

ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ ПЛАСТИЧНОСТИ МЕТАЛЛОВ ПРИ ПОВЕРХНОСТНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ

Выполнены исследования пластичности металла поверхностного слоя при вибрационно упрочняющей обработке. Показано, что для обеспечения качества поверхностного слоя необходимо, чтобы значения использованного ресурса пластичности не превышали характерных для данного материала значений.

Plasticity research of the metal surface layer under vibration strengthening treatment has been conducted. It is shown that in order to provide surface layer quality, the values of utilized plasticity resource must not exceed the values, that are characteristic of the given material.

Из анализа накопленных к данному времени теоретических и экспериментальных результатов следует, что долговечность деталей машин определяется не только рациональной их конструкцией и качеством материала, но и в значительной степени зависит от особенностей технологических процессов, определяющих собой технологическое наследие поверхностного слоя. Эффективным методом формирования поверхностного слоя деталей является поверхностная пластическая деформация (ППД), в результате которой улучшается микроструктура и физико-механические свойства поверхностного слоя [1,2]. Наиболее эффективными и перспективными, с точки зрения дальнейшего развития и использования, являются методы ППД, в которых используются методы динамического упрочнения [1]. Однако, при пластической деформации одновременно с процессами упрочнения идут процессы пластического разрыхления, которые сопровождаются накоплением повреждений, что, в свою очередь, приводит к ухудшению механических характеристик поверхностного слоя.

Поэтому остается нерешенной проблема определения наибольшего значения степени деформации поверхностного слоя, при котором достигается максимальный эффект упрочнения при приемлемом уровне поврежденности. Для количественной оценки степени поврежденности материала поверхностного слоя нами использована величина использованного ресурса пластичности [3].

В данной работе исследована зависимость величины использованного ресурса пластичности материала поверхностного слоя осесимметричных деталей из стали 10 от основных параметров процесса вибрационной упрочняющей обработки. В рассматриваемом процессе подлежащая обработке деталь свободно устанавливается в замкнутый цилиндрический контейнер, внутренняя поверхность которого повторяет профиль обрабатываемой детали [1]. Пространство между контейнером и деталью на 0,38 его объема заполнено обрабатывающими стальными шариками, твердость которых выше твердости обрабатываемой детали. Возникающая в процессе вращения центробежная сила, прижимает деталь к контейнеру через слой шариков. Контакт детали с очередной группой шариков происходит с ударом, причем соударяющимися массами являются обрабатываемая деталь и контейнер [1]. Наличие

соударений обрабатываемой детали с контейнером через незначительное число шариков приводит к локальной пластической деформации в области контакта шарика и детали.

При отношении радиусов кривизны поверхности шарика и обрабатываемой детали меньше 0,08 форма поверхности контакта практически совпадает с формой поверхности шарового сегмента [4]. Кривизна шарового сегмента принята равной кривизне поверхности шарика. Поэтому

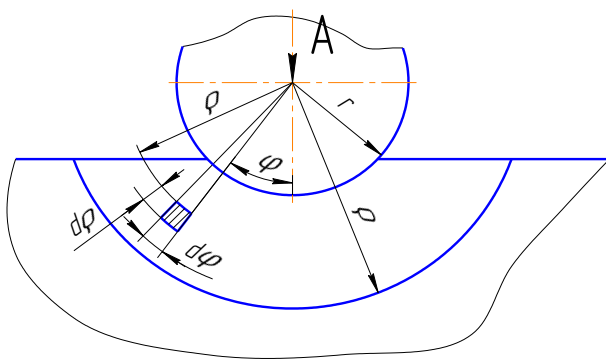


Рис.1 – Расчетная схема

для определения напряженно-деформированного состояния в области контакта шарика и детали использовали решение краевой задачи, полученное в работе [5]. Расчетная схема задачи показана на рис. 1.

Радиус поверхности пластической зоны отпечатка находили по формуле

$$\rho_r = r[1,2 + 2,4\sqrt{D^{-1} + 0,5} + 0,25], \quad (1)$$

где $D=2r$ - диаметр шарика, h - глубина отпечатка.

