

## **ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРА КАРБИДНЫХ ЧАСТИЦ И ДОЛИ СВЯЗУЮЩЕЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ КАРБИДА ВОЛЬФРАМА ДЛЯ ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ**

**В.В. Горбатенко, В.В. Пашинский, В.П. Горбатенко, Д.Г. Сидоренко**  
*(ДонНТУ, НПО «Доникс», г. Донецк)*

*Выполнен анализ степени влияния размеров частиц карбида вольфрама и доли кобальтовой или кобальт-никелевой связующей составляющей на механические свойства при изгибе твердых сплавов для изготовления прокатных валков.*

В последние годы для изготовления рабочих валков чистовой и предчистовой групп клетей скоростных сортопрокатных станков используют твердые сплавы на основе карбида вольфрама с кобальтовой, кобальт-никелевой или никелевой связующей составляющей. Эксплуатационная стойкость таких валков в значительной мере определяется фазовым составом и структурными характеристиками сплава, а также его механическими характеристиками. Причем, влияние указанных факторов применительно к прокатным валкам может существенно отличаться от такового в случае режущего инструмента. Так, исследования последних лет, выполненные в промышленных условиях, показали, что увеличение размеров карбидных частиц в твердых сплавах обеспечивает повышение эксплуатационной стойкости прокатных валков [1, 2]. Однако, вопросы влияния структурных факторов на свойства таких твердых сплавов изучены недостаточно.

Целью настоящей работы является изучение изменения механических свойств твердых сплавов на основе WC с кобальтовой и кобальт-никелевой связкой в зависимости от размера карбидных частиц и доли связующей составляющей.

Исследования были выполнены на твердых сплавах систем WC+Co (типа ВК 18 и ВК 14) и WC + (Co+Ni) при суммарном содержании связующей составляющей 20% (ТС 20, ТС 10/10), 18% (ТС 9/9) и 14% (ТС 7/7) и соотношении в ней Co и Ni 1:1. Твердосплавные валки и контрольные образцы для испытаний изготавливали путем спекания в установке горячего вакуумного прессования отдела порошковой металлургии НПО «Доникс». Испытания на изгиб выполняли на машине FP-100 на балочных образцах сечением 5x5 мм, а испытания на ударный изгиб на маятниковом копре МК-30 на образцах размером 5x5x30 мм без концентратора напря-

жений по стандартным методикам. Измерение твердости проводили на твердомере ТК-2М по шкале А.

На рис. 1 приведены результаты испытаний образцов твердых сплавов в зависимости от размера частиц карбида вольфрама и доли связующей составляющей.

