

ИССЛЕДОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТНО-ПЛАСТИЧЕСКОГО УПРОЧНЕНИЯ НА МОДЕЛЯХ ИЗ СТАЛЬНЫХ ЗАГОТОВОК

Поветкин В.В.¹, Керимжанова М.Ф.¹, Ибрагимова З.А.², Исаева И.Н.¹

¹ Казахский национальный технический университет им. К.И.Сатпаева, г.Алматы, Республика Казахстан;

² Южно-Казахстанский государственный университет им. М.О.Ауэзова, Республика Казахстан)

Тел./8 (727) 292-69-19; E-mail: vv1940_povetkin@mail.ru

Abstract: *To the article the results of theoretical and experimental research of the superficial work-hardening of points of transmissions are driven. The results of research of the superficially-plastic work-hardening are presented on the models of purveyances from steels, toothed crowns of drives of ball mills applied for making.*

Key words: *superficially-plastic work-hardening, toothed crown, resiliently-plastic deformation, peening, ball-shaped rolling-up.*

Важное значение при разработке технологии деформационного упрочнения дробью имеет правильный выбор параметров режима наклепа. Форсированные режимы наклепа дробью могут привести к перенаклепу, появлению черных и белых полос, снижению сопротивляемости поверхностного слоя разрушению [1].

Известно, что поведение материала при действии нагрузки определяется его объемно-напряженным состоянием. Поэтому изменяя величину и эпюру рабочих напряжений в зоне контакта, можно оказать некоторое влияние на свойства упрочняемого материала при наклепе дробью.

Для деформационного упрочнения зубчатых колес дробью применяют стальную дробь (HRC 30-40) или литую чугунную дробь (HRC 62-64).

В том случае, когда твердость поверхности обрабатываемых зубчатых колес меньше, чем твердость дроби, наибольшей упруго-пластической деформации в зоне силового контакта подвергается обрабатываемое колесо. Такое явление наблюдается при обработке улучшаемых зубчатых колес (HRC 35-40) чугунной дробью. Класс чистоты поверхности зубьев колес в этом случае не превышает $R_z = 6,3$. При обработке колес, имеющих после химико-термической обработки твердость поверхности HRC 58-63, стальной дробью наибольшей упруго-пластической деформации подвергается дробь. Класс чистоты поверхности зубьев колеса увеличивается до 6,3-1,6.

Рассматривая соударение стальной дроби с поверхностью обрабатываемых зубчатых, колес, можно видеть, что оно носит упруго-пластический характер. Процесс упруго-пластического нагружения при ударе можно записать в виде формулы:

$$\alpha = \alpha_1 + \alpha_2, \text{ когда } \sigma > \sigma_T, \quad (1)$$

где α – глубина местного упруго-пластического смятия;

α_1 – глубина смятия в области упругих деформаций;

α_2 – глубина смятия в области пластических деформаций;

σ – интенсивность напряжений, вызываемых ударом;

σ_T – предел текучести материала в зоне силового контакта.

Батуевым Г.С. и др. для описания процесса упруго-пластического смятия экспериментально аппроксимирована зависимость для динамического процесса нагружения:

$$\alpha = \theta \alpha_{\partial} P^n, \quad (2)$$

где P – величина приложенной динамической нагрузки;

α_{∂} – коэффициент, зависящий от механических свойств материала сжимаемых тел;

θ – коэффициент использования кинетической энергии дроби;

n – коэффициент, определяемый геометрической конфигурацией сжимаемых тел.

При исследовании процесса деформационного упрочнения дробью нас прежде всего интересует величина максимальной динамической силы, вызывающей пластическую деформацию в зоне силового контакта. Ограниченные возможности применения уравнения Герца ($\alpha_1 = kP^{\frac{2}{3}}$) приводят к замене этого уравнения другими соотношениями, применяемыми в случае пластических деформаций при контакте [2]:

$$P = N d_1^{n_c}, \quad (3)$$

где d_1 – диаметр отпечатка;

N, n_c – коэффициенты, характеризующие свойства материала; для закаленных сталей $n_c = 2$.

Исходя из решения задачи соударения тел, на основании второго закона Ньютона, можно записать

$$m_{\partial} \frac{d^2 \alpha}{d\tau^2} = -P(\tau), \quad (4)$$

где $m_{\partial} = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2}$;

m_1 – масса дробинки;

m_2 – масса упрочняемой детали.

