

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОСТОЙКОСТИ ШТАМПОВОЙ СТАЛИ, НАПЛАВЛЕННОЙ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКОЙ Н13М5Х4ФСТЮР

А.С. Лосев, Е.Н. Еремин, А.Е. Маталасова, А.С. Гуржий, В.К. Сумленинов

Омский государственный технический университет, г. Омск

Приведены результаты исследования теплостойких свойств металла наплавленного порошковой проволокой Н13М5Х4ФСТЮР, в состав которой введены карбид бора, диборид титана и диборид циркония в количестве 2,5 %. Для сравнения определялась теплостойкость наплавленного металла, полученного серийно выпускающимися материалами компании Castolin-Eutectic: электродами Castolin 6 и проволокой CastoMag 45355; а также штамповой стали 50ХНМ.

Показано, что наплавленный металл порошковой проволокой Н13М5Х4ФСТЮР с боридами по теплостойкости при температурах до 650 °С находится на уровне металла, наплавленного электродами Castolin 6, а при более высоких температурах значительно превосходит исследуемые материалы в данной работе.

Установлено, что упрочнение наплавленного металла полученного порошковой проволокой 0Н13М5Х4ФСТЮР, в отличие от обычных мартенситно-стареющих сталей, происходит за счет выделения мелкодисперсных интерметаллидных фаз Лавеса (Fe, V, Si)₂(Mo, Ti) и высокопрочных труднорастворимых карбоборидных фаз (Ti, Mo, Fe, V)₂₃(C,B)₆ круглой и (Cr, Fe, Mo, Ti)₇(C,B)₃ пластинчатой форм. Кроме этого введение боридов в данный металл приводит к образованию карбоборидной эвтектики (Fe, Ti, Mo)₃(C,B), имеющей скелетообразный характер и зернограничное расположение. Такое структурное состояние повышает температуру рекристаллизации и замедляет диффузионные процессы при высоких температурах, поэтому отпуск данного наплавленного металла до температуры 750 °С не оказывает значительного влияния на изменение структуры.

Данная порошковая проволока 0Н13М5Х4ФСТЮР с боридами рекомендуется в качестве наплавочного материала, для восстановления и повышения износостойкости штамповой оснастки и узлов металлургического оборудования.

Ключевые слова: наплавленный металл, мартенситно-стареющая сталь; бориды; твердость; теплостойкость.

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. Большое распространение данных штамповых сталей объясняется тем, что они обладают достаточно высоким комплексом эксплуатационных и технологических свойств, и, кроме того, имеют относительно низкую стоимость и не дефицитны. Однако износостойкость штампов, изготовленных из стали 50ХНМ, остается на достаточно низком уровне и составляет в ряде случаев менее одной рабочей смены [1].

В настоящее время в качестве конструкционного материала для упрочнения инструмента различного назначения широкое применение находят мартенситно-стареющие 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, 3].

В этом отношении высокие результаты показывает металл, полученный порошковой проволокой типа 0Н13М5Х4ФСТЮР, в состав которой введены карбид бора, диборид титана и диборид циркония в количестве 2,5 % [4, 5]. Такой металл в со-

стоянии после наплавки обладает микротвердостью 460–495 HV, что позволяет удовлетворительно обрабатывать ее режущим инструментом, не проводя операцию отжига. После отпуска при 500 °С в течение 1–2 ч происходит повышение микротвердости до 670–714 HV за счет выделения мелкодисперсных интерметаллидных фаз Лавеса (Fe, V, Si)₂(Mo, Ti) и высокопрочных труднорастворимых карбоборидных фаз (Ti, Mo, Fe, V)₂₃(C,B)₆ и (Cr, Fe, Mo, Ti)₇(C,B)₃ [6, 7]. Вместе с тем, механизм повышения эксплуатационных свойств полученного наплавленного металла при высоких температурах изучен недостаточно, что и послужило целью выполнения данной работы.

В данной работе приведены результаты исследования теплостойкости наплавленного металла Н13М5Х4ФСТЮР с соединения бора (B₄C, TiB₂, ZrB₂). Для сравнения также определялась теплостойкость наплавленного металла, полученного серийно выпускающимися материалами компании Castolin-Eutectic (Германия), предназначенных для упрочнения штамповой оснастки: электроды Castolin 6 – Ø2,5 мм (80M10X5B2Ф2С) и проволокой CastoMag 45355 – Ø1,2 мм (0Н18K12M4ТC); а также штамповой стали 50ХНМ по ГОСТ 5950–73.

Испытание теплостойкости проводили по изменению твердости металла после отпуска в интервале температур от 450 до 750 °С при выдержке 2 ч.

