

Заключение

В статье перечислены этапы разработки системы управления дистиляционной колонной на основе контроллера МРС и перечислены преимущества контроллера МРС. Контроллер МРС позволяет распределять более или менее важные контролируемые показатели, устанавливая приоритет использования ресурсов. Снижение энергопотребления может повысить энергоэффективность системы управления дистиляционной колонной при одновременном достижении требуемого качества готовой продукции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ушева Н.В., Бешагина Е.В., Мойзес О.Е., Кузьменко Е.А., Гавриков А.А. Технологические основы и моделирование процессов промышленной подготовки нефти и газа: учебное пособие / Томский политехнический университет. – 2-е изд. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 128 с.
2. Дытнерский Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии: учебник для ВУЗов – Москва: Химия, 1995. – 368 с.
3. Бекиров Т.М, Ланчаков Г.А. Технология обработки газа и конденсата. – Москва: Недра, 1999. – 596 с.

Чжан Хао (Китай), Ли Вэйхан (Китай),
Жуй Минхань (Китай), Ди Чэнь (Китай),
Козлов Виктор Николаевич (Россия)

Томский политехнический университет, г. Томск

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

ОБРАБОТКА АЛЮМИНИЯ КОНЦЕВЫМИ ФРЕЗАМИ С МНОГОГРАННЫМИ ПЛАСТИНАМИ

Концевые фрезы широко используются в промышленности для обработки уступов и пазов. Для увеличения производительности всё чаще применяется твёрдый сплав. Твёрдосплавные режущие пластины могут припаиваться к стальному корпусу фрезы, а сменные многогранные пластины (СМП) к нему крепятся механически (рис. 1), что увеличивает её ремонтпригодность. Такими фрезами можно об-

рабатывать различные материалы: от цветных металлов до труднообрабатываемых сталей и сплавов. В последнее время в машиностроении довольно часто используются алюминиевые сплавы.



Рис. 1. Концевые фрезы с механическим креплением СМП

Алюминий и его сплавы сравнительно легко поддаются лезвийной обработке. Но химический состав, а точнее, вид алюминиевого сплава, существенно влияет на характеристику обрабатываемости материала. Обрабатываемость определяется несколькими параметрами (критериями): качеством обработанной поверхности, силами резания, стойкостью режущего инструмента, формой стружки и т.п. [1, 2].

Качество обработки зависит от вида обработки, режима резания, геометрии режущей части и материала режущего инструмента.

При обработке алюминиевых сплавов крайне необходимо иметь у инструмента острую режущую кромку и большой передний угол для предотвращения прилипания стружки к передней поверхности и ухудшение качества обработанной поверхности.

Для обработки алюминия и его сплавов была разработана универсальная сменная многогранная пластина (рис. 2). Она имеет острую режущую кромку по всему периметру и передний угол $\gamma = 15^\circ$ за счёт стружкозавивающей канавки, главный задний угол $\alpha = 8^\circ$ и вспомогательный задний угол $\alpha = 16^\circ$.



Рис. 2. Сменная многогранная пластина ZDCT 150308 до полировки

На качество обработанной поверхности влияет большое количество факторов: острота режущих кромок, подача на зуб и скорость резания, вид и марка смазочно-охлаждающего технологического средства (СОТС), виброустойчивость технологической системы и т.д. [1, 2].

При исследовании обрабатываемости алюминия принято считать, что при уменьшении скорости резания и увеличении подачи шероховатость обработанной поверхности увеличивается. Влияние скорости резания вызвано прилипанием стружки к передней поверхности инструмента с последующим её срывом – происходит появление нароста, что характерно для малой скорости резания.

Для исследования влияния режима резания на качество обработанной поверхности было рассмотрено фрезерование плоской заготовки фрезой, оснащённой многогранными режущими пластинами из твёрдого сплава с механическим креплением на корпусе сборной фрезы. При проведении экспериментов изменялись скорость резания v (м/мин), подача на зуб s_z (мм/зуб) и глубина резания t (мм). В наибольшей степени на шероховатость обработанной поверхности влияет подача на зуб, поэтому для оценки влияния скорости резания подача на зуб и глубина резания оставались неизменными. Поскольку на фрезерном станке устанавливается минутная подача s_m (мм/мин), которая прямо пропорциональна частоте вращения шпинделя n (об/мин) и числу зубьев фрезы z (шт), т.е. $s_m = s_z \cdot z \cdot n$, то при увеличении скорости резания v [м/мин], а значит и увеличении частоты вращения шпинделя $n = 1000 \cdot v / \pi \cdot d_{фр}$ [об/мин], необходимо увеличивать минутную подачу s_m , чтобы величина подачи на зуб s_z оставалась неизменной.

