

При реализации контуров защиты в соответствии с рисунком 1 на оборудовании, представленном в докладе, с двухгодичными межтестовыми испытаниями можно получить УПБ, соответствующий уровню SIL1. Для повышения уровня SIL необходимо менять структуру канала, использовать резервирование.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р МЭК 61511-1-2018, ГОСТ Р МЭК 61511-2-2018, ГОСТ Р МЭК 61511-3-2018 «Безопасность функциональная. Системы безопасности приборные для промышленных процессов».
2. Определение требуемых уровней полноты безопасности (SIL) для функций безопасности систем ПАЗ - SZMA [Электронный ресурс]. - режим доступа: <https://szma.com/funktsionalnaya-bezopasnost/sil/>
3. Резервирование ПЛК и устройств ввода-вывода [Электронный ресурс]. - режим доступа: https://www.bookasutp.ru/Chapter8_2.aspx

Шэ Лу (Китай), Чжан Цинжун(Китай),
Ци Мэнсюй (Китай), Козлов Виктор Николаевич (Россия)

Томский политехнический университет, г. Томск

Научный руководитель: Козлов Виктор Николаевич,
канд. техн. наук, доцент ТПУ

НАПЛАВЛЕНИЕ ПРОВОЛОКОЙ КАК СИНТЕЗ СВАРКИ И АДДИТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Аддитивные технологии на основе металлической проволоки (технология 3DMP/WAAM) –одни из самых перспективных аддитивных технологий современности [1, 2, 3]. Потому что они не только сокращают время производства, но и экономят материал для заготовки и утилизации металлической стружки. Одна из этих технологий, DED-W/WAAM/3DMP (Wire Direct Energy Deposition/Wire Arc Additive Manufacturing/3D Metall Print), позволяет выполнять 3Д печать изделия с использованием проволоки из металла на основе дуговой сварки.

Данные для управления траекторией движения головки, установки скорости перемещения по контуру, толщине наплавляемого слоя и пр., т.е. САД-данные компьютерной автоматизированной программы, можно передавать в проприетарное программное обеспечение для 3D-печати. Проволока обычно расплавляется горелкой, установленной в головке,

лучшие механические свойства конечного изделия: отсутствие пористости и термических трещин, наличие дендритной структуры.

При допущении и возможности субтрактивных технологий требования к точности синтезируемой заготовки с использованием проволочных технологий не высокие, поэтому они рекомендуются к широкому использованию. Сравнительно небольшой припуск на механическую обработку 1–3 мм по сравнению с фрезерованием из металлической плиты или мерного прутка не только уменьшает количество стружки в 10 и более раз, но и весьма существенно сокращает время на механическую обработку. Особенно ярко это проявляется при изготовлении изделий с большими объёмами полостей, каркасных конструкций, решёток и т.п.

По сравнению с традиционными технологиями хорошие характеристики при существенном увеличении производительности достигаются при фрезеровании труднообрабатываемых материалов после наплавки проволокой. Аддитивные технологии позволяют не только улучшить использование материалов и сократить их расходы, особенно дорогостоящих и дефицитных, но и уменьшить время изготовления деталей и повысить эффективность производства (рис. 2).

