

STUDY OF SHEAR FORCES AND STRAINS IN INCLINED CRACKS OF REINFORCED CONCRETE BEAMS

Sagatov B.U. (Republic of Uzbekistan) Email: Sagatov455@scientifictext.ru

*Sagatov Bahodir Uktamovich - Senior Teacher,
DEPARTMENT CONSTRUCTION OF BUILDINGS AND STRUCTURES,
JIZZAKH POLYTECHNIC INSTITUTE, JIZZAKH, REPUBLIC OF UZBEKISTAN*

Abstract: *the paper gives the results of experimental and theoretical researches of the resistance mechanism of T-beams made from ordinary and lightweight concrete taking into account shear forces and deformations. Both behaviour and stress-strain state of the beams after formation of cracks has been analysed. New data on development of normal and tangential displacement in inclined cracks are obtained. For the analysis of experimental data the simplified approach based on truss model analogy was used with regard to both energy methods and revealed mechanism of shear transfer in inclined cracks in the rib of a beam. The equilibrium conditions for forces in inclined section of the beam are used during the analysis allowing for forces in both longitudinal and shear reinforcement as well as shear transfer across the cracks.*

Keywords: *T-beams, shear forces and deformations, inclined cracks, aggregate interlock, truss model, normal and shear displacements.*

ИССЛЕДОВАНИЕ УСИЛИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ СДВИГА В НАКЛОННЫХ ТРЕЩИНАХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК Сагатов Б.У. (Республика Узбекистан)

*Сагатов Баходир Уктамович - старший преподаватель,
кафедра строительства зданий и сооружений,
Джизакский политехнический институт, г. Джизак, Республика Узбекистан*

Аннотация: *в статье излагаются результаты экспериментальных и теоретических исследований механизма сопротивления тавровых балок из тяжелого и легкого бетонов с учетом усилий и деформаций сдвига. Проанализировано их поведение и напряженно-деформированное состояние после образования трещин. Получены новые данные по развитию нормальных и тангенциальных смещений в наклонных трещинах. Для анализа опытных данных использован упрощенный подход, основанный на реализации модели ферменной аналогии с учетом энергетических методов и выявленного механизма сил зацепления в наклонных трещинах ребра балки. При анализе использованы условия равновесия усилий в наклонном сечении балки с учетом усилий в продольной и поперечной арматуре и сил зацепления.*

Ключевые слова: *тавровые балки, усилия и деформации сдвига, наклонные трещины, силы зацепления, модель ферменной аналогии, нормальные и тангенциальные смещения.*

Из-за большого числа и сложности факторов, влияющих на поведение железобетонных балок при срезе, построение соответствующей объемлющей теории сопротивления связано с большими трудностями. Это обстоятельство долгое время усугубляется преобладанием эмпирического подхода к решению проблемы без углублённого изучения характера поведения балок при действии поперечных сил. Особое значение при этом приобретает деформационное поведение балок с учетом напряжений в бетоне и арматуре, а также смещений, возникающих в наклонных трещинах.

В связи с вышесказанным авторами проведены специальные исследования поведения железобетонных тавровых балок при действии поперечных сил. Испытанные балки имели тавровое сечение с размерами и схемой армирования, показанными на рис. 1. Всего было испытано две серии по пять балок, которые выполнялись из тяжелого (ТБТ) и керамзитового (КБТ) бетонов. Общая характеристика опытных балок приведена в табл. 1. Все балки имели относительный пролет среза, равный $l / h_0 = 3,57$. Требуемая анкеровка продольной арматуры обеспечивалась ее продолжением за каждую опору на длину 250 мм и установкой 5 хомутов $d = 8$ мм. В каждой серии менялось содержание поперечного армирования путем изменения шага хомутов, при постоянном проценте продольного армирования. Балки бетонировались по две в металлических и деревянных формах.

