

УДК 539.311: 621.891

ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКИ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА БОРИРОВАННОГО СЛОЯ

Нечаев Л.М., Фомичева Н.Б., Канунникова И.Ю., Маркова Е.В.

Тульский государственный университет, Тула

Подробная информация об авторах размещена на сайте

«Учёные России» - <http://www.famous-scientists.ru>

В работе изучалось влияние ультразвука на распределение остаточных макро- и микронапряжений, а также размеров блоков при борировании поверхности стали. Меньшая величина блоков на поверхности борированного слоя в случае закалки с ультразвуком свидетельствует о том, что на размельчение блоков в большей степени влияет знакопеременное поле ультразвука, чем фазовое превращение, проходящее в процессе закалки стали 45. Меньшая величина блоков у поверхности в случае закалки с ультразвуком является основным фактором, улучшающим физико-механические свойства борированного слоя.

При борировании сталей кроме изменения химического состава в поверхностном слое происходят фазовые превращения, сопровождающиеся объёмными изменениями. Это приводит к появлению в поверхностном слое металла остаточных макро- и микронапряжений, влияющих на усталостную прочность и износостойкость упрочнённых деталей. При закалке борированных изделий, вследствие неоднородности нагрева и охлаждения разных зон изделия, создаются дополнительные напряжения, которые суммируются с напряжениями после борирования.

От характера распределения суммарных остаточных напряжений и их величины зависят физико-механические и эксплуатационные свойства борированного слоя. Благоприятное распределение эпюр остаточных микронапряжений в значительной степени способствуют улучшению этих свойств.

Рациональная эпюра остаточных напряжений $\sigma_{ост}$ после борирования имеет место в том случае, когда минимальные сжимающие напряжения распределяются по всей глубине борированного слоя, на поверхности же имеются небольшие сжимающие напряжения, а максимум этих напряжений приходится на зону слоя Fe₂B с большим удельным объёмом.

В поверхностном слое при всех амплитудах ультразвуковых напряжений

возникают небольшие сжимающие напряжения, равные 800-1000 мПа. В средней части борированного слоя при максимальных амплитудах ультразвуковых напряжений равных 18,9 кгс/мм² и 17,0 кгс/мм² получены небольшие растягивающие напряжения от 30 до 50 мПа. В средней части борированного слоя при минимальных амплитудах ультразвуковых напряжений, равных 2,3 кгс/мм² - величина сжимающих напряжений составляет ~70 мПа. В глубине борированного слоя при тех же амплитудах ультразвуковых напряжений возникают растягивающие напряжения, равные ~ 200 мПа. Там же при максимальных амплитудах ультразвуковых напряжений 18,9 кгс/мм² и 17,6 кгс/мм², соответствующих температурам насыщения 954°C и 985°C, соответственно получены растягивающие равные ~ 50 мПа и сжимающие равные ~ 100 мПа.

Анализ полученных эпюр микронапряжения при борировании по длине волновода в зависимости от амплитуды ультразвуковых напряжений показал, что при максимальных амплитудах ультразвуковых напряжений получается наилучшее распределение напряжений, в особенности при амплитудах ультразвуковых напряжений равных 17,6 кгс/мм² и температуре на образце, равной 985°C. Такое распределение напряжений по глубине борированного слоя при последующей закалке создаёт небольшие результирующие сжимающие

напряжения по всему сечению борированного слоя с минимальными напряжениями сжатия у поверхности. Это даёт возможность получать упрочнённую поверхность после борирования и закалки, не склонную к трещинообразованию. Для исследования макронапряжений, возникающих

при закалке борированной стали, в качестве эталонных образцов были взяты образцы из стали 45, отожжённые в расплаве буры и в вакууме. Данные по распределению эпюр макронапряжений представлены в таблице 1.

Таблица 1. Данные по влиянию способа закалки борированных сталей на остаточные макронапряжения $\sigma_{ост}$ (МПа)

Глубина борированного слоя от поверхности, мкм	Закалка	
	Без УЗК	С УЗК
50	-330	-280
100	-330	-330
150	150	230

Характер распределения $\sigma_{ост}$ - эпюр напряжений при закалке борированной стали с ультразвуком и без него фактически одинаков. По всей глубине борированного слоя получены сжимающие напряжения. При закалке без ультразвука они составляют у поверхности 220МПа; на глубине порядка ≈ 60 мкм- 350 мПа (в зоне слоя FeV); на глубине ≈ 150 мкм они минимальны и равны ≈ 150 МПа. При закалке с ультразвуком эти напряжения составляют соответственно: у поверхности ≈ 180 мПа; на глубине ≈ 100 мкм около 300МПа (в зоне слоя Fe₂ V); и на глубине 150мкм несколько нивелируются до уровня ≈ 250 МПа.

при закалке с ультразвуком увеличивается скорость охлаждения и улучшаются условия теплообмена, происходит наиболее полное мартенситное превращение в основе стали. Мартенсит, обладающий большим удельным объёмом, создаёт значительные растягивающие напряжения под борированным слоем, которые, суммируясь с остаточными напряжениями, полученными после борирования, создают меньшие результирующие сжимающие напряжения, выровненные по всей глубине борированного слоя, способствуя повышению физико-механических свойств борированной стали.

Снижение величины сжимающих остаточных напряжений при закалке с ультразвуком можно объяснить тем, что

Результаты исследования приведены в табл. 2.

