

CALCULATION METHODS OF DEVELOPMENT OF WELDING TECHNOLOGY OF LOW-CARBON LOW-ALLOY STEELS

РАСЧЕТНЫЕ МЕТОДЫ РАЗРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИИ СВАРКИ НИЗКОУГЛЕРОДИСТЫХ НИЗКОЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ

Hennadii V. Yermolaiev

gennadii.yermolaiev@nuos.edu.ua

ORCID: 0000-0002-8903-5669

Volodymyr O. Martynenko

volodymyr.martynenko@nuos.edu.ua

ORCID: 0000-0003-4067-3640

Semen A. Yermolaiev

gennadii.yermolaiev@nuos.edu.ua

Volodymyr V. Spikhtarenko

vladimir.kherson@mail.ru

ORCID: 0000-0002-6328-9791

Г. В. Ермолаев,

канд. техн. наук, доц.¹;

В. А. Мартыненко,

канд. техн. наук, доц.¹;

С. А. Ермолаев,

студ.¹;

В. В. Спихтаренко,

доц.²

¹National University of Shipbuilding, Mykolayiv

²National University of Shipbuilding Kherson branch, Kherson

¹Национальный университет кораблестроения, г. Николаев

²Херсонский филиал Национального университета кораблестроения, г. Херсон

Abstract. The application of calculation methods under the development of welding technology of low-carbon low-alloy steels is considered. The aim of paper is to develop the engineering methodology and design program of welding technology of low-carbon low-alloy steels, including the increased and high strength on the basis of presented regression equations. The estimation results of the HAZ expected structural composition for the 09Г2 steel have been analyzed according to the thermokinetic transformation diagram and calculation with the usage of regression equation for different variants of chemical composition provided by the standard. In this case, the task of determination of parameters of mode and technological methods which provide the obtaining of appropriate structure and mechanical properties of the HAZ metal. The calculation procedure of welding mode which provides the optimal structure of the welded joint has been considered using data analysis and on the example of automatic submerged-arc welding of the butt joint of 30 mm thick from the 14ХМНФДР high-strength steel. One of the most important advantages of the considered calculation method is the simplicity of its operation on the computer which simplifies and speeds the work of an engineer and increases the results accuracy. After the analysis of these results the engineer can introduce another value of the preheat temperature and therefore to choose the appropriate structure and mechanical properties of the welded joint. The application of regression equations allows taking into account the specific steel chemical composition and obtaining more trustworthy calculation result comparing to the result of thermokinetic transformation diagram. Moreover, these equations give more full information both on metal structural composition of heat-affected zone and on its mechanical properties. The calculation is easily performed on the computer which allows simplifying and speeding the work of engineer, increasing the results accuracy.

Keywords: low-carbon low-alloy steel, welding technology, calculation methods, PC application.

Аннотация. Проанализированы результаты расчета ожидаемого структурного состава зоны термического влияния для стали 09Г2 по имеющейся в литературе диаграмме термокинетического превращения и расчетам с использованием уравнений регрессии для различных вариантов химического состава, предусмотренного стандартом. Рассмотрена процедура определения параметров режима и технологических приемов, обеспечивающих получение нужной структуры и механических свойств металла зоны термического влияния.

Ключевые слова: низкоуглеродистые низколегированные стали, технология сварки, расчетные методы, применение ПК.

Анотація. Проаналізовано результати оцінки очікуваного структурного складу зони термічного впливу для сталі 09Г2 за наявною в літературі діаграмою термокінетичного перетворення і розрахунком з використанням

рівнянь регресії для різних варіантів хімічного складу, передбаченого стандартом. Розглянуто процедуру визначення параметрів режиму і технологічних прийомів, що забезпечують отримання потрібної структури і механічних властивостей металу зони термічного впливу.

Ключові слова: низьковуглецеві низьколеговані сталі, технологія зварювання, розрахункові методи, застосування ПК.

