

**РАЗРАБОТКА ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОЛУЧЕНИЯ ТЕРМИЧЕСКИ УПРОЧНЕННОЙ  
СТЕРЖНЕВОЙ АРМАТУРОЙ СТАЛИ МАРКИ А500С И ИССЛЕДОВАНИЕ  
МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ**

**Файзуллаев Джамал Сабаханович**

*самостоятельный соискатель ГУП «Фан ва тараққиёт»,  
Ташкентский государственный технический университет,  
Республика Узбекистан, г. Ташкент  
E-mail: [bozorboyev1983@mail.ru](mailto:bozorboyev1983@mail.ru)*

**Негматова Комила Сайибжановна**

*д-р техн. наук, проф. ГУП «Фан ва тараққиёт»,  
Ташкентский государственный технический университет,  
Республика Узбекистан, г. Ташкент*

**Пирматов Рашид Хусанович**

*председатель Правления АО «Узметкомбинат»,  
Республика Узбекистан, г. Ташкент*

**Негматов Сайибжан Садикович**

*академик АН Республики Узбекистан,  
научный консультант ГУП «Фан ва тараққиёт»,  
Ташкентский государственный технический университет,  
Республика Узбекистан, г. Ташкент*

**Икрамова Мукаддас Эралиевна**

*д-р техн. наук, ст. научн. сотр., ГУП «Фан ва тараққиёт»,  
Ташкентский государственный технический университет,  
Республика Узбекистан, г. Ташкент*

**Камолов Турсунбой Очилович**

*д-р техн. наук, ГУП «Фан ва тараққиёт»,  
Ташкентский государственный технический университет,  
Республика Узбекистан, г. Ташкент*

**DEVELOPMENT OF THE CHEMICAL COMPOSITION OF OBTAINING  
THE THERMALLY STRENGTHENED ROD REINFORCEMENT OF A500S STEEL  
AND STUDY OF MECHANICAL PROPERTIES**

**Jamal Fayzullaev**

*Independent applicant SUE "Fan va tarakkiyot",  
Tashkent State Technical University,  
Republic of Uzbekistan, Tashkent*

**Komila Negmatova**

*Doctor of Technical Sciences, Professor,  
State Unitary Enterprise "Fan va tarakkiyot"  
Tashkent State Technical University,  
Republic of Uzbekistan, Tashkent*

**Rashid Pirmatov**

*Chairman of the Board of JSC "Uzmetkombinat",  
Republic of Uzbekistan, Tashkent*

**Sayibjan Negmatov**

*Academician of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan,  
scientific consultant of the State Unitary Enterprise "Fan va tarakkiyot"  
Tashkent State Technical University,  
Republic of Uzbekistan, Tashkent*

**Mukaddas Ikramova**

*Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher,  
SUE "Fan va tarakkiyot",  
Tashkent State Technical University,  
Republic of Uzbekistan, Tashkent*

**Tursunboy Kamolov**

*Doctor of Technical Sciences,  
State Unitary Enterprise "Fan va tarakkiyot",  
Tashkent State Technical University,  
Republic of Uzbekistan, Tashkent*

### АННОТАЦИЯ

В статье рассматриваются результаты исследования по разработке химического состава получения термически упрочненной стержневой арматурой стали марки А500С и исследование ее механических свойств. Показано, что предложенный новый состав стали класса А500С обеспечивает лучшую свариваемость арматурного проката и улучшает механические свойства. Предложены метод горячей прокатки стали и способ производства арматурного проката повышенной прочности, одним из важных компонентов которого является ванадий для микролегирования в пределах 0,05–0,12%, что позволяет обеспечить повышение уровня прочности до 30%. Также приведены результаты механических испытаний бунтового арматурного проката и сравнительные данные механических свойств арматуры № 12.

### ABSTRACT

The article discusses the results of a study on the development of the chemical composition of the production of thermally hardened A500C steel rod fittings and the study of their mechanical properties. It is shown that the proposed new composition of A500C class steel provides better weldability of rebar rolled products and improves mechanical properties. A method of hot rolling of steel and a method for the production of reinforced rolled products of increased strength is proposed, one of the important components of which is vanadium for microalloying in the range of 0.05 - 0.12%, which allows for an increase in the strength level up to 30%. The results of mechanical tests of rebar rebar rolled products and comparative data on the mechanical properties of rebar No. 12 are also presented.

