

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЗНАЧЕНИЙ КОЭФФИЦИЕНТА ОБРАБОТАННОСТИ НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ СТАЛИ 45 ПРИ УДАРНО-АКУСТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ

В работе представлены результаты экспериментальных исследований влияния режимов ударно-акустической обработки на износостойкость образцов при испытании в паре трения сталь 45 — Бр АЖ—9-4. Исследовано влияние значений общего коэффициента обработанности на микротвердость и шероховатость обработанной поверхности, а также получены зависимости шероховатости, микротвердости и момента трения в период приработки от значений общего коэффициента обработанности. Определены рациональные значения общего коэффициента обработанности для стали 45, при которых достигается минимальный износ образцов в период приработки.

Ключевые слова: ударно-акустическая обработка, износостойкость, момент трения, шероховатость поверхности, микротвердость, приработка, общий коэффициент обработанности.

Несмотря на разнообразие конструкций, материалов, условий работы, нагрузок, процессы износа сопряженных поверхностей деталей в парах трения узлов и механизмов имеют общие закономерности. Если рассмотреть типичную кривую износа, то можно выделить три периода: период приработки, период нормальной работы и период интенсивного изнашивания.

Известно, что на период приработки приходится примерно 70 % всей величины износа трущейся пары.

В этот период интенсивность износа возрастает, наиболее выступающие микронеровности сглаживаются и увеличивается фактическая площадь контакта сопряженных деталей.

Исследованиями таких известных ученых, как Ю. Г. Шнейдер, И. В. Крагельский, Ф. Н. Боуден, Д. Н. Гаркунов и др., занимавшихся вопросами изучения механизмов трения и изнашивания твердых тел, установлено, что наибольшее влияние на величину прирабочного износа влияет качество поверхности, которое, в свою очередь, зависит от метода обработки поверхности [1, 2].

Одним из эффективных технологических методов обеспечения качества поверхностей деталей пар трения является технология ударно-акустической обработки, разработанная д.т.н., профессором А. В. Телевным.

С помощью данной технологии можно улучшить шероховатость поверхности, создать регулярный микрорельеф с большими радиусами выступов и

впадин, повысить микротвердость поверхности по сравнению с исходной в 1,5–2 раза. Одновременно происходит внедрение в поверхностный слой дисульфида молибдена, в результате чего повышается совместимость в паре трения [3].

В работах [4, 5] представлены формулы для определения технологических параметров данного метода обработки, таких как: n — частота вращения шпинделя, об/мин, S — продольная подача инструмента, мм/об.

$$S = \frac{2\sqrt{2R_1 \cdot h}}{\lambda_s} \quad (1)$$

$$n = \frac{60f \cdot \sqrt{D \cdot h}}{\pi \cdot R_2 \cdot \lambda_n} \quad (2)$$

где R_1 — радиус индентора ультразвукового инструмента, мм; R_2 — радиус обрабатываемой поверхности детали, мм; f — частота магнитострикционного преобразователя, Гц; D — диаметр обрабатываемой поверхности детали, мм, h — глубина внедрения индентора, мм; λ_s — коэффициент обработанности в направлении продольной подачи (число ударов ультразвукового инструмента, приходящееся на единицу поверхности в направлении подачи); λ_n — коэффициент обработанности в направлении главного движения (число ударов ультразвукового инструмента, приходящееся на единицу поверхности в направлении главного движения).

В формулах (1) и (2) глубина внедрения индентора h определяется по формуле, представленной в работе [6]:

$$h = \frac{P_{cm}}{2\pi \cdot R_{np} \cdot HD}, \quad (3)$$

где R_{np} — приведенный радиус поверхностей контактирующих тел; HD — пластическая твердость материала обрабатываемой детали.

Согласно [7], твердость по Виккерсу HV и пластическая твердость HD связаны соотношением: $HD = 1,22 \cdot HV$.

Подставив формулу (3) в формулы (1) и (2) мы получим уточненные формулы для определения технологических параметров ударно-акустической обработки, которые будут иметь вид:

$$S = \frac{1,8}{\lambda_s} \cdot \sqrt{\frac{R_1 \cdot P_{cm}}{\pi \cdot HV \cdot R_{np}}}. \quad (4)$$

$$n = \frac{108,6f}{\pi \cdot D \cdot \lambda_n} \cdot \sqrt{\frac{D \cdot P_{cm}}{\pi \cdot HV \cdot R_{np}}}. \quad (5)$$

Согласно [8], общий коэффициент обработанности определяется по формуле:

$$\lambda_{ns} = \lambda_s \cdot \lambda_n \cdot i, \quad (6)$$

где i — число проходов ультразвукового инструмента.