REFERENCES

- [1] *GOST 19281–89 Prokat iz stali povyshennoy prochnosti. Obshchye tekhnicheskiye usloviya.* [State Standard 19281–89. Rolling of high-strength steel. General specifications]. Moscow, Standartinform Publ., 1991. 23 p.
- [2] Kasatkin B.S., Musiyachenko V.F. *Nizkolegированные стали высокой прочности для сварных конструкций* [Low-alloy high-strength steel for welded structures]. Kyiv, Tekhnika Publ., 1970. 188 p.
- [3] Kasatkin O.G., Zayfart P. *Interpolyatsionnye modeli dlya otsenki fazovogo sostava zony termicheskogo vliyaniya pri dugovoy svarke nizkolegированных сталей* [Interpolation models for assessment the phase composition of the heat affected zone under arc welding of low-alloy steels]. *Avtomaticheskaya svarka – Automatic welding*, 1984, no 1, pp. 7–11.
- [4] Lebedev Yu.M., Kravchenko L.P., Danilyuk N.M. *Metodika modelirovaniya svarochnykh termodeformatsionnykh tsiklov* [Welding technique of thermal deformation cycles modeling]. *Avtomaticheskaya svarka – Automatic welding*, 1978. no 12, pp. 12–14.
- [5] Popova L.Ye., Popov A.A. *Diagrammy prevrashcheniya austenita v stalyakh i beta-rastvora v splavakh titana* [Diagrams of austenite transformation in steels and beta solution in titanium alloys]. Moscow, Metallurhiya Publ., 1991. 503 p.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

При разработке технологии сварки низколегированных сталей, в частности высокопрочных, помимо оценки склонности к образованию горячих и холодных трещин, приходится решать задачу определения параметров режима и технологических приемов, обеспечивающих получение нужной структуры и механических свойств металла зоны термического влияния (ЗТВ).

При решении этой задачи обычно используют наложение кривой охлаждения на диаграмму термокинетического превращения аустенита для рассматриваемой стали [2, 4]. Построение таких диаграмм довольно сложно, и они получены далеко не для всех марок сталей. Кроме того, при большом разнообразии используемых марок сталей для каждой из них нормативные документы устанавливают содержание основных легирующих элементов либо предельную величину (не более), либо интервал концентраций. Вместе с тем, очевидно, что изменение содержания отдельных элементов даже в пределах, установленных нормами, может существенно изменить структуру и механические свойства металла ЗТВ. Поэтому перспективным является применение для решения этой задачи расчетных методов.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

В ИЭС им. Патона на основе анализа литературных данных и исследования большого количества диаграмм термокинетического распада аустенита под руководством О.Г. Касаткина разработаны математические модели в виде уравнений регрессии, позволя-

ющие рассчитать с достаточной степенью точности фазовый состав высокотемпературных участков ЗТВ многих низколегированных сталей и показатели ее механических свойств в зависимости от химического состава и длительности охлаждения в диапазоне 850...500 °C [3].

ЦЕЛЬ РАБОТЫ – проверка целесообразности применения уравнений регрессии вместо диаграмм термокинетического распада аустенита и разработка инженерной методики и программы проектирования технологии сварки низкоуглеродистых низколегированных сталей, в том числе повышенной и высокой прочности, на базе имеющихся уравнений регрессии.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Для сравнения были проанализированы результаты оценки ожидаемого структурного состава ЗТВ для стали 09Г2, химический состав который приведен в табл. 1.

Результаты расчета по уравнениям регрессии представлены на рис. 1.

Как видно из рисунка, изменение химического состава в пределах, установленных нормами, может существенно изменить фазовый состав. Так, при времени охлаждения 10 с содержание мартенсита изменяется практически от 0 до 50 %, а бейнита – от 100 до 50 %. При времени охлаждения 50 с содержание феррита изменяется от 0 до более 50 %, а перлита – от 0 до 17 %. На диаграммах термокинетического превращения аустенита процентное содержание фаз приводится не всегда.

Таблица 1. Химический состав стали повышенной прочности 09Г2

Содержание элементов	Элементы							
	C	Mn	Si	Cr	Ni	Cu	S	P
По ГОСТ 19281–89 [1]	0,08...0,12	1,4...1,8	0,17...0,37	0,1...0,3	0...0,3	0,1...0,3	0,03...0,04	0,03...0,035
Номинальное значение	0,11	1,68	0,30	0,15	0,16	0,15	–	–

