

## ПОВЫШЕНИЕ СТОЙКОСТИ ШТАМПОВОГО И МЕТАЛЛОРЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

<sup>1</sup>Д.А. Иванов, <sup>2</sup>Г.А. Воробьёва

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский университет сервиса и экономики 192171, Санкт-Петербург, ул. Седова, 55/1, <sup>2</sup>Балтийский государственный технический университет «Военмех» им. Д.Ф. Устинова, Санкт-Петербург, ул. 1-я Красноармейская, 1

**Аннотация:** Исследовано влияния пульсирующего газового потока на теплостойкость опытных сталей, используемых для изготовления тяжёлонагруженных инструментов прессования и выдавливания.

В процессе ремонта автотранспортных средств, других машин и агрегатов часто возникает необходимость применения тех или иных инструментов, включая металлорежущий и используемый для пластического формоизменения, в связи с чем возникает проблема повышения стойкости подобного инструмента.

Было осуществлено исследование возможности решения проблемы повышения стойкости штампового и металлорежущего инструмента за счёт воздействия дозвукового низкочастотного пульсирующего газового потока, генерируемого экспериментальной установкой.

Исследование влияния импульсного воздействия газового потока на теплостойкость инструментальных сталей проводилось, в частности, на опытных сталях, используемых для изготовления тяжёлонагруженных инструментов прессования и выдавливания, испытывающих давление до 2500 МПа.

Стали этого типа упрочняются при отпуске дисперсионным твердением исходной мартенситной структуры. В результате отпуска увеличивается твёрдость и прочность таких сталей при изгибе, поскольку из мартенсита выделяются частицы упрочняющих фаз (карбидов), а остаточный аустенит – фаза с невысокой твёрдостью – превращается в мартенсит. Эти процессы превращений повышают предел текучести при сжатии, но снижают вязкость. Эти стали могут быть использованы для изготовления режущего

инструмента, работающего при небольших скоростях резания. В этом случае для них важным свойством является теплостойкость.

С целью исследования влияния пульсирующего газового потока на теплостойкость подобных сталей образцы из стали 8Х4В2С2МФ подвергали термической обработке по стандартному режиму и закалке с воздействием дозвуковым низкочастотным газовым потоком в процессе охлаждения. Результаты исследований приведены в табл. 1.

Теплостойкость стали после предварительной обработки оценивалась по изменению твёрдости в процессе выдержки при температурах 600 и 630 °С в течение двух-шести часов. Полученные результаты представлены в табл. 2.

Из приведённых результатов видно, что твёрдость стали 8Х4В2С2МФ подвергнутой обработке по стандартному режиму, падает ниже 60 HRC уже при температуре нагрева 600 °С при четырёх часах выдержки.

Эта же сталь, подвергнутая воздействию пульсаций газового потока в процессе закалки, сохраняет твёрдость выше 60 HRC при 6-ти часовой выдержке для той же температуры нагрева и только повышение температуры до 630 °С приводит к снижению твёрдости до 58 HRC.

**ТАБЛИЦА 1**

**Механические свойства стали 8Х4В2С2МФ при закалке с 1050 °С**

Режим обработки №	Закалочная среда	HRC после закалки	Отпуск	Мех. свойства после отпуска		
				HRC	$\sigma_{изг}$ , МПа	KCU МДж/м <sup>2</sup>
1	масло	61-62	530 °С 3 раза по 1 часу	63-64	4500	0,6
2	вода + импульсная обработка	61-63	530 °С 2 раза по 1 часу	64-65	4500	0,6

**ТАБЛИЦА 2**

**ТЕПЛОСТОЙКОСТЬ СТАЛИ 8Х4В2С2МФ ПОСЛЕ ОБРАБОТКИ ПО СТАНДАРТНОМУ И ОПЫТНОМУ РЕЖИМАМ**

Режим обра- ботки №	Исходная твёрдость стали HRC	Твёрдость HRC после нагрева до			
		600 °C		630 °C	
		при выдержке			
		4 часа	6 часов	2 часа	4 часа
1	63-64	58	57	52	50
2	64-65	62-63	61-62	56-58	54-55

Таким образом, воздействие пульсирующего газового потока при закалке стали типа 8Х4В2С2МФ обеспечивает повышение твёрдости и теплостойкости стали без снижения вязкости.

Износостойкость штампового инструмента может быть повышена при использовании химико-термической обработки: азотирования и борирования. Азотирование штампового инструмента холодного деформирования, изготовленного из вторичнотвердеющих сталей, проводится после закалки и отпуска по оптимальным для данной марки стали режимам. Температура азотирования ниже температуры отпуска и составляет 510-540 °С, время выдержки – 4-6 часов при ионном азотировании; при этом глубина азотированного слоя не превышает 0,15 мм.

Борирование высокоуглеродистых сталей осуществляется электролизом в расплаве буры Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub> при 950 °С в течение 3 часов.

При проведении азотирования или борирования твёрдость поверхностного

слоя штамповых сталей увеличивается до H<sub>μ</sub> 11000-12000 МПа. Упрочнённый слой в обоих случаях характеризуется резким переходом твёрдости от поверхности к сердцевине. Основным недостатком азотирования и борирования для изделий является хрупкость тонкого поверхностно-упрочнённого слоя, толщина которого не превышает 0,1 мм, что ускоряет зарождение в нём трещин при циклическом воздействии контактных нагрузок и динамических нагрузок в процессе эксплуатации. Это значительно снижает износостойкость изделий. Поэтому традиционные способы химико-термической обработки не повышают существенно износостойкость инструмента.

