

УДК 621.9.048.6

АНАЛИЗ ТРАЕКТОРИИ ДВИЖЕНИЯ ИНСТРУМЕНТА ПРИ УЛЬТРАЗВУКОВОМ УПРОЧНЕНИИ С ВВЕДЕНИЕМ КОЛЕБАНИЙ ПО КАСАТЕЛЬНОЙ К ПОВЕРХНОСТИ

Самуль Артём Геннадьевич, магистрант,
Кадырбаев Роман Маратович, аспирант,
Юсупов Алексей Сергеевич, аспирант

Научный руководитель: к.т.н. Гилета Виктор Павлович
Новосибирский государственный технический университет
г. Новосибирск, artem-samul@mail.ru

Важной проблемой при обеспечении качества поверхностного слоя деталей является повышение степени его структурной приспособляемости в условиях трения. Изыскание методов обработки, создающих возможность образования на упрочняемой поверхности детали регулярных тонко управляемых микро- и субмикрорельефов, частично решает эту проблему. К числу наиболее совершенных методов получения регулярных микро- и субмикрорельефов можно отнести ультразвуковую упрочняюще-чистовую обработку (УЗО) [1]. Данный вид обработки основан на высокочастотном, скоростном пластическом деформировании поверхностных слоев металла при сложном относительном перемещении упрочняемой поверхности и индентора. В настоящее время при УЗО в основном применяется схема с введением колебаний по нормали к поверхности, закономерности формирования качества поверхности при которой хорошо изучены [2]. Ограниченное использование других схем обусловлено отсутствием технологических рекомендаций по формированию поверхностного слоя, с требуемыми геометрическими и физико-механическими параметрами.

Целью данной работы являлось установление закономерностей расположения следов обработки, при ультразвуковом упрочнении с введением колебаний по касательной к обрабатываемой поверхности.

В работе рассмотрена схема ультразвукового упрочнения цилиндрических деталей. Для описания траектории следов инструмента необходимо рассмотреть все движения, которые имеют место при взаимном перемещении деформатора по отношению к обрабатываемой поверхности. При упрочнении детали сообщается вращательное движение со скоростью V , а инструменту подача S , колебания с частотой f и амплитудой A . Рассматривается вариант, когда колебания направлены по касательной к поверхности, с различной ориентацией к окружной скорости. Перемещение инструмента относительно поверхности можно описать перемещениями вдоль осей x (направление подачи) и y (окружное направление).

$$x = Snt + A \cdot \sin(2\pi ft) \cos(\beta), \quad (1)$$

$$y = \pi Dnt + A \cdot \sin(2\pi ft) \sin(\beta), \quad (2)$$

где S – продольная подача индентора, n – частота вращения детали, t – текущее время, D – диаметр детали, A – амплитуда колебаний индентора, f – частота

колебаний, β – направление колебаний по отношению к направлению окружной скорости.

Суммарные перемещения z деформатора в декартовой системе координат:

$$z = \sqrt{x^2 + y^2} \quad (3)$$

Анализ уравнений 1-2 показывает, что на поверхности формируется след обработки в виде синусоиды, средняя линия которой наклонена под углом наклона α к окружной скорости и описывается уравнениями.

$$x_1 = Snt \quad (4)$$

$$y_1 = \pi Dnt \quad (5)$$

$$z_2 = \sqrt{x_1^2 + y_1^2} \quad (6)$$

$$\alpha = \arctg \frac{S}{\pi \cdot D} \quad (7)$$

При малых значениях угла α уравнение 4 можно преобразовать в уравнение 8:

$$\alpha = \frac{S}{\pi \cdot D} \quad (8)$$

Влияние угла β на формирование следа обработки, при технологических параметрах: $n = 1000$ об/мин; $S = 0,1$ мм; $D = 40$ мм; $A = 2$ мкм; $f = 22$ кГц, показано на рисунках 1-2.

