

УДК 621.9

Автоколебательные перемещения индентора в направлении скорости при поверхностном пластическом деформировании

Телков И.А.

В работе приведено упрощенное описание механизма возникновения автоколебательных перемещений индентора в направлении скорости при поверхностном пластическом деформировании методами поверхностного пластического деформирования.

Ключевые слова: автоколебания, волна, устойчивость

Введение

В настоящее время в промышленности используется большое количество изделий из цветных металлов и сплавов с высокими требованиями к шероховатости обработанной поверхности, изготавливаемых из пластичных алюминиевых сплавов. Для обеспечения работоспособности таких деталей требуется обеспечить шероховатость поверхности $Ra=0,05 \div 0,08$ мкм высокой однородности без царапин, рисок и жировых пленок. Такую поверхность целесообразно обрабатывать методами поверхностного пластического деформирования (ППД). Процесс ППД, в особенности при обработке цветных металлов, протекает в условиях локального волнообразования и автоколебательных перемещений индентора [1, 2], на которые значительное влияние оказывает волна в направлении скорости.

Цель работы – изучение автоколебательных перемещений индентора в направлении скорости при поверхностном пластическом деформировании.

Результаты исследования

С целью определения величины ресурса для повышения производительности необходимо точно рассчитывать предельную скорость устойчивости индентора. Сначала рассмотрим два типа такого волнообразования.

1. Стационарная волна в системе координат инструмента. Наблюдается при невысо-

ких скоростях обработки. Перед индентором движется волна (валик) деформируемого материала достаточно постоянных размеров. Этот случай характеризуется устойчивостью индентора и идеален для отделочной обработки с целью получения низкой шероховатости и высокой однородности поверхности, но характеризуется низкой производительностью из-за малых скоростей обработки.

2. Циклическая волна в системе координат инструмента в условиях непрерывного контакта. Наблюдается при повышении скорости обработки выше скорости устойчивости. В этом случае жесткости системы инструмент-деталь не хватает для сдвига волны деформированного металла перед индентором, который перекачивается через волну, т.е. волна теряет устойчивость. Этот процесс характеризуется увеличением перемещения индентора относительно обрабатываемой поверхности и высоты микронеровностей.

Для упрощения решения задачи допустим, что технологические факторы процесса ППД задают сглаживающе-упрочняющий режим обработки, площадь поверхности контакта инструмента и заготовки при статическом внедрении инструмента и при малых скоростях обработки постоянна при аналогичных условиях нагружения, инструмент является абсолютно твердым телом. Учесть при расчетах все применяемые при обработке методами ППД схемы контакта индентора и заготовки сложно. Но их можно привести

контакту сферического индентора с плоской поверхностью, что и рассматривается ниже.

Рассмотрим последовательно несколько стадий образования следа при движении индентора по обрабатываемой поверхности. Сначала находим величину нормальных давлений, действующих на индентор при статическом вдавливании. Со стороны пружины на индентор действует сила:

$$P_{ст} = c y_{уп}, \quad (1)$$

где $P_{ст}$ - статическая составляющая силы деформирования, определяющаяся жесткостью пружины, Н;

c - коэффициент упругости пружины обкатного устройства, Н/м;

$y_{уп}$ - величина натяга пружины, м.

Со стороны металла на поверхность индентора площадью S_1 действуют давления, которые для упрощения считаем нормальными q_z , и принимаем их численно равными пределу упругости. Равнодействующая от q_z уравнивается силой $P_{ст}$ (рис. 1):

$$Q_c = q_z S_1 = P_{ст}, \quad (2)$$

где S_1 - определяется экспериментально для ряда дискретных значений $P_{ст}$, используемых в расчетах.

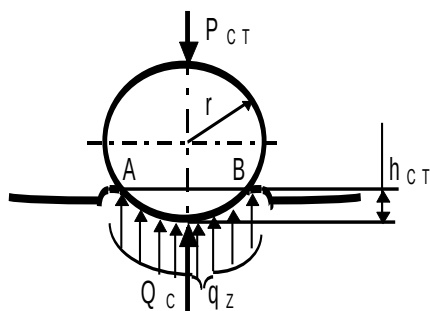


Рис. 1. Статическое нагружение

Для упрощения условий задачи ограничиваем поверхность контакта окружностью АВ и считаем величину упругой деформации $y_{уп}$ постоянной. При невысоких скоростях перемещения индентора АВ наклоняется под некоторым углом ψ к линии скорости (рис. 2а). При этом перед индентором в направлении скорости возникает волна высотой h_B . Исходя

из выше указанных допущений и учитывая, что при повышении скорости увеличивается высота волны и уменьшается глубина внедрения h [3, 4], считаем постоянной площадь контактной зоны, ограниченную линией АВ (рис. 2б, 2в).

