

ПОВЕРХНОСТНОЕ УПРОЧНЕНИЕ ЗАГОТОВОК ИЗ ПОРОШКОВЫХ СТАЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛАЗЕРНОГО НАГРЕВА

Исследовано влияние лазерной обработки на установке ЛС-2 спеченных втулок из материала СП100Д2,5-2 на изменение микротвердости, твердости и интенсивности изнашивания. Лазерная термообработка дает увеличение микротвердости поверхности порошковых материалов в 2–2,5 раза, твердости в 2–2,3 раза, а интенсивность изнашивания поверхности уменьшается в 3–5 раз.

Ключевые слова: термическая обработка, порошковый материал, лазерный нагрев.

В современных условиях инновационного развития, ограниченных материальных и энергетических ресурсах, приоритетными являются ресурсо- и энергосберегающие технологии. Именно к таким технологиям относятся большинство современных технологических процессов порошковой металлургии, позволяющих снизить издержки по сравнению с альтернативными процессами и получить уникальные свойства, достигаемые только технологией порошковой металлургии.

Для повышения физико-механических свойств порошковых материалов применяются различные методы. Закалка является одним из наиболее эффективных и в то же время простых способов повышения твердости и прочности материала деталей, что в свою очередь обеспечивает повышение их работоспособности.

В большинстве случаев целесообразно производить поверхностную закалку. Поверхностная закалка обладает рядом существенных преимуществ по сравнению с объемной закалкой. Так, отсутствие необходимости прогрева всего объема материала детали до высоких температур позволяет экономить энергию и время, при этом сердцевина детали остается вязкой и хорошо воспринимает ударные и другие нагрузки.

Высокие скорости нагрева могут обеспечить некоторые прогрессивные способы, одним из которых является лазерная термическая обработка.

Особенностью лазерной термической обработки сплавов (на практике используют различные приемы лазерной обработки – импульсными лучами или непрерывным лучом) является возможность образования дефектов в процессе воздействия луча лазера: отслаивания участков поверхностного слоя и оплавление материала с образованием сетки микротрещин в зоне воздействия. Установлено, что величина оптимальной плотности энергии упрочнения опре-

деляется структурой и составом материала и зависит от коэффициента перекрытия луча лазера, исходной шероховатости поверхности.

На данный момент существует большое количество работ, посвященных лазерной термической обработке быстрорежущих, углеродистых и легированных инструментальных сталей. Однако анализ работ, посвященных лазерному упрочнению изделий из порошковых материалов, показывает недостаточность изучения механизма влияния лазерного излучения на структуру и свойства. Наличие противоречивых данных по упрочнению изделий из порошковых материалов лазерной термической обработкой связано, возможно, с тем, что результаты работоспособности обработанных изделий определяются не только условиями лазерного воздействия, но и множеством факторов, которые накладываются предыдущими операциями в процессе их изготовления, а также большим разбросом свойств даже в одной партии.

Под действием лазерного излучения на обрабатываемой поверхности образуется дефектный слой, размеры которого определяются мощностью и длительностью лазерного импульса. При низкоэнергетическом облучении состояние поверхностного слоя практически не меняется. Высокоэнергетическое облучение приводит к оплавлению и частичному испарению металла из зоны действия, в результате чего образуется кратер, а структура приобретает несколько слоев разной морфологии. В центре кратера твердость максимальная, на границе выхода из кратера она резко уменьшается и в дальнейшем остается практически на одном уровне.

Зона термического влияния лазерного луча, распространяемая на глубину до 40–60 мкм от поверхности сплава, состоит из измельченных зерен. Между зоной термического влияния и

структурой основного материала находится переходный слой.

Обработка в непрерывном режиме имеет также свои оптимальные границы: мощность излучения 300–700 Вт, диаметр пятна фокусировки 1,5 мм, скорость перемещения лазерного луча 40–50 мм/сек.

В данной работе были проведены исследования по повышению прочности и твердости поверхности после лазерной обработки на установке ЛС-2 спеченных втулок из материала СП100Д2,5-2 ($D=22\text{ мм}$, $d=10,5\text{ мм}$, $H=16\text{ мм}$) (рисунок 1) с использованием метода многофакторного планирования экспериментов.

В соответствии с традиционной матрицей планирования 2^{4-1} была проведена термообработка втулок, при этом в качестве переменных факторов рассматривали:

X_1 – мощность, P , кВт (350–550);

X_2 – кратность обработки, n , (1–3);

X_3 – коэффициент перекрытия, k , (0,25–0,75).

Выходные параметры:

Y_1 – микротвердость упрочненного слоя, H_μ ;

Y_2 – коэффициент трения, $f_{\text{тр}}$;

Y_3 – относительный износ, ΔI .

