

УДК 621.791.042:621.7.073

Голуб Д. М.

АНАЛИЗ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ШТАМПОВОГО ИНСТРУМЕНТА ХОЛОДНОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ

Разнообразие технологических операций холодного деформирования металла и существенно различающиеся условия работы инструмента не позволяют использовать универсальные стали и сплавы, что привело к специфичности использования марок сталей в зависимости от условий работы инструмента [1–3].

Ниже дан обзор литературных сведений по некоторым существующим маркам штамповых сталей и наплавочным материалам, особенностям их легирования, структуры и термической обработке штамповых сталей с учетом возможности получения подобных составов путем наплавки.

Для изготовления штампового инструмента для холодной штамповки используются различные стали и сплавы с особым комплексом физико-механических свойств.

Целью работы являлся обзор известных материалов, используемых для повышения износостойкости штампового инструмента холодного деформирования металла.

Штамповые стали – стали, применяемые для изготовления инструментов для обработки металлов давлением, таких, как штампы, ролики, валики, пуансоны и т. д. Своё название получили по виду используемого инструмента.

По условиям работы инструмента эти стали делят на две категории: 1) деформирующие металл в холодном состоянии; 2) деформирующие металл в горячем состоянии.

Стали для «холодных штампов» должны обладать высокой твердостью, износостойкостью и прочностью, сочетающейся с достаточной вязкостью, а также должны быть теплоустойчивыми.

Стали для «горячих штампов» должны иметь низкую чувствительность к местным нагревам, высокие жаропрочность, красностойкость, термостойкость, вязкость и прокаливаемость [1].

Химический состав и назначение штамповых сталей в Украине регламентирует ГОСТ 5950-2000. По химическому составу такие материалы можно разделить на следующие группы: 1) высокоуглеродистые; 2) низколегированные; 3) высокохромистые; 4) комплекснолегированные (с пониженным содержанием хрома); 5) высоковольфрамовые; 6) дисперсионно-твердеющие сплавы; 7) твердосплавные.

Среди указанных сталей и сплавов наиболее подходящим для условий работы штампового инструмента холодного деформирования металла комплексом механических и технологических свойств обладают последние четыре группы.

По эксплуатационным свойствам стали и сплавы для штампового инструмента можно условно разделить на пять основных групп [2, 3]: 1) высокой износостойкости; 2) высокопрочные, теплоустойчивые; 3) высокопрочные, обладающие повышенной ударной вязкостью и минимальной деформацией при термической обработке; 4) высокой вязкости; 5) стали и сплавы общего назначения.

Такая классификация сталей тесно связана с условиями работы инструмента, что даёт предпосылки более правильно их выбирать с точки зрения обеспечения высокой стойкости и рационального использования дефицитных легирующих элементов [4–8].

Стали для изготовления рабочих частей штампов холодной штамповки по степени прокаливаемости делятся на такие группы [9]: 1) углеродистые инструментальные стали небольшой прокаливаемости (\varnothing до 25 мм): У8, У10; 2) легированные стали повышенной прокаливаемости (\varnothing до 40–50 мм): ШХ15, 9ХФ, ХГСВФ; 3) высокохромистые стали высокой

прокаливаемости (\varnothing до 80 мм), высокой износоустойчивости, малодеформируемые при закалке: X12Ф1, ХГЗСВФ, Х6ВФ; 4) легированные стали повышенной вязкости (при твердости 56-58 HRC): 4ХС, 4ХВ2С, 5ХВГ.

И. Н. Голиков [7] предложил классифицировать стали одновременно по двум признакам: по структуре раствора и по его избыточной составляющей. По классификации И. Н. Голикова стали подразделяются на шесть классов: 1) ферритные; 2) перлитные; 3) перлитно-мартенситный; 4) мартенситный; 5) аустенитный-неустойчивый; 6) аустенитный.

Наличие и превращение избыточной фазы (карбиды, интерметаллиды, нитриды и т. д.) при нагреве и охлаждении существенным образом сказывается на механических и технологических свойствах сталей и сплавов, что лежит в основе второго признака по структурной классификации: 1) дисперсионно-твердеющие; 2) доэвтектоидные; 3) эвтектоидные; 4) ледебуритные (карбидного класса).

Существует много промышленных сплавов, высокие механические характеристики которых достигаются в результате механической и термической обработки.

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 [10].

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, самозакаливающийся 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 [10].

