

**ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТІНІҢ
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ**

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТА**

**ҚАЗАҚСТАН ҒЫЛЫМЫ
МЕН ТЕХНИКАСЫ**

2001 ЖЫЛДАН БАСТАП ШЫҒАДЫ



**НАУКА И ТЕХНИКА
КАЗАХСТАНА**

ИЗДАЕТСЯ С 2001 ГОДА

ISSN 1680-9165

№ 1 (2021)

ПАВЛОДАР

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
ТОРАЙГЫРОВ УНИВЕРСИТЕТ**
выходит 1 раз в квартал

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания
№ KZ63VPY00028965

выдано
Министерством информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

публикация результатов фундаментальных и прикладных научных исследований
по широкому спектру проблем в области металлургии, машиностроения, транспорта,
строительства и естественных наук

Подписной индекс – 76129

<https://doi.org/10.48081/ERLV4618>

Импакт-фактор РИНЦ – 0,344

Абишев Кайратолла Кайроллинович – к.т.н., профессор (главный редактор);
Касенов Асылбек Жумабекович – к.т.н., профессор (заместитель главного редактора);
Мусина Жанара Керейовна – к.т.н., профессор (ответственный секретарь);
Шокубаева Зауреш Жанатовна – технический редактор.

Члены редакционной коллегии:

Калиакпаров Алтай Гиндуллинович – д.т.н., профессор (Нур-Султан, Казахстан);
Клецель Марк Яковлевич – д.т.н., профессор (Павлодар, Казахстан);
Шеров Карибек Тагаевич – д.т.н., профессор (Караганда, Казахстан);
Богомолов Алексей Витальевич - к.т.н., ассоц. профессор (Павлодар, Казахстан);
Кажыбаева Галия Тулеуевна - к.т.н., профессор (Павлодар, Казахстан);

Зарубежные члены редакционной коллегии:

Waigang Sun – профессор (Пекин, Китай);
Gabriele Comodi – PhD, профессор (Анкона, Италия);
Jianhui Zhao – профессор (Харбин, Китай);
Khamid Mahkamov – д.т.н., профессор (Ньюкасл, Великобритания);
Magin Laruerta – д.т.н., профессор (СьюДад Исаева КуралайСметкановна Реал, Испания);
Mareks Mezitis – д.т.н., профессор (Рига, Латвия);
Petr Bouchner – PhD, профессор (Прага, Чехия);
Ronny Berndtsson – профессор (Лунд, Швеция);
Барзов Александр Александрович – д.т.н., профессор (Москва, Россия);
Витвицкий Евгений Евгеньевич – д.т.н., профессор (Омск, Россия);
Иванчина Эмилия Дмитриевна – д.т.н., профессор (Томск, Россия);
Лазарев Владислав Евгеньевич – д.т.н., профессор (Челябинск, Россия);
Мягков, Леонид Львович – д.т.н., профессор (Москва, Россия);
Янюшкин Александр Сергеевич – д.т.н., профессор (Чебоксары, Россия);
Ребезов Максим Борисович – д.с/х.н., профессор (Москва, Россия).

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели
Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов
При использовании материалов журнала ссылка на журнал «Наука и техника Казахстана» обязательна

© Торайгыров университет

<https://doi.org/10.48081/RWGA4120>

**С. Р. Масакбаева, Д. К. Бекенов, Р. М. Несмеянова,
С. Ю. Ковтарева**

Торайгыров университет,
Республика Казахстан, г. Павлодар

ЛЕГИРОВАНИЕ МОЛИБДЕНОМ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА СВОЙСТВА СТАЛИ

В современном мире сталь является важнейшим техническим материалом, а повышение ее разнообразных свойств – задачей, в значительной степени, обуславливающей технический процесс многих отраслей техники. Легирование стали определенными элементами является решением поставленных задач. Введение в сталь в определенных количествах элементов, называемых легирующими, позволяет устранить недостатки стали, улучшить ее механические свойства, а также иные особые физико-химические свойства, которыми обычная сталь не обладает.

Целью данного исследования является подбор оптимального количества молибдена для получения требуемых механических свойств стали после нормализации, не прибегая к режиму термообработки.

Ключевые слова: молибден, легирование, сталь, химический состав, физико-механические свойства, нормализация.

Введение

Молибден добавляется в сталь в небольших количествах. Добавки молибдена должны быть ограничены, так как малые дозы могут стать неэффективными, а слишком большие добавки могут привести к хрупкости и красноломкости стали [1].

Он легко образует карбиды в сталях, как только содержание углерода в стали становится достаточно высоким [2]. Молибден растворяется в цементите лишь незначительно и может обеспечить дополнительное термическое упрочнение при отпуске закаленных сталей. Повышает стойкость к разрушению низколегированных сталей при высоких температурах [3].

