



ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА И АНАЛИЗ СВОЙСТВ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ КАРБИДА ТИТАНА СО СВЯЗКОЙ ИЗ СПЕЦСТАЛИ

Представлены результаты экспериментальной оценки механических и технологических свойств твердых сплавов на основе 30, 40, 50, 60, 70, 80, 85 и 90 % карбида титана со стальной специальной связкой. Структура и состав спецстали созданы по модели, обеспечивающей стали высокую теплостойкость и улучшенное взаимодействие с карбидом титана. Образцы для испытаний изготовлены по традиционной технологии с жидкофазным спеканием. Установлены оптимальные температуры спекания сплавов, связанные с содержанием карбида титана и типом структуры сплава. Лучший комплекс свойств обеспечивает структура с мелкозернистым карбидным каркасом. Установлены закономерности изменения прочности при изгибе, твердости и износостойкости (износа абразивом) в зависимости от содержания карбида титана в сплаве. Фрактографический анализ подтвердил улучшенное взаимодействие стальной связки с карбидом титана при спекании, проявляющееся в повышенной прочности межфазовых границ. Уровень механических свойств позволяет рекомендовать сплавы для использования в качестве износостойких материалов.

Твердый сплав, карбид титана, стальная связка, структура, свойства, температура спекания, прочность, твердость, износ абразивом.

Попытки создания эффективных безвольфрамовых твердых сплавов со стальной связкой предпринимались почти сразу после открытия и патентования в 30-х годах XX века классических твердых сплавов на основе карбида вольфрама. Большое количество послевоенных публикаций по безвольфрамовым сплавам свидетельствует о значительном научном и практическом интересе к этой теме, прежде всего в связи с глобальным дефицитом вольфрама, а также некоторых других металлов (молибдена, тантала, ниобия, кобальта, никеля), пригодных для использования в твердых сплавах.

Все известные нам работы по исследованию твердых сплавов на основе карбида титана с железной и разными стальными связками показали: сплавы имеют высокую твердость (до HRA90), удовлетворительную износостойкость (особенно, при абразивном изнашивании), пониженную прочность при изгибе (500–1000 МПа), низкую теплостойкость. Режущие свойства оказались не упомянуты в публикациях. Из этого нами был сделан вывод о сложности проблемы, о необходимости последовательной многоэтапной методики исследования.

В наших работах исследовано взаимодействие всех пригодных твердых соединений при спекании с железной связкой [1], влияние этого взаимодействия на структуру и свойства сплавов [2–5], сделан выбор главного твердого соединения (карбида титана) и легирующих карбидов (ванадия, хрома и молибдена), влияние содержания карбида титана на структуру и свойства сплавов с железной связкой [6], влияние разных сталей (компонентов и структурного класса) на свойства сплавов [7], сделан выбор структурного

класса стали для связки (высоколегированный феррит + дисперсные интерметаллиды), влияние железомолибденовой связки (с указанной структурой) на структуру и свойства сплавов на основе карбида титана [8, 9].

Нами смоделирована структура и рассчитан состав специальной стали в системе (Fe – Cr – Mn – Ti) для использования в качестве связки в сплавах на основе карбида титана [10]. Спецсталь должна обеспечить улучшение взаимодействия связки и карбида титана и, главное, высокую теплостойкость сплава. Титан является сильным ферритообразователем, вместе с марганцем и хромом входит в состав упрочняющей интерметаллидной χ -фазы и, кроме того, способен растворяться в карбиде титана (при его перекристаллизации через расплавленную связку путем обмена атомами), тем самым улучшая взаимодействие между стальной связкой и карбидом титана. Стабильная ферритная структура стали не разупрочняется (необратимо) при нагреве вплоть до температуры плавления. χ -фаза не теряет когерентной связи с ферритной матрицей до температуры около 900 °С, что и определяет теплостойкость стали. Сталь в соответствии с отечественным стандартом получила обозначение Х14Г10Т6.

Порошковая сталь была изготовлена на Новотульском металлургическом комбинате распылением в аргоне. Химический анализ показал состав: 0,02 % С, 15,23 % Cr, 9,90 % Mn, 5,74 % Ti, 0,26 % Si, остальное – Fe. Кремний – примесные следы раскислителя, несколько завышенное (по сравнению с расчетным: 12–14 %) содержание хрома, заниженное (по расчету: 6–10 %) содержание титана. Состав полученной порош-

ковой стали можно считать приемлемым для экспериментальных твердых сплавов. Для исследования были выбраны составы экспериментальных сплавов, содержащих 30, 40, 50, 60, 70, 80, 85, 90 % карбида титана по массе, остальное – сталь X14Г10Т6. Образцы для экспериментальной оценки свойств были изготовлены в производственных лабораториях Димитровградского автоагрегатного завода и Московского ВНИИИнструмента. Использовалась технология: размол твердосплавных смесей в вибрационной мельнице в среде этилового спирта, пластифицирование 4-процентным раствором синтетического каучука в бензине, прессование при давлении 100 МПа, вакуумная сушка и спекание при нескольких температурах для каждого сплава. Для спекания использовались температуры из ряда: 1320, 1350, 1400, 1450, 1500, 1550, 1600, 1650, 1700, 1750 °С. Выдержка при спекании – 30 мин. Остаточное давление в камере при спекании $1 \cdot 10^{-5}$ мм рт. ст. При спекании с температурой выше 1600 °С остаточное давление увеличивалось до $1 \cdot 10^{-4}$ мм рт. ст., что вызвано испарением стальной связки, конденсат которой обнаружен на стенках защитной молибденовой cassette и экранах камеры.