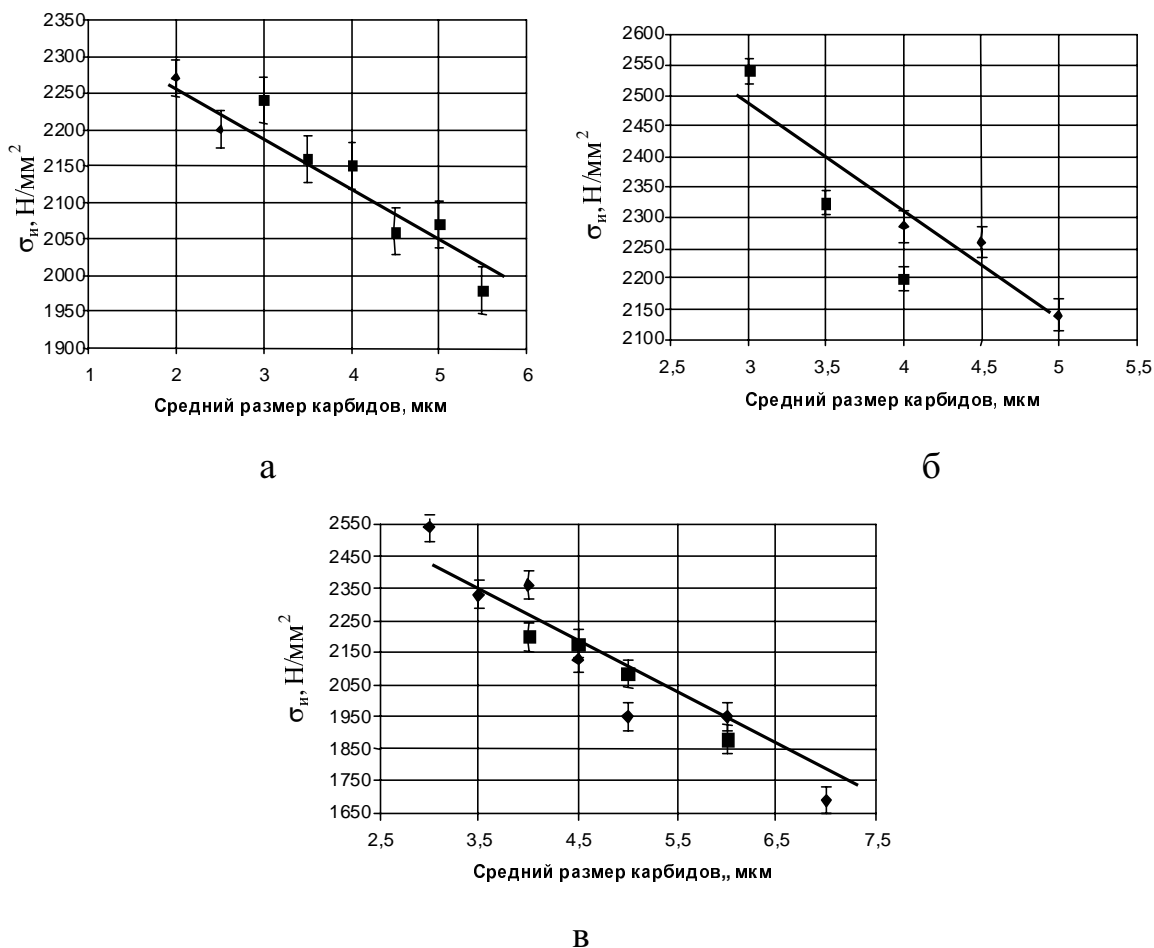


Рисунок 1 – Зависимость величины предела прочности при изгибе ( $\sigma_n$ ) от размера зерен карбида вольфрама для твердых сплавов с 20% (а), 18% (б) та 14% (в) связующей фазы.

С использованием метода регрессионного анализа была получена адекватная зависимость (коэффициент множественной корреляции  $R=0,875$ , критерий Фишера  $F=44$ , критерий Стьюдента  $T_r=19,4$ , доля объясненной вариации  $Var=77\%$ ) предела прочности при изгибе исследованных сплавов с разной концентрации связующей составляющей – 14...20% ( $\sigma_{изг}$ , H/mm<sup>2</sup>) от среднего размера частиц карбидной фазы (Дк, мкм) и доли связки (f, %):

$$\sigma_{изг} = 3234 - 172 \text{ Дк} - 21,1 f \pm 113; \text{ H/mm}^2 \quad (1)$$

С целью оценки степени влияния только размеров частиц карбида вольфрама на предел прочности при изгибе ниже приведены зависимости, полученные для сплавов, содержащих равное количество связующей составляющей (зависимости 2 – 4):

- для сплавов, содержащих 20% связки ( $R=0,875$ ,  $F=29,4$ ,  $Tr=11,2$ ,  $Var=77\%$ ):

$$\sigma_{изг} = 2654 - 141 \text{ Дк} \pm 59; \text{ Н/мм}^2 \quad (2)$$

- для сплавов, содержащих 18% связки ( $R=0,838$ ,  $F=17,1$ ,  $Tr=8,8$ ,  $Var=70\%$ ):

$$\sigma_{изг} = 2962 - 170 \text{ Дк} \pm 113; \text{ Н/мм}^2 \quad (3)$$

- для сплавов, содержащих 14% связки ( $R=0,944$ ,  $F=82$ ,  $Tr=27,5$ ,  $Var=89\%$ ):

$$\sigma_{изг} = 3082 - 208 * \text{Дк} \pm 51; \text{ Н/мм}^2 \quad (4)$$

При этом зависимость коэффициентов уравнений (2-4), отображающих изменение степени влияния размеров карбидных частиц ( $A_1$ ) в зависимости от доли связующей составляющей ( $f$ , %) с высокой степенью точности ( $R=0,984$ , погрешность расчетов не более 2,4%) может быть описана линейным уравнением (5):

$$A_1 = 373 - 11,5 f \pm 4; \quad (\text{Н/мм}^2)/\text{мкм} \quad (5)$$

Из анализа приведенных результатов следует, что снижению прочностных характеристик твердых сплавов способствуют как увеличение среднего размера частиц карбида вольфрама, так и рост доли связующей составляющей в структуре. При этом степень влияния размеров карбидных частиц оказывается выше. Приведенные зависимости (2-5) показывают, что повышение доли кобальтовой или кобальт-никелевой связки в сплаве должно способствовать снижению отрицательного влияния увеличения размеров карбидных частиц на предел прочности при изгибе. Так, степень снижения значений  $\sigma_{изг}$  с увеличением размеров частиц карбида вольфрама в твердых сплавах, содержащих 14% связующей составляющей, будет в 1,4...1,5 раза выше таковой в случае сплавов с 20% связки.

