

## Глава I. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ РЕЗАНИЕМ

УДК 621.9.011:517.962.1

П.И.ЯЩЕРИЦЫН, акад. (АН БССР),  
С.С.ДОВНАР (БПИ)

### НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ЗОНЫ СТРУЖКООБРАЗОВАНИЯ В ПРОЦЕССЕ ВРЕЗАНИЯ РЕЗЦА В МЕТАЛЛ

Трудности изучения процесса зарождения и распространения трещин при обработке металлов резанием связаны с отсутствием надежного описания напряженно-деформированного состояния зоны стружкообразования. В настоящей работе сделана попытка выяснить характер изменения напряженно-деформированного состояния зоны стружкообразования в процессе врезания резца в металл. Вопрос этот интересен, поскольку именно на стадии врезания начинается трещинообразование в обрабатываемом металле. Поэтому выяснение закономерностей формирования напряженно-деформированного состояния во время врезания должно пролить свет и в целом на механизмы трещинообразования, в особенности при прерывистом и коротком резании.

Экспериментальное изучение напряженно-деформированного состояния в зоне стружкообразования затруднено, так как не разработаны достаточно эффективные способы измерения напряжений в областях пластического течения. Поэтому в качестве "инструмента" для исследований был выбран численно-математический метод конечных элементов.

Моделирование напряженно-деформированного состояния в зоне стружкообразования производилось путем решения упругопластической задачи в плоской постановке для ортогонального резания. Зона стружкообразования разбивалась на изопараметрические квадратичные элементы. Пластическая часть задачи решалась с помощью метода начальных напряжений. Было принято, что обрабатываемый металл является идеально пластичным.

Изменения напряженно-деформированного состояния в зоне стружкообразования исследовались в зависимости от размеров стружки, формирующейся перед резцом во время врезания. Этот фактор был выделен потому, что интенсивное развитие трещин в обрабатываемом металле начинается только после того, как образуется определенная по величине стружка. Например, при чистовом прошивании резанием рабочих отверстий матриц разделительных штампов собственными пуансонами обработанная поверхность оказывается поврежденной трещинами и вырывами. Исключение составляет пояска у входа в рабочую отверстие, который при глубине резания 0,2...0,3 мм имеет высоту около 0,5 мм. Очевидно, что за время обработки пояска должна была образоваться довольно большая стружка.

Для расчетов форма стружки принималась прямоугольной и характеризовалась высотой  $a$  и шириной  $b$ . Вычисления были произведены при глубине резания  $t = 0,2$  мм для следующих вариантов: I — стружка еще не сформирована; II — образовалась стружка с размерами  $a = b = 0,2$  мм; III — то же, что и в предыдущем варианте, но  $a = 0,2$  мм,  $b = 0,4$  мм.

В каждом из этих вариантов резу задавалось перемещение  $u = 10$  мкм и затем вычислялись возникающие при этом картины напряжений и деформаций. Как показали предварительные расчеты, при таком перемещении реза напряжения в идеально пластическом материале уже стабилизируются, так как при  $u > 10$  мкм в картине напряжений не выявляется существенных отличий.

Расчеты были выполнены при следующих условиях: передний угол реза  $\gamma = 0^\circ$ , радиус закругления режущей кромки реза  $\rho = 0,06$  мм, предел текучести обрабатываемого металла  $\sigma_T = 750$  МПа, модуль Юнга  $E = 200000$  МПа, коэффициент Пуассона  $\mu = 0,3$ . Предполагалось, что скорость резания мала, а режущий инструмент покрыт эффективной смазкой. Поэтому силы трения, температурные и динамические эффекты не учитывались. Полагалось, что остаточные напряжения в обрабатываемом металле отсутствуют.

