

"Обзор наплавочных решений в промышленности"

Инженер,

Урусов А.А.

ООО «Спецэлектрод-Сервис», Санкт-Петербург, РФ

1. Износ как вызов экономике.

Износ деталей приносит ежегодные убытки в промышленности всех отраслей и всех стран мира. Счёт идёт на миллиарды долларов. Износ съедает не только те деньги, которые идут на закупку заменяемых деталей. Поскольку при остановках оборудования, связанных с его ремонтом, выпуск продукции на предприятии снижается, потери существенно возрастают. Время простоя – это потерянная прибыль! Ещё один глобальный вызов, связанный с износом – истощение природных ресурсов планеты!

По этим причинам повышение износостойкости, то есть продления ресурса деталей и увеличения межсервисного периода оборудования – есть важнейшая задача промышленных инженеров.

Мы сталкиваемся с износом почти во всех отраслях. Добывающие предприятия, строительство, деревообработка, химия, металлургия, машиностроение, везде в процессе работы изделия подвергаются следующим видам износа:

1. Фрикционный износ типа «металл по металлу» возникает при трении качения и скольжения деталей относительно друг друга с недостаточным количеством смазки или совсем без нее.
2. Ударный износ – при воздействии ударных или сжимающих нагрузок, приводящих к смятию и растрескиванию рабочих поверхностей.
3. Совместный ударно-абразивный износ – при воздействии ударных нагрузок и режущего действия скользящих по инструменту твердых частиц, что приводит к выкрашиванию и стачиванию рабочих поверхностей.
4. Интенсивный абразивный износ – в результате воздействия твёрдых минеральных материалов, приводящего к стачиванию и эрозии рабочей поверхности. Например, износ типа «металл по земле». Также разновидностью его можно считать эрозионный износ при воздействии на рабочую поверхность запыленного газового потока, или потока жидкости со взвесью.
5. Коррозионный износ возникает в результате коррозионного воздействия химически агрессивной среды.
6. Кавитационный износ имеет место в гидравлических системах, вызван воздействием ударных волн в жидких средах.

На практике реальный износ является результатом комбинированного воздействия нескольких указанных выше видов износа, иногда в сочетании с высокими температурами. Для снижения износа рабочие поверхности необходимо упрочнять. Термин «упрочнение» довольно распространён, хотя далеко не всегда борьба с износом сводится к повышению прочности. Подходя к решению задачи защиты, инженер должен определиться: первое - с выбором способа нанесения покрытия (ответить на вопрос КАК?), второе - с составом этого покрытия (ответить на вопрос ЧЕМ?).

Для принятия оптимального решения в первую очередь важно понять, какой вид износа превалирует. Также для выбора материала и способа покрытия необходим тщательный анализ всех издержек и определения экономической целесообразности такой работы. Игра должна стоить свеч, а овчинка выделки.

2. Выбор способа нанесения защитных покрытий.

Существует довольно много процессов нанесения защитных покрытий на металлические рабочие поверхности, от практической дуговой наплавки и различных видов напыления до пока экзотического лазерного плакирования.

2.1 Виды напыления.

2.1.1 Газопламенное напыление.

Суть этого способа заключается в подаче наплавляемого материала в виде порошка в пламя ацетилено-кислородной горелки и напыление на предварительно разогретую до 500-900°C металлическую поверхность. Расплавления основного материала нет, есть диффузия. Сплавление с основным металлом 5-10%.



Рис. 1. Газопламенное напыление.

Преимущества.

- Низкая степень перемешивания с основным металлом, что даёт возможность получения необходимых свойств на тонком однослойном покрытии.
- Порошковый материал может быть любого сложного состава с заданными свойствами.
- Низкая стоимость оборудования.

Недостатки:

- Пористость покрытия.
- Ограничение по толщине покрытия, до 10 мм.
- Низкое сплавление 5-10% означает также недостаточную прочность.
- Значительные потери материала.
- Низкая производительность, до 1 кг/час.

Ввиду низкой производительности газопламенное напыление целесообразно применять при покрытии малой толщины на небольшие детали.

2.1.2 Электродуговое напыление (ARC-SPRAY process).

Расходным материалом для этого процесса являются две электродные проволоки, которые подаются двумя сварочными источниками в распылитель. В распылитель осуществляется поддув сжатого воздуха. Электрическая

дуга между двумя проволоками расплавляет проволоки, а струя воздуха переносит материал покрытия на поверхность детали.

