

Научные тезисы

УДК 621.789

ВЫБОР МАТЕРИАЛА ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ФРИКЦИОННОЙ ПОВЕРХНОСТНОЙ ЗАКАЛКИ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ

Виктор Павлович Кузнецов*, **Игорь Алексеевич Воронцов**,
Аркадий Юрьевич Жиляков

Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

**wpkuzn@mail.ru*

Аннотация. Обоснована возможность применения твердого сплава WC–Co (10 %) с хромом Cr (0,4 %) в качестве ингибитора роста зерен при фрикционной поверхностной закалке углеродистых и легированных сталей. Получены зависимости температуропроводности и теплопроводности материала инструмента в диапазоне температур 25...1050 °С.

Ключевые слова: фрикционная поверхностная закалка, твердый сплав, ингибитор, теплопроводность

Scientific theses

CHOICE OF TOOL MATERIAL FOR FRICTIONAL SURFACE HARDENING OF STRUCTURAL STEELS

Viktor P. Kuznetsov*, **Igor A. Vorontsov**, **Arkadiy Yu. Zhilyakov**

Ural Federal University named after the First President of Russia B. N. Yeltsin,
Yekaterinburg, Russia

**wpkuzn@mail.ru*

Abstract. The possibility of using the hard alloy WC–Co (10 %) with chromium Cr (0.4 %) as a grain growth inhibitor in frictional surface hardening of carbon and alloy steels is substantiated. Dependences of thermal diffusivity and thermal conductivity of the tool material are obtained in the temperature range of 25...1050 °С.

Keywords: friction surface hardening, hard alloy, inhibitor, thermal conductivity

Эксплуатационные свойства деталей трибосопряжений, работающих в условиях высоких контактных давлений в значительной степени определяются свойствами поверхностного слоя. Интенсивно развивающимся методом поверхностного упрочнения является фрикционная обработка вращающимся инструментом [1].

Поверхностная закалка сталей методом обработки трением имеет ряд существенных преимуществ. Во-первых, она может быть реализована одним или несколькими финишными переходами многоцелевой обработки деталей трибосопряжений на станках с ЧПУ. Во-вторых, процесс фрикционной поверхностной закалки является экологически чистым и энергосберегающим. Также одним из важнейших преимуществ поверхностной закалки в процессе обработки трением вращающимся инструментом является отсутствие необходимости в приобретении дорогостоящего специализированного оборудования.

Существует множество высокоточных стальных деталей, поверхностный слой которых может быть упрочнен фрикционной закалкой в процессе изготовления на современных обрабатывающих центрах. Примером таких деталей могут быть запорные органы клиновых и шибберных задвижек, подшипники скольжения и др.

Для реализации данного процесса необходимо осуществлять выбор современного инструментального материала. Инструмент должен обеспечить требуемый нагрев под закалку и не расплавлять поверхность. Идеальным для конструкционных сталей является повышение температуры до 900...1000 °С.

Режимы фрикционной поверхностной закалки и свойства упрочненного слоя в значительной степени зависят от материала инструмента. Основными свойствами материала инструмента являются следующие: коэффициент трения в контакте с упрочняемой сталью; низкая теплопроводность; жаропрочность; стабильность твердости в широком диапазоне температур; жаростойкость (окалиностойкость); количество циклов нагрев (охлаждение) (входов-выходов инструмента в поверхностный слой); износостойкость (путь трения).

В качестве материала инструментов используются твердые сплавы на основе вольфрама с добавлением рения Re и гафния Hf, карбида вольфрама с кобальтом WC-Co, поликристаллического кубического нитрида бора PCBN и других материалов, которые имеют высокую температурную прочность и твердость.

Поверхностная закалка углеродистых и легированных сталей возможна инструментом из карбида вольфрама с кобальтом. Добавление кобальта приводит к отличной смачиваемости и адгезии с частицами карбида вольфрама, что облегчает спекание и значительно повышает прочность и вязкость инструмента. Однако твердость и износостойкость обратно пропорциональны содержанию кобальта [2]. Твердость и механические свойства сильно зависят от размера зерна и процентного содержания добавленного кобальта. Различают ультрамелкозернистую, субмикронную, мелкозернистую, среднезернистую, крупнозернистую и сверхкрупнозернистую микроструктуру сплава WC–Co.

