

УДК 621.791.92.04

Е. Н. Еремин, А. С. Лосев, С. А. Бородин

Омский государственный технический университет,

г. Омск

ТЕРМИЧЕСКАЯ СТОЙКОСТЬ НАПЛАВЛЕННОГО МАРТЕНСИТНО-СТАРЕЮЩЕГО МЕТАЛЛА С БОРИДАМИ

Приведены результаты исследования термической стойкости инструментальной мартенситно-стареющей стали Fe-Ni-Mo-Cr-V-Si-Ti-Al, содержащей соединения бора, полученной наплавкой. Для сравнения определялась термостойкость стали 50ХНМ, используемой для изготовления штампового инструмента. Показано, что после испытаний на термостойкость образцы из штамповой стали 50ХНМ выдержали 4 теплосмены, а образцы из мартенситно-стареющих сталей, полученные наплавкой порошковыми проволоками без и с боридами, выдержали, соответственно, 20 и 34 теплосмены. Определено, что присутствие боридов в мартенситно-стареющей стали замедляет диффузионные процессы, а также способствует образованию карбоборидной эвтектики, ограничивающей развитие окисных трещин, что позволяет повысить 1,7 раза термостойкость наплавленного металла в условиях циклически изменяющейся температуры от 50 до 725 °С.

Ключевые слова: мартенситно-стареющая сталь; бориды; порошковая проволока; наплавка; термостойкость.

E. N. Eremin, A. S. Losev, S. A. Borodihin

THERMAL RESISTANCE OF THE DEPOSITED MARAGING METAL WITH BORIDES

The results of investigation of thermal resistance of maraging tool steel Fe-Ni-Mo-Cr-V-Si-Ti-Al obtained by welding, containing a boron compound. For comparison, the heat resistance was determined for steel 50HNM, which is used for the manufacture of stamping tools. It is shown that after a heat resistance test on samples of stamping steel 50HNM withstood four thermal cycles, and samples of the maraging steel obtained by welding flux cored wire with and without borides withstood respectively 20 and 34 thermal cycles. It was determined that the presence of borides for maraging steel slow diffusion processes, and promotes the formation of carboborite eutectic, which limit the development of the oxide cracks that can increase 1.7 times the heat resistance of the deposited metal by a cyclically varying the temperature from 50 to 725 °C.

Keywords: maraging steel; borides; flux cored wire; deposition; thermal stability.

Изготовление деталей методами горячей пластической деформации получило широкое распространение в крупносерийном и массовом

производства. Это связано, в первую очередь, с более рациональным использованием металла заготовки, чем в случае механической обработки, а также высокой производительностью процесса за счет его автоматизации.

Для изготовления заготовок методом горячего деформирования на кузнечно-прессовых машинах применяют штамповый инструмент, во многих случаях изготовленный из сталей марок 50ХНМ, 50ХНВ и т. п. Однако износостойкость штампов изготовленных из стали 50ХНМ остается на достаточно низком уровне и составляет в ряде случаев менее одной рабочей смены, а доля инструмента в себестоимости штамповок достигает в отдельных случаях до 30% [1]. Основными видами износа штампового инструмента являются: износ под действием термических напряжений (разгарные трещины) и износ за счет пластической деформации (смятие) (рис. 1).