Окончательные уравнения регрессии после отсева незначимых коэффициентов имеет вид:

$$Y_1 = 309 + 84x_1 - 37x_2 + 44x_3 - 20x_{12} + 30x_{13} - 17x_{123}$$

$$Y_2 = 0,056 + 0,009x_1 + 0,01x_3 + 0,007x_{13}$$

$$Y_3 = 0,055 - 0,007x_1 + 0,006x_2 + 0,009x_3 + 0,005x_{123}$$

Термообработку проводили в следующей последовательности:

– для удаления масла из пор образцы предварительно нагревались в печи ПМ при температуре 150–200 °С в течение 60 мин.

– втулки в количестве 6 штук закрепляли на поворотном приспособлении и проводили лазерную термическую обработку поверхности (рисунок 2).

После обработки втулки были порезаны на кольца с высотой 5 мм и сделаны микрошлифы, а затем была измерена микротвердость образцов на ПМТ-3. Измерение проводилось от наружного диаметра к внутреннему через 0,1 мм.

Зависимости микротвердости от мощности лазерного излучения, кратности обработки, коэффициента перекрытия и расстояния от наружного к внутреннему диаметрам (расстояние от края) показаны на рисунках 3–5.

Анализ поверхности графика 3 показывает, что с увеличением расстояния от края втулки к центру, при интервале измерения 0,1 мм, микротвердость образцов уменьшается в 2 раза,



Рисунок 1. Спеченные втулки из материала СП100Д2,5-2

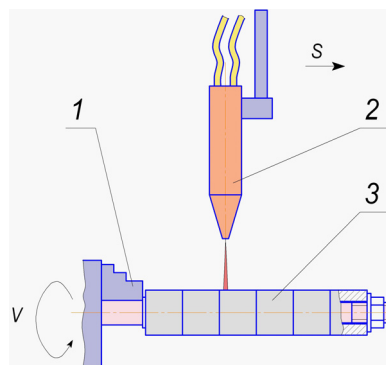


Рисунок 2. Схема процесса обработки заготовок (скорость вращателя $v = 1,5$ об/мин, скорость подачи $s = 5,45$ мм/мин)

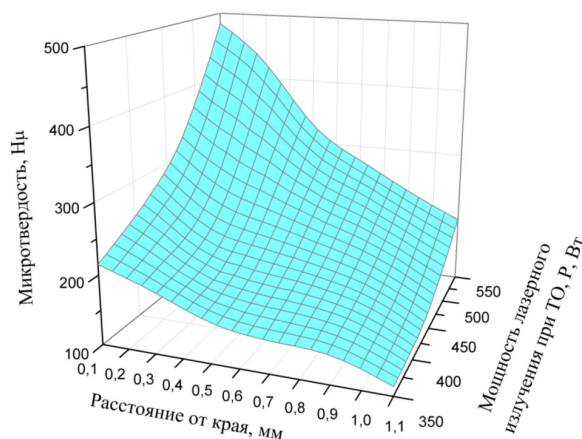


Рисунок 3. Зависимость микротвердости от мощности нагрева и расстояния от наружного к внутреннему диаметра

повышение мощности лазерного излучения при термообработке от 350 до 550 Вт дает повышение микротвердости в 2–2,5 раза. Поверхность на рисунке 4 показывает зависимость микротвердости от мощности нагрева и кратности обработки. На графике наблюдается увеличе-

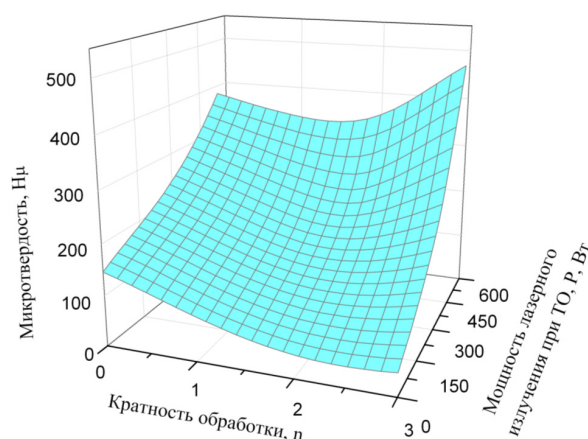


Рисунок 4. Зависимость микротвердости от мощности нагрева и кратности обработки

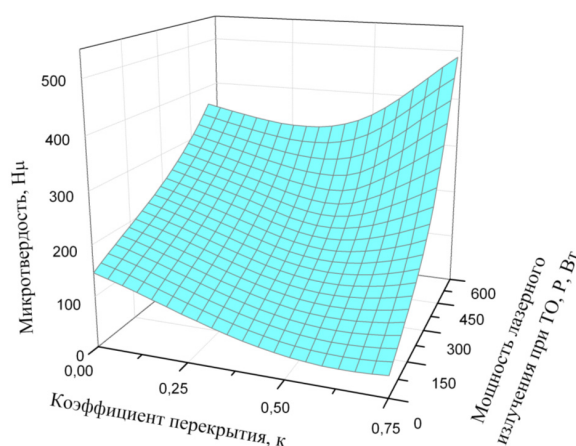


Рисунок 5. Зависимость микротвердости от мощности нагрева и коэффициента перекрытия

