

Д.Н. Тогобицкая, В.П. Пиптюк, И.Н. Логозинский, Б.А. Левин,

А.В. Яковицкий, А.С. Козачёк, О.В. Кукса

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТНОГО ВЛИЯНИЯ СОСТАВА
СТАЛИ 30ХГСА НА ФОРМИРОВАНИЕ
МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЕТАЛЛОПРОДУКЦИИ
ДЛЯ УСЛОВИЙ ПАО «ДНЕПРОСПЕЦСТАЛЬ»**

Аннотация. На примере стали марки 30ХГСА показана методика определения рационального элементного состава (в пределах марки) с использованием параметров межатомного взаимодействия. Выполнена оценка влияния примесно-микролегирующей подсистемы на механические свойства стали и внесены соответствующие коррективы за счет элементов матричной подсистем.

Ключевые слова: состав, свойства, межатомное взаимодействие, интегральные параметры, «суженные» диапазоны.

Введение. Сталь 30ХГСА, как конструкционный материал, имеет большие возможности для повышения ее качества и улучшения служебных свойств за счет совершенствования технологии производства, уникальных способов микролегирования с использованием возможностей физико-химической природы и физической структуры стали.

Конструкционная легированная сталь 30ХГСА относится к перлитно-ферритному классу. Из стали этой марки изготавливаются детали, работающие при больших ударных и знакопеременных нагрузках, такие как валы, оси, зубчатые колеса, ответственные сварные конструкции.

Согласно ГОСТу 4543-75 химический состав стали 30ХГСА находится в следующих диапазонах (вес.%): С - 0,28-0,34; Si - 0,9-1,2; Mn - 0,8-1,1; Cr - 0,8-1,1; S до 0,025; P до 0,025; Cu до 0,3; Ni до 0,3.

Механические свойства согласно ГОСТу 11269-76 следующие: σ_B , кгс/мм² -110, σ_T , кгс/мм² -85, δ_5 , %-10, ψ , %-45, КСУ, кгс м/см² –

© Тогобицкая Д.Н., Пиптюк В.П., Логозинский И.Н., Левин Б.А., Яковицкий А.В., Козачёк А.С., Кукса О.В., 2016

5 при режиме термической обработке - закалка 880°C, масло, отпуск 480-570°C, масло.

Результаты исследований. Расчетно-аналитические исследования проводились на данных интегрированной базы о составе и свойствах за период 2010-2014г.г.

На рис. 1 приведен сортамент продукции стали 30ХГСА по требуемым типоразмерам за период с 2010г. по 2014г.



Рисунок 1 – Сортамент продукции стали 30ХГСА за период с 2010 г. по 2014г.

Данные подвергались экспертному аудиту в соответствии с выбранной концепцией формирования репрезентативной выборки, описанной для стали 14Х17Н2 [1]. Рассмотрена выборка с режимом термической обработки - закалка 890°C-40мин. отпуск 540°C -40мин. (n=450). Для комплексной оценки качества продукции использовался интегральный критерий качества (рис.2):

$$K = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n \left(\frac{X_i}{X_H}\right)},$$

где i – количество показателей качества;

Π – символ их произведения.

В качестве X_H использованы согласно ГОСТу 11269-76 минимальные значения механических свойств стали (рис.2). Для выбранного режима термической обработки характерны достаточно стабильные, соответствующие ГОСТу, механические свойства в интервалах σ_s (кгс/мм²) - (110-135; 97 % значений), σ_T (кгс/мм²) - (85-123; 97 %), δ (%) - (10 -22; 100 %), ψ (%) - (45-67; 95 %), КСУ (кгс м/см²) – (5-9.6; 97%) .

Для оценки комплексного влияния элементного состава на механические свойства стали использована методика свертки химиче-

ского состава на основе параметров межатомного взаимодействия (рис. 3) [2].

Учитывая обратную связь между прочностными и пластическими свойствами ставилась задача поиска компромиссной области, обеспечивающей стабилизацию свойств на требуемом уровне. Как следует из рис. 4, оптимальное соотношение прочностных и пластических свойств находится в диапазоне $1,255 \leq Z^Y \leq 1,257$.

