

УДК 621.762

UDC 621.762

05.00.00 Технические науки

Engineering

ОСОБЕННОСТИ ВЛИЯНИЯ СТРУКТУРЫ НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ КАРБИДОСТАЛЕЙ**FEATURES OF STRUCTURE INFLUENCE FOR WEAR RESISTANCE OF CARBIDE STEEL**

Пломодьяло Роман Леонидович
к.т.н., SPIN-код: 6847-1279, Scopus ID=
56188575500, sutk_kubstu@mail.ru

Plomodyalo Roman Leonidovich
Cand.Tech.Sci, SPIN-code: 6847-1279, Scopus ID=
56188575500, sutk_kubstu@mail.ru

Свистун Лев Иванович
д.т.н., SPIN-код: 4557-0070
*Кубанский государственный технологический
университет, Краснодар, Россия*

Svistun Lev Ivanovich
Dr.Sci.Tech., SPIN-code: 4557-0070
*Kuban State Technological University, Krasnodar,
Russia*

Скориков Александр Валентинович
д.т.н., SPIN-код: 4759-7044
*Южно-Российский государственный
политехнический университет (НПИ) имени М.И.
Платова, Новочеркасск, Россия*

Skorikov Alexandr Valentinovich,
Dr.Sci.Tech., SPIN-code: 4759-7044
*Platov South-Russian State Polytechnic University
(NPI), Novocherkassk, Russia*

В статье рассмотрено влияние исходной пористости, межзеренной границы и способы получения карбидосталей на износостойкость карбидосталей. Дано обобщение влияния структуры на износостойкость карбидосталей

The article describes the influence of initial porosity, grain boundaries and ways of getting carbide steel for wear resistance of carbide steel. The generalization of structure influence for wear resistance of carbide steel is presented

Ключевые слова: КАРБИДОСТАЛЬ,
ПОРОШКОВАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ,
ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ

Keyword: CARBIDE STEEL, POWDER
METALLURGY, WEAR RESISTANCE

Doi: 10.21515/1990-4665-134-037

Карбидосталь представляет собой кермет (керамико-металлический композит), матрица которого образована из пластичного металла или сплава, а включения играют роль твердой фазы, обеспечивающей повышенную износостойкость материала. Вторая фаза представляет собой непластичное тугоплавкое соединение, и поэтому карбидостали можно отнести к материалам с ограниченной пластичностью. Как и все керметы, карбидосталь представляет собою гетерофазный материал.

Равномерное распределение твердых частиц карбидной составляющей по объему материала является одним из основных требований к карбидосталям. Общая характеристика микроструктур такого рода материалов приведена в работах [1, 2]. Выделенными элементами микроструктуры в керамикоподобных композитах выступают как зерна

поликристаллической матрицы, так и включения второй фазы, а их количественными характеристиками являются линейные размеры зерен (распределение зерен по размерам), морфология и линейные размеры включений, степень их связности между собой. Именно эти параметры структуры, существенно зависящие от выбора и оптимизации технологии получения композита, определяют степень проявления структурной чувствительности материала.

Структуру рассматриваемых композитов (карбидосталей) можно отнести к матричным системам, отличающимся наличием основной непрерывной в пространстве матричной фазой. В матричных системах различают матричную и стохастическую структуры. Классификация матричных структур по форме включений очень похожа на классификацию соответствующих дисперсных систем. Включения могут быть равноосными (глобулярными) и неравноосными (иглообразными или чешуйчатыми). В карбидосталях, как правило, наблюдаются неравноосные включения. Произвольная ориентация неизодиаметрических включений приводят к полному исчезновению симметрии, хотя система сохраняет высокую степень регулярности. В стохастических (случайных) структурах при некотором различии в свойствах фаз особую роль приобретают перколяционные эффекты. В таких системах проявляется дополнительный параметр геометрической структуры – порог протекания по каждой из фаз. Порог протекания – это объемная доля фазы, при которой из ее элементов образуется бесконечный кластер контактирующих между собой частиц. Если средние размеры частиц обеих фаз существенно различаются (в шихтах карбидосталей на порядок), порог протекания существенно снижается для фазы с мелкими частицами и возрастает для фазы более грубодисперсной. Соответственно изменяются и свойства материала, который наследует такую структуру после консолидации.

