

Восстановление трущихся поверхностей деталей машин износостойкими
наплавочными материалами

А.С. Назарько¹, Р.Л. Плоmodityло¹

¹Кубанский государственный технологический университет,
г. Краснодар, Россия

Аннотация. Наплавка трущихся поверхностей заняла одно из ведущих мест в повышении долговечности деталей машин при изготовлении, ремонте и восстановлении. При этом должны учитываться условия работы и виды разрушения трущихся поверхностей, требования к геометрическим размерам армирующего слоя, а также состояние детали, на которую он наносится.

Ключевые слова: твердость, износостойкость, вязкость, сопротивление разрушению, наплавка.

Наплавочные материалы. Выбор материалов для наплавки, их фазовое состояние и свойства должны определяться условиями работы трущейся поверхности, поэтому рассмотрим основные характеристики условий работы изнашиваемых поверхностей. На основании опыта по наплавочным работам деталей различного назначения классификация условий изнашивания (условий работы) может быть сведена к 12 позициям «табл. 1».

Для обеспечения хорошей стойкости против разрушения при изнашивании в условиях работы, приведенных в «табл. 1», наплавленный материал по фазовому состоянию и свойствам должен отвечать требуемым свойствам.

Свойства наплавленного металла (его матрицы) определяются химическим составом стали и наличием упрочняющих фаз [1]. Феррит – наименее благоприятная фазовая составляющая основы, поскольку имеет невысокие твердость, износостойкость, вязкость и сопротивление разрушению. Он может находиться в наплавленном металле при наличии мартенсита и небольшого количества упрочняющей фазы.

Наилучшей основой наплавленного металла является смесь аустенита с мартенситом. При этом в зависимости от наличия и энергии ударных составляющих при изнашивании и работе детали количество аустенита и мартенсита должно быть различным. Чем больше ударные составляющие, тем больше в сплаве должно быть аустенита. В этом случае желательно, чтобы мартенсит был низкоуглеродистым, благодаря связыванию углерода карбидообразующими элементами.

Количество и тип карбидов или других твердых упрочняющих выделений влияет на абразивное изнашивание при отсутствии абразива в сопряженных парах трения. Износостойкость может быть обеспечена при наличии мартенсита или мартенсита с небольшим количеством мелких карбидов.

Исходя из приведенных кратко сформулированных положений, сплавы (наплавленный металл) рекомендуется использовать с учетом условий изнаши-

вания в соответствии с данными «табл. 2». Там же указан ориентировочный химический состав сплава, позволяющий получить требуемое фазовое состояние, а также соответствующие электроды, порошковые проволоки и ленты.

Таблица 1

Классификация условий изнашивания

| Номер группы | Условия работы | Изнашивание | Детали |
|--------------|--|---|---|
| 1 | Скольжение по сыпучему абразиву | Абразивное | Клыки и зубья экскаваторов при работе по сыпучей породе; брикетные прессы, формовочные машины |
| 2 | Работа в газоабразивном или струйно-абразивном потоке | Газоабразивное или струйно-абразивное | Штуцеры, насадки, элементы запорной арматуры на газовых промыслах |
| 3 | Ударное воздействие крупных монолитных пород | Ударно-абразивное | Породоразрушающий инструмент, детали дробильных аппаратов |
| 4 | Скольжение в жидкой среде с абразивом | Гидроабразивное | Детали мешалок, смесителей, насосов, землечерпалок |
| 5 | Трение металла по металлу без смазочного материала в присутствии сыпучего абразива | Абразивное изнашивание сопряженных пар трения | Детали гусеничных машин, цепи и звездочки экскаваторов и тракторов |
| 6 | Качение металла по металлу | При трении качения | Подшипники качения |
| 7 | Трение металла по металлу со смазочным материалом | Изнашивание сопряженных пар | Валы, оси |
| 8 | Износ при граничной смазке | Изнашивание и контактная усталость | Зубья шестерен |
| 9 | Воздействие гидравлического потока | Кавитация | Плунжеры, лопасти гидротурбин, гребные валы |
| 10 | Клапан с седлом, работающий в потоке с абразивом | Ударно-абразивное и ударно-усталостное | Клапаны насосов |
| 11 | Клапаны в потоке горячих газов | Окислительное и прогар | Клапаны двигателей внутреннего сгорания |
| 12 | Воздействие абразива в коррозионно-активной среде | Коррозионно-механическое разрушение | Насосы и аппараты химического производства, оборудование газоконденсатных месторождений |

Рекомендуемый фазовый и химический составы наплавленного металла являются ориентировочными, поэтому существующие наплавочные материалы не всегда их воспроизводят. Однако приведенные в таблице данные вполне позволяют ориентироваться в выборе наплавочных материалов для разных условий работы, а также руководствоваться при разработке новых материалов.