**Ключевые слова:** термическая обработка, арматура, низкоуглеродистая марка стали, железобетон, пластичность, прокаливаемость, механическая прочность.

**Keywords:** heat treatment, reinforcement, low-carbon steel grade, reinforced concrete, ductility, hardenability, mechanical strength.

**Введение.** В настоящее время по всему миру на строительных объектах получило распространение изделие из термоупрочненной арматуры класса А500С за счет своей многофункциональности с пределом текучести не менее 500 Н/мм<sup>2</sup>. С целью усилить прочность бетона арматура класса А500С может быть использована для производства всех возможных видов железобетонных конструкций. Один из наиболее перспективных путей повышения свойств арматурного проката – микролегирование стали ванадием с последующей термомеханической обработкой в потоке прокатного стана либо термическая обработка. Освоение новых экономических видов продукции, в том числе и по требованиям зарубежных стандартов, также предопределило проведение исследовательско-внедренческих работ, всестороннее изучение механических, технологических и служебных характеристик проката после различных режимов обработки [4–6].

Строительная арматура представляет собой стальные стержни, которые в процессе строительства соединяют в каркас, способствующий созданию прочности всех элементов здания. Это чаще всего вспомогательная конструкция, которая помогает распределить нагрузки, увеличить несущую способность конструкции. Она применяется в строительстве железобетонных зданий и в устройстве фундамента, ригелях, колоннах и сплошных железобетонных плитных конструкциях и усиливает свойства бетона, не дает ему растрескаться. Обладает всеми требуемыми свойствами: прочностью, пластичностью, морозо- и жароустойчивостью, а также коррозионной устойчивостью [2; 7].

Стальная арматура бывает горячекатаная стержневая и холоднокатаная (холоднотянутая) проволочная. Наиболее широко применима горячекатаная стержневая арматура, имеющая вид длинного стержня с гладким или периодическим профилем (другими словами, с гладкой или ребристой поверхностью) [3].

Арматура периодического профиля пользуется большим спросом, так как имеет лучшее сцепление с бетоном. Легирование производится путем введения в расплав дополнительных веществ, улучшающих физико-механические свойства стали. Так добиваются особой прочности металлических изделий, устойчивости к коррозии и износостойкости [1].

**Целью исследования** является разработка технологии получения термически упрочненной стержневой арматуры из стали марки А500С для железобетонных конструкций.

#### Объекты и методики исследования

Объектами исследования являются стали марки СтЗсп, СтЗГсп, элементы для микролегирования – ванадий, марганец, титан, метод горячей прокатки стали.

#### Полученные результаты и их обсуждение

На сегодняшний день в АО «Узметкомбинат» весь объем арматурного проката производится в горячекатаном состоянии. Требуемые механические

свойства арматурного проката обеспечиваются необходимым химическим составом стали. Следует отметить, что в последнее время сотрудники ГУП «Фан ва тараккиёт» ТГТУ совместно с инженерами и специалистами АО «Узметкомбинат» проводят исследования по разработке химического состава, микроструктуры, эффективных технологических процессов и режимов изготовления металлокомпозитного термоупрочненного арматурного проката класса А500С на основе местного сырья.

Известно, что во всем мире и в России в состав горячекатаной металлокомпозитной арматуры марки А500С входит низкоуглеродистая сталь марки СтЗсп, содержащая углерод не более 0,22%, марганец 0,16%, ванадий 0,12% и др.

В лабораторных условиях проведены исследования по разработке технологии получения термомеханически упрочненного бунтового арматурного проката. При этом исследованы различные химические составы металлической плавки № 120449 22С. На основании полученных результатов многочисленных исследований предложен новый оптимальный химический состав стали для изготовления арматуры № 12 класса А500С, микролегированный ванадием, который приведен в таблице 1.

**Таблица 1.**

**Химический состав плавки № 120449 22С арматуры № 12 по ГОСТ 34028-2016**

Массовая доля элементов в %, не более										
С	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	Ti	As	Al
0,23	0,73	0,98	0,019	0,028	0,10	0,14	0,22	0,031	0,054	0,009

В таблице 2 приведен предложенный нами химический состав стали для изготовления арматуры № 12 класса А500С, микролегированный ванадием.

**Таблица 2.**

**Предлагаемый химический состав стали для изготовления арматуры № 12 класса А500С, микролегированный ванадием**

С	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	Al	N	V
0,23–0,27	0,73–0,82	0,6–0,70	0,030	0,030	0,30	0,30	0,22	0,009	0,03	0,05–0,12

Введение 0,05–0,12% ванадия (V) обеспечивает повышение прочности стали на 20% как в горячекатаном, нормализованном, так и после термического упрочнения. В легированных конструкционных сталях ванадий в основном используется для уменьшения размера зерна и повышения прочности стали.

