

УДК 621.791

Гринь А. Г., Макаренко Н. А., Трембач Б. А., Дудинский А. Д.

СОВРЕМЕННЫЕ НАПЛАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ УПРОЧНЕНИЯ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИНСТРУМЕНТА ГОРЯЧЕГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ

Процессы горячей формовки являются одними из старейших и наиболее важных технологий формовки металлов и составляют большой процент готовых металлических изделий. Тем не менее, металлургическая промышленность сегодня очень конкурентоспособна, и металлическая фирма должна тщательно оценить затраты на операции, необходимые для преобразования каждого материала в готовые изделия. Поэтому отрасль постоянно стремится снизить себестоимость каждой операции.

При длительном использовании стальных инструментов для горячей обработки, рабочие поверхности могут изнашиваться или деформироваться относительно быстро, так что инструменты вскоре теряют свою точность, а, следовательно, выходят из строя. Поэтому выбор материала покрытия имеет решающее значение для увеличения срока службы инструментов горячего деформирования. При выборе наплавочного материала применительно к ремонту металл должен иметь комплекс свойств в зависимости от условий контакта с горячим металлом.

В соответствии с [1, 2] стали и наплавочные материалы можно классифицировать по характеру легирования и сочетания основных свойств после термообработки, количеству упрочняющей фазы в стали и по уровню теплостойкости на следующие группы сталей:

- 1) с отсутствием упрочняющей фазы, обладающие низкой теплостойкостью и имеющих аустенитную (стабильную форму) или мартенситную структуры, либо их сочетание;
- 2) с низким содержанием упрочняющей фазы (до 5 %), обладающие пониженной теплостойкостью;
- 3) со средним содержанием упрочняющей фазы (10...35 %), имеющие мартенситную и аустенитно-мартенситную структуру и обладающие высокой теплостойкостью;
- 4) со значительным содержанием упрочняющей фазы (50...80 %) и повышенной теплостойкостью.

Целью статьи является определение требований к свойствам материалов, применяемых при производстве инструментов горячего деформирования, и анализ существующих материалов для наплавки.

Выбор наплавочного материала зависит от условий эксплуатации, определяющих вид износа. Анализ условий эксплуатации, проведенный в работах, показывает, что инструмент горячего деформирования подвержен следующим видам воздействия: абразивному износу, пластической деформации, грубому растрескиванию, угарам, термической усталости (разгар) и механической усталости [3, 4]. При этом термическая усталость (разгаростойкость), вероятно, является наиболее распространенным механизмом разрушения во всех методах горячей формовки и может определяться как усталость, вызванная повторением напряжений, которые являются тепловыми по происхождению. По мере того как эти напряжения накапливаются при каждом повторении, они в конечном итоге вызывают либо чрезмерное искажение, либо термическую усталость [2, 6]. Хорошо известно, что для предотвращения либо минимизации термической усталости материал матрицы должен иметь низкий коэффициент теплового расширения, высокую теплопроводность, высокую термостойкость, хорошую теплостойкость, высокое сопротивление ползучести, достаточную пластичность и вязкость [3, 4, 7]. Кроме того, для обеспечения устойчивости к износу и пластической деформации твердость

матрицы должна быть как можно выше. Но штампы должны также иметь достаточную ударную вязкость, так как они подвергаются изменениям давления и температуры. Таким образом, вязкость, требуемая для штампов, устанавливает предел максимальной твердости, которая может быть использована [8].

Для изготовления штампового инструмента горячего деформирования используются различные стали и сплавы с особым комплексом физико-механических свойств, представляющие собой класс инструментальных сталей, которые выдерживают интегральную нагрузку тепла, давления и истирания. Такие материалы классифицированы как инструментальные стали для горячей обработки AISI типа H [9] либо согласно отечественной классификации.