ние микротвердости в 2–2,5 раза в зависимости от мощности лазерного нагрева, а увеличение кратности обработки незначительно влияет на повышение микротвердости.

При увеличении коэффициента перекрытия в 3 раза микротвердость уменьшается, а при увеличении мощности нагрева коэффициент перекрытия незначительно влияет на общую тенденцию увеличения микротвердости поверхности (рисунок 5).

После измерения микротвердости была проанализирована микроструктура поверхности образцов при различной мощности лазерного излучения, кратности и коэффициента перекрытия (рисунок 6). На структуре образцов наблюдались плохо протравленные кромки глубиной от 0,01 до 0,05 мм, с высокой твердостью близкой к бесструктурному мартенситу 550 ÷ 600 Нц.

Учитывая высокую поверхностную твердость упрочненных лазерным лучом втулок, предположили высоконесущую способность поверхностного слоя. В связи с этим на модернизированной машине трения СМЦ-2 провели исследования на износостойкость.

Продолжительность испытаний составляла 20 минут на каждый образец. Замеры веса производились через каждые 5 минут. Для снятия замеров использовали весы лабораторные ВМ 510 Д. Результаты измерений представлены в таблице 1.

Интенсивность изнашивания рассчитывается по формуле:

$$I_h = \frac{\Delta m}{L_T},$$

где Δm – разность массы образца, гр.;
 L_T – пройденный путь, м.

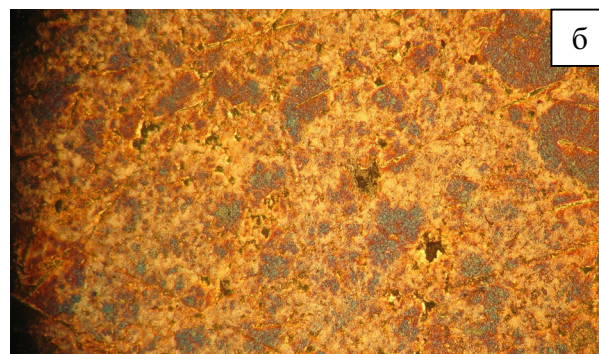
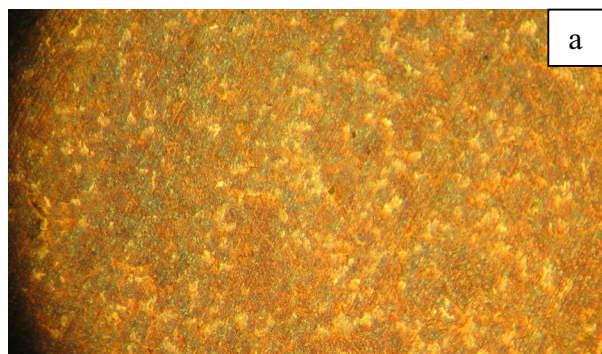


Рисунок 6. Микроструктура обработанных образцов в зависимости от режимов обработки: 350 Вт $k=1$, $n=1$ (а); 550 Вт $k=2$, $n=3$ (б)

Таблица 1. Результаты измерений износостойкости и коэффициента трения

№ опыта	Потеря мощности при трении, ΔW , кВт	Разность массы образца, гр				Коэффициент трения, $f_{тр}$	Интенсивность изнашивания, I_n , гр/м
		Δm_5	Δm_{10}	Δm_{15}	Δm_{20}		
1	20,28,27	0,019	0,036	0,054	0,071	0,08268	$6,85196 \cdot 10^{-05}$
2	26,14,19	0,032	0,041	0,066	0,082	0,04134	$7,91353 \cdot 10^{-05}$
3	14,30,15	0,010	0,020	0,040	0,049	0,08859	$4,72882 \cdot 10^{-05}$
4	14,19,17	0,022	0,014	0,046	0,064	0,05906	$6,17641 \cdot 10^{-05}$
5	30,19,18	0,011	0,017	0,025	0,031	0,05611	$2,9917 \cdot 10^{-05}$
6	18,11,16	0,014	0,033	0,053	0,070	0,03248	$6,75545 \cdot 10^{-05}$
7	17,14,14	0,016	0,025	0,034	0,044	0,04134	$4,24628 \cdot 10^{-05}$
8	14,18,30	0,009	0,019	0,029	0,039	0,05315	$3,76375 \cdot 10^{-05}$
9 (основной уровень)	15,17,14	0,011	0,024	0,038	0,049	0,05020	$4,72882 \cdot 10^{-05}$
10 (без термообработки)	14,13,13	0,893	1,136	1,435	1,724	0,03839	$16,63771 \cdot 10^{-05}$

