

Модель стружкообразования при резании углеродистых сталей в зависимости от их атомной структуры

С.Л. Гамалей, А.М. Кузьмишина

*Нижегородский государственный технический университет
им. Р.Е. Алексеева, г. Нижний Новгород, Россия*

Изложен атомный подход к процессам деформации и разрушению стружки при резании. Сопротивление пластической деформации срезаемого слоя зависит от типа кристаллической решетки обрабатываемого материала, его энергии дефекта упаковки и наличия примесей на границах зерен. В углеродистых сталях основной примесью является углерод, который, располагаясь на границах зерен, может способствовать их охрупчиванию. С ростом температуры диффузионная подвижность углерода возрастает, что облегчает проскальзывание зерен, увеличивает и изменяет форму стружки. Установлено, что постоянство сопротивления сдвигу при изменении режимов резания связано с достижением в кристаллической решетке предельной плотности дислокаций, разрывом межатомных связей и аморфизацией деформируемых объемов.

Ключевые слова: атомная структура металлов, дислокации, резание, деформация, сопротивление сдвигу, примеси, атомный подход.

В настоящее время эффективность процесса резания во многом зависит от углубленных исследований физических явлений, протекающих при удалении срезаемого слоя.

Процесс резания является одним из сложных физических процессов, при котором имеют место три стадии деформации срезаемого слоя: упругая, пластическая и разрушение. Этот процесс сопровождается большим трением, тепловыделением, наростообразованием, завиванием и усадкой стружки.

Структурные превращения в приконтактных слоях стружки влияют на качество поверхности обрабатываемого материала, износ режущего инструмента, силы резания.

Характер и величина деформации зависят от физико-механических свойств обрабатываемого материала, режимов резания, геометрии рабочей части инструмента, применяемых смазочно-охлаждающих жидкостей.

Наиболее распространенным материалом при механической обработке является углеродистая сталь. Углеродистые стали - это сплавы железа с углеродом, содержащие до 2,14 % углерода (С) при малом содержании других элементов. Они обладают высокой пластичностью и хорошо деформируются. С увеличением массовой доли углерода в доэвтектоидной стали увеличивается доля перлита в ее структуре, что приводит к увеличению твердости и прочности и уменьшению пластичности и ударной вязкости.

В зависимости от условий резания и свойств обрабатываемого материала могут образовываться четыре основных типа стружки: элементная, суставчатая, сливная и стружка надлома. Образование элементной, суставчатой, сливной стружек связано с действием напряжений сдвига. Тип образующейся стружки не только отражает условия протекания процесса резания, но и влияет на эффективность и качество обработки.

Характеристиками пластической интенсивности деформации при резании являются коэффициент усадки стружки, угол сдвига и относительный сдвиг.

В результате пластической деформации при резании металлов наблюдается усадка стружки, которая является внешним выражением этой деформации и до некоторой степени характеризует условия протекания процесса резания. Коэффициент усадки – это косвенная оценка степени пластической деформации. Чем меньше усадка, тем с меньшими пластическими деформациями протекает процесс резания, тем, следовательно, более благоприятные условия для стружкообразования, меньший удельный расход мощности на обработку данной детали. Коэффициент усадки стружки позволяет качественно оценить разные условия резания с точки зрения действующих сил, энергонапряженности процесса, температуры.

Современные достижения в области механики сплошных сред и экспериментальные наблюдения, объясняет стружкообразование течением материала обрабатываемой детали во всей пластически деформируемой зоне стружкообразования и учитывает особенности пластической деформации в различных её точках [1].

В процессе резания в обрабатываемом материале создается большое количество новых дислокаций, которые определяют свойства и изменяют его физико-механические характеристики при деформации. Дислокационные представления раскрывают физическую природу процесса резания при формировании стружки.

Металлы, как твердые вещества, сохраняют свою форму благодаря кристаллической структуре. Геометрическим образом кристаллической структурой является трехмерная решетка, в пространстве которой располагаются атомы [2].