Добавки молибдена способствуют измельчению зерна сталей, повышают прочность стали при термической обработке и повышают усталостную прочность стали. Легированные стали с содержанием молибдена 0,10–0,20 % замедляет возникновение отпускной хрупкости, но не исключают ее полностью [4]. Он повышает коррозионную стойкость сталей и поэтому широко используется в высоколегированных ферритных нержавеющей сталей и в хромоникелевой аустенитной нержавеющей стали. Высокое содержание молибдена снижает склонность нержавеющей стали к точечной (питтинговой) коррозии [5].

Молибден для легирования стали вводят в количестве 0,2–5 %. Он повышает прочность и твердость стали до 0,6 %, улучшает ее пластические свойства, значительно увеличивает прокаливаемость стали, а также обладает свойством устранять отпускную хрупкость. К его недостаткам можно отнести дороговизну и дефицитность. Конструкционная сталь содержит 0,2–0,4 % Мо. Так как, молибден при высоких температурах значительно увеличивает прочность стали, то его вводят в теплостойкие (0,4–0,6 %) и жаропрочные (2–5 %) стали. Например, некоторые жаропрочные сплавы могут содержать более 5 % Мо.

Целью данной работы изучение влияния легирования молибденом на механические свойства углеродистой стали.

Материалы и методы.

Для исследования была выбрана сталь Т-1, в условиях ПФ ТОО «KSP Steel». Нормируемые значения по химическому составу стали приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Нормируемые значения химического состав стали Т-1, %

Хим. элементы		C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Al	Cu
Требуемый состав	min	0,34	0,15	1,25	–	–	0,25	–	–	0,01	–
	max	0,37	0,35	1,50	0,020	0,020	–	0,25	0,08	0,05	0,25

Важное значение приобретает правильный выбор исходного химического состава для дальнейшего легирования молибденом. Для исследования была взята плавка из стали Т-1 для определения физико-механических свойств. Данные по химическому составу указаны в таблице 2.

Таблица 2 – Химический состав опытных плавков, %

Плавки	№ плавки	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Al	Cu	V
Сравнительные образцы	5191924	0,35	0,26	1,40	0,010	0,009	0,05	0,12	0,02	0,02	0,24	0,001

Как можно увидеть из таблицы 2 плавка не легирована молибденом. Были проведены испытания на сопротивление материала к разрыву, растяжению, которые приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Механические свойства трубы сравнительной плавки из марки стали Т-1

№ плавки	Состояние труб	Временное сопротивление разрыву σ_B , не менее, Мпа	Предел текучести σ_T , Мпа	Относительное удлинение δ_5 , %, не менее
5191924	Горячекатанные	668,2	486,6	26,0
	Термообработанные	782,2	719,6	18,2

Данные результатов механических свойств горячекатанных труб соответствуют группе прочности Д (норма σ_b минимум 655 МПа, σ_t 379–552 МПа, δ_5 14,3 %), согласно ГОСТ 633-80.

Данные результатов механических свойств термообработанных труб соответствуют группе прочности Е (норма σ_b минимум 689 МПа, σ_t 552–758 МПа, δ_5 13 %), согласно ГОСТ 633-80.

Как видно из таблицы 3 трубы, проходя термическую обработку закалка и отпуск, меняют механические свойства, то есть становятся более прочными к разрыву.

Испытания на физико-механические свойства проводили на разрывной электромеханической машине на 60 тонн по ГОСТ 10006-80 «Трубы металлические. Метод испытания на растяжение». За результат испытания принимают механические свойства, полученные при испытании каждого образца. Количество образцов для испытаний указывается в нормо-технической документации на трубы.

При растяжении образца до разрушения графически фиксируются зависимости между приложенным усилием и удлинением образца. В результате получают диаграммы деформации. Деформация образца при нагружении сначала является малоупругой, а затем постепенно при неодинаковой нагрузке переходит в пластическую, происходящую путем сдвигов по дислокационному механизму. Накопление дислокаций при их значительной плотности приводит к возникновению очагов разрушения, что обеспечивает полное разрушение образца в целом.

При испытании на растяжение графическими аналитическим способом определяют предел текучести, временное сопротивление и относительное удлинение.

Результаты и обсуждение

Легирование стали молибденом производилось введением в печь ферромолибдена, содержащего 55–65 % Мо, не более 1 % Si, не более 0,10 % С, не более 0,10 % S, не более 0,05 % Р, не более 0,50 % Cu, вводят из расчета среднего марочного их содержания без учета угара, а затем дают шлакообразующие в количестве 2,5–3,5 % от массы расплава [6]. Так как молибден окисляется незначительно, и основное количество ферромолибдена вводится в печь в окислительный период плавки.

Молибден, сначала уменьшает, а затем увеличивает содержание углерода в стали.