На рис. 1, а, б представлены для вариантов I и III картины главного напряжения  $\sigma_1$  для металла, прилегающего к режущей кромке реза. На обеих картинах  $\sigma_1$  можно выделить три характерные области. Непосредственно к закруглению на режущей кромке прилегает область объемного сжатия. Впереди и несколько ниже режущей кромки располагается передняя область растягивающих напряжений. Позади режущей кромки, сразу за точкой окончания

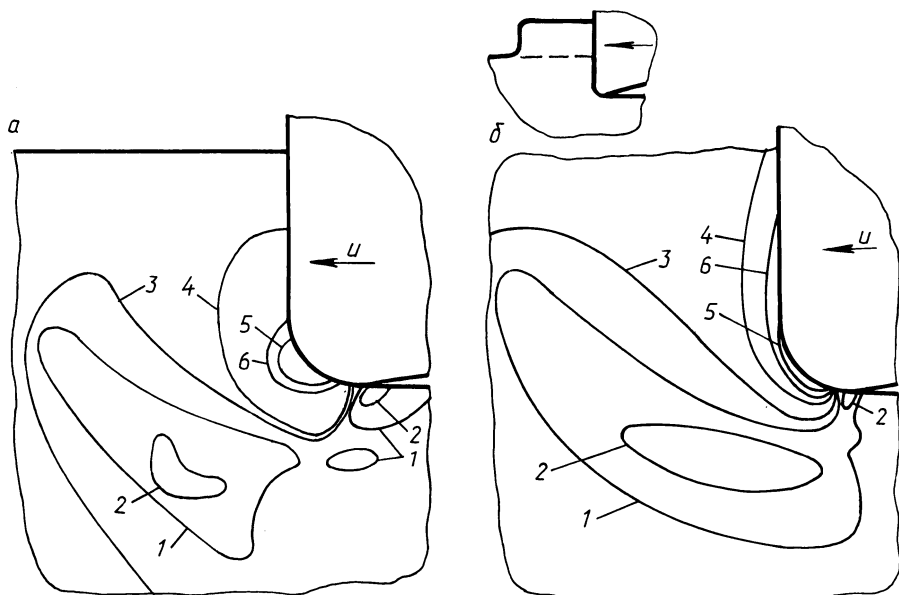


Рис. 1. Изолинии главного напряжения  $\sigma_1$  около режущей кромки реза при его врезании по I (а) и III (б) вариантам:

1 — 300; 2 — 500; 3 — 100; 4 — (-100); 5 — (-500); 6 — (-300) МПа.

контакта между резцом и металлом, располагается задняя область растягивающих напряжений.

Сравнение картин распределения  $\sigma_1$  показывает, что для случая с уже сформировавшейся перед резцом стружкой область объемного сжатия оказывается меньшей по размерам, а по форме сплюсненной на закруглении режущей кромки. Одновременно с этим появление стружки приводит к существенному расширению передней области растягивающих напряжений. Так, площадь, охватываемая изолинией "500 МПа" на рис. 1, б, примерно в 4 раза больше, чем на рис. 1, а. Задняя область растягивающих напряжений для случая резания со сформировавшейся стружкой имеет уменьшенные размеры, однако при этом замечается опасная, по-видимому, тенденция к слиянию ее с передней областью растяжения.

Картина напряжения  $\sigma_1$  для варианта II (в статье не приведена) занимает промежуточное положение между картинками  $\sigma_1$  для вариантов I и III.

Максимальные значения  $\sigma_1$  в указанных областях растяжения для всех расчетных вариантов приведены в табл. 1. Видно, что уровни растягивающих напряжений с увеличением размеров стружки монотонно возрастают. Для варианта III максимальное значение напряжения  $\sigma_1$  увеличилось по сравнению с вариантом I на 15 и 40 % для передней и задней областей растяжения соответственно.

