

С.А. Евтюков, Я. Райчык, И. Тавляров

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ВИБРОРЕЗКИ АРМАТУРНЫХ СТЕРЖНЕЙ

Любая пластическая деформация сопровождается упрочнением (наклепом). На малых скоростях резания деформация проходит в слоях с меньшим сопротивлением. При повышении скорости резания зона среза не успевает деформироваться, и разрезаемый материал становится «хрупким». Повышение интенсивности упрочнения приводит к повышению усилия резания. Дальнейшее повышение скорости приводит к падению усилия резания. Это объясняется двумя причинами: не успевает происходить «схватывание» атомов смещающихся слоев и не успевает отводиться тепло из плоскостей скольжения, в которых возможно даже расплавление металла.

Зависимости усилий в зоне среза от скорости резания определялись в лабораторных условиях на установке с вращающимися ножами при резке холоднотянутой стали кл. А-I Ø 3 и 4 мм.

Были приняты три скорости вращения ножевых валов 5, 33 и 120 об/мин, что соответствует скоростям резания ~ 5 мм/с; ~ 36 мм/с; ~ 130 мм/с с учетом неравномерности вращения. При резании со скоростями ~ 36 и ~ 130 мм/с. Экспериментальные зависимости усилий в зоне среза от скорости резания при отсутствии затупления ножей ($r = 0$) представлены на рисунке 1. Снижение силы резки при значительном увеличении скорости, возможно, является эффектом фазового перехода.

Рассмотрения сечения образцов в зоне среза подтвердило наличие отдельных зон и изменение в их соотношении при изменении свойств разрезаемого материала и параметров механизмов резки. При резании параллельными ножами и вращающимися ножами, срезающими стержень наблюдались зоны скругления, вмятия и скольжения, сдвига и отрыва, смятия (рис. 2) [2].

При резании вращающимися ножами типа 2 наблюдались с двух сторон сечения зоны вмятия ножей и отрыва. Соотношение размеров зон меняется в зависимости от свойств разрезаемого металла и параметров механизмов резки.

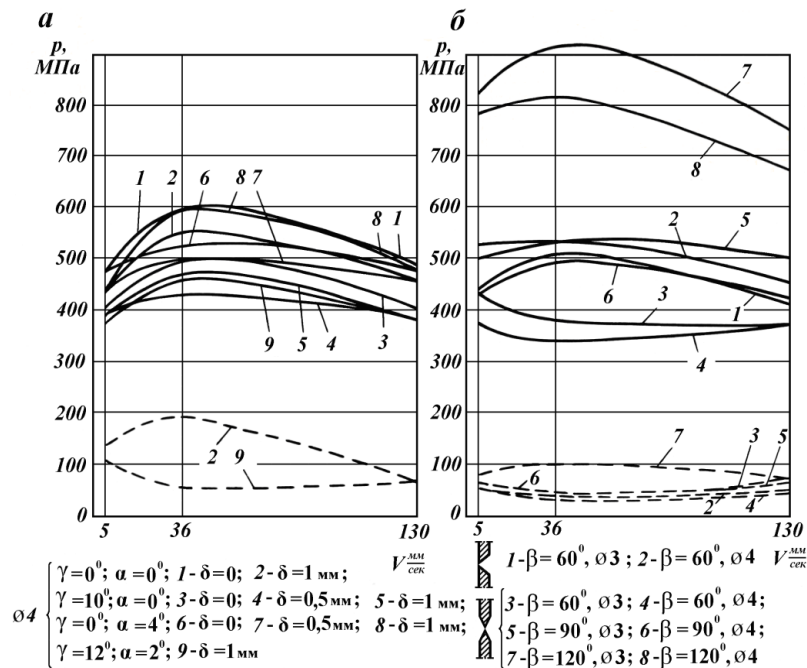


Рис. 1. Экспериментальные зависимости $p_{\text{рез}}$ и $p_{\text{бок}}$ от скорости резки:
 а) вращающимися ножами, срезающими стержень;
 б) вращающимися ножами, перекусывающими стержень