Выразив из формул (4) и (5) соответственно λ_s и λ_n и подставив их в формулу (6), мы получим выражение для определения общего коэффициента обработанности в зависимости от значений частоты вращения и продольной подачи:

$$\lambda_{ns} = \frac{19,8f \cdot P_{cm} \cdot i}{D \cdot HV \cdot n \cdot S \cdot R_{np}} \cdot \sqrt{R_1 \cdot D}. \quad (7)$$

Формула (7) отражает общее количество ударов ультразвукового инструмента, приходящихся на единицу обрабатываемой поверхности, ограниченную одной площадкой контакта индентора и заготовки.

Задачей экспериментальных исследований являлось определение рациональных режимов обработки, при которых износ поверхности образцов будет наименьший, а также зависимости шероховатости, микротвердости обработанной поверхности и момента трения в период приработки от значений общего коэффициента обработанности.

Для проведения исследований были подготовлены образцы — ролики из материала сталь 45, наружным диаметром 40 мм и исходной шероховатостью поверхности R_a 0,63. В качестве контртела для испытаний на машине трения были изготовлены образцы из материала Бр АЖ–9-4 с наружным диаметром 40 мм. Для достоверности результатов экспериментальных исследований образцы были изготовлены из одной плавки металла.

Ударно-акустическая обработка проводилась на установке, созданной на базе универсального токарного станка ФТ-11 с использованием ультразвукового генератора УЗГ-3-4, обеспечивающего частоту 17,8 кГц. Для генерации ударов по обрабатываемой поверхности с частотой $18 \pm 1,35$ кГц использовался динамический технологический модуль ДТМ-7, разработанный на базе магнитоstrictionного преобразователя ПМС 15-А-18. В качестве твердого смазочного покрытия использовалась суспензия дисульфида молибдена MoS_2 и керосина в пропорции 1:7.

Используя методики планирования эксперимента [9, 10] была разработана матрица планирования эксперимента на основе симплекс-решетчатого плана третьего порядка. Согласно плану эксперимента, было проведено 10 опытов с использованием режимов обработки, представленных в табл. 1. В соответствии с режимами обработки и размерами обрабатываемой поверхности определены значения

Таблица 1

Результаты экспериментальных исследований

Номер опыта (номер образца)	n , об/мин	S , мм/об	P_{cm} , Н	HV	R_a , мкм	Δm , мг	M_{mp} , Н·м	λ_{ns}
1 (7)	80	0,10	40	226	0,28	5	1,1	224
2 (9)	20	0,17	40	483	0,25	3	0,75	904
3 (5)	20	0,10	100	271	0,25	5	1,16	2270
4 (3)	40	0,14	40	210	0,29	4	0,9	455
5 (2)	40	0,10	80	454	0,29	3	0,7	904
6 (1)	20	0,12	80	328	0,2	4	1,1	1815
7 (14)	63	0,12	40	473	0,28	5	1	290
8 (13)	63	0,10	60	345	0,22	4	1	429
9 (4)	20	0,14	60	483	0,29	3	0,8	1359
10 (6)	40	0,12	60	405	0,29	3	0,85	680

общего коэффициента обработанности согласно формуле (7).

После проведения ударно-акустической обработки производился замер шероховатости обработанной поверхности (с помощью профилометра 296) и микротвердости поверхности (с использованием микротвердомера ПМТ-3).

Испытания на износостойкость проводились с помощью машины трения ИИ-5018 при следующих условиях: контртело Бр АЖ–9-4, частота вращения образца $n_{np} = 200$ об/мин, сила прижима $P_{нагр} = 100$ Н. Во время испытаний производился замер момента трения каждую минуту. С помощью аналитических весов DL-200 проводился замер массы каждого образца до испытания на износостойкость и после, тем самым определялся весовой износ в процессе приработки. Результаты экспериментальных исследований представлены в табл. 1.