После спекания твёрдосплавных режущих пластин их необходимо шлифовать по опорным поверхностям, передней и задней поверхностям, по стружкозавивающей канавке. После этого режущие пластины полируются. Пример профилограммы передней поверхности режущей пластины, полученной при подготовке СМП для наших исследований, представлен на рис. 3.

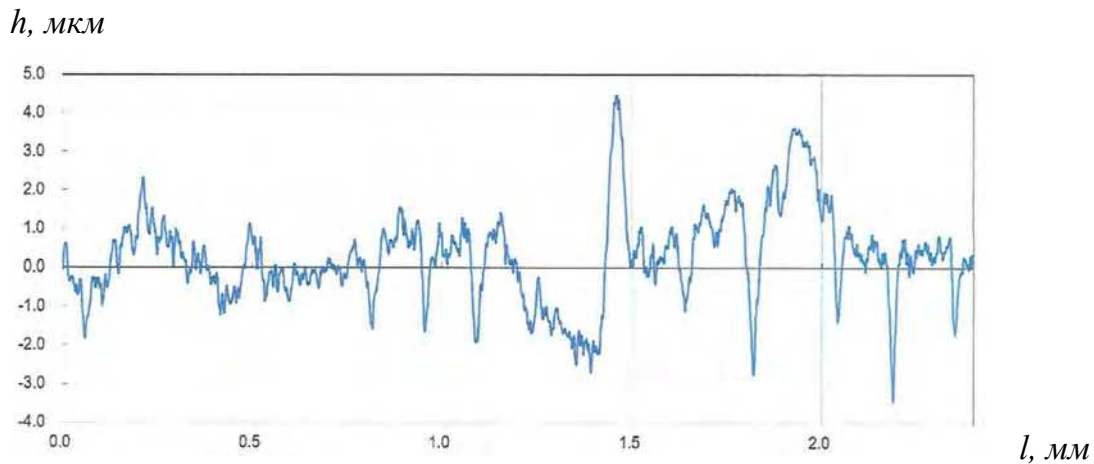


Рис. 3. Профилограмма передней поверхности режущих пластин. По оси абсцисс – пройденный путь вдоль измеряемой поверхности l [мм]; по оси ординат – высота неровностей h [мкм]

После фрезерования заготовки измеряется шероховатость обработанной поверхности. При обработке заготовки из алюминиевого сплава АК8 фрезой диаметром 100 мм со сменными многогранными пластинами ZDCT 150308 с постоянной подачей $s_z = 0,25$ мм/зуб и глубиной резания $t = 5$ мм было выявлено уменьшение шероховатости при увеличении скорости резания: при $v = 200$ м/мин $Ra = 0,8$ мкм; при $v = 450$ м/мин $Ra = 0,4$ мкм.

Однако дальнейшее увеличение скорости резания приводит к ухудшению качества обработки (рис. 4). На графике $Ra = f(v)$ можно выделить 4 диапазона.



Рис. 4. Зависимость шероховатости обработанной поверхности Ra [мкм] от скорости резания v [м/мин] [1]

В **первом** диапазоне, т.е. при очень малой скорости резания, шероховатость обработанной поверхности неудовлетворительная из-за роста на передней поверхности инструмента, но при увеличении

скорости резания шероховатость быстро уменьшается. При дальнейшем увеличении скорости резания, т.е. во **втором** диапазоне, шероховатость обработанной поверхности линейно уменьшается.

В **третьем** диапазоне возможно увеличение шероховатости обрабатываемой поверхности из-за появления вибрации. Увеличение скорости резания требует увеличения частоты вращения фрезы и, как следствие, увеличивается вероятность совпадения частоты вынужденных колебаний с собственной частотой технологической системы, т.е. появления резонанса [1, 2].

В **четвёртом** диапазоне из-за увеличения температуры стружки и режущего инструмента увеличивается химическая активность чистого, не защищённого окислами, прирезцового слоя стружки. При скорости резания более 500 м/мин увеличивается вероятность приваривания алюминиевой стружки к передней поверхности инструмента, что вызывает резкое увеличение шероховатости обработанной поверхности и делает невозможным продолжение обработки с этой вершиной режущей пластины.

При обработке стали приваривание стружки к передней поверхности не наблюдается, но увеличивается вероятность выкрашивания режущей кромки и даже поломки СМП. При черновом фрезеровании стали 40Х концевой фрезой диаметром $d = 30$ мм с механическим креплением СМП предельная глубине фрезерования $t_{max} = 12$ мм, а подача на зуб $s_z = 0,24$ мм/зуб. При обработке уступа толщина среза в точке i рассчитывается по формуле

$$a_i = s_z \times \sin \psi_i, [\text{мм}] \quad (1)$$

где ψ_i – текущее значение угла контакта зуба фрезы с заготовкой от начала врезания зуба до текущего положения точки i [°].