Технология наплавки. Выбор технологии наплавки определяется в основном двумя обстоятельствами: объем наплавочных работ однотипных деталей (определяет выбор технологии соответствующей производительности и экономичности) и характеристиками наплавляемой детали (химическим составом стали, из которой изготовлена деталь, и ее термической обработкой, толщиной металла детали в месте наплавки, требуемой толщиной наплавленного

слоя). Марка стали наплавляемой детали определяет допустимое тепловложение с тем, чтобы получить зону закалки минимальных размеров, если это возможно. Если термическая обработка детали состоит в закалке с низким отпуском, то требуется такая технология, которая определит минимальное разупрочнение обрабатываемого изделия.

Таблица 2

Наплавочные материалы

| Группа | Фазовый состав, % | | Наплавленный металл, % | Электрод | Порошковая проволока и лента |
|--------|--------------------------------------|------------------|--|---|--|
| | Матрица | Упрочняющая фаза | | | |
| 1 | 70-60 М | 30-40 К, Б | 1,4-2,5 С, 10-25 Cr, Mn, В, Ni, Si | ВСН-9 (140Х10Н2Г2АР) ВСН-6 (110Х14В13Ф2) | ПП-АН170 (80Х20Р3Т) |
| 2 | $\alpha \leq 45^\circ$ 60 М, 10 А | 30 К, Б, 20 К | 1,4-2,5 С, 10-25 Cr, Mn, В, Ni, Si | 13Ан/ЛИОТ80Х4С | ПЛ-У30Х30Г3ТЮ АН-125 (200Х15С1РГТ) ПП-АН17 (80Х20Р3П) |
| | $\alpha > 60^\circ$ 60 М, 20 А | 30 К, Б, 20 К | 0,8-2 С, ≤ 15 Cr, Mn, Ni, Si | | |
| 3 | 40 М, 40 А (нестабильный) | 20 К, 10 К | 0,7-1,5 С, 5-25 Cr, ≤ 15 W, Mn, Ni | ВСН-6 (110Х14В13Ф2) ОМГ-Н (65Х11Н3) | ПП-АН135 (250Х10Н8С2) ПП-АН122- (30Х5Г2СМ) |
| | АН-90 | | 0,3-0,7 С, $\leq 7-9$ Mn, 5-10 Cr, Ni, Si, Mo, V, Ti | ВСН-10 (50Х12Н4М2) | |
| 4 | 60 М, 10 А | 30 К, Б | ~ 3 С, ≤ 25 Cr, ≤ 1 В, Mn, Si, Ti | ЭНУ-2 (350Х15Г3Р1) | Пл-У25Х25Г3Ф1НРС |
| 5 | 70 М | 30 К | ≤ 1 С, ≤ 12 Cr, Ni, Mo | ВСН-10 (50Х12Н4М2) | ПП-АН103 (200Х12М) |
| 6 | 90 М | 10 К | ≤ 1 С, ≤ 15 Cr, Ni, Mo, W | ОМГ-Н (65Х11Н3) | ПП-АН103 (200Х12М) |
| 7 | 90-100 М | 0-10 К | $\leq 0,5$ С, ≤ 5 Cr, ≤ 3 Mn, Ni | ЭН-60М (70Х3СМТ) | ПП-25Х5ФМС ПП-АН122 (30Х5Г2СМ) |
| 8 | 90-100 М, 70-80 Ф | 0-10 К, 20-30 К | $\leq 0,5$ С, Cr, Mn $\leq 1,2$ С, Cr, Mn | НР-70 (30Г2ХМ) ОЗИ-3 (90Х4М4ВФ) | ПЛ-АН126 (20Х2ГСТ) |
| 9 | 20-30 М, 70-80 АН | – | 0,3-0,7 С, 7-9 Mn, 5-10 Cr, Ni, Ti, Mo | – | ПП-АН105 (90Г13Н4) |
| 10 | 40 А, 40 М | 20 К | 1-1,5 С, 40-60 Ni, ≤ 20 Cr | ЭА-582/23 (5Н34Х14М6Г6Б) | ПП-АН-106 (10Х14Т) |
| | 40 М, 40 Ф | 20 К | $\leq 1,5$ С, ≤ 20 Cr, Ni, Mo, Ti | | |
| 11 | 40 А, 40 М | 20 К | ≤ 2 С, ~ 25 Cr, Ni, Mn | ЦН-2 (190К62Х29В5С2) | ПП-АН138 (10Х15Н2ГТ) |
| | 60 А, 20 М | 20 К | ≤ 2 С, ~ 30 Cr, 60 Co | | |
| 12 | 60 М, 20 А | 20 К | ~ 2 С, ≤ 10 Cr, Mn, Ni | ЭЛ-898/21Б (8Х18Н9Г2Б3И08) | ПП-АН-106 (10Х14Т) ПП-АН133 (10Х17Н9С5ГТ) |
| | 90 А | 10 К | ≤ 1 С, ≤ 20 Ni, ≤ 15 Cr, Mo, W, Mn | | |

