



РЕЖУЩИЕ СВОЙСТВА ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ КАРБИДА ТИТАНА С ЖЕЛЕЗО-МОЛИБДЕНОВОЙ СВЯЗКОЙ

Экспериментально установлен обнадеживающий уровень режущих свойств твердых сплавов на основе карбида титана с железо-молибденовой связкой. Молибден, способный растворяться в карбиде титана, улучшает взаимодействие связки с карбидной основой, снижая пористость, повышая твердость и прочность сплава. Молибден создает в связке структуру высоколегированного феррита с интерметаллидной упрочняющей фазой, которая обладает теплостойкостью 700–750 °С. Установлены корреляции твердости, прочности, теплостойкости с износом сплавов при резании. Наиболее устойчивой является корреляция с «горячей» твердостью. Сделан вывод, что для повышения режущих свойств сплава на основе карбида титана необходимо создание специальной стали с теплостойкостью 800–850 °С и «горячей» твердостью HV350–400 при этих температурах.

Твердый сплав, карбид титана, сталь, молибден, феррит, интерметаллид, теплостойкость.

В настоящее время в металлообработке в качестве режущих материалов преимущественно используются классические твердые сплавы на основе карбида вольфрама с добавлением карбида титана и с кобальтовой связкой. Наиболее перспективным направлением считается использование сменных твердосплавных пластин с многослойными карбидо-нитридо-оксидными износостойкими покрытиями. Ограниченно применяются (в основном для чистового точения) пластины из безвольфрамовых твердых сплавов на основе карбида (карбонитрида) титана с никель-молибденовой связкой.

Приемлемые режущие свойства сплавов TiC-Ni-Mo связаны с благоприятным влиянием молибдена на структуру и свойства сплавов. Молибден, растворяясь в карбиде титана, уменьшает склонность карбида к хрупкому разрушению, улучшает смачиваемость карбидов связкой, снижает пористость сплавов, упрочняет связку и повышает ее теплостойкость. Высокая теплостойкость никель-молибденовой связки объясняется образованием в ней упрочняющих интерметаллидов типа фазы Лавеса (MoNi₂) с температурой коагуляции и растворения в никеле около 750 °С. Соответственно эта температура определяет уровень рабочих температур при обработке резанием.

Большой практический интерес представляет изучение режущих и механических свойств родственной группы сплавов TiC-Fe-Mo (без достаточно дефицитного никеля).

При изучении влияния на свойства сплавов с основой из карбида титана сталей разных структурных классов [1] нами установлено, что только стали ферритного класса с интерметаллидным упрочнением могут быть эффективной связкой для карбида титана. Железо-молибденовая связка является самой простой двухкомпонентной сталью ферритного класса с интерметаллидами. Диаграмма состояния Fe-Mo показывает сильное ферритообразующее влияние молибдена: уже 3,3 % Mo закрывают аустенитную область, от 7 до 35 % Mo создают область переменной растворимости, в которой происходит выделение дисперсных интерметаллидов. Проведенный нами рентгенофазовый анализ [2] выявил в структуре спеченного сплава 70 % TiC, 5 % Mo, 25 % Fe от 2 до 5 % интерметаллида Fe₇Mo₆. Интерметаллид MoFe₂ не выявлен либо из-за малой концентрации, либо из-за его присутствия в твердом растворе феррита в виде зон с когерентным сопряжением (до образования самостоятельной фазы). Так или иначе, установлен механизм упрочнения в железо-молибденовой связке (твердый раствор + интерметаллиды).

Экспериментальные твердые сплавы на основе карбида титана с железо-молибденовой связкой показали высокий уровень механических свойств (прочности, твердости, износостойкости), повышенный уровень режущих свойств (табл.) по сравнению со сплавами с железной и стальными связками [3–5].