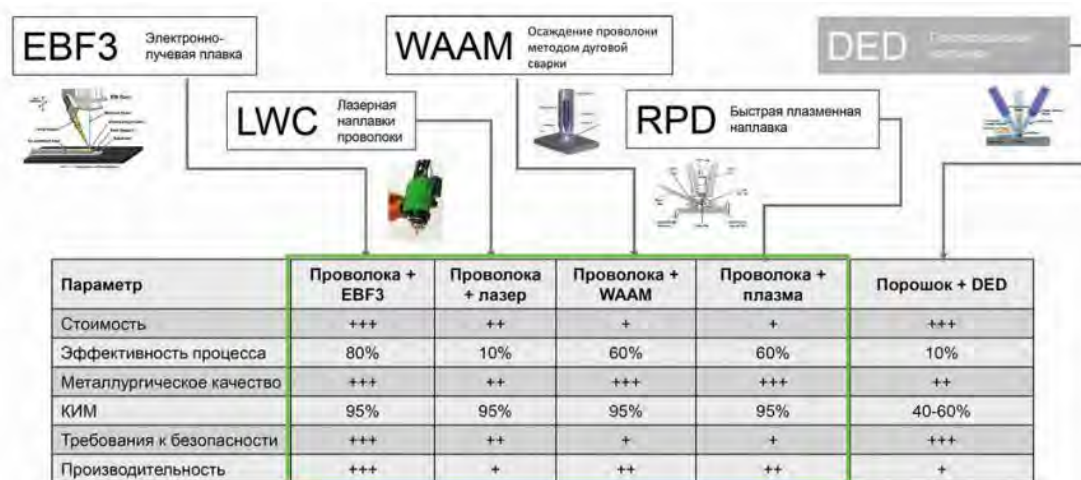


Рис. 2. Основные показатели эффективности [1]

Низкая теплопроводность, пониженный модуль упругости и связанная с ним высокая величина нормальных контактных напряжения на фаске износа по задней поверхности, вызывают интенсивный износ фрез. Эти вынуждают снижать скорость резания, повышает затраты на режущие инструменты.

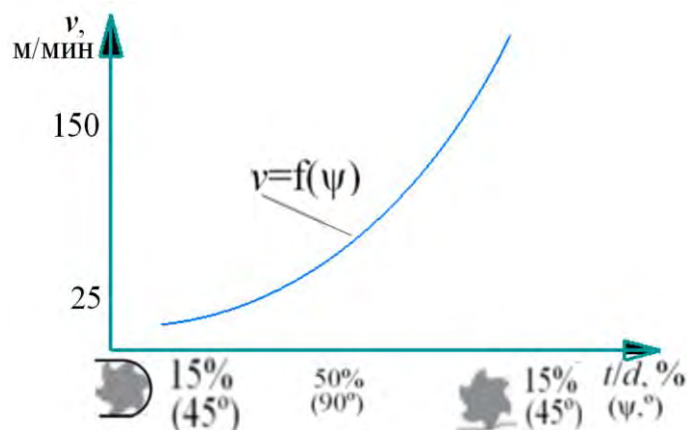


Рис. 3. Влияние **соотношения** глубины фрезерования t к диаметру фрезы d (%) на скорость резания v (м/мин) при обработке титановых сплавов [2]

Из-за низкой теплопроводности титана при обработке титановых сплавов со стружкой уносится лишь небольшая часть тепла, а большая часть выделяемого тепла передается инструменту [2, 4]. Для уменьшения теплопередачи на инструмент желательно уменьшить площадь контакта фрезы с заготовкой (длину дуги контакта) (рис. 3) или снизить скорость резания v , поскольку небольшая площадь контакта может сократить цикл (время) нагрева режущей кромки, а меньшая скорость резания обеспечивает большее время для охлаждения.

Фрезерование при высоких скоростях и больших подачах на зуб с очень малой площадью контакта и острой режущей кромкой зуба фрезы обеспечивает высокую производительность при хорошем качестве обработанной поверхности.

Фрезы для обработки титана обычно имеют десять зубьев, что на пять зубьев больше, чем у обычных фрез. За счет увеличения количества зубьев можно уменьшить подачу на зуб без снижения эффективности резания, тем самым увеличив тепловыделение и улучшив срок службы фрезы.

При фрезеровании титана следует отдавать предпочтение попутному фрезерованию, т.к. большая толщина стружки при врезании обеспечивает большее поглощение выделяемого тепла, а маленькая толщина стружки на выходе зуба из контакта не только уменьшает силу резания и делает более плавным окончание резания, но и предотвращает прилипание стружки к передней поверхности зуба фрезы.

Из-за высокой вязкости или твердости большинства труднообрабатываемых материалов, например, таких как титановые сплавы, нагрузка на зуб фрезы будет резко увеличиваться при его входе в заготовку, что грозит выкрашиванием режущей кромки и сократит срок службы инструмента. Ввод инструмента в заготовку по дуге, а не под прямым углом, как

обычно выполняется при традиционном фрезеровании, приводит к постепенному увеличению нагрузки и на зуб, и на всю фрезу, предотвращает резкие колебания силы при вращении фрезы. Но такой способ резания достаточно просто обеспечивается только на станках с ЧПУ.

