

Триботехнические свойства при трении псевдосплава из высокохромистых сталей в среде различных пластичных смазок

А.В. Сосновский, М.А. Белоцерковский, А.Н. Григорчик, В.И. Жорник, А.П. Ялович

Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси
г. Минск, Республика Беларусь

Исследовано структурно-фазовое состояние и трибомеханические свойства псевдосплава из высокохромистых сталей 12X18H10T и 40X13, полученного гиперзвуковой металллизацией. Показано, что псевдосплав характеризуется повышенным содержанием γ -фазы (≈ 60 об.%) и относительно пониженным значением твердости – 370–380 HV 10. Проведены триботехнические испытания псевдосплава из высокохромистых сталей в различных пластичных смазочных материалах. Установлено, что в присутствии комплексной литиевой смазки, модифицированной углеродными наночастицами, регистрируется повышенная износостойкость псевдосплава, которая сопоставима с износостойкостью в комплексной сульфонат кальциевой смазке.

Ключевые слова: псевдосплав, структурно-фазовое состояние, триботехнические свойства, модифицированные смазки, износостойкость

TRIBOTECHNICAL PROPERTIES IN FRICTION OF COMBINED ALLOY FROM HIGH-CHROME STEEL IN THE ENVIRONMENT OF VARIOUS GREASES

Sosnovsky A.V., Belotserkovsky M.A., Grigorchik A.N., Zhornik V.I., Jalovik A.P.

Joint Institute of Mechanical Engineering National Academy of Sciences of Belarus,
Minsk, Republic of Belarus

The structural-phase state and tribomechanical properties of a combined alloy of high-chromium steels 12X18H10T and 40X13 obtained by hypersonic metallization was investigated. It is shown that the combined alloy is characterized by an increased content of the γ -phase (≈ 60 vol. %) and a relatively lower value of hardness – 370–380 HV 10. Tribotechnical tests of combined alloy from high-chromium steels in various greases have been carried out. It is established that in the complex lithium grease, modified by carbon nanoparticles, an increased wear resistance of the combined alloy is recorded, which is comparable with the wear resistance in complex calcium sulfonate grease.

Keywords: combined alloy, structural-phase state, tribotechnical properties, modified grease, wear resistance

Введение

Псевдосплавы позволяют получать изделия с уникальными физико-механическими свойствами, что в свою очередь, обеспечило их широкое применение в различных областях промышленности [1]. Вместе с тем, производство комбинированных сплавов является весьма сложным и трудоемким процессом. В связи с этим, разработка и применение более экономичных методов получения псевдосплавов является актуальной задачей. Одним из перспективных методов получения псевдосплавов является гиперзвуковая металлизация (ГМ). В частности, метод гиперзвуковой металлизации является экономичным способом получения покрытий. К отличительным особенностям гиперзвукового напыления можно отнести: высокую скорость распыляемых частиц (свыше 400 м/с), низкую пористость получаемого покрытия (~2–5 %), а также высокий коэффициент использования напыляемого материала (0,85) [2]. Вместе с тем, свойства и, в частности, износостойкость, псевдосплавов из различных высокохромистых сталей, полученных методом ГМ, ранее не исследовались. В связи с этим, целью работы являлось исследование структурно-фазового состояния и триботехнических свойств при трении в различных смазочных материалах комбинированного сплава, полученного гиперзвуковой металлизацией проволок из высокохромистых сталей мартенситного и аустенитного классов.

Материалы и методики исследования

Псевдосплав из проволочных сталей мартенситного класса 40X13 ($d = 2,0$ мм) и аустенитного класса 12X18H10T ($d = 1,6$ мм), наносился с использованием установки для гиперзвуковой металлизации АДМ-10, разработанной в Объединенном институте машиностроения НАН Беларуси [2]. В качестве горючего газа для формирования распыляющего факела использовался пропан. После напыления поверхность псевдосплава подвергалась механической шлифовке с финишной доводкой на абразивной бумаге Р 320.

Пористость псевдосплава, напыленного на пластины ($50 \times 50 \times 5$ мм) из стали 45, составляла $\approx 2-4$ об. %. Химический состав распыляемых проволок представлен в табл. 1.

Табл. 1

Химический состав напыляемых проволок

Марка стали	Концентрация элементов, масс. %						
	C	Cr	Ni	Ti	Mn	Si	Fe
40X13	0,42	13,2	0,60	0,35	0,40	0,42	основа
12X18H10T	0,12	18,3	10,1	0,80	2,00	0,80	основа

Исследование фазового состояния напыленного псевдосплава осуществляли на дифрактометре ДРОН-3.0 в монохроматизированном кобальтовом ($CoK\alpha$) излучении при напряжении 30 кВ и анодном токе 15 мА. Расшифровка рентгенограмм осуществлялась при помощи программного обеспечения Crystallographica Search-Match с картотекой PDF-2. Металлографические исследования проводились на оптическом микроскопе АЛЬТАМИ МЕТ 1МТ.

