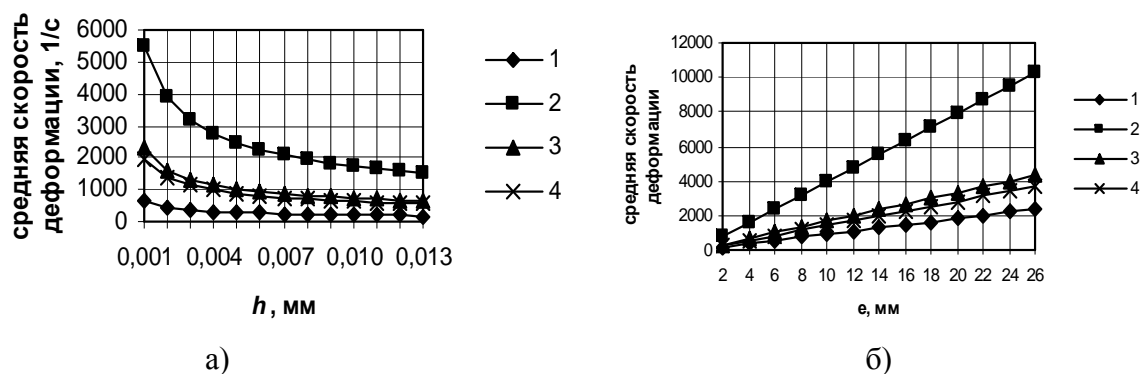


Рис. 6. Зависимость средней скорости деформации для $K_d = 4,27$

- а) от глубины внедрения индентора h режимы: $n = 600$ об/мин; $S = 0.05$ мм/об; $e = 4$ мм
 б) от величины смещения индентора e режимы: $n = 600$ об/мин; $S = 0.05$ мм/об; $h = 4$ мм
 1, 2 – прямой ход индентора; 3, 4 – обратный ход индентора

В том случае, когда коэффициент деформации $K_d < 1$, при обратном ходе индентора происходит дополнительная деформация поверхностного слоя детали, уменьшающая шероховатость (рис. 4, б).

Разработана, аналитическая модель определения шероховатости поверхности для малых частот вращения детали, которая учитывает дополнительную деформацию поверхностного слоя детали

$$R_{z_{\text{анал}}} = 0,5 \cdot \sqrt{4 \cdot R^2 + Y_n^2 - Y_o^2} - \sqrt{\left(\frac{Y_n}{2} - R \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{90 \cdot n}{N}\right)\right)^2 - \left(\frac{Y_o}{2}\right)^2} - R, \quad (5)$$

где Y_n Y_o – результирующее движение индентора при прямом и обратном ходе индентора соответственно.

Экспериментальная проверка предложенной формулы показана на рис. 7.

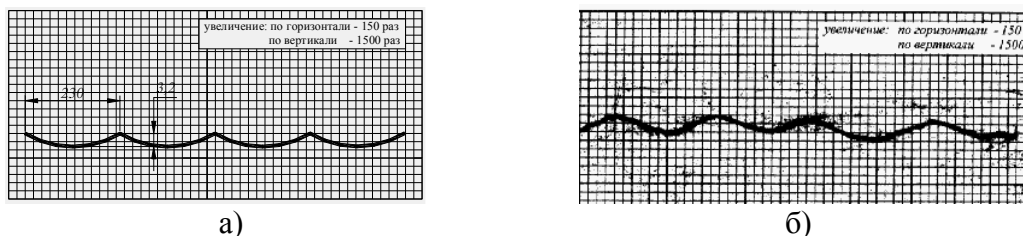


Рис. 7.

- а) Профиль поверхности, полученный аналитическим путем;
 б) Фактический профиль поверхности после обработки; режимы обработки:
 $S = 0,23$ мм/об; $P = 9$ Н; $N = 1120$ об/мин; $R_{z\text{анал}} = 3,2$ мкм; $RZ = 3,5$ мкм

Особенностью отделочно-упрочняющей обработки с наложением ультразвуковых крутильных колебаний является получение как частично регулярного микрорельефа (ЧРМР) поверхностного слоя детали, так и полностью регулярного микрорельефа (ПРМР). Регулярный микрорельеф способствует улучшению прирабатываемости, повышению сопротивления изнашиванию и улучшению других характеристик поверхностного слоя. регулярный микрорельеф характеризуется однородностью всех геометрических параметров, которые возможно нормировать.