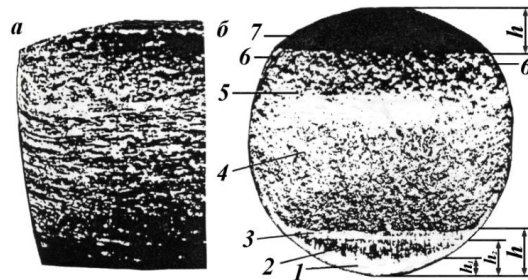


Рис. 2. Зоны деформации на срезе арматурного стержня: а) деформации по длине стержня; б) зоны торца среза: 1 - сминаемая задняя грань ножа; 2 - внедрение ножа без смятия; 3 - после достижения разрушающего напряжения по всему сечению ($P_{\text{см}} = P_{\text{сдв}}$); 4 - сдвига и хрупкого отрыва после прекращения вмятия; 5 - пластического течения при вмятии; 6 - выдавливания; 7 - поверхность смятия передней гранью ножа

Для получения формулы, учитывающей деформацию смятия и дающей достаточную для практических целей точность, было рассмотрено напряженно-деформированное состояние стержня в зоне резки: сначала рассмотрена

упругая стадия, когда пластическое состояние имеет место только в зонах контакта ножей, а затем - завершающий этап пластической деформации [1].

Пара сил, создаваемая ножами, приводит к изгибу стержня и в связи с малым зазором δ между задними гранями ножей - к сжатию, вызывающему деформа-

ции растяжения вдоль оси арматуры. Напряжение сжатия, создаваемое ножами в продольных плоскостях, кососимметрично относительно поперечной плоскости, проходящей в центре зазора параллельно задним граням ножей. Деформация оси стержня зависит от жесткости стержня и расстояния до упора, а также от сил, определяемых упругими напряжениями в стержне. При малой жесткости стержня или резке без упора угол поворота сечения в зоне резки не будет больше определенной величины из-за воздействия реактивного момента, возникающего в результате поворота оси арматуры и воздействия площадок (сегментов), появляющихся и увеличивающихся при вмятии ножей, на их задние грани. Поворот сечения стержня прекращается в момент, когда начинаются пластические деформации сдвига. Реактивная пара сил обратного направления, а также расклинивающее действие передних граней ножей дают дополнительное осевое напряжение растяжения. Момент, создаваемый парой сил резки, уравнивается моментами, создаваемыми упором и реактивным моментом пары сил.

Из-за поворота сечения стержня уже в начальной стадии резки площадь контакта ножей с арматурой мала даже при угле их заострения $0,5\pi$ рад. При меньших углах заострения имеет место практически точечный контакт от соприкосновения ножей до начала поворота сечения стержня. В точках касания каждого ножа со стержнем возникает локальная зона пластической деформации. Она увеличивается с заглублением ножа, тогда как в остальной части сечения будет упругое напряженно-деформированное состояние. Так как в начальной упругой стадии сдвиг не начался, а зазор между ножами невелик, то пренебрегая им и, допустив равенство сил на ножах, с достаточно высокой степенью точности можно упрощенно определить величину напряжений в каждой точке объема стержня с помощью комбинации решений двух известных задач: Герца и Фламанао плоском напряженном состоянии пластины в виде полосы, нагруженной двумя силами среза. Представив стержень в виде набора вертикальных пластин, разделенных сечениями, параллельными его оси, можно определить напряжения в каждой их точке. Используя решение задачи Герца для диска, сжатого по диаметру (при $\delta = 0$), нетрудно найти распределение напряжений по диаметральному поперечному сечению цилиндра.

Результаты расчета в упругой стадии позволяют судить о распределении напряжений в зоне резки и выявить участки, в которых напряжения достигают наибольшей величины, а также участки с максимальной интенсивностью напряжений, с которых начинается пластическая деформация, охватывающая все сечение. Изменение величины напряжения представлено на эпюрах

(рис. 3), построенных на основании найденных зависимостей. Для наглядности масштаб по оси разрезаемого стержня увеличен [1].

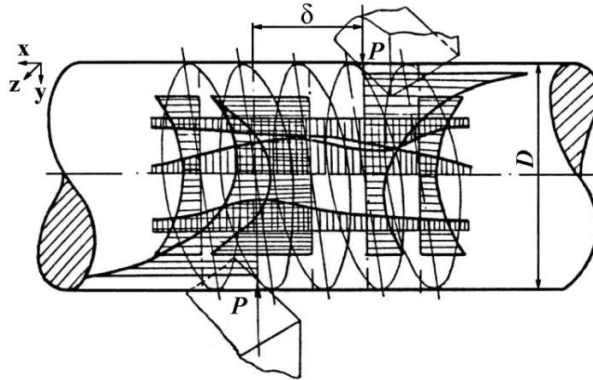


Рис. 3. Эпюры напряжений в диаметральной плоскости разрезаемого стержня в начальной стадии резки

С увеличением усилия на ножах в упругой стадии наблюдается увеличение зон смятия, при этом металл выдавливается в основном в стороны из-под передней грани ножа (рис. 2, зона б). После достижения по всей зоне среза критической интенсивности напряжений начинается сдвиг, все деформации идут по направлениям, обеспечивающим минимум затраты энергии.