Измерения твердости по Виккерсу проводились на твердомере DuraScan 20 при нагрузке на индентор $P = 10$ г и 10 кг.

Триботехнические испытания образцов напыленного сплава проводились на трибометре АТВП. Испытания осуществлялись по схеме возвратно-поступательно-го движения контактирующих тел при средней скорости взаимного перемещения $\approx 0,1$ м/с в режиме трения в различных пластичных смазочных материалах, а именно: литиевая смазка Литол-24 (ГОСТ 21150-75), комплексная сульфонат кальциевая смазка OIMOL KSC WR 2 (ТУ РБ 190 410 065.017-2014), комплексная литиевая смазка ИТМОЛ-150Н (ТУ РБ 100 029 077.005-2006), содержащая 0,5 масс.% углеродсодержащего наномодификатора (шихта ША-А ТУ РБ 100 056 180.003-2003). Удельная нагрузка испытаний составляла $p = 5$ МПа. При испытаниях использовалось контртело, изготовленное из закаленной стали У8 (800 HV10). Путь трения составлял ≈ 1200 м.

Результаты исследований и их обсуждение

При газотермическом напылении проволочных сталей мартенситного (40X13) и аустенитного (12X18H10T) классов, формируется комбинированный сплав, который включает в себя частицы с различным химическим составом (отдельные частицы из мартенситной и аустенитной стали, а также сплавленные частицы сталей). В связи с этим, локальные участки напыленного псевдосплава имеют различное содержание легирующих элементов (углерода, хрома, никеля, железа и др.), что, в свою очередь, приводит к неоднородности физико-механических свойств микрообластей напыленного покрытия. Усредненный химический состав напыленного гиперзвуковой металлизацией комбинированного сплава из высокохромистых сталей 40X13 и 12X18H10T представлен в табл. 2. Характерная микроструктура напыленного псевдосплава из высокохромистых сталей представлена на рис. 1.

Табл. 2

Усредненный химический состав напыленного псевдосплава

Концентрация элементов, масс. %						
C	Cr	Ni	Ti	Mn	Si	Fe
0,2–0,3	15,7	3,97	–	0,75	0,44	основа

Рентгеноструктурный анализ комбинированного покрытия из высокохромистых сталей показал, что в нем содержится 60 об.% γ -Fe, 15 об.% α -Fe и 25 об.% оксидов Fe_3O_4 и FeO (рис. 2). Повышенное количество аустенитной фазы в псевдосплаве связано с высоким содержанием γ -фазы в частицах из стали 12X18H10T, а также с особыми условиями формирования газотермических покрытий при напылении, приводящими к их изотермической выдержке в температурном интервале бейнитного превращения, что стабилизирует аустенит в частицах из стали 40X13 [3]. Твердость напыленного псевдосплава составляет ≈ 370 – 380 HV 10, что близко к твердости газотермического покрытия из аустенитной стали 06X19H9T [4].

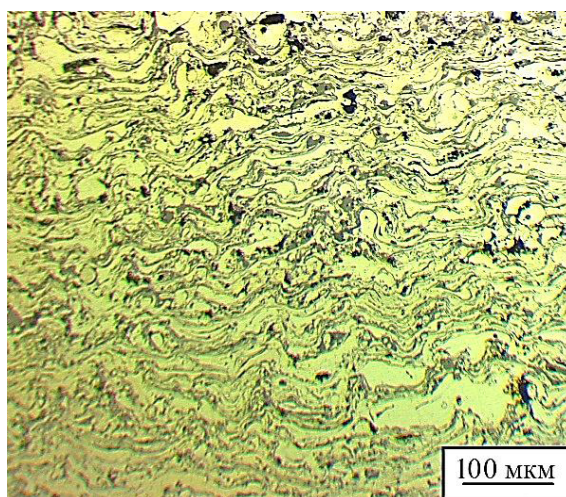


Рис. 1. Характерная микроструктура псевдосплава из высокохромистых сталей 40X13 и 12X18H10T, полученного методом гиперзвуковой металлизации

Результаты триботехнических испытаний представлены на рис. 3, 4 и в табл. 3.

