УДК 622.271.4

Ю.П.БОЙЦОВ, Г.В.ИВАНОВА
Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет)

ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ УПРОЧНЕНИЯ ВАЛОВ ОБКАТКОЙ РОЛИКАМИ

Установлено экспериментально, что наибольшее влияние на износостойкость и усталостную прочность оказывают усилие и профильный радиус инструмента. Усталостная прочность образцов при усилии обкатки 600 Н повысилась в 2,5 раза. Упрочнение галтелей позволило повысить число циклов нагружений с 21000 до 405100 (в 15-20 раз).

The most influence on wears resistance and усталостную durability renders effort and profile radius of the tool was established by experiment. So, fatigue durability of samples at effort by treatment 600 N has raised in 2,5 times. Hardening concentrators of pressure has allowed to raise number of cycles load with 21000 up to 405100 (at 15-20 times).

Технологические методы поверхностного пластического деформирования (обкатка шарами, роликами, обработка дробью), наплавка износостойкими материалами являются одними из основных методов повышения долговечности деталей горных машин. Многочисленные рекомендации по выбору режимов упрочняющей обработки, как правило, носят частный характер и не учитывают конкретных условий эксплуатации.

Важное значение приобретают лабораторные экспериментальные исследования, в ходе которых устанавливается влияние различных параметров упрочняющей обработки на эксплуатационные и механические характеристики деталей. Лишь на основе эксперимента, максимально приближенного к конкретным условиям эксплуатации упрочняемой детали, можно определить рациональные режимы обработки и полностью реализовать достоинства того или иного способа упрочнения.

Один из наиболее эффективных методов повышения долговечности деталей – обкатка роликами.

Для установления закономерности износостойкости (вторичный фактор) от различных параметров упрочнения при обкатке роликами необходимо каждому из первичных факторов (сила обкатки P, подача инструмента S, профильный радиус ролика r, твердость исходного материала НВ) задать не менее 4-5 значений или вариантов. При этом потребуется реализовать более 625 различных комбинаций экспериментов, что не всегда удается. Снизить необходимое количество опытов можно за счет применения метода рационального планирования экспериментов, при котором возможно получение достоверных эмпирических зависимостей для множественной корреляции при минимальном числе опытов.

Для проведения исследований из четырех факторов и пяти вариантов из них достаточно провести 25 опытов.

Общую методику планирования эксперимента по методу можно разбить на два этапа:

- построение комбинационных квадратов с неповторяющимися сочетаниями по всем строкам и столбцам матрицы;
- усреднение и пересчет результатов для нахождения искомой зависимости вторичного фактора от первичного.

Для проведения исследований износостойкости были изготовлены стальные образцы диаметром 58 мм, шириной 12 мм (см. таблицу). Упрочнение образцов велось на токарно-винторезном станке с помощью накатника, изготовленного из стали У8 с твердостью HRC 62. Испытания износо-

стойкости образцов велись на испытательной машине МИ-1.

Таблица 1

Характеристика исследуемых образцов и режимы упрочнения

Материал	Твердость НВ	Усилие обкатки, Н	Подача, мм/об	Профильный радиус ролика, мм
Сталь Ст.3	110	1200	0,70	1,5
Сталь Ст.3	110	1600	0,14	3,0
Сталь Ст.3	110	2000	0,28	4,5
Сталь Ст.3	110	800	0,42	6,0
Сталь Ст.3	110	400	0,56	9,0
Сталь Ст.3	130	400	0,42	1,5
Сталь Ст.3	130	1200	0,56	3,0
Сталь Ст.3	130	1600	0,70	4,5
Сталь Ст.3	130	2000	0,14	6,0
Сталь Ст.3	130	800	0,28	9,0
Сталь 45	170	800	0,14	1,5
Сталь 45	170	400	0,28	3,0
Сталь 45	170	1200	0,42	4,5
Сталь 45	170	1600	0,56	6,0
Сталь 45	170	2000	0,70	9,0
Сталь Ст.3	200	1600	0,28	1,5
Сталь Ст.3	200	2000	0,42	3,0
Сталь Ст.3	200	800	0,56	4,5
Сталь Ст.3	200	400	0,70	6,0
Сталь Ст.3	200	1200	0,14	9,0
Сталь 45	270	2000	0,56	1,5
Сталь 45	270	800	0,70	3,0
Сталь 45	270	400	0,14	4,5
Сталь 45	270	1200	0,28	6,0
Сталь 45	270	1600	0,28	9,0

В качестве эталонных, сопрягаемых с испытуемыми, использовались диски диаметром 80 мм и шириной 12 мм с твердостью HRC 50. Частота вращения эталонного образца 9,6 $с^{-1}$; испытуемых 8,1 $с^{-1}$. Величина износа определялась весовым способом и контролировалась изменением диаметрального размера.

