

ВЛИЯНИЕ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ НА КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТИ ЧЕРНЫХ МЕТАЛЛОВ

Алисин В.В.

*Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук,
Москва*

Ключевые слова: лазерная обработка, шероховатость, трибологические испытания, трение, приработка поверхности, опорная кривая.

Аннотация. На основе обзора литературных данных посвященных влиянию лазерной упрочняющей обработки на формирование шероховатости поверхности проведено исследование параметров шероховатости на поверхностях трения обработанных лазером образцов из ковкого и серого чугунов. Эксперименты проведены в исходном состоянии и после трибологических испытаний. Рекомендовано после обработки лазером выполнять доводочную механическую обработку.

THE EFFECT OF LASER TREATMENT ON THE SURFACE QUALITY OF FERROUS METALS

Alisin V.V.

*Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences,
Moscow*

Keywords: laser treatment, roughness, tribological tests, friction, surface run-in, reference curve.

Abstract. Based on a review of the literature data on the effect of laser hardening treatment on the formation of surface roughness, a study of the roughness parameters on the friction surfaces of laser-treated samples of malleable and gray cast iron was carried out. The experiments were carried out in the initial state and after tribological tests. It is recommended to perform finishing machining after laser treatment.

Введение. Шероховатость поверхности влияет на трибологические характеристики пар трения, поэтому уделяется много внимания к исследованиям микрогеометрии поверхности формирующейся после лазерной обработки поверхности. В статье [1] был предложен метод улучшения шероховатости поверхности материалов с использованием лазерной обработки с наложением ультразвуковой вибрации. Были проведены сравнительные эксперименты в которых установлено, что средняя арифметическая высота поверхности может быть уменьшена примерно на 0,21-1,83 мкм. В исследовании [2] изучалось влияние широкого диапазона параметров лазерной обработки на шероховатость поверхности. Среднеарифметическую шероховатость поверхности R_a измеряли с помощью конфокальной микроскопии. Сканирующий электронный микроскоп использовался для изучения детальных характеристик микроструктуры. Увеличение мощности лазера и скорости обработки приводит к образованию шероховатых поверхностей. В работе [3] были разработаны теоретические модели для моделирования рельефа поверхности и шероховатости деталей, полученных методом лазерного наплавления в порошковом слое и процесса полировки в качестве последующей обработки. Шероховатость поверхности [4] в

большой мере определяет качество и адгезию покрытий для защиты поверхностей трения от износа. Работа [5] посвящена характеристикам при кручении нержавеющей стали. Особое внимание было уделено модификации поверхности с помощью лазерной обработки. Мощность лазера варьировалась для установления оптимальных параметров шероховатости. Установлено, что при плотности мощности лазера $14,1 \text{ Дж/см}^2$, образуется шероховатость поверхности $4,6 \text{ мкм}$ соответствующая оптимальной обработке поверхности. В работе [6] исследовалась лазерная полировка. Установлено, что шероховатость поверхности может быть уменьшена на $85,2\%$ с $Ra = 21,6 \text{ мкм}$ до $Ra = 3,2 \text{ мкм}$. Выполнено контролируемое [7] текстурирование покрытия путем абляции с использованием лазера с наносекундным импульсом. Установлено, что начиная с плотности энергии лазерного луча 154 Дж/см^2 , поверхности демонстрировали водоотталкивающую способность.

Цель работы состоит в изучении шероховатости поверхностей трения черных металлов после лазерной упрочняющей обработки непрерывным лазерным излучением.

Оборудование. Образцы обрабатывались непрерывным лазерным излучением мощностью $1,5 \text{ кВт}$.

Шероховатость поверхностей определялась по профилограммам полученным на профилографе завода «Калибр» модели 201.

Результаты. Фрикционное взаимодействие поверхностей при трении протекает в пятнах фактического касания, образующихся при соприкосновении неровностей. Совокупность пятен касания составляет фактическую площадь касания, на величину которой наиболее сильно влияет шероховатость поверхностей. Исходя из мощности лазерного излучения и скорости перемещения образца относительно падающего луча возможны следующие варианты лазерной обработки поверхностей.

- Оплавление поверхности, когда качество поверхности с точки зрения изменения шероховатости ухудшается. Поверхность очень грубая, поэтому механическая обработка обязательна.

- Поверхность находится на грани оплавления. При таком режиме обработки толщина расплавленного слоя соизмерима с высотой исходной шероховатости.

- Поверхность не оплавляется, однако и при такой обработке может возникнуть необходимость дополнительной механической обработки, если нарушения топографии поверхности за счет твердофазных превращений превышают допуски на посадки в сопряжении деталей машины. Следовательно, качество поверхности при прочих равных условиях зависит от плотности мощности при непрерывном излучении. Шероховатость поверхности образца из чугуна в исходном состоянии характеризуется параметром $R_{\text{max}} = 8 \text{ мкм}$, а после лазерной обработки $R_{\text{max}} = 19 \text{ мкм}$, т.е. увеличилась в 2 раза. Для сравнения отметим, что поверхность стали 38ХНЗМА в исходном состоянии имела $R_{\text{max}} = 6 \text{ мкм}$, а после лазерной обработки $R_{\text{max}} = 9 \text{ мкм}$, т.е. в 1,5 раза больше. Параметры лазерной обработки выбирались из условия обеспечения лучших эксплуатационных показателей. Превышение уровня излучения приводит к

образованию слоя, ослабленного микротрещинами, причем сетка трещин равномерно распределяется вдоль полосы упрочнения. Протяженность и глубина трещин возрастают с увеличением энергии излучения и в пределе может иметь место отслоение частиц. Оплавление поверхности значительно уменьшает число повреждений под упрочненным слоем.