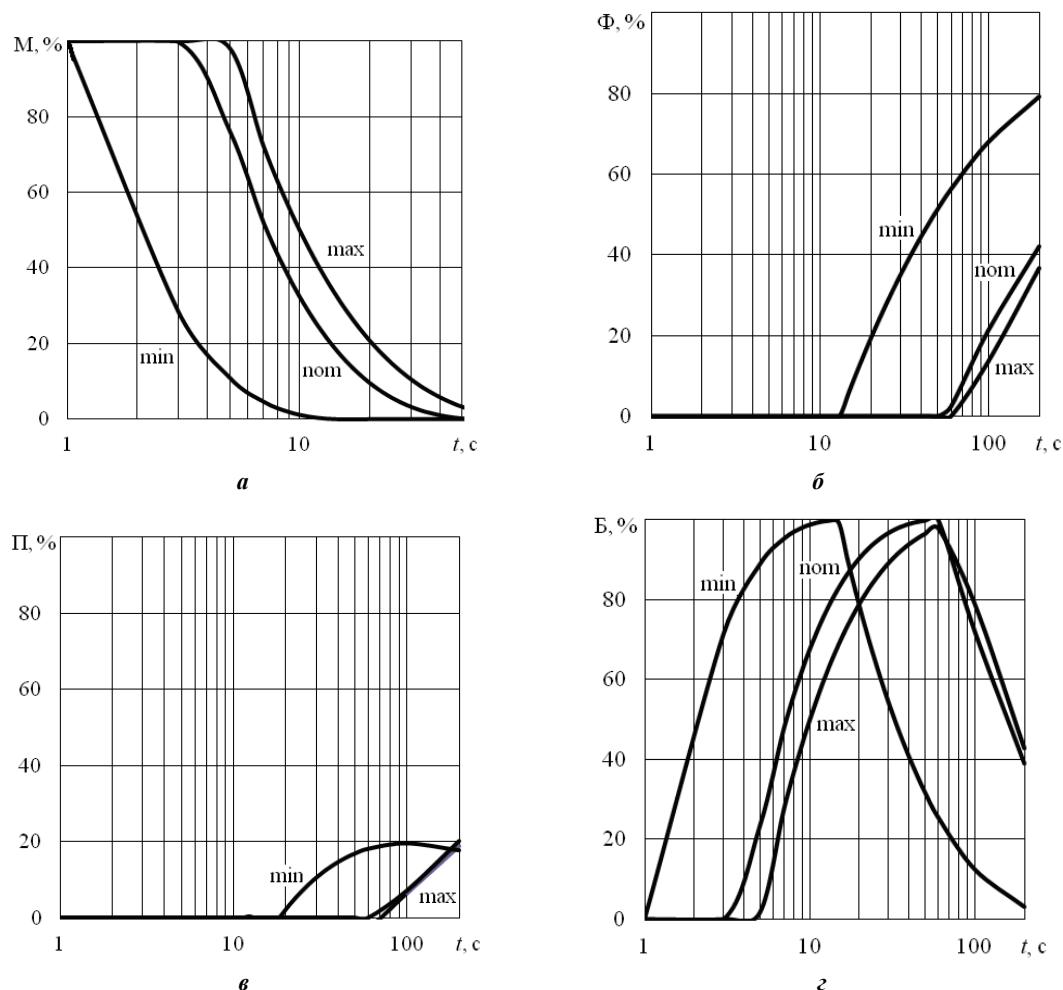


Рис. 1. Содержание мартенсита (а), феррита (б), перлита (в) и бейнита (г) в ЗТВ стали 09Г2 в зависимости от времени охлаждения 850...500 °С при минимальном, номинальном и максимальном содержании легирующих элементов

Приведенный пример показывает, что расчетным методом можно с минимальными затратами и с большей точностью определить ожидаемую структуру металла ЗТВ в зависимости от времени охлаждения $t_{850...500}$ и выбрать оптимальную его величину. При этом расчет позволяет учесть фактический химический состав стали.

Фактическую продолжительность охлаждения в заданном интервале температур (850...500 °С) определяют из термических циклов ЗТВ, рассчитанных по формулам теории распространения тепла при сварке. В частности, для быстро движущихся источников при наплавке на массивное тело

$$t = \frac{q}{2\pi\lambda v_{св}} \left(\frac{1}{500 - T_0} - \frac{1}{850 - T_0} \right), \quad (1)$$

где q – эффективная тепловая мощность сварочного источника нагрева, Дж/с; λ – коэффициент теплопроводности, Дж/(см·с·град); $v_{св}$ – скорость сварки, см/с; T_0 – начальная температура изделия, °С.

Результаты расчета продолжительности остывания при наплавке валиков на массивное тело с погонной энергией (q/v) 10000, 20000, 30000 и 50000 Дж/см и при различной начальной температуре (0...300 °С) по выражению (1) приведены на рис. 2. Коэффициент теплопроводности для стали принят 0,4 Дж/(см·с·град).

Пользуясь графиками зависимости фазового состава от времени охлаждения (см. рис. 1) и зависимости времени остывания от начальной температуры (см. рис. 2), можно выбрать необходимую начальную

температуру (температуру предварительного подогрева) для заданной погонной энергии сварки, исходя из желаемого состава структурных фаз.

