

УДК 621.787.4

А.А.Дудников, А.И.Беловод, В.В.Дудник, А.В.Канивец
Полтавская государственная аграрная академия

ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ

Рассмотрены основные закономерности формирования поверхностного слоя деталей при вибрационном и обычном деформировании.

Ключевые слова: долговечность, пластическое деформирование, технологический процесс, упрочнение, ресурс.

Постановка проблемы. Качество поверхностного слоя деталей оказывает значительное влияние на их долговечность. Существенного повышения качества поверхностного слоя деталей можно достичь применением упрочняющих методов обработки, к числу которых можно отнести поверхностное пластическое деформирование (ППД).

ППД применяется для обработки деталей различной твердости и различных размеров и позволяет повысить сопротивление усталости, износостойкость деталей и увеличить тем самым ресурс работы машины.

Однако научные основы пластического деформирования базируются в большей степени на использовании упрощенных физических моделей; отсутствует достаточное понимание сущности явлений, происходящих в металле при вибрационном упрочнении и оптимизации его режимов, обеспечивающих заданные эксплуатационные свойства деталей.

В общем случае вопросы влияния вида технологического процесса упрочнения на качество поверхностного слоя деталей являются актуальными.

Анализ основных исследований. Упрочнение поверхностного слоя деталей пластическим деформированием является эффективным способом повышения их долговечности [1].

Анализ существующих методов поверхностного упрочнения и области их использования [2, 3] свидетельствует об эффективности их использования в промышленности.

Основные изменения в металле при деформации оцениваются степенью искажения кристаллической решетки, плотностью дислокации, величиной разориентировки блоков, напряженностью кристаллической структуры и др. Эти исследования дают понимание физических явлений, происходящих в поверхностном слое, и способствуют принятию правильных решений по выбору метода упрочнения деталей.

Однако при разработке конкретной технологии приходится назначать усилие обработки, скорость движения обрабатывающего инструмента, выбирать технологические параметры обработки. Использование микроуровня в этом случае не представляется возможным. Это объясняется неразработанностью метода определения физических параметров состояния поверхностного слоя в зависимости от технологических факторов, с одной стороны, и сложностью их контроля в производственных условиях, с другой.

Одним из упрочняющих факторов является дробление зерен в деформируемом поверхностном слое, границы которых характеризуются значительными нарушениями правильной кристаллической структуры и являются препятствием для распространения пластической деформации. При фрагментации зерен значительно сокращаются пути легкого перемещения дислокаций под действием внешних сил и повышается степень работы междоатомных связей против действия внешних сил [4].

Основная цель ППД состоит не в формоизменении, а в повышении качества поверхностного слоя. Пластическая деформация захватывает не весь объем детали, а только ее поверхностный слой. Для этого применяют последовательное локальное деформирование поверхности, при котором объем очага деформации изменяет размеры от десятых долей миллиметра до нескольких миллиметров.

В технологии обработки металлов эти вопросы не получили должной разработки, в частности, при применении вибрационных нагрузок.

Цель исследования. Целью исследования является изучение изменения в поверхностном слое обрабатываемой поверхности при обычном и вибрационном деформировании, обеспечивающего повышение долговечности восстанавливаемых деталей машин.

Результаты исследований. Задача повышения ресурса машин состоит в повышении сопротивления детали разрушению при различных видах эксплуатационного нагружения, что может быть достигнуто технологическими методами поверхностного упрочнения. Большинство деталей машин работает в условиях, при которых эксплуатационная нагрузка воспринимается главным образом их поверхностным слоем. Поэтому износостойкость зависит от сопротивления поверхностного слоя разрушению. Повышение статической прочности деталей за счет их изготовления из высокопрочных материалов не всегда эффективно, поскольку при переменных нагрузках они чувствительны к концентрации напряжений и различного рода дефектам поверхности, вызывающих снижение сопротивления усталости.

Для деталей, разрушение которых начинается с поверхности, разработан ряд методов поверхностного упрочнения, основанных главным образом на нанесении покрытий или изменении состояния поверхности.

В первом случае упрочнение детали достигается осаждением на ее поверхность материала, который имеет повышенную износостойкость.

При изменении состояния поверхностного слоя происходят физико-химические изменения в металле, повышающие его сопротивление разрушению.

Выбор того или иного метода поверхностного упрочнения зависит, с одной стороны, от вида эксплуатационных нагрузок, а с другой, определяется экономическими соображениями.

ППД – это обработка давлением, при которой пластически деформируется только поверхностный слой обрабатываемой детали.

К методам статического поверхностного деформирования относятся методы накатывания, выглаживания и протягивания, отличающиеся стабильностью формы и размеров обрабатываемой детали в стационарной фазе процесса.

Наряду с этими методами в машиностроении существуют методы ППД, основанные на динамическом (ударном) воздействии обрабатывающего инструмента на поверхность детали перпендикулярно профилю поверхности или под некоторым углом к ней. Многочисленные удары, наносимые инструментом по поверхности детали, оставляют на ней большое число локальных пластических отпечатков. Размеры очага деформации зависят от материала детали, размеров и формы инструмента и от энергии удара по поверхности.

К методам ударного ППД следует отнести вибрационную и ультразвуковую обработку, чеканку и др. Можно выделить следующее назначение пластического деформирования:

- деформационное упрочнение поверхностного слоя;
- уменьшение шероховатости поверхности;
- создание в поверхностном слое сжимающих остаточных напряжений;
- образование определенной макро- и микрогеометрической формы.