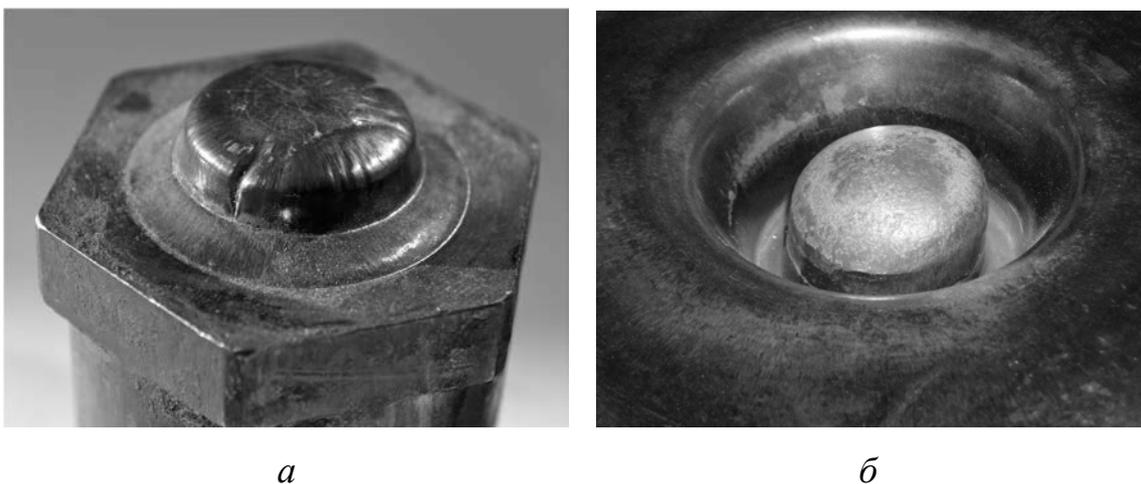


Рис. 1. Внешний вид изношенной гравюры штампового инструмента за счет разгарных трещин (а) и пластической деформации (б)

В настоящее время в качестве конструкционного материала для изготовления инструмента различного назначения широкое применение находят мартенситно-старяющие стали. Несложная термическая обработка этих сталей, а также повышенная прочность в сочетании с высокой пластичностью явились предпосылкой для разработки на их основе материалов, предназначенных для износостойкой наплавки деталей, работающих в условиях циклического температурно-силового воздействия [2].

В этом отношении высокие результаты показывает металл, полученный порошковой проволокой типа 0Н13М5Х4ФСТЮ, в состав которой введены

карбид бора, диборид титана и диборид циркония в количестве 2,5 % [3; 4]. Установлено, что введение в наплавленный металл тугоплавких соединений бора способствует получению композиционной структуры. Такой металл в состоянии после наплавки обладает микротвердостью 460–495 HV, что позволяет удовлетворительно обрабатывать его режущим инструментом не проводя операцию отжига. После отпуска при 500 °С в течение 1–2 часов происходит повышение микротвердости до 670–714 HV. Наплавленный металл с такой композиционной структурой обладает высокими показателями механических свойств и износостойкостью [5]. Вместе с тем, механизм повышения эксплуатационных свойств полученного наплавленного металла при высоких температурах изучен не достаточно, что и послужило целью выполнения данной работы.

В связи с этим в работе исследовали влияние тугоплавких соединений бора (B_4C , TiB_2 , ZrB_2) на процессы определяющие термостойкость мартенситно-старяющей стали 0Н13М5Х4ФСТЮ полученной наплавкой порошковой проволокой Ø 2,4 мм. Металл получали наплавкой в три слоя на пластины из стали Ст3 размером 200×50×10 мм без предварительного подогрева. Исследования проводили в сравнении со свойствами инструментальной стали 50ХНМ по ГОСТу 5950–73, широко используемой для изготовления штампового инструмента.

Для испытаний на термостойкость была разработана методика, согласно которой из металла изготавливался испытуемый образец размером 20×10×10 мм и фиксировался в специальной оправке, соприкасающейся непосредственно с головкой термопары. Чередование циклов «нагрев – охлаждение» осуществляли поворотом оправки с образцом на соответствующую позицию. Нагрев образцов осуществлялся пропановой горелкой до температуры 725 °С (± 25 °С), а охлаждение – водой посредством распыления из форсунки до температуры 50 °С (± 10 °С). Температура разогрева образцов фиксировалась потенциометром Термодат – 10К3/1УВ/2Р. За критерий оценки термостойкости принималось число теплосмен до

появления первой видимой трещины. При этом определяли число циклов до трещинообразования по среднему значению для трех образцов одного состава. Кроме того, изучалась поверхность образцов после 50 теплосмен для установления характера развития термических трещин.

В результате испытаний на термостойкость образцы из высокоуглеродистой штамповой стали 50ХНМ выдержали четыре теплосмены. Характер трещин на образцах из этой стали – глубокие трещины, проходящие через всю плоскость образца (рис. 2, *а*). Такая низкая термостойкость объясняется тем, что на термические напряжения накладываются структурные напряжения, которые достигают значительной величины из-за высокого содержания углерода.