В ходе эксперимента было получено 5 опытных плавков с разным содержанием молибдена, для сравнения и определения оптимального содержания молибдена в стали.

Полученный химический состав опытных плавков приведен в таблице 4.

Таблица 4 – Химический состав опытных плавков, %

№ плавки	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Al	Cu	Mo	V
№ 1	0,40	0,23	1,35	0,013	0,012	0,03	0,11	0,02	0,16	0,12	0,001
№ 2	0,42	0,27	1,34	0,012	0,013	0,05	0,14	0,02	0,2	0,14	0,002
№ 3	0,38	0,27	1,33	0,015	0,010	0,04	0,10	0,02	0,19	0,16	0,002
№ 4	0,39	0,24	1,34	0,013	0,015	0,05	0,08	0,02	0,18	0,18	0,001
№ 5	0,41	0,26	1,31	0,007	0,013	0,04	0,08	0,02	0,17	0,20	0,003

После легирования полученные плавки проходили всю технологию прокатки стальных бесшовных труб. По завершению технологических процессов прокатки, готовая продукция была испытана на механические свойства.

Данные по механическим свойствам представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Механические свойства опытных плавок

Наименование показателей	Нормируемые показатели группы прочности E по ГОСТ 633-80	№1	№2	№3	№4	№5
Временное сопротивление разрыву σ_B , не менее, МПа	689	699,5	710,7	727,8	734,2	747,2
Предел текучести σ_T , МПа	552-758	500,4	533,0	542,6	558,3	577,0
Относительное удлинение δ_5 , %, не менее	13	23,4	22,8	23,0	24,1	24,6

По результатам исследования можно увидеть динамику роста временного сопротивления материала к разрыву (таблице 6).

Таблица 6 – Динамика изменения механических свойств

№	Исходная	Опытная	% изменения прочности	% изменения текучести	% изменения удлинения
1	5191924	№1	4,7↑	2,7↑	10↓
2		№2	6,4↑	9,5↑	12,3↓
3		№3	8,9↑	11,5↑	11,5↓
4		№4	9,9↑	14,7↑	7,3↓
5		№5	11,8↑	18,6↑	5,4↓

По полученным результатам можно сделать выводы, что для достижения оптимальных параметров по физико-механическим свойствам нужно легировать молибденом до 0,20 %, что позволяет повысить временное сопротивление на 11,8 %, а предел текучести на 18,6 %.

Выводы

Для изучения легирования стали молибденом была выбрана сталь Т-1, в условиях ПФ ТОО «KSP Steel». Так как, легирование молибденом позволяет получить требуемые механические свойства после нормализации, не прибегая к режиму термообработки, что позволяет сократить время для получения готовой продукции. Были проведены исследования по определению оптимального содержания молибдена в стали. Анализ результатов показал, что наиболее эффективным является содержание молибдена в стали 0,2 %, при этом повышается прочность материала на 11,8 %, текучесть на 18,6 %.

Список использованных источников

1 Вязников, Н. Ф. Легированная сталь [Текст]. – М. : Металлургиздат, 1963. – 273 с.

2 **Бейн, Э.** Влияние легирующих элементов на свойства стали [Текст]. – М. : Metallurgizdat, 1945. – 333 с.

3 **Курдюмов, Г. В., Утевский, Л. М., Энтин, Р. И.** Превращения в железе и стали [Текст]. М. : Наука, 1977. – 236 с.

4 **Пумпянский, Д. А., Пышминцев, И. Ю., Фарбер, В. М.** Методы упрочнения трубных сталей [Текст] // Сталь. – 2005. – № 7. – С. 67–74.

5 **Михалев, М. С., Гольдштейн М. И.** Влияние легирующих элементов и расчет прочности низколегированных сталей [Текст] // Сталь. – 1958. – № 10. – С. 942–946.

6 ГОСТ 4759-91. Ферромolibден. Технические условия и условия поставки. – М. : Стандартиформ, 2006. – 8 с.

7 **Браун, М. П.** Микролегирование стали [Текст]. – Киев : Наукова думка, 1982. – 302 с.

8 **Михалев, М. С., Гольдштейн М. И.** Влияние легирующих элементов и расчет прочности низколегированных сталей [Текст] // Сталь. – 1958. – Т. 10. – С. 942–946.

9 **Morrison, W. B.** Microalloy steels - the beginning // Mater. Sci. Technol. – 2009. – № 25. – P. 1068–1073.

10 **Kozasu, I., Shimizu, T. and Kubota, H.** Controlled rolling of microalloyed steels // Trans. Iron and Steel Inst. Japan. – 1971. – V. 11. – P. 367–375.

References

1 **Vyaznikov, N. F.** Legirovannaya stal [Alloy steel] [Text]. – Moscow : Metallurgizdat, 1963. – 273 p.