Сварка, родственные процессы и технологии

Как показали исследования, наплавленный металл порошковой проволокой (ПП) Н13М5Х4ФСТЮР с боридами по теплостойкости при температурах до 650 °С находится на уровне металла, наплавленного электродами Castolin 6, а при более высоких температурах значительно превосходит все исследуемые наплавочные материалы. Результаты испытаний на теплостойкость приведены в таблице.

Такие значения теплостойкости исследуемых сталей можно связать с их различием в составе и характере образующихся упрочняющих фаз, а также предельной температурой фазовых $\alpha \leftrightarrow \gamma$ -превращений. Штамповая сталь 50ХНМ в состоянии после закалки имеет мартенситную структуру, упрочненную карбидами цементитного типа Me_3C . При температурах свыше 550 °С в структуре тако-

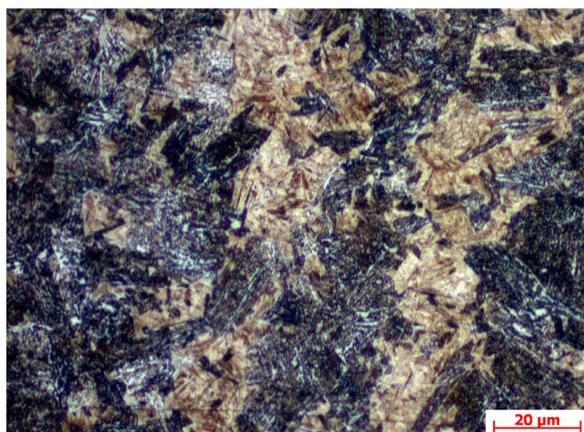
го металла происходит распад карбидов с образованием участков перлита и стабилизацией остаточного аустенита (рис. 1, а), что и определяет низкие показатели теплостойкости стали.

Металл, наплавленный электродами Castolin 6, относится к классу быстрорежущих сталей, упрочнение которого происходит специальными труднорастворимыми карбидами Me_2C и $Me_{23}C_6$, что и предопределяет его высокую теплостойкость при температурах до 650 °С (рис. 1, б). При более высоких температурах в данном металле происходит стабилизация аустенита, приводящая к резкому снижению твердости.

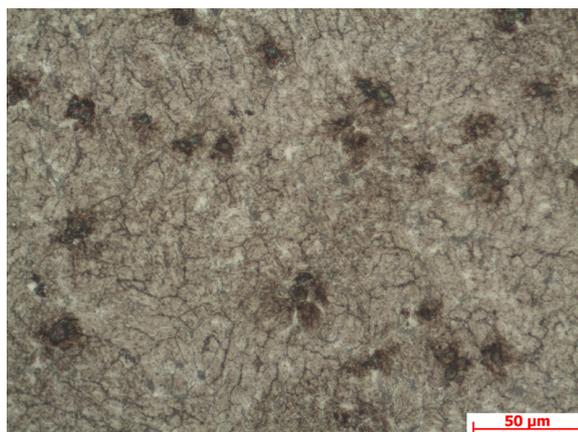
Мартенситно-стареющий металл, наплавленный проволокой CastoMag 45355, имеет структуру безуглеродистого никелевого мартенсита, упроч-

Таблица

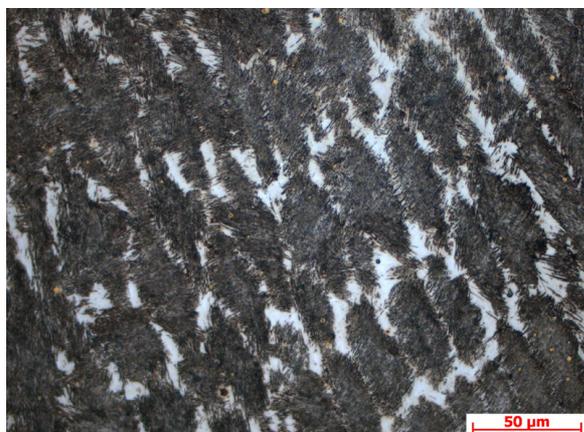
Наплавочный материал	Твердость наплавленного металла перед испытанием, HRC	Твердость наплавленного металла HRC после отпуска при температуре, °С			
		450	550	650	750
Castolin 6	61	61	60	52	34
CastoMag 45355	54	54	52	43	35
50ХНМ	55	44	38	33	30
ПП Н13М5Х4ФСТЮР	56	56	55	50	45