Выбор штамповочной стали во многом зависит от температуры, развиваемой в матрицах, приложенной нагрузки и режима охлаждения инструмента. Большинство сталей для инструмента, эксплуатируемого при повышенных температурах, – низкоуглеродистые стали со средними или высоким содержанием легирующих элементов (6FandHseries) [9]. Общим характерным признаком сталей этих групп является более низкое по сравнению со сталями холодного деформирования содержание углерода (0,3...0,6)%, что предопределяется повышенными требованиями к ним относительно вязкости и разгаростойкости [10]. Теплостойкость штамповых сталей обеспечивается комплексным легированием W, Mo, Cr, V [11].

Хромированные горячие стали (H10, H11, H13, H14 и H19) наиболее часто используются применительно к горячей штамповке (ковке). Как правило, хромистые стальные покрытия сохраняют свою твердость до 425 °С, вольфрамовые стали для горячей обработки (от H21 до H26) сохраняют большую часть своей твердости до 620 °С. Свойства сталей на основе молибдена находятся в диапазоне от стальных сталей на основе хрома и вольфрама [9].

В зависимости от характера легирования и сочетанию основных свойств, приобретаемых после окончательной термической обработки, стали классифицируются на:

- 1) умеренной теплостойкости и повышенной вязкости (стали типа 5XHM (5XHM), 3X2MNF, 4XMFС, 5X2MNF);
- 2) повышенной теплостойкости и вязкости (4X3BMF, 4X4BMFС и 4X5MFС);
- 3) высокой теплостойкости (5X3B3MFС, 4X2B5MF, 3X2B8F и т. д.) [10].

Все инструменты для горячего формоизменения подвергаются закалке и отпуску. Наиболее удобным методом упрочнения сплавов является использование реакции вторичного затвердевания с применением осаждения карбидов [3, 4]. Так добавление хрома, вольфрама, ванадия и молибдена применяют для обеспечения характеристик глубокой закалки и стойкости к истиранию и термическому размягчению при высоких температурах. Молибден повышает устойчивость к термическому размягчению, ванадий улучшает характеристики износостойкости и тепловой усталости [8]. Микроструктура наплавленного металла существенно зависит от содержания в электродном материале углерода и хрома. Взаимодействие углерода и хрома влияет на объемную часть карбидов, их тип, состав, тип структуры матрицы. Образованию карбидов способствует увеличение количества углерода, имеющего большее влияние на объемную часть карбидов, чем хром и другие металлы. Хороший эффект вторичного упрочнения достигается за счет введения сильных карбидообразующих элементов.

Для повышения стойкости новых штампов и восстановления изношенных применяется упрочняющая наплавка. Марки и состав большинства электродов для упрочняющей наплавки установлены ГОСТ 10051-75. В их числе большая группа электродов, специально предназначенных для наплавки штампов [12]. Электроды для наплавки штампов подразделяются на три группы в зависимости от легирования получаемого металла. Электроды первой группы, к которым относятся, в частности, ЭН-60М, ОЗШ-1, ЭН-60, ЦМ-4, позволяют получать высшую износостойкость поверхности, сохраняющуюся до температуры 400 °С, что особенно необходимо для штампов, нагреваемых в процессе штамповки до температуры, близкой к указанной. Ко второй группе относятся высоколегированные электроды на основе хрома (УОНИ-13/НЖ, ЭШГ, ЦМ-5, Ш-1). Применение этих электродов позволяет

получить наплавленный слой, самозакаливается при охлаждении на воздухе и сохраняющий мартенситную структуру при нагреве до 400...500 °С. Третью группу составляют электроды, легированные вольфрамом и молибденом. К ним относятся ОЗИ-3, ОЗИ-2, ЦМ-1М, КПИ-3Х2В8, К-53. Металл, полученный наплавкой электродами третьей группы, по составу близок к быстрорежущим сталям [12].