Экспериментально устанавливались технологические свойства: усадка при спекании, пористость, размер карбидного зерна, оптимальная температура спекания и важнейшие механические свойства: твердость на приборах Роквелла (шкала А) и Виккерса, предел прочности при изгибе (при трехточечном нагружении нешлифованных образцов), износ абразивом в установке нашей конструкции [5]. Для объяснения свойств использовался металлографический и фрактографический анализ со съемкой поверхностей на растровом электронном микроскопе «JSM-35». Свойства сплавов, спеченных при разных температурах, приведены в таблице.

Все свойства спеченных сплавов находятся в зависимости от главного режима спекания – температуры. Температура спекания, при которой достигнуто наилучшее сочетание механических свойств (рис. 1), принята как оптимальная для каждого сплава. Для сплавов TiC – сталь X14Г10Т6 оптимальная температура спекания зависит от содержания карбида титана (рис. 2).

Таблица

Свойства сплавов TiC – сталь X14Г10Т6

Содержание TiC в сплаве, % масс	Температура спекания, °С	Прочность при изгибе, МПа	Твердость HRA (HV)	Износ абразивом, мг	Пористость сплава, %	Размер карбидного зерна, мкм	Усадка при спекании, %
30	1350	910	76	-	-	-	15,2
	1400	1130	78	28	13	2	20,6
40	1350	840	78	-	-	-	16,9
	1400	1190	83	24	8	2	22,2
50	1400	1100	83,5	-	-	-	21,8
	1450*	1300	86(1200)	16,6	1,2	2,5	22,0
	1500	1270	86	17,5	1,5	3	22,7
	1550	1180	86	19	-	-	22,5
60	1450	970	86	17,6	2,5	2,5	23,3
	1500*	1080	87,5	12,0	1,5	3	24,2
	1550	920	88(1400)	12,8	-	-	23,8
	1600	860	86	-	-	-	23,3
70	1500	770	85	21,6	4	2,5	20,9
	1550	840	87	17,1	2,7	3,5	22,5
	1600*	880	89(1550)	10,0	1,5	5	23,6
	1650	790	89,5	13,3	2,2	7	24,2
	1700	710	89	14,5	2,8	10	22,7
80	1600	730	88	11,5	-	-	19,0
	1650*	780	89,5(1700)	7,7	3,1	7	21,8
	1700	620	86	18,4	-	-	22,8
85	1600	690	87	12,2	-	-	18,5
	1650*	760	90(1800)	6,4	2,2	7	22,2
	1700	730	88,5	-	-	-	22,8
90	1600	610	88,5	12	-	-	20,0
	1650*	730	90,5(1850)	5,9	2,8	7	22,0
	1700	550	90	-	-	-	22,0

Значком * отмечены оптимальные температуры спекания сплавов.

