

А. А. Дудников,
А. И. Беловод,
А. В. Канивец,
В. В. Дудник

УПРОЧНЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Рассматриваются методы упрочнения поверхностного слоя деталей при различных видах обработки и получены зависимости величины упрочнения и деформации от параметров обработки.

Ключевые слова: упрочнение, остаточное напряжение, вибрации, деформация.

1. Введение

Повышение запаса надежности технологического процесса восстановления (изготовления) деталей и сборочных единиц можно обеспечить за счет упрочнения их материала, придающему поверхностному слою повышенную износостойкость.

Для современных машин характерны такие направления повышения их надежности как увеличение степени автоматизации, рабочих нагрузок, повышение требований к точности функционирования и эффективности их работы.

Существенная роль отводится разработке и применению прогрессивных упрочняющих технологических процессов, позволяющих существенно улучшить качественные показатели восстанавливаемых или изготавливаемых деталей и сборочных единиц сельскохозяйственных машин.

2. Постановка проблемы

Широкое применение в промышленности высокопрочных материалов, а также интенсификация процессов металлообработки выдвинули на первый план применение эффективных упрочняющих обработок, обеспечивающих повышение

износостойкости материала деталей. В этом плане представляет интерес способ пластических деформаций, обеспечивающий повышение ресурса деталей, соединений машин.

Решение проблемы надежности машин — это огромный резерв повышения эффективности производства и производительности труда.

3. Анализ основных исследований и публикаций по данной проблеме

Свойства детали начинают формироваться в процессе отливки, обработки давлением и механической обработки. При выполнении указанных операций закладываются прочностные характеристики и другие показатели долговечности деталей машин. Все последующие операции изготовления или восстановления деталей сводятся к улучшению эксплуатационных свойств их материала [1].

Технологическим способам упрочнения рабочих поверхностей деталей машин посвящено большое количество работ [2–4], которые используются, в основном, в практике машиностроения.

Классификация методов упрочнения рабочих поверхностей деталей приведена на рис. 1.



Рис. 1. Классификация методов поверхностного упрочнения

Накопленные многочисленные опытные данные свидетельствуют, что применение поверхностного наклепа способствует повышению усталостной прочности деталей [5, 6].

Дробеструйная обработка применяется для упрочнения валов, рессор, зубчатых колес и других деталей. Наклепанный слой образуется благодаря действию кинетической энергии потока дроби с определенной скоростью. Твердость обработанной поверхности увеличивается на 20...40 %, остаточные напряжения обработанной поверхности достигают 390...780 МН/м², а толщина упрочненного слоя составляет 0,4...1,0 мм.

Глубина наклепанного слоя рассчитывается по формуле:

$$a = K \frac{Dv \sin \alpha}{\sqrt{H_{\mu}}}, \quad (1)$$

где K — коэффициент пропорциональности; D — диаметр дроби; v — скорость ее полета; α — угол атаки полета дроби; H_{μ} — динамическая твердость поверхности.

Величина остаточных напряжений и динамическая твердость определяются по зависимостям:

$$\sigma = mH_{\mu}; \quad H_{\mu} = \frac{P}{\pi d_0/4}, \quad (2)$$

где m — коэффициент пропорциональности; P — сила удара дроби; d_0 — диаметр единичного отпечатка.

Глубина наклепанного слоя и величина остаточных напряжений имеют предел, определяемый физико-механическими свойствами материала деталей.

В машиностроении довольно широко применяется обкатывание поверхностей изготавливаемых деталей для упрочнения рабочих поверхностей, повышения их износостойкости. Имеется достаточно лабораторных и заводских данных, свидетельствующих о положительном влиянии поверхностного наклепа на износостойкость металлических деталей, работающих в условиях трения со смазкой. Установлено повышение износостойкости обкатанных шеек стальных осей при работе их в паре с бронзовыми вкладышами при обильной смазке.

Положительный эффект обкатки роликами объясняется меньшим разупрочняющим действием поверхностно-активной среды (эффект Ребиндера).

Экспериментальные данные ряда авторов подтверждают, что износостойкость стали при сухом трении зависит от степени поверхностной пластической деформации. При малых степенях деформации уменьшается величина износа по сравнению со шлифованными образцами. С увеличением степени деформации износ возрастает.

Имеются в литературе сильно расходящиеся данные о влиянии остаточных напряжений на износостойкость.

По-видимому, можно считать, что остаточные сжимающие напряжения в поверхностных слоях изнашиваемой детали повышают износостойкость, если условия трения не вызывают их снятие или перераспределения.

В. А. Сологубом и М. Я. Белкиным [7] были получены данные о значительном повышении износостойкости дисков при их обкатке роликами. Было установлено, что коэффициент трения при этом существенно снижается. Авторы полагают, что изменение твердости в обкатанных дисках и увеличение износостойкости определяется не столько приростом их твердости, сколько повышением однородности свойств поверхностных слоев.