Наплавку толщиной более 10 мм производят комбинированным способом, послойно, применяя различные электроды. Сначала наплавливают нижние слои электродами ОЗИ-1 (или ОЗИ-1 т), затем электродами ЭН-60М или ОЗИ-3 в зависимости от предъявляемых требований и условий работы штампов [10].

Несмотря на то, что значительное увеличение стойкости штампов (в 20 и более раз) наблюдается при использовании для армирования режущих кромок пуансонов и матриц металлокерамических твёрдых сплавов, вследствие чрезвычайно высокой трудоёмкости и сложности их изготовления и эксплуатации требует решения ряд сложных технологических и организационных задач [11].

В качестве материала для изготовления пуансонов и матриц используют углеродистые и легированные инструментальные стали и твердые сплавы. Однако из-за большой хрупкости твердые сплавы малопригодны к условиям ударных нагрузок и к изготовлению сложных по форме вырубных, пробивных и обрезных штампов. Кроме того, вольфрам и кобальт, входящие в состав твердых сплавов, являются дефицитными и по этой причине эти материалы ограничено используются для указанных целей. Поэтому на долю стальных штампов в различных отраслях промышленности приходится до 90–95 % и выше.

Хорошим материалом для изготовления вытяжных матриц являются также алюминиевые бронзы типа БрАЖН-10-4-6, устойчивые против налипания при вытяжке нержавеющей стали.

При вырубке-пробивке и обрезке деталей простой формы из материала толщиной до 3-4 мм для пуансонов и матриц наиболее часто используют инструментальные углеродистые стали марок У8А и У10А.

Если рабочие детали имеют сложную форму и не технологичны для термообработки, то для разделительных штампов используют высоколегированные хромистые стали марок X12Ф1, X12М, 9ХС, ХВГ и др., которые обладают более высокой износостойкостью и при термообработке в меньшей степени подвержены поводке и короблению [12].

Основную массу вырубных-пробивных матриц и пуансонов в большинстве случаев изготавливают из стали У10А и в меньшей мере из стали X12М. Вместо стали У10А для пуансонов и матриц рекомендуется также сталь 5ХГС, обладающая более высокой износостойкостью.

С целью повышения стойкости разделительных, обрезных и пробивных штампов в промышленности применяется упрочняющая и восстановительная электродуговая наплавка электродами марок ЭН-60, ЭН-60М, ЦМ-5, ОЗШ-3, ОЗШ-4 и др.

В ряде случаев штампы холодной штамповки наплавляют также электродами, предназначенными для наплавки штампов горячей штамповки или для наплавки режущего инструмента [12–15].

Использование для холодных штампов теплостойкого металла, получаемого при наплавке горячих штампов или режущего инструмента, оправдывается тем, что в условиях холодной штамповки режущие кромки штампов нагреваются до температур, достигающих 600–680 °С и выше.

И поэтому стойкость штампов холодной штамповки в значительной мере возрастает с увеличением теплостойкости сплавов, применяемых не только для штампов горячей штамповки или для режущего инструмента, но и для холодных штампов.

Один из основных процессов улучшения свойств металлов и сплавов – это старение, естественное и искусственное, сопровождающееся выделением кристаллов новой фазы.

Широкое применение при изготовлении и восстановлении наплавкой штампового инструмента находят наплавочные материалы с эффектом вторичного твердения (мартенситно-старяющиеся и дисперсионно-твердеющие стали), эксплуатационные свойства которых превышают свойства инструментальной стали.

Японский промышленный стандарт Z3251 определяет покрытые электроды для дуговой наплавки твердыми сплавами. Ниже рассмотрены свойства и назначение материалов для износостойкой наплавки, классифицируемых по виду структуры наплавленного металла.

Перлитно-сорбитные материалы содержат небольшие добавки углерода, хрома, молибдена, ванадия и других легирующих элементов. После наплавки и охлаждения на воздухе структура наплавленного металла состоит преимущественно из перлита или сорбита. Из числа материалов, утвержденных Японским промышленным стандартом, к этой группе относятся электроды DF2А и DF2В. Твердость наплавленного металла составляет HV 200–300, что значительно ниже твердости мартенсита, поэтому наплавленный слой не обладает достаточной износостойкостью при трении скольжения и качения.

Выделяют четыре группы мартенситных материалов: низколегированные мартенситные, боросодержащие мартенситные, аустенитно-мартенситные и хромистые, содержащие 13% Cr.