Коэффициент трения определялся трехфазным измерителем-преобразователем К505 за счет разности мощности на валу двигателя с нагрузкой и без нагрузки.

С увеличением мощности лазерного излучения при термообработке коэффициент трения увеличивается в 3 раза, а коэффициент перекрытия уменьшает коэффициент трения в 1,5 раза. Интенсивность изнашивания уменьшается с увеличением кратности перекрытия и мощности лазерного излучения с 100 до 500 Вт в 3–5 раз.

Выводы:

1. Лазерная термическая обработка порошковых низколегированных материалов рассматривается как новый, наиболее высокоэффективный, низкзатратный способ повышения механических и эксплуатационных свойств. Излучение волоконного лазера мощностью 350–550 Вт обеспечивает глубину за-

калки от 0,15–0,45 мм со скоростями закалки порядка 6,28 мм/с.

2. Исследование образцов после лазерной термообработки показывает возможность применения данного вида термообработки для повышения механических свойств порошковых материалов. Повышение мощности более 550 Вт и кратности до 3 раз приводит к оплавлению поверхности, поэтому увеличение кратности термообработки не дает улучшения эксплуатационных свойств.

3. Лазерная термообработка дает повышение микротвердости поверхности порошковых материалов в 2–2,5 раза, твердости в 2–2,3 раза, интенсивность изнашивания поверхности уменьшается в 3–5 раз.

4. При закалке волоконными лазерами нет необходимости наносить поглощающие покрытия, это дополнительно снижает стоимость процесса и делает его экологически чистым.

20.09.2011

Работа выполнена при поддержке аналитической ведомственной целевой программы
«Развитие научного потенциала высшей школы (2011–2012 годы)»

Список литературы:

1. Термообработка порошковых сталей / С. И. Богодухов [и др.]. – Вестник ОГУ. – 2004. – № 5. – С. 150–153.
2. Скрипченко, А. И. Возможности лазерного поверхностного модифицирования деталей машиностроения / А. И. Скрипченко, В. О. Попов, С. Ю. Кондратьев // РИТМ. – 2010. – № 6. – С. 23–29.
3. Вертинская, Н. Д. Математическое моделирование многофакторных и многопараметрических процессов в многокомпонентных системах. – Иркутск : Изд-во ИрГТУ, 2000. – 286 с.

Сведения об авторах:

Козик Елена Станиславовна, доцент кафедры начертательной геометрии, инженерной и компьютерной графики Оренбургского государственного университета, кандидат технических наук, доцент

Чурносов Дмитрий Иванович, преподаватель кафедры материаловедения и технологии материалов Оренбургского государственного университета

Голявин Константин Алексеевич, аспирант кафедры материаловедения и технологии материалов Оренбургского государственного университета

460018, г. Оренбург, пр-т Победы, 13, тел. (3532) 372511, e-mail: matm@mail.osu.ru

UDC 621.785.5

Kozik E.S., Churnosov D.I., Goljavin K.A.

Orenburg state university, e-mail: matm@mail.osu.ru

SUPERFICIAL THERMAL PROCESSING OF PRODUCTS FROM POWDER MATERIALS WITH USE OF LASER HEATING

Influence of laser processing of plugs from powder steels on change of microhardness, hardness and intensity of wear process is investigated. Laser heat treatment gives increase in micro-hardness of a surface of powder materials in 2–2,5 time, hardness in 2–2,3 times, and intensity of wear process of a surface decreases in 3–5 times.

Key words: thermal processing, a powder material, the laser th heating

Bibliography:

1. Heat treatment powder staly / S. I. Bogodukhov [et al.] // Vestnik OSU. – 2004. – № 5. – P. 150–153.
2. Skripchenko, A. I. Possibilit of laser superficial modifying of details of mechanical engineering / A. I. Skripchenko, V. O. Popov, S. Yu. Kondratyev // RHYTHM. – 2010. – № 6. – P. 23–29.
3. Vertinskaya, N. D. Mathematical modeling of multiple-factor and multiple parameter processes in multicomponent systems / N. D. Vertinskaya. – Irkutsk, 2000. – 286 p.