Обработка результатов проводилась по методике Протодьяконова, основанной на методе последовательных приближений за счет специально спланированной комбинации факторов, при которой каждый из них выбирается по одному разу во всех вариантах.

Условно принимая линейную зависимость между вторичным и первичными факторами, искомую зависимость можно выразить в виде

$$y_i = ax_i^0 + bx_i.$$

Составив и решив систему нормальных уравнений, найдем искомые зависимости износа от параметров упрочнения:

$U = 4410\text{-}0{,}9375\ P$, мг
при НВ = 176, $S = 0{,}42$ мм/об, $r = 5{,}0$ мм;

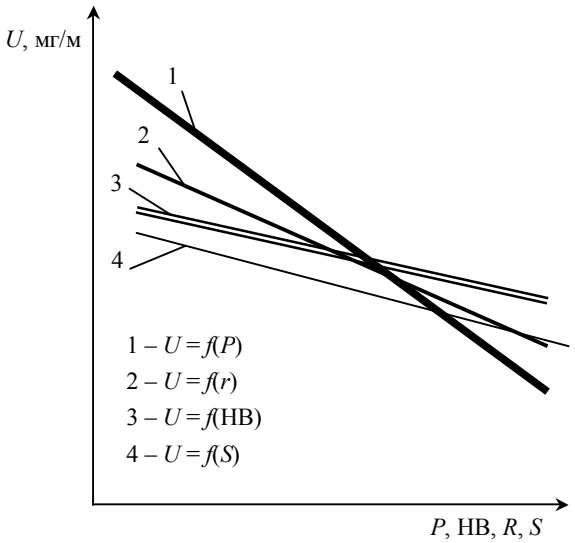
$U = 3570\text{-}1{,}75(\text{НВ}\text{-}110)$, мг
при $P = 1000$ Н, $S = 0{,}42$ мм/об, $r = 5{,}0$ мм;

$U = 3460\text{-}514\ S$, мг
при НВ = 176, $P = 1000$ Н, $r = 5{,}0$ мм;

$U = 3815\text{-}136\ r$, мг
при НВ = 176, $P = 1000$ Н, $S = 0{,}42$ мм/об.

На рисунке приведен сводный график частных зависимостей износа в функции режимов обкатки при средних значениях режимов обкатки. Анализ этих зависимостей показывает, что наибольшее влияние на износ оказывают усилие обкатки, профильный радиус ролика и, в меньшей степени, подача инструмента и твердость материала.

Повышение усилия обкатки с 400 до 2000 Н уменьшило износ в 1,7 раза, изменение исходной твердости материала с НВ 110 до НВ 270 – на 10 %, повышение профильного радиуса ролика от 1,5



Изменение величины износа от режимов упрочнения

до 9 мм – на 35 %. Еще большее влияние поверхностное пластическое упрочнение оказывает на усталостную прочность. Исследуемые образцы с концентраторами напряжений и без них подвергались обкатке роликом при следующих режимах: усилие обкатки 300-1500 Н; подача инструмента 0,14-0,56 мм/об, профильный радиус ролика 1,5-9 мм.

Испытания упрочненных и неупрочненных образцов проводились на стандартной испытательной машине с нагрузкой $P = 280$ Н, изгибающим моментом 14 Н·м и частотой вращения 3000 об/мин в функции режимов упрочнения. Число циклов нагружения до полного разрушения образцов колебалось от 48000 для неупрочненных (эталонных) до 405000 для упрочненных. На основе анализа результатов проведенных экспериментов установлено следующее:

- наибольшее влияние на усталостную прочность оказывает усилие P и профильный радиус инструмента r. Усталостная прочность образцов при усилии обкатки 600 Н повысилась в 2,5 раза. При малых радиусах инструмента число циклов нагружения падает, что, по-видимому, связано с перенаклепом поверхностного слоя и наличием явно выраженной шероховатости;
- подача инструмента оказывает минимальное влияние на усталостную прочность;
- особенно большое влияние на длительность испытаний до разрушения оказывают концентраторы напряжений, которые снижают усталостную прочность в 2,3-2,5 раза. Упрочнение галтелей позволило повысить число циклов нагружений с 21000 до 405100 (сила обкатки 1200 Н). При большем усилии наблюдается снижение усталостной прочности;
- анализ износостойкости и усталостной прочности упрочненных образцов показал идентичность влияния режимов упрочнения на эксплуатационные характеристики.