

УДК 621.787.4

М. Е. Попов, д.т.н., проф., ДГТУ, г. Ростов-на-Дону

E-mail: pme-dgtu@mail.ru

Повышение долговечности деталей отделочно-упрочняющей обработкой поверхностей осциллирующим инструментом

В статье представлены результаты исследования процесса отделочно-упрочняющей обработки поверхностным пластическим деформированием инструментом тороидальной формы с наклонённой осью.

Ключевые слова: отделочно-упрочняющая обработка, осциллирующий инструмент, поверхностное пластическое деформирование.

М. Е. Попов

Durability parts finishing-hardening treatment surface oscillating tool

In clause results of research of process of finishing-strengthening processing by superficial plastic deformation oscillating the tool of the toroidal form with the inclined axis are presented.

Keywords: otdelochno-strengthening processing, oscillating the tool, superficial plastic deformation.

Одним из эффективных направлений совершенствования методов обработки является применение дополнительных колебательных и осциллирующих движений.

В настоящей работе для решения задач отделочно-упрочняющей обработки поверхностным пластическим деформированием исследуется процесс обработки инструментом с рабочей поверхностью тороидальной формы, расположенной наклонно по отношению к оси вращения инструмента (рис. 1). При этом, проекция эллипсного тора на плоскость, перпендикулярную оси вращения инструмента, образует окружность. Эллипсным тором считается тело, образованное движением центра круга по эллипсу, плоскость которого перпендикулярна плоскости круга.

