

ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ДЕТАЛЕЙ МЕТОДОМ ПОВЕРХНОСТНО-ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ НА УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ЧАСТОТЕ

Коломеец Н.П.¹, Лбов А.А.¹, Новик А.А.²

1 - ФГУП «ПО «Севмаш», г. Северодвинск

2 - ООО «Ультразвуковая техника - ИНЛАБ», г. Санкт-Петербург

Реферат

INCREASING OF DETAILS DURABILITY BY SURFACE-PLASTIC DEFORMATION METHOD AT ULTRASONIC FREQUENCY.

Kolomeets N.P.¹, Lbov A. A.¹, Novik A.A.²

1 – «SEVMASH Production Association», c. Severodvinsk

2 - «Ultrasonic technique - INLAB» LTD, c. Saint-Petersburg

Method of ultrasonic smoothing or ultrasonic finishing treatment (UFT) is destined for reducing of roughness, increasing of micro-hardness and forming of compressing residual stresses. Principle of UFT effect on detail is defined by alternate deformations of compression and shear, arising in surface layer of detail as a result of indenter action, which oscillates normally with ultrasonic frequency and moves along a surface.

Experimental researches which allow finding out main regularities of UFT technological parameters and instrument construction features effect on durability factors of surface layer in comparison with other surface-plastic deformation (SPD) methods were carried out.

Equipment for UFT of opened surfaces and planes was created and also for inner and outer details surfaces of figure-of-revolution type on base of ultrasonic magnetostrictive transducers with low losses coefficient and high endurance for UFT, which proved to be good in exploitation.

При упрочняюще-чистовой обработке поверхностным пластическим деформированием (ППД) дефекты, созданные в поверхностном слое детали на предшествующих операциях резания, особенно при шлифовании, в значительной мере ликвидируются, слой упрочняется, в нем создаются сжимающие остаточные макронапряжения, долговечность деталей возрастает. К традиционным методам ППД относятся обкатывание шаром или роликом, полирование, алмазное выглаживание и т.п.

Наиболее перспективным способом при этом является обработка ультразвуковым инструментом или ультразвуковая финишная обработка (УФО). При выглаживании деталей на ультразвуковой частоте за счет импульсного характера воздействия обработки эффективность воздействия на материал детали еще более возрастает.

Сложение статического напряжения с амплитудным значением знакопеременного ультразвукового напряжения в определенной части цикла делает суммарное напряжение достаточным для

преодоления дислокациями потенциальных барьеров, т.е. для начала более раннего появления пластических деформаций. Наблюдаемое в процессе пластического деформирования уменьшение напряжений при воздействии ультразвука наряду с действием акустических напряжений можно объяснить активацией задержанных дислокаций, вследствие чего процесс их движения облегчается.

Способ ультразвукового выглаживания был предложен И.И. Мухановым и др. [2,3] для того, чтобы добиваться снижения шероховатости, повышения микротвердости и формирования сжимающих остаточных напряжений. Все это обеспечивается чередующимися деформациями сжатия и сдвига, возникающими в поверхностном слое детали в результате воздействия индентора, нормально колеблющегося с ультразвуковой частотой и смещающегося вдоль поверхности, схема ультразвукового выглаживания представлена на рис. 1.

