

на частоте 200–210 Гц. В то же время от глубины резания t наблюдается обратная зависимость.

При частоте вращения шпинделя $n = 3150$ об/мин увеличение значения v приводит к уменьшению составляющей спектра на частоте 190–200 Гц, а увеличение подачи s – к уменьшению составляющих спектра на частотах 50–60 Гц и 205–215 Гц. Аналогичная зависимость наблюдается и от глубины резания.

Спектр колебания сил резания повторяет некоторые зависимости спектров колебаний формообразующих узлов станка, но на него уже значительно влияет динамическое состояние системы СПИД.

УДК 621.9.019:620.191

С.С.Довнар (БПИ)

ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЕ ПРИ ОБРАБОТКЕ МЕТАЛЛОВ РЕЗАНИЕМ

Трещинообразование в металлах, подвергаемых обработке резанием, изучено недостаточно. В большинстве работ резание описывается как своеобразный вид объемной пластической деформации. Однако при таком подходе не удается объяснить, каким образом у режущей кромки металл разделяется на стружку и деталь. Действительно, если перед режущей кромкой выделить тонкий слой металла, перпендикулярный направлению резания (рис. 1), то при внедрении в него резца толщина слоя на границе припуск – тело детали должна уменьшиться до нуля, что означает

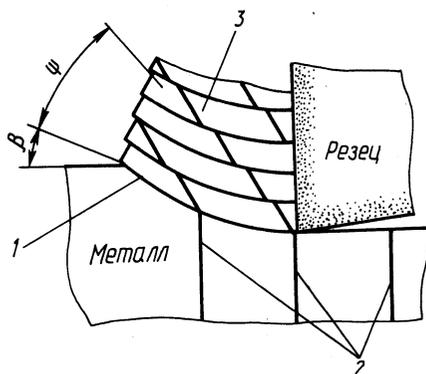


Рис. 1. Модель разделения металла фронтами сдвига: 1 – фронт сдвига; 2 – условно выделенный слой металла; 3 – пластинка стружки; β – условный угол сдвига; Ψ – угол текстуры.

бесконечно большую степень деформации. Однако известно, что реальные металлы не допускают неограниченной деформации даже в условиях горячей пластической обработки. Поэтому необходимо выяснить, каким образом при конечных деформациях и напряжениях обеспечивается разделение металла режущей кромкой.

Исследованиями на электронном микроскопе обнаружено, что при резании наряду с объемной деформацией периодически происходят локализованные пластические сдвиги. Они наблюдаются в очень узких полосах, называемых фронтами сдвига. Фронт сдвига, возникающий между вершиной резца и свободной поверхностью детали, "рассекает" надвое условно выделенный перед резцом тонкий слой металла (рис. 1) и смещает его верхнюю часть, расположенную в зоне припуска, относительно нижней части до их полного геометрического разъединения. Затем это скольжение прекращается и появляется новый фронт сдвига, который разделяет следующий слой металла, и т. д. Вследствие этого резание представляет собой периодический процесс, во время которого стружка образуется из множества пластин микронной толщины.

Фронт сдвига зарождается возле режущей кромки, когда касательные напряжения в этой зоне достигают критического значения. Для однофазных пластичных металлов фронт сдвига представляет собой обычно сквозную полосу скольжения, внутри которой происходит интенсивный разогрев материала. Поэтому предел текучести в полосе оказывается ниже, чем в окружающем ее металле. Вследствие этого локализованное скольжение идет стабильно и фронт сдвига смещает материал на микрометры при собственной толщине порядка нескольких сот ангстрем. Именно это свойство и позволяет фронту сдвига выполнять функцию разделения металла.

По обе стороны фронта сдвига происходят объемные пластические деформации. Они влияют на формирование фронтов сдвига, но не изменяют роли последних в процессе резания.

Если в металле имеются непластичные образования, например карбиды, то вдоль фронта сдвига могут возникнуть трещины. Фрактографические исследования стальных стружек, полученных в широком диапазоне скоростей резания, показали, что в стружке всегда имеется большое количество микротрещин, причем с увеличением количества карбидов число их растет. Эти микротрещины появляются в основном из-за того, что частицы цементита блокируют образование сквозной полосы скольжения. В этом случае фронт сдвига формируется в виде цепочки из микротрещин и соединяющих их коротких полос скольжения. В сталях полосы скольжения располагаются в пластичной фазе (феррите), а микротрещины проходят сквозь частицы хрупкого цементита и служат стоками для дислокаций, выходящих из коротких полос скольжения. Отметим, что аналогичные "цепочки" наблюдаются также при растяжении стальных образцов со структурой пластинчатого перлита.

Приведенное описание фронта сдвига является общим. Частны-

ми случаями будут сквозная полоса скольжения или магистральная трещина, возникшая за счет слияния микротрещин сдвига под действием касательных напряжений.