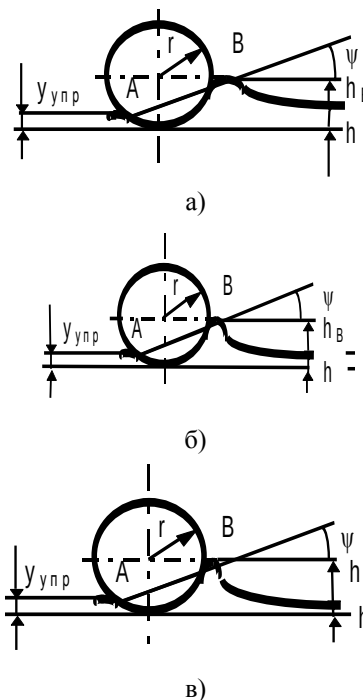


Рис. 2. Контактная зона при повышении скорости

Результирующая сила от давлений, нормальных к линии контакта АВ будет равна Q_c , а ее проекция на линию действия усилия деформирования (рис. 3):

$$Q_n = Q_c \cos \psi = q_z S_1 \cos \psi. \quad (3)$$

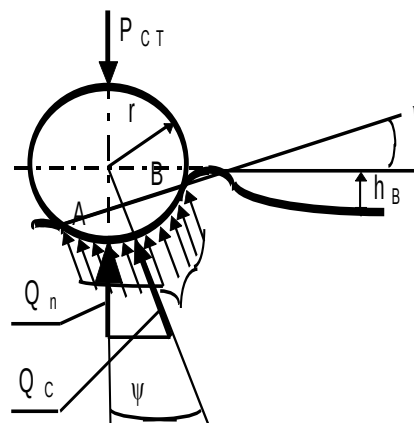


Рис. 3. Давления, нормальные к линии контакта

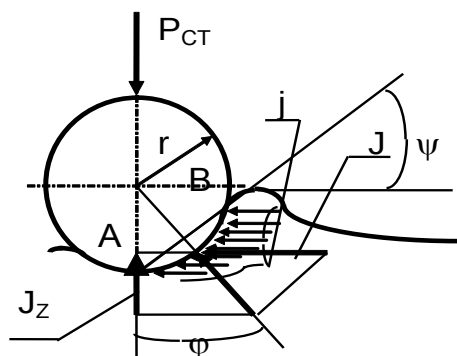


Рис. 4. Давления в направлении скорости

Кроме нормальных давлений на поверхность индентора площадью S_2 , ограниченную линией OB, действуют давления j в направлении скорости заготовки (рис. 4). В связи с тем, что в направлении скорости происходит преимущественно пластическое течение, давления j приравниваем к пределу текучести материала. Результирующая от них сила равна:

$$J = jS_2 \quad (4)$$

Величина $j \cdot S_2$ будет постоянной для исследуемой контактной пары при малых скоростях перемещения индентора.

Проекция J на линию действия усилия деформирования:

$$J_z = jS_2(1 - f_k)\cos\psi\sin\psi, \quad (5)$$

где f_k - коэффициент трения в пятне контакта;

φ - угол наклона линии контакта OB к направлению скорости.

Уравнение равновесия запишется:

$$P_y = q_z S_1 \cos\psi + jS_2(1 - f_k)\cos\psi\sin\psi, \quad (6)$$

где P_y - нормальная сила, действующая на заготовку, Н.

При повышении скорости будут соответственно изменяться величины давлений в направлении скорости $j = jK_j$. K_j - скоростной коэффициент [5]. Уравнение (6) перепишется:

$$P_{y\text{ск}} = q_z S_1 \cos\psi + K_j jS_2(1 - f_k)\cos\psi\sin\psi, \quad (7)$$

т.е., при повышении скорости усилие P_y изменится на величину:

$$P_{\text{упр}} = P_{y\text{ск}} - P_y = jS_2(1 - f_k)\cos\psi\sin\psi(K_j - 1), \quad (8)$$

где $P_{\text{упр}} = c\Delta y$ - дополнительная сила упругости пружины, Н;

y - величина сближения заготовки и инструмента, м.

Следовательно, разность сближения составит:

$$\Delta y = P_{\text{упр}}/c = (jS_2(1 - f_k)\cos\psi\sin\psi(K_j - 1))/c, \quad (9)$$

Величина Δy принимает критическое значение $\Delta y_{\text{кр}}$ при потере устойчивости вершины волны. Как отмечено в [3], это явление имеет место при Δy меньшей или равной глубине статического внедрения. Поскольку рассчитать величину Δy не составляет труда, то определить критическую скорость достаточно просто. Однако вызывает затруднения нахождение величины $\Delta y_{\text{кр}}$.

Критическая величина скорости $V_{\text{кр}}$, соответствующая началу перехода ко второму типу волны, может быть определена по скоростным коэффициентам. Преобразуя уравнение равновесия (7) в уравнение неравенства можно найти скоростной коэффициент K_j :

$$K_j < (P_{y\text{ск}} - q_z S_1 \cos\psi)/(jS_2(1 - f_k)\cos\psi\sin\psi), \quad (10)$$

Выводы

По результатам исследования можно сделать вывод о том, что знание параметров нагружения и свойства материала, можно определить предельную скорость устойчивости индентора.

Литература

1. Телков И.А. Совершенствование конструкции инструмента для обработки вязких пластичных металлов методами поверхностного пластического деформирования // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. 2010, № 7. - С. 147-149.
2. Телков И.А. Систематическая составляющая профиля шероховатости после поверхностно-пластического деформирования // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. 2011, № 1. - С. 73-76.

3. Чепа П.А., Андрияшин В.А. Эксплуатационные свойства упрочненных деталей. - Мн.: Наука и техника, 1988. - 192с.

4. Смелянский В.М. Механика упрочнения поверхностного слоя деталей машин в технологических процессах поверхностного пла-

стического деформирования. - М.: Объединение "МАШМИР", 1992. - 60с.

5. Марковец М.П. Определение механических свойств металла по твердости. - М.: Машиностроение, 1979. - 191с.

Статья поступила в редакцию 22 марта 2012 г.

The article gives a simplified description of the mechanism of self-oscillating displacement of the indenter in the direction of the velocity at the surface plastic deformation.

Keywords: self-oscillation, wave, stability.

Телков Иван Анатольевич – кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Технология машиностроения» Муромского института (филиала) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»