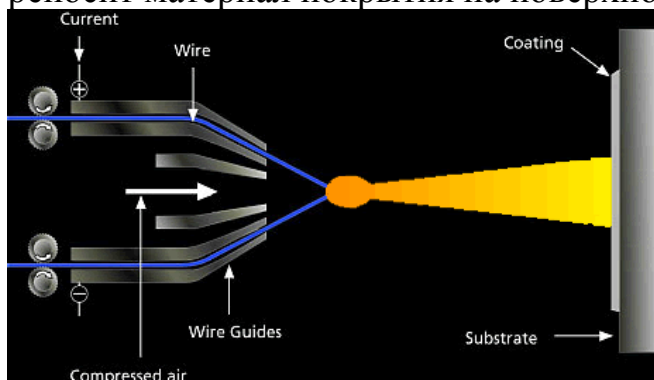


Рис. 2. Электродуговое напыление.

Преимущества.

- Низкая степень перемешивания с основным металлом, что даёт возможность получения необходимых свойств на тонком однослойном покрытии.
- Низкий нагрев детали.
- Высокая производительность, до 50 кг/час.

Недостатки.

- Пористость покрытия.
- Ограничение по толщине покрытия, до 10 мм.
- Значительные потери наплавочного материала
- Низкое сплавление 5-10% означает также недостаточную адгезию.

Это один из самых экономичных методов при нанесении покрытий на значительные площади, т. е. при больших объёмах работ, ввиду высокой производительности и сравнительной простоте оборудования.

2.1.3 Плазменная наплавка (напыление), (РГА-process).

Для применения этого способа требуется более сложное оборудование. В данном случае источником тепловой энергии служит ионизированная газовая плазма. Катодом является вольфрамовый электрод, анодами - сопло и наплавляемая деталь. Создаётся дуговой разряд, в который нагнетается газ, он ионизируется и образует плазму. Поток газа увлекает порошок покрытия в плазменную струю, где он расплавляется. В результате достигается высокая концентрация тепла, и порошок интенсивно вплавляется в поверхность детали.

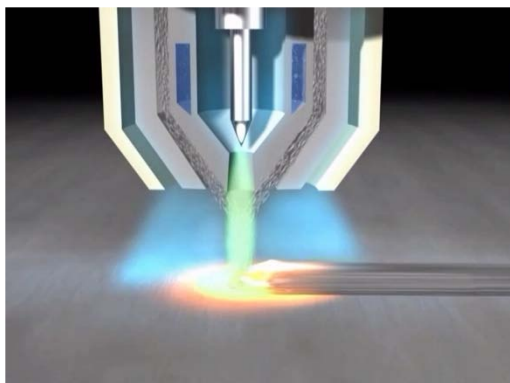


Рис. 3. Плазменная наплавка.

Благодаря этому процессу можно добиться намного лучших результатов. Степень сплавления возрастает с 5-10% до 20-30%.

Преимущества.

- Высокая концентрация тепловой мощности и минимальная ширина зоны термического влияния.
- Возможность получения толщины наплавляемого слоя от 0,1 мм до нескольких миллиметров.
- Низкая степень перемешивания с основным металлом (по сравнению с наплавкой), что даёт возможность получения необходимых свойств на первом слое.
- Высокая производительность, до 10 кг/час.

Недостатки.

- Высокая стоимость и сложность оборудования.

Это метод позволяет наносить наиболее качественные покрытия и позволяет автоматизировать процесс, поэтому часто применяется при производстве новых деталей, например, наплавка седел клапанов в моторостроении.

2.2 Виды электродуговой наплавки.

Один из наиболее эффективных и производительных способов защиты – электродуговая наплавка. Это недорогой и универсальный метод.

2.2.1 Ручная наплавка штучными электродами (РДН).

Преимущества.

- Наплавка может проводиться без демонтажа-монтажа сложных и громоздких агрегатов, во всех пространственных положениях и в труднодоступных местах.
- Оборудование простейшее и недорогое.

Недостатки.

- Низкая производительность (1 – 4 кг/час).
- Высокие потери наплавочного материала (до 50%). Огарки, брызги, угар.
- Результат по качеству и производительности сильно зависит от «человеческого фактора»- квалификации сварщика.

