

УДК 621.762.5

**Ю. Д. ЧЕРНЯКОВ****А. Н. ЖИГАЛОВ**, *д-р техн. наук, доц.*

Институт технологии металлов НАН Беларуси (Могилев, Беларусь)

**ПОВЫШЕНИЕ УДАРНОЙ ВЯЗКОСТИ ТВЕРДОСПЛАВНОГО РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА РАБОТАЮЩЕГО В УСЛОВИЯХ ПРЕРЫВИСТОГО РЕЗАНИЯ****Аннотация**

Твердосплавные режущие инструменты, работающие в условиях прерывистого резания, испытывают значительные знакопеременные нагрузки. Для создания высокоэффективного инструмента необходимо обеспечить комбинацию физико-механических характеристик, таких как твердость и ударная вязкость, которая зависит от наличия пористости, свободного углерода и разницы в коэффициенте термического расширения карбида вольфрама и кобальтовой фазы. Одним из способов повышения ударной вязкости является применение аэродинамического звукового упрочнения, который перестраивает кристаллическую решетку и создает коллективное движение групп дислокаций тонкодисперсных капиллярно-пористых систем, что позволяет избавиться от таких напряжений.

**Ключевые слова:**

твердые сплавы, ударная вязкость, АДУ.

Основными физико-механическими и эксплуатационными показателями твердосплавных режущих инструментов, работающих в условиях прерывистого резания, является твердость, ударная вязкость, отвечающая, в основном, за сохранение режущих способностей твердосплавных инструментов при ударных нагрузках.

Известно, что повышение содержания карбида титана в твердом сплаве способствует увеличению твердости, а снижение хрупкости твердых сплавов зависит от увеличения ударной вязкости. Комбинация этих физико-механических характеристик важна при создании высокоэффективного твердосплавного режущего инструмента, работающего в условиях прерывистого резания. Физико-механические характеристики твердых сплавов представлены в табл. 1.

Табл. 1. Физико-механические характеристики твердых сплавов группы ВК, ТК

Сплав	Состав			Физико-механические характеристики	
	WC	TiC	Co	Ударная вязкость [1], КДж/м <sup>2</sup>	Твердость, HRA, не менее
1	2	3	4	5	6
ВК6	94	-	6	-	88,5
ВК8	92	-	8	35,03	87,5
1	2	3	4	5	6
T5K10	85	6	9	33,67	88,5
T15K6	79	15	6	31,98	90,0

Согласно исследованиям [2], ударная вязкость твердых сплавов, зависит от наличия свободного углерода и пор в структуре. Результаты исследования по

влиянию наличия свободного углерода в структуре на ударную вязкость сплавов ВК8 и ВК15 представлены в табл. 2.

Табл. 2. Влияние свободного углерода на прочностные характеристики сплавов ВК8 и ВК15

Марка сплава	Пористость, %	Содержание свободного углерода, %	Ударная вязкость, КДж/м <sup>2</sup>	Твердость, НРА
ВК8	0,1	0,0	25,34	88
ВК8	0,1	До 0,5	23,39	88
ВК15	0,1	0,0	31,19	87
ВК15	0,1	До 0,5	28,26	87

Из табл. 2 видно, что, ударная вязкость твердых сплавов при наличии свободного углерода до 0,5 % уменьшается в 1,08–1,1 раз, при этом твердость остается неизменной, такая же зависимость наблюдается и при увеличении пористости [2].

Известно [3], что ударная вязкость твердых сплавов, помимо наличия свободного углерода и пористости, определяются состоянием связующей фазы. Связанно это с тем, что разрушение твердого сплава происходит по кобальтовой фазе и/или по межфазным границам карбид-кобальтовая фаза.

Согласно исследованиям [4] существует предположение о существовании напряжений внутренней структуры в межфазных границах карбид-кобальтовой фазы в твердом сплаве. Эти напряжения растут с увеличением размера карбидного зерна и зависят от температуры. После удаления кобальта напряжения исчезают, что позволяет сделать заключение о том, что напряжения внутренней структуры вызваны разницей в коэффициентах термического расширения карбида вольфрама ( $4,4 \cdot 10^{-3}/\text{град}$ ) и кобальтовой связки ( $14,2 \cdot 10^{-3}/\text{град}$ ) [5].

Схематическое изображение напряжений внутренней структуры карбидной и кобальтовой прослойки (рис. 1) было выдвинуто В. Шпейтом при попытке объяснить зависимость предела прочности сплавов WC-Co от содержания кобальта при различных видах нагружения [5].