На любом этапе процесса сила смятия $P_{см}$ уравнивается сдвигающей силой, представляющей собой силу резки P . Смятие прекращается в момент начала пластического течения по всему уменьшенному сечению стержня.

Для определения усилия резки выразим максимальные напряжения смятия $\sigma_{см}$ и среза $\tau_{ср}$ через параметры сечения деформированного стержня. При этом учтем вмятие ножей упрощенно в виде сегмента.

Учитывая противоположность направленности допущений при протекании процесса деформирования с наименьшим сопротивлением, определим P_{max} как среднее арифметическое $P_{см}$ и $P_{ср}$:

$$P_{max} = 0,5\sigma_{\sigma} \left[\left(k_{ср} + \frac{k_{см}}{\sin \alpha} \right) \left(0,25\pi d^2 - 0,5d^2 \arctg \frac{\sqrt{d \cdot f_{вм} - f_{вм}^2}}{0,5d - f_{вм}} \right) + \left(2k_{ср} - \frac{k_{см}}{\sin \alpha} \right) \times \right. \\ \left. \times (0,5d - f_{вм}) \sqrt{df_{вм} - f_{вм}^2} \right] \quad (1)$$

где: σ_{σ} - временное сопротивление разрыву образца, $k_{ср} = \tau_{ср}/\sigma_{\sigma}$ - коэффициент среза, $k_{см} = \sigma_{см}/\sigma_{\sigma}$ - коэффициент смятия.

Предельные значения $\sigma_{см}$ и $\tau_{ср}$, коэффициентов $k_{ср}$ и $k_{см}$ определены на основании экспериментальных данных по специальной программе. Расчеты вполне удовлетворительно совпадают с данными экспериментальных исследований [2, с. 73-88].

Самоорганизация процесса резки на основе принципа стремления к минимуму энергии, обеспечивает равенство сил смятия и сдвига, что позволяет по остаточным деформациям зоны среза, которые легче поддаются измерению, оценочно определить силу резки. Наиболее точно ее можно определить непосредственно по параметрам площадки смятия ($F_{см}$), т.к. эту площадку возможно замерить:

$$P_{рез.мак} = \sigma_{см} F_{см} = \frac{\sigma_{см} \left(d^2 \arcsin \frac{\alpha}{d} - \alpha \sqrt{d^2 - \alpha^2} \right) f_{см}}{4 f_{вм} \sin \gamma} \quad (2)$$

где $\sigma_{см}$ - напряжение смятия.

Данная зависимость отражает момент прекращения увеличения силы резки (перегиб графика на рис. 4в). С этого времени прекращается рост площадки смятия. На этой площадке косвенно учитывается влияние изменения параметров ножей [2].

Вращающиеся ножи, срезающие стержень, работают аналогично параллельным (рис. 4), вызывая в зоне среза срезающие напряжения. В отличие от параллельных ножей вращающиеся ножи подходят к стержню под углом и во время резания поворачиваются также на некоторый угол. Вследствие этого на ноже, который подходит к стержню задней гранью, усилие резания меньше, а боковое усилие распора больше, чем на другом ноже, значительно меньше внедряющемся в стержень. Величина удельных усилий резания на ножах находится в соотношении 0,8...1. Экспериментально установлено, что величина усилия резания и бокового усилия, их соотношения, зависимости их от свойств разрезаемой стали, а также $P_{рез} = f(\gamma)$; $P_{рез} = f(\delta/d)$ для рассматриваемых ножей такие же, как и для параллельных. При величине заднего угла и бокового зазора усилие резания возрастает (на 10...15%); боковое усилие возрастает пропорционально.