Картинки накопленной пластической деформации для вариантов I и III представлены на рис. 2. Для резания без сформировавшейся стружки область наиболее интенсивных пластических деформаций расположена возле режущей кромки и несколько вытянута под углом  $\sim 45^\circ$  к свободной поверх-

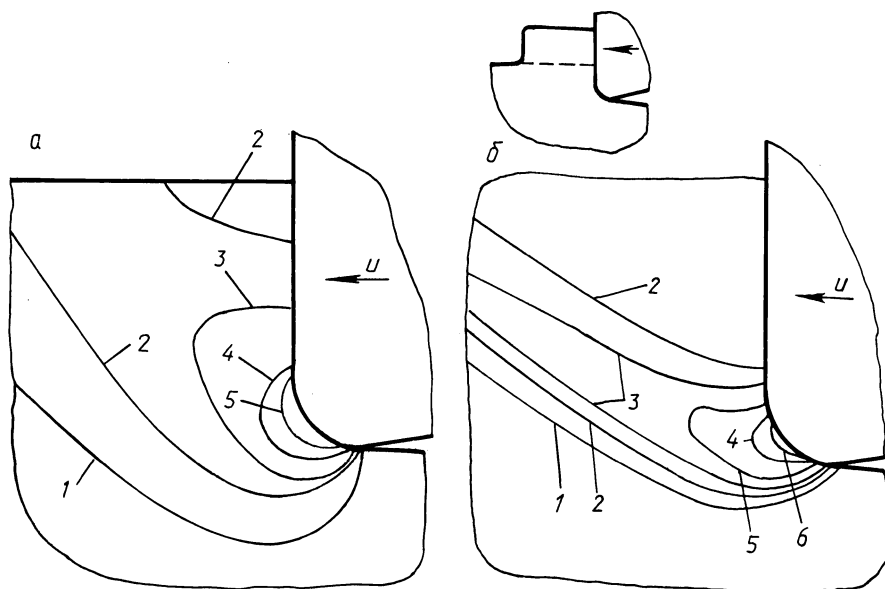


Рис. 2. Распределение накопленной деформации: вариант I — а, вариант III — б. Изолинии накопленной деформации, %: 1 — 1; 2 — 2.5; 3 — 5; 4 — 15; 5 — 10; 6 — 20.

Максимальные значения главного напряжения  $\sigma_1$ , МПа

Область растяжения	Расчетный вариант		
	I	II	III
Передняя	570	610	660
Задняя	675	890	940

ности перед резцом. В случае резания со сформировавшейся стружкой пластические деформации локализованы в сравнительно узкой зоне, протянувшейся от режущей кромки резца до места, где свободная поверхность обрабатываемого металла переходит в поверхность стружки. Если для варианта I максимальная накопленная деформация при перемещении резца  $u = 10$  мкм составила 20 %, то для варианта III при том же перемещении она возросла до 30 %.

Таким образом, основным результатом исследования, выполненного с помощью метода конечных элементов, является установление того факта, что образование стружки в процессе врезания резца в металл приводит к росту растягивающих напряжений и увеличению занимаемых ими областей. Эти изменения для принятых условий резания будут, очевидно, способствовать образованию на обработанной поверхности трещин. Поэтому для блокирования процесса образования этих трещин следует либо уменьшать толщину стружки, либо обеспечивать стружкодробление так, чтобы высота стружки не достигала критической величины. Чтобы уменьшить толщину стружки, можно применить СОЖ с выраженным поверхностно-активным эффектом и увеличить передний угол резца. Как известно, эти приемы приводят к уменьшению коэффициента усадки стружки. Кроме того, для рассматриваемых условий резания они попутно способствуют стружкодроблению.

В ряде случаев представляется также эффективным регулярное принудительное удаление стружки. Отметим, что в этом направлении уже имеется техническое решение, согласно которому при чистовом прошивании рабочих отверстий матриц разделительных штампов режущий инструмент подает вперед небольшими шагами, а в промежутках между шагами вспомогательным инструментом срезают образующуюся стружку. Этот способ обеспечивает получение точных отверстий без поверхностного повреждения обрабатываемого металла.