Таблица 1

Состав материалов, которые подходят для инструментов горячего деформирования

Производитель	Маркировка	Состав						(HRC)	
		C	Si	Mn	Cr	Mo	V		
Bohler	W360	0.5	0.2	0.25	4,5	3	0.55	52-57	
	W302	0.39	1.1	0.4	5.2	1.4	0.95	52-56 50-54	
	W303	0.38	0.4	0.4	5.0	2.8	0.55	52-56 50-54	
Uddeholm	QRO 90 Supreme	0.38	0.3	0.75	2.6	2.25	0.9	48-50	
	HOTVAR	0.55	1.0	0.75	2.6	225	0.85	54-58	
	DIEVAR	NA	NA	NA	Cr-Mn-V type			44-46	
	ORVAR Supreme	0.39	1.0	0.4	5.2	1.4	0.9	44-50	
Daido	DRM1	0.6	NA	NA	4.2	Weq = 2Mo + W = 5		1.5	58
Nachi	DURO F1	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	54-60

Среди способов восстановления и упрочнения инструмента для горячей обработки металлов целесообразно выделить механизированную дуговую наплавку самозащитными порошковыми проволоками (СПП). При помощи такой технологии возможно получить рабочий слой с заданным уровнем легирования и механическими свойствами. Для наплавки инструмента горячей обработки металлов имеется ряд проволок, разработанных институтом электросварки им. Е. О. Патона, в том числе: ПП-20Х4В10Н4ФТ, ПП-АН132, ПП -25Х5ФМС, ПП-30Х2В8Ф, 20Х3В10ГТ [13].

Для наплавки инструмента горячей обработки металлов австрийской фирмой Böhler-Welding разработаны проволоки, получившие распространение в странах СНГ: SK-D15 и SK-D35G(S) [14]. Шведской фирмой ESAB разработана порошковая проволока OKTubrodur 15.84, предназначенная для ремонта или наплавки деталей, работающих при высоких температурах (пуансоны, матрицы) [15]. Широкая номенклатура СПП разработана на кафедре Оборудования и технологии сварочного производства ДГМА [16, 17]. Химический состав металла, наплавленного данными порошковыми проволоками, указан в табл. 2.

Таблица 2

Сравнительная таблица химического состава металла и твердость после наплавки третьего слоя сварочными материалами различных производителей

Производитель	Маркировка	Состав									(HRC)
		C	Mn	Si	Cr	W	Mo	Ni	V	Co	
Hardface	W	0.5	2	0.8	6.5	1.5	-	-	-	-	55
	WM	0.3	0.3	0.4	2.4	4	1.1	0.2	-	-	45
Велтек	H460.01-O	0.3	0.8	0.8	11.5	4.5	2.0	0.4	0.3	-	42-50
Böhler-Welding	SK-D15	0,4	0,6	0,4	1,4	9	0,5	-	0,5	3,0	47-50
	SK-D35	0.15	0.23	0.52	14.6	-	2.4	-	-	13,8	40-42
ESAB	OK Tubrodur 15.84	0.4	0.6	0.4	1.8	8.0	0.4	-	0.44	-	50-55
ДГМА	ПП	0.5-0.8	0.8-2.0	0.8	3.0-12.0	1.0-4.0	-	-	0.8-1.0	0.5-2.0	50-62

ВЫВОДЫ

Проведен анализ основных видов износа, которым подвержены инструменты горячего деформирования. Выяснено, что тип наплавленного металла должен соответствовать условиям эксплуатации.

Проанализированы современные материалы, которые используются при упрочнении инструментов горячего деформирования. Расход дорогостоящих и дефицитных материалов должен быть минимальным с учетом величины износа инструмента.

