

ОБРАБОТКА НИКЕЛЕВЫХ СПЛАВОВ

А.А. Ласуков, к.т.н., доцент

Юргинский технологический институт (филиал)

Национального исследовательского Томского политехнического университета

652055, Кемеровская область, г. Юрга, ул. Ленинградская 26,

тел (384-51)-77764, E-mail: lasukow@tpu.ru

Аннотация. Никелевые сплавы широко внедряются в производство, благодаря их специфическим свойствам. Однако, эти же свойства затрудняют их обработку. Стойкость инструмента снижается, приходится работать на низких скоростях резания, что снижает производительность обработки. В статье рассмотрена обработка различными инструментальными материалами. Показано, как меняются условия обработки в зависимости от инструмента. Рассмотрены виды износа при работе с разными инструментальными материалами.

Ключевые слова: никелевый сплав, режущий инструмент, износ инструмента.

Abstract. Nickel alloys are widely introduced into production due to their specific properties. However, these same properties make them difficult to process. Tool life is reduced, you have to work at low cutting speeds, which reduces machining productivity. The article considers the processing of various instrumental materials. It is shown how the processing conditions change depending on the tool. The types of wear when working with different tool materials are considered.

Keyword: nickel alloy, cutting tool, tool wear.

Никелевые сплавы играют чрезвычайно важную роль. Их широко применяют в авиационной, аэрокосмической, морской промышленности, они используются в газовых турбинах, ракетных двигателях, на подводных лодках и т.д. Это объясняется их особыми свойствами работать при высоких температурах, а также эти материалы имеют хорошие коррозионные свойства, высокую прочность, что вызывает проблемы при их обработке. Они известны как труднообрабатываемые материалы.

Еще некоторые особенности сплавов на основе никеля, которые ухудшают их обрабатываемость [1, 2]. Они сохраняют высокую прочность при высоких температурах, при резании быстро образуется наклеп поверхностного слоя, что является основным фактором, способствующему износу инструмента, имеют высокое химическое сродство ко многим инструментальным материалам. Режущие инструменты подвергаются абразивному износу из-за присутствия в сплавах твердого абразива в виде карбидов. При высоких температурах происходит химическая реакция между инструментом и обрабатываемым материалом из-за родства материалов (особенно при работе инструментом в исходном состоянии: без покрытия, без поверхностной обработки), что приводит к высокой скорости прилипания никелевых сплавов на режущий инструмент и приводит к его выкрашиванию (вплоть до появления трещин).

Инструменты из твердого сплава по-прежнему широко используют при обработке никелевых сплавов. Указанные свойства данных сплавов ограничивают их обработку скоростями резания 10÷30 м/мин, т.к. при возникающих температурах у обычного твердого сплава начинает выгорать кобальт (950-960С°) и инструмент теряет режущую способность [3]. Инструменты из твердого сплава по-прежнему широко используют при обработке никелевых сплавов. Для того, чтобы увеличить ресурс инструмента, применяют различного рода покрытия. Неплохие результаты дает покрытие TiN . В работе [4] рассматривали обработку никелевого сплава Inkonel 718 твердосплавным инструментом с однослойными и многослойными покрытиями с охлаждением. Здесь же показано, что покрытие TiN дает хорошие результаты, но инструмент с покрытием $TiAlN$ и $TiCN$ работал значительно лучше, чем инструмент с покрытием TiN . Отмечена отличная производительность инструмента с покрытием $TiAlN$ (рисунок 1).