Повышение начальной температуры можно обеспечить не только различными техническими средствами (газокислородной горелкой, подогревающими матами, индукционным нагревом и т. д.), но и при-

менением блочного метода заварки (наплавки) слоев, так называемой «перевязки валиков», многопроходной сварки «каскадом» или «горкой». При этом длина соответствующего шага выбирается так, чтобы каждый последующий слой начинался после остывания предыдущего не ниже необходимой начальной температуры.

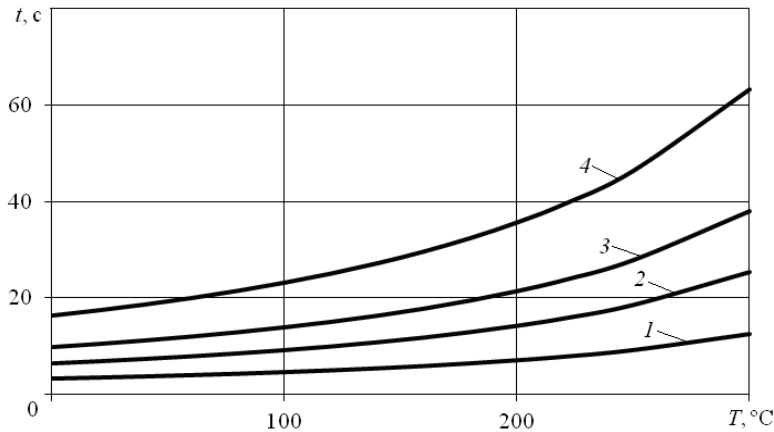


Рис. 2. Зависимость времени охлаждения в интервале 850...500 °C от температуры подогрева при погонной энергии 10000 (1), 20000 (2), 30000 (3) и 50000 (4) Дж/см для стали

Длину изотермы необходимой температуры также можно найти по формулам теории распространения тепла при сварке. Например, для сварки и наплавки на массивное тело (квазистационарное поле точечного быстро движущегося источника) температура на оси шва позади источника нагрева определяется формулой $T(t) = \frac{q_n}{2\pi\lambda t}$ или $t = \frac{q_n}{2\pi\lambda T}$, где t – время после прохода источника нагрева, с; λ – коэффициент теплопроводности материала, Дж/(см·с·град); $q_n = \frac{q}{v_{св}}$ – погонная энергия сварки, Дж/см; q – эффективная тепловая мощность источника нагрева, Дж/с; $v_{св}$ – скорость сварки, см/с.

Учитывая, что расстояние до точки с заданной температурой $l = tv_{св}$, получим $l = \frac{q}{2\pi\lambda T}$. Для боль-

шинства сталей $\lambda = 0,4$ Дж/(см·с·град), тогда получаем расстояние до точки с заданной температурой T , которое и определяет длину шага для обеспечения заданной температуры подогрева для следующего валика $l = 0,4 \frac{q}{T}$.

На рис. 3 приведены графические зависимости длины шага от необходимой начальной температуры при различных эффективных мощностях источника нагрева. Как видно из рисунка, при эффективной тепловой мощности источника нагрева, равной 20000 Дж/с (кривая 2), для обеспечения необходимой начальной температуры 100 °C для последующего валика необходим шаг, равный 80 см. При увеличении шага до 100 см начальная температура уменьшится до 80 °C, а при уменьшении до 60 см – наоборот, увеличится до 130 °C.

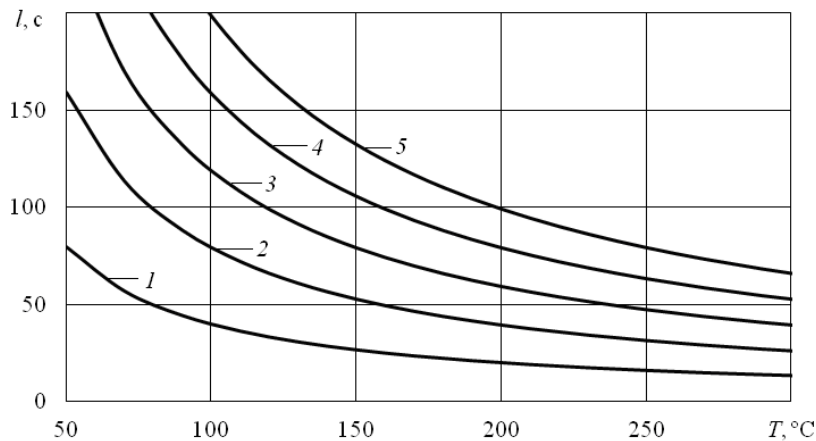


Рис. 3. Зависимости длины шага от необходимой начальной температуры при эффективных мощностях источника нагрева $q = 10000$ (1), 20000 (2), 30000 (3), 40000 (4) и 50000 (5) Дж/с

Механические свойства металла ЗТВ в зависимости от структурного состояния (долей содержания мартенсита М, бейнита Б, феррита и перлита Ф+П) и режима охлаждения также могут быть определены по уравнениям регрессии.

