**I. ТЕОРІЯ ПРОЦЕСІВ ТА МАШИН**

Беловод А. И.

Дудников И. А.

Дудников А. А.

*Полтавская
государственная
аграрная академия*

УДК 621.9 – 621.98

**ХАРАКТЕР
ДЕФОРМИРОВАНИЯ
МАТЕРИАЛА ПРИ
ВИБРАЦИОННОМ
НАГРУЖЕНИИ***Розглянуті питання впливу вібраційного навантаження на характер деформування матеріалу деталей.**The questions of influence of the oscillation loading are considered on characters of deformation of material of details of.*

Улучшение качества продукции при её восстановлении, повышение интенсивности технологических процессов – основная задача, стоящая перед ремонтно-обслуживающим производством. Успешное её решение зависит от разработки и внедрения новых прогрессивных технологий, обеспечивающих повышение производительности труда, снижение трудоемкости и повышение надёжности восстанавливаемых машин и сборочных единиц, что достигается, прежде всего, точностью геометрических размеров и формы восстанавливаемых или изготавливаемых деталей.

Для обеспечения стабильности размеров деталей в машиностроении, как правило, используются различные технологические процессы – естественное старение, низкотемпературный отжиг и др.

Повышение стабильности размеров деталей достигается снижением внутренних остаточных напряжений и микропластической деформацией в материале обрабатываемых деталей.

В последние годы в различных отраслях народного хозяйства широкое распространение получили вибрационные методы обработки материала деталей, отличающиеся высокой эффективностью.

Вибрационная обработка способствует интенсификации различных технологических процессов, повышает уровень механизации и автоматизации многих трудоемких работ, во многих случаях может заменить

дорогостоящую термическую обработку, сократить в несколько раз технологический цикл производства, снизить расход электроэнергии более чем в 500 раз [1].

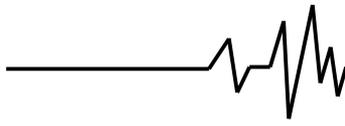
Технологические возможности этого метода на упрочняющих технологических операциях ставят его в число перспективных способов обработки и упрочнения деталей при их изготовлении и восстановлении.

Под действием механических колебаний (вибраций) возникает динамическое воздействие на обрабатываемую деталь в виде множества микроударов, что способствует повышению пластической деформации материала. Пластическая деформация с точки зрения дислокационной теории является результатом перемещения линейных и точечных дефектов кристаллической решётки обрабатываемого материала, что вызывает изменение его формы и свойств.

Придание новых свойств обрабатываемому материалу деталей машин пластической деформацией способствует повышению их надёжности и долговечности [2].

Пластичность, прежде всего, определяется не свойством материала, а его состоянием. Даже практически непластичный металл при соответствующей схеме деформирования можно привести в пластическое состояние, обусловленное действием пластических, линейных или объёмных деформаций, вызывающих остаточные напряжения.

Внутренние напряжения в ряде случаев,



создаваемые преднамеренно, способствуют улучшению качественных характеристик (поверхностный наклёп).

Величина остаточных напряжений, возникающих в обрабатываемом материале при нормальной температуре, зависит от степени и глубины деформирования.

Одной из причин возникновения остаточных напряжений при наклёпе является неравномерная пластическая деформация по сечению обрабатываемой детали. Поверхностные пластически деформированные слои стремятся сохранить остаточное увеличение размеров, а недеформированные внутренние слои препятствуют этому.

В поверхностных слоях деталей цилиндрической формы (поршневые пальцы, втулки верхних головок шатунов и др.) возникают сжимающие осевые и окружные остаточные напряжения и радиальные растягивающие напряжения, меньшие, чем осевые остаточные напряжения.

При вибрационном деформировании в результате нагружения пульсирующей нагрузкой происходит дробление зерен обрабатываемого материала и обеспечивается их ориентированность по отношению направления приложенного усилия. При этом происходит увеличение числа зёрен, плоскости скольжения которых расположены под углом 45° к направлению усилия. В этих плоскостях создаются условия для пластической деформации скольжения, так как касательные напряжения достигают максимального значения [3].