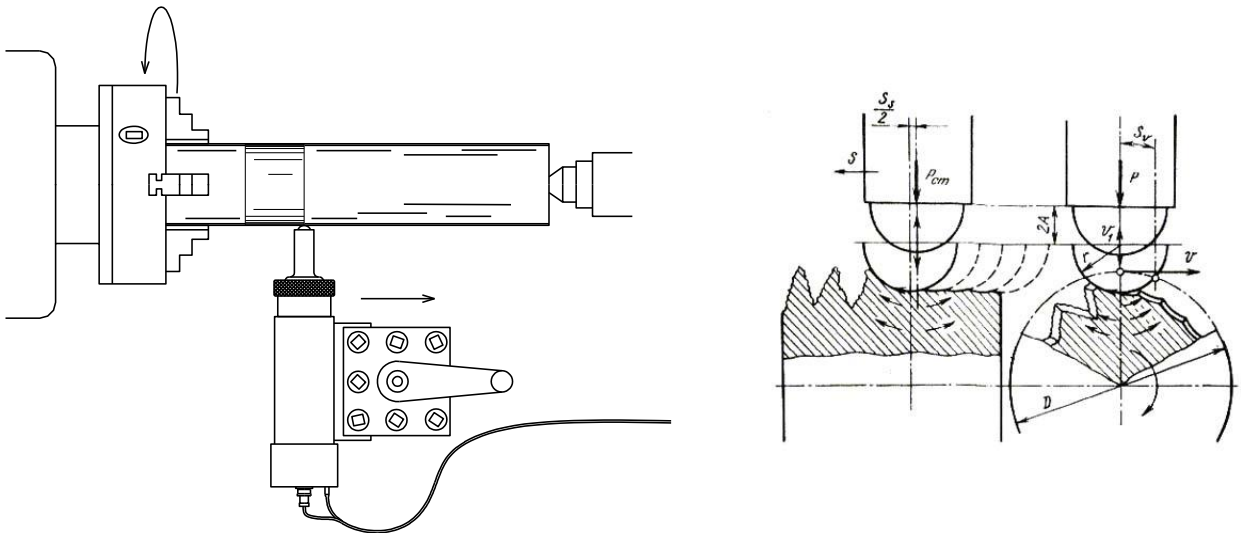


Рис.1. Схема ультразвукового выглаживания.

Основными показателями ультразвуковой обработки являются толщина и степень наклепа, величина остаточных макронапряжений сжатия и шероховатость поверхности [2].

Возможность получения при ультразвуковом воздействии на сталь и чугун специфических высокоэффективных, с точки зрения физико-механических свойств [4] и нанокристаллических структур [5, 6] указывает на важность изучения и развития метода УФО.

На ФГУП «ПО «Севмаш» в научно-

исследовательском технологическом и испытательном центре и в ООО «Ультразвуковая техника - ИНЛАБ» на базе ультразвуковых магнитострикционных преобразователей, обладающих низким коэффициентом потерь и высоким ресурсом работы, создан целый ряд технологического оборудования для ППД на ультразвуковой частоте с целью замены финишной обработки на специализированных станках. Общий вид оборудования приведен на рисунках 2 – 5.



Рис.2. Технологическая система для ультразвуковой финишной обработки тел вращения «УФО – 98»



Рис.3. Инструмент комплекта ИЛ-4 для упрочняюще-чистовой ультразвуковой обработки



Рис.4. Оборудование для УФО отверстий

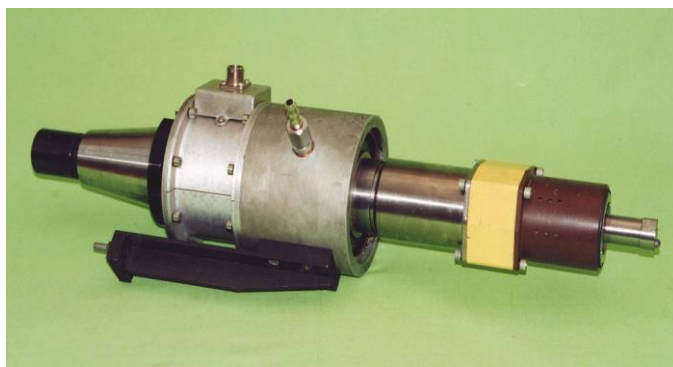


Рис.5. Оборудование для УФО на станках фрезерной группы

С помощью созданного оборудования были обработаны образцы из стали 018X14HT и бронзы БрА9Ж4Н4.

Обобщенные данные по изменению твердости поверхностного слоя материала приведены в таблице 1.

Твердость поверхностного слоя.

Таблица 1

Сталь нержавеющая 018X14HT		Бронза БрА9Ж4Н4	
Исходное состояние	Обработанное ультразвуком	Исходное состояние	Обработанное ультразвуком
24 HRC _Э	29 HRC _Э	121 НВ	143 НВ

В результате проведенных экспериментальных исследований установлено, что эффект от УФО происходит в изменении твердости поверхности и для бронзы он более значителен, чем для нержавеющей стали.