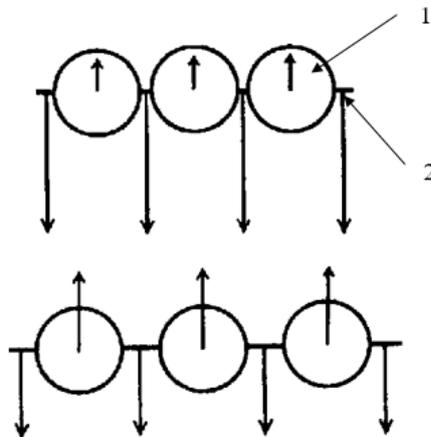


Рис. 1. Схематическое изображение термических микронапряжений в карбидной и кобальтовой фазе сплавов WC-Co: 1 – зерна карбида; 2 – кобальтовая фаза

Согласно схеме, если кобальтовая фаза тонкая, то в ней возникают высокие растягивающие напряжения, а в карбидных зернах – наоборот, малые напряжения в противоположенном направлении. При увеличении толщины кобальтовой фазы напряжение снижается, а в карбидных зернах – возрастают.

Исходя из вышесказанного, можно выделить три источника внутренних напряжений, которые влияют на ударную вязкость твердосплавного режущего инструмента: свободный углерод, пористость, кобальтовая фаза.

Существует несколько способов предотвращения образования свободного углерода в структуре твердого сплава: снижение содержания свободного углерода в исходной твердосплавной смеси и оптимизация режимов спекания. Самым эффективным является оптимизация режимов спекания, так как не требуется дополнительного дорогостоящего оборудования для смешения порошков. Для снижения напряжений внутренней структуры, вызванных пористостью кобальтовой фазы, можно применять метод аэродинамического звукового упрочнения (АДУ), который перестраивает кристаллическую решетку и создает коллективное движение групп дислокаций тонкодисперсных капиллярно-пористых систем, что позволяет избавиться от таких напряжений [6].

Согласно исследованиям [1], установлено, что метод АДУ повышает ударную вязкость твердого сплава по сравнению с неупрочненным на 19 %...23 % при сохранении исходной твердости. Результаты экспериментальных исследований влияния АДУ на ударную вязкость представлены в табл. 3.

Табл. 3. Результаты экспериментальных исследований [1]

Марка сплава	Вид упрочнения	Ударная вязкость, КДж/м <sup>2</sup>	Твердость, HRA
1	2	3	4
BK8	Неупрочненный	35,03	88,2
	Упрочненный АДУ	42,05	88,1
T5K10	Неупрочненный	33,67	88,4
	Упрочненный АДУ	41,85	88,3
1	2	3	4
T15K6	Неупрочненный	31,98	90,1
	Упрочненный АДУ	39,54	89,9

Согласно исследованиям [7] метод АДУ приводит к снижению плотности дислокаций в кобальте на 16,9 %, а в самом сплаве BK8 – на 11,6 %. Исходя из представленных данных в работах [6, 7], можно сделать вывод, что при воздействии АДУ больший эффект снижения плотности дислокации приходится на кобальтовую фазу, что влечет за собой увеличение пластичности связующей фазы и, как следствие, увеличение её демпфирующей роли. Кроме того, данный эффект может быть связан со снижением напряжений внутренней структуры.

Повышение ударной вязкости твердосплавного режущего инструмента, работающего в условиях прерывистого резания, является многофакторной задачей, где необходимо обеспечить комбинацию ударной вязкости и твердости,

а также нивелирование внутренних напряжений, что возможно путем применения АДУ.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Жигалов, А. Н.** Исследования влияния аэродинамического звукового упрочнения на свойства твердых сплавов / А. Н. Жигалов, Д. Д. Богдан, И. А. Горавский // Вестн. БарГУ. Технич. науки. – 2020. – № 8. – С. 53–68.
2. **Лашко, Н. Ф.** Упрочнение и разрушение металлов и некоторые предельные механические состояния металлов / Н. Ф. Лашко. – Москва: Оборонгиз, 1951. – 188 с.
3. **Третьяков, В. И.** Твердые сплавы, тугоплавкие металлы, сверхтвердые материалы / В. И. Третьяков, Л. И. Клячко. – Москва: Руда и металлы, 1999. – 264 с.
4. Pfau H., Rix W. Zs. Metallkunde, 1952, Bd 43, S. 840
5. **Креймер, Г. С.** Прочность твердых сплавов / Г. С. Креймер. – Москва: Металлургия, 1971. – 247 с.
6. **Жигалов, А. Н.** Теоретические основы аэродинамического звукового упрочнения твердосплавного инструмента для процессов прерывистого резания: монография / А. Н. Жигалов, В. К. Шелег. – Могилев: МГУП, 2019. – 213 с.
7. **Жигалов, А. Н.** Исследование влияния метода аэродинамического звукового упрочнения на структурно-фазовый состав и плотность дислокаций твердого сплава ВК8 / А. Н. Жигалов, Д. Д. Богдан // Горная механика и машиностроение. – 2020. – № 1. – С. 71–81.

Контакты:

yuchi.osn@gmail.com (Черняков Юрий Дмитриевич);  
jigalov6@mail.ru (Жигалов Анатолий Николаевич).