При обычной обработке поверхности детали происходит эстафетная передача скольжения от одного кристалла к другому. Линии скольжения появляются в зонах благоприятно ориентированных по отношению к приложенному напряжению. Сначала деформируются зерна, плоскости скольжения которых расположены под углом 45° по отношению к направлению действующей силы. Эти зерна вызывают деформирование других зерен с менее благоприятно ориентированной решёткой.

Особенности в развитии линий скольжения при вибрационном деформировании состоят не только в снижении сил контактного трения, но и в изменении поведения дислокаций в результате циклического воздействия. Особенностью деформации материала при вибрационной обработке является проявление инерционных свойств и снижение сопротивления от сил трения на контактной поверхности

обрабатывающего инструмента с обрабатываемой деталью.

При вибрационной обработке за короткие промежутки времени создается множество нагрузочных циклов, что обеспечивает процесс упрочнения, связанный с активизацией дислокаций, происходящей практически во всех зернах, прилегающих к поверхности. При этом процесс скольжения совершается почти одновременно во всех кристаллитах.

Эффективность вибрационной обработки определяется степенью пластической деформации металла, которая зависит от усилия обработки при вибрационном нагружении, определяемой значением возмущающей силы, создаваемой применяемым вибратором. На степень пластического деформирования оказывают существенное влияние размеры и форма обрабатывающего инструмента, а также геометрическая форма детали (размеры, материал).

Уменьшение остаточных напряжений в процессе вибрационной обработки достигается за счёт действия вибрационных и остаточных напряжений, при определенном сочетании которых обрабатываемый материал повышает пластичность.

Вибрационное деформирование повышает остаточные деформации. Необходимым условием для появления остаточных деформаций является достижение предела текучести при вибрации в сочетании остаточных напряжений с напряжениями, вызванными приложением переменных нагрузок [4].

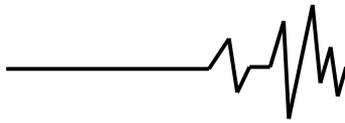
При деформировании деталей типа втулка (поршневые пальцы) напряженное состояние элементарного объема будет характеризоваться наличием трех видов напряжений: радиального σ_z ,

тангенциального σ_t и осевого σ_l .

Радиальные напряжения возникают в результате нормального давления обрабатывающего инструмента на материал обрабатываемой детали.

Тангенциальные растягивающие напряжения появляются вследствие того, что слои металла вокруг обрабатывающего инструмента ввиду увеличения диаметра при раздате, растягиваются.

Осевые сжимающие напряжения возникают в результате наличия сил трения между поверхностью инструмента и внутренней поверхностью детали, а также ввиду противодействия материала,



находящегося впереди обрабатываемого инструмента (пуансона).

Как показывают проведенные тензометрические исследования напряженного состояния пустотелых цилиндрических деталей осевые и радиальные напряжения значительно меньше, чем величина тангенциальных напряжений.

Характеризирующие напряженное состояние обрабатываемого материала указанных деталей величины деформаций и напряжений, главным образом зависят от припуска на обработку и характер приложения нагрузки, если принять постоянными механические показатели прочности материала детали и глубину закаленного слоя.

При деформировании возникает неравномерное напряженное состояние. Материал сердцевины поршневого пальца имеет относительно невысокий предел текучести. Поэтому в процессе деформирования с припусками на обработку до 0,10мм она начнет пластически деформироваться и при увеличении припуска до 0,16мм пластическая деформация распространяется на всё сечение.

После снятия нагрузки, вследствие неравномерной деформации различных зон поршневого пальца, последние, деформируясь упруго, являются источниками появления внутренних напряжений противоположных знаков. Эти внутренние напряжения взаимно уравновешиваются по толщине стенки поршневого пальца. Наружная его поверхность в процессе раздачи деформируется упруго и после снятия нагрузки не может возвратиться к исходным размерам. Этому препятствует остаточная деформация внутренней поверхности, деформированной пластически. Поэтому наружная поверхность после снятия нагрузки будет испытывать действие растягивающих тангенциальных внутренних напряжений. Средние слои поршневого пальца будут находиться под действием сжимающих внутренних напряжений.