Для выявления сравнительных оценок влияния УФО на показатели качества поверхностного слоя по сравнению с традиционными методами

ППД проводились следующие эксперименты, где наряду с шероховатостью оценивалась также эффективность применения УФО для повышения износостойкости поверхности при малых статических силах выглаживания.

Результаты экспериментальных данных приведены в табл. 2. и 3. По сравнению с механическим полированием износостойкость деталей подвергнутых УФО, увеличивается примерно в 1,5 раза.

Таблица 2

Сравнительные показатели шероховатости при обкатывании шаром и УФО. (сталь 45)

Показатели	Способ упрочнения	
	Обкатывание шаром	УФО
Шероховатость R _a , мкм	0,32 - 0,63	0,16 - 0,32
Степень упрочнения (наклепа), %	20-50	120
Величина сжимающих остаточных напряжений, кгс/мм ²	35	100
Относительная износостойкость при трении скольжения, %	100	200

Исходная шероховатость R_a = 5 мкм

Таблица 3

Сравнительные показатели износостойкости поверхности при полировании и алмазном выглаживании сталей X15H5Д2Т с применением и без применения ультразвука.

Вид обработки	Режим выглаживания		Относительная износостойкость
	Р, кгс	А, мкм	
Полирование	-	-	1,00
Алмазное выглаживание	10	0	1,18
	20	0	1,35
	35	0	1,45
	5	5	1,22
	10	5	1,45
	20	5	1,49

где:

Р – статическое усилие прижима инструмента к детали;

А – амплитуда колебаний ультразвукового инструмента.

В связи с тем, что применение УФО предполагает значительное снижение статических сил прижима инструмента к обрабатываемой детали, метод УФО наиболее эффективен, а часто является единственным способом при обработке деталей малой жесткости (тонкостенных), а также деталей с различными покрытиями, не допускающих применения значительных нагрузок.

После УФО в поверхностном слое образцов наблюдаются остаточные напряжения сжатия. Благоприятно влияет УФО и на усталостную прочность, рис. 6.

Предел выносливости σ_{-1} выглаженных образцов на 40% выше, чем полированных. УФО по сравнению с обычным выглаживанием обеспечивает некоторое повышение σ_{-1} , что объясняется более благоприятным микрорельефом сформированной поверхности. Так, для титанового сплава ВТ-22 на базе 10^7 циклов предел выносливости при УФО увеличивается от 68 до 75 кгс/см².

Таблица 4

Усталостная прочность при полировании и выглаживании.

Материал	Вид обработки	Режим обработки			Предел выносливости σ_{-1} , кгс/мм ²	$\frac{\sigma_{-1\text{вын.}}}{\sigma_{-1\text{пол.}}} \cdot 100\%$
		Р, кгс	S, мм/об	А, мкм		
12Х18Н9Т	Полирование	-	-	-	23	100
	Выглаживание	20	0,07	-	30	130
		7,5	0,07	5	32	139
Х15Н5Д2Т	Полирование	-	-	-	48	100
	Выглаживание	15	0,07	-	58	121
		7,5	0,07	5	65	136
		15	0,07	5	69	144

где S – величина подачи инструмента на станке;

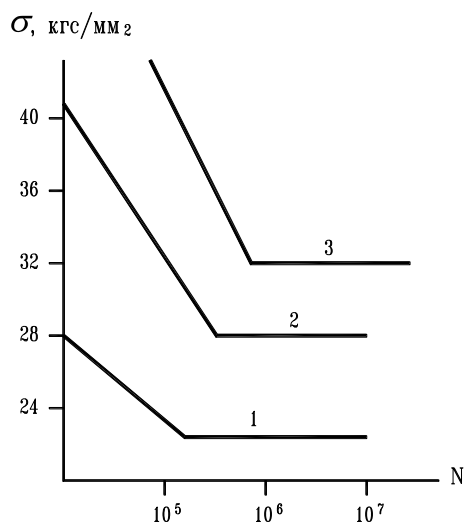


Рис.6. Кривые выносливости образцов стали 12X18H9T.