Как идеально матричная, так и идеально стохастическая структура является в определенном смысле абстракцией. Структура реальных композитов чаще всего является промежуточной между матричной, т.е. определенным образом упорядоченной, и случайной (статистической). При определении свойств таких систем используется принцип суперпозиции, согласно которому реальную двухфазную смесь можно разложить на две подсистемы – чисто матричную и чисто стохастическую, каждая со своим статистическим весом. Такое разложение эквивалентно введению виртуальной мезоструктуры, в качестве элементов которой выступают зоны преобладания того или иного типа структуры. Существуют алгоритмы вычисления этих статистических весов, исходя из усредненных геометрических параметров реальной системы, которые могут быть определены, например, с помощью количественного металлографического анализа. Одним из таких параметров является отношение средних размеров частиц фаз, другим – характеристика связности (смежности) фаз. Значение первого параметра сравнительно легко задать, проектируя технологический процесс получения композита, и сохранить до конечной структуры, используя методы твердофазной консолидации [3]. Управление же степенью смежности требует значительно более глубокого проникновения в закономерности эволюции микроструктуры дисперсной системы при срачивании частиц в процессе механо-термической обработки материала. Если иметь в виду появление жидкой фазы при нагреве композита, то образованию матричной структуры в значительной степени будет способствовать проникновение расплава в область межчастичных контактов. А это значит, что технология должна отвечать условию полного смачивания зерен тугоплавкой фазы расплавом.

Научно-обоснованный выбор, контролируемость и надежность многоступенчатого технологического процесса получения композита являются неперенными условиями получения его оптимальной

структуры и обеспечения более высокого уровня физико-механических и функциональных свойств по сравнению с однофазными поликристаллическими материалами.

В большинстве случаев карбидостали являются двухфазными композитами типа «металл – твердое включение». При формировании структуры карбидостали необходимо обеспечить минимальную пористость порошкового металла и качественное сращивание металлических частиц. Что касается включений, то, в идеальном случае, необходимо получить непрерывную контактную поверхность на границе матричного металла с включением, чтобы обеспечить достаточную прочность закрепления включений в материале.

Метод горячей штамповки в принципе обеспечивает качественное сращивание металлических частиц [4]. Межчастичная поверхность сращивания отличается от межзеренной границы наличием субмикропор. Залечивание субмикропор происходит по диффузионному механизму. Необходим подбор оптимальных значений давления и температуры обрабатываемого материала. Технология должна предусматривать защиту поверхности сращивания от окисления. Наличие оксидов резко снижает механические свойства материала. Не допускается сегрегация легирующих элементов.

Существенное влияние на структуру и свойства горячештампованных порошковых материалов (ГШМ) оказывает исходная пористость заготовок, а также степень деформации частиц материала при штамповке и приведенная работа деформации [5]. Авторы работы [6], указывая на ухудшение свойств ГШМ с уменьшением исходной пористости заготовок, связывают это, главным образом, с худшими условиями довосстановления оксидов при нагревании под штамповку в среде водорода для заготовок с более низкой пористостью, а также большей неоднородностью их пластической деформации.

Достаточно сильное влияние на степень разнотерности оказывает величина пластической деформации материала основы частиц: повышение ее значения, которое достигается увеличением, в частности, начальной пористости заготовок, приводит к равномерной фрагментации зерен. При уплотнении спеченных заготовок с низкой пористостью (при $\theta_0 = 5 - 9 \%$) структура горячештампованного материала груботернистая и неоднородная, что значительно снижает его механические свойства.

Одной из особенностей микроструктуры ГШМ является столбчатость периферийных зерен и разнотерность структур центральной и периферийной зон образцов: по мере приближения к центральной части образцов размер зерен увеличивается [6]. Авторы объясняют это тем, что первичная рекристаллизация здесь идет полнее, так как скорость охлаждения намного меньше, чем в периферийной зоне. При этом, с повышением температуры ГШ разнотерность зон уменьшается.

Структура ГШМ формируется в основном на четырех этапах их производства: при получении исходного порошка и пористых заготовок из него; в процессе нагрева (спекания), горячей обработки давлением этих заготовок и при проведении заключительной термообработки сформованных изделий. Особая специфичность формирования структуры проявляется на последнем этапе, и это обуславливает необходимость его отдельного рассмотрения.

Температура и продолжительность нагрева перед штамповкой влияет, с одной стороны, на протекание процессов межчастичного срачивания при уплотнении заготовки и формировании из нее готового изделия, а с другой – на особенности структуры материала, определяя возможность протекания рекристаллизационных процессов и проявления эффекта термомеханической обработки.

С повышением температуры нагрева вследствие увеличения пластичности материала, снижения его сопротивления деформированию и

улучшения условий активации контактных поверхностей эти процессы интенсифицируются. В то же время, понижение температуры приводит к увеличению числа дефектов структуры и, соответственно, к увеличению напряжений второго рода и уменьшению размеров блоков мозаики [7].