После расчета значимости коэффициентов уравнения, описывающие влияние параметров обработки на микротвердость, шероховатость и момент трения имеют вид:

$$\begin{aligned}
 y_{M_{тр}} = & 1,1x_1 + 0,75x_2 + 1,16x_3 - 0,11x_1 \cdot x_2 - \\
 & - 0,25x_2 \cdot x_3 - 1,26x_1 \cdot x_3 + 2,16x_1 \cdot x_3(x_1 - x_3) - \\
 & - 1,1x_2 \cdot x_3(x_2 - x_3) - 0,11x_1 \cdot x_2(x_1 - x_2) - \\
 & - 0,63x_1 \cdot x_2 \cdot x_3.
 \end{aligned} \quad (8)$$

Адекватность моделей проверена по t -критерию Стьюдента. Полученное значение критерия Стьюдента $t_p = 0,642$ меньше табличного t -критерия, равного 2,228 при 5 % уровне значимости. Гипотеза адекватности не отвергается, а модель (8) может быть использована для расчета режимов обработки, при которых достигаются рациональные значения момента трения.

На основании данных, полученных в результате расчетов по формуле (8) установлено, что минимальное значение момента трения в период приработки $M_{тр} = 0,7$ Н·м достигается при обработке детали с режимами $n = 40$ об/мин, $S = 0,1$ мм/об, $P = 80$ Н. Подставив полученные режимы обработки в формулы (4) и (5) и приняв, что для схемы контакта двух цилиндрических тел $R_{np} = 4,92$ мм [5], получим значения коэффициентов $\lambda_s = 2,3$ и $\lambda_n = 393$, которые в дальнейшем можно будет использовать для расчета рациональных режимов ударно-акустической обработки, применяемых для пары трения сталь 45 — Бр АЖ–9-4.

По результатам экспериментов построены графики зависимости микротвердости и шероховатости поверхности от значений общего коэффициента обработанности.

На основании зависимости шероховатости поверхности от значений общего коэффициента обработанности (рис. 1) можно сделать вывод, что повышение коэффициента λ_{ns} незначительно влияет на параметр шероховатости R_a , который находится в пределах $R_a 0,24 - R_a 0,29$. Минимальное значение $R_a 0,24$ достигается при значениях $\lambda_{ns} = 1359 - 1815$.

На рис. 2 представлена зависимость микротвердости HV обработанной поверхности от значений λ_{ns} . Согласно полученному графику микротвердость возрастает с увеличением общего коэффициента обработанности до значений $\lambda_{ns} = 904 - 1359$ и составляет HV 483. При дальнейшем увеличении λ_{ns} микротвердость снижается.

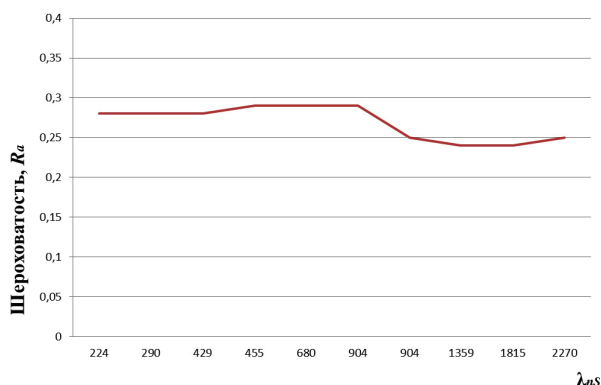


Рис. 1. Зависимость шероховатости обработанной поверхности от значений общего коэффициента обработанности λ_{ns}

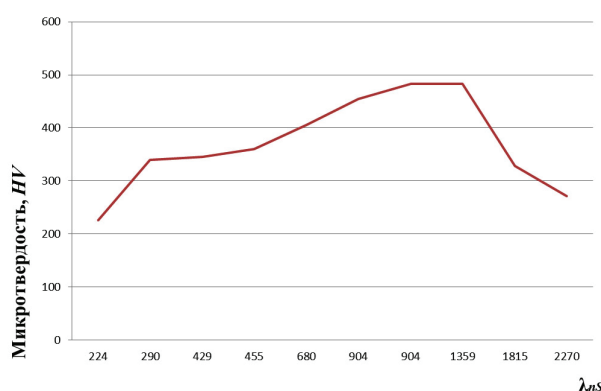


Рис. 2. Зависимость микротвердости обработанной поверхности от значений общего коэффициента обработанности λ_{ns}

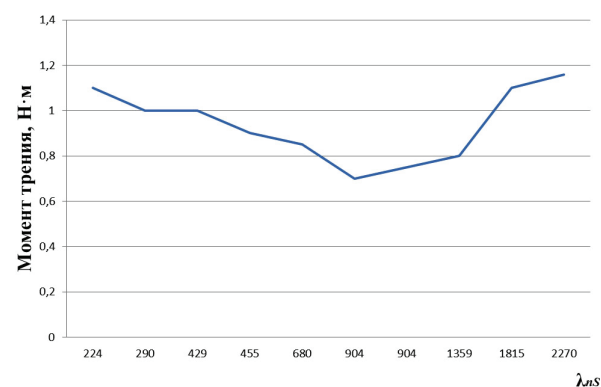


Рис. 3. Зависимость момента трения (пара трения сталь 45 — бронза БрАЖ–9-4) от значений общего коэффициента обработанности λ_{ns}

После проведения испытаний на износостойкость получена зависимость момента трения $M_{тр}$ от значений общего коэффициента обработанности (рис. 3).