Сравнивая размеры дроби r_1 и размеры обрабатываемых зубчатых колес r_2 можно принять $r_1 = r$; $r_2 = \infty$, и так как $m_2 \gg m_1$, то $m_{\partial} = m_1$. Для дроби $m_1 = \frac{\pi d^2 \gamma}{6g}$.

При выборе режимов наклепа должна быть учтена значительная неравномерность фазового состава и прочностных характеристик поверхностных слоев зубчатых колес, подвергнутых цементации и нитроцементации. Это необходимо потому что скорость потока, угол атаки, размер дроби определяют степень и глубину фазовых превращений, интенсивность изменения остаточных напряжений и в конечном итоге те свойства сопротивления, которые обуславливают сопротивление поверхностного слоя разрушающим нагрузкам.

Результаты расчета критических напряжений для различных структурных состояний материалов показывают, что величина приведенных напряжений зависит от способа упрочнения. Так, например, при скорости потока дроби 40 м/сек напряжения достигают 1078 МПа, 54 м/сек – 1176 МПа, 80 м/сек – 1353 МПа, при 120 м/сек – 1549 МПа; при обкатке роликом – 1176 МПа.

В действующих стандартах расчета цилиндрических зубчатых передач на прочность (ГОСТ 21354-87, СВ СЭВ 5744-86 и др.) основные параметры передач (межосевое расстояние, модуль и т.п.) определяются с учетом одной из характеристик кривых контактной или изгибной усталости – пределов выносливости – σ_{Hlim} , σ_{Flim} , осредненные значения которых для различных материалов и способов упрочнений рекомендуется определять через твердость рабочей (σ_{Hlim}) или переходной (σ_{Flim}) поверхностей зубьев. При этом недостаточно полно учитываются такие важные параметры и факторы, как показатели кривых усталости (m_H, m_F) и глубина упрочненного слоя переходной поверхности [3].

Для установления действительной нагрузочной способности и долговечности зубчатых передач необходимо проведение широкомасштабных ресурсных испытаний передач как новых, так и после капитального ремонта, в условиях, близких к эксплуатационным. Это требует больших затрат времени и следует делать при создании высоконадежных передач.

Проведены исследования поверхностно-пластического упрочнения на моделях заготовок из сталей, применяемых для изготовления зубчатых венцов приводов шаровых мельниц на Балхашской обогатительной фабрике, проводимых в стендовых условиях лаборатории КазНТУ им. К. И. Сатпаева и Люблинском техническом университете в Польше при прохождении стажировки, были испытаны образцы сталей 35Л и 35ХМЛ.

Для проведения экспериментальных исследований использованы стандартные методики планирования и обработки экспериментальных данных и теории статистики [4].

Для ППД зубчатой передачи принят дробеструйный метод, как наиболее эффективный, способствующий увеличению твердости поверхности зубьев на 30-40%, позволяющий повысить ресурс работы зубчатой передачи привода и самой барабанной мельницы.

В качестве моделирующего способа обработки принят механический способ ППД шариком или роликом, при котором в поверхностном слое металла создается наклеп и остаточные напряжения, по глубине упрочненного слоя, что моделирует процесс дробеструйной обработки.

В результате процесса ППД необходимо определить параметры шероховатости R_z от усилия давления P шарика или ролика и режимов обработки (S, n), на поверхности заготовки, выполненный в виде вала из сталей 35Л и 35ХМЛ, а также параметры твердости поверхности НВ заготовки при различных усилиях давления P и различных оборотов n при обкатке шариком или роликом, а также характер изменения твердости НВ по глубине h упрочненного слоя.

На рисунке 1 изображен экспериментальный стенд, выполненный на базе токарно-винторезного станка GH2060ZH (Великобритания), в патрон которого устанавливается испытываемая деталь с выполненной на ней ступенями, предварительно обработанными до шероховатости $R_z = 20$ мкм.



Рис. 1. Экспериментальный стенд на базе токарно-винторезного станка GH2060ZH

Принятые обозначения:
 P – давление обкатника; H , n – скорость вращения деталей, об/мин; S – подача обкатника, мм/об.

Измерение шероховатости производилась на профилометре HOMMEL T1000, измерение твердости поверхности регистрировалось на приборе твердомером модели ТК-2М.

При проведении эксперимента использовалось следующее оборудование:

- токарно - винторезный станок марки GH2060ZH; динамометр 5 тс, твердомер универсальный 54-459 м по НВ 95-470.

