Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова,
1986, т. 108

УДК 621.7(075.84)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА УПРОЧНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫМ ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ ТЯЖЕЛОНАГРУЖЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ ГОРНЫХ МАШИН

Ю. П. БОЙЦОВ

Одним из современных направлений совершенствования изделий, повышения работоспособности и долговечности являются упрочняющие методы на стадии производства и ремонта машин, т.е. технологические. Достаточно эффективным способом повышения износостойкости, усталостной прочности является метод поверхностного пластического деформирования (ППД). Для деталей типа тел вращения – валов, втулок, зубчатых колес – широкое применение в ряде отраслей народного хозяйства получил метод ППД обкаткой роликами. В качестве инструмента применяются одно- и многороликовые приспособления в зависимости от жесткости деталей с пневматическими, механическими, гидравлическими нажимными устройствами с усилиями от 1000 до 100000 Н. Обкатку применяют для упрочнения деталей, отделки рабочих поверхностей и формообразования элементов деталей с одновременным их упрочнением [1-3].

В горной промышленности при изготовлении и ремонте забойного и другого оборудования поверхностное пластическое деформирование практически не имеет применения. Ленинградский горный институт в течение ряда лет проводит исследования в этом направлении, целью которых является установление номенклатуры упрочняемых деталей, определение влияния первичных факторов (свойства материала, режимы упрочнения) на вторичные (глубина наклепа, износостойкость, циклическая прочность, долговечность), определение оптимальных режимов упрочнения.

Повышение износостойкости, циклической прочности и долговечности при использовании метода ППД определяется многими факторами: свойствами материала деталей, их конструктивным оформлением, наличием концентраторов напряжений. В процессе упрочнения в поверхностном слое возникают остаточные сжимающие напряжения, которые зависят не только от перечисленных факторов, но и в значительной мере определяются режимами упрочнения, т.е. вторичный фактор (глубина наклепа, износостойкость, долговечность) зависит от большого числа первичных, таких как усилие обкатки, геометрические размеры детали и инструмента, число проходов (циклов), время между циклами, подача инструмента, окружная скорость обрабатываемой детали и др.

Исследование глубины упрочненного слоя осуществлялось путем измерения твердости *HRN* по глубине твердомером ТКС с нагрузкой 150 Н. Исследуемые образцы диаметром 38 мм упрочнялись на токарно-винторезном станке со следующими режимами: диаметр ролика 50 мм с твердостью *HRC* 58,

усилие обкатки P равно 500, I000, I500, 2000 Н, осевая подача инструмента S равна 0,I4; 0,28; 0,42; 0,56; 0,70 мм/об, окружная скорость V составляет 7, 20, 30, 45 м/мин, профильный радиус ролика r равен I,5; 3; 4,5; 6; 9 мм, число проходов i равно I, 2 и 3. Искомым значением глубины наклепа являлась глубина, соответствующая I,I исходной твердости материала (с погрешностью I0 %). Для упрощения вместо экспоненциального закона изменения твердости принят квадратичный типа $ax^2 + bx + c$.

На основании исследований с использованием метода наименьших квадратов получены эмпирические зависимости глубины наклепа h от усилия обкатки:

$$h = -0{,}02 + I{,}I4P\cdot I0^{-3} - 0{,}72P\cdot I0^{-6} \quad \text{для } r = 6,\ S = 0{,}I4;\ i = I;\ V = 30;$$
$$h = 0{,}0I + 0{,}92P\cdot I0^{-3} + 0{,}284P^2\cdot I0^{-6} \quad \text{для } r = 3,\ S = 0{,}I4;\ i = I;\ V = 30;$$
$$h = I{,}662 - 0{,}53S - 0{,}I8S^2 \quad \text{для } r = 3;\ P = I000;\ V = 30;\ i = I;$$
$$h = I{,}48 + 0{,}I6S - 0{,}06S^2 \quad \text{для } r = 6;\ P = I000;\ V = 30;\ i = I. \qquad (I)$$

Анализ зависимостей показывает, что глубина наклепа прямо пропорциональна усилию обкатки и обратно пропорциональна радиусу ролика. Подача незначительно влияет на глубину упрочнения (рис.I). Так, изменение подачи с 0,I4 до 0,56 (т.е. в 4 раза) вызывает изменение глубины наклепа от +3,0 (r = = 3 мм) до -2,7 % (r = 6 мм). Еще меньшее влияние оказывают число проходов и скорость обкатки.

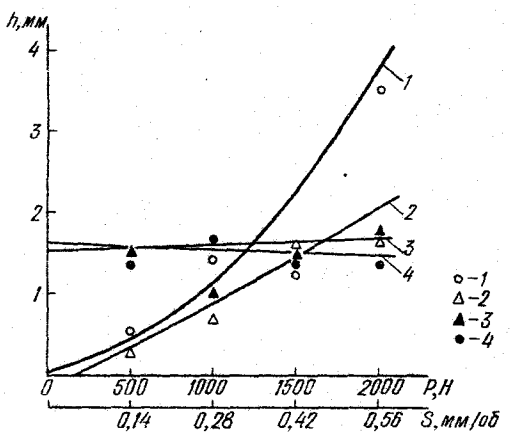


Рис. 1. Влияние режимов упрочнения на глубину наклепа

1 – $h=f(P)$ при r = 3 мм; 2 – $h=f(P)$ при r = 6 мм; 3 – $h=f(S)$ при P = 1000 Н, r = 3 мм; 4 – $h=f(S)$ при r = 6 мм

Исследование износостойкости осуществлялось по методике планирования экспериментов, включающих: построение комбинационных квадратов с неповторяющимися сочетаниями P, r, S, HB; осреднение и пересчет результатов для нахождения искомой зависимости вторичного фактора (износостойкости) от первичных. Упрочнение исследуемых образцов диаметром 58 мм и шириной I2 мм производилось на токарном станке, испытания износостойкости – на испытательной машине МИ-I. Эталонные образцы диаметром 80 мм имели твердость HRC 50. Обработка результатов велась на основе последовательных приближений за счет специально спланированной комбинации факторов, при которой каждый из них выбирался по одному разу во всех вариантах.