При увеличении коэффициента обработанности от $\lambda_{ns} = 224$ до $\lambda_{ns} = 904$ момент трения снижается с 1,1 Н·м до 0,7 Н·м.

При дальнейшем увеличении до $\lambda_{ns} = 2270$ момент трения возрастает до 1,16 Н·м.

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Получена формула для определения общего коэффициента обработанности, а также уточненные формулы, позволяющие назначать рациональные технологические параметры ударно-акустической обработки.

2. Определены рациональные технологические параметры ударно-акустической обработки для пары трения сталь 45 — бронза БрАЖ—9-4, при которых достигается минимальный момент трения в период приработки. Такими параметрами являются: $n = 40$ об/мин, $S = 0,1$ мм/об, $P = 80$ Н.

3. На основе рациональных параметров обработки определены значения общего коэффициента обработанности $\lambda_{ns} = 904$, коэффициента обработанности в направлении подачи $\lambda_s = 2,3$ и в направлении главного движения $\lambda_n = 393$. Полученные коэффициенты могут быть использованы для назначения рациональных параметров обработки для материала сталь 45.

4. Получены зависимости шероховатости, микротвердости и момента трения от значений λ_{ns} . Установлено, что рациональным значением общего коэффициента обработанности, при котором достигается минимальный момент трения в период приработки, является $\lambda_{ns} = 904$.

Библиографический список

1. Шнейдер Ю. Г. Эксплуатационные свойства деталей с регулярным микрорельефом. 2-е изд., перераб. и доп. Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1982. 248 с.
2. Гаркунов Д. Н. Триботехника (износ и безызносность). 4-е изд., перераб. и доп. М.: Изд-во МСХА, 2001. 616 с.
3. Телевной А. В., Федоров А. А. Нанометаллургический процесс на основе объемной микропластичности // Омский научный вестник. 2006. № 3 (36). С. 104–107.
4. Скобелев С. Б., Ковалевский В. Ф. Технологические методы повышения износостойкости деталей пар трения: моногр. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2014. 116 с.
5. Скобелев С. Б., Ковалевский В. Ф. Изменение износостойкости стали 35 при ударно-акустической обработке с внедрением твердой смазки // Омский научный вестник. 2017. № 6 (156). С. 15–18.

6. Дрозд М. С., Матлин М. М., Сидякин Ю. И. Инженерные расчеты упругопластической контактной деформации. М.: Машиностроение, 1986. 224 с.

7. Дрозд М. С. Определение механических свойств металла без разрушения. М.: Металлургия, 1965. 170 с.

8. Скобелев С. Б., Масыгин В. Б. Исследование возможности управления геометрическими параметрами обработанной поверхности для определения износостойкости пар трения при ударно-акустической обработке // Упрочняющие технологии и покрытия 2008. № 3. С. 33–40.

9. Адлер Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М.: Наука, 1976. 268 с.

10. Асатурян В. И. Теория планирования эксперимента. М.: Радио и связь, 1983. 248 с.

СКОБЕЛЕВ Станислав Борисович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения» Омского государственного технического университета.

SPIN-код: 9403-3550

AuthorID (РИНЦ): 610722

БУРЫЙ Григорий Геннадьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Автомобили, конструкционные материалы и технологии» Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета, г. Омск.

SPIN-код: 4216-0384

AuthorID (РИНЦ): 659629

Адрес для переписки: skobelew@rambler.ru

Для цитирования

Скобелев С. Б., Бурый Г. Г. Исследование влияния режимов коэффициента обработанности на износостойкость стали 45 при ударно-акустической обработке // Омский научный вестник. 2018. № 4 (160). С. 23–26. DOI: 10.25206/1813-8225-2018-160-23-26.

Статья поступила в редакцию 07.05.2018 г.

© С. Б. Скобелев, Г. Г. Бурый