

б. Эта доступность данных дает возможность разработать новые подходы к проверке моделей, которые подходят к процессу проверки поэтапно, позволяя проверять части имитационных моделей, как только по ним будет «достаточно» данных. Полная зависимость от данных для проверки модели требует, чтобы сами данные были тщательно проверены.

Имитационное моделирование на основе данных является перспективным направлением для исследования.

Список используемых источников:

1. Yelles-Chaouche et al Reconfigurable manufacturing systems from an optimisation perspective: a focused review of literature / A.R. Yelles-Chaouche et al, E. Yelles-Chaouche, N. Gurevsky A. Brahimi, Int Dolgui, J. Prod. Res. – 2020. – 59. – pp. 1–19
2. Shahbazi and Byun Byun Smart manufacturing real-time analysis based on blockchain and machine learning approaches / Shahbazi and Byun, Z. Shahbazi, Y.C. Byun // Appl. Sci. – 2021. – 11 (8). – p. 3535.
3. Malik and Brem Brem Digital twins for collaborative robots: a case study in human-robot interaction / Malik and Brem, A.A. Malik, A. Brem // Robot. Comput. Integr. Manuf. – 2021. – 68 Article 102092
4. He and Bai, Digital twin-based sustainable intelligent manufacturing: a review / B. He, K.-J. Bai // Adv. Manuf. – 2021. – 9 (1). – pp. 1–21

#### ОХЛАЖДЕНИЕ И СМАЗКА ПРИ ОБРАБОТКИ ЖАРОПРОЧНЫХ СПЛАВОВ

*В.В. Абрамов, студент гр. 10А91,*

*Научный руководитель: Ласуков А.А.<sup>а</sup>, к.т.н., доц.*

*Юргинский технологический институт (филиал)*

*Национального исследовательского Томского политехнического университета,*

*652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26*

*E-mail: <sup>а</sup> lasukow@tpu.ru*

**Аннотация:** оптимальная и эффективная механическая обработка жаропрочных сплавов является одной из основных задач, которые сегодня ставятся перед технологией производства с учетом свойств материала, требуемой производительности и параметров процесса. Рассмотрены данные вопросы с точки зрения охлаждения и смазки при обработке.

**Ключевые слова:** жаропрочный сплав, способы охлаждения, обработка резанием.

**Annotation:** optimal and efficient machining of heat-resistant alloys is one of the main tasks that are put before the production technology itself today, taking into account the properties of the material, the required productivity and process parameters. These issues are considered from the point of view of cooling and lubrication during processing.

**Keywords:** heat-resistant alloy, cooling methods, cutting.

Благодаря своим уникальным свойствам: высокая прочность и твердость при высоких температурах, жаропрочные сплавы находят все большее применение в авиационной, нефтяной и газовой промышленности. Однако, механическая обработка таких материалов связана с некоторыми проблемами: особые свойства и высокая температура при обработке приводят к увеличению контактных нагрузок, повышенному расходу инструмента, ухудшению шероховатости поверхности. Тем более, что детали из сплавов на основе никеля могут работать вплоть до температур 1000÷1100°C [1].

В данной работе рассматриваются вопросы улучшения обрабатываемости за счет применения разных способов охлаждения и смазки зоны резания. Обычные способы охлаждения являются малоэффективными из-за высокой температуры резания.

Охлаждение под высоким давлением позволяет менять вид стружки, повышает стойкость инструмента. Наиболее эффективным, но дорогим способом подвода жидкости является ее подвод через канал резца, при этом обеспечивается лучший контроль за стружкодроблением. Высокое давление СОЖ снижает радиус завивания стружки и последняя распадается на кусочки, это улучшает ее отвод. Можно жидкость подавать между задней поверхностью инструмента и обрабатываемой заготовкой. Этот способ улучшает охлаждение задней поверхности, но мало влияет на стружкообразование.

Также можно жидкость подавать между стружкой и передней поверхностью инструмента, но это приводит к уменьшению площади контакта, что увеличивает нагрузку на инструмент. Наблюдается повышение энергопотребления из-за наличия насоса и дополнительных устройств.

При криогенном охлаждении применяют криогенные жидкости: жидкий азот, двуокись углерода [2]. Такой подход дает сочетание сухой обработки и эффективного охлаждения. Охлаждение азотом менее пригодно, т.к. требует дополнительной аппаратуры [3]. При этом углекислый сжиженный газ подается через инструмент. Азот должен храниться в изотермических резервуарах. При применении азота необходимо изолировать все линии снабжения и каналы инструмента. Однако при криогенном охлаждении основной причиной выхода инструмента из строя является его выкрашивание из-за резкого перепада температур. Как показывают источники, такое охлаждение при обработке жаропрочных сплавов позволяет достичь стойкости инструмента до 10мин[3].

Находит применение аэрозольная сухая смазка. Новая стратегия смазывания, в которой масло применяется в очень малых количествах 5мл/ч÷15мл/ч – это и есть аэрозольное сухое смазывание. Данное явление приводит к уменьшению трения между передней поверхностью инструмента и стружкой, между задней поверхностью инструмента и заготовкой, что и приводит к снижению тепловой нагрузки на инструмент, увеличивая его стойкость, повышается качество поверхности. Одновременно с этим может подаваться жидкий CO<sub>2</sub> через форсунки, осуществляя охлаждающий эффект [4].

На рисунке 1 показано влияние способа подачи жидкости на шероховатость обработанной поверхности.