Угол ψ_i рассчитывается по формуле:

$$\cos \psi_i = 1 - 2 \cdot t_i / d, [^\circ] \quad (2)$$

где t_i – текущее значение глубины фрезерования.

Наибольшее значение угла контакта рассчитывается по формуле (2). При $t_i = t_{max} = 12$ мм и $d = 30$ мм рассчитываем $\cos \psi_{max} = 1 - 2 \cdot 12 / 30 = 0,2$, отсюда $\psi_{max} = 78^\circ$.

Наибольшая толщина среза для наших условий рассчитывается по формуле (1): $a_{max} = s_z \times \sin \psi_{max} = 0,24 \times \sin 78 = 0,234$ мм.

Для расчёта НДС режущей пластины берём распределение контактных напряжений, полученных в экспериментах при токарной обработке резцом с $\phi = 45^\circ$ []. Рассчитываем продольную подачу $s = a_{max}$

$1 / \sin 45^\circ = 0,234 / \sin 45^\circ = 0,33$ мм/об. Подача 0,33 мм/об на станке отсутствует, поэтому устанавливаем ближайшее значение: $s = 0,34$ мм/об.

Распределение контактных напряжений на передней и задней поверхностях ранее нами было исследовано [3]. Приложение контактных напряжений при их реальном распределении обеспечило более точный расчёт НДС режущей пластины методом конечных элементов (МКЭ) при её наибольшем нагружении во время фрезерования паз. На рис. 5 представлены некоторые результаты расчёта МКЭ с использованием программы ANSYS12.

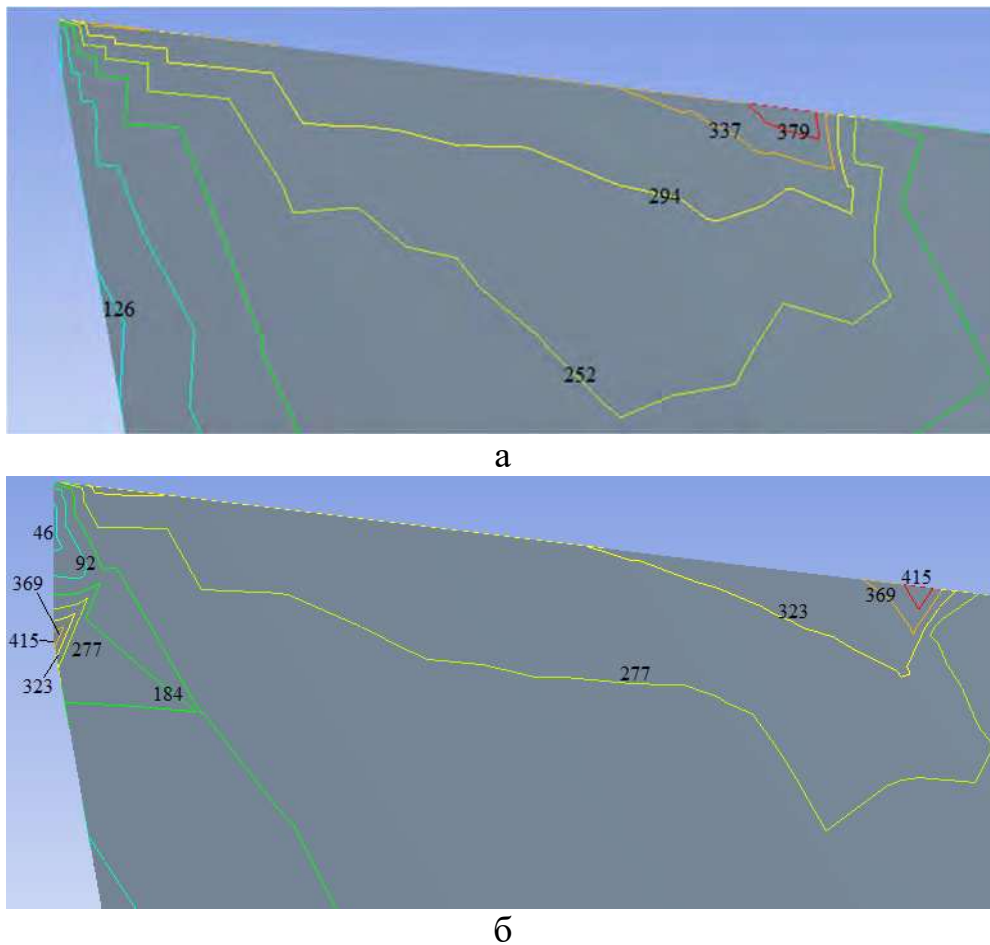


Рис. 5. Распределение эквивалентного напряжения $\sigma_{\text{э}}$ [МПа] в режущем клине СМП. Сталь 40Х - Т15К6; $s = 0,34$ мм/об; $v = 120$ м/мин; округление режущей кромки $\rho = 5$ мкм. Длина фаски износа задней поверхности: а – $h_3 = 0,13$ мм; б – $h_3 = 0,54$ мм

