СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сулима А.И., Шувалов В.А., Ягодкин Ю.Д. Поверхностный слой и эксплуатационные свойства деталей машин.. – М.: Машиностроение, 1988. – 240 с.

2. Zorev N.N., Del G.D., Kufarew G.L. und Goldschmidt M.G. Spannungszustand in der Schnittzone. Annales of the C.I.R.P. Vol XIV, 1967. p.p. 337 – 346.

3. Куфарев Г.Л., Окенов К.Б., Говорухин В.А. Стружкообразование и качество обработанной поверхности при несвободном резании. -Фрунзе: Мектеп, 1970. – 169 с.

4. Гольдшмидт М.Г. Деформации и напряжения при резании металлов. – Томск: Изд-во STT, 2001. – 180 с.

5. Седов Л.И. Механика сплошной среды. -М.: Наука, 1973. – 430 с.

Томский политехнический университет

УДК 620.171

М.Г. ГОЛЬДШМИДТ

ОЦЕНКА ИНЕРЦИОННОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ДЕФОРМИРУЮЩЕГО УСИЛИЯ ПРИ ИСПЫТАНИИ МАТЕРИАЛОВ РЕЗАНИЕМ

Проведена оценка инерционной составляющей деформирующего усилия при высокоскоростных испытаниях материалов растяжением, сжатием, резанием. Показано, что при испытании резанием до скорости деформации $10^7 c^{-1}$ инерционная составляющая работы деформации не превышает 1%.

Для получения кривых «напряжение – деформация» при высокоскоростных испытаниях материалов кроме традиционных сжатия и растяжения находят применение так называемые нетрадиционные методы, среди которых как перспективный отмечается испытание резанием [1, 2].

Поскольку при испытаниях фиксируется суммарное деформирующее усилие, по которому рассчитывается интенсивность напряжений σ_i, представляет интерес оценить вклад инерционной составляющей при различных методах испытаний.

В работе [3] проводилась оценка величины динамического сопротивления при сжатии образцов. Основываясь на тех же предпосылках, получим соотношения, более универсальные, пригодные для анализа процессов растяжения, сжатия и резания[1].

Пусть цилиндрический образец высотой H и радиусом R осаживается (растягивается) без образования бочки (шейки) со скоростью движения захватов машины V=V(t). Пусть F - сила, регистрируемая динамометром. Тогда $\sigma_i = \dfrac{F}{S}$, где S=S(t) - площадь поперечного сечения образца. Деформирующее усилие F расходуется на работу формоизменения $A_Ф$ и изменение кинетической энергии частиц E

$$A=A_Ф+E.$$

Но с другой стороны

$$\frac{dA}{dt} = FV,$$

[1] Исследование выполнено совместно со Шлякманом Б.М.

тогда

$$F=\frac{1}{V}\cdot\frac{dA}{dt}=\frac{1}{V}\cdot\left(\frac{dA_{\phi}}{dt}+\frac{dE}{dt}\right).$$

Таким образом, инерционная составляющая деформирующего усилия F равна $\frac{1}{V}\cdot\frac{dE}{dt}$, а соответствующая "добавка" к интенсивности напряжений выразится как

$$\Delta\sigma_{ин}=\frac{1}{VS}\cdot\frac{dE}{dt}.$$

Определим величину $\frac{dE}{dt}$. В цилиндрических координатах, исходя из условия несжимаемости, можно записать составляющие скорости частиц образца

$$V_Z=\pm\frac{V\cdot z}{h};\quad V_r=\mp\frac{V\cdot r}{2h};\quad V_{\varphi}=0,$$

где высота образца $h=h(t)=H\pm\int\limits_0^t Vdt$ (здесь верхние знаки берутся при растяжении, нижние - при сжатии).

Тогда $E=\int\limits_w\frac{\rho V^2}{2}\cdot dw$, где ρ - плотность, V- скорость частиц, w - элемент объема.