Таблица 2. Данные по макро ($\sigma_{осн}$)- и микро ($\sigma_{вн}$)- напряжениям и размерам блоков (D*) при обработке борированных Армко-железа и стали 45 с ультразвуком и без него

Материал	σ^* , кг/мм ²	Температура T, °C	Глубина борированного слоя h _{ср} , мкм												
			50 км						100 мкм						
			С воздействием ультразвука		Без УЗК		С воздействием ультразвука		Без УЗК		С воздействием ультразвука		Без УЗК		
Сталь 45	--	880	--	--	4	--	0,14	--	--	--	--	--	--	--	--
	--	880	--	--	11,2	--	0,42	--	--	--	--	--	--	--	--
	--	880	--	--	0,92	--	0,13	--	--	--	--	--	--	--	--
	--	880	--	--	9,0	--	0,21	--	--	--	--	--	--	--	--
	--	880	--	--	1,3	--	0,10	--	--	--	--	--	--	--	--
	--	910	-33	-28	-27	-25	0,15	0,10	-30	27	0,10	-23	-26	0,20	0,20
Армко-железо	18,3	954	--	-10	--	-30	--	0,20	4,0	16	0,40	4,0	4,0	0,20	
	0,0	965	--	-7	--	6	--	1,18	-6,0	4,0	1,20	20	20	1,18	
	17,4	985	--	-10	--	8	--	0,1	4,0	5,0	0,3	10	16	0,15	

Примечание: σ^* - амплитуда ультразвуковых напряжений.

Закалка борированной стали без последующего отпуска увеличивает величину

$\sigma_{вн}$ напряжений в матрице почти в де-

сать раз по сравнению с закалённой неборированной сталью.

Борирование стали без последующей термообработки вызывает в матрице появление очень небольших микронапряжений порядка 10 мПа.

Величина блоков зёрен для всех приведённых в табл. 2 видов химико-термической обработки стали 45, составляет порядка $(0.1-0.2) \cdot 10^{-5}$ см и в два раза больше в случае закалки борированной стали без отпуска.

При борировании с ультразвуком на волноводе в максимумах и минимумах амплитуд ультразвуковых напряжений получены следующие $\sigma_{\text{вн}}$ - напряжения по глубине борированного слоя: при максимальной амплитуде ультразвуковых напряжений 18.3 кгс/мм^2 , соответствующей температуре в зоне образца 954°C на поверхности возникают максимальные остаточные макронапряжения – 30 кгс/мм^2 , линейно изменяющиеся по всей глубине до 40 мПа.

При максимальной амплитуде ультразвуковых напряжений, равной 17.4 кгс/мм^2 и температуре в зоне образца 985°C характер изменения остаточных макронапряжений (как и микроискажений) нелинейный и составляет на поверхности - ~ 80 мПа, на глубине 30 мкм от поверхности около 60 мПа и на границе борированного слоя с основной порядка 160 мПа. При минимальных амплитудах ультразвуковых напряжений, равных нулю и температуре в исследуемой зоне образца 965°C наблюдается аналогичный характер распределения остаточных макронапряжений и микроискажений: на поверхности ~ 70 мПа, на глубине ~ 80 мкм от поверхности ~ 40 мПа и на границе борированного слоя с основой - около 220 мПа.

Таким образом, наиболее благоприятное распределение микроискажений и макронапряжений по глубине борированного слоя Армко-железа при борировании с ультразвуком по длине волновода получено в минимуме и максимуме амплитуд

ультразвуковых напряжений при температурах в зоне образцов соответственно 965 и 985°C .

Остаточные напряжения, равные 227 мПа в начале переходной зоны, (обладающей большей пластичностью, чем поверхность борированного слоя) не вызывают перенапряжений в данном срезе, а наличие небольших микроискажений и напряжений равных -80 мПа у поверхности и по глубине борированного слоя вызывают повышение физико-механических свойств упрочнённого слоя.

В результате проведённого исследования установлено, что размеры блоков на поверхности образцов составляют при закалке с ультразвуком $\sim 1.5 \cdot 10^{-5}$ см. На глубине порядка 70 мкм величина блоков в схеме насыщения с ультразвуком и без него одинакова и равна $1 \cdot 10^{-5}$ см., т.е. в два раза меньше, чем при борировании с воздействием ультразвука по длине волновода в зоне максимальных амплитуд ультразвуковых напряжений. На глубине ~ 140 мкм при закалке с ультразвуком величина блоков несколько больше, чем без действия ультразвука.

Меньшая величина блоков на поверхности борированного слоя в случае закалки с ультразвуком свидетельствует о том, что на размельчение блоков большое влияние оказывает знакопеременное поле ультразвука. Меньшая величина блоков у поверхности в случае закалки с ультразвуком способствует улучшению физико-механических свойств борированного слоя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Власов В.М. Работоспособность упрочнённых трущихся поверхностей. М.: Машиностроение, 1987, 231с.
2. Власов В.М., Нечаев Л.М. Работоспособность высокопрочных термодиффузионных покрытий в узлах трения машин. Тула: Приок. кн. изд-во, 1994, 256с.

INFLUENCE OF ULTRASOUND TREATMENT ON PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF BORONIZED LAYER

Nechayev L.M., Fomicheva N.B., Kanunnikova I.Yu., Markova Ye.V.

Tula state university, Tula

The influence of ultrasound on the distribution of residual macro- and microstresses and also the block sizes at the steel surface boriding were studied in the work. The less size of blocks on the boronized layer surface in case of heat treatment with ultrasound testifies that the alternating ultrasound field influences the blocks' crushing to a greater degree than the phase transformation occurring in the steel 45 hardening process. The less size of blocks near the surface in case of heat treatment with ultrasound is the principal factor improving physical and mechanical properties of the boronized layer.