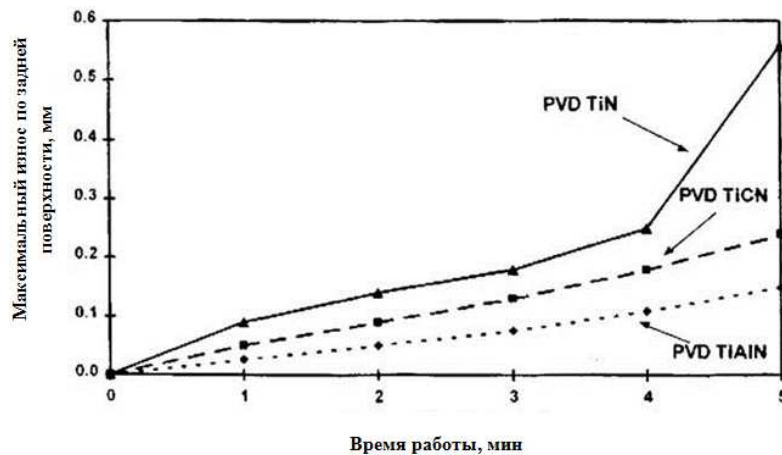


Рис. 1. Зависимость максимального износа по задней поверхности от времени работы при обработке Inkonel 718 ($V = 46$ м/мин, $t = 1,5$ мм, $S = 0,15$ мм/об)

Причем инструменты с покрытием $TiAlN$ демонстрируют меньший износ по задней поверхности, чем инструменты с покрытием $TiCN$ и инструменты с покрытием TiN . Поскольку материал инструмента был одинаковым, то наблюдаемые различия в сроке службы инструмента и поведении его при износе было приписано покрытиям. Покрытия повышают износостойкость и могут снизить силы резания и температуру на режущей кромке инструмента и тем самым косвенно влияют на деформацию и разрушение инструмента. Покрытие $TiAlN$ имеет значительно более высокую твердость, что повышает устойчивость к абразивному износу, кроме того оно обладает хорошей химической стабильностью при высоких температурах. Стабильность является результатом склонности покрытия $TiAlN$ к формированию внешнего защитного слоя Al_2O_3 и промежуточного слоя, содержащего титан, алюминий, кислород и азот во время операции механической обработки, что приводит к более высокой стойкости к окислению. К тому же у покрытия $TiAlN$ самая низкая теплопроводность среди рассмотренных, что должно привести к снижению температуры на вершине инструмента. Также применяются нанослойные многослойные покрытия (например, $TiN/AlTiN$) [6], которые дают лучший эффект. Как говорят авторы, вероятно, это связано с лучшим скольжением стружки и понижением температуры резания с этим покрытием. Высокая твердость нанослойного покрытия $TiN/AlTiN$ обеспечивает лучшую стойкость к абразивному износу, чем классические многослойные и однослойные покрытия. Устойчивость к высоким температурам включения $AlTiN$ обеспечивает лучшую устойчивость к адгезии, чем нанослойное покрытие CrN/TiN . Инструмент с нанослойным покрытием показал и самую высокую стойкость среди испытуемого инструмента при скорости резания 40 м/мин. Таким образом, подбирая покрытия, можно влиять на процесс обработки, достигая необходимого результата.

Для высокоскоростной обработки никелевых сплавов (скорость резания свыше 50 м/мин) применяется керамический инструмент. К преимуществам керамических инструментов относятся высокая термическая стойкость (что и позволяет использовать их при высоких скоростях резания), устойчивость к абразивному износу и коррозии, жаропрочность и низкое химическое сродство, что приводит к более длительному сроку службы по сравнению с твердосплавными инструментами. Основными недостатками керамических инструментов являются их хрупкость и низкая теплопроводность.

В работе [5] показывается, что керамические инструменты из чистого оксида ($Al_2O_3 + ZrO_2$) не дают должного эффекта при обработке сплавов на основе никеля, несмотря на их хорошую химическую стабильность, высокую жаропрочность и высокую износостойкость. Такое поведение оксидной керамики объясняют их плохой сопротивляемостью к перепаду температур, низкой устойчивостью к механическим воздействиям при повышенной температуре, низкой ударной вязкостью. В этом отношении лучше себя ведет смешанная керамика ($Al_2O_3 + TiC$), которая превосходит чистый оксид [5]. Как показывают авторы керамический инструмент $Al_2O_3 + TiC$ наиболее устойчив к никелевым сплавам. Это объясняется его большей износостойкостью при высоких температурах на больших скоростях резания. Применение смешанной керамики позволило достичь скорости резания 120–240 м/мин, что почти в десять раз больше, чем при работе инструментом из твердого сплава. Были предприняты попытки использования керамики с покрытиями [7]. Так на керамику SiC , арми-

рованного нитевидным кристаллом Al_2O_3 , нанесли покрытия CrN и $TiAlN$. Скорости резания составляли уже 300, 400 и 530 м/мин. Опять керамика с покрытием $TiAlN$ показала наилучшие результаты. Это можно объяснить свойствами $TiAlN$, которые были рассмотрены выше.