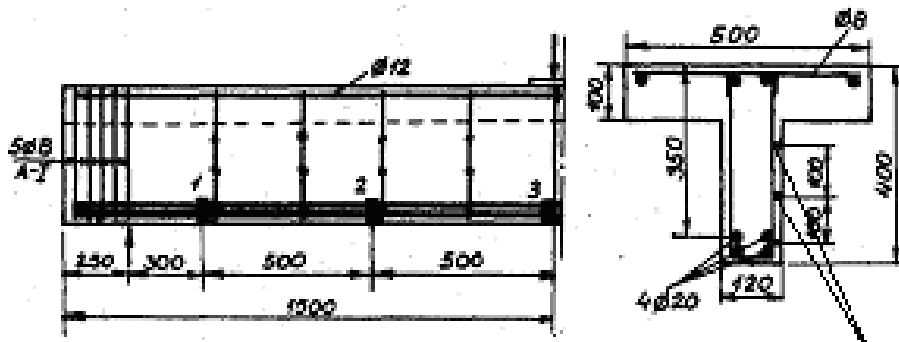


Рис. 1. Схема армирования тавровых балок: 1, 2, 3 – места установки тензорезисторов

Таблица 1. Характеристика опытных балок

Шифр балки	R_b , МПа	Продольная арматура			Поперечная арматура				Q кН
		d , мм	R_s Н/мм ²	$E_s \times 10^3$ Н/мм ²	d , мм	шаг s , мм	μ_{sw} , %	R_{sw} Н/мм ²	
ТБТ-1	27,0	4 Ø20	441	200	6	250	0,189	366	118,0
ТБТ-2	32,0	4 Ø20	441	200	6	125	0,378	366	132,5
ТБТ-3	25,1	4 Ø20	441	200	8	250	0,419	441	161,0
ТБТ-4	40,7	4 Ø20	649	150	8	160	0,524	441	219,5
ТБТ-5	27,5	4 Ø20	649	180	8	125	0,671	441	212,5
КБТ-1	23,6	4 Ø20	441	200	6	250	0,189	366	85,0
КБТ-2	26,8	4 Ø20	441	200	6	125	0,378	366	118,5
КБТ-3	24,4	4 Ø20	441	200	8	200	0,419	441	120,0
КБТ-4	28,0	4 Ø20	649	180	8	160	0,524	441	150,0
КБТ-5	22,0	4 Ø20	649	180	8	125	0,671	441	150,0

Для замера деформаций на стержни продольной арматуры в каждом из выбранных пяти сечений балки наклеивалось по два тензорезистора с базой 10 мм. На схеме рис. 1 места установки тензорезисторов показаны для полупролета балки. Для наблюдения выбирались стержни с одной стороны сечения. Заранее изготовленные каркасы с наклеенными и изолированными тензорезисторами и металлическими реперами укладывались в формы с соблюдением проектного положения арматурных стержней. К поперечным стержням приваривались коротыши-реперы, по которым компараторами замерялась деформация хомутов. Нагрузка на балки прикладывалась ступенями в середине пролета. После появления определенного числа наклонных трещин нагрузка (как правило, не превышавшая 50-60% от разрушающей расчетной) сбрасывалась и вдоль трещин на поверхности ребер наклеивались металлические реперные точки, по которым измерялись взаимные перемещения берегов трещин при вторичном нагружении балки вплоть до её разрушения. Для замера деформаций бетона ребра под углом 45° к оси балки на поверхность ребра балок наклеивались дополнительные реперные точки. Одновременно раскрытие всех трещин дублировалось замерами оптическим микроскопом. Все замеры проводились на каждой ступени загрузки. Схема трещин на каждой балке переносилась на миллиметровую бумагу. По результатам испытаний получена следующая информация:

- свойства арматуры и бетона, уровень разрушающей нагрузки и характер разрушения;
- результаты измерений относительных деформаций в продольной и поперечной арматуре;
- величины приращений тангенциальных и нормальных смещений берегов трещин $\Delta\delta$ и Δa , а также результаты традиционных измерений ширины раскрытия трещин микроскопом;
- значения деформаций сжатия в наклонных бетонных полосах ребра балок.

Для анализа опытных данных использован упрощенный подход, основанный на реализации ферменной аналогии с учетом энергетических методов, а также роли сил зацепления в наклонных трещинах ребра балки. При этом исходилось из рассмотрения условия равновесия относительно уровня продольной рабочей арматуры, включающем усилия в ребре и продольной арматуре. Необходимо также учитывать равновесие сил в наклонном сечении с учетом усилий в продольной и поперечной арматуре, а

также сил зацепления. В работе [1] было показано, что последние определяют сдвиговую жесткость сечения с трещиной, которая может быть приведена к напряжениям сдвига выражением:

$$\tau_{зац} = A \Delta\delta \text{ или } \tau_{зац} = K (\Delta\delta / \Delta a),$$

где: A – сдвиговая жесткость механизма зацепления в трещине, Н/мм²; K – коэффициент пропорциональности, Н/мм²; Δa – ширина нормального раскрытия трещины, мм.