Ручная дуговая наплавка рекомендуется прежде всего для ремонтной наплавки на единичные изделия сложной формы.

2.2.2 Полуавтоматическая наплавка сплошной проволокой в среде защитного газа (МП).

По сравнению с ручной наплавкой она имеет ряд преимуществ. Так, рабочее время используется эффективнее, поскольку отсутствуют перерывы на замену штучных электродов. При этом сварщик выполняет один непрерывный валик вместо последовательности коротких швов. Нет дефектов, обусловленных зажиганием и обрывом дуги. Меньше потери на разбрызгивание и угар (15-20%). Преимущество по операционному фактору - среднее время использования дуги в смену: 6 часов в смену (у РДН 2 часа в смену). Исходя из сказанного, полуавтоматический процесс наплавки примерно в три раза производительнее ручного и на 30-50 % дешевле.

2.2.3 Полуавтоматическая сварка самозащитной проволокой (МПС).

Наплавка флюсованной или порошковой самозащитной проволокой схожа с наплавкой сплошной проволокой. Отличие в том, что защитный газ

не используется. Порошковая проволока содержит флюсующие материалы, которые позволяют вести сварку открытой дугой.

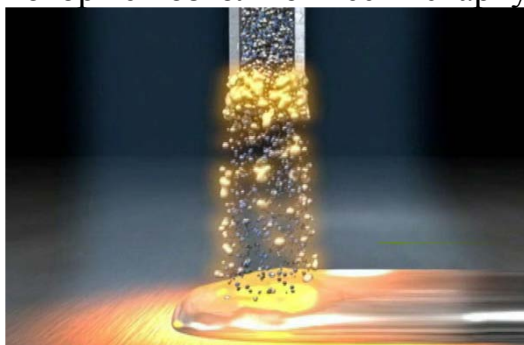


Рис. 4. Наплавка флюсованной проволокой.

Сохраняя выгодные стороны наплавки сплошной проволокой, этот метод имеет дополнительные плюсы.

- При большей стоимости порошковой проволоки удаётся экономить на защитном газе.
- Производительность ещё выше (4-8 кг/час).
- Ниже тепловложение в деталь, следовательно, снижаются негативные воздействия (уводы, коробления, потеря свойств металла).
- Наплавка может выполняться на открытом воздухе, защиту дуги не сдувает. Последнее свойство даёт возможность выполнять наплавочные работы без демонтажа и транспортировки в цех деталей крупногабаритной техники.

2.2.3 Автоматическая наплавка проволокой под флюсом (АФПН).

В этом процессе наплавка выполняется либо порошковой проволокой под нелегирующим флюсом, либо проволокой сплошного сечения под легирующим флюсом.

Преимущества.

- Отсутствие излучения и разбрызгивания.
- Высокая производительность (до 15 кг/час).
- Автоматический контроль, стабильное высокое качество.

Недостатки:

- Малая универсальность. Каждый автоматический комплекс выстраивается под конкретное изделие.
- Сложное и дорогое оборудование.

Наплавка под флюсом оправдывает себя при больших объёмах повторяющихся работ по покрытию изделий простой формы (цилиндр, конус). Например, наплавка прокатных роликов в металлургии. Опыт работы на многих предприятиях показал, что способ наплавки самозащитной порошковой проволокой, является наиболее экономичным.

3. Выбор наплавочного материала.

Восстановление изношенных элементов оборудования, а также изготовление новых деталей с поверхностным слоем специального сплава можно разделить на три основных этапа.

3.1. Наплавка на поверхность изделия промежуточного, буферного слоя.

Служит:

- для улучшения сплавления слоёв с разными мех. свойствами,
- для развязывания усадочных напряжений,

- для снижения риска «холодных трещин» в основном углеродистом металле

Для буферного слоя целесообразно применять вязкие аустенитные сплавы системы Железо-Хром-Никель-Марганец (Fe-основа, 19-9-5).

Например, сплошная проволока Kjellberg 4370 MIG, или же порошковая самозащитная проволока для наплавки открытой дугой Corodur 200 OA.

Также зачастую буферный аустенитный слой позволяет снизить степень необходимого подогрева массивных деталей из углеродистых сплавов, который на практике бывает очень трудно обеспечить.

3.2. Восстановление первоначальных размеров изделия (достройка).