На рис. 4 приведены зависимости твердости ЗТВ в стали 09Г2 от времени охлаждения 850...500 °С, найденные по уравнениям регрессии и с помощью диаграммы термокинетического превращения. Сравнение показывает, что при больших скоростях охлаждения в диапазоне 850...500 °С (до 20 с) результаты очень близки, при малых скоростях расхождение увеличивается до 50 единиц HV.

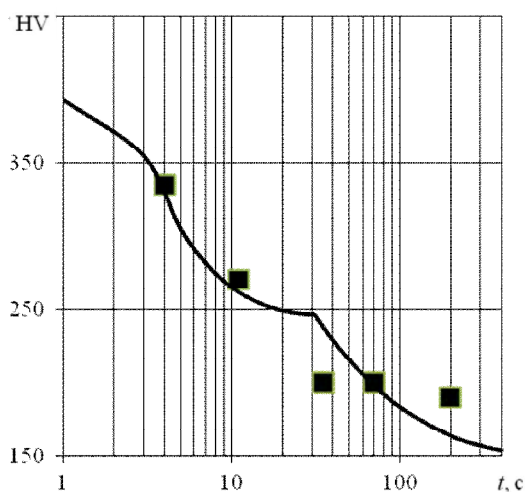


Рис. 4. Зависимость твердости HV металла ЗТВ от времени охлаждения в диапазоне 850...500 °С в стали 09Г2, полученная по уравнениям регрессии (кривая) и по диаграмме термокинетического превращения (точки)

Таблица 2. Расчетный химический состав стали 14ХМНФДР, %

C	Mn	Si	Cr	Ni	V	Cu	Mo	B	S	P
0,135	0,750	0,270	0,550	0,850	0,075	0,275	0,500	0,004	0,035	0,035

Тогда по известным формулам рассчитываем параметры режима: сила тока $I_{св} = 800$ А, напряжение на дуге 38 В, скорость сварки 1,3 см/с или 46,8 м/ч, площадь наплавленного металла за один проход 32,9 мм², количество проходов $n = 8/0,329 = 24,3$. Следовательно, для заполнения разделки необходимо выполнить по 12 проходов с каждой стороны.

Для анализа ожидаемой структуры используем уравнения регрессии [3]. Результаты расчета составляющих структуры в ЗТВ в зависимости от скорости охлаждения с учетом химического состава стали приведены на рис. 5. Из рисунка видно, что при увеличении времени $t_{850...500}$ от 4,5 до 9 с доля мартенсита снижается от 100 до 50 %, а при 60 с содержание мартенсита уменьшается до 0, структура становится полностью бейнитной. При дальнейшем увеличении времени $t_{850...500}$ до 200 с содержание бейнита снижается до 50 % за

Рассмотрим процедуру расчета режима сварки, обеспечивающего оптимальную структуру сварного соединения, на примере автоматической сварки под флюсом стыкового соединения с двухсторонним скосом двух кромок (Х-образная разделка) толщиной 30 мм и с площадью наплавки 8,0 см² из высокопрочной стали 14ХМНФДР [2] (табл. 2).

С экономической точки зрения нецелесообразно снижать погонную энергию, так как это не только увеличивает время сварки и скорость охлаждения, но и может потребовать предварительного подогрева. Вместе с тем для высокопрочных сталей максимальная величина погонной энергии при сварке ограничивается возможностью разупрочнения металла в околошовной зоне и повышения критической температуры хрупкости металла с бейнитно-мартенситной структурой. Для ее определения в настоящее время расчетные методы, к сожалению, отсутствуют. Она может быть определена экспериментально испытаниями на ударный изгиб сварных соединений, заваренных с различными погонными энергиями. Приемлемой следует считать погонную энергию, обеспечивающую в зоне сплавления необходимый уровень прочности, работы удара и критическую температуру (около -40 °С).

На основании анализа зависимости показателей прочности и трещиностойкости (по литературным данным или результатам экспериментов) для данной стали выбираем значение максимальной погонной энергии $q_n = 20000$ Дж/см, диаметр электрода $d = 5$ мм и плотность тока $j = 40$ А/мм².

счет соответствующего увеличения доли феррита и перлита.