Таблица

Режущие и механические свойства твердых сплавов на основе карбида титана с железо-молибденовой связкой

№ п/п	Состав сплава, % масс	Износ резанием η_z/T , мм/мин	Предел прочности при изгибе, МПа	Твердость HRA	Износ абразивом, мг
1	70 % TiC, 30 % Fe	0,78	790	86	20,2
2	80 % TiC, 20 % Fe	0,40	700	88,5	14,5
3	70 % TiC, 2,5 % Mo, 27,5 % Fe	0,37	860	88	16,5
4	70 % TiC, 5 % Mo, 25 % Fe	0,25	970	89,5	7,2
5	70 % TiC, 10 % Mo, 20 % Fe	0,33	880	88,5	8,5
6	80 % TiC, 5 % Mo, 15 % Fe	0,17	830	91	5,7

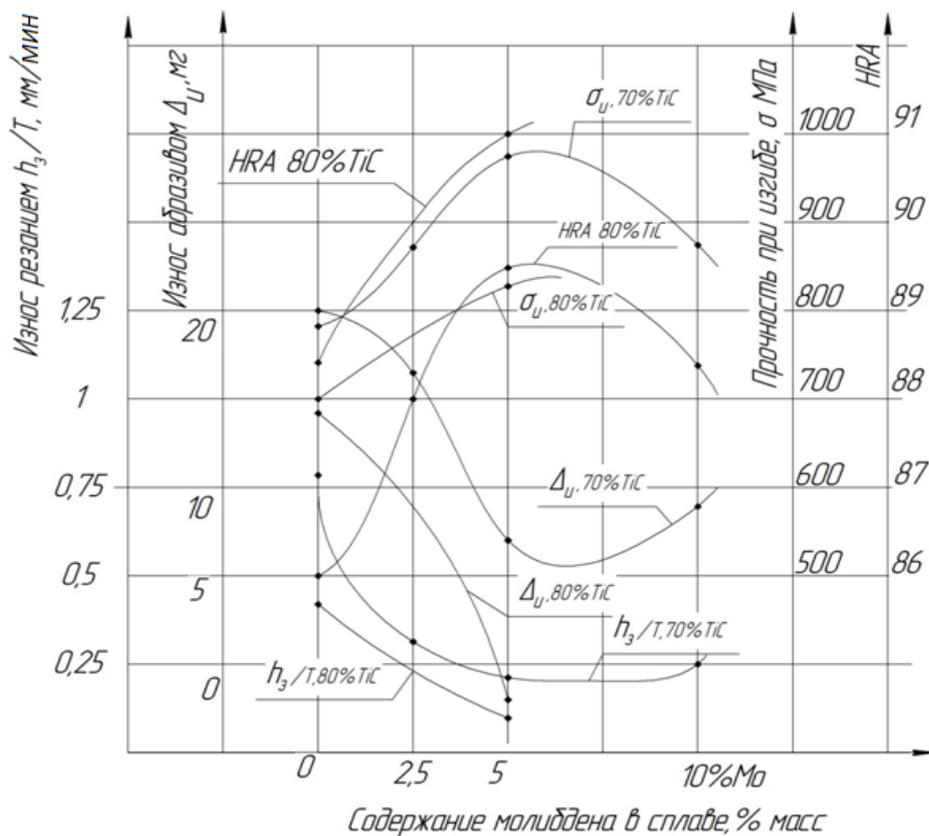


Рис. 1. Влияния содержания молибдена на свойства сплавов 70 % TiC-Мо-Fe

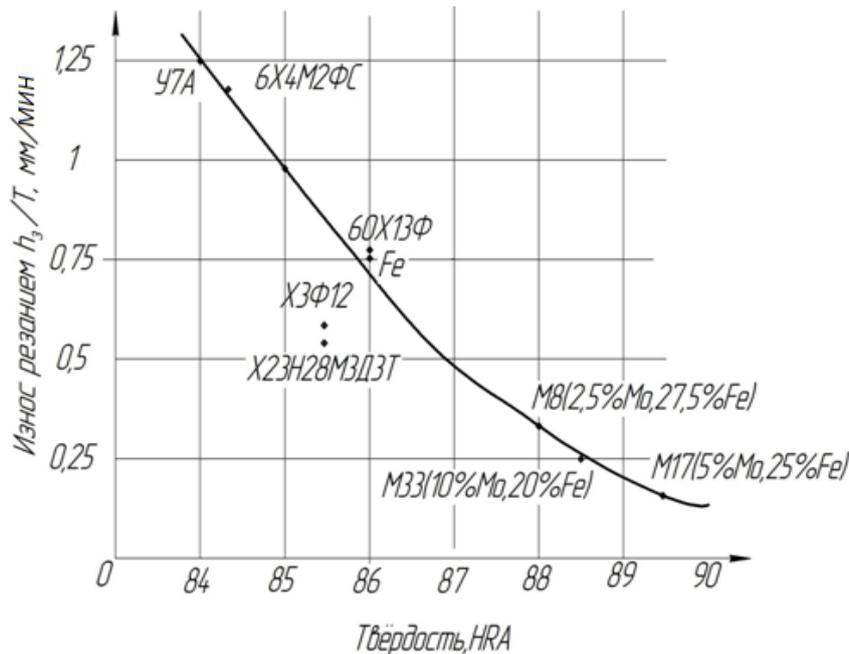


Рис. 2. Влияние твердости на износ резанием сплавов на основе 70 % TiC со стальными [1] и железо-молибденовыми связками

