

4. Чэнь Юэчжоу. Расчёт эпюр контактных напряжений при обработке стали / Чэнь Юэчжоу, Чжан Цзяюй, В. Н. Козлов; науч. рук. В. Н. Козлов // Научная инициатива иностранных студентов и аспирантов российских вузов сборник докладов X Всероссийской научно-практической конференции, Томск, 22-24 апреля 2020 г.: / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). –Томск : Изд-во ТПУ , 2020 . –[С. 243-250] .
5. Полетика М.Ф., Утешев М.Х. Исследование процесса резания поларизационно-оптическим методом. – Известия Томского политехнического института. 1964. т. 114. С. 21-32.
6. Филиппов А.В., Проскоков А.В. Исследование процесса стружкообразования при резании металлов методом цифровой корреляционной спекл-интерферометрии. Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение, 2014, № 2, с. 100–113.
7. Kozlov Victor Nicolaevich, Zhang Jiayu, Guo Yingbin, Sabavath Sai Kiran. Contact loads on surfaces of worn out cutter in steel machining [Electronic resource] / Zhang Jiayu [et al.]; sci. adv. V. N. Kozlov // Научная инициатива иностранных студентов и аспирантов российских вузов : сборник докладов VIII Всероссийской научно-практической конференции, Томск, 16-18 мая 2018 г. / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). – Томск: Изд-во ТПУ, 2018. –[С. 39-45]. –Заглавие с экрана. –Свободный доступ из сети Интернет. Режим доступа: <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/51571>

Ци Мэнсюй (Китай),
Мартюшев Никита Владимирович (Россия),
Козлов Виктор Николаевич (Россия)

Томский политехнический университет, г. Томск
Научный руководитель: Мартюшев Никита Владимирович,
канд. техн. наук, доцент

ПРИМЕНЕНИЕ ФРЕЗЕРОВАНИЯ В АДДИТИВНО-УБТРАКТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Для получения высокой точности и низкой шероховатости, повышения качества поверхности, предлагается применять субтрактивную обработку. Аддитивные технологии всегда сопровождаются быстрым нагревом и последующим охлаждением. В результате на поверхности изделия

формируется труднообрабатываемая корка. Актуальность исследования заключается в том, что необходимо улучшать режим фрезерования.

3D (3D Metal Print)-технология можно разделить на основные виды: порошковые аддитивные технологии (АТ) и проволочные АТ.

Каждый вид АТ имеют свои достоинства и недостатки. Для порошковых АТ достоинством является возможность формирования детали со сложной формой. Кроме того, порошковые АТ позволяют обеспечить высокую точность изделия. Недостатками являются низкая производительность и высокая себестоимость по сравнению с проволочными АТ. Кроме того, для получения лучшей шероховатости и качества поверхности всё равно необходимо выполнить механическую обработку.



Рис. 1. Изделия, полученные наплавлением проволоки

Объекты из проволочных АТ имеют низкую точность (рис. 1), поэтому практически всегда после проволочных АТ следует выполнять механическую обработку, обеспечивающую необходимую точность размера и формы.

Если в процессе аддитивного производства нет дополнительной системы охлаждения, то это приведет к существенному изменению механических свойств изготовленных деталей. Это происходит из-за эффекта поглощения тепла, обеспечиваемого подложкой, который усиливает процесс охлаждения первого слоя осаждения. Однако по мере увеличения высоты конструкции скорость охлаждения уменьшается, что приводит к увеличению размера зерна и, в конце, снижению твердости [1, 2]. Из-за эффекта предварительного нагрева, вызванного горячим предыдущим слоем осаждения, это влияет на скорость охлаждения конечного слоя осаждения. Из закона Холла – Петча следует, что размер зерна влияет на прочность материала. В результате механические свойства (твердость, предел текучести и прочности) в разных местах изделия будут разными. При выборе фрезы для субтрактивной технологии следует учитывать твердость в разных областях заготовки после АТ.