Фактическую продолжительность охлаждения в заданном интервале температур (850...500 °С) с учетом большой толщины соединения и наплавки большого количества слоев определяем из термического цикла ЗТВ как для наплавки валика на массивное тело по рис. 2.

Из этого рисунка видно (кривая 2), что при погонной энергии 20000 Дж/см и начальной температуре 20...25 °С время охлаждения в интервале 850...500 °С составляет около 7 с. При такой скорости охлаждения в ЗТВ образуется 68 % мартенсита, что не обеспечивает требования по пластичности и трещиностойкости. Для получения структуры с содержанием не более 50 % мартенсита необходимо время охлаждения не менее 9 с (см. рис. 5). Это можно обеспечить предварительным подогревом до температуры 100 °С (см. рис. 2).

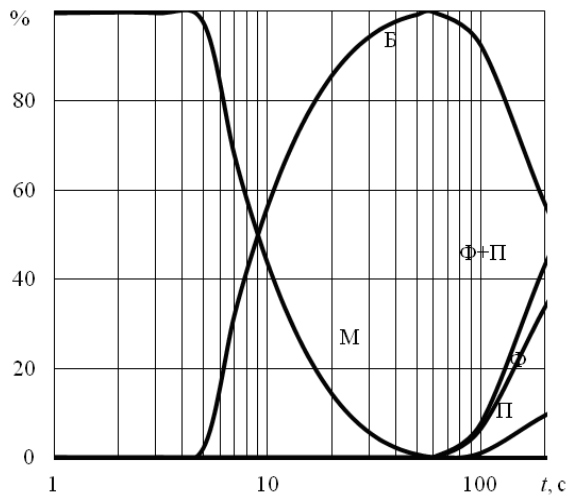


Рис. 5. Фазовый состав ЗТВ в зависимости от длительности охлаждения при сварке стали 14ХМНДФР

Результаты расчета ожидаемых характеристик механических свойств в зависимости от времени охлаждения 850...500 °С, найденные по уравнениям регрессии, и соответствующие характеристики в состоянии поставки, установленные стандартами, приведены на рис. 6, 7 и в табл. 3.

Анализ результатов показывает, что при назначенных режиме сварки (погонная энергия $q_n = 20000$ Дж/см) и температуре подогрева $T_0 = 100$ °С, обеспечивающих время охлаждения $t_{850...500}$, равное 10 с (см. рис. 2), ожидаемые твердость (около 315 HV), ударная вязкость KCU (около 93 Дж/см²), временное сопротивление σ_b (около 950 МПа), предел текучести σ_T (около 700 МПа), относительное удлинение δ (15 %) и относительное сужение ψ (37 %) в ЗТВ соответствуют характеристикам основного металла (см. табл. 3).

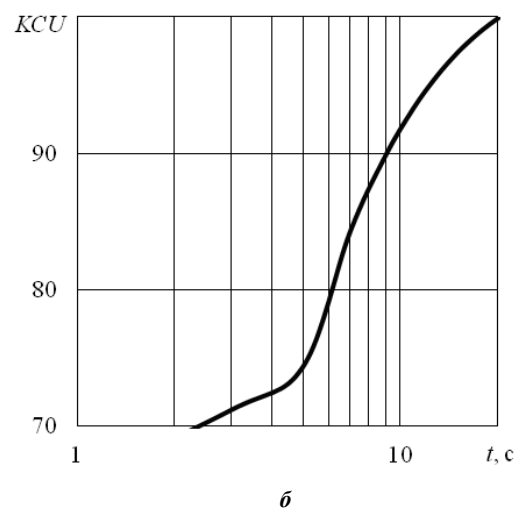
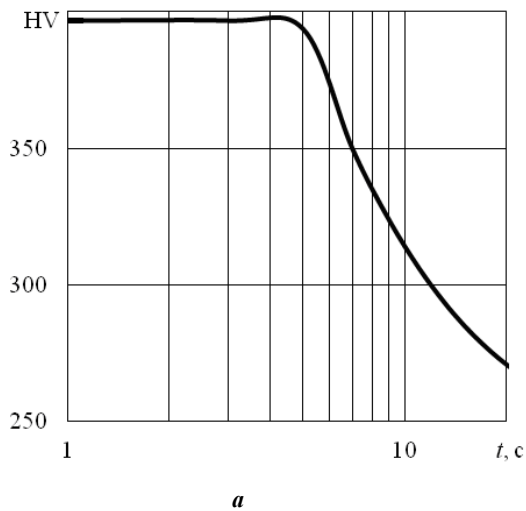