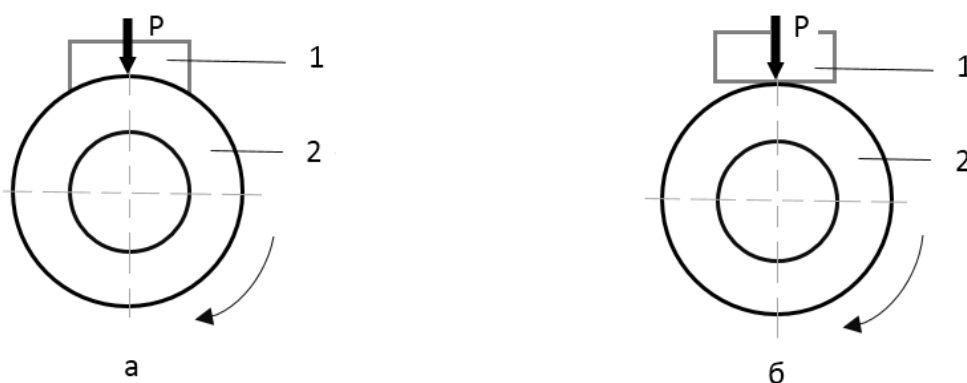
Увеличение работы (усилия) горячей штамповки до значений, обеспечивающих плотность монолита, во всех случаях сопровождается повышением механических свойств материала. Дальнейший рост работы уплотнения, не вызывая изменения плотности, приводит к так называемому перенаклепу и снижению механических свойств в результате появления микротрещин в теле поковки. Особенно наглядно это проявляется при наличии неметаллических включений, барьерное влияние которых вызывает образование скоплений дислокаций, перерастающих в микротрещины. И все же определяющую роль в обеспечении качества горячештампованных карбидосталей должен играть процесс сращивания на контактных поверхностях между частицами порошка.

Качество материала – понятие многоплановое. Одной из главных его характеристик является способность материала отвечать требованиям эксплуатации. Применительно к порошковым карбидосталям, получаемым методом ГШ, оно включает износостойкость, коррозионностойкость и теплостойкость. Такое сочетание свойств может быть достигнуто лишь при условии обеспечения удовлетворительного качества сращивания на границах частиц «сталь - сталь», «сталь - карбид», предотвращения возможности контакта «карбид - карбид», а также возникновения расслоений и трещин на межфазных границах в сердцевине материала заготовки и на ее внешних боковых поверхностях при горячей допрессовке. В связи с этим решение проблемы качества горячештампованных порошковых карбидосталей предполагает необходимость комплексного подхода при разработке технологии их получения.

Для исследования износостойкости карбидосталей были использованы машины трения, которые позволяют провести испытания материалов по схеме контакта по цилиндрической поверхности (рисунок 1, а) и по “линейному” контакту (рисунок 1, б).

Первая схема и методика испытаний соответствуют ГОСТ 26614-85. В соответствии со стандартной методикой первичная площадь контакта образцов составляла $0,57 \text{ см}^2$. Испытания проводили как при сухом трении, так и с применением смазки машинным маслом. Величина скорости скольжения составляла $1,0 \text{ м/сек}$, давление на образец – $1 - 5 \text{ МПа}$.

Вторая (нестандартная) схема позволяет испытывать образцы при давлениях до 20 МПа и используется для экспресс-анализа. Испытания проводили в условиях сухого трения. Образцы размером $4 \times 5 \times 20 \text{ мм}$ усилием 100 Н (10 кг) прижимались плоской поверхностью к ролику диаметром 40 мм . Длина линии контакта по мере износа достигала величины $9,5 \text{ мм}$. Длительность испытаний составляла 60 с , что при скорости скольжения 2 м/с соответствовало 120 м пути трения.



1-испытуемый образец; 2-контртело

Рисунок 1 –Схемы испытания износостойкости карбидостали:

а – контакт по цилиндрической поверхности;

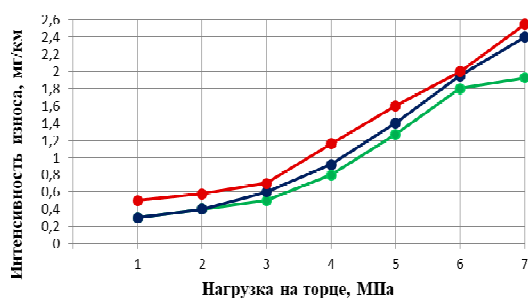
б – линейный контакт

Во всех испытаниях в качестве контртела использовали закаленную сталь P18 с твердостью 60 HRC₃. Сила трения при проведении испытаний измерялась автоматически. Износостойкость определялась весовым методом, т.е. по разности веса образца до и после испытаний. Критерием оценки служила интенсивность износа – мг/км. При использовании первой схемы ее пересчитать в единицах мкм/км.