Так как

$$V^2=V_z^2+V_r,$$

то

$$E=\frac{\rho}{2}\int\limits_w\frac{V^2}{h^2}\left(z^2+\frac{r^2}{4}\right)dw=\frac{\rho V^2}{2h^2}\int\limits_0^{2\pi}d\varphi\int\limits_0^{h}dz\int\limits_0^{r}r\left(z^2+\frac{r^2}{4}\right)\cdot dz=\pi\cdot\rho\cdot V^2\cdot R^2\cdot H\cdot\left(\frac{1}{6}+\frac{R^2\cdot H}{16h^3}\right).$$

Далее при сжатии

$$\frac{dE}{dt}=\pi\cdot\rho\cdot V\cdot R^2\cdot H\cdot\left[V_t'\cdot\left(\frac{1}{3}+\frac{R^2\cdot H}{8h^3}\right)+V^2\cdot\frac{3}{16}\cdot\frac{R^2\cdot H}{h^4}\right]$$

и

$$\Delta\sigma_{ин}=\rho\left[V_t'\cdot\left(\frac{h}{3}+\frac{R^2\cdot H}{8h^3}\right)+\frac{3}{16}\cdot V^2\cdot\frac{R^2\cdot H}{h^3}\right].\qquad(1)$$

Аналогично при растяжении

$$\Delta\sigma_{ин}=\rho\left[V_t'\cdot\left(\frac{h}{3}+\frac{R^2\cdot H}{8h^2}\right)-\frac{3}{16}\cdot V^2\cdot\frac{R^2\cdot H}{h^3}\right].\qquad(2)$$

Инерционные добавки $\Delta\sigma_{ин}$ при растяжении и сжатии отличаются знаком перед вторым слагаемым в квадратных скобках.

Обычно испытания проводят при постоянной скорости деформирования (V=const), либо при постоянной скорости интенсивности деформаций ($\dot{\varepsilon}_i$=const).

В первом случае при сжатии

$$\Delta\sigma_{ин} = \frac{3}{16}\cdot\rho V^2\cdot\frac{R^2\cdot H}{h^3}$$

и при растяжении

$$\Delta\sigma_{ин} = -\frac{3}{16}\cdot\rho V^2\cdot\frac{R^2\cdot H}{h^3}.$$

То есть при сжатии инерционная добавка увеличивает напряжение, а при растяжении - уменьшает.

Во втором случае, когда $\dot{\varepsilon}_i$=const, V=$\dot{\varepsilon}_i$ h. Тогда при сжатии $V'_t = \dot{\varepsilon}_i h' = -\dot{\varepsilon}_i V = -\dot{\varepsilon}_i^2 h$ и

$$\Delta\sigma_{ин} = -\dot{\varepsilon}_i^2\rho\left[\frac{h^2}{3} - \frac{1}{16}\cdot\frac{R^2\cdot H}{h}\right],$$

а при растяжении $V'_t = \dot{\varepsilon}_i^2 h$ и

$$\Delta\sigma_{ин} = \dot{\varepsilon}_i^2\rho\left[\frac{h^2}{3} - \frac{1}{16}\cdot\frac{R^2\cdot H}{h}\right].$$

Здесь $\Delta\sigma_{ин}$ также имеет противоположные знаки.

Таким образом, инерционные силы по-разному влияют на сопротивление деформированию при скоростном сжатии и растяжении. Правда, заметным влияние инерционных сил становится при сравнительно больших скоростях. Так при размерах образца H=15мм и R=5мм инерционную составляющую следует учитывать при $\dot{\varepsilon}_i > 10^3 c^{-1}$.

Можно подобрать такой закон деформирования, когда $\Delta\sigma_{ин}$=0.

В этом случае $\frac{dE}{dt} = 0$ или для сжатия $E = \pi\cdot\rho\cdot V^2\cdot R^2\cdot H\cdot\left(\frac{1}{6} + \frac{R^2\cdot H}{16h^3}\right) = \text{const}$.