Дифференциальное уравнение равновесия элемента, выделенного в зоне пластической деформации в принятой сферической системе координат имеет вид

$$\frac{\partial \sigma_p}{\partial \rho} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau_{\rho\varphi}}{\partial \varphi} + \frac{2}{\rho} (\sigma_p - \sigma_\varphi) \frac{1}{\rho} \tau_{\rho\varphi} \operatorname{ctg} \varphi = 0, \quad \frac{\partial \tau_{\rho\varphi}}{\partial \rho} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \sigma_\varphi}{\partial \varphi} + \frac{3}{\rho} \tau_{\rho\varphi} = 0. \quad (2)$$

При получении системы уравнений (2) принято допущение, что $\sigma_\varphi = \sigma_\theta$. При выполнении этого равенства условие пластичности Мизеса можно записать в виде

$$\sigma_\varphi - \sigma_p = \sigma_u \sqrt{1 - 3 \left(\frac{\tau_{\rho\varphi}}{\sigma_u} \right)^2}. \quad (3)$$

Решение системы уравнений (2), (3) для оси симметрии ($\varphi = 0$) имеет вид

$$\sigma_\varphi = \frac{2}{3} \sigma_T + 3,14 (I_{1\rho_r} - I_1) + 2\mu \ln \frac{\rho_r}{r} - 2u \left(\frac{\rho_r}{r} - \frac{\rho}{r} \right) - \left(\mu - u \frac{\rho}{r} \right) \quad (4)$$

$$\sigma_p = \frac{2}{3} \sigma_T + 3,14 (I_{1\rho_r} - I_1) + 2\mu \ln \frac{\rho_r}{r} - 2u \left(\frac{\rho_r}{r} - \frac{\rho}{r} \right), \quad (5)$$

$$\text{где } I_{1\rho_r} - I_1 = -2,5\mu \frac{(\rho_r - \rho)^2}{\rho_r \rho} + (1,5 + 2,5u) \ln \frac{\rho_r}{r} - 1,5u \left(\frac{\rho_r}{r} - \frac{\rho}{r} \right),$$

$$\mu = (\sigma_u)_{np} \frac{c \left(\frac{\rho}{r} - \exp(e'_u) \right)}{\exp(e'_u) \left(\frac{\rho}{r} - 1 \right)}, \quad u = c \frac{\exp(e'_u) - 1}{\exp(e'_u) \left(\frac{\rho}{r} - 1 \right)}, \quad e_u = \ln \frac{\exp(e'_u) \left(\frac{\rho}{r} - 1 \right)}{\frac{\rho}{r} (\exp(e'_u) - 1) + \frac{\rho}{r} - \exp(e'_u)} - \text{степень}$$

деформации, e'_u - среднее значение e_u на внутренней поверхности зоны деформации (при

$\frac{\rho}{r} = 1$), h - глубина отпечатка.

Для стали 10 постоянные c , u , $(\sigma_u)_{np}$ принимали равными $c =$, $(\sigma_u)_{np} =$.

Так как при принятой технологии процесс пластической деформации поверхностного слоя идет с разгрузками, то его рассматривали как немонотонный. Поэтому для оценки величины использованного ресурса пластичности ψ использовали подход Г.Д. Деся [6, 7].

$$\psi_k = \psi_{0(k-1)}^2 \exp \left(\int_{e_u^{(k-1)}}^{e_u^{(k)}} \frac{\eta de_u}{\eta |e_p(\eta, \mu_\sigma)} \right) + \sqrt{\psi_{ij}^{(k)} \psi_{ij}^{(k)}}, \quad (6)$$

где k - номер этапа пластической деформации, $\psi_{0(k-1)}$ - использованный ресурс пластичности на предыдущем этапе, $e_u^{(k-1)}$, $e_u^{(k)}$ - степень деформации на предыдущем и на дан-

ном этапе, $\psi_{ij}^{(k)} = \int_{e_u^{(k-1)}}^{e_u^{(k)}} (1 - a + 2a \frac{e_u(\eta, \mu_\sigma)}{e_p(\eta, \mu_\sigma)}) S_{ij}^{0(k)} \frac{de_u}{e_p(\eta, \mu_\sigma)}$ - компоненты девиатора повреж-

дений на k -ом этапе, $e_u(\eta, \mu_\sigma)$ - траектория нагружения, $S_{ij}^{0(k)}$ - компоненты направляющего тензора повреждений на k -ом этапе, $e_p(\eta, \mu_\sigma) = 0,68 \exp(0,43 \mu_\sigma - 0,91 \eta)$ - поверхность

предельных деформаций для стали 10.