Рис. 6. Зависимость твердости HV (**a**) и ударной вязкости KCU (**б**) стали 14ХМНДФР от времени охлаждения в интервале 850...500 °С

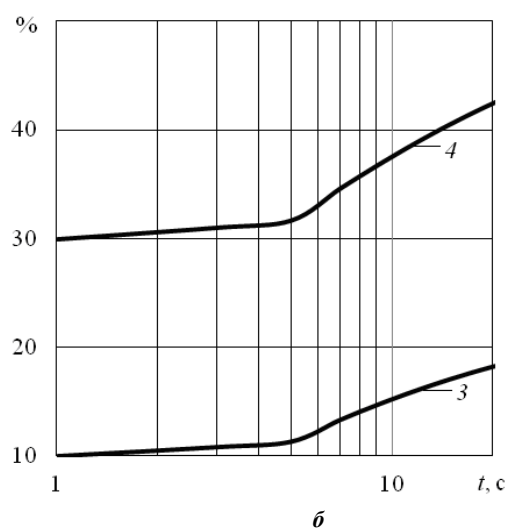
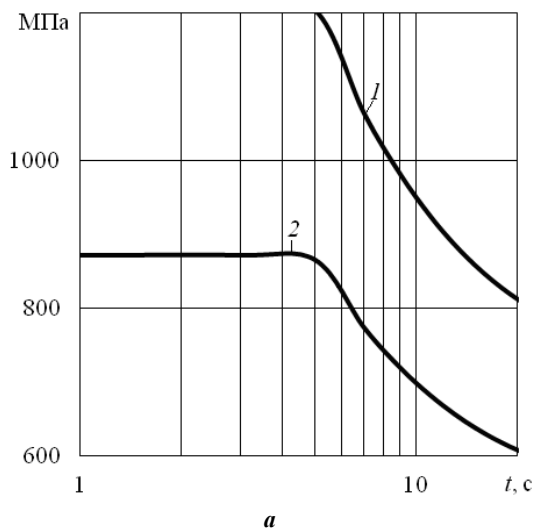


Рис. 7. Зависимость механических свойств стали 14ХМНДФР от времени охлаждения в интервале 850...500 °С: **a** – временного сопротивления (1) и предела текучести (2); **б** – относительного удлинения (3) и относительного сужения (4)

Таблица 3. Характеристики механических свойств стали 14ХМНДФР

σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	ψ , %	KCU, Дж/см ²
≥ 700	≥ 600	14	–	40

Одним из важных преимуществ рассмотренного расчетного метода является простота его реализации на компьютере, что позволяет намного упростить и ускорить работу технолога, повысить точность результатов.

Ниже приведен пример такой реализации с использованием программы расчета технологии дуговой сварки низколегированных сталей большой толщины, которая позволяет рассчитать параметры режима сварки стыковых соединений, ожидаемую структуру металла ЗТВ и характеристики механических свойств, определить при необходимости температуру предварительного подогрева.

Для расчета в компьютер вводят химический состав стали, ее теплофизические свойства (выбирают из предлагаемого интервала значений), толщину металла, размеры шва (разделки): ширину и высоту выпуклости, зазор, притупление, угол скоса кромок.

Кроме того, указывают рекомендуемые (выбранные) технологом плотность тока, диаметр электродной проволоки, эффективный КПД процесса нагрева, максимально допустимую погонную энергию, предлагаемую технологом температуру предварительного подогрева.

В результате расчета выдаются значения сварочного тока, напряжения на дуге, скорости сварки, коэффициента наплавки, общая площадь наплавленного металла, площадь одного слоя (валика), общее количество слоев. Здесь технолог при необходимости может округлить, уточнить и ввести принятое им количество слоев.

После пересчета выдаются уточненные значения площади одного слоя, скорости сварки, погонной энергии и эффективной тепловой мощности. Здесь же указывается длина блока, необходимая для обеспечения заданной начальной температуры при блочном методе сварки.

Далее выводятся результаты расчета структуры ЗТВ: продолжительность охлаждения в интервале температур 850...500 °С, содержание мартенсита, бейнита, феррита и перлита; характеристики механических свойств (твердость, временное сопротивление, предел текучести, относительное удлинение и сужение после разрыва) металла ЗТВ.

Все исходные данные и результаты расчета выводятся на печать в виде, приведенном на рис. 8. После анализа этих результатов технолог может ввести другое значение температуры предварительного подогрева и таким образом подобрать необходимую структуру и механические свойства сварного соединения.