Твердый сплав во многих отношениях является уникальным классом материалов. Наиболее примечательно, что фаза матрицы, то есть связующее, является фазой меньшинства. Взаимодействие между связующим и карбидными фазами определяет конечную микроструктуру. Регулируя содержание связующего и размер зерна сплава WC, можно обеспечить требуемую твердость и теплопроводность инструмента для фрикционной поверхностной закалки.

В целом, меньшие размеры зерен карбида вольфрама позволяют изготавливать инструмент с более мелкой микроструктурой. Предпосылкой для этого является предотвращение роста зерен во время процесса спекания путем добавления подходящих легирующих компонентов (ингибиторов) в нужном количестве, с учетом содержания кобальта. Поскольку удельная поверхность карбида зависит от его зернистости, то мелкозернистый карбид может поглотить больше связующего, чем крупнозернистый.

Для уплотнения твердого сплава на основе карбида вольфрама при спекании применяется целый ряд ингибиторов роста зерен. Наиболее мощным ингибитором является ванадий (V), за которым следуют титан (Ti), хром (Cr), тантал (Ta), молибден (Mo) и ниобий (Nb). Однако, согласно исследованиям, приведенным в работе [3], применение ванадия вызывает проблемы с охрупчиванием вследствие его выпадения в осадок на стыках границ зерен карбида вольфрама.

Добавление титана в количестве 0,25 % (Ti-2500) уменьшает средний размер зерна WC в спеченном состоянии до 0,4 мкм (рис. 1, б). Кроме того, значительно уменьшается вероятность появления аномально крупных зерен WC. Добавление хрома может повысить коррозионную

стойкость твердых сплавов (рис. 1, в). Пример влияния очень малых добавок хрома на микроструктуру твердого сплава WC–Co (10 %) приведен в работе [4].

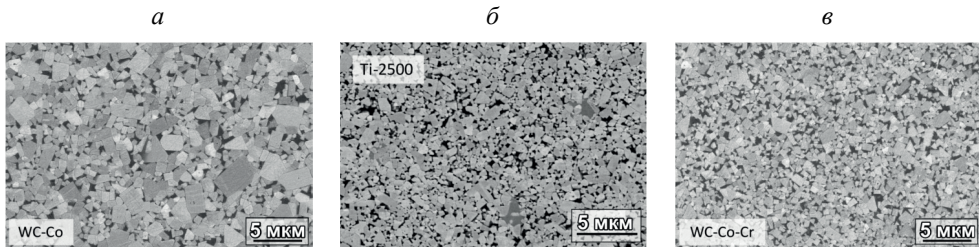


Рис. 1. Микроструктуры исходного сплава W–Co (10 %) (а) и с добавлением ингибиторов роста зерен: титана Ti-2500 (б) и хрома (в) [5]

С увеличением температуры твердость сплавов WC–Co снижается, при этом мелкозернистые сплавы отличаются более высокой температурной стойкостью по сравнению с крупнозернистыми [6]. Температурная деградация вызвана высокими скоростями окисления и развитием микроструктурных дефектов.

Проведены экспериментальные исследования зависимости коэффициента температуропроводности инструмента из твердого сплава KMG303 фирмы ZCC (Китай), содержащего, мас. %: 88,15 W; 10,69 Co; 0,45 Cr; 0,18 Pt; 0,11 Ln, от температуры нагрева. Температуропроводность данного ультрамелкозернистого сплава с хромом Cr в качестве ингибитора роста зерен определялась в диапазоне изменения температур 25...1050 °C методом лазерной вспышки на приборе Netzch LCA-457 MicroFlash. При известных значениях температуропроводности α , удельной теплоемкости C_p и плотности ρ твердого сплава WC–Co был рассчитан коэффициент теплопроводности $\lambda = \alpha \rho C_p$. Плотность твердого сплава ρ принималась равной 14 700 кг/м³, а удельная теплоемкость 400 Дж/(кг×°C).