особое внимание уделено разработке коэффициента регулярности K_p поверхности, определяющего взаимосвязь с технологическими факторами

$$- \text{ для } K_d > 1 \quad K_{p_s} = \frac{r - \sqrt{r^2 - \frac{S^2}{4}}}{h}, \quad (5)$$

$$- \text{ для } K_d < 1 \quad K_{p_s} = \frac{r - \sqrt{r^2 - 0,25 \cdot \left(S - \frac{S \cdot n}{2N} \right)^2}}{h} \quad (6)$$

При различных значениях коэффициента регулярности при УВКК можно получить, как ПРМР поверхностного слоя детали так и ЧРМР поверхностного слоя детали.

На образце получена поверхность полностью регулярного микрорельефа вогнутой формы. Полное пересечение регулярных неровностей обеспечивает получение нового микрорельефа (рис. 8, б) с радиусами округлений выступов и впадин большими, чем при точении (рис. 8, а).

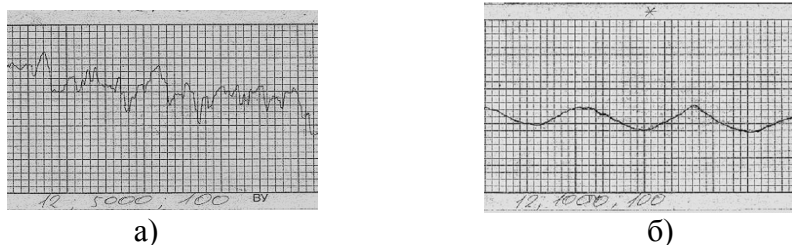


Рис. 8. Полностью регулярный микрорельеф поверхностного слоя:

- а) профилограмма поверхностного слоя до обработки;
 б) профилограмма поверхностного слоя после УВКК; коэффициент регулярности
 $K_{p_s} = 0,57$; режимы: $n = 560$ об/мин, $S = 0,17$ мм/об, $h = 0,012$ мм, $At = 22,5$ мкм

Частично регулярный микрорельеф вогнутой формы с регулярно расположенными неровностями, между которыми имеются участки исходной

шероховатости, представлен на рис. 9, в. Видны участки исходного микрорельефа на профилограмме (рис. 9, б), аналогичные микрорельефу исходного поверхностного слоя на рис. 8, а.

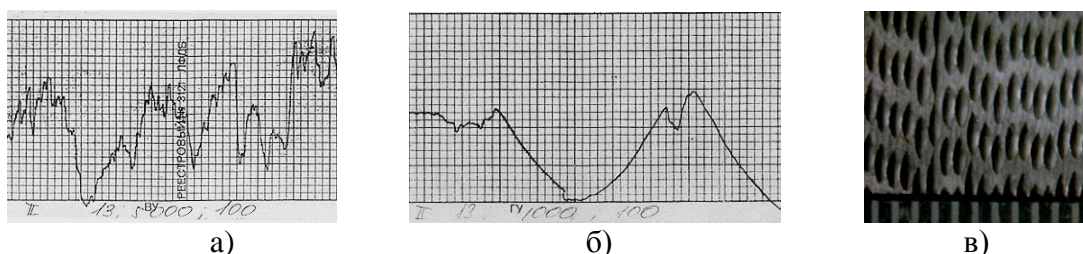


Рис. 9. Частично регулярный микрорельеф поверхностного слоя:
а) профилограмма ПС до обработки; б) профилограмма ПС после УВКК;
в) фотография поверхности; коэффициент регулярности $Kp_s = 2,04$;
режимы: $n = 560$ об/мин, $S = 0,64$ мм/об, $h = 0,012$ мм, $At = 45$ мкм

Разработана конструкция и изготовлено приспособление экспериментальной установки для УВКК [2].