Существенное различие теоретической и физической прочности на строение металла объясняется наличием структурных несовершенств кристаллов. Структурные дефекты оказывают существенное влияние на упрочнение и разрушение металла при пластической деформации. Неоднородность напряженного состояния в деформируемом кристалле обуславливает релаксационный характер пластического течения. Возникновение дислокаций приводит к возникновению дефектов упаковки, то есть нарушению чередования слоёв кристаллической решётки [2].

В углеродистых сталях основной примесью является углерод, который, располагаясь на границах зерен, может способствовать их охрупчиванию. С ростом температуры диффузионная подвижность углерода возрастает, что облегчает проскальзывание зерен, увеличивает и изменяет форму стружки. Дислокации не подтверждены термической активации, поэтому степень деформации срезаемого слоя и силы резания снижаются.

На рис. 1 приведена упрощенная схема процесса резания, где условно показаны межатомные связи как на нижней границе сдвига стружки, так и на верхней, т. е. на плоскости сдвига. Пластическая деформация, в отличие от упругой, столь значительна, что вызывает разрыв связей между атомами, которые до деформации были соседями. Пластическая деформация происходит в том случае, когда к разрыву межатомных связей приводит увеличение напряжений во всем деформированном объеме до значения, равного теоретической прочности, т. е. порядка $0,1B$ (B — модуль всестороннего сжатия). Однако в большинстве реальных материалов вследствие наличия в них дислокаций пластическая деформация имеет место при уровне напряжений более низком, чем теоретическая прочность.

На сопротивление пластической деформации срезаемого слоя значительно влияют: тип кристаллической решетки обрабатываемого материала, его энергия дефектов упаковки (ЭДУ), наличие примесей на границах зерен и способность материала к релаксации на границах зерен [3].

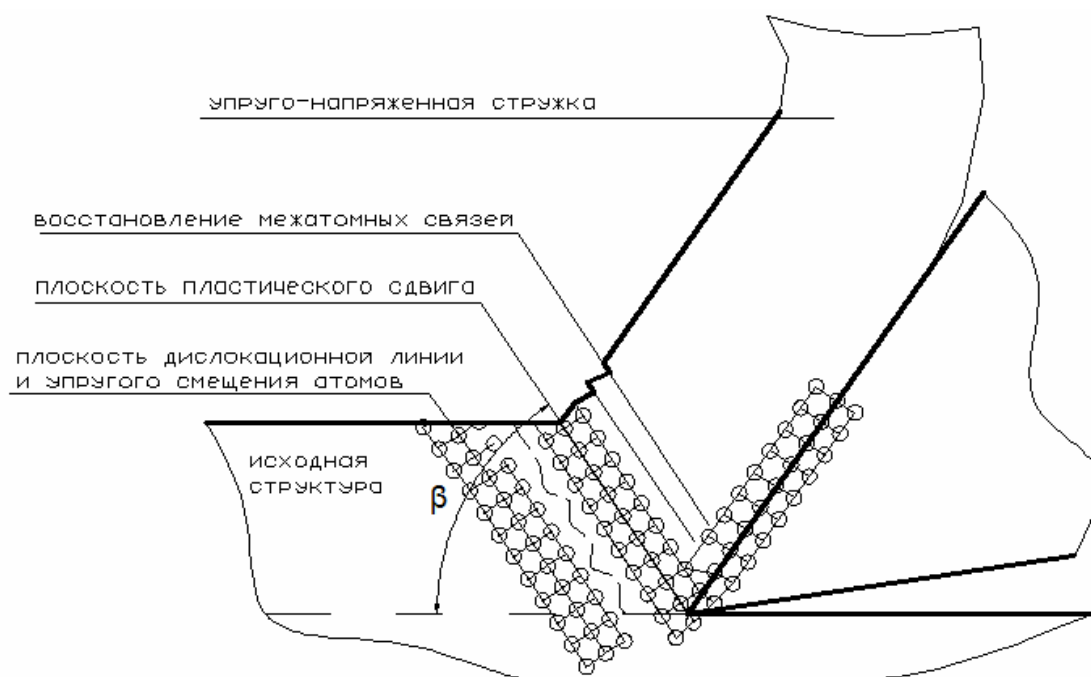


Рисунок 1 - Схема, иллюстрирующая атомную структуру обрабатываемого материала на нижней и верхней границах зоны стружкообразования, а также в зоне вторичной деформации прирезцового слоя стружки (пластического контакта) и передней поверхности инструмента