Сообщение инструменту вынужденных колебаний оказывает многогранное воздействие на процесс разрушения, которое выражается в уменьшении напряжений растяжения и сжатия, перераспределении энергетического баланса, уменьшении мощности, затрачиваемой на процесс резки, повышении производительности и т.д. Выявлены факторы, влияющие на величину усилия резки, основными из которых являются относительный зазор (δ/D), угол заострения ножей (β), относительное затупление (r/D), диаметр разрезаемых стержней (D) и колебательная скорость (V_k).

Экспериментально установлено влияние режима вибрации, а именно колебательной скорости, на процесс резки и величину силы резки. Показано, что усилие виброрезки по сравнению со статической резкой может быть снижено в среднем в 1,77 раза. Наибольший эффект наблюдался при

резке стержней кл. В-I, диаметром $D = 3 \cdot 10^{-3}$ м, с колебательной скоростью $V_k = 4,96$ м/с ($f = 7900$ Гц).

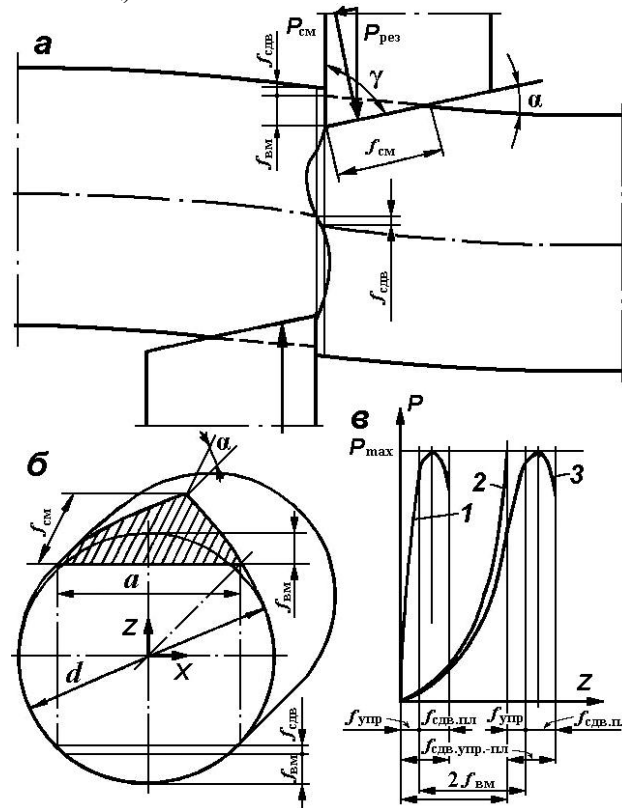


Рис. 4. Деформации в зоне среза арматурного стержня: а) вид зоны резки сбоку; б) вид торца отрезаемого стержня; в) графики изменения усилия резки P (график 3) и составляющих процесса резки; график сдвига 1 учитывает уменьшение площади поперечного сечения; график смятия 2 - увеличение площадки смятия и $f_{вм}$ и увеличение ее размера, а также наложение деформации сдвига до достижения P_{max}

Вибрация может существенно сказаться и на процессе правки, существенно снижая его энергоемкость [3]. Вибраторы необходимо установить на подвижных секциях или, в соответствии с патентом на изобретение № 2453388, на подвижной рамке. Если вибраторы установлены на подвижных секциях, или их два и они установлены на подвижной рамке, то их необходимо синхронизировать [4].

Литература

- [1] Волков С.А., Михайлов Б.К., Евтюков С.А., Определение усилий на ножах при резке металлических стержней круглого сечения, Изв. вузов, Строительство и архитектура 1985, № 7, с. 110-113.

- [2] Евтюков С.А., Повышение эффективности основных технологических процессов производства арматуры железобетонных конструкций, С.-Петербург. гос. архитектур. - строит. ун-т, СПб. 1998, 162 с.
- [3] Тавляров И.Б., Совершенствование технологических процессов заготовки арматурных стержней из мотков, Издательский дом «Петрополис», СПб. 2011, 88 с.
- [4] Патент на изобретение № 2453388. Устройство для правки металлических стержней, С.А. Волков, И.Б. Тавляров, Б.С. Доброборский, Бюл. № 33, 20.06.2012.

Theoretical basis of vibration cutting of reinforcing bars

Abstract

The paper presents the study of relationships on shear strength of the cutting speed. Tests were performed for three speeds: 5, 33 and 120 rpm knife shaft. A mathematical formula for calculating the deformation of crushing and providing sufficient practical accuracy was proposed.