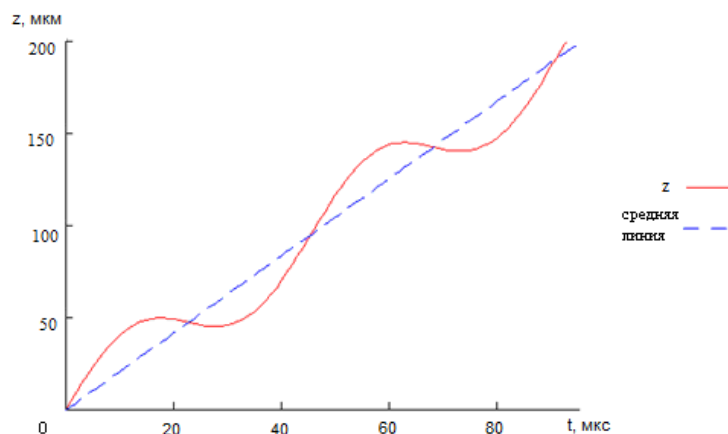


Рисунок 1 – Траектория движения индентора при $\beta = \pi/2$

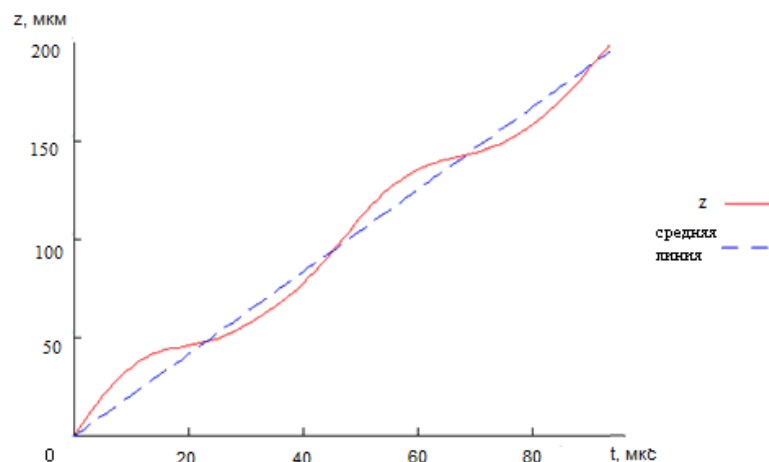


Рисунок 2 – Траектория движения индентора при $\beta = \pi/6$

Как видно из рисунков период синусоиды зависит от частоты ультразвуковых колебаний, а размах следа, относительно средней линии - от амплитуды колебаний и угла β .

Для анализа взаиморасположения траекторий движения инструмента рассмотрим развёртку поверхности.

На развёртке единичного следа количество укладываемых периодов колебаний будет описываться уравнением:

$$M + m = \frac{\pi D}{L_T}, \quad (9)$$

где M , m – целое и соответственно дробное число периодов колебаний укладываемых на единичном следе инструмента за один оборот детали; L_T – путь проходимый инструментом за период колебаний по средней линии, который можно описать уравнением:

$$L_T = \frac{1}{f} \sqrt{x_3^2 + y_3^2} \quad (10)$$

В связи с тем, что на длине следа за один оборот детали укладывается не целое число периодов синусоиды, то следы при втором и последующих оборотах будут смещаться относительно предыдущего на величину l , для учёта величины которого в уравнения 1-2 необходимо ввести фазовый сдвиг φ , который варьируется в пределах $0 < \varphi < 2\pi$ и зависит от диаметра детали и технологических параметров обработки. Поэтому траектория точек следа следующих оборотов описывается уравнениями:

$$x_3 = Snt + A \cdot \sin(2\pi ft + \varphi) \cos(\beta) \quad (11)$$

$$y_3 = \pi Dnt + A \cdot \sin(2\pi ft + \varphi) \sin(\beta) \quad (12)$$

$$z_3 = \sqrt{x_3^2 + y_3^2} \quad (13)$$

Графическое представление уравнений 11-13 при различных значениях параметра φ представлено на рисунках 3-5.