1 – при полировании; 2 – при обычном выглаживании, $R_{ст} = 20$ кгс; 3 – при УФО, $R_{ст} = 7,5$ кгс

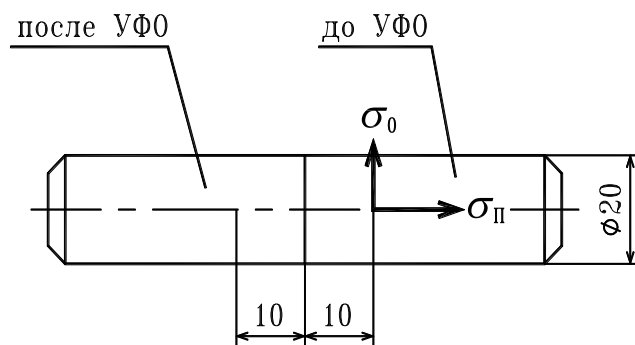


Рис. 7. Схема диагностики остаточных напряжений в образцах №№ 3,4, 15.

Таблица 6.

Качество поверхности и усталостная прочность стали 12X18H9T при обычном выглаживании и УФО.

Выглаживание	P, кгс	Rz, мкм	H, кг/мм ²	H, мм	σ_{-1} , кгс/мм ²
обычное	20	0,49	370	0,38	30
УФО	7,5	0,30	360	0,35	31
	20	0,25	390	0,50	-

Методом рентгеноструктурного анализа определены остаточные напряжения в поверхностном слое образцов. Диагностика выполнялась по схеме,

приведенной на рис. 7, в продольном σ_{II} и окружном σ_0 направлениях в точках, равноудаленных на 10 мм от границы раздела поверхностей.

Таблица 7.

Остаточные напряжения в образцах из стали 20X13.

Номер образца	Напряжения, кгс/мм ²			
	До УФО		После УФО	
	σ_0	σ_{II}	σ_0	σ_{II}
3	-7,0	+13,2	-75,6	-34,0
4	-13,1	+14,7	-80,0	-38,2
15	-3,8	+18,6	-82,2	-31,6

Результаты замеров остаточных напряжений показывают, что как в продольном, так и в поперечном направлениях ультразвуковая обработка или создает или значительно увеличивает по величине сжимающие напряжения, что является благоприятным фактором, так как

препятствует зарождению и развитию трещин.

Результаты сравнительных испытаний позволяют сделать следующие выводы, что при УФО по сравнению с традиционным ППД повышается износостойкость в среднем на 45% (традиционное ППД на 35%).

Выводы:

1. Разработано и хорошо зарекомендовало себя оборудование для ультразвуковой финишной (безабразивной) обработки открытых поверхностей и плоскостей, а также внутренних и наружных поверхностей деталей типа тел вращения на базе ультразвуковых магнитострикционных преобразователей, обладающих низким коэффициентом потерь и высоким ресурсом работы.

2. Проведены экспериментальные исследования, позволяющие выявить основные закономерности влияния технологических параметров УФО и конструктивных особенностей инструмента на показатели качества поверхностного слоя в сравнении с другими методами ППД.

Литература

1. Марков А.И., Устинов И.Д. Ультразвуковое алмазное выглаживание деталей и режущего инструмента. М., Машиностроение 1979, 54 с.

машин ультразвуковым инструментом. - М.: Машиностроение, 1978.- 44 с.

3. Муханов И.И. Ультразвуковая упрочняюще-чистовая обработка стали и чугуна. - Вестник машиностроения, 1968, № 6, с.64..66.

4. Бабей Ю.И. Физические основы импульсного упрочнения стали и чугуна. – Киев: Наук. Думка,1988.–240с.

5. Liu G., Lu J., Lu K. Surface nanocrystallization of 316L stainless steel induced by ultrasonic shot peening. // Abstracts of the International Conference on Advanced Materials. China. Beijing. –1999. –P.41.

6. Tao N.R., Sui M.L., Lu J., Lu K. Surface nanocrystallization in Fe induced by ultrasonic shot peening. // Abstracts of the International Conference on Advanced Materials. China. Beijing. –1999. –P.41.

7. Патент №2247644, Россия, Устройство для ультразвуковой чистовой финишной обработки поверхностей./Новик А.А.

2. Муханов И.И. Импульсная упрочняюще-чистовая обработка деталей