При проволочных АТ синтез изделия имеет много общего с наплавлением слоя электросваркой. При быстром охлаждении большинство металлов и сплавов закаляются, особенно при большом проценте легирующих элементов в своём составе. В результате на поверхности изделия формируется труднообрабатываемая корка, что вынуждает подбирать подходящие материалы режущих инструментов, их рациональную геометрию и режимы резания [3].

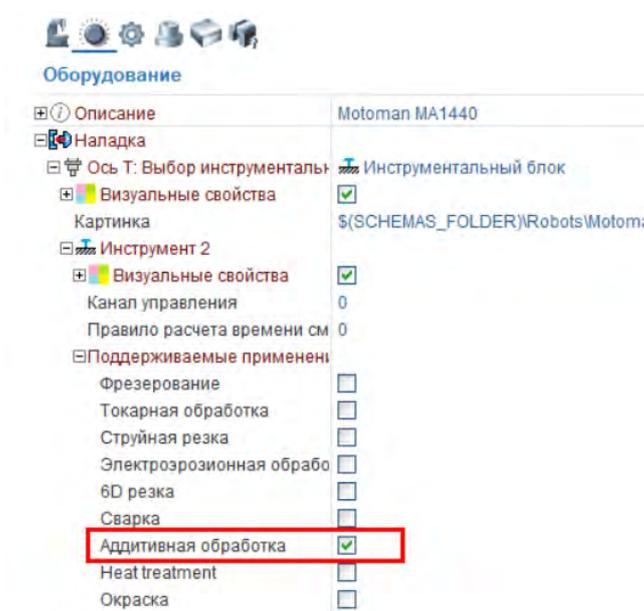


Рис.2. Аддитивная обработка в SprutCAM

В настоящее время современные системы САМ имеют автоматизированное управление процесса механической обработки (рис. 2). С использованием современных систем САМ (Sprut-CAM) можно создавать траекторию инструмента с практически постоянным углом зацепления. Это предотвращает перегрузку и перегрев инструмента [4].

Трохоидальное фрезерование – это высокоэффективный метод фрезерования, в котором используются преимущества уменьшения угла зацепления (протяжённость контакта зуба фрезы с заготовкой в процессе резания), образование тонкой стружки и врезание по дуге, что позволяет увеличить скорость резания и минутную подачу.

Трохоидальное фрезерование чаще всего применяется при сложных условиях обработки, таких как микромеханическая обработка, обработка твердых материалов, изменения снимаемого припуска в процессе резания. При трохоидальном фрезеровании быстро вращающийся инструмент, работающий с небольшой глубиной фрезерования t , движется по дуге и «нарезает» тонкий, но широкий слой материала (равным ширине фрезерования B) (рис. 3). Когда слой удаляется, то на следующем слое

режущая кромка врезается в материал не радиально, а по дуге, обеспечивая более плавное врезание, что особенно важно при попутном фрезеровании. Этот метод уменьшает резкие изменения силы резания [3].

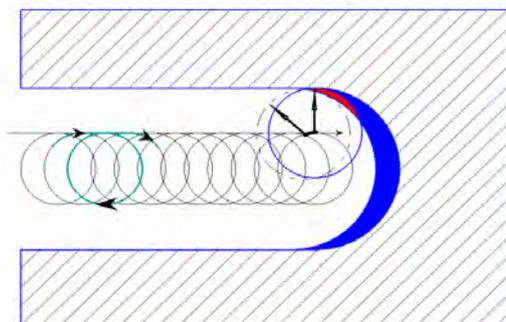


Рис.3. Схема трохоидального фрезерования

В аддитивно-субтрактивной технологии (АСТ) используется сухое фрезерование, так как токсичные газы образуются в смазке и охлаждающей жидкости при высокой температуре. Трение между фрезой, заготовкой и стружкой приводит к быстрому увеличению выделяемого тепла, что повышает температуру в рабочей зоне и значительно сокращает срок службы фрезы.