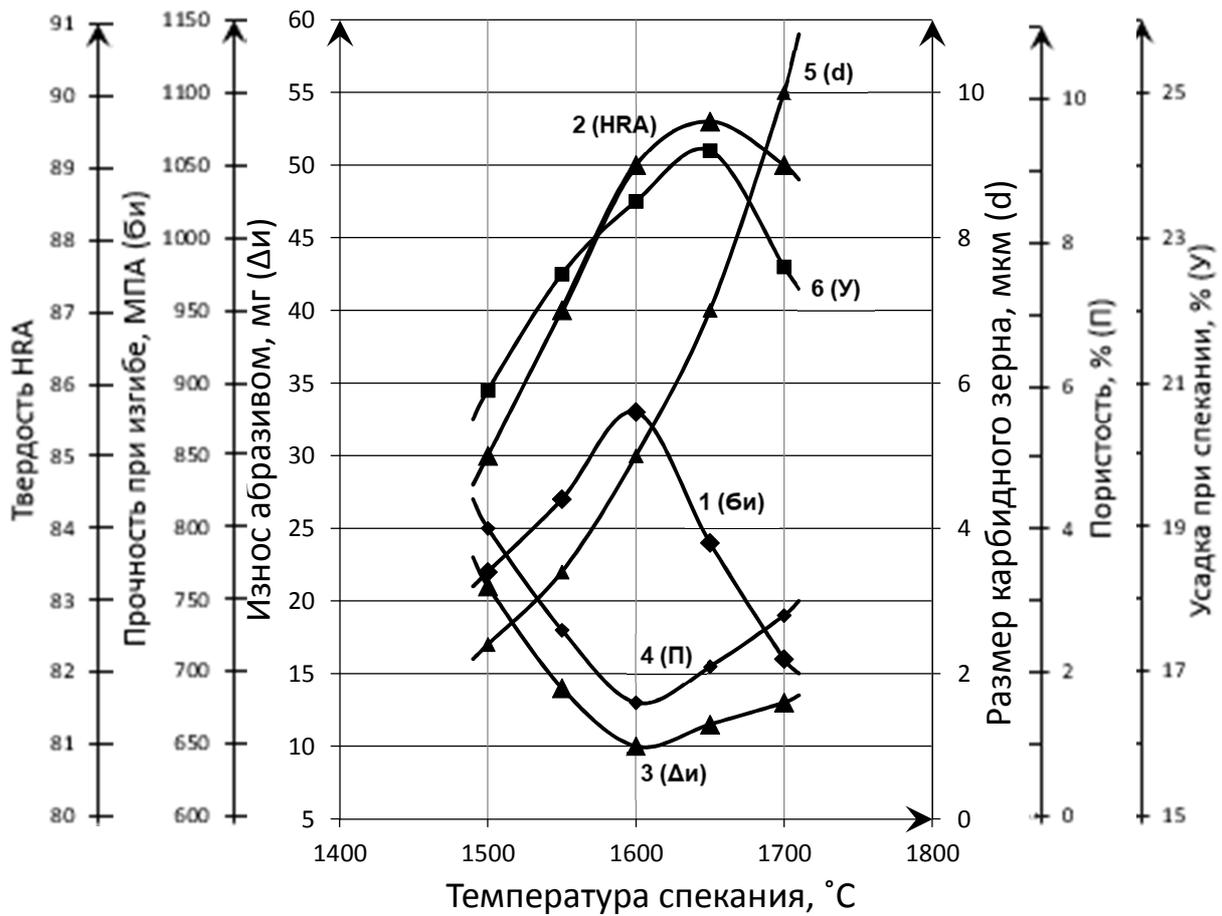


Рис. 1. Оптимальная температура спекания 1600 °C для сплава 70 % TiC – сталь X14Г10Т6 в сочетании свойств:
 1 – прочность при изгибе; 2 – твердость; 3 – износ абразивом; 4 – пористость;
 5 – средний размер карбидных зерен; 6 – усадка при спекании

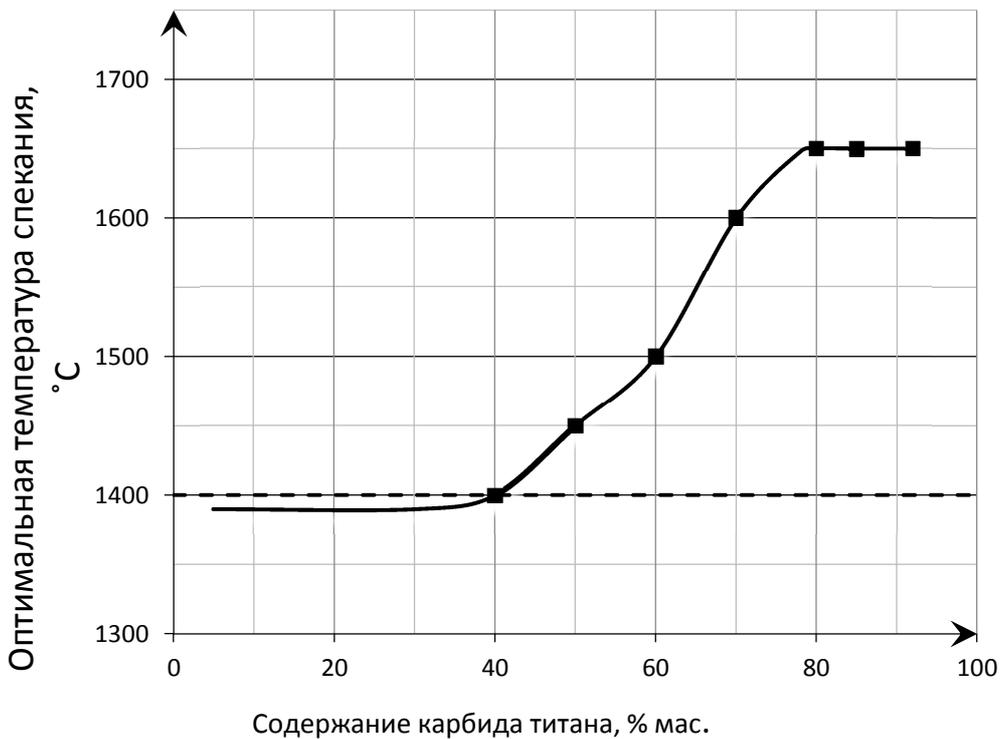


Рис. 2. Зависимость оптимальной температуры спекания от содержания карбида титана в сплавах TiC – сталь X14Г10Т6

При содержании TiC ниже 50 % оптимальная температура находится на уровне эвтектической в системе TiC – Fe, то есть около 1400 °С. Однако при этом обнаруживается оплавление образцов, то есть температура спекания должна быть ниже температуры появления большого количества жидкой фазы. Твердофазное спекание характерно для карбидосталей. В нашем случае, при спекании с температурой 1350 °С обнаруживается заметное снижение механических свойств сплавов, содержащих 30 и 40 % TiC, а при 1450 °С – полное оплавление образцов.

При содержании TiC от 50 до 70 % происходит монотонное увеличение оптимальной температуры спекания от 1450 °С (с небольшим перегревом относительно эвтектической) до 1650 °С. Перегрев требуется для усиления взаимодействия (растворимости и смачиваемости) карбида титана с железной связкой. В результате – снижается пористость и улучшаются механические свойства сплавов.

При содержании TiC от 80 до 90 % оптимальная температура спекания стабилизируется на уровне 1650 °С. Дальнейшее повышение температуры спекания приводит к испарению части связки и к росту зерен карбида титана из-за усиления его перекристаллизации через расплавленную связку. Это ухудшает механические свойства сплавов.

Можно предположить, что стабилизация оптимальной температуры спекания обусловлена образованием карбидного каркаса при содержании карбида титана в сплаве 80 % и более. Карбидный каркас (наблюдается при металлографическом анализе – рис. 3) состоит из сросшихся в местах контактов округлых (почти шаровидных) примерно одинаковой величины зерен карбида титана. Каркас образуется вследствие плотной упаковки зерен, когда связки хватает лишь для заполнения промежутков между зернами, а продолжающаяся перекристаллизация (растворение, перенос и повторная кристаллизация) карбидов приводит к росту поликристаллических округлых зерен (равномерно во всех направлениях) и контактных мостиков (сварки) между ними. Повышение темпера-

туры приводит к некоторому дополнительному растворению карбидов в связке и, в то же время, к испарению металлов (железа и марганца), поэтому объем жидкой фазы может даже уменьшиться и привести к образованию пор.