2 **Bein, E.** Vliyanie legiruyuschih elementov na svoistva stali [Influence of alloying elements on the properties of steel] [Text]. – Moscow : Metallurgizdat, 1945. – 333 p.

3 **Kurdyumov, G. V., Utevskii, L. M., Entin R. I.** Prevrashcheniya v jeleze i stali [Transformations in iron and steel] [Text]. – Moscow : Science, 1977. – 236 p.

4 **Pumpyanskii, D. A., Pishminceev, I. Yu., Farber, V. M.** Metodi uprochneniya trubnih staley [Methods of strengthening pipe steels] [Text]. Steel. – 2005. – № 7. – P. 67–74.

5 **Mihalev, M. S., Goldshtein, M. I.** Vliyanie legiruyuschih elementov i raschet prochnosti nizkolegirovannih staley [Influence of alloying elements and calculation of the strength of low-alloy steels] [Text]. Steel. – 1958. – № 10. – P. 942–946.

6 GOST 4759-91. Ferromolibden. Tehnicheskie usloviya i usloviya postavki. [Ferromolybdenum. Specifications and conditions of delivery]. – M.: Standartinform, 2006. – 8 p.

7 **Braun, M. P.** Mikrolegirovanie stali [Microalloying of steel] [Text]. – Kiev : Naukova Dumka, 1982. – 302 p.

8 **Mihalev, M. S., Goldshtein, M. I.** Vliyanie legiruyuschih elementov i raschet prochnosti nizkolegirovannih staley [Influence of alloying elements and calculation of the strength of low-alloy steels] [Text]. Steel. – 1958. – V. 10. – P. 942–946.

9 **Morrison, W. B.** Microalloy steels - the beginning // Mater. Sci. Technol. – 2009. – № 25. – P. 1068–1073.

10 Kozasu, I., Shimizu, T. and Kubota, H. Controlled rolling of microalloyed steels
// Trans. Iron and Steel Inst. Japan. – 1971. – V. 11. – P. 367–375.

Материал поступил в редакцию 25.03.21.

S. P. Massakbayeva, D. K. Bekenov, R. M. Nesmeyanova, S. Y. Kovtareva

Торайғыров университеті,
Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.
Материал 25.03.21 баспаға түсті.

МОЛИБДЕНМЕН ЛЕГІРЛЕУ ЖӘНЕ ОНЫҢ БОЛАТ ҚАСИЕТТЕРІНЕ ӘСЕРІ

Қазіргі әлемде болат маңызды техникалық материал болып табылады, ал оның әр түрлі қасиеттерін арттыру – техниканың көптеген салаларының техникалық процесін шарттайтын маңызды дәрежеде міндет болып табылады. Болатты белгілі бір элементтермен легірлеу қойылған мақсаттардың шешімі болып табылады. Легірлеуші деп аталатын элементтердің белгілі бір мөлшерін болатқа енгізу болаттың кемшіліктерін жоюға және оның механикалық қасиеттерін жақсартуға, сондай-ақ қарапайым болатта жоқ өзге де ерекше физика-химиялық қасиеттерін жақсартуға мүмкіндік береді еді.

Бұл зерттеудің мақсаты термоөңдеу режиміне жүгінбей, қалыпқа келтіруден кейін қажетті механикалық қасиеттерді алу үшін молибденнің оңтайлы мөлшерін таңдау болып табылады.

Кілтті сөздер: молибден, легірлеу, болат, химиялық құрамы, физика-механикалық қасиеттері, қалыпқа келтіру.

S. R. Massakbayeva, D. K. Bekenov, R. M. Nesmeyanova, S. Y. Kovtareva

Toraighyrov University,
Republic of Kazakhstan, Pavlodar.
Material received on 25.03.21.

ALLOYING WITH MOLYBDENUM AND ITS EFFECT ON STEEL PROPERTIES

In the modern world, steel is the most important technical material, and improving its various properties is a task that largely determines the technical process of many branches of technology. Alloying steel with certain elements is the solution to the tasks set. The introduction of certain amounts of elements in steel, called alloying elements, can eliminate the disadvantages of steel, improve its mechanical properties, as well as other special physical and chemical properties that ordinary steel does not have.

The purpose of this study is to select the optimal amount of molybdenum to obtain the required mechanical properties after normalization, without resorting to heat treatment.

Keywords: molybdenum, alloying, steel, chemical composition, physical and mechanical properties, normalization.

Теруге 25.03.21 ж. жіберілді. Басуға 05.04.21 ж. қол қойылды.

Электрондық баспа

2,74 Мб RAM

Шартты баспа табағы 9,7. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген З. С. Искакова

Корректор: А. Р. Омарова

Тапсырыс № 3747

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов көш., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

67-36-69

e-mail: kereku@tou.edu.kz

nitk.tou.edu.kz