Отсюда имеем дифференциальное уравнение для определения закона деформирования

$$h'_t\cdot\left(\frac{1}{3} + \frac{R^2\cdot H}{8h^3}\right)^{1/2} = c.$$

Тогда

$$\int\left(\frac{1}{3} + \frac{R^2\cdot H}{8h^3}\right)^{1/2} dh = ct.$$

Интеграл в левой части уравнения в элементарных функциях не выражается, но закон деформирования h=h(t), когда $\Delta\sigma_{ин}$=0 существует и является решением указанного уравнения. Схематически в координатах V-t его можно изобразить кривой $\Delta\sigma_{ин}$=0 на рис. 1, а. Аналогично - для растяжения (1, б).

Все сказанное выше относится к установившейся фазе деформирования.

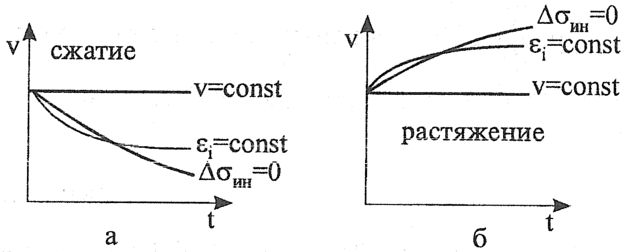

Рис.1. Схема влияния инерционных сил на сопротивление деформированию при скоростном сжатии (а) и растяжении (б)

Естественно, в реальном процессе в начальный момент времени скорость возрастает от 0 до некоторой величины.

Поскольку получить соотношения аналогичные (1) и (2) для резания затруднительно (выражения для скоростей V_x и V_y получаются громоздкими), оценим вклад инерционных сил в работу пластической деформации

$$A = \int_t \int_w \left(\sigma_i \dot{\varepsilon}_i + \frac{1}{2} \rho \frac{dV^2}{dt} \right) dt \cdot dw . \tag{3}$$

Первое слагаемое под интегралом соответствует работе формоизменения, второе – работе инерционных сил.

Сравним эти слагаемые путем их численного расчета для случая прямоугольного свободного резания латуни Л62 резцом с нулевым передним углом, толщиной среза 0,39 мм и скоростью 216 м/мин.

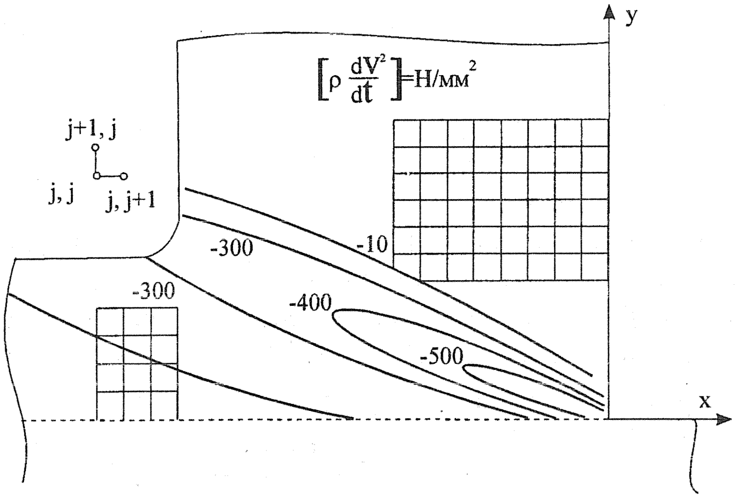

Рис. 2. Инерционная составляющая работы сил резания латуни Л62 (γ=0°; а=0,39мм, V=216м/мин)

Полагая, что вся работа пластической деформации при резании переходит в тепло, мощность источников q в пластической области составит $q=\sigma_i \cdot \dot{\varepsilon}_i$. Значения $\dot{\varepsilon}_i$ определены по полям V_x и V_y, получаемым с помощью модели сливного стружкообразования, распределение σ_i -с помощью рассчитанного по модели поля $\dot{\varepsilon}_i$ и динамических кривых «напряжение – деформация» для латуни Л62, построенных для соответствующих температурно – скоростных условий [4]. Вблизи условной линии сдвига рассчитанное значение q составляет $5 \cdot 10^6 \ldots 10^7$Н/мм$^2 \cdot$с.