Усилие обработки зависит от твердости, структуры металла, шероховатости поверхности, конструкции инструмента и может быть определено по следующим зависимостям:

при деформировании роликами

$$P = \frac{Dbq^2}{0,126E \left(\frac{D}{d} + 1 \right)}, \quad (3)$$

при деформировании шариками

$$P = \left(\frac{dq}{0,54} \right)^2 q, \quad (4)$$

где D — диаметр обрабатываемой детали, мм; d — диаметр ролика или шарика, мм; b — длина контакта ролика с деталью, мм; q — максимальное удельное давление, МПа; E — модуль упругости обрабатываемого материала, МПа.

Обработка роликами или шариками, особенно с применением виброобкатывания, улучшает эксплуатационные свойства деталей: повышает износостойкость, прочность соединения и контактную жесткость.

4. Результаты исследований

В последнее время получил применение новый метод обработки металлов на основе использования механических колебаний — вибраций.

Применение вибрационных колебаний позволило коренным образом усовершенствовать старые и создать новые технологические процессы по доводке и чистовой отделке поверхностей, особенно при их шлифовании. Внедрение вибрационных методов обработки способствует интенсификации различных технологических процессов, повышает уровень механизации и автоматизации многих трудоемких процессов, способствует усовершенствованию и разработке новых технологий, увеличивает экономическую эффективность и производительность.

Основой вибрационного упрочнения является динамический характер протекания процесса, сопровождаемый множеством микроударов рабочего

инструмента или частиц рабочей среды по поверхности обрабатываемых деталей и обеспечивающий пластическое деформирование поверхностного слоя, следствием чего является повышение микротвердости, образование сжимающих остаточных напряжений первого рода и уменьшение шероховатости поверхности.

Величина деформации является одним из основных параметров технологии восстановления деталей машин, служащая для компенсации определенного значения их износа. Поэтому весьма важным является установление зависимости между величиной изменения наружного диаметра при деформировании и припуском на обработку.

На основании полученных экспериментальных данных были построены зависимости деформации в процессе раздачи ΔD_p и остаточной деформации ΔD и припуска на обработку Π .

Для практических целей целесообразно иметь зависимость, связывающую уровень необходимой остаточной деформации с величиной припуска. По полученным экспериментальным данным была получена эмпирическая зависимость припуска с остаточной деформацией:

$$\Pi = a(\Delta D)^b, \quad (5)$$

где a и b – неизвестные коэффициенты, которые необходимо определить.

В логарифмическом виде это уравнение, если принять $\lg \Pi = y$, а $\lg \Delta D = x$, можно представить в виде прямой линии:

$$y = \lg a + bx. \quad (6)$$

Неизвестные величины a и b определялись методом наименьших квадратов, согласно которому необходимо, чтобы сумма $S = \sum_{i=0}^n (y - \lg a - bx)^2$ имела наименьшее значение в сравнении с другими функциями, из числа которых выбирается искомое приближенное.

Значения коэффициентов a и b могут быть найдены решением системы уравнений:

$$\frac{dS}{da} = 0; \quad \frac{dS}{db} = 0. \quad (7)$$

Частные производные выражения S :

$$\frac{dS}{da} = \sum_{i=0}^n 2(y - \lg a - bx) \cdot \left(-\frac{0,4343}{a}\right) = 0. \quad (8)$$

$$\frac{dS}{db} = \sum_{i=0}^n 2(y - \lg a - bx) \cdot (-x) = 0. \quad (9)$$

После перемножения и сокращения на постоянные величины получаем:

$$\sum_{i=0}^n (y - \lg a - bx) = 0. \quad (10)$$

$$\sum_{i=0}^n (x \cdot \lg a - xy + bx^2) = 0. \quad (11)$$

Заменяя $y = \lg \Pi$ и $x = \lg \Delta D$, имеем систему уравнений:

$$\sum_{i=0}^n \lg \Pi - n \lg a - b \sum_{i=0}^n \lg \Delta D = 0. \quad (12)$$

$$\lg a \sum_{i=0}^n \lg \Delta D - \sum_{i=0}^n \lg \Delta D \cdot \lg \Pi + b \sum_{i=0}^n (\lg \Delta D)^2 = 0. \quad (13)$$

Значения a и b находятся решением системы полученных уравнений с использованием полученных экспериментальных данных (табл. 1).

Таблица 1

Значения параметров для нахождения величин a и b

ΔD	Π	$\lg \Delta D$	$\lg \Pi$	$\lg \Delta D \cdot \lg \Pi$	$(\lg \Delta D)^2$
0,02	0,161	-1,6990	-0,7932	1,347647	2,886601
0,04	0,233	-1,3979	-0,6326	0,884311	1,954124
0,06	0,290	-1,2218	-0,5376	0,656840	1,492795
0,08	0,348	-1,0969	-0,4584	0,502819	1,203189
0,10	0,372	-1,0	-0,4295	0,429500	1,0
0,12	0,425	-0,9208	-0,3716	0,342169	0,847872
0,14	0,466	-0,8539	-0,3316	0,283153	0,729145
0,16	0,498	-0,7959	-0,3028	0,240998	0,633456
0,18	0,535	-0,7447	-0,2716	0,202280	0,554578
0,20	0,592	-0,6990	-0,2277	0,159162	0,488601
		$\Sigma \lg \Delta D =$ $= -10,4292$	$\Sigma \lg \Pi =$ $= -4,3566$	$\Sigma \lg \Delta D \cdot \lg \Pi =$ $= 5,04886$	$\Sigma (\lg \Delta D)^2 =$ $= 11,79036$

Подставляя значения параметров данной таблицы в уравнения (12) и (13), получим:

$$-4,3566 - 10 \lg a + 10,4299b = 0. \quad (14)$$

$$-10,4299 \lg a - 5,04886 + 11,79036b = 0. \quad (15)$$

Решая систему уравнений (14) и (15), получаем: $\lg a = -0,1422$; $a = 0,72$; $b = 0,554$.