На основе экспериментальных данных разработана математическая зависимость высоты микронеровностей

$$Rz_{\text{матем}} = \frac{n^{0,27} \cdot A_t^{0,19} \cdot h^{1,1}}{S^{0,34}}, \quad (7)$$

где: n – окружная скорость вращения заготовки; A_t – амплитуда колебаний инструмента в тангенциальном направлении; h – глубина внедрения индентора; S – продольная подача инструмента.

В данной работе приводятся два способа определения шероховатости поверхности: - аналитический, основанный на расчете с помощью формул, полученных аналитическим путем (5); - математический, основанный на расчете с помощью формул, полученных на основе экспериментальных данных (7). Математическая высота поверхности является более точным способом, хотя для предварительных расчетов возможно использование аналитической высоты неровностей. разность между аналитической и математической высотой неровностей составляет 2 % ($\sim 0,1$ мкм).

Было установлено, что наибольшее влияние на высоту неровностей оказывает глубина внедрения индентора. При увеличении глубины внедрения шероховатость резко возрастает. Это объясняется тем, что после достижения полного сглаживания, происходит вдавливания индентора ниже средней линии исходного контура поверхностного слоя – по краям канавки образуются наплывы, ведущие к увеличению шероховатости поверхности.

При малых значениях подачи высота неровностей велика. Это объясняется перенаклепом поверхности из-за большой кратности приложения нагрузки. увеличение подачи до 0,1 мм/об приводит к уменьшению шероховатости. увеличение подачи $s > 0,1$ мм/об приводит к увеличению шероховатости.

Изменение частоты вращения заготовки и амплитуды колебаний индентора значительного влияния на высоту неровностей не оказывает.

Увеличение радиуса индентора уменьшает высоту неровностей.

Математическая модель зависимости глубины упрочнения обработанной поверхности от режимов обработки для скорости деформации $\dot{\epsilon}_{\text{ср}} < 1400 \text{ с}^{-1}$ имеет вид:

$$h_n = \frac{e^{0,42} \cdot n^{0,3}}{S^{0,03} \cdot h^{3,73} \cdot e^{0,01}}, \quad (8)$$

где e – основание натурального логарифма.

С увеличением глубины внедрения индентора, его подачи и величины смещения наблюдается тенденция уменьшения глубины упрочнения.

В поверхностном слое пластически деформированного металла наблюдается текстура деформации. Происходит вытягивание зерен в направлении главной деформации (рис. 11).

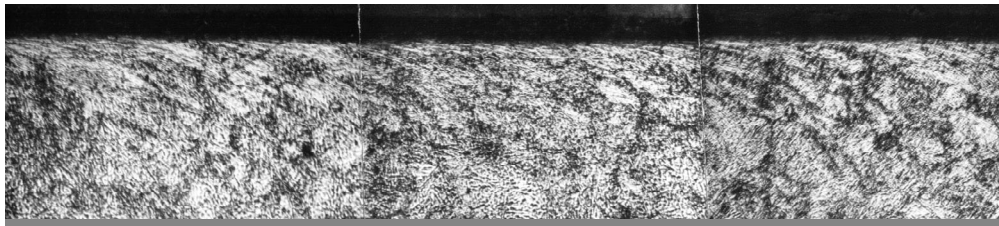


Рис. 10. Панорама поверхностного слоя после УВКК; образец №15 X 280
режимы: $S = 0,17$ мм/об; $N = 800$ об/мин; $P = 17$ Н;
 $A_t = 45$ мкм; $u_n = 105,4$ %; $u_{гр} = 198010$ кгс/мм³

Для оценки износостойкости экспериментальных образцов разработана машина трения, отличающаяся простотой конструкции.

Исследования износостойкости проводились в следующей последовательности:

1. Изготавливались образцы в виде колец.
2. Обработывались по технологии:
 - точение, УВКК;
 - точение, закалка ТВЧ до $HRC_A 62$, шлифование;
 - точение, закалка ТВЧ до $HRC_A 62$, шлифование, УВКК;
 - точение, закалка ТВЧ до $HRC_A 62$, УВКК.
3. Испытание образцов.

Для не закаленных деталей время приработки по размерам детали и по массе детали после УВКК в два раза меньше; относительный износ в два раза меньше после УВКК; для закаленных деталей время приработки по диаметру детали и по массе детали после УВКК в 2,3 раза меньше; относительный износ одинаковый.