Установлено, что чем выше ЭДУ металла, тем больше сопротивление сдвигу $\tau_{сдв}$ и степень деформационного упрочнения ϵ (рис. 2) [4]. Такая зависимость обусловлена влиянием ЭДУ на расщепление дислокаций и на их способность к перемещению. В металлах с ОЦК решеткой взаимодействие дислокаций с примесями (углеродом) очень сильное, а винтовые дислокации склонны к поперечному скольжению. Примеси, сегрегируя на субграницы дислокационной структуры, повышают её устойчивость и сопротивление скольжению дис-

локации. В результате сопротивление сдвигу $\tau_{сдв}$ при резании высокоуглеродистых сталей увеличивается.

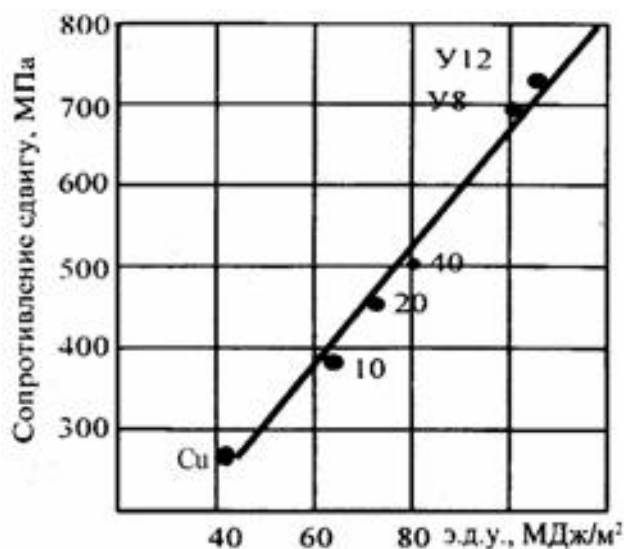


Рисунок - 2 Зависимость сопротивления сдвигу от ЭДУ металла

При обработке низкоуглеродистых сталей наблюдаются наибольшие значения степени деформации ε и наименьшие углы сдвига β [5,6]. С ростом скорости резания степень деформации срезаемого слоя уменьшается.

Предложенная модель стружкообразования учитывает атомный механизм пластической деформации срезаемого слоя. Установлена связь между сопротивлением сдвигу элемента стружки и энергией дефекта упаковки углеродистой стали, влияющих на подвижность дислокаций и степень деформационного упрочнения металла.

Библиографический список

- [1] Старков В.К. Дислокационные представления о резании металлов.-М.: Машиностроение, 1979.-160 с.
- [2] Позняк Г.Г., Копылов В.В., Рогов В.А. Современные методы проектирования нанотехнологических процессов в машиностроении. Учеб. пособие. М.: РУДН, 2008. – 150 с.
- [3] Кабалдин Ю.Г., Серый С.В., Крети́нин О.В., Лаптев И.Л., Власов Е.Е., Кузьмишина А.М. Компьютерное моделирование и исследование наноструктур в процессах обработки резанием на основе квантово-механических расчетов. Н. Новгород, НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2014. 119 с.
- [4] Николаева Е.А. Сдвиговые механизмы пластической деформации монокристаллов. Пермь, Изд-во Пермского государственного университета, 2011. 96 с.
- [5] Васин С.А., Верещака А.С., Кушнер В.С. Резание материалов: Термомеханический подход к системе взаимосвязей при резании: Учеб. для техн. вузов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001 – 448 с.: ил.
- [6] Полетика М.Ф. Влияние свойств обрабатываемого материала на процесс стружкообразования //Вестник машиностроения,- 2001.- № 1,- С. 45-48.