Обозначения: А – аустенит; М – мартенсит; Ф – феррит; АН – аустенит нестабильный с $\gamma \rightarrow \alpha$ -превращением при деформации; К – карбиды; Б – бориды, α – угол атаки потока (струи) с абразивом.

При оценке характеристик различных технологических процессов можно пользоваться «табл. 3», составленной по данным работ [1, 2]. Дополнительно можно отметить, что прочность сцепления с основным металлом при использовании всех методов находится в пределах 400-650 МПа.

Суммируя опытные данные по наплавке и проплавлению, размерам ЗТВ, критическим скоростям охлаждения разных сталей и изменению их свойств при отпуске, составили «табл. 4». Ее данными рекомендуется пользоваться для выбора технологии восстановления и повышения износостойкости деталей со стенками различной толщины в месте восстановления (во избежание прожога и сильного изменения свойств в ЗТВ) и разной высоты восстанавливаемого (наносимого) слоя.

Таблица 3

Характеристика технологических процессов

| Метод нанесения покрытия | Производительность, кг/ч | Толщина слоя, мм | Доля основного металла, % |
|--------------------------|--------------------------|------------------|---------------------------|
| Наплавка: | | | |
| под флюсом | 2-15 | 0,8-10 | 27-60 |
| вибродуговая | 0,5-4 | 0,3-3 | 8-20 |
| в CO ₂ | 1,5-4,5 | 0,5-3,5 | 12-45 |
| порошковой проволокой | 2-9 | 1-8 | 12-35 |
| ручная газовая | 0,15-2 | 0,4-3,5 | 5-30 |
| плазменно-дуговая | 1-12 | 0,2-5 | 5-30 |
| ручная дуговая | 0,4-4 | 0,5-4 | 20-40 |
| аргонодуговая | 0,3-3,6 | 0,2-2,5 | 6-25 |