Образцы из наплавленного металла, полученного порошковыми проволоками 0Н13М5Х4ФСТЮ без и с боридами, выдержали, соответственно, 20 и 34 теплосмены. Необходимо отметить, что на образцах из наплавленного металла 0Н13М5Х4ФСТЮ после 4–7 теплосмен после появления первой разгарной трещины начинает развиваться сетка разгара, которая после 50 теплосмен охватывает всю поверхность образцов. Как видно, разгарные трещины на этих образцах характеризуются большими размерами и глубиной залегания (рис. 2, *б*). Полученные результаты показывают значительное преимущество наплавленного металла с боридами, поскольку на поверхности образцов из этого металла даже после 50 теплосмен отсутствует сетка разгара, а разгарные трещины характеризуются относительно небольшой протяженностью (рис. 2, *в*).

Высокую термостойкость образцов из мартенситно-стареющих сталей по сравнению со штамповой сталью 50ХНМ можно объяснить тем, что при охлаждении данных образцов в них возникают структурные напряжения, значительно меньшие по величине, так как в данном случае образуется безуглеродистый никелевый мартенсит с небольшой степенью тетрагональности.

Для выявления различий в теплостойкости исследуемых образцов из

мартенситно-стареющих сталей проведены металлографические и дюрOMETрические исследования, которые показали, что у металла 0Н13М5Х4ФСТЮ без боридов после испытания на термостойкость микротвердость снижается почти в два раза: с 510–530 НV до 250–270 НV, а структура металла представляет собой тростомартенсит с включениями δ -феррита и остаточного аустенита. Полученные результаты можно объяснить тем, что в условиях циклически изменяющейся температуры от 50 до 725 °С происходит коагуляция упрочняющих интерметаллидных фаз, что приводит к расслоению твердого раствора с образованием зон δ -феррита и стабилизации остаточного аустенита. По-видимому, эти процессы и приводят к резкому снижению сопротивляемости образованию и развитию трещин разгара наплавленного металла 0Н13М5Х4ФСТЮ после 20 теплосмен.