Методика оценки износа сплавов при абразивном механизме изнашивания приведена в нашей работе [6], износа при резании – [7, 8].

Графическая обработка экспериментальных данных (рис. 1) проявляет закономерное положительное влияние молибдена при его содержании до 5 % масс. на все свойства сплавов TiC-Fe-Мо. Главное – значительно уменьшается износ абразивом (в 4 раза) и износ резанием (в 3 раза) по сравнению со сплавами TiC-Fe. Дальнейшее повышение содержания молиб-

дена до 10 % несколько снижает все свойства сплавов. Избыточное содержание молибдена приводит к снижению микротвердости карбидной фазы (Ti,Mo)C по сравнению с TiC, к образованию коалесценции: кольцевой структуры карбидных зерен, когда вокруг ядра TiC располагается сопряженная область карбидного твердого раствора (Ti,Mo)C с ослаблением связи между TiC и (Ti,Mo)C, к выделению в большом объеме крупных интерметаллидных частиц Fe_7Mo_6 , которые охрупчивают связку.

В сплавах на основе 70 % TiC со стальными и железо-молибденовыми связками исследованы корреляционные связи между износом резанием и другими свойствами сплавов.

При увеличении твердости с HRA85 (у сплавов 70 % TiC – сталь У7А и 70 % TiC – сталь Х23Н28М3Д3Т) до HRA89,5 (у сплава 70 % TiC, 5 % Мо, 25 % Fe) износ резанием снижается до 0,25 мм/мин (рис. 2). Однако при значениях твердости HRA85-86 корреляционная связь отсутствует (значения износа резанием имеют значительный разброс). Зависимость приобретает устойчивый характер при более высоких значениях твердости (более HRA87), которые характерны для сплавов с железо-молибденовой связкой. Зависимость (с увеличением твердости сплава снижается его износ резанием) связана с повышением сопротивления режущей кромки смятию и пластическому течению сплава под действием сил резания. Ниже корреляционной зависимости находятся сплавы со связками из теплостойких сталей Х3Ф12 и Х23Н28М3Д3Т, более высокая горячая твердость которых снижает износ резанием.

Высокие значения твердости (HRA88 – 89,5) обнаружены только у сплавов с железо-молибденовыми связками, которые обладают также более высокой прочностью и износостойкостью, что делает все корреляционные связи (рис. 2–5) предсказуемыми: чем выше твердость и прочность, тем меньше износ абразивом, тем ниже износ при резании (выше режущие свойства сплавов).

При увеличении прочности при изгибе с 450 МПа (у сплава 70 % TiC – сталь У7А) до 970 МПа (у сплава

70 % TiC, 5% Мо, 25 % Fe) износ резанием монотонно снижается по аналогичной зависимости: чем выше прочность, тем меньше износ резанием (рис. 3). Это связано с повышением сопротивления разрушению режущей кромки из-за выкрашивания карбидных зерен. Ниже зависимости находится сплав с теплостойкой сталью Х3Ф12, у которой высокая «горячая» прочность незначительно уступает «холодной».

При уменьшении износа абразивом с 32,5 мг (у сплава 70 % TiC – сталь 60Х13Ф) до 7,2 мг (у сплава 70 % TiC, 5 % Мо, 25 % Fe) износ резанием монотонно снижается по слегка вогнутой зависимости от 0,95 мм/мин до 0,25 мм/мин (рис. 4). Износ резанием (вследствие пластического течения при недостаточной теплостойкости режущего материала и, прежде всего, связки, вследствие выкрашивания карбидных зерен из-за недостаточно прочных связей между TiC и сталью, из-за недостаточной прочности и износостойкости стальной связки) имеет сходную природу с износом абразивом (микрорезанием материала). Это подтверждает корреляционная зависимость с относительно небольшим разбросом значений износа резанием, которые объясняются проявлением других свойств сплавов, прежде всего теплостойкости. Повышенная теплостойкость стали Х23Н28М3Д3Т обеспечивает сплаву несколько лучшие режущие свойства, чем по линии основной зависимости. Группа сплавов с железо-молибденовыми связками обладает наилучшим (среди представленных сплавов) комплексом механических и режущих свойств.