Износ фрезы происходит в основном на задней поверхности зуба фрезы. Из-за небольшой глубины фрезерования задняя поверхность зуба фрезы соприкасается с поверхностью резания. Это трение усугубляется округлением главной режущей кромки, которая даже у неизношенного инструмента не является идеально острой [4, 5, 6]. Результаты исследований показали, что появление высокой температуры между инструментом и обрабатываемой деталью приводит к увеличению интенсивности адгезионного, окислительного и диффузионного износа. Исследование показали, что можно эффективно увеличить срок службы фрезы даже в условиях только воздушного охлаждения [4, 6, 7, 8].

Фрезерование может быть осуществлено двумя способами: встречное фрезерование, и попутное фрезерование [5]. При порошковых АТ при назначении нерациональных режимов спекания изделия может иметь высокую пористость и большую шероховатость (рис. 4), поэтому требуется дополнительная обработка фрезерованием, хотя это уменьшит только шероховатость.



Рис.4. Изделия из установки селективного лазерного спекания

Попутное фрезерование всегда является предпочтительным методом для порошковых АТ, где это позволяет станок, приспособление и обрабатываемая заготовка. Применение попутного фрезерования существенно повышает качество поверхности вследствие постепенного уменьшения толщины среза и стружки к моменту выхода зуба из контакта [8].

При обработке изделия из проволочных АТ встречное фрезерование применяется для предотвращения перегрузки инструмента в момент врезания в твёрдую корку с наибольшей толщиной среза, что характерно для попутного фрезерования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Lopes J G, Machado C M, Duarte V R, et al. Effect of milling parameters on HSLA steel parts produced by Wire and Arc Additive Manufacturing (WAAM)[J]. Journal of Manufacturing Processes, 2020, 59: 739-749.
2. Zhang H, Xie Y, Rui D, et al. Hybrid deposition and micro rolling manufacturing method of metallic parts[C]//2013 International Solid Freeform Fabrication Symposium. University of Texas at Austin, 2013.
3. Киричек, А.В. Аддитивно-субтрактивные технологии - эффективный переход к инновационному производству / А.В. Киричек, О.Н. Федонин, Д.Л. Соловьев, А.А. Жирков, А.В. Хандожко, Е.В. Смоленцев // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2019. – № 8. – С.4 – 10.
4. Евгениев Г Б. Методы программирования комбинированной аддитивно- субтрактивной обработки[J]. Известия высших учебных заведений. Машиностроение, 2017 (4 (685)): 47-56.
5. Кожевников Д. В., Гречишников В. Л., Кирсанов С. В., Кокарев В. И., Схиртладзе А. Г. Режущий инструмент: Учебник для вузов /

Под редакцией С. В. Кирсанова. - 2-е изд. доп. М.: Машиностроение, 2005. - 528 с: ил

6. Справочное руководство ISCAR. Обработка титана. Электронный ресурс:
https://www.iscar.ru/Catalogs/publication2019/machining_titanium_rus_metric.pdf.
7. Xiong X., Haiou Z., Guilan W. A new method of direct metal prototyping: hybrid plasma deposition and milling //Rapid Prototyping Journal. – 2008.
8. Tascioglu E, Kaynak Y, Poyraz Ö, et al. The effect of finish-milling operation on surface quality and wear resistance of inconel 625 produced by selective laser melting additive manufacturing[C]//International Conference on Advanced Surface Enhancement. Springer, Singapore, 2019: 263-272.

Ци Мэнсюй (Китай), Хань Цзунпэн (Китай), Мэн Сянцзюнь (Китай),
Козлов Виктор Николаевич (Россия)

Томский политехнический университет, г. Томск

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

АНАЛИЗ НАГРУЖЕНИЯ ЗУБА ФРЕЗЫ ПРИ ОБРАБОТКЕ СТАЛИ

Фрезерование является основным видом при обработке корпусных деталей. При фрезеровании по схеме встречного фрезерования зуб начинает врезаться в заготовку с нулевой толщиной среза, что вызывает вдавливание (подмятие) обрабатываемого материала под главную режущую кромку, которая всегда, даже при отсутствии износа, имеет округление радиусом $\rho \approx 0,001 \dots 0,005$ мм в зависимости от размера зёрен инструментального материала [1].