В случае использования мелкозернистых (размер частиц WC до 3 мкм) твердых сплавов заметным преимуществом по значениям  $\sigma_{изг}$  обладают материалы с меньшей долей связующей составляющей. Однако, с увеличением размеров карбидных частиц свыше 4 мкм (крупнозернистые твердые сплавы) эти преимущества сплавов с меньшей долей связки практически устраняются (рисунок 1). В этом случае сплавы с более высокой долей связующей составляющей (18 и 20 %) имеют более высокие показатели  $\sigma_{изг}$  в сравнении со сплавами с 14% связки, независимо от ее типа (ко-

бальтовая или кобальт-никелевая).

Результаты испытаний на ударный изгиб (рисунок 2) свидетельствуют о невысоком уровне показателей ударной вязкости всех исследованных твердых сплавов. Следует отметить преимущественно хрупкий характер разрушения материала. Для сплавов, содержащих 18% связующей составляющей, увеличение среднего размера частиц WC не приводило к снижению их ударной вязкости. Для сплавов, содержащих 14% связующей составляющей, наблюдали снижение показателей ударной вязкости в 1,5...1,6 раза с увеличением среднего размера карбидных частиц свыше 4...4,5 мкм.

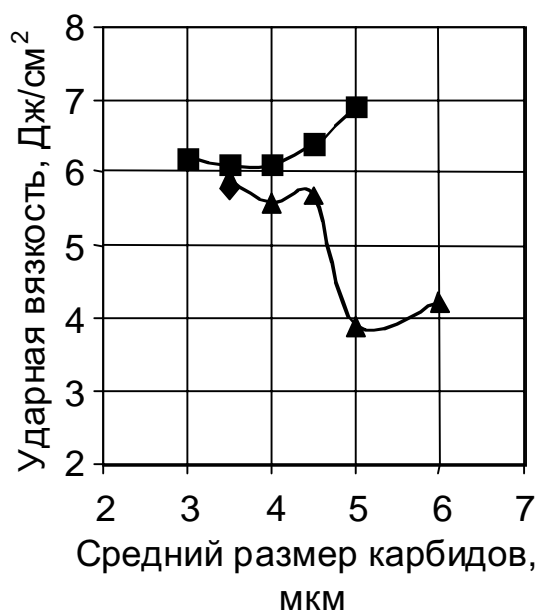


Рисунок 2 – Изменение показателей ударной вязкости твердых сплавов с 18% (■) и 14% (▲) связующей фазы в зависимости от среднего размера частиц карбида вольфрама.

Твердость исследованных сплавов оказывается менее чувствительной характеристикой по отношению к увеличению размеров карбидных частиц и снижается на 1...1,5 единиц HRA с возрастанием их средних размеров от 2...3 мкм до 5...6,5 мкм в материалах с разной долей связующей составляющей. При этом, практически независимо от размеров карбидных частиц, увеличение доли связующей составляющей от 14 до 20% приводило к снижению твердости сплавов на 2...2,5 единиц HRA. Например, в случае мелкозернистых твердых сплавов (средний размер частиц WC 2...3 мкм) она составляла HRA 86 ±0,5 при 14% связки и HRA 84 ±0,3 при 20% связки, а для крупнозернистых сплавов (средний размер частиц WC 5...6,5 мкм) - HRA 85 ±0,2 мкм и HRA 82,5 ±0,5 соответственно.