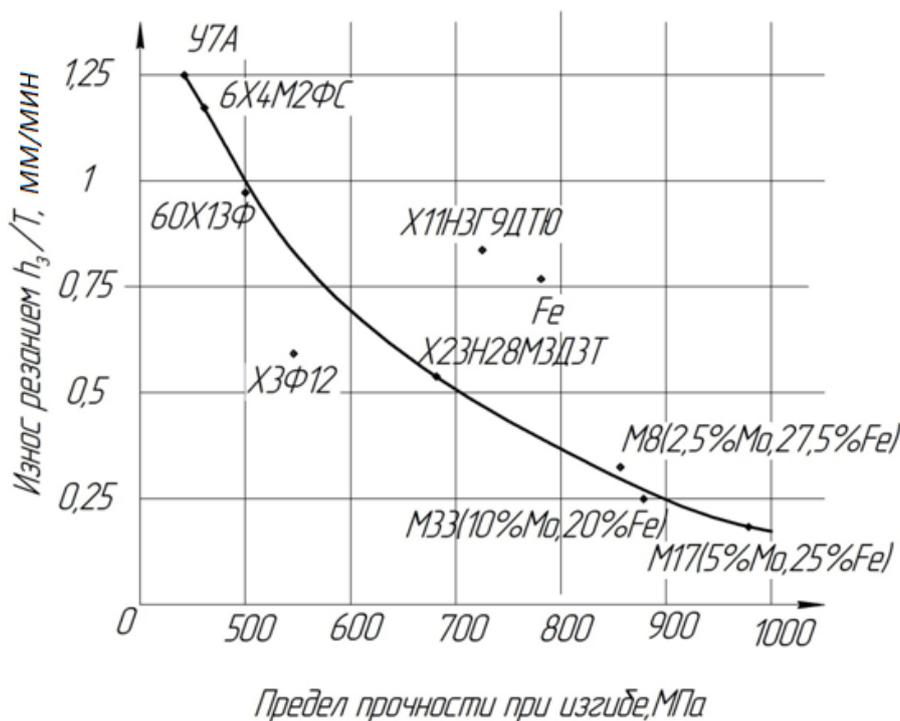


Рис. 3. Влияние прочности при изгибе на износ резанием сплавов на основе 70 % TiC со стальными [1] и железо-молибденовыми связками

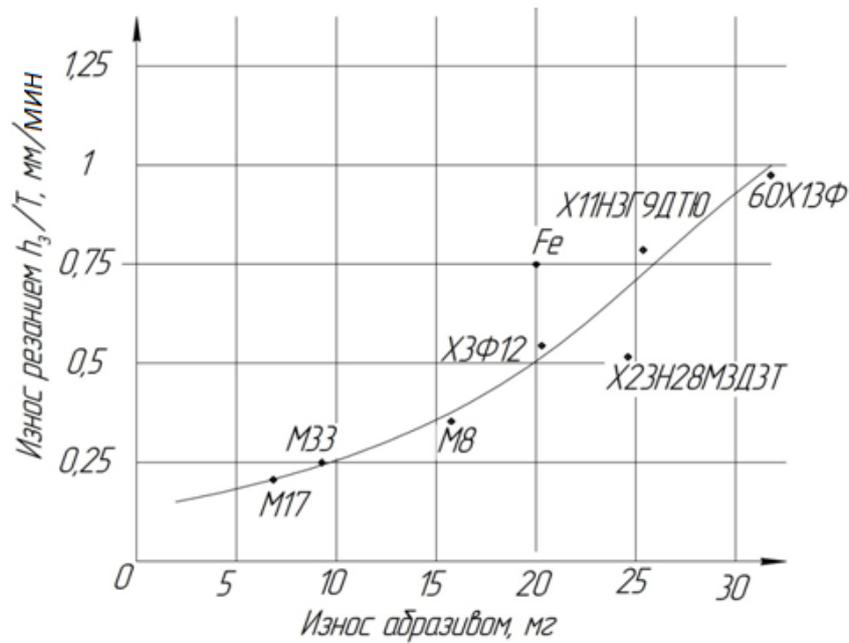


Рис. 4. Влияние износа абразивом на износ резанием сплавов на основе 70 % TiC со стальными [1] и железо-молибденовыми связками