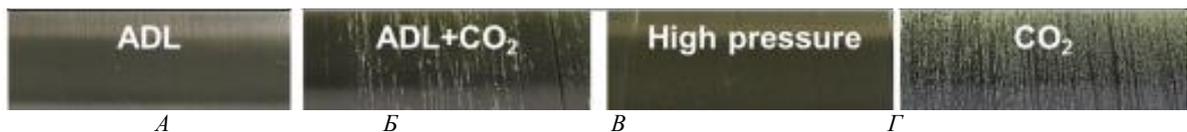


Рис. 1. Влияние способа подачи жидкости на шероховатость обработанной поверхности:  
А – аэрозольная сухая смазка; Б – аэрозольная сухая смазка + криогенная жидкость;  
В – высоконапорная струя; Г – криогенное охлаждение

Еще одним перспективным методом охлаждения зоны резания при обработке труднообрабатываемых материалов является подача СОЖ в распыленном состоянии [5]. Жидкие частицы попадают на нагретые поверхности заготовки и инструмента, испаряясь, превращаясь в пар, и отводят большое количество теплоты. Преимуществом данного метода является и то, что при небольшом расходе жидкости (200÷300 г/ч) достаточно хорошо используются ее смазочные и охлаждающие свойства, при этом повышается ресурс инструмента, не нужно устройств для сбора жидкости, ну и наверное немаловажный эффект – это то, что зона резания остается открытой. Однако получающийся туман может выходить на участок, где находится рабочий, что нежелательно. Поэтому этот способ преимущественно применяют на станках с ЧПУ. На рисунке 2 изображено устройство для распыливания жидкости.



Рис. 2. Устройство для распыливания жидкости

В заключение можно сказать, что любой из рассмотренных способов подачи жидкости имеет свои области применения, поэтому для конкретного случая (обрабатываемый материал, условия обработки) нужно выбирать свой способ подачи.

Список используемых источников:

1. Даниелян А.М. Обработка резанием жаропрочных сталей сплавов и тугоплавких металлов / А.М. Даниелян, П.И. Бобрик, Я.Л. Гуревич. – М: Машиностроение, 1965. – 308с.
2. Охлаждение азотом инструмента. – Электронный ресурс – URL : <http://engcrafts.com/item/1474-azotom> (дата обращения: 02.02.2023)
3. Krieg M.C. Trends in der industriellen Teilereinigung / M.C. Krieg, M. Bilz, J. Mankiewicz // In: Chemie Ingenieur Technik – 2009. – No. 11 – p. 1845–1851
4. Rother R. Aerosol-Trockenschmierung. proceedings workshop «Hybride Zerspanungsverfahren» / R. Rother // Fraunhofer IWU Chemnitz. – 2012
5. Способы подачи СОЖ. – Электронный ресурс – URL : <https://studfile.net/preview/8406697/page:2/> (дата обращения 04.02.2023)

### ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОБРАЗЦОВ, ПОСТРОЕННЫХ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ НАПЛАВКОЙ

*Е.В. Судариков<sup>а</sup>, студент гр. 10А22, А.М. Курбонов, студент гр.10А12,*

*Научный руководитель: Кузнецов М.А., к.т.н.*

*Юргинский технологический институт (филиал)*

*Национального исследовательского Томского политехнического университета*

*652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, д. 26*

*E-mail: <sup>а</sup> evs120@tpu.ru*

**Аннотация:** В данной статье приведены экспериментальные исследования износостойкости образцов, выращенных электродуговой послойной наплавкой плавящимся электродом в среде углекислого газа.

**Ключевые слова:** электродуговая наплавка, износостойкость, коэффициент трения, виброускорения.

**Abstract:** This article presents experimental studies of the wear resistance of samples grown by electric arc layer-by-layer surfacing with a consumable electrode in a carbon dioxide environment.

**Keywords:** electric arc cladding, wear resistance, coefficient of friction, vibration acceleration.

Введение. На сегодняшний день одной из наиболее перспективных технологий реализации процессов производства металлических изделий сложной конфигурации является аддитивное производство. В его основе лежит послойная наплавка металла в соответствии с трехмерной моделью, созданной посредством компьютерного проектирования [1]. В качестве исходного материала используют металлические порошки [2] или проволоку [3] различных составов. Источником тепла является электронный пучок [4], лазерный луч [5] или электрическая дуга [6].

В настоящее время существует широкое многообразие недорогих проволок сплошного сечения различного химического состава, которые возможно применять в качестве инструмента для послойного электродугового построения. В связи с этим одним из наиболее распространенных методов, которые можно применять в качестве аддитивного производства металлических изделий является послойная наплавка проволок сплошного сечения [7].

Строительство металлических образцов происходило по средствам автоматической электродуговой наплавки плавящимся электродом в среде углекислого газа на 3d-принтере. Инструментом для построения являлась сварочная проволока сплошного сечения ОК Autrodur 58 GM (Ø 1,2 мм) из низкоуглеродистой, низколегированной стали. Построение происходило на подложку из среднеуглеродистой, низколегированной стали 40Х. Размер подложки составил 100×100×10 мм. Были построены металлические образцы, состоящие из 10 последовательно наплавленных слоев: высота слоя 3-5 мм, ширина слоя 5-7 мм. В качестве метода для исследования износостойкости металлических образцов применяли метод «сухого трения скольжения». Исследование износостойкости происходило на трибометрической установке Tribotechnic. Параметры тестов износостойкости представлены в таблице 1.