

**А.А. Плотников**

Пермский государственный технический университет

**Г.В. Плотникова**

Пермский центр научно-технической информации

## **ДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ АЛМАЗНОМ МИКРОВЫГЛАЖИВАНИИ**

Дано представление о динамических процессах при алмазном микровыглаживании. Выполнен анализ собственных колебаний технологической системы. Рассмотрены резонансные явления и условия их возникновения при реализации процесса микровыглаживания.

**Ключевые слова:** алмазное микровыглаживание, колебания, технологическая система, поверхностное пластическое деформирование.

Основное требование обеспечения при алмазном микровыглаживании высоких классов чистоты (от девятого класса до двенадцатого) и упрочнения поверхностного слоя вызывает необходимость постановки задачи об обеспечении устойчивого положения микровыглаживающего инструмента относительно обрабатываемой поверхности. Для этого нужно провести анализ динамических процессов при микровыглаживании.

Установлено, что при алмазном микровыглаживании помимо основных движений элементов станка возникают другие нежелательные движения – колебания. Из-за колебаний технологической системы на обрабатываемых поверхностях могут появляться продольная и поперечная волнистости. Колебания уменьшают стойкость микровыглаживающего инструмента, могут привести к его поломке. При этом снижается точность деталей, увеличивается шероховатость обрабатываемых поверхностей, разупрочняются поверхностные слои и уменьшается их микротвердость. Колебания приводят к интенсивному износу станков и приспособлений. Шум при вибрациях утомляет исполнителя работ.

Практика применения алмазного микровыглаживания показывает, что колебания, возникающие при обработке, в основном имеют ту же природу, что и колебательные процессы при механической обработке на металлорежущих станках, и могут быть вынужденными, собственными (или свободными) и автоколебаниями [1].

Природа и характер вынужденных колебаний при алмазном микровыглаживании рассмотрены достаточно полно. Разработана методика расчета частоты вынужденных колебаний микровыглаживающего инструмента и выведена математическая формула частоты его колебаний. Другой вид колебаний, наблюдаемых при выполнении процесса, – собственные колебания. Это колебания системы, происходящие под действием восстанавливающих сил около состояния равновесия. Они возникают под воздействием каких-либо толчков и обычно достаточно быстро затухают. Частота собственных колебаний определяется массой и жесткостью колеблющейся системы.

При микровыглаживании силы сопротивления достаточны для быстрого затухания собственных колебаний. Силами сопротивления в процессе обработки могут быть трение и реакция сжатой пружины приспособления, в котором установлен алмазный микровыглаживатель.

Для описания динамических процессов при алмазном микровыглаживании применима существующая теория колебаний упругих систем с одной степенью свободы. При выборе уравнений колебаний необходимо исходить из принципа Д'Аламбера, который позволяет использовать уравнения статики к движущейся системе.

Уравнение собственных колебаний при наличии линейной восстанавливающей силы имеет вид

$$ay'' + by' + cy = 0.$$

Общее решение такого уравнения имеет вид

$$y = Ae^{-h \sin(kt + a)}.$$

Из предыдущего уравнения следует, что движение представляет собой затухающие колебания с постоянной частотой, но с постепенно убывающими отклонениями. Таким образом, процесс в целом характеризуется монотонным убыванием амплитуды (рис. 1).

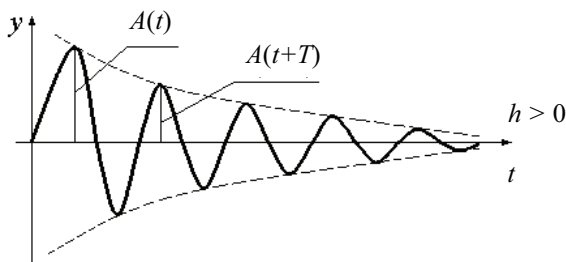


Рис. 1. Амплитуда затухающих собственных колебаний

Максимальные отклонения амплитуд убывают по закону геометрической прогрессии, так как отношение двух последовательных максимальных отклонений  $A(t) : A(t+T)$ , разделенных интервалом времени  $T$ , является постоянной величиной, равной  $e^{ht}$ . Натуральный логарифм в данном случае является логарифмическим декрементом и количественно характеризует темп затухания свободных колебаний.

Автоколебания – это незатухающие стационарные колебания, поддерживаемые за счет энергии, которая поступает к системе от некоторых источников неколебательного характера. Таким образом, процесс автоколебаний – это процесс, при котором переменная сила, вызывающая и поддерживающая колебательное движение, создается и управляется самим движением и при прекращении этого движения исчезает. Частота автоколебаний близка к собственной частоте колебаний элементов колебательной системы. При поверхностном пластическом деформировании, как и, например, при токарной обработке, встречаются низкочастотные колебания, связанные с колебаниями вала и его опор ( $f = 70\text{--}300$  Гц), и высокочастотные колебания, связанные с колебаниями инструмента (как правило,  $f > 1000$  Гц) [1]. Источником энергии автоколебательного движения является привод станка, который сам по себе не обладает колебательными свойствами. Автоколебания при микровыглаживании, как и при выглаживании, могут быть обусловлены также явлениями, присущими самому процессу поверхностного пластического деформирования [2].

При движении инструмента по обрабатываемой поверхности объем деформируемого металла перед ним увеличивается, что вызывает увеличение сил микровыглаживания и отжим детали и инструмента, затем цикл повторяется. Из-за неравномерности шероховатости и твердости обрабатываемой поверхности реальные величины внедрения микровыглаживателя, сил микровыглаживания и трения являются переменными. Данные обстоятельства также выступают условиями возникновения автоколебаний.