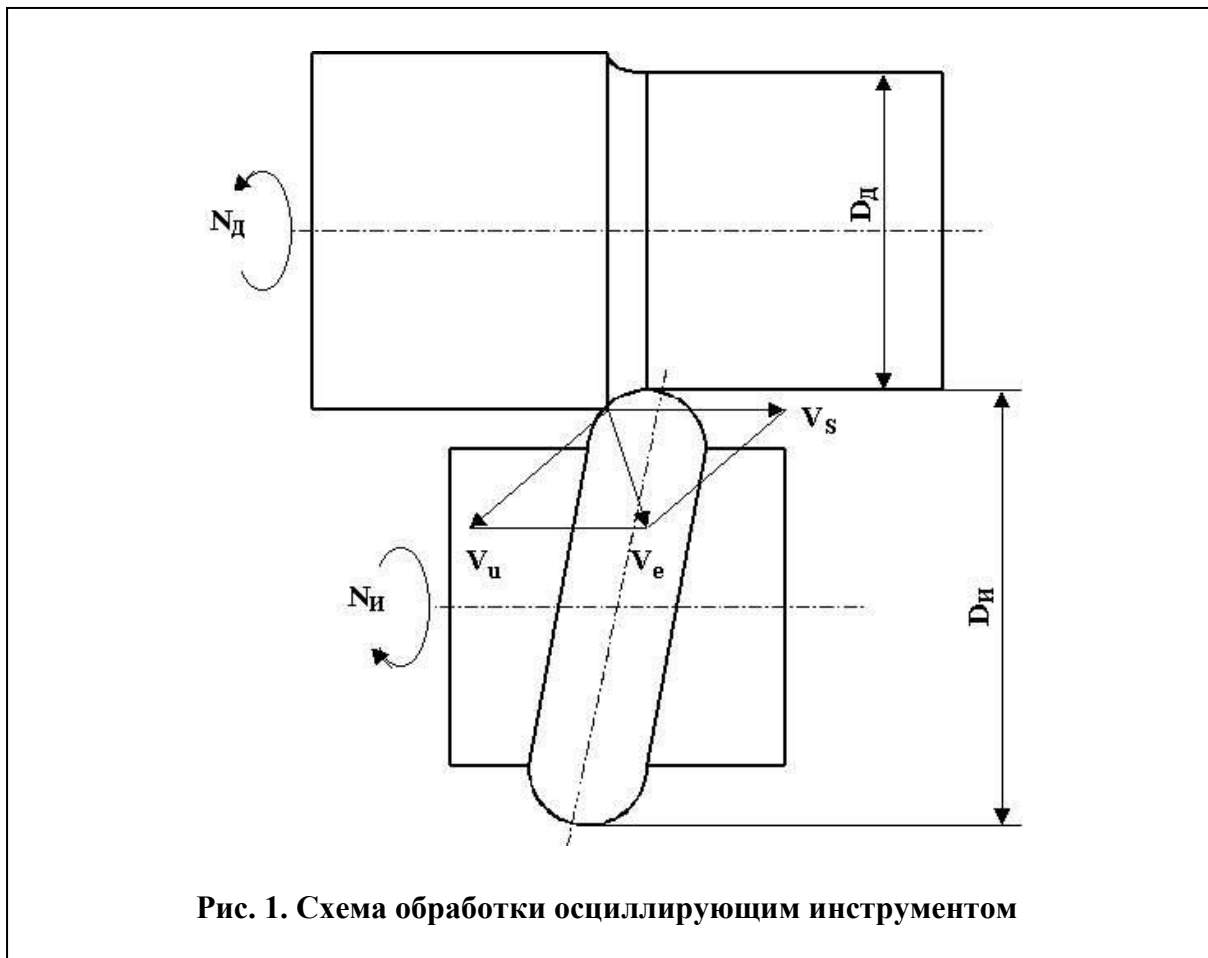


Рис. 1. Схема обработки осциллирующим инструментом

Инструмент в форме эллипсного тора с заданным радиусом скругления, наклонённого к оси вращения под углом α , вращается и контактирует с обрабатываемой деталью, перемещаясь вдоль ее оси. Деталь, закрепленная в патроне токарного станка, вращается с заданной скоростью. Причем деталь и инструмент могут вращаться как в одном, так и в разных направлениях.

Для расчета режима обработки определим кинематические параметры контакта инструмента с поверхностью обрабатываемой детали, а также геометрические параметры зоны контакта, величину и направление вектора скорости относительного скольжения контактирующих тел.

Рассмотрим траекторию и относительную скорость скольжения инструмента по поверхности детали. Расстояние от точки контакта эллипсного тора (инструмента) до выбранной точки отсчета вдоль оси детали в любой момент времени t

$$Y(t) = S_0 \cdot n_d \cdot t + A \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot n_u \cdot t + \varphi_0),$$

где S_0 – подача на оборот;
 n_d - частота вращения детали;

n_u - частота осцилляции точки контакта (равна частоте вращения инструмента);

$A = D_u / (2 \operatorname{tg} \alpha)$ – амплитуда осцилляции точки контакта эллипсатора при вращении инструмента,

D_u – диаметр инструмента.

φ_0 – начальный угол поворота инструмента относительно выбранной системы координат (начальной точки отсчёта), с которой начинается контакт инструмента с обрабатываемой деталью в начальный момент обработки.

За начальную точку отсчёта поворота инструмента принимается точка контакта инструмента, продольное перемещение которой зависит только от подачи S_o . Относительно этой точки все остальные точки контакта совершают гармонические колебания с амплитудой A и с частотой n_u .

Начальная точка отсчёта поворота инструмента соответствует точке контакта, расположенной на пересечении малой полуоси эллипса с поверхностью контакта инструмента. Если обработка начинается с этой точки, то начальный угол поворота $\varphi_0 = 0$.

Текущее продольное перемещение точки контакта инструмента складывается из двух составляющих: постоянной части, обусловленной движением подачи инструмента по станку S_o , и переменной части, обусловленной продольным движением точки контакта наклонной торовой части инструмента при его вращении. Вращение может осуществляться свободно, за счёт сил трения с обрабатываемой поверхностью, или принудительно, за счёт специального привода.

С применением пакета MathCAD исследованы характеристики процесса обработки инструментом со скользящим контактом для разных сочетаний значений подачи, амплитуды осцилляции, частоты вращения инструмента и детали; рассчитаны относительная скорость скольжения инструмента по обрабатываемой поверхности детали и траектория перемещения точки контакта.

Путём изменения соотношения частот вращения инструмента и детали, можно обеспечить следующие режимы:

- 1) обкатывание при $v_u = v_d$;
- 2) обкатывание с проскальзыванием инструмента по обрабатываемой поверхности детали при $v_u > v_d$;
- 3) обкатывание с проскальзыванием детали по инструменту при $v_u < v_d$.

На рис. 2 показаны полученные траектории перемещения инструмента по поверхности обрабатываемой детали для перечисленных режимов обработки. При этом подача S_o - это расстояние между начальной и конечной точкой средней линии каждой кривой, а амплитуда A – это максимальное отклонение точки контакта от средней линии кривой.