Приведенные на рис. 2 зависимости коэффициентов температуропроводности α и теплопроводности λ инструмента из WC–Co сплава KMG303 фирмы ZCC показали, что предельная величина температуры нагрева при фрикционной поверхностной закалке не должна превышать 950 °C. Дальнейший нагрев приводит к разбуханию наконечника инструмента и образованию микротрещин (рис. 3).

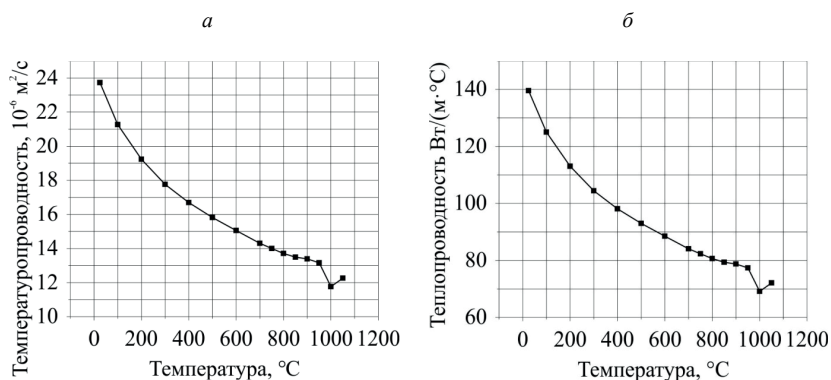


Рис. 2. Зависимости коэффициента температуропроводности (а) и коэффициента теплопроводности (б) инструментального материала от температуры



Рис. 3. Твердосплавный инструмент WC–Co (10%)–Cr (0,5%) после фрикционной закалки стали 20X13 (а), разбухание наконечника (б) и фрикционный характер износа плоского торца (в)

Таким образом установлено, что применение твердого сплава WC–Co (10%) с хромом Cr (0,4%) в качестве ингибитора роста зерен при фрикционной поверхностной закалке углеродистых и легированных сталей является возможным при температуре не превышающей 950 °C.

Список источников

1. Mishra R. S., Ma Z. Y. Friction stir welding and processing // Materials Science and Engineering. R. : Reports. 2005. V. 50. P. 1–78.
2. Review on the Possible Tool Materials for Friction Stir Welding of Steel Plates / A. Sierens [et al.] // International Journal Sustainable Construction & Design. 2014. V. 5 (1). 8 p.

3. Chang S-H., Chen S-L. Characterization and properties of sintered WC–Co and WC-Ni-Fe hard metal alloys // *Journal of Alloys and Compounds*. 2014. Vol. 585. P. 407–413.
4. Leonhardt T. Properties of Tungsten-Rhenium and Tungsten-Rhenium with Hafnium carbide // *JOM*. 2009. V. 61 (7). P. 68–71.
5. Cemented carbide microstructures: a review / J. García [et al.] // *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*. 2019. V. 80. P. 40–68.
6. Креймер Г. С. Прочность твердых сплавов. М. : Metallurgy, 1971. 247 с.

References

1. Mishra R. S. Friction stir welding and processing / R. S. Mishra, Z. Y. Ma // *Materials Science and Engineering R: Reports*. 2005. V. 50. P. 1–78.
2. Review on the Possible Tool Materials for Friction Stir Welding of Steel Plates / A. Sierens [et al.] // *International Journal Sustainable Construction & Design*. 2014. V. 5 (1). 8 p.
3. Chang S-H., Chen S-L. Characterization and properties of sintered WC–Co and WC-Ni-Fe hard metal alloys // *Journal of Alloys and Compounds*. 2014. Vol. 585. P. 407–413.
4. Leonhardt T. Properties of Tungsten-Rhenium and Tungsten-Rhenium with Hafnium carbide // *JOM*. 2009. V. 61 (7). P. 68–71.
5. Cemented carbide microstructures: a review / J. García [et al.] // *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*. 2019. V. 80. P. 40–68.
6. Kreimer G. S. Durability of hard alloys. Moscow : Metallurgy, 1071. 247 p.