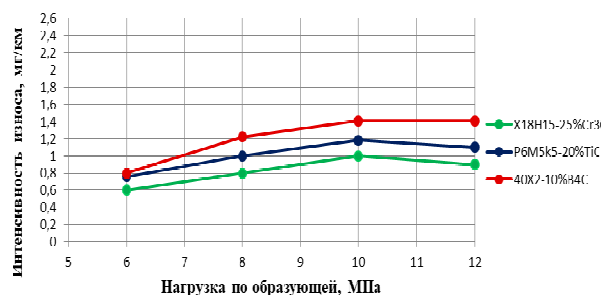
Результаты испытаний термообработанных (закалка, отпуск) образцов на износостойкость представлены на рисунке 2.

Пониженные показатели интенсивности износа при нагрузках 6 – 12 МПа по сравнению с нагрузками 1 – 5 МПа объясняются использованием разных схем испытаний, т.е. сравнение абсолютных значений показателей износа будет некорректным.

Можно отметить в качестве особенности тот факт, что при сравнительно небольших нагрузках (до 5 МПа) интенсивность износа всех карбидосталей с относительно высоким (~ 15 и 30 об. %) содержанием карбидов монотонно увеличивается, и приработка наступает при более высоких значениях нагрузки, приблизительно при 10 – 12 МПа, как это показано на рисунке 2, а. При пониженных содержаниях карбида (рисунок 2, б) показатель интенсивности износа перестает увеличиваться при нагрузках в пределах величины 4 – 5 МПа.



а)



б)

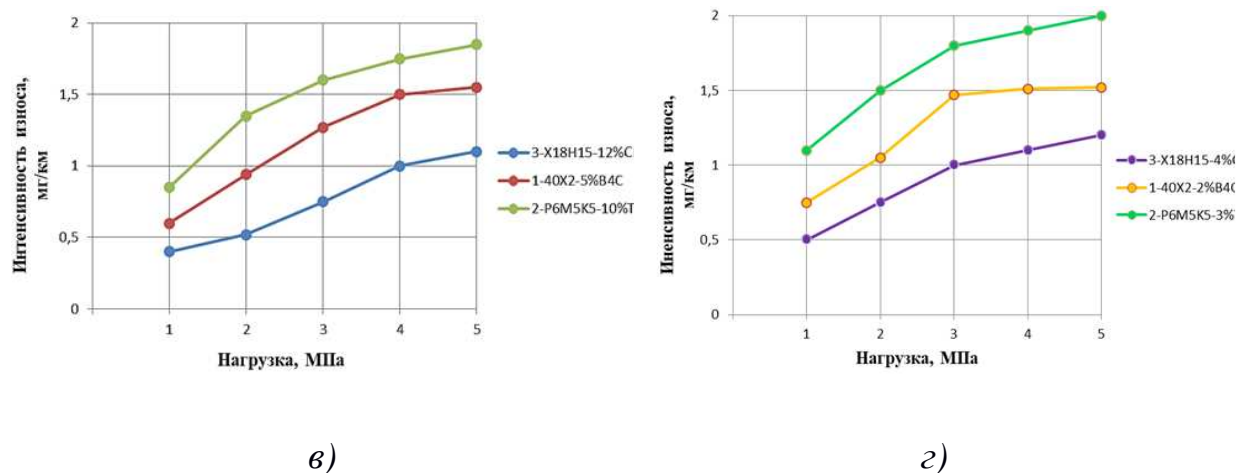


Рисунок 2 – Интенсивность износа термообработанных карбидосталей, штампованных из неспеченных заготовок:

а, б – с содержанием карбидов ~ 30 об.%;

в – с содержанием карбидов ~ 15 об. %

г – с содержанием карбидов ~ 5 об. %

Как правило, показатели износостойкости материалов коррелируют с поверхностной твердостью, которая у карбидосталей одного и того же типа снижается с уменьшением количества твердой составляющей. Однако в случае карбидосталей основную роль играет количество карбидов в композите. Так, твердость термообработанных карбидосталей с матрицей из легированных сталей (хромистая, быстрорежущая) как минимум в два раза превышает твердость карбидостали на основе нержавеющей стали, однако их показатели износостойкости при нагрузке, например, 5 МПа отличаются всего на 10–13%.

