

автоколебаний в несколько раз меньше, чем при обработке сплава ОТ4. Это объясняется тем, что скорость резания при обработке сплава ЭП202 в 5—8 раз меньше по сравнению с обработкой титанового сплава ОТ4.

В результате исследования найдены зависимости амплитуды вибраций от геометрии фрез. Так, при обработке ОТ4 увеличение переднего угла от -10° до 15° вызывает уменьшение амплитуды в среднем на 40%, а увеличение заднего угла от 2° до 15° приводит к незначительному возрастанию вибраций. При работе острыми фрезами заточка вспомогательного угла в плане $\varphi=30'$ вызывает снижение вибраций на 10%. Дальнейшее увеличение этого угла не оказывает заметного влияния на вибрации. Создание заднего бокового угла $\alpha_1=1^\circ$ снижает амплитуду вибраций примерно на 25% в горизонтальной плоскости и на 10% в вертикальной. Дальнейшее увеличение этого угла не вызывает изменения вибраций.

Влияние скорости резания на вибраций исследовалось в диапазоне $v=40\text{—}160$ м/мин при фрезеровании ОТ4 (фрезы из ВК8) и $v=4,5\text{—}17$ м/мин при фрезеровании ЭП202 (фрезы из Р18Ф2К8М). Полученные зависимости имеют ярко выраженный экстремальный характер. Амплитуда вибраций значительно возрастает при критических частотах, когда частота возмущающей силы от врезания каждого зуба фрезы становится кратной частоте вибраций. Это объясняется наступлением резонанса. В еще большей мере при этом возрастают биения вибраций. Интересно отметить, что оптимальной скорости резания при фрезеровании ОТ4, найденной при стойкостных исследованиях и равной 82 м/мин, соответствуют минимальные амплитуды вибраций и колебаний сил резания.

Одновременная запись вибраций фрезерной оправки в вертикальном и горизонтальном направлениях позволила установить, что амплитуда вибраций в горизонтальном направлении при фрезеровании жаропрочного сплава ЭП202 в 2—3 раза больше, чем в вертикальном направлении. При обработке ОТ4 обе составляющие примерно одинаковы.

Влияние глубины резания на интенсивность вибраций при обработке ОТ4 и ЭП202 проявляется различным образом. Увеличение глубины резания при фрезеровании титанового сплава вызывало почти пропорциональное возрастание амплитуд вибраций. Наоборот, при обработке жаропрочного сплава ЭП202 увеличение глубины резания с $t=1$ мм до $t=4$ мм привело к снижению амплитуд вибраций приблизительно в 2 раза. Последнее объясняется увеличением числа одновременно работающих зубьев и связанным с ним уменьшением вынужденных колебаний, которые при обработке сплава ЭП202 имеют преобладающее значение.

В. Н. Подураев

ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИБРАЦИЙ РАЗЛИЧНЫХ ЧАСТОТ

Процесс резания с вибрациями характеризуется тем, что на обычно принятую для данной операции кинематическую схему накладывается дополнительное вибрационное движение инструмента относительно обрабатываемой заготовки. Исследование кинематики механической обработки с наложением вибраций по основным координатным осям x , y , z позволило показать, что технологические показатели процесса — прочность и стойкость инструмента, качество поверхности и точность

обработки — зависят прежде всего от направления вибраций, а также от частоты и амплитуды. Наиболее нежелательны с этой точки зрения радиальные вибрации значительных амплитуд. Напротив, осевые и тангенциальные вибрации, при оптимальных значениях своих параметров, не изменяют этих показателей по сравнению с обычным резанием, а в ряде случаев существенно улучшают их.

Рассмотрение кинематики процессов резания с осевыми вибрациями показывает, что основной их особенностью является колебание в широких пределах сечения срезаемого слоя и фактических углов резания. В этом случае широко распространенные виды механической обработки — точение, сверление, протягивание и др., характеризующиеся непрерывным процессом резания, за счет вибраций превращаются в прерывистые, в результате чего достигается надежное дробление стружки. При этом изменение кинематики и углов резания может привести к существенному изменению физических условий процесса.

Нарушение устойчивости равномерного движения резания при наложении вибраций сопровождается периодическим выходом режущего клина инструмента из обрабатываемого металла. Во время выхода рабочие поверхности взаимодействуют с окружающей средой, при этом они полностью омываются — смазочно-охлаждающей жидкостью, что благоприятствует уменьшению температуры и повышению стойкости инструмента.

Вибрации в процессе резания могут изменять физическую картину превращения отдельных элементов срезаемого слоя в стружку, то есть воздействовать на процесс стружкообразования. При резании, в каждый данный момент времени, пластической деформации подвергается малый объем металла, тем меньший, чем меньше толщина среза.