Обычно он используется вместе с одним или несколькими легирующими элементами, такими как марганец, хром, молибден, вольфрам, и его содержание обычно составляет 0,07–0,30%, а некоторые достигают 0,40–0,50%. Горячекатаная оребренная арматура класса А500С, которую получают по технологии микролегирования ванадием, обладает хорошими комплексными свойствами и широко используется в строительстве. Основные преимущества:

высокая прочность, предел текучести – не менее 400 МПа, предел прочности – не менее 570 МПа; хорошие сварочные характеристики, подходят для различных методов сварки; соотношение прочности и текучести (отношение прочности на разрыв к пределу текучести) должно быть не менее 1,25. Кроме этого, обладает высокой прочностью и пластичностью, а также хорошими характеристиками изгиба [8].

Микролегирование ванадием позволяет уменьшить содержание углерода в стали, благодаря чему улучшаются пластичность, ударная вязкость и свариваемость. Присутствие в ванадиевой стали повышенного содержания азота дополнительно усиливает дисперсное упрочнение. Дисперсные выделения нитридов ванадия обеспечивают более высокий

уровень прочности на 20% содержания ванадия, и это экономически выгодно для производства термо-механически упроченного бунтового арматурного проката.

Отмечена малая чувствительность механических свойств к температуре окончания прокатки стали, микролегированной ванадием. Ванадийсодержащие стали хорошо свариваются и сохраняют повышенный уровень вязкости в зоне термического влияния. Замена углеродистых сталей ванадийсодержащими с повышенной прочностью должна быть выгодна как производителю (получение более высокой прибыли), так и потребителю (продукция с более высокой прочностью, дающая возможность уменьшить массу конструкции). Для производства опытной пар-

тии была проведена прокатка арматуры с эффективным и экономичным профилем в бунтах № 12 стали, микролегированной ванадием. При прокатке заготовок изменяли режимы охлаждения арматуры водой перед и после проволочного блока, интенсивность воздушного охлаждения, а также скорость прокатки. Вес погонного метра образцов арматуры изменялся в пределах 0,300–0,313 кг при допустимых значениях 0,287–0,317 кг. Для определения изменчивости механических свойств бунтового арматурного проката были проведены испытания образцов по длине одного витка от бунтов, прокатанных при наиболее экстремальных режимах охлаждения.

Были исследованы механические свойства и микроструктуры арматуры № 12 из стали класса А500С, результаты приведены в сводной таблице 3.

Таблица 3.

Механические свойства арматуры № 12 из стали с пониженным содержанием Mn и Si с Ti

Режимы	$\sigma_t$ , н/мм <sup>2</sup>			$\sigma_b$ , н/мм <sup>2</sup>			$\delta_5$ , %			V м/с
	начало	сере- дина	конец	начало	сере- дина	конец	начало	сере- дина	конец	
Горячекат.		350 390			540 550			28,5 29,0		12,5
Сред.		370			545			28,75		
Микроструктура	Средняя зона						Поверхностная зона			
	Перлит + феррит						Перлит + феррит			
1 15 – 15	645	680	605–	720	750	690	20,5	18,0	24,5	12,5
	685	675	640	745	750	710	19,5	17,5	22,0	
Сред. на образцах	665	677,5	622,5	732,5	750	700	20,0	17,75	23,25	
Сред. на плавку	655			723			20,0			
Микроструктура	Средняя зона						Поверхностная зона			
	Перлит + феррит						Перлит + феррит			
2 10 – 10	645	650	610	710	720	690	19,5	19,5	22,5	12,5
	630	665	585	715	740	675	24,5	21,0	22,0	
Сред. на образцах	637,5	657,5	597,5	712,5	730	682,5	22,0	20,25	22,25	
Сред. на плавку	631			708			21,5			
Микроструктура	Средняя зона						Поверхностная зона			
	Перлит + феррит						Перлит + феррит			
3 10 – 15	665	680	620	750	760	700	21,0–	21,0–	23,0–	12,5
	655	670	630	730	740	740	19,5	19,5	24,0	
Сред. на образцах	660	675	625	740	750	720	19,75	19,75	23,5	
Сред. на плавку	653			737			21,0			

Для сравнительного анализа в таблице 3 и в таблице 4 приведены результаты исследования на соответствие механических свойств экспериментального

проката арматуры класса А500С по ГОСТ Р 52544, прокатанной по режимам № 1, № 2, № 3.