- резец токарный проходной отогнутый ($\varphi = 45^\circ$, $r = 0,5$ мм), шарик в державке $d = 4$ мм; ролик в державке $d = 22 \times 7$ мм; штангенциркуль 250 мм и микрометр.

Заготовки: $d = 60$ мм сталь 35Л и сталь 35ХМЛ.

Режимы предварительной обработки ступеней детали: наружное обтачивание $n = 800$ об/мин, $S = 0,05$ мм/об, $t = 0,5$ мм.

На рисунке 2 показаны образец детали с выполненными на ней ступенями для ППД; обкатник шариковый и накатник роликовый.



а) ступенчатая деталь



б) обкатник шариковый



в) накатник роликовый

Рис. 2. Испытываемый образец детали и инструменты для обкатки

В результате экспериментальных исследований определены функциональные зависимости шероховатости, твердости НВ поверхности и глубины упрочненного слоя металла при обкатке шариком и роликом на различных режимах, а также изменения шероховатости поверхности R_z , построены соответствующие графики: $R_z = f(P)$; $HV = f(n)$; $HV = f(h)$ при давлениях $P = 200$ Н и 400 Н.

На рисунке 3. представлен график зависимости шероховатости R_z от числа оборотов n при $P = 200$ Н при обработке шариком ($d = 4$ мм) для сталей 35Л и 35 ХМЛ.

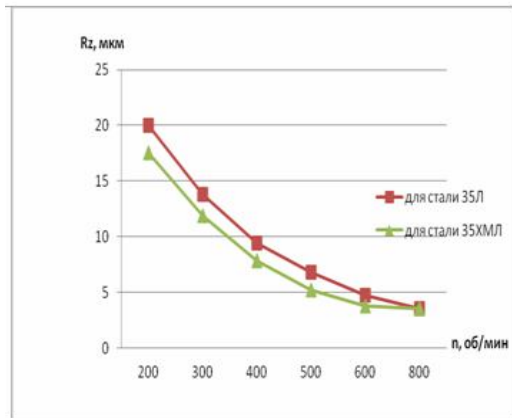


Рис. 3. График зависимости шероховатости $R_z = f(n)$ при обкатывании шариком при усилии $P = 200$ Н

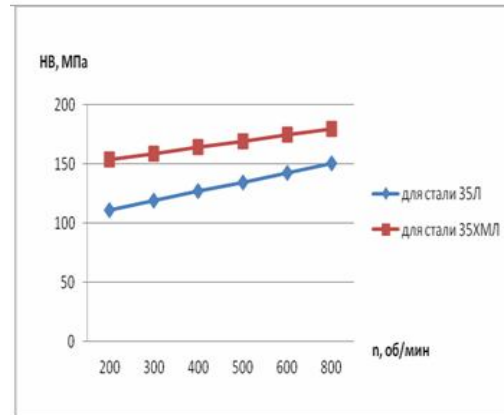


Рис. 4. График зависимости твердости поверхности $HB = f(n)$ для сталей 35Л и 35 ХМЛ

На рисунке 4. представлен представлен график зависимости твердости поверхности $HB = f(n)$ для сталей 35Л и 35 ХМЛ при обработке шариком ($d = 4$ мм) при $P = 200$ Н.

Выполненные исследования позволяют сделать вывод о том, что:

- существует устойчивая тенденция роста упрочнения поверхностного слоя под действиям шариковых накатников при увеличении числа оборотов вращения детали и давления накатника, достигающих 30 %;
- поверхностно-пластическое деформирование зубчатых передач можно рекомендовать в качестве упрочняющей технологии.

Список литературы: 1. Питухин А.В., Ефимов Т.Ю. Влияние шероховатости переходной поверхности зубчатых колес на сопротивление усталости // Вестник машиностроения. – 1995. – № 6. – С. 24-29. 2. Вивденко Ю.Н. Технологические системы производства деталей наукоемкой техники: Учебное пособие для вузов. – М. : Машиностроение, 2006. – 559 с. 3. Кравчук В.С., Юсеф. Абу Айаш, Кравчук А.В. Сопротивление деформированию и разрушению поверхностно-упрочненных деталей машин и элементов конструкций. – Одесса.: Астропринт, 2000. – 148 с. 4. Мигачева Г.Н., Кокшаров С.А., Карпов С.Н., Пасуманский З.П. Разработка экспериментальных методов исследования моделей износа тяжелонагруженных зубчатых передач приводов машин // Надежность крупных машин: сборник научных трудов. – 1990. – С. 44-56.