С целью повышения износостойкости изделий за счёт увеличения глубины упрочнённого слоя и сглаживания перехода твёрдости от поверхности к сердцевине после стандартной химико-термической обработки проводилась термоимпульсная обработка. Исследования проводились на образцах

из стали 8Х4В2С2МФЮТ после азотирования и на борированных образцах из стали 9Х.

В табл. 3 приведены значения твёрдости по глубине упрочнённого слоя.

Сталь 8Х4В2С2МФЮТ после титрования нагревалась до температуры

400 °С и подвергалась воздействию потока газа, пульсирующего с частотой 400-600 Гц при уровне звукового давления 130-150 дБ в течение 2-15 минут, после чего проводился отпуск при температуре 180-200 °С в течение одного часа.

ТАБЛИЦА 3

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ МИКРОТВЁРДОСТИ В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ СТАЛИ

Материал	Вид обработки	Микротвёрдость $H_{\mu}$ , МПа на расстоянии от поверхности, мм						
		0	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3
8Х4В2С2МФЮТ	Азотирование	12000	7000	6800	6800	6800	6800	6800
	Азотирование с последующим нагревом до 400 °С	12000	7000	6800	6800	6800	6800	6800
	Азотирование с последующим нагревом до 400 °С и импульсной обработкой при охлаждении	10000	8200	7800	7800	7800	7800	7800
9Х	Борирование	11000	10800	3000	3000	3000	3000	3000
	Борирование с последующим нагревом до 950 °С и импульсной обработкой при охлаждении	11000	88000	6500	6000	5300	5300	5300

При этом твёрдость и глубина упрочнённого слоя при отпуске не изменялись, уменьшалась лишь величина внутренних напряжений. После борирования стали 9Х проводился её нагрев до 950 °С, затем в процессе охлаждения сталь подвергалась воздействию импульсного потока газа с выше указанными параметрами.

Как видно из табл. 3, в результате импульсной обработки твёрдость в поверхностном слое более равномерно изменяется по глубине слоя, несколько снижаясь на поверхности, при этом глубина упрочнённого слоя увеличивается. Глубина азотированного слоя изменяется с 0,07 мм до 0,12 мм, а борированного – с 0,05 до 0,2 мм. Более значительное увеличение глубины упрочнённого слоя при борировании объясняется бо-

лее длительном импульсным воздействием при повышенных температурах.

Как видно из приведённых результатов, импульсная обработка позволяет получить более равномерное распределение твёрдости при некотором снижении её на поверхности и увеличении в сердцевине. Качество упрочнённого слоя контролировалось по наличию трещин в отпечатках микротвёрдости. После стандартной химико-термической обработки у отпечатков появляются трещины, а после дополнительной термоимпульсной обработки трещины отсутствуют, что свидетельствует об уменьшении хрупкости поверхностно-упрочнённого слоя.

При импульсном воздействии на азотированную и борированную, предварительно нагретые стали протекает

микропластическая деформация, позволяющая существенно увеличить скорость протекания диффузионных процессов, что и приводит к перераспределению атомов азота и бора в поверхностном слое. В обоих случаях увеличивается и микротвёрдость сердцевины материала: при азотировании в среднем на 1000 МПа, а при борировании – на 200 МПа, что также обусловлено ускорением диффузионных процессов, протекающих в основном материале, так как при этом дополнительно выделяются упрочняющие фазы: карбидная и карбонитридная в стали 8Х4В2С2МФЮТ, а в стали 9Х – карбидная и боридная.

Таким образом, воздействие пульсаций газового потока особенно эффективно ускоряет диффузионные процессы в сталях, если проводится в процессе охлаждения с повышенных температур, то есть при воздействии на борированную сталь, предварительно нагретую до 950 °С, при этом длительность воздействия также возрастает, что и обеспечивает увеличение глубины упрочнённого слоя и более равномерное изменение твёрдости по сечению изделия.

Также было проведено исследование, в ходе которого оценивалась возможность положительного влияния импульсного воздействия газового потока на теплостойкость готового быстрорежущего инструмента.

Испытания проводились на свёрлах заводского изготовления из материала Р6М5 диаметром 6-9,5 мм.

Готовый инструмент из быстрорежущей стали Р6М5 имеет структуру, представляющую собой смесь отпущенного высоколегированного мартенсита, первичных и вторичных карбидов и некоторого количества остаточного аустенита, что обеспечивает высокую

износостойкость и теплостойкость стали.

После кратковременного нагрева до температуры 350 °С, при которой экспериментально выявлено максимальное влияние импульсной обработки на теплостойкость, свёрла помещались в установку и подвергались в процессе охлаждения воздействию пульсирующего воздушного потока. В результате данной обработки удалось получить инструменты, обладающие в два раза большей стойкостью, чем свёрла той же партии, не подвергавшиеся импульсному воздействию. Стойкость определялась по износу задней поверхности главной режущей кромки инструмента. Стойкость обработанных и необработанных в установке свёрл оценивалась за одинаковые промежутки времени при одних и тех же режимах резания. Эффект повышения теплостойкости продолжал сохраняться и после неоднократной переточки инструмента.

По всей видимости, термоимпульсное воздействие позволяет вызывать процессы, соответствующие начальным стадиям распада мартенсита – выделение из него высокодисперсных карбидных частиц – дисперсионное твердение. Наличие значительного числа мелких карбидных частиц сдвигает процесс коагуляции карбидов, а следовательно и разупрочнение в область более высоких температур. Кроме того, можно предположить, что в ходе описанного воздействия на термообрабатываемый режущий инструмент происходит продолжение мартенситного превращения остаточного аустенита.

Ещё одним фактором, могущим определять повышение стойкости металлорежущих инструментов, является процесс релаксации остаточных микронапряжений под воздействием пульсирующего газового потока.