Механические свойства сплавов при оптимальных температурах спекания зависят от содержания карбида титана. Характер зависимостей имеет прямую связь со структурой сплавов.

Твердость с оценкой по линейной шкале Виккерса изменяется по зависимости, близкой к прямолинейной: от HV1200 при 50 % TiC до HV1850 при 90 % TiC, что объясняется гетерогенной структурой, близкой к эвтектической, и высокой микротвердостью карбида титана (HV3170). Экстраполяция этой прямой на начало координат (0 % TiC) дает расчетную микротвердость стальной связки HV400 (рис. 4), что примерно соответствует твердости стали X14Г10Т6 после закалки от 1150 °С и отпуска при 900 °С. Для сравнения приведены наши экспериментальные данные твердости сплавов на основе карбида титана с железной и железо-молибденовой связками [6, 8]. Твердость сплавов TiC – Fe ниже, линейный характер зависимости имеет при содержании TiC от 70 до 85 %. При большем содержании – твердость прекращает рост из-за резкого увеличения пористости сплава (связки недостаточно для заполнения промежутков между карбидными зернами). При содержании TiC 70 % и менее твердость сплавов ниже аддитивной зависимости вследствие того, что при отсутствии карбидного каркаса пластическая деформация развивается преимущественно по связке. У сплавов TiC – Mo – Fe твердость выше, чем у сплавов со спецсталью, благодаря уникальному влиянию молибдена на структуру связки (упрочнение без сильного охрупчивания) и ее взаимодействие с карбидом титана (растворимость молибдена в карбиде титана снижает до нуля краевой угол смачиваемости связкой карбидов при спекании, способствует образованию карбидного каркаса). Растворяясь в карбиде титана, фактически, молибден увеличивает содержание твердого соединения в сплаве.

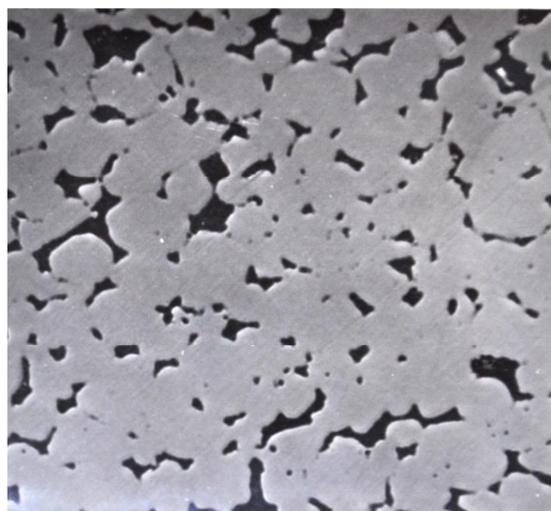
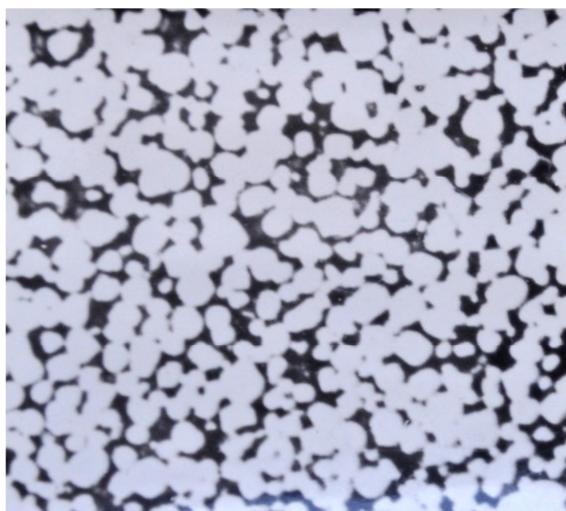


Рис. 3. Микроструктуры сплавов: а) 50 % TiC – сталь X14Г10Т6; б) 90 % TiC – сталь X14Г10Т6; $\times 1000$

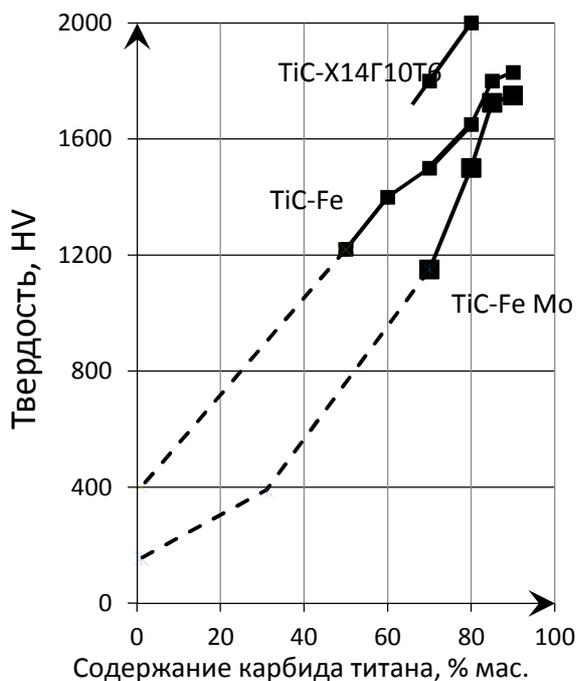


Рис. 4. Влияние содержания карбида титана на твердость сплавов со связками: 1 – сталь X14Г10Т6; 2 – железо [6]; 3 – железо-молибден (5 % Mo) [8]