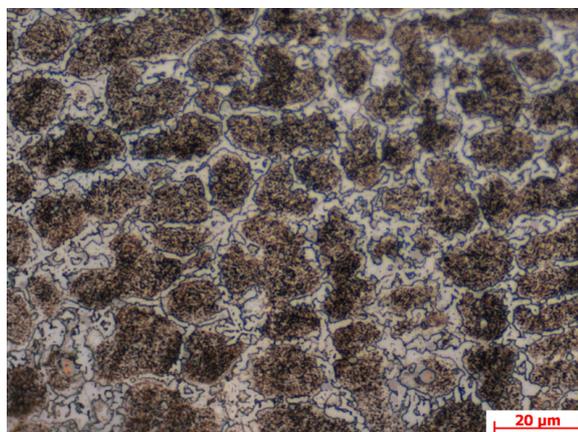
а)



б)



в)



г)

Рис. 1. Микроструктуры металла после отпуска при 750 °С – 2 часа: а – штамповая сталь 50ХНМ; б – Castolin; в – CastoMag 45355; г – ПП Н13М5Х4ФСТЮР

нение которого происходит за счет выделения интерметаллидных фаз Ni_3Ti , $(Fe, Co)_2Mo$ или Fe_2Mo . При нагреве такого наплавленного металла свыше температур оптимального старения ($500\text{ }^\circ\text{C}$) происходит коагуляция упрочняющих интерметаллидных фаз за счет растворения более мелких частиц и стабилизация остаточного аустенита (рис. 1, в), что снижает теплостойкость данного металла при температурах отпуска свыше $650\text{ }^\circ\text{C}$.

Значительное повышение теплостойкости наплавленного металла ПП Н13М5Х4ФСТЮР с боридами (см. таблицу), в отличие от обычных мартенситно-стареющих сталей, происходит за счет эффектов как интерметаллидного, так и дисперсионного упрочнения. Кроме этого, введение боридов в данную сталь приводит к образованию карбоборидной эвтектики, имеющей скелетообразный характер и зернограничное расположение, и труднорастворимых карбоборидных фаз (рис. 1, г), которые повышают температуру рекристаллизации и замедляют диффузионные процессы при высоких температурах, что обуславливает более существенное повышение теплостойкости.

Таким образом, введение боридов (B_4C , TiB_2 , ZrB_2) в состав порошковой проволоки Н13М5Х4ФСТЮР позволяет значительно повысить теплостойкость наплавленного металла вплоть до $750\text{ }^\circ\text{C}$. Применение данной порошковой проволоки в качестве наплавочного материала, позволит существенно повысить работоспособность штамповой оснастки и узлов металлургического оборудования.

Литература

1. Гурьев, А.М. Новые материалы и технологии для литых штампов / А.М. Гурьев. – Барнаул: Изд-во АлГТУ, 2000. – 216 с.
2. Износостойкая наплавка ножей горячей резки металлопроката / Е.Н. Еремин, Ю.О. Филиппов, Д.Г. Покровский и др. // Заготовительные производства в машиностроении. – 2008. – № 4. – С. 17–19.
3. Кальянов, В.Н. Мартенситно-стареющие стали для наплавки штампов / В.Н. Кальянов, В.А. Багров // Сварочное производство. – 2003. – № 2. – С. 35–37.
4. Еремин, Е. Н. Применение боридных соединений в порошковой проволоке для наплавки мартенситно-стареющей стали / Е.Н. Еремин, А.С. Лосев // Сварочное производство. – 2011. – № 10. – С. 12–15.
5. Пат. 2429957 Российская Федерация. Порошковая проволока / А.С. Лосев, Е.Н. Еремин, В.Ф. Мухин. – Опубл. 27.09.2011, Бюл. № 27.
6. Еремин, Е.Н. Влияние боридных соединений на структуру и свойства мартенситно-стареющей штамповой стали, наплавленной порошковой проволокой / Е. Н. Еремин, А. С. Лосев // Сварка и диагностика. – 2013. – № 3. – С. 32–35.
7. Еремин, Е.Н. Механические свойства и термостойкость мартенситно-стареющей стали с боридами, наплавленной порошковой проволокой / Е.Н. Еремин, А.С. Лосев // Сварочное производство. – 2013. – № 6. – С. 7–10.

Лосев Александр Сергеевич, старший преподаватель кафедры машиностроения и материаловедения, Омский государственный технический университет, г. Омск; weld_techn@mail.ru.

Еремин Евгений Николаевич, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой машиностроения и материаловедения, Омский государственный технический университет, г. Омск; weld_techn@mail.ru.

Маталасова Арина Евгеньевна, студент 2 курса специальности 151701.65 «Проектирование технологических машин и комплексов в сварочном производстве», Омский государственный технический университет, г. Омск; weld_techn@mail.ru.

Гуржий Александр Сергеевич, студент, Омский государственный технический университет, г. Омск; weld_techn@mail.ru.

Сумленинов Виктор Константинович, студент, Омский государственный технический университет, г. Омск; weld_techn@mail.ru.

Поступила в редакцию 13 января 2015 г.