Таблица 4.

## Сравнительный анализ прокатанной арматуры и арматуры класса А500С по ГОСТ Р 52544

Наименование показателя	ГОСТ Р 52544 А500С	Пл 141245					
		Режим № 3		Режим № 4		Режим № 5	
Размер периодического профиля проката	№ 12	№ 12		№ 12		№ 12	
Допустимые отклонения от номинальных значений площади поперечного сечения и массы 1 м длины, %	±5,0	-4,50		-4,46		-4,57	
Высота поперечных ребер h, мм	0,7345–1,13	1,09					
Шаг поперечных ребер, мм	4,52–11,3	8,6					
Суммарное расстояние между концами поперечных ребер $\Sigma e_i$ мм, не более	7,096	6,671					
Минимальная относительная площадь смятия поперечных ребер периодического профиля $f_R$ , не менее	0,056	0,0696					
Предел текучести, $\sigma_T$ , Н/мм <sup>2</sup> , не менее	500	605–685		585–665		620–680	
Предел прочности, $\sigma_B$ , Н/мм <sup>2</sup> , не менее	600	690–750		675–740		700–760	
Полное относительное удлинение при максимальном напряжении $\delta_5$ , %, не менее	14,0	17,5–24,5		19,5–24,5		19,5–24,0	
Отношение $\sigma_B/\sigma_T$ , не менее	1,08	1,104		1,122		1,129	
Свойства при изгибе (в холодном состоянии до угла 180° вокруг оправки диаметром = 3d <sub>H</sub> )		Уд.		Уд.		Уд.	
Выносливость, Н/мм <sup>2</sup>	150	Не испытывали					
Химический состав	Табл. 2	Соответствует					
Свариваемость (не менее 500 Н/мм <sup>2</sup> в области сварного соединения) Ручная дуговая сварка по типу С23-Рэ по ГОСТ 14098)	4 режим	1	2	3	4	5	6
		670	690	670	670	620	690

Полученная нами арматура, прокатанная по режимам № 1, № 2, № 3, соответствует требованиям ГОСТ Р 52544 класса А500С.

**Заключение.** Таким образом, в результате проведения экспериментальной прокатки арматура № 12, прокатанная по режиму № 1, № 2, № 3 по

механическим свойствам и химическому составу соответствует периодической арматуре класса А500С по ГОСТ Р 52544. А также установлен упрочняющий эффект влияния микролегирования ванадием стали производства арматурного проката класса А500С улучшенной свариваемости.

**Список литературы:**

1. Болотников С.А., Кузькина Н.Н., Мурзин И.С. Особенности технологии производства заготовок из низкоуглеродистой стали на сортовой МНЛЗ // *Металлург.* – 2007. – № 7. – С. 59–62.
2. Влияние ванадия на механические и потребительские свойства свариваемой арматурной стали классов прочности А500С и А600С / Д.В. Домов, И.И. Франтов, А.Н. Серегин, А.Н. Борцов [и др.] // *Металлург.* – 2015. – № 10. – С. 65–69.
3. Высокопрочные арматурные стали / А.П. Гуляев, А.С. Астафьев, М.А. Волкова [и др.]. М. : *Металлургия*, 1966. – 138 с.
4. Гуляев А.П. *Металловедение.* – М. : *Металлургия*, 1977. – 647 с.
5. Критерии оценки свариваемости арматурных сталей / Д.В. Домов, И.И. Франтов, А.Н. Борцов, О.О. Цыба // *Металлург.* – 2015. – № 5. – С. 58–62.
6. Мадатян С.А. Современный железобетон для эффективного строительства // *Строительная газета.* – 2013. – № 35. – С. 4–5.
7. Производство арматуры большого диаметра с пределом текучести 500 Н/мм<sup>2</sup> / А.И. Погорелов, А.Б. Юрьев, В.А. Недорезов [и др.] // *Черная металлургия: Бюл. НТИ.* – 2003. – № 6. – С. 40–42.
8. Файзуллаев Дж.С. Исследование и разработка технологии металлокомпозитной прокатки арматуры № 14 класса А500С по ГОСТ 52544 // *Композиционные материалы.* – 2021. – № 4. – С. 185–188.