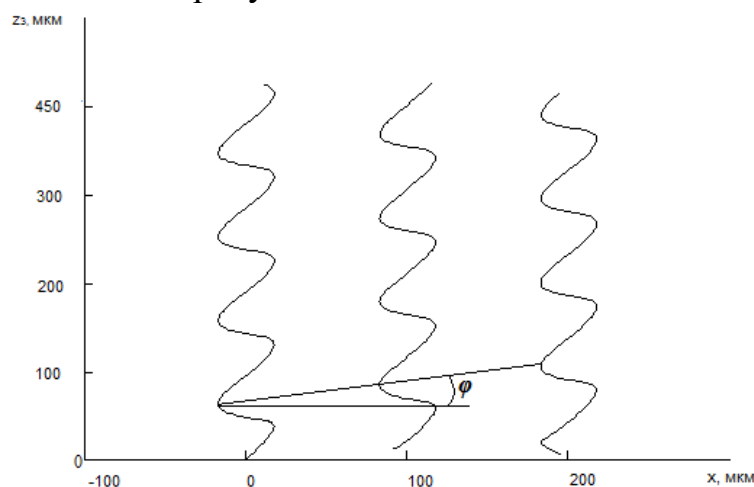


Рисунок 3 – Взаимное расположение следов обработки при $\varphi = 30^\circ$

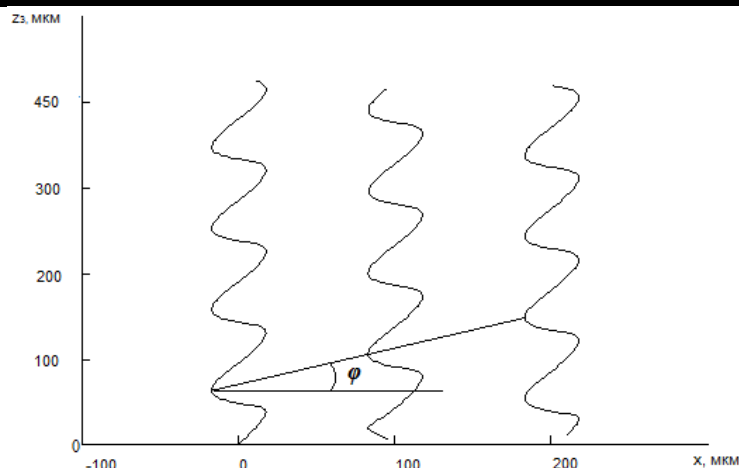


Рисунок 4 – Взаимное расположение следов обработки при $\varphi = 60^\circ$

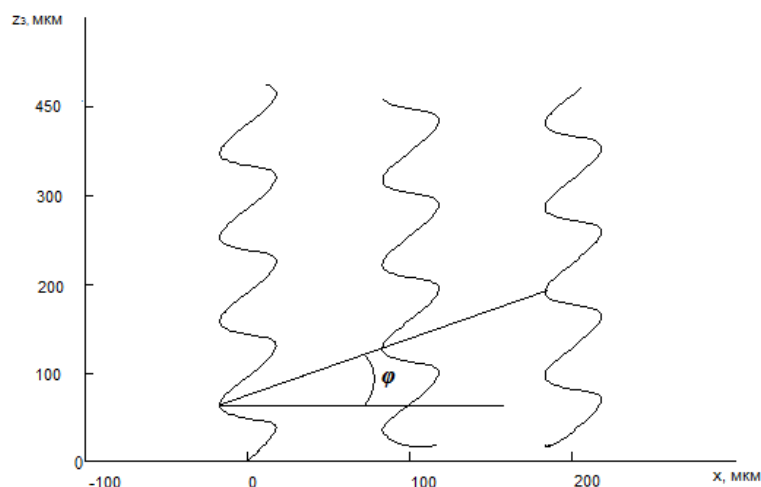


Рисунок 5 – Взаимное расположение следов обработки при $\varphi = 90^\circ$

Из рисунков 3-5 видно, что при варьировании значения φ происходит изменение величины сдвига следа между соседними следами инструмента, меняется расстояние между характерными точками соседних траекторий.

На основании работы можно сделать следующие выводы:

- угол β будет являться технологическим параметром, варьирование которым позволяет формировать синусоидальный след с различными амплитудными характеристиками
- взаимное расположение следов обработки имеет регулярный характер и определяется величиной фазового сдвига φ , зависящего от диаметра детали и технологических параметров обработки.

Литература:

1. Гилета В.П., Исхакова Г.А., Моделирование процесса формирования регулярного рельефа при ультразвуковом алмазном выглаживании // Сверхтвердые материалы. – 1987. - №5.- С. 53-58.
2. Семенов, С.В. Разработка технологии безабразивного ультразвукового полирования, основанного на адиабатическом сдвиге металла поверхностного слоя: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.01 / С.В. Семенов. – М., 1994. – 223 с.