В зоне пластической деформации поршневого пальца в процессе деформирования напряжения σ_I , равны пределу текучести σ_T и не зависят от припуска на обработку, т.е.:

$$\sigma_I = \sigma_T. \quad (1)$$

В зоне упругой деформации в процессе деформирования напряжения могут быть определены, исходя из закона Гука:

$$\sigma_{II} = E \xi_{z.p.}, \quad (2)$$

где E – модуль упругости материала зоны упругой деформации поршневого пальца; $\xi_{z.p.}$ – относительная деформация по диаметру границы раздела пластической и упругой зон в поршневом пальце при раздаче:

$$\xi_{z.p.} = \frac{\Pi}{2kr_{z.p.}} - \frac{1}{k} \cdot \frac{r \cdot p}{r_{z.p.} \cdot E} (1 - \mu), \quad (3)$$

где Π – припуск на обработку; k – коэффициент, зависящий от припуска при деформировании; $r_{z.p.}$ – радиус границы раздела пластической и упругой зон; μ – коэффициент Пуассона; p – удельное давление пуансона на внутреннюю поверхность поршневого пальца.

При совместном решении уравнений (2) и (3), получаем:

$$\sigma_{II} = \frac{E \cdot \Pi}{2kr_{z.p.}} - \frac{1}{k} \cdot \frac{r}{r_{z.p.}} \cdot p (1 - \mu) \quad (4)$$

Полученные уравнения позволяют определять величину указанных напряжений в зоне упругих деформаций поршневого пальца в процессе деформирования.

При раздаче поршневого пальца наружная его поверхность будет разгружаться упруго и остаточные напряжения в ней могут быть определены по величине остаточной деформации граничной зоны $\xi_{z.p.}^{\circ}$:

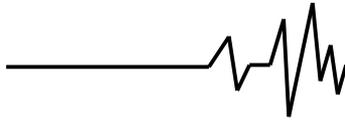
$$\sigma_{II}^{\circ} = E \xi_{z.p.}^{\circ}, \quad (5)$$

Внутренняя поверхность поршневого пальца после окончания деформирования будет также разгружаться упруго. Остаточные напряжения σ_I° в этой зоне могут быть определены:

$$\sigma_I^{\circ} = \sigma_T - E(\xi_{z.p.} - \xi_{z.p.}^{\circ}), \quad (6)$$

где $\xi_{z.p.}^{\circ}$ – относительная остаточная деформация по диаметру границы раздела пластической и упругой зон в поршневом пальце после его раздачи.

После соответствующих преобразований



получаем:

$$\sigma_I^{\circ} = \frac{\delta_{II}}{2kr_{z,p}(\delta_I + \delta_{II})} \times \quad (7)$$

$$\times \left[2\sigma_T kr_{z,p} - EP + (1 - \mu) \frac{2kr_{z,p} \delta_I \sigma_T + EP \delta_{II}}{2kr_{z,p} + \delta_{II}(1 - \mu)} \right]$$

$$\sigma_{II}^{\circ} = \frac{\delta_I}{2kr_{z,p}(\delta_I + \delta_{II})} \times \quad (8)$$

$$\times \left[EP - (1 - \mu) \frac{2kr_{z,p} \delta_I \sigma_T + EP \delta_{II}}{2kr_{z,p} + \delta_{II}(1 - \mu)} - 2\sigma_T kr_{z,p} \delta_I \right]$$

где δ_I и δ_{II} - соответственно толщина зоны пластических и упругих деформаций поршневого пальца при деформировании.

По полученным зависимостям можно определить характер изменения, а также численные значения указанных параметров процесса деформирования при изменении

припуска на обработку, глубины закаленного слоя, предела текучести материала внутренней поверхности поршневого пальца.

Литература

1. Дрига А.И. Вибростабилизирующая обработка при серийном изготовлении деталей в угольном и сельскохозяйственном машиностроении // Вопросы вибрационной технологии: Межвуз. сб. науч. статей. – Ростов-на-Дону: ДГТУ, 1999. – С.166-169.
2. Громов Н.П. Теория обработки металлов давлением. – М.: 1978. – 391с.
3. Дудников А.А. Влияние вида обработки на напряженное состояние рабочего слоя упрочняемой детали // Дудников А.А., Беловод А.И. / Сборник научных трудов Беларускаго ГАТУ. Минск – 2009. – С. 280 – 283.
4. Дрига А.И. Вибростабилизирующая обработка сварных и литых деталей в машиностроении. – Краматорск: ДГМА, 2004. – 168с.