Инерционная составляющая работы деформации определена путем замены производной $\frac{dV^2}{dt}$ конечной разностью и подсчета величины $\frac{1}{2}\rho\frac{dV^2}{dt}$ в узлах разностной сетки, фрагменты которой приведены на рис. 2. Здесь же показаны рассчитанные значения величины $\frac{1}{2}\rho\frac{dV^2}{dt}$. Приведенные данные свидетельствуют о том, что при указанных выше условиях резания вклад инерционной составляющей в работу пластической деформации не превышает 1%.

Выводы

1. При испытаниях материалов растяжением или сжатием инерционную составляющую деформирующего усилия необходимо учитывать при скорости деформации $\dot{\varepsilon}_i \geq 10^3 c^{-1}$.

2. При испытании материалов резанием влияние инерционных сил на сопротивление деформированию пренебрежимо мало до $\dot{\varepsilon}_i = 10^7 c^{-1}$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лира Ф. Томсен Е. Процесс резания как метод испытания свойств материалов. /Труды Американского общества инженеров механиков, с. В, 1967, № 3. С. 129-135.

2. Гольдшмидт М.Г., Шлякман Б.М. Метод получения диаграмм пластического деформирования при высоких скоростях с использованием процесса резания. // Заводская лаборатория. 1976. № 11. С. 1396-1398.

3. Суяров Д.И., Лель Р.В., Акс В.Ю., Козеева Н.И. Оценка величины динамического сопротивления при пластическом сжатии образцов с высокой скоростью. //Труды института металлургии Уральского филиала АН СССР. – Свердловск: 1966. Вып. 12. С. 107-115.

4. Гольдшмидт М.Г. Деформации и напряжения при резании металлов. – Томск: Изд-во STT, 2001. – 180с.

Томский политехнический университет

УДК 621.9.01

М.Г. ГОЛЬДШМИДТ, Ю.П. СТЕФАНОВ, П.В. МАКАРОВ

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛИВНОГО СТРУЖКООБРАЗОВАНИЯ

Приведены некоторые результаты численного моделирования процесса ортогонального резания металлов; рассмотрена «установившаяся» стадия процесса. Решением системы уравнений механики сплошной среды конечно-разностным методом получены «аналитические делительные сетки», компоненты деформаций и напряжений в зоне резания, в частности распределение напряжений вдоль условной линии сдвига, на передней поверхности инструмента, напряжения в слоях металла примыкающих к обработанной поверхности.

Введение

Большое количество публикаций, посвященных анализу процесса обработки металлов резанием методами математического моделирования, говорит о неиссякающем интересе специалистов к данной проблеме. Продолжается разработка моделей процесса резания, ориентированных на изучение напряженно-дефоримированного состояния в зоне стружкообразования, влияния скорости деформации и температуры, закономерностей формирования поверхностного слоя. О широком интересе к данной проблеме свидетельствуют опубликованные в последнее время работы Вейца В.Л. и Максарова В.В. по моделированию процесса стружкообразования при лезвийной обработке [1], Behrens Arno и Westhoff Bert по применению метода конечных элементов для исследования процесса высокоскоростного резания [2], а также ряд других работ [3–8], посвященных численному моделированию.

Постановка задачи и метод решения

Изучение процесса деформирования методами численного моделирования позволяет получить напряженно-деформированное состояние в расчетной области. Это осуществля-