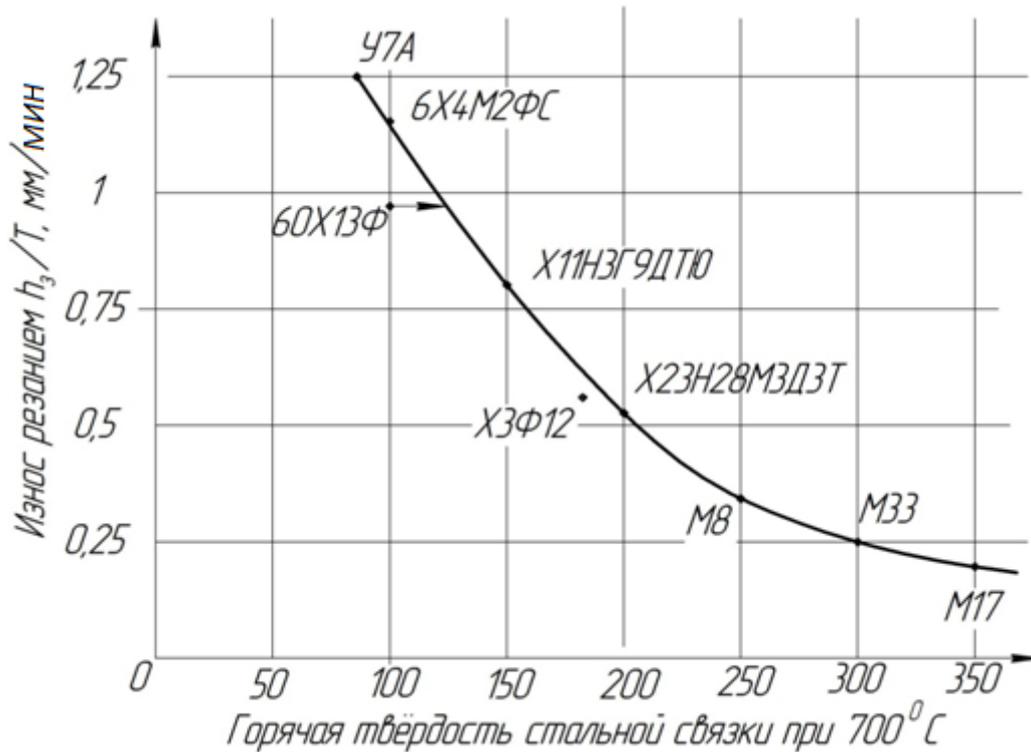


Рис. 5. Влияние горячей твердости на износ резанием сплавов на основе 70 % TiC со стальными [1] и железо-молибденовыми связками

При износе абразивом так же, как и при износе резанием, происходит нагрев изнашиваемого материала, только локальный. Поэтому при обоих видах износа особое значение приобретают «горячие» свойства материалов. «Горячая» твердость сталей, использовавшихся нами в качестве связки в сплавах на основе карбида титана, экспериментально не оценивалась, установлена ориентировочно по приведенным данным для инструментальных сталей [9]. Для корреляционной зависимости взяты сплавы с прочностью при изгибе не ниже 600 МПа.

Построенная зависимость (рис. 5) строго укладывается в ожидаемую тенденцию: с ростом теплоустойчивости сплава (которая полностью зависит от теплоустойчивости, или «горячей» твердости связки) уменьшается его износ при резании (иначе – улучшаются режущие свойства сплава). При увеличении «горячей» твердости стальной связки с $HV_{700}^0=100$ (у стали У7А и железной связки с растворившимся в ней при спекании титаном) до $HV_{700}^0=250$ (в связках М33 при 10 % Мо и М17 при 5 % Мо) износ резанием снижается по монотонной зависимости, которая ста-

новится более пологой при «горячей» твердости выше $HV_{700}^0=250$ и переходит в область ожидаемых значений с некоторым разбросом. Эта корреляция имеет наименьший разброс значений, что подтверждает первостепенное влияние теплостойкости на режущие свойства материалов. Эта корреляционная зависимость показывает, что в эффективном режущем сплаве на основе карбида титана стальная связка должна обладать «горячей» твердостью на уровне $HV400$ при $700\text{ }^\circ\text{C}$ и сохранять свою структуру и теплостойкость до $850\text{ }^\circ\text{C}$ (что соответствует теплостойкости твердых сплавов TiC-WC-Co).