Формирование механических свойств поверхностного слоя является важной проблемой для упрочняющей обработки. В результате упрочнения поверхностного слоя повышаются прочность деталей в 1,3-2,2, долговечность в 3-6 раз, износостойкость, контактная выносливость и другие эксплуатационные характеристики детали.

Поверхностный слой детали отличается от основного ее металла структурой, химическим и фазовым составом. В научной и инженерной практике состояние поверхностного слоя оценивается следующими параметрами, которые характеризуют:

- геометрические параметры неровностей поверхности;
- физическое состояние;
- химический состав;
- механическое состояние.

В процессе пластической деформации, которая сопровождает механическую обработку, все характеристики механического состояния поверхностного слоя изменяются: показатели сопротивления деформированию увеличиваются, а показатели пластичности уменьшаются, т.е. происходит деформационное упрочнение или наклеп.

Деформационное упрочнение поверхностного слоя в большинстве случаев определяют измерением твердости или микротвердости, характеризующими сопротивление металла пластическим деформациям. Степень упрочнения δ определяется по формуле:

$$\delta = (H_2 - H_1) / H_1, \quad (1)$$

где H_1 и H_2 – соответственно твердость (микротвердость) металла до и после обработки.

Степень деформационного упрочнения зависит не только от метода и режимов обработки, но и от способности материала к упрочнению.

Важной характеристикой состояния поверхностного слоя являются остаточные напряжения. Источником возникновения остаточных напряжений являются микронапряжения, возникающие в кристаллической структуре в результате пластического течения металла. Остаточные напряжения бывают растягивающими и сжимающими. Остаточные напряжения – это тензор и поэтому могут быть спроектированы на любые оси заданной системы координат. Остаточные напряжения определяются экспериментальными методами, среди которых наибольшее применение нашли методы послойного травления и рентгеноструктурного анализа. Влияние состояния поверхностного слоя на надежность работы деталей весьма велико. Научные дискуссии о формировании параметров состояния поверхностного слоя имеют большое практическое значение, поскольку управляя этими параметрами, можно значительно повысить долговечность детали. Поверхностное пластическое деформирование способствует значительному повышению характеристик прочности деталей машин.

В таблице 1 приведены результаты проведенных исследований усталости гладких образцов при $\sigma_{\max} = 1000$ МПа.

Таблица 1.

Метод обработки	Долговечность образцов в зависимости от метода обработки		
	Число циклов до разрушения		
	Сталь 65Г	Сталь Л-53	Сталь 30ХГСА
Обычное упрочнение	17500	14100	16200
Вибрационное упрочнение	36900	26800	28900
Обкатка роликами	21700	16800	18100

Как видно из табл. 1, при вибрационной обработке повышение долговечности для стали 65Г в 2,1 раза больше, чем при обычном деформировании.

Проводимые исследования показали, что на ресурс деталей оказывает влияние шероховатость их поверхности, поскольку впадины неровностей являются концентраторами напряжений. Коэффициент концентрации может быть определен следующим выражением:

$$K_{\sigma} = \frac{\sigma_{-1}}{\sigma_{-1K}} = \sqrt{1 + q(\alpha_{\sigma} - 1)}, \quad (2)$$

где σ_{-1} и σ_{-1K} – предел выносливости гладкого образца и образца с концентратором напряжения соответственно; q – коэффициент чувствительности материала к концентрации напряжений; α_{σ} – коэффициент концентрации напряжений, определяемый по формуле [4]:

$$\alpha_{\sigma} = 1 + \frac{200}{t_p s_m} (2\gamma R_{\max} R_v)^{0,5}, \quad (3)$$

где t_p – относительная опорная длина профиля на уровне средней линии; s_m – средний шаг неровностей; R_{\max} – наибольшая высота микропрофиля; R_v – расстояние от линии впадин до средней линии.

При вибрационном упрочнении формируются поверхности с весьма малой шероховатостью, что благоприятно влияет на сопротивление усталости и увеличении износостойкости пар трения (табл. 2).

Таблица 2.

Результаты испытаний на изнашивание образцов				
Материал	Вид обработки	Длительность изнашивания, мин.	Величина износа, мкм	Интенсивность изнашивания, (мкм/м) 10^6
Сталь 65Г	Обычное деформирование	50	6	65
	Вибрационное деформирование	50	3	22
Сталь 45	Обычное деформирование	50	8	80
	Вибрационное деформирование	50	3,5	35

Как свидетельствуют исследования, интенсивность изнашивания образцов при вибрационном деформировании в 2,29-2,95 раза меньше, чем при обычной обработке.

Выводы. 1. Пластическое деформирование поверхности деталей способствует формированию их поверхностного слоя, что благоприятно сказывается на повышении их долговечности в процессе эксплуатации.

2. Интенсивность изнашивания деталей после вибрационного упрочнения в 2,29-2,95 раза выше, чем при обычном деформировании.

1. Бабичев А.П. Основы вибрационной технологии / А.П. Бабичев, И.А. Бабичев. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2008. – 694 с.
2. Полевой С.Н. Упрочнение металлов / С.Н. Полевой, В.Д. Евдокимов. – М.: Машиностроение, 1986. – 320 с.
3. Губкин С.И. Пластическая деформация металлов / С.И. Губкин. – М.: Машиностроение, 1981. – 376 с.
4. Якобсон М.О. Шероховатость, наклеп и остаточные напряжения при механической обработке / М.О. Якобсон. – М.: Машиностроение, 1986. – 226 с.
5. Суслов А.Г. Технологическое обеспечение параметров состояния поверхностного слоя деталей / А.Г. Суслов. – М.: Машиностроение, 1987. – 208 с.