Для достройки используют экономичные низколегированные сплавы с достаточной вязкостью и низкой твёрдостью, позволяющие наплавлять неограниченное число слоев. Подойдёт широко распространённая проволока Sv08Г2С и подобные. Здесь главный фактор - низкая цена. Если изделие эксплуатируется в условиях не интенсивного износа, этот этап наплавки становится завершающим.

3.3. Покрытия с особыми свойствами.

Самый важный вопрос при борьбе с износом, это вопрос подбора наиболее эффективного состава покрытия с особыми свойствами для придания специальных свойств рабочим поверхностям изделия. Как известно не существует универсальных материалов, успешно противостоящих различным видам износа. В каждом реальном случае нужно выделить преобладающий тип изнашивающего воздействия на рабочую поверхность.

Материалы для износостойкой наплавки можно разделить на ряд групп в соответствии с их хим. составом и стойкостью к различным видам износа.

- Сплавы на основе железа (мартенситные, аустенитные и карбидосодержащие);

- Сплавы на основе никеля и кобальта.

Мартенсит является структурой, образующейся при быстром охлаждении (закалке) углеродистых сталей, легированных Cr. Необходимая твёрдость достигается термическим циклом. Аустенитные сплавы, легированные Ni и Mn обладают ярко выраженным эффектом холодной закалки или наклепа. Карбидосодержащие сплавы содержат твёрдые карбиды. Свойства, а, следовательно, и области применения, этих материалов различны. Сопоставление их эксплуатационных характеристик только по критерию твердости без учета структуры может быть ошибочным. Например, твердость 50 – 55 HRC могут иметь и мартенсит, и аустенит (после наклепа), и сплавы с карбидами хрома. Однако они показывают стойкость к совершенно разным видам износа. Мартенситные материалы успешно противостоят износу типа «металл по металлу», аустенитные (после наклепа) – ударному, железохромоуглеродистые – абразивному. Максимальное содержание углерода в материале способствует хорошей абразивной стойкости. Увеличение содержания легирующих элементов при неизменном количестве углерода добавляет специальные свойства. Например, материал с высоким содержанием углерода прежде всего имеет хорошую стойкость к абразивному износу. Дополнительное легирование Cr и W позволяет сохранить это свойство при высоких температурах. С дру-

гой стороны, дополнительное легирование увеличивает стоимость наплавочных материалов. Сплавы на основе никеля и кобальта противостоят комбинации видов износа, сохраняя эксплуатационные свойства при высоких температурах. Однако они дороги и применение их оправдывается только в тех случаях, когда без этого не обойтись.

3.3.1 Наплавка против фрикционного износа по типу металл-металл.

В этом случае, поверхность не должна быть слишком твёрдой. Обычно достаточно добиться твёрдости в диапазоне 250-350 НВ. Требуется высокий коэффициент скольжения, стойкость к давлению и задирам.

Этим свойствам отвечают стали легированные Mn, Cr, Si по 1-2%.

Например, для наплавки применяется проволока 30ХГСА, или проволока Kjellberg 350 MIG. Поскольку эти материалы сравнительно недорогие их выгодно использовать для достройки, то есть восстановления сильно изношенных поверхностей. Применение таких покрытий очень широко: пары скольжения, станины, шестерни, катки, опорные ролики.

В некоторых задачах требуется повышенное скольжение, тогда имеет место покрытие из алюминиевых бронз (Cu-основа, Al-7%, Ni-2.5%, Mn 10%). На практике мы это встречаем при восстановлении подшипников скольжения, ползунов и т. д.

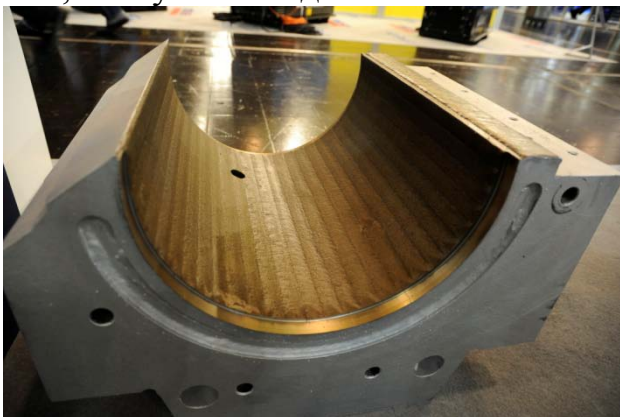


Рис. 5 Наплавка посадочного места.