Условно принимая линейную зависимость износа Δ от режимов упрочнения и используя метод наименьших квадратов при средних значениях первичных факторов (HB 170, P =1200 Н, S = 0,42 мм/об, r = 4,5 мм), частные зависимости износа представим в виде

$$\Delta_1 = 4410-0{,}935P, \quad \Delta_2 = 3750-1{,}75\ (HB\ 110),$$
$$\Delta_3 = 3640-514S, \quad \Delta_4 = 3815-136r. \qquad (2)$$

Анализ зависимостей (2) показывает, что наибольшее влияние на износ оказывают усилие обкатки P и радиус ролика r и наименьшее – подача инструмента S и твердость исходного материала HB. Изменение этих параметров в 4 раза вызывает соответствующее уменьшение износа на 70, 50, 10 и 5 %.

Испытания на усталостную прочность проводились на стандартной испытательной машине с нагрузкой 280 Н и частотой вращения 50 $с^{-1}$. Объектом исследований являлись образцы диаметром 7,5 мм цилиндрические и с концентратором напряжений – канавкой радиусом 1,5 мм, упрочняемые при различных режимах: усилие обкатки составляло 300, 600, 900, 1200, 1500 Н, профильный радиус ролика для цилиндрических образцов – 1,5; 3,0; 4,5; 6,0; 9,0 мм, для образцов с концентратором напряжений 1,5 мм; продольная подача инструмента – 0,14; 0,28; 0,42; 0,56; 0,70 мм/об.

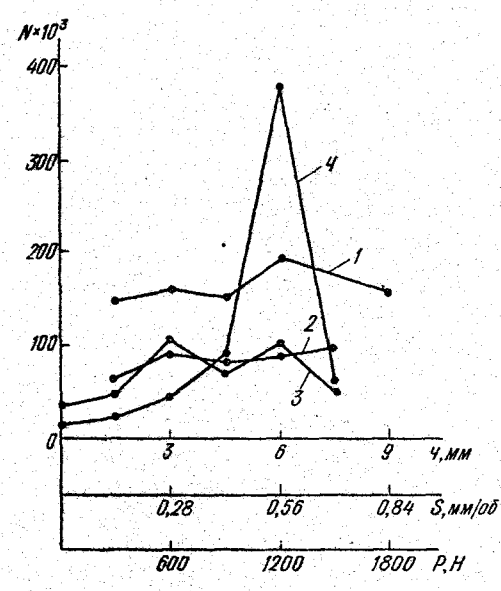


Рис. 2. Влияние режимов упрочнения на число циклов нагружения до разрушения
1 – $N=f(r)$ при P = 1200 Н, S = 0,28 мм/об; 2 – $N=f(S')$ при P = 1200 Н, r = 3 мм; 3 – $N=f(P)$ при S = 0,14 мм/об, r = 3 мм; 4 – $N=f(P)$ (упрочнение концентраторов напряжений)

На рис.2 представлены зависимости числа циклов нагружений образцов N до полного разрушения от режимов упрочнения. Анализ рис.2 показывает, что упрочнение дает значительное повышение числа циклов нагружений. Наибольшее влияние на усталостную прочность оказывают усилие обкатки и в меньшей степени подача и профильный радиус. Наибольший эффект дает упрочнение концентраторов напряжений – число циклов нагружений повышается в 15–20 раз.

Таким образом, на основании проведенных исследований можно сделать следующее заключение: эксплуатационные характеристики деталей значительно улучшаются в процессе поверхностного пластического деформирования, параметры упрочнения оказывают различное влияние (см. таблицу).

Учитывая, что детали горных машин, такие как валы породопо-

Влияние параметров упрочнения на эксплуатационные характеристики образцов деталей

Исследуемые характеристики	Влияние режимов упрочнения на характеристики[x]				
	Усилие P	Радиус r	Подача S	Скорость V	Число проходов i
Твердость	++	–	o	o	o
Износостойкость	++	+	o	o	o
Усталостная прочность	++	+	+	o	o

[x] Знаки ++; +; –; o обозначают соответственно весьма значительное прямо пропорциональное, значительное пропорциональное, значительное обратно пропорциональное и незначительное влияния.

грузочных машин ШПН-2М, электровозов АК-2У, экскаваторов 3303Б, ЭКГ-4,6 и др., работают в различных условиях нагружения, можно рекомендовать упрочнение валов, работающих в режиме абразивного изнашивания, производить при значительных усилиях от 2000 до 6000 Н и небольших (3–6 мм) значениях профильного радиуса ролика, а валов, работающих при знакопеременных нагрузках, с профильным радиусом 6–10 мм с обязательным упрочнением галтелей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Браславский В.М. Технология обкатки крупных деталей роликами. М., Машиностроение, 1975.

2. Повышение циклической прочности материалов методами поверхностного пластического деформирования. Тезисы докладов IУ научно-технической конференции 21–24 октября 1974 г. Изд. Пермского политехнического ин-та, 1976.

3. Поверхностное упрочнение деталей машин и инструментов. Сб. научных трудов. Изд. Куйбышевского политехнического ин-та, 1975.