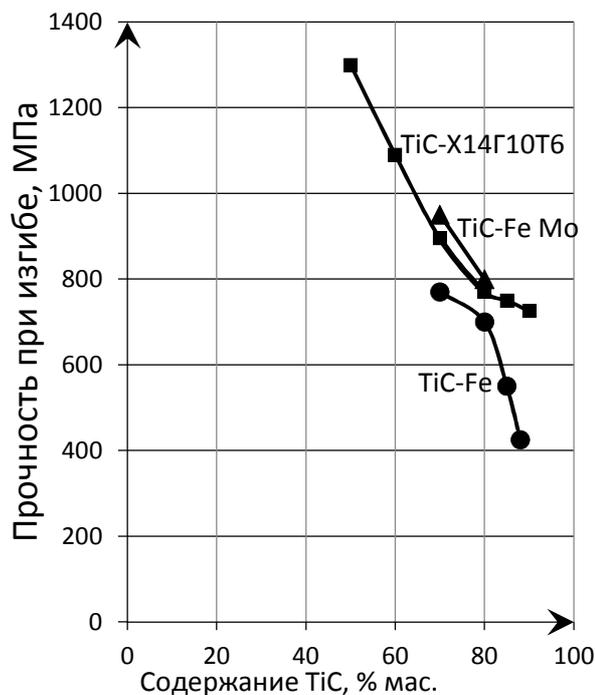


Рис. 5. Влияние содержания карбида титана на прочность при изгибе сплавов: 1 – TiC – сталь X14Г10Т6; 2 – TiC – Fe [6]; 3 – TiC – Mo – Fe [8]

Прочность при изгибе изменяется по обратной зависимости: с увеличением содержания карбида титана уменьшается от наибольшего значения 1300 МПа при 50 % TiC до наименьшего – 730 МПа при 90 % TiC. Характер зависимости объясняется меньшей прочностью карбида титана (1380 МПа при сжатии) по сравнению с прочностью при изгибе стали X14Г10Т6 (2500 МПа), а также увеличением площади ослабленных межфазовых границ. Прочность сплавов TiC – сталь X14Г10Т6 выше, чем у сплавов с железной связкой, но несколько ниже, чем у сплавов с железомолибденовой связкой на основе карбида титана (рис. 5). У сплавов с железной связкой характер зависимости отличается от сплавов со стальной связкой резким падением прочности при содержании карбида титана более 80 %. Это объясняется меньшим упрочнением железной связки (только за счет растворения титана при спекании), пониженной смачиваемостью, что при высоком содержании карбида титана приводит к значительной пористости. Молибден создает в связке структуру высоколегированного феррита с интерметаллидным упрочнением и улучшает взаимодействие связки с карбидом титана путем растворения в карбиде титана. Повышенная прочность сплавов TiC – Mo – Fe имеет также технологическое объяснение: порошкообразная связка Fe – Mo менее склонна к окислению, чем порошковая сталь X14Г10Т6, в итоге сплавы TiC – Fe – Mo имеют меньшую пористость.

Фрактографический анализ поверхностей разрушения при изгибе (рис. 6) позволяет объяснить экспериментальные данные. Микрорельефы изломов сплавов TiC – сталь X14Г10Т6 (рис. 6а) и TiC – Mo – Fe (рис. 6в) имеют большое сходство. Сплавы имеют

чисто хрупкий характер разрушения по карбидным зернам и с признаками большого сопротивления разрушению – по связке. Разрушающая трещина огибает отдельные карбидные зерна (несколько больше – у сплава TiC – сталь X14Г10Т6), что является признаком несколько меньшей прочности его межфазовых границ. Такое прохождение трещины говорит о том, что связка «заставляет» и менее прочную структурную составляющую (карбид титана) оказывать сопротивление разрушению. Хрупкое разрушение карбидных зерен очевидно при большом увеличении (рис. 6б): стекловидный излом с небольшой реччатостью. У сплава с железной связкой меньше прочность границ с карбидными зернами (рис. 6г), значительно больше зерен, обойденных трещиной, что снижает прочность сплава в целом.

Износ абразивом сплавов TiC – сталь X14Г10Т6 монотонно снижается при увеличении содержания карбида титана от 28 мг при 30 % TiC до 5,9 мг при 90 % TiC (рис. 7). Это однозначно объясняется его более высокой микротвердостью (то есть сопротивлением микропластической деформации), чем у связки сплава. Микротвердость карбида титана (HV3000-3170) сопоставима с микротвердостью абразива, в нашем случае – электрокорундового шлифпорошка (HV4000-5000). Микротвердость стальной и железомолибденовой связки HV400-550, железной связки HV100-200 (зависит от неравновесного содержания титана в феррите). Меньшая твердость связки и сплава в целом объясняет существенно больший износ сплавов TiC – Fe. Более высокая макротвердость сплавов TiC – Mo – Fe обеспечивает им меньший износ.