Наиболее перспективным является применение механизированной наплавки порошковыми проволоками, обеспечивающими матрицу металла наплавки с низким коэффициентом теплового расширения, высокой теплопроводностью и термостойкостью, хорошей теплоустойчивостью, достаточной пластичностью и вязкостью.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гринь А. Г. Выбор направления оптимизации состава наплавочного материала деталей, подверженных гидроабразивному износу [Электронный ресурс] / А. Г. Гринь, Б. А. Трембач, И. А. Трембач // Научный Вестник ДГМА : сб. науч. трудов. – Краматорск : ДГМА, 2016. – № 2 (20Е). – С. 55–61. – Режим доступа: [http://www.dgma.donetsk.ua/science_public/science_vesnik/№2\(20E\)_2016/article/11.pdf](http://www.dgma.donetsk.ua/science_public/science_vesnik/№2(20E)_2016/article/11.pdf).
2. Гринь А. Г. Анализ причин выхода из строя деформирующего инструмента, технологии восстановления и повышения долговечности [Электронный ресурс] / А. Г. Гринь, С. В. Жариков, А. Д. Дудинский // Научный Вестник ДГМА : сб. науч. трудов. – Краматорск : ДГМА, 2016. – № 3 (21Е). – С. 62–66. – Режим доступа: [http://www.dgma.donetsk.ua/science_public/science_vesnik/№3\(21E\)_2016/article/11.pdf](http://www.dgma.donetsk.ua/science_public/science_vesnik/№3(21E)_2016/article/11.pdf).
3. Sully L. J. D. *Metals handbook, 9th ed., vol. 15, ASM International, Metals Park / L. J. D. Sully.* – Ohio, 1988. – 286 p.
4. Davis J. R. (Ed.), *ASM Speciality Handbook, Tool Materials, ASM International, Materials Park / J. R. Davis.* – Ohio, 1995. – 251 p.
5. Neu R. W. *Thermomechanical Fatigue, Oxidation and Creep. Part 1. Damage mechanisms / R. W. Neu, H. Sehitoglu // Metalurgical Transactions A.* – Vol. 20A. – 1989.
6. Neu R. W. *Thermomechanical Fatigue, Oxidation and Creep. Part 2. Life Prediction / R. W. Neu, H. Sehitoglu // Metalurgical Transactions A.* – Vol. 20A. – 1989.
7. Schmoekel D. *Chancen und Probleme der Halbwarmumformung, in proceedings of 5. Umformtechnisches Kolloquium / D. Schmoekel and F.-D. Speck.* – Inst. f. Produktionstechnik und Umformmaschinen, University of Darmstadt, 1994.
8. Mayur Deshpande, Adam Groseclose, Dr. Taylan Altan *selection of die materials and surface treatments for increasing die life in hot and warm forging [Электронный ресурс].* – Режим доступа: https://www.forging.org/uploaded/content/media/Altan_paper_Die_materials_and_surface_treatments6.pdf.
9. Altan T. *Cold and Hot Forging: Fundamentals and Applications / T. Altan, G. Ngaile, G. Shen.* – ASM International, 2005.
10. Позняк Л. А. *Штамповые стали / Л. А. Позняк, Ю. М. Скрынченко, С. И. Тишаев.* – М. : Металлургия, 1980. – 244 с.
11. Толстов И. А. *Повышение работоспособности инструмента горячего деформирования / И. А. Толстов, А. В. Пряхин, В. А. Николаев.* – М. : Металлургия, 1990. – 143 с.
12. Владимиров В. М. *Изготовление штампов, пресс-форм и приспособлений / В. М. Владимиров.* – М. : Высшая школа, 1974. – 431 с.
13. Шевакин Ю. Ф. *Инструмент для горячего прессования тяжелых цветных металлов / Ю. Ф. Шевакин, А. А. Нагайцев.* – М. : Машиностроение, 1983. – 166 с.
14. *Bohler welding [Электронный ресурс].* – Bohler-Welding-St. 8605 Kapfenberg, Austria. – Режим доступа: <http://www.bohlerwelding.com>.
15. *Esabwelding [Электронный ресурс].* – Режим доступа: <http://www.esab.ru>.
16. Оптимизация состава наплавленного металла для прессового инструмента / В. М. Карпенко, А. Д. Кошевой, В. Т. Катренко [и др.] // *Теоретические и технологические основы наплавки.* – Киев, 1980. – С. 42–48.
17. Управление качеством наплавки через материал оболочки порошковой проволоки / А. Г. Гринь, В. М. Карпенко, А. А. Богуцкий, И. А. Бойко // *Вісник ДДМА : зб. наук. праць.* – Краматорськ : ДДМА, 2006. – № 2(4). – С. 22–26