Так, при резании ст. 35 со скоростью резания $120 \frac{\text{м}}{\text{мин}}$ толщина элемента сливной стружки равна приблизительно $\Delta x = 0,02 \text{ мм}$. При наличии вибраций изменение режимов резания происходит в пределах четверти волны колебаний, развернутой по пути резания.

Соотношение четверти волны колебаний $\frac{\lambda}{4}$ и толщины срезаемого элемента, развернутых на траектории движения резания, в б. э. = $\frac{\Delta x}{\cos \beta}$

для низкочастотных колебаний крайне велико. В этом случае переменность фактических углов и скоростей резания изменяет условия каждого последующего сдвига, однако на условия протекания каждого из них влияния практически не оказывает. Напротив, при резании с высокочастотными вибрациями переменность скоростей и углов резания не имеет существенного значения. При обработке с ультразвуковыми колебаниями. При этом с ростом скорости резания число сдвигов z , приходящихся на каждый миллиметр образующейся стружки, увеличивается, а путь инструмента — в б. э., на котором образуется один элемент стружки уменьшается. Между тем, значение $\frac{\lambda}{4}$ возрастает с ростом скорости резания,

так как $\frac{\lambda}{4} = 4,17 \frac{v}{f} \text{ мм}$, где v — скорость резания, а f — частота колебаний. Следовательно, с ростом частоты вибраций и уменьшением скорости резания интенсивность воздействия вибрационного движения на процесс сдвига при стружкообразовании возрастает.

Степень влияния вибрационного движения на процесс стружкообразования может сводиться как к количественному, так и качественному его изменению.

Количественное изменение условий стружкообразования характеризуется только колебанием значений скорости резания, фактических углов резания и сечения срезаемого слоя вследствие дополнительного вибрационного движения инструмента. Оно определяет различные условия образования стружки по мере движения резания, не изменяя качественной картины этого процесса. Воздействие этого фактора имеет место при любых режимах вибраций.

Качественное изменение условий стружкообразования, вследствие наложения дополнительного вибрационного движения, может быть двух видов:

а) Образование отдельного элемента стружки происходит с переменной скоростью и углами резания. Воздействие этого фактора имеет место, когда четверть частоты возникших вибраций соизмерима с частотой образования элементов стружки при обычном резании. Для типовых режимов обработки эти факторы становятся существенными, начиная с частоты вибраций 3000—5000 гц.

б) Образование отдельных элементов стружки характеризуется качественным изменением процесса пластического деформирования и разрушения. Как показывают теоретические и экспериментальные исследования, это имеет место при частотах вибраций, близких к ультразвуковым.

Учитывая изложенное, для исследования процесса резания с вибрациями и их практического применения целесообразно принять классификацию вибраций по частоте: на низкочастотные (до 200 гц), вызывающие только количественное изменение условий стружкообразования и обычно применяемые для дробления стружки, высокочастотные колебания (200 гц — 15 кгц) и вибрации ультразвуковой частоты (20 кгц и выше). Вибрации двух последних видов оказывают качественное влияние на механизм стружкообразования и используются для улучшения обрабатываемости материалов. Их разделение обусловлено изменением видов вибраторов, применяемых для получения вибраций с частотой 200 гц — 15 кгц и с частотой 25 кгц и выше. Такое разделение вибраций по частоте на три группы удобно и для анализа вредных вибраций.

Принятая для исследования процессов резания с вибрациями классификация колебаний по частоте несколько отличается от классификации вибраций на инфразвуковые, звуковые (20 гц — 20 кгц) и ультразвуковые, однако она отвечает физическим особенностям протекания процесса резания и принятым для этой цели типам вибраторов.

Ф. П. Урывский, Б. С. Коротин, В. А. Барвинок, Н. И. Епишев

ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ШЛИФОВАНИИ И ЗАТОЧКЕ ИНСТРУМЕНТОВ ИЗ БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ Р12Ф5М

Настоящее исследование проводилось с целью изыскания путей повышения стойкости инструментов, изготовленных из быстрорежущей стали Р12Ф5М. Качество обработанной поверхности инструмента оценивалось по шероховатости поверхности, остаточным напряжениям, наличию прожогов, микротрещин и процентному содержанию вторичного аустенита. Перечисленные параметры исследовались в зависимости от характеристик шлифовальных кругов и режимов шлифования.

При исследовании использовались абразивные круги ЭБ25СМ1К, ЭБ16С1К, ЭБ32СМ1К, Э9А16СМ1К, Э9А25СМ2К и алмазные —