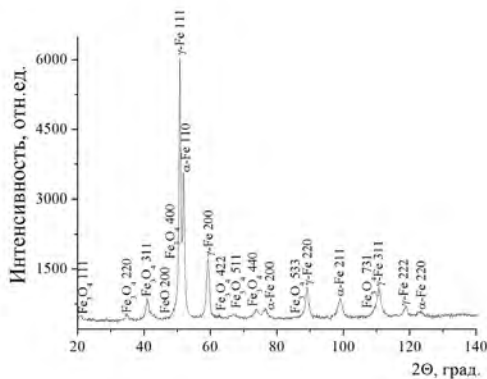


Рис. 2. Фрагмент рентгеновской дифрактограммы (CoK_α) от поверхностных слоев псевдосплава из высокохромистых сталей 40X13 и 12X18Н10Т, полученного методом гиперзвуковой металлизации

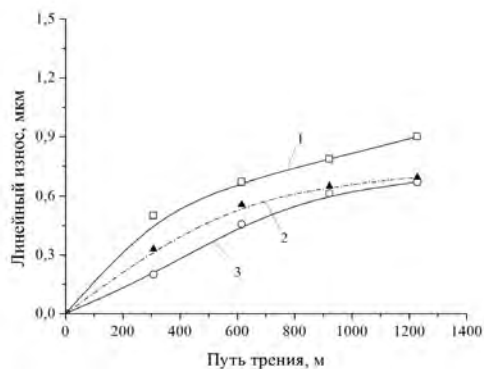
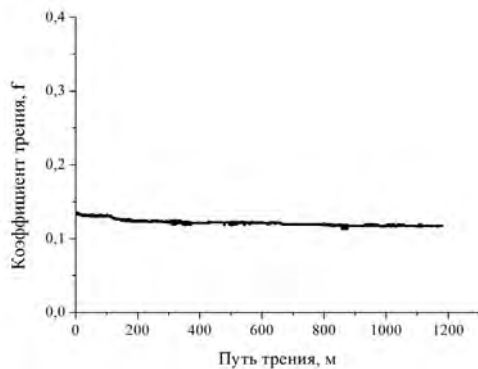
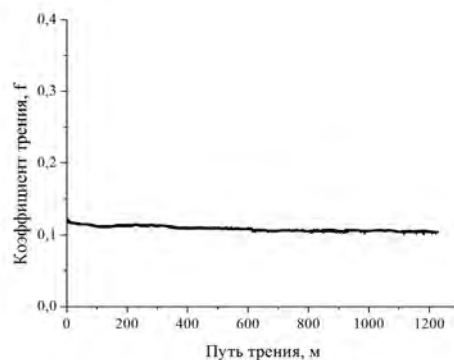


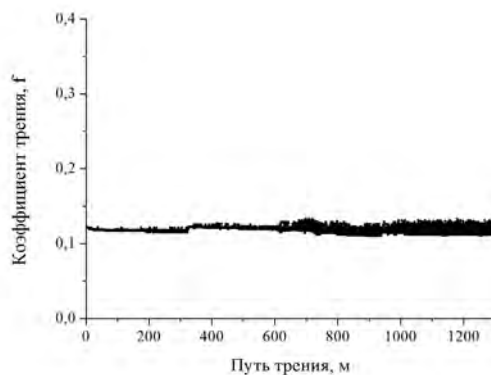
Рис. 3. Зависимость линейного износа от пути трения для псевдосплава из высокохромистых сталей 40X13+12X18Н10Т, испытанного в различных смазочных материалах при давлении 5 МПа: 1 – Литол-24; 2 – ИТМОЛ-150Н; 3 – OIMOL KSC WR 2



а



б



в

Рис. 4. Зависимость коэффициента трения от пройденного пути при испытаниях комбинированного сплава из сталей 40X13 и 12X18Н10Т, в различных смазочных материалах: *а* – Литол-24; *б* – ИТМОЛ-150Н; *в* – OIMOL KSC WR 2

Интенсивность линейного изнашивания псевдосплава из высокохромистых сталей 40X13+12X18H10T, испытанных в различных смазочных материалах при удельном давлении 5 МПа

Смазочный материал	Интенсивность линейного изнашивания, $I_q \cdot 10^{-9}$	Коэффициент трения, f
Литол-24	0,73	0,12–0,13
ИТМОЛ-150Н	0,56	0,11–0,12
OIMOL KSC WR 2	0,55	0,11–0,12