Промышленные испытания рабочих валков чистового блока клетей станов 150 КГМК и ММЗ, изготовленных по технологии НПО “Доникс” из твердых сплавов, проведенные на протяжении последних нескольких лет показали, что, несмотря на более низкие механические характеристики, материалы с крупнозернистой карбидной составляющей (средний размер частиц WC 5...6 мкм) имеют заметные преимущества по эксплуатационной стойкости в сравнении с таковыми с мелкозернистой структурой (средний размер частиц WC 2...3 мкм). Так, в условиях стана 150 КГМК использование твердых сплавов с крупнозернистой карбидной составляющей взамен мелкозернистых материалов позволило увеличить средний тоннаж за одну устаовку в клетки № 28 с 800 до 1000 т/калибр, снизить число случаев преждевременной потери профиля калибра валков чистовой группы (с 7 до 1) и разрушений вследствие образования кольцевых трещин (с 16 до 3). Поэтому можно полагать, что возможное снижение механических свойств при изгибе и в небольших пределах -твердости твердых сплавов в связи с увеличением размера частиц карбидной фазы не являются преобладающими факторами, определяющими эксплуатационную стойкость рабочих валков прокатных станов, прежде всего, их износостойкость.

По нашему мнению, наряду с другими факторами, определяющими повышенную абразивную износостойкость твердых сплавов с крупнозернистой карбидной составляющей, описанными, например, в работах [1, 2], определенное положительное влияние увеличения размеров частиц WC на эксплуатационную стойкость рабочих валков высокоскоростных сортопрокатных станов в условиях сложного термомеханического нагружения может оказывать и реализуемое при этом увеличение толщины прослойки связующейкобальтовой или кобальт-никелевой составляющей. Ее увеличение с ростом размеров карбидных частиц может быть одной из причин снижения прочностных характеристик сплава при постоянной объемной доле связки.

Исходя из того, что карбиды вольфрама в структуре твердого сплава имеют форму призм, которые в сечении шлифа имеют преимущественно прямоугольную форму, можно расчетным путем ориентировочно оценить влияние изменения размера карбидных частиц на толщину прослойки связующей составляющей сплава.

Приняв для упрощения расчетов, что карбиды имеют форму куба с ребром, равным  $d$  (мкм), а толщина прослоек связки,  $b$  (мкм), является постоянной во всем объеме материала, для заданной доли связующей составляющей,  $f$  (%), получим простую зависимость вида (6):

$$b = d f / [6 (100 - f)] \quad (6)$$

Таким образом, толщина прослойки связки между карбидными час-

тицами прямо пропорциональна размеру этих частиц. Поэтому при увеличении среднего размера частиц карбида вольфрама вдвое можно ожидать увеличения средней толщины слоя связки в 2 раза. Следовательно, эффект увеличения размера карбидных частиц на толщину слоя связки между ними в определенной степени может быть сопоставимым с соответствующим возрастанием доли связующей составляющей в твердом сплаве. Такой эффект дает возможность корректировать одержание связующей составляющей в твердом сплаве с учетом размера частиц карбида вольфрама с целью направленного изменения эксплуатационных и механических свойств материала в зависимости от условий работы инструмента. При этом следует учитывать, что эффект увеличения толщины прослойки связующей составляющей под влиянием роста размеров карбидных частиц возрастает с увеличением доли связки. Так, исходя из зависимости (6), повышение доли связующей составляющей с 14 до 20 % отношение  $f / (100 - f)$  возрастает от 0,14 до 0,25.

Таким образом, установлено, что увеличение размеров частиц карбида вольфрама в пределах 2...6,5 мкм в твердых сплавах для прокатных валков с кобальтовой или кобальт-никелевой связующей составляющей приводит к снижению их предела прочности при изгибе и, в основном, ударной вязкости и твердости, но повышению эксплуатационных характеристик инструмента и толщины слоя связки между карбидами. Степень снижения предела прочности при изгибе при укрупнении карбидных частиц возрастает с увеличением доли связующей составляющей.

### **Перечень ссылок**

1. Разработка эффективных технологий производства твердосплавных прокатных валков дискового типа и их применение на высокоскоростных проволочных станах /А.Г. Маншилин, В.В. Пашинский, Д.Г. Сидоренко, В.В. Горбатенко // Производство проката.– 2004.– № 2.– С.30 - 33.
2. Сидоренко Д.Г., Пашинский В.В., Горбатенко В.В. Аналіз основних факторів, що впливають на стійкість прокатних валків чистової та другої проміжної груп клітей високошвидкісних дротових станів // Стrojительство, материаловедение, машиностроение: Сб. научн. трудов. Вып. 26, ч.2.- Днепропетровск: РИА «Днепр-VAL».- 2004.- С. 50-56.

**© Горбатенко В.В., Пашинский В.В.,  
Горбатенко В.П., Сидоренко Д.Г. 2005**