Специально разработаны для обработки никелевых сплавов керамические инструменты из оксида алюминия, армированные нитевидными кристаллами SiC [8]. При использовании этих инструментов при обработке никелевых сплавов достигались высокие скорости резания (200÷750 м/мин) и большие подачи (0,125÷0,375). При этом и механические испытания показали, что керамика из оксида алюминия, армированная нитевидными кристаллами SiC наиболее пригодна в качестве инструмента для обработки сплавов на основе никеля. Кубический нитрид бора хоть и показывает неплохие результаты, однако его высокая стоимость (примерно в десять раз больше твердосплавных инструментов) ограничивает его применение.

Список используемых источников:

1. Подураев В.Н. Резание труднообрабатываемых материалов. М.: Высшая школа, 1974. – 587 с.
2. E.O. Ezugwu, Z.M. Wang, A.R. Machado, The machinability of nickel-based alloys: a review, *Journal of Materials Processing Technology* 86 (1999) 1–16.
3. Артамонов Е.В. Прочность и работоспособность сменных твердосплавных пластин сборных режущих инструментов. Тюмень: Вектор Бук, 2003, - 190с.
4. P.C. Jindal, A.T. Santhanam, U. Schleinkofer, A.F. Shuster, Performance of PVD TiN, TiCN and TiAlN coated cemented carbide tools in turning, *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials* 17 (1999) 163–170.
5. E.O. Ezugwu, S.H. Tang, Surface abuse when machining cast iron and nickel base superalloy (Inconel 718) with ceramic tools, *Proc. 9th Irish Manuf. Conf.*, Dublin, Sept. 1992, pp. 436–450.
6. A. Jawaid, S. Koksai, S. Sharif, Cutting performance and wear characteristics of PVD coated and uncoated carbide tools in face milling Inconel 718 aerospace alloy, *Journal of Materials Processing Technology* 116 (2001) 2–9.
7. A. Gatto, L. Iuliano, Advanced coated ceramic tools for machining superalloys, *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 37 (5) (1997) 591–605.
8. Enzhao Cui, Jun Zhao, Xuchao Wang, Shiping Song Cutting performance, failure mechanisms and tribological properties of GNP's reinforced $Al_2O_3/Ti(C,N)$ ceramic tool in high speed turning of Inconel 718, *Ceramics International* 46 (2020) 18859–18866.

БАЗОВЫЙ ПРИНЦИП ВОЗВЕДЕНИЯ ОБДЕЛКИ, ПРИ РАБОТЕ ТПМК НА БАЗЕ ГЕОХОДА

А.А. Казанцев^{1,2}, к.т.н., доцент, Яровой С.Е.¹, студент

¹ Филиал ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» в г. Губкине Белгородской области, Россия, г. Губкин

² Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Россия, г. Старый Оскол

Аннотация. Рассмотрен базовый принцип работы современных тоннелепроходческих комплексов, приведены ключевые отличия проведения выработки тоннеля по геоходной технологии, предложен базовый принцип возведения тоннельной обделки за геоходом с учетом ключевых отличий.

Ключевые слова. Тоннелепроходческий комплекс. ТПМК. Тоннельная обделка. Монтаж обделки. Геоход. Геоходная технология.

Annotation. Basic principle of operation in modern TBM complexes have been presented, key issues of advancing TBM with geokhod type shield have been undertaken and basic principle of lining installation have been proposed.

Keywords. Tunnel boring machine. TBM. Tunnel lining. Instalation of tunnel lining. Geokhod. Geokhod's technology.

Базовый принцип работы современных тоннелепроходческих комплексов заключается в продвижении стальной цилиндрической оболочки (щита) вдоль оси прокладываемого тоннеля и одновременном удалении горной массы. Стальная оболочка удерживает давление горного массива (горное давление) и выступает в роли временной крепи до момента установки постоянной крепи (обделки). Щит проталки-