Таким образом, уравнение имеет вид:

$$\Pi = 0,72 \Delta D^{0,554}.$$

На основании полученных экспериментальных данных при износе поршневого пальца от 0,02 до 0,06 мм необходимая остаточная деформация по наружному диаметру может быть достигнута при обработке за один проход с припусками 0,17...0,26 мм.

5. Выводы

Прочность восстанавливаемых деталей методом вибрационного деформирования в 1,24 раза больше, чем при обычном деформировании.

В условиях вибрационного нагружения степень деформации в 1,33 раза больше по сравнению с обычной раздачей.

Литература

1. Ишуткин В. Н. Технологическая надежность системы СПИД [Текст] / В. Н. Ишуткин. — М. : Машиностроение, 1973. — 128 с.
2. Черновол М. И. Упрочнение и восстановление деталей машин композиционными покрытиями [Текст] / М. И. Черновол. — К. : Вища школа, 1992. — 79 с.
3. Пинчук Л. С. Обработка металлов давлением [Текст] / Л. С. Пинчук, В. А. Струк, Н. К. Мышкин, А. И. Свириденко. — Мн. : Вышэйшая школа, 1986. — 461 с.
4. Серенсен С. В. Несущая способность и расчеты деталей машин на прочность [Текст] / С. В. Серенсен, В. П. Когаев, Р. М. Шнейдерович. — М. : Машиностроение, 1975. — 304 с.
5. Елизаветин М. А. Повышение надежности машин [Текст] / М. А. Елизаветин. — М. : Машиностроение, 1986. — 267 с.
6. Костецкий Б. И. Износостойкость металлов [Текст] / Б. И. Костецкий. — М. : Машиностроение, 1980. — 52 с.
7. Сологуб В. А. Износостойкость деталей из легированных сталей, упрочненных обкаткой роликами [Текст] / В. А. Сологуб, М. Я. Белкин. — М. : Машиностроение, 1984. — 192 с.

ЗМІЦНЕННЯ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

**А. А. Дудніков, О. І. Біловод, О. В. Канівець,
В. В. Дудник**

Розглядаються методи зміцнення поверхневого шару деталей при різних видах обробки і отримані залежності величини зміцнення і деформації від параметрів обробки.

Ключові слова: зміцнення, залишкова напруга, вібрації, деформація.

Анатолій Андрійович Дудніков, кандидат технічних наук, професор, завідувач кафедрою ремонту машин і технології конструкційних матеріалів, Полтавська державна аграрна академія.

Олександра Іванівна Біловод, кандидат технічних наук, доцент кафедри загально-технічних дисциплін, Полтавська державна аграрна академія.

Олександр Васильович Канівець, асистент, аспірант кафедри загально-технічних дисциплін, Полтавська державна аграрна академія.

Володимир Володимирович Дудник, асистент, аспірант кафедри загально-технічних дисциплін, Полтавська державна аграрна академія

HARDENED SURFACE LAYER MACHINE PARTS

A. Dudnikov, A. Belovod, A. Kanivets, V. Dudnik

Discusses methods of hardening the surface layer of parts for various types of processing are obtained and the dependence of the hardening and strain on the processing parameters.

Key words: hardening, residual stress, vibration, strain.

Anatoly Dudnikov, the head is Ph. D., Professor, Poltava state agrarian academy.

Alexandra Belovod, the head is Ph. D., Professor Assistant, Poltava state agrarian academy.

Alexander Kanivets, Assistant, Poltava state agrarian academy.

Vladimir Dudnik, Assistant, Poltava state agrarian academy

Адрес для переписки:

36003, г. Полтава

ул. Сквороды, 1/3,

тел. (факс): (05322) 2-29-81

E-mail: mech@pdaa.com.ua

УДК 621.9-621.98

И. А. Дудников

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ДЕТАЛЕЙ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ НАДЕЖНОСТЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН

Рассмотрены вопросы повышения надежности сельскохозяйственных машин за счет обеспечения эксплуатационных свойств деталей и соединений при их изготовлении или восстановлении.

Ключевые слова: надежность, точность изготовления, технологический процесс, интенсивность изнашивания.

1. Введение

Надежность машин, как один из основных показателей качества, определяется, прежде всего,

эксплуатационными свойствами их деталей и сборочных единиц включающими: усталостную прочность, коррозионную стойкость, износостойкость, точность посадок и др. Действие на машину циклических нагрузок может привести к усталостным