Использование полученных в [2] экспериментальных значений сдвиговой жесткости сечения с трещиной K показывает удовлетворительное согласие этих методов между собой и с энергетическим методом. Применение энергетического метода для стадий упругой работы поперечной арматуры несколько ограничено. Поскольку течение хомутов не связано с общим разрушением балки, то целесообразно рассматривать дополнительное условие равновесия, основанное на преодолении сил зацепления берегов трещин [3]. При этом следует не упускать из внимания вопросы сцепления и анкеровки арматуры в испытанных балках.

Суммарный вектор взаимных перемещений берегов трещин можно разбить на две компоненты $\Delta\delta$ и Δa в направлении любых координат. Учитывая, что угол наклона трещин α к оси балки не равен 90°, перемещения δ и a были выражены через величины Δx и Δy :

$$a = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2} \times \cos(\alpha - \theta); \quad \delta = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2} \times \sin(\alpha - \theta),$$

где: $\theta = \operatorname{tg}^{-1}(\Delta x / \Delta y)$.

В работе [3] было показано, что напряжение, передающееся через трещину, равно $K (\Delta\delta / \Delta a)$, т.е. при постоянном K оно зависит от отношения $\Delta\delta / \Delta a$. Например, зависимость роста отношения $\Delta\delta / \Delta a$ с увеличением нагрузки для каждого из отмеченных реперов вдоль трещин в балках можно представить в виде, где для более ясного представления приведены усредненные значения $\Delta\delta / \Delta a$ для всей трещины. На графиках отмечены границы нагрузки, вызывающей текучесть хомутов, определенные по измеренным деформациям в хомутах. При этом за нижнюю границу принят физический предел текучести в любом хомуте, а за верхний – оценка по средней относительной деформации в хомутах. Как видно, отношение $\Delta\delta / \Delta a$ растет с увеличением нагрузки, что говорит об увеличении и сил зацепления. Следует заметить, что рассмотренные трещины имеют одинаковый наклон к оси балки. В связи с вышесказанным можно сделать следующие выводы об особенностях поведения испытанных балок:

1. Изменение напряжений в продольных стержнях балки в соответствии с эпюрой изгибающих моментов связано со сцеплением и образованием наклонных трещин частично ухудшает это сцепление арматуры с бетоном ребра. Это способствует некоторому возрастанию усилий в продольной арматуре. Следовательно, эти усилия еще достаточно велики и может последовать разрушение балки от выдергивания арматуры. Таким образом, образование наклонных трещин повышает вероятность такого вида разрушения. Разрушение балок с более насыщенным поперечным армированием в виде откола защитного слоя вдоль продольной арматуры вблизи опор несомненно связано с высоким уровнем отмеченных выше сил сцепления.

2. Трещина раскалывания, как правило, начинается с конца пролета среза балки перед опорой и затем быстро распространяется вдоль продольной арматуры до торца балки. Такой механизм разрушения говорит о нецелесообразности увеличения длины заделки стержней более чем на 250 мм за опору, так как это не уменьшит опасности такого разрушения. Исследования говорят о том, что прочность сцепления в этом случае возрастает несущественно даже при наличии хомутов. Следовательно, из логических соображений, более целесообразным явилось бы увеличением толщины защитного слоя над опорами.

3. Отмеченный механизм разрушения балок требует точной оценки деформированного состояния рассмотренной зоны ребра балки, что связано со значительными трудностями. Они усугубляются наличием наклонных трещин вблизи опор (что, в свою очередь, связано с оценкой начальных деформаций), а также влиянием хомутов и опорной реакции.

Список литературы / References

1. *Ашрабов А.А.* Лёгкий бетон и железобетон для индустриального строительства. Ташкент. Изд-во “Мехнат”, 1988. 252 с.
2. *Sagatov B U.* About transfer of effort through cracks in ferro-concrete elements // European science review, 2016. № 7-8. С. 220-221.
3. *Ашрабов А.А., Сагатов Б.У.* О передаче напряжений через трещины железобетонных элементах // Молодой ученый, 2016. № 7-2. С. 41-45.

4. *Асатов Н.А. и др.* Исследования влияния тепловой обработки бетона повышенной водонепроницаемости на его прочность // Молодой ученый, 2016. № 7-2. С. 34-37.
5. *Asatov N., Jurayev U., Sagatov B.* Strength of reinforced concrete beams hardened with high-strength polymers // "Problems of Architecture and Construction", 2019. Т. 2. № 2. С. 63-65.