Помимо фронтов сдвига около режущей кромки могут возникать также и трещины отрыва. Этот вид разрушения обусловлен растягивающими напряжениями, развивающимися при пластическом деформировании металла около лезвия резца. Микро- и макротрещины отрыва повреждают вновь образуемую поверхность. Они обнаруживаются на деталях из различных материалов при обработке в широком диапазоне скоростей резания.

Трещины отрыва так же, как и фронты сдвига, могут разделять материал около режущей кромки. Возникая, трещина отрыва раскрывается силами резания, что обуславливает отвод верхней части разделяемого слоя в стружку.

Таким образом, как фронт сдвига, так и трещина отрыва разделяют металл около режущей кромки. Эти два явления влияют друг на друга. Так, легкое возникновение фронта сдвига ограничивает растягивающие деформации в разделяемом металле и предупреждает его разрыв. И наоборот, при задержке в формировании фронта сдвига растягивающие напряжения нарастают, что повышает вероятность зарождения и развития у режущей кромки трещин отрыва.

Эту закономерность можно упрощенно пояснить с помощью известного уравнения:

$$|\sigma_1 - \sigma_3| = 2\tau_{\max}, \quad (1)$$

где σ_1, σ_3 - главные нормальные напряжения; τ_{\max} - максимальное касательное напряжение.

Для элементарного объема, расположенного в прилезвийной области, касательное напряжение τ_{\max} в ходе деформации не может превысить величины τ_{ϕ} , соответствующей образованию фронта сдвига. Тогда если фронт сдвига образуется легко, т. е. τ_{ϕ} мало, то и растягивающее напряжение σ_1 , вызывающее трещины отрыва, будет невелико. Если же τ_{ϕ} возрастет, то вместе с ним увеличится σ_1 , что повысит вероятность разрушения. Следовательно, облегчение зарождения и развития фронтов сдвига является средством устранения трещин отрыва в металле. Если же величину τ_{ϕ} по каким-либо причинам понизить нельзя, то, согласно выражению (1), уменьшить σ_1 можно наложением на зону резания высокого гидростатического давления.

Во время обработки резанием с малой скоростью ($v \cong 0,1$ м/с) крупные трещины отрыва возникали у любых углеродистых сталей со структурой зернистого перлита, но отсутствовали у тех же материалов со структурой пластинчатого перлита. Это можно объяснить тем, что в последнем случае в пластинках цементита легко

возникали сквозные микротрещины, что облегчало образование фронтов сдвига. На скоростях резания $v \gg 1$ м/с поверхностные трещины не возникали при любой исходной структуре. По-видимому, это обусловлено объемным разогревом металла, повышающим его хрупкую прочность и облегчающим образование фронтов сдвига.

Взаимообусловленность фронтов сдвига и трещин отрыва имеет еще один важный аспект. Как было отмечено выше, растягивающие напряжения концентрируются возле режущей кромки и, естественно, оказывают воздействие на прилезвийную часть фронта сдвига. По своему состоянию металл около режущей кромки примерно однороден везде, кроме фронта сдвига, в котором имеется большое количество микротрещин. Следовательно, если трещина отрыва образуется, то наиболее вероятно, что это происходит именно во фронте сдвига. Около режущей кромки фронт сдвига может выходить за пределы припуска в тело детали. В этом случае возникшая трещина повредит вновь образуемую поверхность (рис. 2).

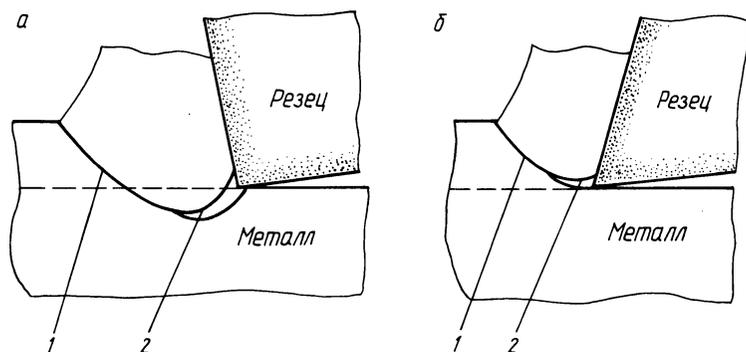


Рис. 2. Взаимообусловленность направлений фронта сдвига (1) и трещины отрыва (2): а – фронт сдвига пересекает внутреннюю границу припуска; б – фронт сдвига отведен в пределы припуска.

Чтобы избежать указанных повреждений, начало фронта сдвига следует отвести в пределы припуска как можно дальше от образуемой поверхности. Тогда появившаяся во фронте сдвига трещина не выйдет за внутреннюю границу припуска и не будет опасна. Приемы для отвода фронта сдвига хорошо известны. Это прежде всего увеличение переднего угла, улучшение смазывания, регулярное принудительное удаление стружки и т. д. Отвод фронта сдвига в пределы припуска не следует, однако, рассматривать как универсальный способ повышения качества поверхности, поскольку не устраняются сами растягивающие напряжения, которые при некоторых условиях могут инициировать неконтролируемое разрушение отрывом вне фронта сдвига.