Точно так же, когда инструмент выходит из заготовки, постепенное уменьшение текущей толщины среза, а значит и стружки, позволяет предотвратить резкое уменьшение нагрузки на зуб и на фрезу на выходе. Это уменьшает вероятность выкрашивания зуба и повреждение поверхности детали (появление на ней сколов на выходе). Чтобы смягчить резкое уменьшение силы на выходе зуба, можно делать фаску под углом 45 градусов.

Также в процессе фрезерования перед выходом зуба из контакта с заготовкой задняя поверхность режущей кромки начинает тереться о металл. Это вызывает повышенный износ по задней поверхности, хотя он и меньше, чем при попутном фрезеровании. Из-за меньшего в 2 раза, чем у стали, модуля упругости Юнга у титановых сплавов эта проблема очень актуальна.

Острые режущие кромки могут значительно снизить силу резания титановых сплавов, но при этом режущий клин инструмента должен иметь достаточную прочность.

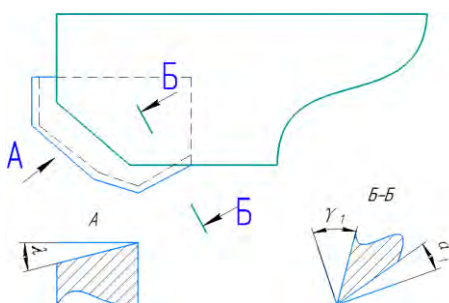


Рис. 4. Вспомогательный задний угол α_1 и положительный угол наклона главной режущей кромки λ фрезы [2]

Для уменьшения трения инструмента с заготовкой по задней поверхности применяются большие вспомогательные задние углы α_1 (рис. 4). При этом используется также достаточно большой положительный угол наклона главной режущей кромки λ .

При многократном использовании фрезы с одинаковой шириной фрезерования b при обработке концевой фрезой (глубиной врезания в заготовку или высотой уступа h) происходит интенсивный износ основной режущей кромки в зоне контакта с поверхностью заготовки, или так называемый локальный износ.

Этого можно избежать за счёт периодического изменения ширины фрезерования b (глубины контакта с заготовкой h), хотя это снижает производительность, поскольку она будет немного меньше допустимой, что приведёт к увеличению количества рабочих ходов. Этот метод распределяет проблемные зоны по разным точкам на режущей кромке зуба.

При фрезеровании небольших канавок диаметр инструмента не должен превышать 70% диаметра канавки, чтобы оставить достаточно места для отвода тепла при фрезеровании титанового сплава.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дмитрий Трубашевский. Переход к проволочным аддитивным технологиям - тренд или необходимость? [Электронный ресурс] // Дмитрий Трубашевский. – Электрон. текстовые дан. – Современное оборудование. 2019. – режим доступа к журн.: <https://www.solver.ru/publications/files/2-solver-provoloka-trend.pdf>;
2. Питер Зелински. Фрезерование титана: 10 советов по обработке [Электронный ресурс] // Твердый сплав. – Электрон. журн. -2015. – режим доступа к журн.: <https://tverdysplav.ru/frezerovanie-titana-10-sovetov-po-obrabotke/>
3. Репников Д. А. Терехов М. В., Выбор элементов поддержки при наплавке металлической проволокой в аддитивные технологии [Электронный ресурс] // Вестник Брянского государственного технического университета. – Электрон. журн. - 2019 № 9. с.42-49. – режим доступа к журн.: <https://bstu.editorum.ru/en/storage/viewWindow/40103>.
4. Титановые сплавы [Электронный ресурс] // МТК МАЗПРОМ. – Электрон. журн. -14. 3. 2021. – режим доступа к журн.: <https://www.mazprom.ru/stati/116451>.

Эминов Абдысердар Абдылменапович (Туркменистан)

Казанский государственный энергетический университет, г. Казань

Научный руководитель: Дремичева Елена Сергеевна,
канд. техн. наук, доцент

ПЕРСПЕКТИВЫ ТОРФА В БИОЭНЕРГЕТИКЕ

Аннотация: в условиях кризиса нефтегазового комплекса в мире обостряются энергетические проблемы. В этой связи с целью решения