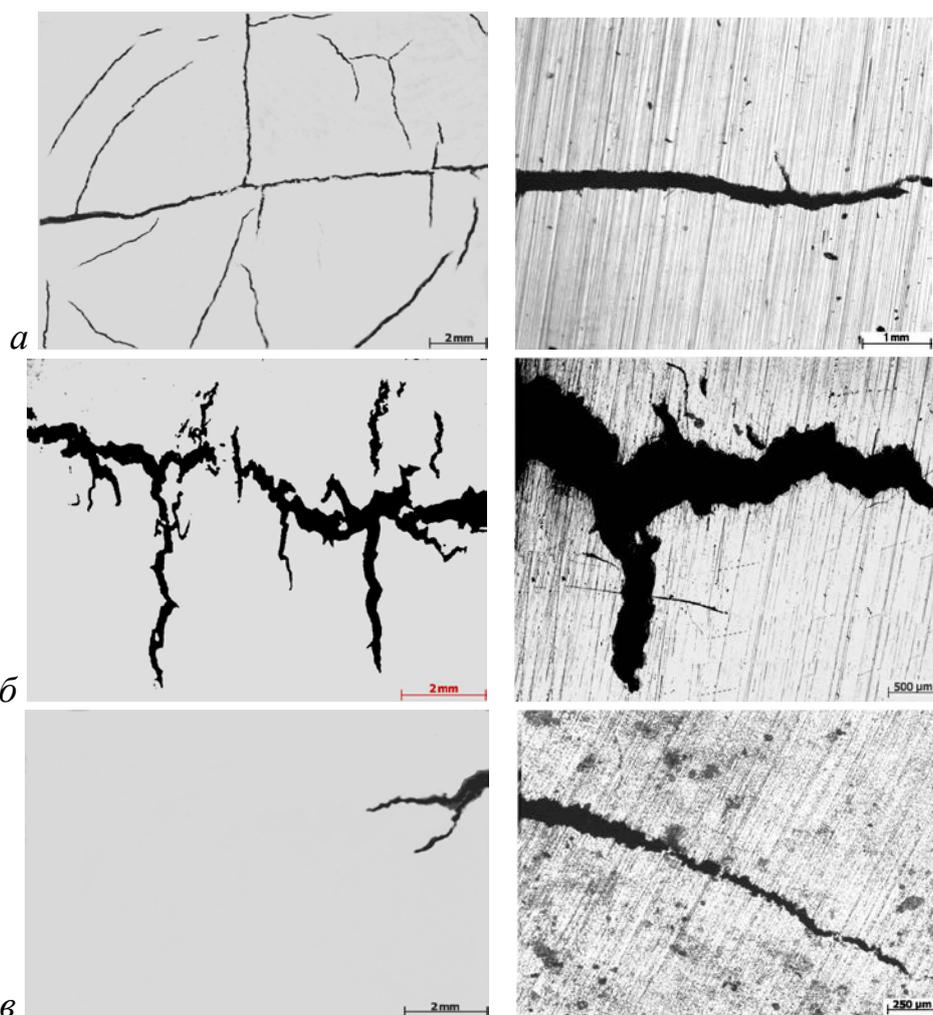


Рис. 2. Характер расположения трещин и глубина их залегания в образцах: 50ХНМ после 4 теплосмен (а); 0Н13М5Х4СФТЮ после 50 теплосмен (б); 0Н13М5Х4СФТЮ с боридами после 50 теплосмен (в)

У наплавленного металла 0Н13М5Х4ФСТЮ с боридами после испытания на термостойкость микротвердость снижается менее значительно, с 690–710 HV до 450–480 HV. Снижение твердости в этом случае также можно связать с некоторым разупрочнением железо-никелевой матрицы, обусловленным процессами коагуляции упрочняющих фаз. Однако в этом случае диффузионные процессы, вследствие присутствия труднорастворимых карбоборидных фаз и карбоборидной эвтектики, протекают значительно медленнее, и твердость композиционного материала остается на достаточно высоком уровне. Это подтверждают металлографические исследования, показавшие наличие замкнутого характера карбоборидной эвтектики (рис. 3), ограничивающей развитие разгарных трещин, что и определяет высокую термостойкость металла 0Н13М5Х4ФСТЮ с боридами.

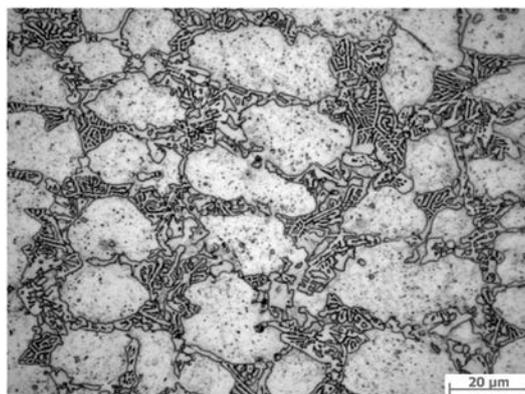


Рис. 3. Карбоборидная эвтектика в металле 0Н13М5Х4ФСТЮ с боридами

Таким образом, наличие боридов (B_4C , TiB_2 , ZrB_2) в составе порошковой проволоки 0Н13М5Х4СФТЮ, позволяет повысить 1,7 раза сопротивляемость наплавленного металла к образованию и развитию трещин разгара в условиях циклически изменяющейся температуры от 50 до 725 °С. Как показали производственные испытания, наплавка данной порошковой проволокой повышает работоспособность штампового инструмента, работающего в условиях циклически изменяющихся динамических нагрузках и высоких температур в 5–8 раз по сравнению с инструментом, изготовленным из стали 50ХНМ.

Список литературы

1. Гурьев А. М. Новые материалы и технологии для литых штампов. – Барнаул : Изд-во АлГТУ, 2000. – 216 с.
2. Износостойкая наплавка ножей горячей резки металлопроката / Е. Н. Еремин [и др.] // Заготовительные производства в машиностроении. – 2008. – № 4. – С. 17–19.
3. Лосев А. С., Еремин Е. Н., Филиппов Ю. О. Исследование влияния боридов на упрочнение мартенситно-старееющей стали // Омский научный вестник. – 2010. – № 2. – С. 131–134.
4. Порошковая проволока : патент RU 2429957 от 27.09.2011 г. БИ № 27. / А. С. Лосев, Е. Н. Еремин, В. Ф. Мухин.
5. Лосев А. С., Еремин Е. Н. Исследование влияния боридов на структуру и свойства мартенситно-старееющей стали // Омский научный вестник. – 2011. – № 1. – С. 29–33.