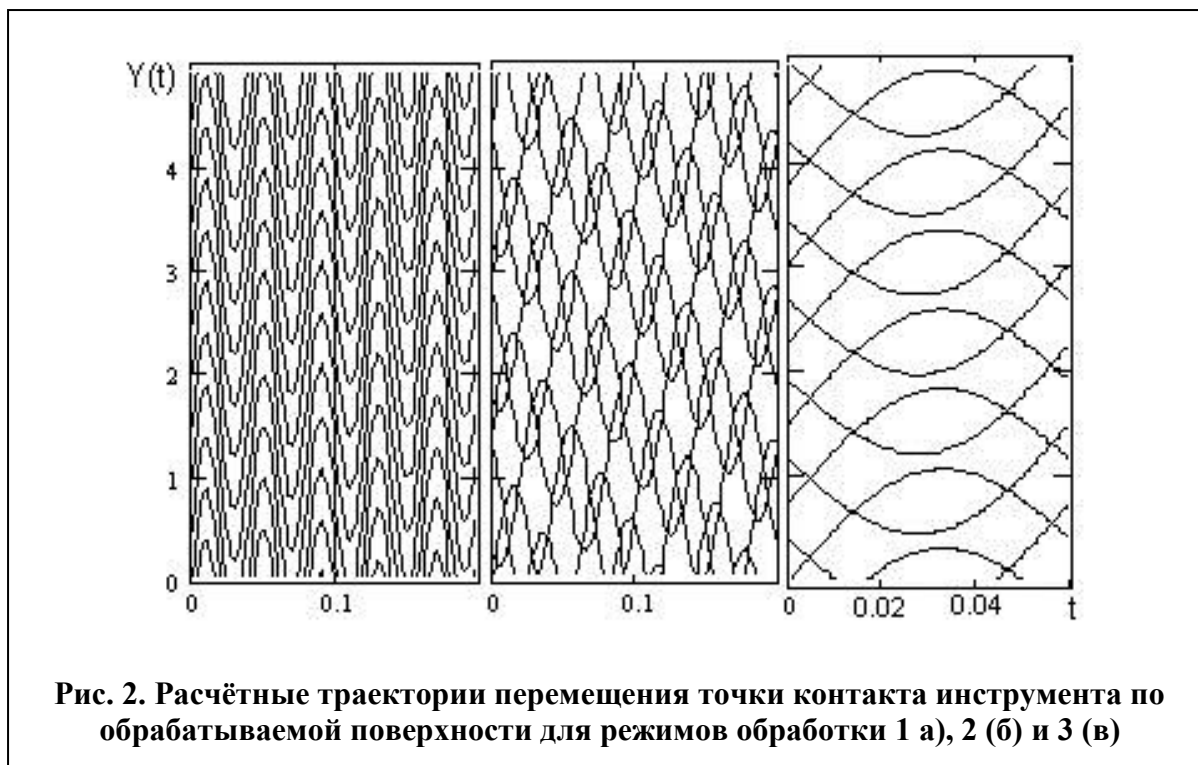


Рис. 2 отображает развёртку обработанной цилиндрической детали со следами точки контакта инструмента. По оси абсцисс отложено текущее время одного поворота детали t , по оси ординат Y – расстояние от текущей точки контакта инструмента вдоль оси детали до исходного положения инструмента (торца детали); при этом каждая кривая соответствует этому расстоянию при первом, втором, третьем и последующих оборотах детали.

По характеру физико-механического воздействия на обрабатываемую поверхность проскальзывание в зоне пластического контакта аналогично процессу алмазного выглаживания. Поэтому с увеличением угла α возможно снижение шероховатости обработанной поверхности, что и было подтверждено экспериментально.

Режим 2 и 3 обеспечивают разные термомеханические условия обработки. В первом случае процесс сопровождается интенсивным нагревом поверхностных слоев детали, а инструмент успевает охлаждаться, что в ряде случаев исключает необходимость проведения поверхностной закалки. Во втором, наоборот деталь не успевает нагреваться, но происходит более интенсивное сглаживание неровностей.