Пересчет весового износа карбидосталей при нагрузках в пределах 1 – 5 МПа дает значения линейного износа в пределах 1 – 1,5 мкм/км.

Сравнение значений интенсивности износа карбидосталей с соответствующими полученными в идентичных условиях показателями износостойкости хорошо зарекомендовавшего себя конструкционного износостойкого материала сталь – стекло [8] показывает, что карбидостали превышают износостойкость последнего на порядок.

Это позволяет рекомендовать исследованные карбидостали типа сталь – карбид бора, быстрорежущая сталь – карбид титана для изготовления деталей машиностроительного назначения, работающих в условиях интенсивного износа.

Список литературы

1. Свистун Л.И. Теоретические и технологические основы горячей штамповки порошковых карбидосталей конструкционного назначения. Дис. на соиск. уч. ст. д-ра. техн. наук – Краснодар: КубГТУ, 2010. – 340 с.
2. Плоmodityало Р. Л. Получение порошковой карбидостали на основе быстрорежущей стали и карбида титана методом горячей штамповки. Дис. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук – Краснодар: КубГТУ, 2008. – 203 с.
3. Скороход В. В. Структурообразование и структурные состояния материалов // Неорганическое материаловедение. Ч.1. – Киев: Наукова думка, 2008. – С. 339 – 357.
4. Свистун Л.И., Дмитренко Д.В., Плоmodityало Р.Л., Сердюк Г.Г. Структура и свойства горячештампованного композита «быстрорежущая сталь – карбид титана». – Известия высших учебных заведений. Порошковая металлургия и функциональные покрытия. 2009. № 1. С. 29-33.
5. Плоmodityало Р.Л. Горячая штамповка конструкционных износостойких порошковых деталей. - Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. 2008. № 2. С. 68-71.
6. Дорофеев Ю. Г., Гасанов Б. Г., Дорофеев В. Ю. и др. Промышленная технология горячего прессования порошковых изделий. – М.: Металлургия, 1990. – 206 с.
7. Дорофеев Ю. Г., Плющев А.В. Особенности структурообразования порошковых материалов при горячей штамповке // Там же. – 1989. – № 9. – С. 19 – 22.
8. Анциферов В. Н., Латыпов М. Г., Шацов А. А. Ферритики с метастабильной матрицей / Трение и износ. – 1996. – Т. 17, № 5. – С. 644 – 652.

References

1. Svistun L.I. Teoreticheskie i tekhnologicheskie osnovy goryachej shtampovki poroshkovykh karbidostalej konstrukcionnogo naznacheniya. Dis. na soisk. uch. st. d-ra. tekhn. nauk – Krasnodar: KubGTU, 2010. – 340 s.
2. Plomod'yalo R. L. Poluchenie poroshkovej karbidostali na osnove bystrorezhushchej stali i karbida titana metodom goryachej shtampovki. Dis. na soisk. uch. st. kand. tekhn. nauk – Krasnodar: KubGTU, 2008. – 203 s.
3. Skorohod V. V. Strukturoobrazovanie i strukturnye sostoyaniya materialov // Neorganicheskoe materialovedenie. CH.1. – Kiev: Naukova dumka, 2008. – S. 339 – 357.
4. Svistun L.I., Dmitrenko D.V., Plomod'yalo R.L., Serdyuk G.G. Struktura i svojstva goryacheshtampovannogo kompozita «bystrorezhushchaya stal' – karbid titana». – Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Poroshkovaya metallurgiya i funkcional'nye pokrytiya. 2009. № 1. S. 29-33.
5. Plomod'yalo R.L. Goryachaya shtampovka konstrukcionnyh iznosostojkih poroshkovykh detalej. - Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Severo-Kavkazskij region. Seriya: Tekhnicheskie nauki. 2008. № 2. S. 68-71.

6. Dorofeev YU. G., Gasanov B. G., Dorofeev V. YU. i dr. Promyshlennaya tekhnologiya goryachego pressovaniya poroshkovyh izdelij. – M.: Metallurgiya, 1990. – 206 s.

7. Dorofeev YU. G., Plyushchev A.V. Osobennosti strukturoobrazovaniya poroshkovyh materialov pri goryachej shtampovke // Tam zhe. – 1989. – № 9. – S. 19 – 22.

8. Anciferov V. N., Latypov M. G., SHacov A. A. Ferrotiki s metastabil'noj matricej / Trenie i iznos. – 1996. – T. 17, № 5. – S. 644 – 652.