С целью выявления вклада в формирование механических свойств структурных подсистем – матричной (C, Si, Mn) и примесных (P, S) и (W, Ti, V, Mo) выполнен факторный анализ [3].

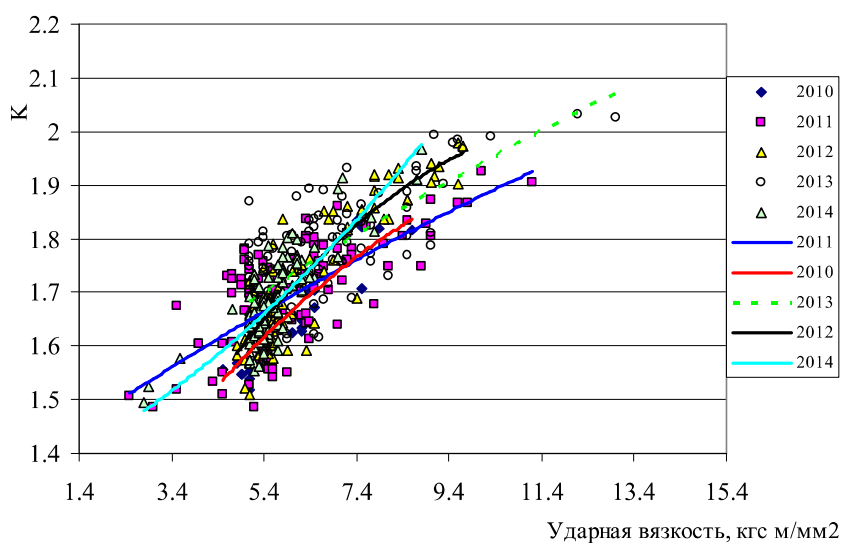


Рисунок 2 - Сравнительный анализ ударной вязкости 30ХГСА и комплексного критерия качества К