INVESTIGATION OF THERMAL STABILITY OF DIE STEEL DEPOSITED WITH N13M5Kh4FSTYuR FLUX-CORED WIRE

A.S. Losev, Omsk State Technical University, Omsk, Russian Federation, weld_techn@mail.ru,
E.N. Eremin, Omsk State Technical University, Omsk, Russian Federation, weld_techn@mail.ru,
A.E. Matalasova, Omsk State Technical University, Omsk, Russian Federation, weld_techn@mail.ru,
A.S. Gurzhiy, Omsk State Technical University, Omsk, Russian Federation, weld_techn@mail.ru,
V.K. Sumleninov, Omsk State Technical University, Omsk, Russian Federation, weld_techn@mail.ru

The results of the investigation of heat-resistant properties of the metal deposited with the flux-cored wire N13M5Kh4FSTYuR composed of boron carbide, titanium diboride and zirconium diboride in the amount of 2.5 % are presented. For comparison heat resistance of the weld metal obtained by materials produced by the company Castolin-Eutectic, such as electrodes Castolin 6, wire CastoMag 45355 and rubber stamp steels 50KhNM was determined.

It is shown that metal deposited with the flux-cored wire N13M5Kh4FSTYuR with borides in heat stability at temperatures up to 650 °C corresponds to the level of the metal deposited with electrodes Castolin 6, but at higher temperatures it significantly excels materials investigated in this study.

It has been established that hardening the metal deposited with flux-cored wire N13M5Kh4FSTYuR, unlike conventional maraging steels occurs due to the release of fine intermetallic Laves phases (Fe, V, Si)₂(Mo, Ti) and highly durable low solubility carboboride phases of round (Ti, Mo, Fe, V)₂₃(C,B)₆ and lamellar (Cr, Fe, Mo, Ti)₇(C,B)₃ forms. Besides, the addition of borides to this metal leads to the formation of carboboride eutectic (Fe, Ti, Mo)₃(C, B) having a skeletal nature and a grain boundary location. Such structural condition increases the recrystallization temperature and slows diffusion processes at high temperatures, therefore, annealing of the deposited metal to the temperature of 750 °C has no significant effect on the structure change.

This flux-cored wire N13M5Kh4FSTYuR with borides is recommended as the coating material to restore and improve the wear resistance of die tooling and metallurgical equipment parts.

Keywords: deposited metal; maraging steel; boride; hardness; thermal stability.

References

1. Gur'ev A.M. *Novye materialy i tekhnologii dlya litykh shtampov* [New Materials and Technologies for Cast Dies]. Barnaul, Altai St. Techn. Univ. Publ., 2000. 216 p.
2. Eremin E.N., Filippov Yu.O., Pokrovsky D.G., Eremin A.E., Losev A.S. [Hard Surfacing of Knives for Hot Metal Cutting]. *Zagotovitel'nye proizvodstva v mashinostroenii*, 2008, no. 4, pp. 17–19. (in Russ.)
3. Kap'yanov V.N., Bagrov V.A. [Maraging Steels for Surfacing of Dies]. *Svarochnoe proizvodstvo*, 2003, no. 2, pp. 35–37. (in Russ.)
4. Eremin E.N., Losev A.S. [Application of Boride Compounds in Flux-Cored Wires for Surfacing Maraging Steel]. *Svarochnoe proizvodstvo*, 2011, no. 10, pp. 12–15. (in Russ.)
5. Losev A.S., Eremin E.N., Mukhin V.F. *Poroshkovaya provoloka* [Flux-Cored Wire]. Patent RF, no. 2429957, 2011.
6. Eremin E.N., Losev A.S. [Influence of Boride Compounds on the Structure and Properties of Maraging Steel Die Deposited with a Flux-Cored Wire]. *Svarka i diagnostika*, 2013, no. 3, pp. 32–35. (in Russ.)
7. Eremin E.N., Losev A.S. [Mechanical Properties and Thermal Stability of a Maraging Steel with Borides Deposited with a Flux-Cored Wire]. *Svarochnoe proizvodstvo*, 2013, no. 6, pp. 7–10. (in Russ.)

Received 13 January 2015

БИБЛИОГРАФИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ СТАТЬИ

Исследование теплостойкости штамповой стали, наплавленной порошковой проволокой N13M5X4ФСТЮР / А.С. Лосев, Е.Н. Еремин, А.Е. Маталасова, В.К. Сумленinov // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». – 2015. – Т. 15, № 1. – С. 77–80.

REFERENCE TO ARTICLE

Losev A.S., Eremin E.N., Matalasova A.E., Gurzhiy A.S., Sumleninov V.K. Investigation of Thermal Stability of Die Steel Deposited with N13M5Kh4FSTYuR Flux-Cored Wire. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Metallurgy*, 2015, vol. 15, no. 1, pp. 77–80. (in Russ.)