ВЫВОДЫ

1. Использование уравнений регрессии позволяет учесть конкретный химический состав стали и получить более достоверные результаты расчета, чем с помощью диаграммы термокинетического превращения. Кроме того, уравнения регрессии дают более полную информацию как о структурном составе металла околошовной зоны, так и о его механических свойствах.

2. Разработаны инженерная методика и программа проектирования технологии сварки низкоуглеродистых низколегированных сталей, в том числе повышенной и высокой прочности, на базе имеющихся уравнений регрессии, что позволяет намного упростить и ускорить работу технолога, повысить точность результатов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] ГОСТ 19281–89. Прокат из стали повышенной прочности. Общие технические условия [Текст]. – М. : ИПК «Изд-во стандартов», 1991. – 23 с.
- [2] Касаткин, Б. С. Низколегированные стали высокой прочности для сварных конструкций [Текст] / Б. С. Касаткин, В. Ф. Мусияченко. – К. : Техніка, 1970. – 188 с.
- [3] Касаткин, О. Г. Интерполяционные модели для оценки фазового состава зоны термического влияния при дуговой сварке низколегированных сталей [Текст] / О. Г. Касаткин, П. Зайфарт // Автоматическая сварка. – 1984. – № 1. – С. 7–11.
- [4] Лебедев, Ю. М. Методика моделирования сварочных термомеханических циклов [Текст] / Ю. М. Лебедев, Л. П. Кравченко, Н. М. Данилюк // Автоматическая сварка. – 1978. – № 12. – С. 12–14.
- [5] Попова, Л. Е. Диаграммы превращения аустенита в сталях и бета-раствора в сплавах титана : справочник термиста [Текст] / Л. Е. Попова, А. А. Попов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Металлургия, 1991. – 503 с.

© Г. В. Єрмолаєв, В. О. Мартиненко, С. А. Єрмолаєв, В. В. Співтаренко

Надійшла до редколегії 15.05.2014

Статтю рекомендує до друку член редколегії ЗНП НУК
д-р техн. наук, проф. В. Ф. Квасницький

A	B	C	D	E	F	G	H	I
Технология автоматической сварки под флюсом низколегированной стали большой толщины								
Исходные данные								
Химический состав стали								
Марка стали	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	V	
proverka1	0,1	1,6	0,27	0,15	0,15	0	0	
Cu	Ti	Al	W	Nb	B	Smax	Pmax	
0,15	0	0	0	0	0	0	0,04	0,04
теплофизические свойства								
λ – коэф. теплопроводности,	0,4 Дж/(см·с·град);							
ср – объемная теплоемкость, ;	4,75 Дж/(см3 ·град)							
содержание дифф. водорода,	1,5 см3/100г;							
толщина металла	30 мм							
плотность тока,	40 А/мм2							
диаметр эл. проволоки,	5 мм							
максим. погонная энергия	20000 Дж/см							
эфф. КПД процесса нагрева η	0,85							
коэф. жесткости соединения	500 Н/мм3							
температура предв. подогрева,	20 град С							
размеры шва при X-образной разделке под углом α								
ширина выпуклости	e	60 мм						
высота выпуклости	g	6 мм						
зазор	b	2 мм						
пригибание	c	2 мм						
угол скоса кромок	α	30 град						

A	B	C	D	E	F	G	H	I
Результаты расчета режима сварки, ожидаемых фазового состава и механических свойств металла ЗТВ стали proverka 1 толщиной 30 мм								
Параметры режима сварки								
6	сварочный ток	785 А						
7	напряжение на дуге	38 В						
8	коэф.наплавки	14,8 гА/час						
9	количество слоев	25						
10	площадь одного слоя	0,33 см2						
11	скорость сварки	45,0 м/час						
12		1,3 см/с						
13	погонная энергия	20042 Дж/см						
14	эфф. тепловая мощность	25057 Дж/с						
15	максимальная длина блока	499 см						
16								
17	Продолжительность охлаждения							
18	от 850 до 500 град	7,0 с						
19								
20	фазовый состав ЗТВ, %%							
21	мартенсит	22						
22	бейнит	78						
23	феррит	0						
24	перлит	0						
25								
26	мех. свойства металла ЗТВ							
27	Твердость HV	279						
28	временное сопротивление	832 МПа						
29	предел текучести	606 МПа						
30	относительное удлинение	14 %						
31	относительное сужение	39 %						
32	ударная вязкость KCU	96 Дж/см2						
33								
34	мех. свойства наплавленного металла							
35	временное сопротивление	727 МПа						
36	предел текучести	480 МПа						
37	относительное удлинение	27 %						

б

Рис. 8. Форма вывода на печать расчета технологии: а – исходных данных; б – результатов расчета