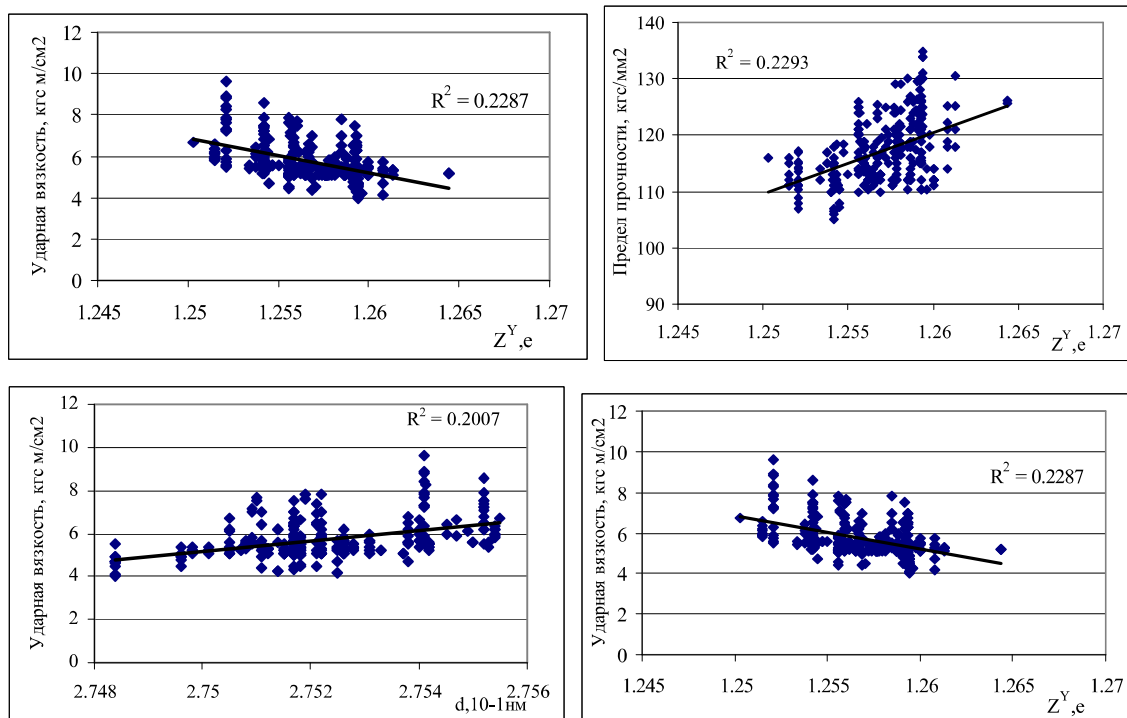


Рисунок 3 – Взаимосвязь параметров межатомного взаимодействия: физико-химического эквивалента - $ZY(e)$ и структурного параметра - $d(10-1nm)$ с механическими свойствами стали 30ХГСА

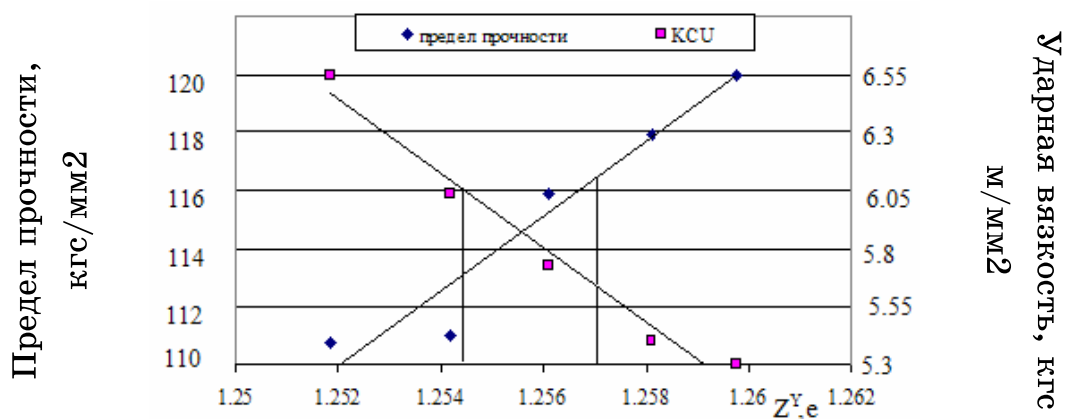


Рисунок 4– Графическая интерпретация трендов взаимосвязи механических свойств стали 30ХГСА и параметра зарядового состояния $ZY(e)$

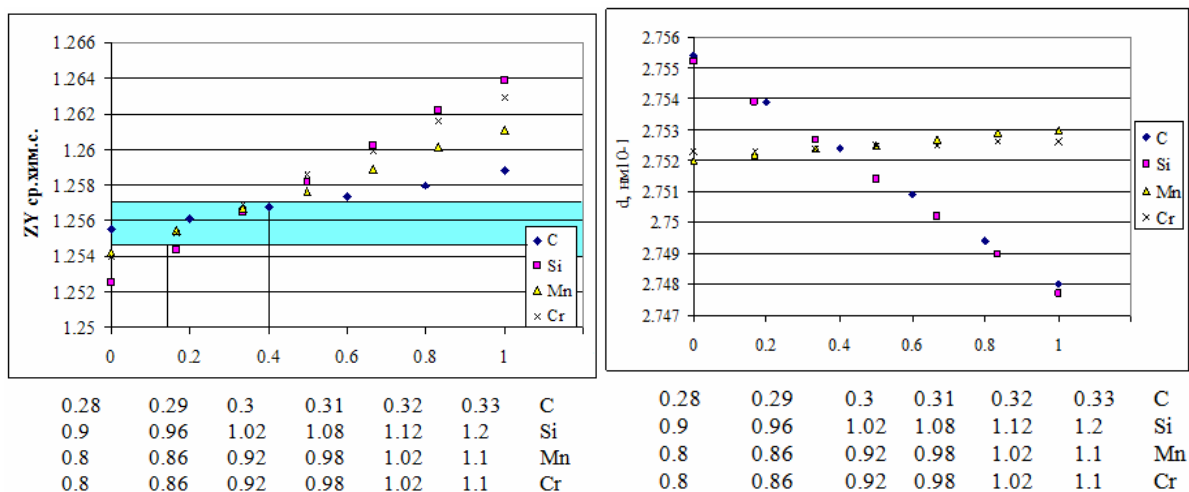


Рисунок 5 – Влияние химических элементов на изменение параметров межатомного взаимодействия для полного химического состава:
а - $Z^Y(e)$, б - $d (10^{-1} \text{нм})$