Применительно к задачам трения и износа более важно знать не только высоту профиля шероховатости – $R_{\max}$ по ГОСТ 2789-73, но и степень остроты выступов, а также распределение выступов по высоте. Достаточно полную информацию несет безразмерная комплексная характеристика шероховатости

$$\Delta = \frac{R_{\max}}{Rb^{1/v}}, \text{ где } R - \text{радиус закругления поверхностей, } b \text{ и } v - \text{параметры}$$

опорной кривой шероховатости, b – заключено в пределах от 0,7 до 4; v – в пределах от 1 до 3. Для многих видов обработки поверхностей и приработанных поверхностей $b=2$; $v=2$, что в первом приближении соответствует нормальному закону распределения материала в поверхностном слое.

В таблице 1 приведены параметры шероховатости поверхностей до и после лазерной обработки, а также значения этих параметров после завершения приработки при заданном давлении.

Табл. 1. Параметры шероховатости образцов

Образец	P , МПа	Параметры шероховатости				
		$R_{\max}$, мкм	R , мкм	b	v	$\Delta = \frac{R_{\max}}{Rb^{1/v}}$
Ковкий чугун неулучшенный	-	21	14	1,35	1,81	1,27
	40	18	36	1,9	1,55	0,33
	60	36	169	5,5	3	0,125
Ковкий чугун На грани оплавления	-	9,8	78	2,9	1,69	9,03
	40	6,5	61	1,6	1	0,066
	60	12	90	1,5	1,8	0,106
Серый чугун На грани оплавления	-	9,5	98	2,3	1,94	0,063
	40	7	186	1	1,19	0,037
Серый чугун С оплавлением	-	15,5	195	2,5	1,9	0,05
	40	10	540	3	1,4	0,008
	60	7	109	2,7	2	0,039

В процессе приработки шероховатость поверхности в основном уменьшается и формируется шероховатость, величина которой определяется сдвиговой прочностью молекулярных связей в зонах фактического касания, упругими свойствами материала при температуре трения, а также нормальным давлением на контакте P (МПа).

Выводы. В технологическом аспекте учет особенностей формирования микрорельефа поверхностей при лазерной обработке деталей машин важен при повышенных требованиях к точности сопрягаемых деталей, а также для исключения задира поверхностей трения в случае образования чрезмерно грубой шероховатости.

Список литературы

1. Wang Y., Zhang M., Yin J., Dong Y., Zhao Z., Zhang X., Lin B. Effect of ultrasonic vibration-assisted laser treatment on surface roughness and wettability of aluminum // *Optics & Laser Technology*. 2022, vol. 150, p. 107969.
2. Zhang T., Yuan L. Understanding surface roughness on vertical surfaces of 316 L stainless steel in laser powder bed fusion additive manufacturing // *Powder Technology*. 2022, vol. 411, p. 117957.
3. Teimouri R., Sohrabpoor H, Grabowski M., Wyszynski D., Skoczypiec S., Raghavendra R. Simulation of surface roughness evolution of additively manufactured material fabricated by laser powder bed fusion and post-processed by burnishing // *Journal of Manufacturing Processes*. 2022, vol. 84, pp. 10-27.
4. Карцев С.В. Физико-математическое моделирование поверхности для нанесения износостойких покрытий плазменным напылением // *Проблемы машиностроения и надежности машин*. – 2021. – № 3. – С. 47-54.
5. Smeacetto F., Zanchi E., Meena D. Menon N., Janner D., Lamnini S., Salvo M., De La Pierre S., Javed H., Ferraris M. Torsional behaviour of glass-joined, laser-processed Crofer 22 APU interconnect: Unravelling the effect of surface roughness on the shear strength // *Ceramics International*. 2022, vol. 48, no. 22, pp. 32837-32843.
6. Grub P., Hofele M., Schanz J., Kolb D., Riegel H. Laser polishing of additive manufactured L-PBF copper parts with visible laser wavelength of 515 nm – Challenges due to high surface roughness // *Procedia CIRP*. 2022, vol. 111, pp. 684-688.
7. Carrascosa L.A.M., Zarzuela R., Botana-Galvín M., Botana F.J., Mosquera M.J. Achieving superhydrophobic surfaces with tunable roughness on building materials via nanosecond laser texturing of silane/siloxane coatings // *Journal of Building Engineering*. 2022, vol. 58, 104979.
8. Комбалов В.С. Основы оптимизации поверхностей на базе теории трения и изнашивания твердых тел // *Трение и смазка в машинах и механизмах*. – 2006. – № 2. – С. 3-7.

Сведения об авторе:

Алисин Валерий Васильевич – к.т.н., ведущий научный сотрудник.