Низколегированные мартенситные материалы отличаются сравнительно малым содержанием легирующих элементов, требуемый уровень их свойств достигается в основном путем введения углерода и хрома. Наплавленный металл с относительно низкой твердостью содержит в своей структуре мартенсит, бейнит и сорбит; по мере увеличения доли мартенсита твердость его повышается. К этой группе наплавочных материалов с мартенситным упрочнением относятся сплавы, выполняемые наплавкой покрытыми электродами DF2В, DF3А, DF3В. Низколегированные мартенситные материалы обычно не склонны к вторичному твердению и существенно снижают свою твердость при отпуске. Аналогичный эффект обнаруживается при многослойной наплавке.

Боросодержащие мартенситные материалы при наплавке обеспечивают получение покрытий высокой твердости (HV 700–900). Структура содержит высокоуглеродистый мартенсит, твердые карбиды и бориды по границам кристаллического зерна. Такой наплавлен-

ный металл обладает высокой стойкостью к абразивному изнашиванию и задиранию в условиях низких нагрузок, однако из-за хрупкости и высокой чувствительности к образованию трещин он не может работать в условиях динамических нагрузок. К числу боросодержащих мартенситных материалов относятся покрытые электроды DF3C, в состав которых входит бор. При высоком содержании карбидов и боридов происходит некоторое самоупрочнение наплавленного металла, твердость которого мало зависит от скорости охлаждения при наплавке. Отпуск вызывает незначительное снижение его твердости.

Аустенитно-мартенситные материалы при высоком содержании остаточного аустенита обеспечивают наплавленный металл с низкой твердостью и высокой вязкостью даже при высоком содержании легирующих элементов. Такая структура уступает мартенситу по стойкости к абразивному изнашиванию и эрозии, но превосходит его по противозадирной стойкости. Наплавленный металл, полученный с использованием аустенитно-мартенситных материалов, испытывает вторичное твердение при температуре отпуска 500–600°C.

Хромистая сталь, содержащая 13% Cr, после наплавки имеет преимущественно мартенситную структуру, хотя при наплавке электродами DF4A с низким содержанием углерода в структуре наплавленного металла дополнительно появляется феррит, а при наплавке высокоуглеродистыми электродами DF4C – ледебурит. При высоком содержании углерода наплавленный металл обладает высокой износостойкостью, поэтому высокоуглеродистые электроды DF4C широко используют для износостойкой наплавки изделий из инструментальной стали SKD-11, к которой предъявляют требование высокого сопротивления изнашиванию и деформации при высокой температуре.

Использование дисперсионно-твердеющих сплавов с особыми свойствами позволяет получить металл с относительно невысокой твердостью в исходном состоянии, обеспечивающей возможность проведения необходимой механической обработки режущим инструментом. Последующее искусственное старение приводит к существенному повышению твердости наплавленного слоя, что обеспечивает получение поверхностных слоёв, обладающих высокой износостойкостью.

Существующие сплавы этого типа в основном созданы на основе Fe-Co-Mo и Fe-Co-W и др. с некоторыми добавками легирующих элементов [17–20]. Но сплавы этих систем плохо работают в условиях больших динамических нагрузок вследствие выкрашивания и хрупкого разрушения. Поэтому, для разработки сплавов для наплавки резцов и штампов холодной резки и штамповки рассмотрим систему Fe-Co-Mo.

К характерным деталям, наплавленным такими порошковыми проволоками, относятся инструменты горячего деформирования. Однако, большинство таких материалов создает не большой эффект повышения твердости, а некоторые из них имеют значительную первоначальную твердость. Кроме того, сплавы системы Fe-Co-W плохо работают в условиях больших динамических нагрузок вследствие выкрашивания и хрупкого разрушения [29, 30]. Легирование данных наплавочных материалов дефицитными дорогостоящими элементами (кобальтом, вольфрамом), общее содержание которых достигает 20 %, обуславливает их высокую стоимость и несколько ограничивает применение [14, 20].

Как установили авторы [22] при наплавке сплавов системы Fe-Co-W наблюдается появление трещин, однако увеличение содержания W при примерно равном количестве Co приводит к уменьшению количества трещин.

Твердость дисперсионно-твердеющих Fe-Co-Mo сплавов определяется не только химическим составом, она в значительной степени зависит от условия закалки, от кинетики распада пересыщенного твердого раствора [11, 23].