Используя влияние элементов матричной подсистемы на изменение комплексных физико-химических критериев $Z^Y(e)$ и $d (10^{-1} \text{нм})$ на основе вычислительного эксперимента (химический состав нормирован к масштабу [0-1]) получили «суженные» диапазоны элементного состава (рис.5). При таком подходе влияние примесных и матричной подсистем, оценивается комплексно через их физико-химические критерии (химические эквиваленты).

Нелинейный характер влияния матричной подсистемы, а также сложное влияние микро-примесной подсистемы подтверждает (рис.6). Из-за отсутствия возможности регулирования концентрации элементов входящих в состав примесной микролегирующей подсистемы (вольфрам, молибден, титан и ванадий), корректировку стабилизации свойств стали осуществляли за счет изменения содержания основных легирующих – углерод, кремний, марганец и хром. Исходя из представленных картограмм, требуемый уровень ударной вязкости при приемлемых прочностных свойствах удовлетворяют составы матричной подсистемы с показателями $Z^Y_{\text{CSiMn}} \leq 1,702$ е.

Учитывая высокую связь между параметром Z^Y_{CSiMn} и отношения Si/Mn ($r^2=0,82$) получили рекомендуемое соотношение Si/Mn $\leq 1,15$.

Статистический анализ текущих плавков с помощью t-критерия Стьюдента показал, что значения для пластических свойств и удар-

ной вязкости значительно выше ($\alpha \leq 0,05$) для данной области, а прочностные свойства находятся в области допустимых значений.