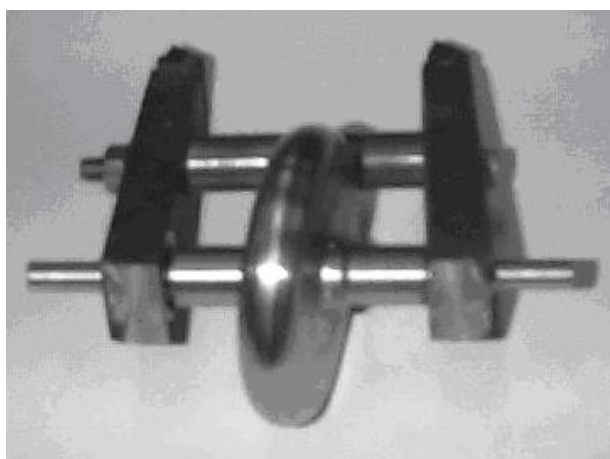
Зная относительную скорость скольжения инструмента по поверхности детали, можно рассчитать интенсивность тепловыделения и температуру в зоне пластического контакта.

Характер распространения теплоты в тело детали зависит от скорости движения инструмента по поверхности детали, его размеров и интенсивности тепловыделения. Температура в зоне контакта, а также время нагрева и охлаждения могут быть достаточными для того, чтобы в поверхностном слое произошли структурно-фазовые превращения.

Управляя процессом обработки можно регулировать термомеханические условия обработки в зоне фрикционного контакта инструмента и детали и, таким образом, достигать требуемых характеристик физико-механических свойств материала поверхностного слоя деталей.

Для проверки адекватности полученных математических моделей, проведены экспериментальные исследования процесса обработки инструментом со скользящим контактом. Исследования проводились на токарном станке модели 1К62. Экспериментальное приспособление с инструментом (рис. 3, а) устанавливалось в резцедержателе станка (рис. 3, б). Диаметр инструмента 100 мм, радиус сферы 10 мм, угол наклона рабочей части инструмента $\alpha = 80^\circ$. В качестве образцов использовались заготовки в форме цилиндра (пруток, труба) диаметром 20...80 мм. Материал образцов - сталь 45 и алюминиевый сплав АК6. Варьируемые параметры: частота вращения инструмента n_u ; частота вращения детали n_d ; подача суппорта S_0 ; исходная шероховатость обрабатываемой поверхности R_a .

После обработки производилось фотографирование (рис. 4) и измерение шероховатости полученной поверхности.

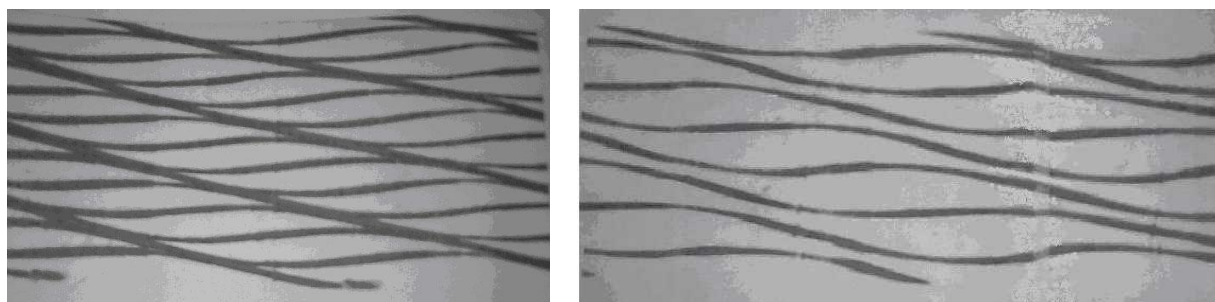


а)



б)

Рис. 3. Экспериментальный осциллирующий инструмент (а) и обработка детали на станке



а)

б)

Рис. 4. Фото траектории следов перемещения точки контакта инструмента по обрабатываемой поверхности

По результатам измерения среднего арифметического отклонения профиля поверхности R_a построены кривые распределения их значений до и после обработки. Результаты экспериментальных исследований показывают, что после обработки качество поверхностного слоя улучшается. Из кривых распределения и таблицы видно, что по сравнению с состоянием поверхности до обработки, поле рассеяния шероховатости после обработки уменьшилось в три раза, т. е. стабильность шероховатости поверхности улучшилось. В три раза уменьшилось также среднеарифметическое значение шероховатости.

Изменение режимов обработки осциллирующим инструментом со скользящим контактом позволяет в широких пределах изменять параметры траектории перемещения точки контакта и обеспечивать получение поверхности с различной микрогеометрией а также изменять температуру в зоне контактного взаимодействия и открывает возможность управлять свойствами материала поверхностного слоя.