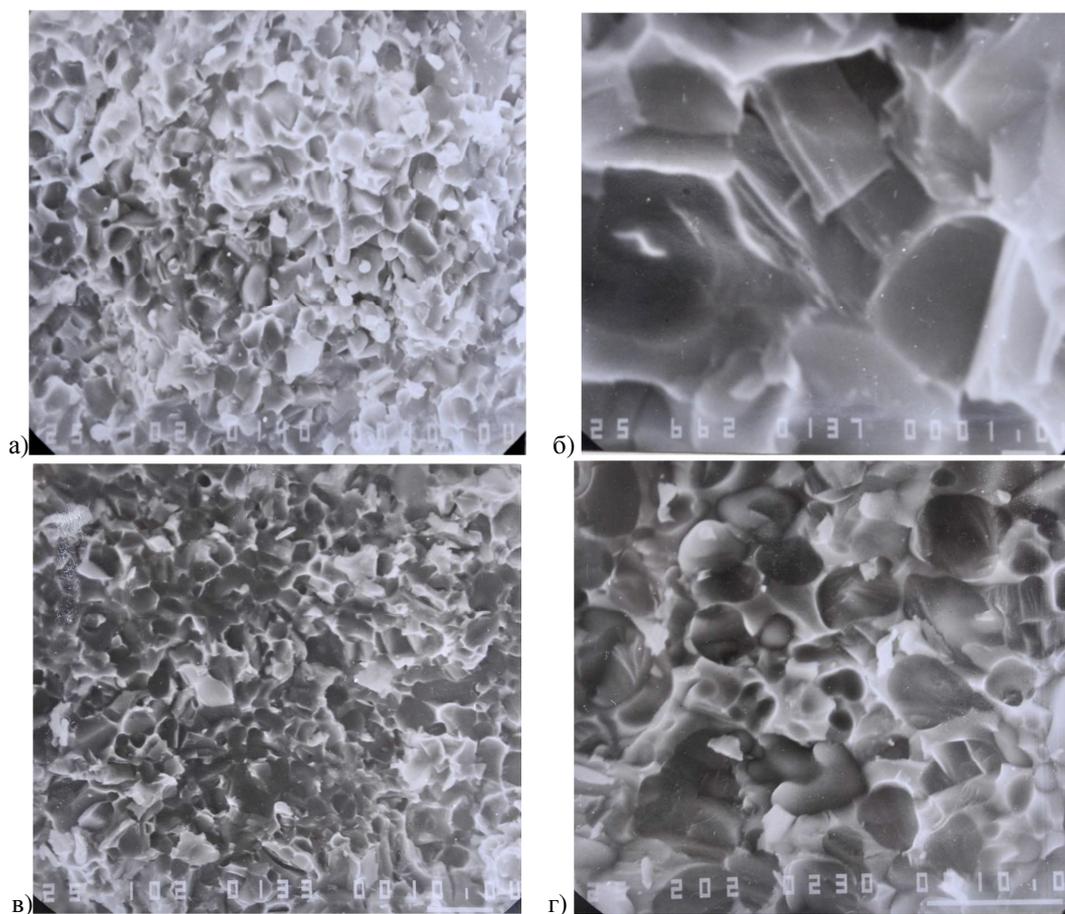


Рис. 6. Микрорельеф изломов сплавов: а) 70 % TiC – сталь X14Г10Т6, ×1000; б) 70 % TiC – сталь X14Г10Т6, ×6600; в) 70 % TiC, 5 % Mo, 25 % Fe, ×1000; г) 70 % TiC – Fe, ×2000

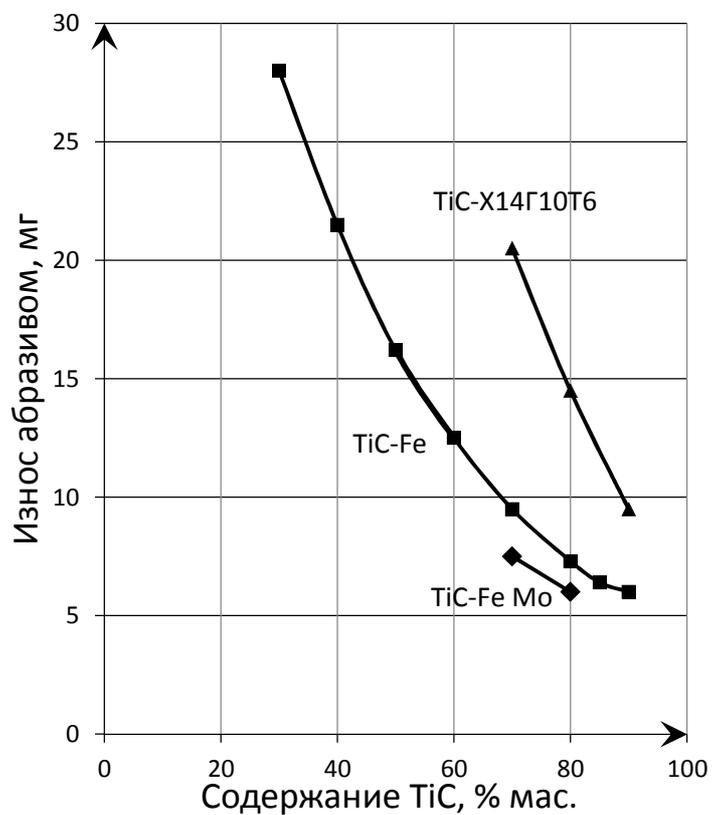


Рис. 7. Влияние содержания карбида титана на износ абразивом сплавов: 1 – TiC – сталь X14Г10Т6; 2 – TiC – Fe [6]; 3 – TiC – Mo – Fe [8]