Из данных представленных на рис. 3 и в табл. 3 можно видеть, что псевдосплав из высокохромистых сталей 40X13 + 12X18H10T характеризуется относительно высокой износостойкостью. В базовом смазочном материале (Литол-24) интенсивность линейного изнашивания псевдосплава из высокохромистых сталей составляет $0,73 \cdot 10^{-9}$, а коэффициент трения – 0,12–0,13. Максимальная износостойкость псевдосплава регистрируется при испытаниях в комплексной сульфонат кальциевой смазке OIMOL KSC WR 2и комплексной литиевой смазке ИТМОЛ-150Н, модифицированной углеродными наночастицами (табл. 3). При этом интенсивность линейного изнашивания в комплексной сульфонат кальциевой смазке и комплексной литиевой смазке, модифицированной углеродными наночастицами, составляет $0,55 \cdot 10^{-9}$ и $0,56 \cdot 10^{-9}$, соответственно, а коэффициент трения приблизительно одинаков и равен 0,11–0,12. На основании полученных данных можно сделать вывод, что добавление углеродных наночастиц в литиевую смазку снижает интенсивность изнашивания псевдосплава из высокохромистых сталей 40X13 и 12X18H10T до значений интенсивности изнашивания в комплексной сульфонат кальциевой смазке.

Заключение

Исследовано структурно-фазовое состояние и триботехнические свойства псевдосплава из высокохромистых сталей 40X13 и 12X18H10T, напыленного методом гиперзвуковой металлизации. Показано, что псевдосплав содержит повышенное количество аустенитной фазы ≈ 60 об. %, что связано с его термической стабилизацией в процессе напыления, а также повышенным содержанием никеля в стали 12X18H10T. Твердость напыленного псевдосплава составляет 370–380 HV 10. Установлено, что модифицирование пластичной литиевой смазки углеродными наночастицами (0,5 масс. %) приводит к снижению интенсивности изнашивания псевдосплава с $0,73 \cdot 10^{-9}$ до $0,56 \cdot 10^{-9}$, а также уменьшению коэффициента трения с 0,12–0,13 до 0,11–0,12.

ЛИТЕРАТУРА

1. Материаловедение и технология металлов / Г. П. Фетисов [и др.]. – М.: Высшая школа, 2001. – 640 с.
2. Замена гальванического хромирования на технологию гиперзвуковой металлизации при ремонте деталей узлов трения скольжения / П.А. Витязь [и др.] // Ремонт, восстановление, модернизация. – 2010. – №10. – С.2–5.
3. Влияние технологических параметров напыления и ионного азотирования на структуру и износостойкость газотермического покрытия из высокохромистой стали 95X18 / А.Н. Григорчик[и др.] // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. Промышленность. Прикладные науки. – 2016. – №3. – С. 94–99.
4. Структурно-фазовое состояние и износостойкость в условиях граничного трения обработанных ионами азота газотермических покрытий из сталей различных классов / В.А. Кукареко [и др.] // Трение и износ. – 2015 (36). – №6. – С. 661–670.

REFERENCES

1. Fetisov G. P. [et al.] Materialovedeniye i tekhnologiya metallov [Material Science and Technology of Metals] / Moscow, Vysshaya shkola, 2001, 640 p. (in Russian)
2. Vityaz' P.A., Belotserkovskiy M.A., Kamko A.I., Pryadko A.S. Zamena gal'vanicheskogo khromirovaniya na tekhnologiyu giper-zvukovoy metallizatsii pri remonte detaley uzlov treniya skol'zheniya [Replacement of galvanic chrome plating on the technology of hypersonic metallization during repair of parts of sliding friction units] / Remont, vosstanovleniye, modernizatsiya. 2010. №10. pp. 2–5. (in Russian)
3. Grigorchik A.N., Kukareko V.A., Byeli A.V., Belotserkovskiy M.A. Vliyaniye tekhnologicheskikh parametrov napyleniya i ionnogo azotirovaniya na strukturu i iznosostoykost' gazotermicheskogo pokrytiya iz vysokokhromistoy stali 95KH18 [Influence of the technological parameters of sputtering and ion nitriding on the structure and wear resistance of a gas-thermal coating made of high-chromium steel 95X18] / Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya V. Promyshlennost'. Prikladnyye nauki. 2016, №3, pp. 94–99. (in Russian)
4. Kukareko V.A., Byeli A.V., Belotserkovskiy M.A., Grigorchik A.N. Strukturno-fazovoye sostoyaniye i iznosostoykost' v usloviyakh granichnogo treniya obrabotannykh ionami azota gazotermicheskikh pokrytiy iz staley razlichnykh klassov [Structural-phase state and wear resistance in conditions of boundary friction of gas-thermal coatings treated with nitrogen ions from steels of various classes] / Treniye i iznos. 2015 (36). №6. pp. 661–670. (in Russian)

Статья поступила в редакцию в окончательном варианте 23.05.18