Известно, что наибольшей твердостью обладают тройные сплавы на основе Fe-Co-W и Fe-Co-Mo, которые приобретают максимальную твердость и износостойкость в результате старения при 500–350 °C.

Существуют, также, аустенитные дисперсионно-твердеющие сплавы на основе Fe-Cr-Ni [24], которые применяются в основном для изготовления деталей приборов и оборудования с немагнитными и коррозионностойкими свойствами, работающие при повышенных температурах. Их твердость после дисперсионного твердения гораздо ниже нежели сплавов на основе Fe-Co-W и Fe-Co-Mo.

Аустенитные дисперсионно-твердеющие сплавы наряду с коррозионной стойкостью обладают стабильностью упругих характеристик при повышенных температурах. В закаленном состоянии и при низких температурах отпуска (500 °С) все сплавы сохраняют аустенитную структуру и обладают малой прочностью и высокой пластичностью (удлинение 25-40 %), ввиду чего из этих сплавов можно изготовить упругие элементы сложной формы с тонким и глубоким гофром [25, 26].

Сплавы, отвечающие чисто ферритной или чисто аустенитной областям, имеют в закаленном состоянии более низкую твердость и после дисперсионного твердения также приобретают меньшую твердость, чем сплавы с $\gamma \rightarrow \alpha$ превращением. Сплавы, имеющие $\gamma \rightarrow \alpha$ превращение, обладают, кроме того, тем преимуществом, что они меньше чувствительны к росту зерна, чем ферритные сплавы. Это связано с тем, что γ -зерно растет не столь быстро, как α -зерно, кроме того, в результате превращения, в подобных сплавах достигается измельчение структуры [4].

Кобальт-молибденовые сплавы на железной основе (15 % Co и 15 % Mo) при высокой твердости обладают сравнительно низкими показателями вязкости, что значительно сужает область его применения. Эти материалы после наплавки имеют низкую твердость (до 30 HRC). Это дает возможность обрабатывать их режущим инструментом и после несложной термообработки (старения) получать необходимую твердость. Несмотря на это, как показали результаты исследования авторов [27, 28], стали этого типа могут работать с нагревом рабочих поверхностей до температуры 500–550 °С.

ВЫВОДЫ

1. Наиболее высокими твердостью, теплостойкостью и стабильностью этих свойств среди различных композиций наплавочных материалов, не содержащих остро дефицитных вольфрама или кобальта, обладает металл, наплавленный электродами ЭН-60М.

2. Electroды марок ЦН-5, НЖ-2 и Ш-1 предназначены для наплавки штампов холодной штамповки, как и electroды марок ЦН-4 и ЭШГ-50, предназначенные для наплавки штампов горячей обрезки, дают металл в исходном состоянии невысокой твердости и не обеспечивают необходимой теплостойкости.

3. Металл, содержащий значительное количество вольфрама или вольфрама и кобальта, получаемый при наплавке электродами ОЗИ-1, ОЗИ-4 и ОЗИ-5, обладает высокими твердостью и теплостойкостью, но из-за высокой стоимости и дефицитности указанных элементов является малоперспективным.

4. Высокой твердостью и хорошей теплостойкостью обладает металл с невысоким содержанием вольфрама, получаемый при наплавке электродами ОЗИ-3, которые используются для наплавки штампов как горячей, так и холодной штамповки, и для повышения износостойкости изделий.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гуляев А. П. *Металловедение* / А. П. Гуляев. – М.: Металлургия, 1977. – С. 432–444.
2. Позняк Л.А. *Штамповые стали для холодного деформирования* / Л.А. Позняк. – М.: Металлургия, 1966.
3. Геров В.В. *Влияние модификации поверхности на статические и циклические характеристики мартенситно-старееющей стали: дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук по специальности: 05.16.01 / Владимир Владимирович Геров.* – М.: Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН, Москва, 2003. – 183 с.: ил.