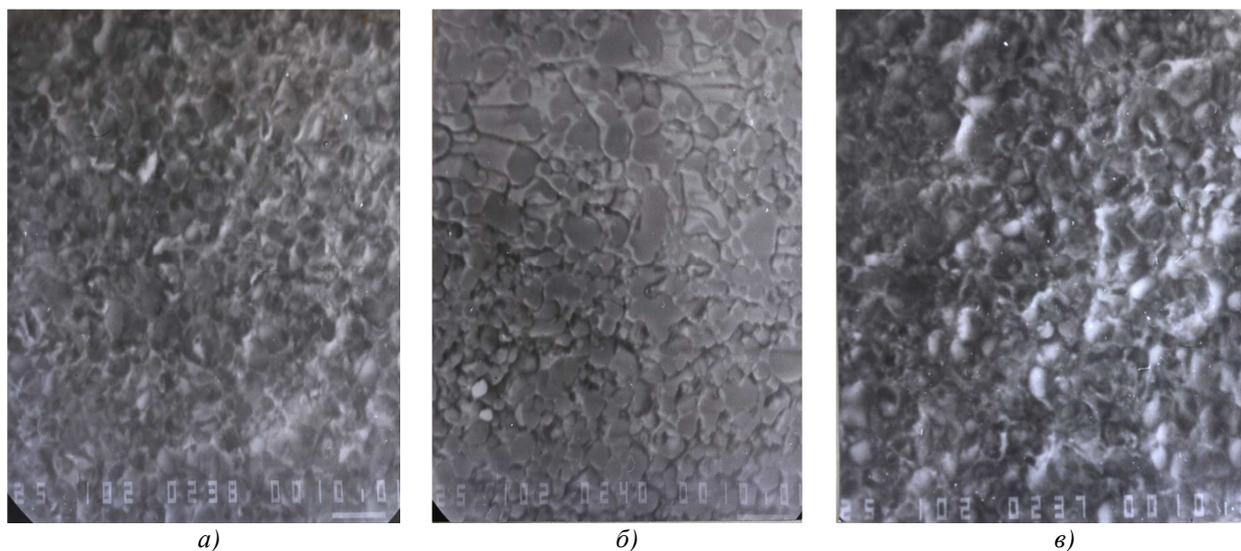


Рис. 8. Микрорельеф изношенных абразивом поверхностей сплавов:

а) 70 % TiC – сталь X14Г10Т6, $\times 1000$; б) 70 % TiC, 5 % Mo, 25 % Fe, $\times 1000$; в) 70 % TiC – Fe, $\times 1000$; 70 % TiC – Fe, $\times 2000$

Объяснение различия в износостойкости сплавов связано также со структурой сплава и с механизмом изнашивания. Большой размер абразивных частиц 40–50 мкм в сравнении с размером карбидных зерен (2–10 мкм) приводит к возникновению нескольких механизмов абразивного изнашивания: 1) истирание и микрорезание прослоек связки и обнажение более твердых зерен, 2) истирание выступающих карбидных зерен, 3) вырывание зерен из «гнезд» в связке, 4) пластическое течение сплава вследствие пластичности связки.

Вид и рельеф изношенных абразивом поверхностей (рис. 8) позволяет установить преимущественные механизмы изнашивания сплавов с разными связками и их влияние на интенсивность изнашивания. На поверхности сплава со связкой из стали X14Г10Т6 наблюдаются как изношенные (со стертými выступающими вершинами) карбидные зерна, так и места выкрашивания зерен (вследствие разрушения по связке) – механизмы 2, 3 (рис. 8а). У сплава с железо-молибденовой связкой наблюдается равномерный износ по вершинам карбидных зерен и более интенсивный износ (особенно в направлении прохождения абразивных зерен) – по менее твердой связке – механизмы 1, 2 (рис. 8б). При таком характере износа обеспечивается лучшее использование ресурса твердого износостойкого карбида титана. На изношенных поверхностях сплавов с железной связкой обнаруживаются борозды от прохождения абразивных зерен и места выкрашивания карбидных зерен (рис. 8в) – механизмы 3, 4. Изношенная поверхность имеет большое сходство с поверхностью разрушения (рис. 8г). Износ сплавов с железной связкой значительно больше (примерно в 2 раза), чем у сплавов со стальной связкой.

Уровень свойств твердых сплавов на основе карбида титана со связкой из спецстали X14Г10Т6 можно оценить путем сравнения со свойствами известных промышленных сплавов при идентичных технологиях изготовления и методиках оценки свойств. По данным ВНИИИнструмент: твердый сплав марки Т15К6 (79 % WC, 15 % TiC, 6 % Co) имеет твердость HRA90 и

предел прочности при изгибе 1250 МПа; безвольфрамовый твердый сплав марки ТН-20 (80 % TiC, 5 % Mo, 15 % Ni) – соответственно HRA91 и 950 МПа. Испытанные по нашей методике [5] образцы из этих сплавов показали: Т15К6 – износ 5,5 мг, ТН-20 – износ 5,0 мг.

При сопоставимых значениях твердости и износостойкости твердые сплавы 80–90 % TiC – сталь X14Г10Т6 уступают известным сплавам TiC – WC – Co по прочности. Это обстоятельство может быть ограничением при выборе условий работы сплавов, так как предполагает легкое безударное нагружение без динамических нагрузок и концентраторов напряжений, с преобладанием нормальных напряжений сжатия. Принципиально, что такие условия нагружения характерны для режущих элементов токарных и расточных инструментов, для матриц и пуансонов пресс-форм и некоторых штампов, износостойких футеровок, опорных и других износостойких деталей, которые составляют возможную область применения новых сплавов TiC – спецсталь.

Уровень свойств твердых сплавов TiC – спецсталь может быть повышен. Основные направления: оптимизация состава спецстали, оптимизация состава карбидной основы (перспективно легирование другими карбидами), совершенствование технологии изготовления сплавов (особенно для снижения пористости).

Установленные нами технологические свойства сплавов TiC – сталь X14Г10Т6 должны быть учтены в работах по улучшению структуры и свойств сплавов TiC – спецсталь. Представляется реальным повышение основных механических свойств (твердости, прочности и износостойкости) этих сплавов путем легирования карбидной основы.

Установленные оптимальные температуры спекания при высоком содержании в сплавах карбида титана требуют некоторого уточнения состава стальной связки. Для снижения оптимальной температуры спекания в состав сплавов могут быть введены компоненты с повышенной растворимостью в карбиде титана (как металлы, так и твердые соединения).