Таблица 4

Технологии восстановления деталей

| Сталь восстанавливаемого изделия и его ТО | Толщина стенки в месте восстановления, мм | | | | | | | | | | |
|---|---|----|----|----|-------|----|----|-----|-----|----|-----|
| | ≤20 | | | | 20-50 | | | | >50 | | |
| | Износ, мм (не более) | | | | | | | | | | |
| | 0,3 | 1 | 2 | 10 | 1 | 2 | 10 | >10 | 2 | 10 | >10 |
| Нелегированная, <0,4% С, без ТО | ПМ | ВД | АД | АФ | ВД | АД | АФ | АФ | АФ | АФ | ЭШ |
| | ГП | ПД | ДУ | РД | ПД | ДУ | РД | ПП | ПП | ПП | АФ |
| | ГМ | ГМ | РД | АД | ГМ | РД | АД | ЭШ | РД | РД | ПП |
| | ЭК | ПМ | ВД | ДУ | ПМ | ПД | ДУ | ПП | АД | ДУ | ДУ |
| Сталь, ≤45% С, 2,5; ΣЛ без ТО | ПМ | ВД | ВД | АФ | ВД | АД | АФ | АФ | АФ | АФ | ЭШ |
| | ГП | ПМ | ПД | РД | ПД | РД | ПП | ПП | ПП | ПП | АФ |
| | ГМ | ГМ | АД | АД | ГМ | ПД | АД | АД | РД | РД | ПП |
| | ЭК | ЭК | ДУ | ДУ | ПМ | | ДУ | ДУ | АД | ДУ | ДУ |
| Сталь, ≤1% С, ≤6% ΣЛ, 3+НО | ПМ | ВД | ВД | РД | ВД | ПД | ПД | АФ | АД | АФ | АФ |
| | ГП | ПД | ПД | АД | ПД | АД | АД | АД | ПД | ПП | ПП |
| | ГМ | ГМ | | ПД | ГМ | | | ПД | | АД | ДУ |
| | ЭК | ПМ | | | ПМ | | | | | ДУ | |
| Сталь, ≤1% С, ≤6-13% ΣЛ, 3+НО | ПМ | ВД | ВД | РД | ВД | ПД | ПД | АФ | ПД | ПД | АФ |
| | ГП | ПМ | ПД | АД | ПД | АД | ВД | АД | АД | АД | АД |

| | | | | | | | | | | | |
|---|----------------------|----------------------|----------|----------------------|----------------------|----------------|----------------------|----------------------------|----------------|----------------|----------------------|
| | ГМ | ГМ ЭК | | ПД | ГМ ПМ | | АД | ПД | | | ДУ ПП |
| Сталь, ≤1% С, ≤6% ΣЛ, 3+ВО | ПМ ГП ГМ | ВД ПМ ГМ ЭК | ВД ПД | РД АД ПД ДУ | ВД ПД ГМ ПМ | ВД ПД АД | АД ПД | АД ПД ДУ | ПД АФ ДУ | ПД ДУ АД | АФ АД ПП ДУ |
| Сталь, ≤1% С, ≤6- 13% ΣЛ, 3+ВО | ПМ ГП ГМ ЭК | ВД ПМ ГМ ЭК | ВД ПД | АД ДУ ПД | ВД ПД ГМ ПМ | ПД АД ДУ | АД ДУ АФ ПП | АФ ПП АД АД ДУ | РД АД ПД | ПП АД ДУ | АФ ПП РД ДУ |
| Обозначение: ТО – термическая обработка; ΣЛ – суммарное содержание легирующих элементов; 3+НО – закалка с низким отпуском; 3+ВО – закалка с высоким отпуском; АФ – автоматическая наплавка под флюсом; ВД – вибродуговая наплавка; АД – аргонодуговая наплавка; ДУ – дуговая наплавка в углекислом газе; ЭК – электроконтактная наварка листа; ПП – наплавка порошковой проволокой; РД – ручная дуговая наплавка; РГ – ручная наплавка газовым пламенем; ПД – плазменно-дуговая наплавка; ПМ – плазменная металлизация (напыление); ГМ – газоплазменная металлизация (напыление); ГП – гальваническое покрытие хромом; ЭШ – электрошлаковая наплавка. | | | | | | | | | | | |

Приведенные в статье рекомендации применяют при разработке технологии восстановления и повышения износостойкости деталей автомобильного транспорта, оборудования нефтяной, газовой и химической промышленности.

Библиографический список

1. Сидоров А.А. Восстановление деталей машин напылением и наплавкой. – М.: Машиностроение, 1987. – 192 с.
2. Какуевич В.А. Восстановление деталей автомобилей на специализированных предприятиях. – М.: Транспорт, 1988. – 147 с.
3. Назарько А.С., Пломодьяло Р.Л. Раздельный и комплексный способы легирования наплавленного металла карбидом титана при дуговой износостойкой наплавке // Техника и технологии машиностроения VII Междунар. конф. (г. Омск, 21-23 мая 2018 г). – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2018. – С. 166–170.