Можно утверждать, что подобные корреляционные связи между износом резанием и механическими свойствами действуют также в сплавах с более высоким содержанием карбида титана (при 80–90 % TiC в сплаве) при меньшем износе резанием. Лучший результат у сплава 80 % TiC, 5 % Mo, 15 % Fe: износ резанием составил 0,17 мм/мин.

По уровню свойств, прежде всего по режущим свойствам, сплавы TiC-Fe-Mo (без оптимизации состава и технологии) существенно уступают сплавам TiC-WC-Co (у сплава T15K6 износ резанием составил 0,02 мм/мин). Однако наши работы показывают, что возможно создание весьма теплостойкой стали [10] для стальной связки в сплавах на основе карбида титана, а значит, существенное повышение режущих свойств сплавов TiC-сталь до уровня стандартных твердых сплавов.

Литература

1. 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 науч.-практ. конф. 28–29 марта 2018 г.: Ч. 4: Технические науки / Пензенский ГУАиС. – Пенза, 2018. – С. 204–209.
2. 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. Серия: Технические науки. – 2019. – № 2 (4). – С. 22–26.
3. Яняк, С. В. Экспериментальная оценка свойств твердых сплавов с железной связкой / С. В. Яняк, Г. Ю. Пивень // Автоматизация и энергосбережение машиностроительного производства...: материалы XIII международной науч.-техн. конф. 27 марта 2018 г. – Вологда, 2018. – С. 281–284.
4. 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. Серия: Технические науки. – 2018. – № 1 (1). – С. 23–27.
5. 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 науч.-практ. конф. 28–29 марта 2018 г. – Пенза, 2018. – С. 210–214.
6. Комиссарова, И. И. Экспериментальная оценка и анализ износостойкости материалов / И. И. Комиссарова, С. В. Яняк, И. О. Берсенев // Вестник Вологодского государственного университета. Серия: Технические науки. – 2018. – № 2 (2). – С. 6–10.
7. Яняк, С. В. Режущие свойства твердых сплавов на основе карбида титана с железной связкой / С. В. Яняк, Г. Ю. Пивень // Вестник Вологодского государственного университета. Серия: Технические науки. – 2019. – № 3 (5). – С. 78–81.
8. Яняк, С. В. Методика и результаты экспериментальной оценки режущих свойств твердых сплавов TiC – железо / С. В. Яняк, В. Ю. Яблокова // Автоматизация и энергосбережение машиностроительного и металлургического производства: технология и надежность машин, приборов и оборудования : материалы XIV Международной науч.-техн. конф. – Вологда, 2020. – С. 117–123.
9. Геллер, Ю. А. Инструментальные стали / Ю. А. Геллер. – 5-е изд. – Москва : Металлургия, 1983. – 525 с.
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 науч.-техн. конф. (8 декабря 2020 г.). – Вологда : ВоГУ, 2021. – С. 47–52.

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

CUTTING PROPERTIES OF HARD ALLOYS BASED ON TITANIUM CARBIDE WITH IRON-MOLYBDENUM BOND

An expressive level of cutting properties of hard alloys based on titanium carbide with iron-molybdenum bundle is defined experimentally. Molybdenum capable of dissolving in titanium carbide improves the interaction of bundles with a carbide basis, reducing porosity, increasing the hardness and strength of the alloy. Molybdenum creates a structure of high-alloyed ferrite with an intermetallic hardening phase in the bundle, which has a heat resistance of $700\text{--}750\text{ }^\circ\text{C}$. Correlations of hardness, strength, heat resistance with wear of alloys during cutting are established. The most stable is a correlation with "hot" hardness. It was concluded that to increase the cutting properties of the titan carbide base, it is necessary to create a special steel with heat resistance of $800\text{--}850\text{ }^\circ\text{C}$ and "hot" hardness of $HV350\text{--}400$ at these temperatures.

Carbide, titanium carbide, steel, molybdenum, ferrite, intermetallic, heat resistance.