4. Гудремон Э. А. Специальные стали / Э. А. Гудремон. – Издание 2-е. – Москва : Металлургия, 1966. – 734 с.
5. Меськин В.С. Основные легирования стали / В. С. Меськин – М. : Металлургия, 1964.
6. Рапатц Ф. Качественная сталь / Ф. Рапатц. – ГЕНТИ, 1938.
7. Голиков И.Н. Классификация сталей по признаку структурных изменений. Бюллетень ЦНИИ МЧМ. СССР, 1949, №8.
8. Гаращенко А.П. Инструментальные материалы / А. П. Гаращенко. – М. : Машиз, 1960.
9. Романовский В.И. Справочник по холодной штамповке / В. И. Романовский. – М. : Машиз, 1959.
10. Владимиров В.М. Изготовление штампов, пресс-форм и приспособлений / В.М. Владимиров. – М.: Высшая школа, 1974. – 431 с.
11. Нероденко М.М. Исследование и разработка дисперсионно-твердеющих износостойких сплавов для наплавки позиционных штампов: дис. ... канд. техн. наук – ИЭС им. Е.С. Патона АН УССР. – Киев, 1965.
12. Старова Е.П. Малолегированная быстрорежущая сталь с азотом / Е. П. Старова. –М.: Машиз, 1953. – 58 с.
13. Богуцкий А.А. Многокритериальная оптимизация состава безвольфрамовой стали для наплавки режущего инструмента / А. А. Богуцкий // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем: зб. наук. праць. – 1999. – Вип. 9. – С. 95–97.
14. Богуцкий А.А. Механизированная наплавка металлорежущего инструмента быстрорежущей сталью / А. А. Богуцкий, А. М. Куций // Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку. Матеріали п'ятої Міжнародної наук.техн.конф. 4-7 червня 2007 року / Під заг. ред. Ковальова В.Д. – Краматорськ : ДДМА, 2007 – С. 9.
15. Кальянов В.Н. Мартенситно-старяющие стали для наплавки штампов / В.Н. Кальянов, В.А. Багров // Сварочное производство. – 2003 – № 2. – С.35–37.
16. Брострем В.А. Превращение и свойства быстрорежущих сплавов с интерметаллидными включениями / В. А. Брострем, Ю. А. Геллер Ю.А. – МИТОМ, 1966. – № 11. – С. 35.
17. Климентьев А.Д. Исследование литых дисперсионно-твердеющих режущих сплавов / А.Д. Климентьев // Известия вузов. Черная металлургия. – 1959. – № 3. – С. 77.
18. Влияние химического состава на твердость хромомолибденовых сталей после отпуска / В. П. Ильин [и др.]. // Сварочное производство. – Ижевск, 1975.
19. Исследование процесса упрочнения хромо-молибденовой стали / А. Н. Падун [и др.] // Сварочное производство. – Ижевск, 1975.
20. Разиков М.И. Исследование наплавленного металла СХ15К9М5ТЮ для повышения стойкости молотых штампов / М. И. Разиков, А. В. Пряхин // Сварочное производство. – Свердловск, 1973. – № 208.
21. Наплавочный материал с эффектом вторичного твердения для повышения стойкости металлообрабатывающего инструмента / Е. Н. Еремин, А. С. Лосев, А. Е. Еремин, Г. П. Румянцев // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника, технология его изготовления и применения: зб. наук. праць. – Київ, 2011. – № 14. – С. 453–455.
22. Демянцевич В.Н. Влияние состава дисперсионно-твердеющих сплавов системы Fe-Co на склонность к трещинообразованию при износостойкой наплавке / В. Н. Демянцевич, Е. Д. Хуторянский. – Л.: Издательство «Машиностроение», 1939.
23. Нероденко М.М. Дисперсионно-твердеющие сплавы для наплавки / М. М. Нероденко // Автоматическая сварка. – 1965. – №2. – С.23–27.
24. Сольц В.А. Немагнитные коррозионные сплавы для пружин приборов / В. А. Сольц // Современная технология термической обработки деталей машин. –М., МЦНТП, 1965. – Сб.2.
25. Скадов Ю.Н. Физика металлов и металловедение / Ю. Н. Скадов, Я. М. Уманский // Изд-во Ан СССР, 1963. – Т.15. – Вып.2.
26. Смирнова А.В. Электродно-микроскопическое исследование структурных превращений в сплаве НЗЗХТЮ / А. В. Смирнова // Металловедение и термическая обработка. – 1963. – № 11. – С. 25–30.
27. Бельский Е.И. Повышение стойкости штампов / Е. И. Бельский, Р. И. Томилин. – Минск, 1963.
28. Исследование и разработка сварочных материалов и технологии для получения биметаллического слоя с заранее известными свойствами: отчет о НИР (промежуточ.): / Донбасская государственная машиностроительная академия; рук. Макаренко Н.А.; исполн.: Гринь А.Г. и др. – К., 2013. – 61 с. – № ГР 0109U007793. – Инв. № 0213U005786.