При оптимальной температуре минимальную величину имеет пористость – один из факторов влияния на механические свойства. Сплавы TiC – сталь X14Г10Т6 в нашей экспериментальной серии имеют пористость около 1,5 % (у сплавов типа Т15К6 – не более 0,2 %). Это – резерв повышения механических свойств.

Установлена величина линейной усадки при спекании, которая используется при расчете размеров прессовки и пресс-формы. Величина усадки у сплавов TiC – сталь X14Г10Т6 при содержании TiC 80–90 % составляет 21,8–22,2 %. Это значительно отличается от усадки сплавов группы ТК – от 25 до 32 %.

Установлено, что на величину зерен карбида титана влияет прежде всего температура спекания: от среднего размера зерна 2,5 мкм при 1450 °С до 10 мкм при 1700 °С. При оптимальных температурах 1600–1650 °С размер карбидного зерна составляет 5–7 мкм.

Одним из главных свойств связки твердого сплава, которое закладывалось при моделировании структуры спецстали, является высокая теплостойкость (выше, чем у связок Ni – Mo и Fe – Mo), поэтому главное ожидание связано с теплостойкостью и режущими свойствами сплавов TiC – сталь X14Г10Т6.

Литература

1. Яняк, С. В. Экспериментальная оценка свойств твердых сплавов с железной связкой / С. В. Яняк, Г. Ю. Пивень // Автоматизация и энергосбережение в машиностроении, энергетике и на транспорте : Материалы XIV Международной научно-технической конференции. – Вологда, 2018. – С. 281–284.

2. Яняк, С. В. Анализ структуры спеченных твердых сплавов с железной связкой / С. В. Яняк, Г. Ю. Пивень // Механика, оборудование, материалы и технологии : электронный сборник научных статей по материалам международной научно-практической конференции. – Краснодар, 2018. – С. 273–282.

3. Яняк, С. В. Анализ прочности твердых сплавов с железной связкой / С. В. Яняк, Г. Ю. Пивень // Междисциплинарные исследования, современное состояние и перспективы развития. Материалы XVI международной научно-практической конференции / «ИМПРУВ». – Екатеринбург, 2018. – С. 25–29.

4. Яняк, С. В. Анализ износостойкости твердых сплавов с железной связкой / С. В. Яняк, Г. Ю. Пивень // Междисциплинарные исследования, современное состояние и перспективы развития : материалы XVI международной научно-практической конференции / «ИМПРУВ». – Екатеринбург, 2018. – С. 30–37.

5. Комиссарова, И. И. Экспериментальная оценка и анализ износостойкости материалов / И. И. Комиссарова, С. В. Яняк, И. О. Берсенев // Вестник Вологодского государственного университета. – 2018. – № 2 (2). – С. 6–10.

6. Яняк, С. В. Влияние содержания карбида титана на свойства твердых сплавов с железной связкой / С. В. Яняк, Г. Ю. Пивень // Актуальные проблемы науки и практики : материалы национальной научно-практической конференции. – Пенза, 2018. – С. 210–214.

7. Яняк, С. В. Экспериментальная оценка свойств твердых сплавов на основе карбида титана со стальными связками / С. В. Яняк, Г. Ю. Пивень // Актуальные проблемы науки и практики в различных отраслях народного хозяйства. Материалы национальной научно-практической конференции. Часть 4. Технические науки (Пенза, 28–29 марта 2018 г.) / Пензенский ГУАиС. – Пенза, 2018. – С. 204–209.

8. Яняк, С. В. Экспериментальная оценка свойств твердых сплавов на основе карбида титана с железомолибденовой связкой / С. В. Яняк, Г. Ю. Пивень // Вестник Вологодского государственного университета. – 2018. – № 1 (1). – С. 23–27.

9. Яняк, С. В. Анализ структуры и свойств твердых сплавов на основе карбида титана с железомолибденовой связкой / С. В. Яняк, Г. Ю. Пивень // Вестник Вологодского государственного университета. – 2019. – № 2 (4). – С. 22–26.

10. Яняк, С. В. Анализ свойств и структуры специальной стали для связки в твердых сплавах на основе карбида титана / С. В. Яняк, И. И. Комиссарова // Автоматизация и энергосбережение в машиностроении, энергетике и на транспорте : Материалы XV Международной научно-технической конференции. – Вологда : ВоГУ, 2021. – С. 47–52.

S.V. Yaniak, I.I. Komissarova
Vologda State University

EXPERIMENTAL EVALUATION AND ANALYSIS OF PROPERTIES OF HARD ALLOYS BASED ON SPECIAL STEEL BOND TITANIUM CARBIDE

The results of an experimental assessment of the mechanical and technological properties of solid alloys are based on 30, 40, 50, 60, 70, 80, 85, 85 and 90 % titanium carbide with a steel special connection. The structure and composition of special studies are created according to a model that provides steel high heat resistance and improved interaction with titanium carbide. Test samples are made according to traditional technology with liquid-phase sintering. Optimum sintering temperatures of alloys associated with the content of titanium carbide and the type of alloy structure were determined. The best complex of properties is provided by a structure with a fine-grained carbide frame. The patterns of changes in the strength of the bend, firmness and wear resistance (abrasive) are established, depending on the content of titanium carbide in the alloy. Fractiographic analysis confirmed the improved interaction of a steel ligament with a titanium carbide during sintering, manifested in the increased strength of interphase boundaries. The level of mechanical properties allows you to recommend alloys for use as wear-resistant materials.

Hard alloy, titanium carbide, steel ligament, structure, properties, sintering temperatures, strength, hardness, abrasive wear.