Константу a для стали 10 принимали равной 0,1. Использованный ресурс пластичности на первом этапе принимали равным $\psi_0 = 0$.

Исследования проводили на вибротомашине при частоте колебаний 24 Гц, амплитуде колебаний контейнера 5 мм и частоте вращения барабана $1,1 \text{ с}^{-1}$. Для обработки использовали шарики диаметром $d=5$ мм. Диаметр цилиндрической заготовки $D=65$ мм. Через каждые 20 мин. образец вынимали из машины и измеряли твердость обработанной поверхности. По тарировочному графику $\sigma_u - HV - e_u$ определяли степень деформации e_u^{m6} , которое считали средним по поверхности лунки, то есть, принимали, что $e_u^{m6} = e'_u$. Значения компонент тензора напряжений в конце каждого этапа рассчитывали по формулам (4) и (5). По полученным значениям напряжений рассчитывали показатели напряженного состояния η и μ_σ . Параметр Надаи-Лоде μ_σ на оси симметрии при принятых допущениях оказался постоянным и равным $\mu_\sigma=1$, а показатель напряженного состояния η рассчитывали по формуле:

$$\eta = 2\sigma_\varphi + \sigma_p / \sigma_u \quad (7)$$

Траектории нагружения $e_u(\eta, \mu_\sigma)$ определяли для точек, которые лежат на вертикальной оси симметрии и по формуле (6) рассчитывали величину использованного ресурса пластичности в конце каждого этапа. Из полученных результатов следует, что наибольшее значение величины использованного ресурса пластичности достигается на глубине 0,10...0,15 мм от поверхности заготовки. Кроме того установлено, что если использованный ресурс пластичности в этих слоях достигает значений $\psi = 0,45..0,55$, то дальнейшее увеличение пластической деформации поверхностного слоя приводит вначале к стабилизации, а потом к уменьшению твердости. Значения $\psi = 0,45..0,55$ были достигнуты при времени обработки 60...70 минут.

Выводы

В результате выполненных исследований установлено, что для получения качественного поверхностного слоя детали после вибрационной упрочняющей обработки величина использованного ресурса пластичности не должна превышать значений $\psi \leq (0,45..0,55)$. Установлено, что при данном способе ППД использованный ресурс пластичности достигает максимальных значений на глубине (0,10...0,15) мм от поверхности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Афтаназив И.С., Берник П.С., Сивак Р.И., Клименко А.Д. Вибрационно-центробежная обработка деталей машин. – Винница: ВГАУ. - 2002. – 235 с.
2. Смелянский В.М. Механика упрочнения деталей поверхностным пластическим деформированием. – М.: Машиностроение, 2002. – 300 с.
3. Огородников В.А. Деформируемость и разрушение металлов при пластическом формоизменении. – К.: УМК ВО, 1989. – 152 с.
4. Бабей Ю.И., Буталов Б.И., Сысоев В.Г. Поверхностное упрочнение металлов. – К.: Наукова думка, 1995. – 256 с.
5. Смирнов – Аляев Г.А. Сопротивление материалов пластическому деформированию. – Ленинград: Машиностроение, 1978. – 368 с.
6. Дель Г.Д. Пластичность деформированного металла//Физика и техника высоких давлений. – 1982. - №11. – С.28-32.
8. Алиев И.С., Сивак Р.И. Оценка пластичности при поверхностной пластической деформации// Механика твердого деформированного тела и обработка металлов давлением. – Тула: ТулГУ. – 2004. – С.150-156.