При небольшой длине фаски износа задней поверхности $h_3 = 0,13$ мм на передней поверхности имеется зона с наибольшей величиной эквивалентного напряжения $\sigma_{\text{э, наиб}} = 379$ МПа, на задней по-

верхности эти напряжения небольшие ($\sigma_{\text{э наиб}} = 126$ МПа). При увеличении длины фаски износа задней поверхности до $h_3 = 0,54$ мм на передней поверхности наибольшая величина эквивалентного напряжения увеличивается до $\sigma_{\text{э наиб}} = 415$ МПа, а на задней поверхности эти напряжения увеличиваются более существенно: до $\sigma_{\text{э наиб}} = 415$ МПа. Это увеличение негативно сказывается на запасе прочности СМП, особенно с учётом возможного развития трещины, соединяющей эти две опасные зоны.

Заключение

1. При обработке алюминия и алюминиевых сплавов режущая пластина должна иметь большие передние углы для получения удовлетворительного качества поверхности и благоприятных условий резания.

2. Эксперименты показали, что при скорости резания более 200 м/мин наблюдается существенное уменьшение шероховатости обработанной поверхности.

3. При скорости резания более 500 м/мин увеличивается вероятность приваривания алюминиевой стружки к передней поверхности инструмента и делает невозможным продолжение обработки.

4. Чем выше твердость и прочность сплава алюминия, тем более высокое качество поверхности можно получить.

5. При обработке стали увеличение длины фаски износа задней поверхности до $h_3 = 0,54$ мм вызывает появление опасных зон на передней и задней поверхностях с повышенной величиной эквивалентного напряжения $\sigma_{\text{э наиб}} = 415$ МПа с учётом возможного развития трещины, соединяющей эти две опасные зоны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нильсен Х. Алюминиевые сплавы (свойства, обработка, применение) / Х. Нильсен, В. Хуфнагель, Г. Ганулис ; пер. с нем. под ред. М. Е. Дрица, Л.Х. Райтбарга - 13-е изд., переработ. и доп. – Москва Металлургия, 1979.– 678 с.
2. Ковалевский А.В. Выбор рациональных режимов для фрезерования для обработки алюминиевых сплавов/ А. В. Ковалевский // Омский научный вестник – 2008. - №4 – С 64-66.
3. 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].

4. Artamonov E. V., Chernyshov M. O., Pomigalova T. E. Improving the Performance of Composite Bits with Replaceable Inserts // Russian Engineering Research, 2017, Vol. 37, No. 4, pp. 348-350.

Чжан Цинжун (Китай), Шэ Лу (Китай), Го Таоюй (Китай),
Козлов Виктор Николаевич (Россия)

Томский политехнический университет, г. Томск

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

РАСЧЁТ НАПРЯЖЕНИЙ В РЕЖУЩЕМ ИНСТРУМЕНТЕ В НАЧАЛЕ РЕЗАНИЯ

Многие режущие инструменты начинают резание с врезанием в заготовку сразу по всей длине режущей кромки, например при врезании в коническую поверхность, оставшуюся от предыдущей обработки (рис. 1 а), или при фрезеровании торцовыми фрезами.

Это приводит к резкому увеличению нагрузки на него, что усугубляется наличием фаски износа по задней поверхности длиной h_3 (рис. 1 б).

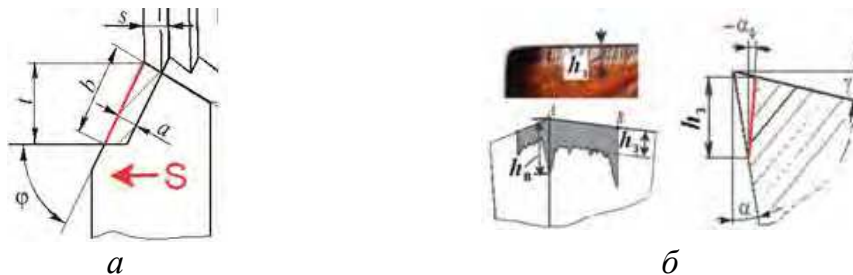


Рис. 1. Контакт главной режущей кромки с заготовкой по всей её длине в начале резания (а) и фаска износа по задней поверхности длиной h_3 и с задним углом на ней $\alpha_\phi = 0 \dots -3^\circ$ (б)

Поэтому инструмент часто ломается или выкрашивается на режущей кромке ещё до начала образования стружки. Для расчёта инструмента на прочность в этот период необходимо знать распределение контактных напряжений на его рабочих поверхностях [1-4].

Для изучения динамики изменения сил резания в период врезания использовался токарный резец с главным углом в плане $\phi=45^\circ$,