3.3.2 Наплавка при воздействии давления и сильных ударов.

В этом случае наиболее полезны наплавки из аустенитных сплавов легированные Mn, Ni, Cr с выраженным эффектом холодной закалки. Такие покрытия под воздействием рабочих ударных нагрузок и давления образуют на поверхности наклёпанный слой с твёрдостью до 500НВ. Это даёт возможность такой наплавке эффективно противостоять ударам, давлению и незначительному абразиву. Причём важно заметить, что такой слой самовозобновляется в процессе эксплуатации и наплавленные детали обладают большим ресурсом, чем новые детали. Такие покрытия применяются как на низколегированные стали, так и на марганцовистые стали, например, 110Г13Л или сталь Гадфилда. Важная особенность марганцовистых сталей заключается в чувствительности к перегреву выше 300°С. Поэтому при наплавке необходимо снижать тепловложение и обеспечивать охлаждение детали. Наплавочные материалы этого типа производятся в виде покрытых электродов и порошковой проволоки. Применяются при защите рабочих органов дробилок,

опорных роликов, катков, железнодорожных стрелочных переводов. В этих работах показывает высокую эффективность самозащитная порошковая проволока Кородур 250 ОА.



Рис. 6 Наплавка кранового катка порошковой проволокой CORODUR 250.

3.3.3 Наплавка при воздействии абразивного износа в комбинации с ударными нагрузками.

Когда основной изнашивающий фактор-абразив требуется высокая твёрдость покрытия. В то же время сплав должен быть достаточно вязким, чтобы выдерживать ударные воздействия. В таком сочетании неплохо работают железные сплавы с высоким содержанием углерода (0.4-0.8%) с добавлением Cr 5-9% и Mo. Покрытие имеет мартенситную структуру с твёрдостью 55-58 HRC и может быть закалена до 60HRC. При наплавке на рубящие кромки гильотин, ножей и зубьев горной техники и т. п. применяются электроды Кьеллберг 6/60 или порошковая проволока Кородур 609 ОА. Наиболее интересны такие решения при восстановительной наплавке роликов и валков прокатных станов в металлургии. Подбор оптимального материала для этих работ довольно сложная задача, требующая учёта комплекса и выраженности изнашивающие факторов, таких как абразив, температуры от 300-900°C, коррозия и высокие давления. Зачастую оптимальный состав удаётся определить после ресурсных испытаний роликов наплавленных различными сплавами мартенситного типа.



Рис. 7 Наплавка под флюсом ролика прокатного стана проволокой CORODUR 609.

3.3.4 Защитные покрытия при интенсивном абразивном износе.

Минеральная абразивная среда наиболее интенсивно изнашивает металлические рабочие органы машин. Для защиты разработаны твёрдые сплавы содержащие карбиды -Cr, -Nb, -Mo, -Ti и -W. Твёрдость таких карбидов простирается от 1230HV(хром-карбид) до 3000HV (вольфрам-карбид). В экономичном варианте эти карбиды вплавлены в железной матрице. Более эффективные сплавы на основе Ni-матрицы. Хром-карбидные сплавы получили наиболее широкое применение и позволяют добиться твёрдости 60-62HRC. Например, наплавка электродом Кьеллберг 10/70 содержит Cr-карбиды в железной матрице, а добавление бора (В) позволяет добиться твёрдости 68HRC при двухслойной наплавке. Такие решения достаточно эффективны и экономически целесообразны при борьбе с абразивным износом при значительных объёмах, например молотки дробилок, грохота, лопасти миксеров, шнеки, рыхлители и т. д. В случаях, когда стоимость рабочих частей велика, а объёмы наплавки незначительны, применяются сплавы на основе Ni содержащие сферические карбиды вольфрама. Это позволяет получить бурильные инструменты с твёрдостью, сравнимой с алмазом. Такие решения позволяют многократно продлить ресурс инструментов, технологическая замена которых практически невозможна в процессе бурения, проходки тоннелей и т. п.

Современный подход к вопросам защиты от износа в промышленности включает в себя выбор наиболее эффективного способа нанесения покрытий и подбора наиболее подходящего к данной комбинации изнашивающих факторов материала. Грамотный выбор решения – ключ к успеху в борьбе за стойкость инструментов.