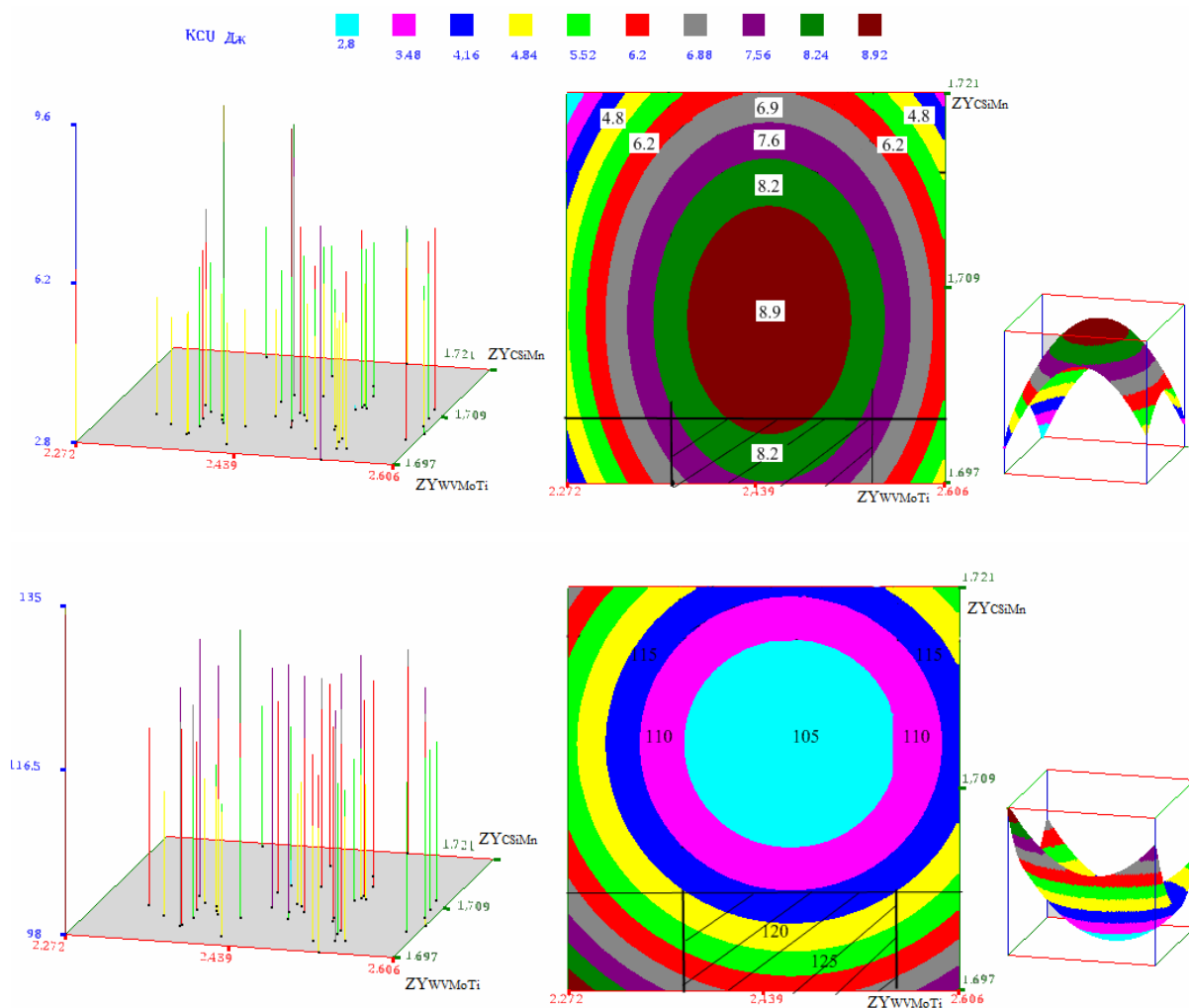


Рисунок 6 – Зависимость механических свойств стали 30ХГСА от параметров межатомного взаимодействия матричной и микропримесной подсистем

Выводы. Статистический анализ механических свойств стали 30ХГСА и комплексного критерия качества за период 2010-2014г.г. показал полное соответствие продукции требуемым условиям ГОСТа.

С помощью методологии вычислительного эксперимента получены граничные условия рекомендуемого «суженного» химического состава: углерод - 0,29-0,3, кремний - 0,98-1,02, марганец - 0,89-0,97, хром - 0,89-0,93. Тестирование указанных диапазонов по t-критерию Стьюдента подтвердило полученные результаты при стандартном режиме термической обработки (закалка 880°C, масло, отпуск 480-570°C, масло).

Показано значимое влияние на формирование механических свойств стали 30ХГСА матричной подсистемы C-Si-Mn. Получено рациональное соотношение кремния и марганца ($Si/Mn \leq 1,15$).

Согласованность элементов матричной подсистемы с учетом значимого влияния хрома, как легирующего элемента, обеспечивается соотношениями $Si/Mn \leq 1,15$, $0,89 \geq Cr \leq 0,93$, при которых уровень потребительских свойств обеспечивает σ_b -112-116 кгс/мм², КСУ-6,2-6,8 кгс/см².

ЛИТЕРАТУРА

1. Тогобицкая Д. Н. Системный подход к выбору оптимального элементного состава стали, обеспечивающего требуемый уровень механических свойств / Д. Н. Тогобицкая, В. П. Пиптюк, И. Н. Логозинский, Б. А. Левин, А. С. Козачек, О. В. Кукса, Ю. М. Лихачев // Системные технологии. Региональный сборник научных трудов. – Днепропетровск. 2015 – Вып.2(97) — С.91-97.
2. Тогобицкая Д. Н. Оптимизация химического состава колесных марок сталей на основе параметров межатомного взаимодействия / Д. Н. Тогобицкая, А. И. Бабаченко, А. С. Козачёк, А. А. Кононенко, Л. А. Головки // Математичне моделювання. — №1 (30). — Днепропетровск. 2014 — С. 44—47.
3. Иберла К. Факторный анализ. Пер. с нем. Ивановой В. М. / К. Иберла К. М. : Статистика. — 1980. — 399 с.