Основным условием возникновения автоколебаний в технологической системе является ее недостаточная жесткость. В связи с этим для уменьшения уровня колебаний необходимо обеспечивать максимально возможную жесткость всех элементов технологической системы. Но даже при их значительной жесткости возникновение автоколебаний не исключено.

Как отмечено выше, колебания в значительной степени затрудняют реализацию запроектированных рациональных параметров технологического процесса. Изучение причин их возникновения дает возможность принимать меры по устранению колебаний.

Одной из эффективных мер является применение при алмазном микровыглаживании микровыглаживателей с цилиндрической формой рабочей

части. Известно, что выглаживатели цилиндрической формы применяются только для обработки наружных поверхностей тел вращения, при этом они обеспечивают более высокое качество поверхности и менее склонны к вибрациям [2].

Как уже было указано, наиболее опасными для алмазного микровыглаживания в процессе обработки являются ситуации, когда возникает совпадение частоты вынужденных колебаний алмазного микровыглаживателя под воздействием вынуждающей силы  $f_{м.вын}$  и частоты собственных колебаний системы СПИД  $f_{м.соб}$ .

Как известно из механики, в случае совпадения частоты возмущающей силы и частоты собственных колебаний имеет место резонанс [3]. В этом случае возникает неустановившийся процесс изменения перемещения алмазного микровыглаживателя. При этом амплитуда колебаний инструмента становится больше перемещения, вызываемого возмущающим фактором. Во сколько раз амплитуда таких колебаний больше перемещения от возмущающего фактора, показывает коэффициент усиления колебаний, который определяется по формуле

$$\beta = \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \frac{f_{м.вын}^2}{f_{м.соб}^2}\right)^2 + \frac{1}{h^2} \cdot \frac{f_{м.вын}^2}{f_{м.соб}^2}}},$$

где  $h$  – коэффициент усиления колебаний при резонансе.

При  $\beta = h$  выполняется соотношение  $f_{м.вын} \neq f_{м.соб}$ . Коэффициент  $\beta$  зависит от двух величин: от отношения частот  $f_{м.вын} / f_{м.соб}$  и параметра  $h$ , т.е. от параметра затухания колебаний. На рис. 2 представлены кривые зависимости коэффициента усиления колебаний  $\beta$  при алмазном микровыглаживании от отношения частот для нескольких значений  $h$ .

При  $h = \infty$ , т.е. при отсутствии затухания колебаний, величина  $\beta$  в случае совпадения частот собственных и вынужденных колебаний  $f_{м.вын} / f_{м.соб} = 1$  обращается в бесконечность. Это означает, что амплитуда вынужденных колебаний алмазного микровыглаживателя неограниченно возрастает. При затухании колебаний величина  $\beta$  остается ограниченной, но в зоне совпадения частот имеет максимальное значение. Такое явление повышения амплитуды при совпадении частот собственных колебаний инструмента и возмущающего фактора и есть проявление резонанса при алмазном микровыглаживании. Само совпадение частот есть условие резонанса.

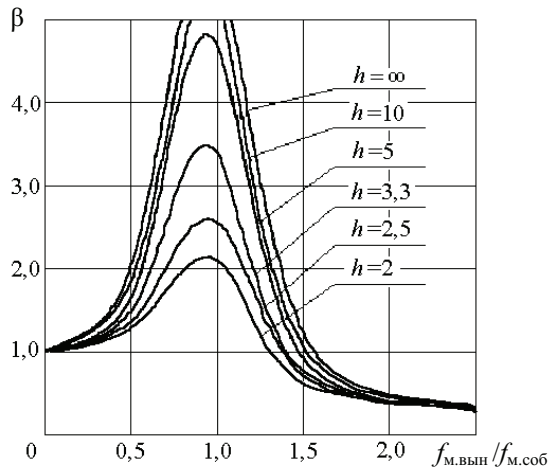


Рис. 2. Усиление колебаний при резонансе

Явление нарастания амплитуды колебаний наблюдается не только при совпадении, но и при кратности собственной частоты  $f_{M,соб}$  и частоты вынуждающего фактора  $f_{M,вын}$ :

$$f_{M,соб} = n f_{M,вын} \quad (n = 1, 2, 3, \dots).$$

Выполненный анализ динамических процессов при алмазном микровыглаживании может быть использован в исследованиях колебательных процессов и аналитическом решении задачи об автоколебаниях при скольжении алмазного микровыглаживателя по обрабатываемой поверхности и разработки на ее основе инженерной методики расчета режимов микровыглаживания, обеспечивающих неповреждающее воздействие инструмента на обрабатываемую деталь.

Результаты анализа рекомендуются к использованию при решении следующих задач.

1. Прогнозирование динамических процессов в алмазном микровыглаживании, в частности производство точных расчетов частоты колебаний в зависимости от технологических параметров.
2. Определение и назначение режимов алмазного микровыглаживания с соблюдением условия неповреждаемости обрабатываемой поверхности.
3. Нормирование и табулирование режимов алмазного микровыглаживания миниатюрных, маложестких и тонкостенных деталей с целью повышения качества обработки и увеличения ресурса выпускаемых изделий.

## **Список литературы**

1. Технология машиностроения. Часть 1: учеб. пособие / Э.Л. Жуков, И.И. Кобзарь, Б.Я. Розовский, В.В. Дегтярёв, А. М. Соловейчик; под ред. С.Л. Мурашкина. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1999. – 189 с.
2. Торбило В.М. Алмазное выглаживание. – М.: Машиностроение, 1972. – 105 с.
3. Справочник машиностроителя: в 6 т. / под ред. С.В. Серенсена. – изд. 3-е, перераб. и доп. – Т. 3. – М., Машгиз, 1963. – 651 с.

Получено 17.01.2011