Время до предельного износа по диаметру деталей после УВКК в 1,27 раза больше, относительный износ после УВКК в 1,25 раза меньше по сравнению с деталями, подвергнутыми закалке с последующей шлифовкой.

УВКК целесообразно применять для незакаленных деталей.

Выводы:

1. Установлена целесообразность использования в качестве финишной обработки с целью повышения износостойкости деталей машин в 1,25 раза – ультразвуковое выглаживание с наложением крутильных колебаний.
2. Разработана физическая модель ультразвуковой обработки, позволяющая снизить статическую нагрузку в 10 ? 150.
3. Разработаны способы, в основу которых положен анализ скорости деформации:

- поверхностное деформирование при скоростях деформации $\dot{\epsilon} < \dot{\epsilon}_A$ с⁻¹;
- пластическое полирование при скоростях деформации $\dot{\epsilon} > \dot{\epsilon}_A$ с⁻¹.

4. Разработана математическая модель определения шероховатости поверхности для малых частот вращения детали, которая учитывает дополнительную деформацию поверхностного слоя детали.

5. Разработан коэффициент регулярности поверхности, определяющий взаимосвязь с технологическими факторами, для получения полностью или частично регулярного микрорельефа.

6. УВКК целесообразно применять для незакаленных деталей.

Список литературы: 1. Патент RU № 2203789 C2, кл. 7 В 23 Р 9/00, С 21 D 7/06 Пегашкин В.Ф., Гаврилова Т.М., Осипенкова Г.А. Способ отделочно-упрочняющей обработки наружных цилиндрических поверхностей с наложением ультразвуковых крутильных колебаний. 2. Патент RU № 2095217 C1, кл. 6 В 23 Р 9/00, 1997. Гаврилова Т.М., Осипенкова Г.А., Карпов Л.И., Молодавкина Л.Ю. Устройство для ультразвуковой отделочно-упрочняющей обработки наружных цилиндрических поверхностей. Бюл. №31 от 10. 11.97. с. 4. 3.

Сдано в редакцию 5.03.08

СИЛОВІ НАВАНТАЖЕННЯ ЗАХВАТНИХ ПРИСТРОЇВ ПРОМИСЛОВИХ РОБОТІВ ПРИ НАПРАВЛЕННІ СИЛИ ІНЕРЦІЇ ВЗДОВЖ ВІСІ УТРИМУВАНОЇ ДЕТАЛІ

Павленко І.І., Годунко М.О. (КНТУ, м. Кіровоград, Україна)

In this article the examples of power calculations of Grippers are resulted at placing of them in different planes at the change of orientation the landmark of detail. It enables to compare the variants of clamp of detail and probe influence of geometrical parameters at their change on forces of clamp.

Впровадження промислових роботів у виробничі процеси дає багато переваг, основними з яких є: можливість швидкої переналадки, збільшення продуктивності праці, покращення якості продукції, зменшення її собівартості, а також покращення умов праці. Тому використання промислових роботів найбільш ефективно в умовах часткої зміни об'єктів виробництва, а також для автоматизації ручної низькокваліфікованої праці.

Високі конструктивні, динамічні, точносні показники промислових роботів залежать від багатьох факторів, одним з яких є створення досконалих конструкцій робочих органів. Захватні пристрої в роботах є відповідальними робочими механізмами. Це пов'язано з тим, що вони безпосередньо утримують транспортовані деталі які переміщуються з великими швидкостями, а відповідно з великими прискореннями і силами інерції. Рух деталей роботами здійснюється в різних напрямках в режимах прискорення та гальмування, тому в процесі переміщення деталей сили затиску постійно змінюються, що вимагає виконання нових розрахунків. Дослідження та обґрунтування процесів маніпулювання деталей роботом, дасть можливість впливати на сили затиску, і навіть керувати ними шляхом підбору найбільш доцільних конструктивних характеристик захватного пристрою.

Оцінка силових навантажень конструкції захватних пристроїв промислових роботів актуальна також і тому, що захватний пристрій є кінцевим виконавчим механізмом в кінематичному ланцюгу робота, а тому він повинен мати мінімальні