

7. Петров И.В. Исследование износостойкости наплавочных материалов при абразивном изнашивании под действием динамических нагрузок: Дис... канд. техн. наук: 05.03.06 / И.В. Петров. - М., 1965. – 212 с.
8. Малинов В.Л. Разработка экономнолегированных наплавочных материалов для повышения износостойкости деталей, работающих в условиях ударно-абразивного изнашивания: Дис. ... канд. техн. наук: 05.03.06 / В.Л. Малинов. – Мариуполь, 2000. – 135 с.
9. Малинов В.Л. Цементация наплавленного металла-эффективный технологический приём / В.Л. Малинов // Тез. докл. Международной науч.-технич. конф. «Университетская наука-2008», Т. 2. - Мариуполь : ПГТУ, 2008. - С. 108.

Рецензент: Чигарев В.В.
д-р техн. наук, проф., ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 21.03.2011

УДК 669.018

Чейлях Я.А.¹, Чигарев В.В.²

РАЗРАБОТКА СОСТАВА ЭКОНОМНОЛЕГИРОВАННОЙ Fe-Cr-Mn НАПЛАВЛЕННОЙ ИЗНОСОСТОЙКОЙ СТАЛИ С РЕГУЛИРОВАНИЕМ СОДЕРЖАНИЯ И МЕТАСТАБИЛЬНОСТИ АУСТЕНИТА

Обоснован выбор системы легирования, химический и фазовый состав наплавленной порошковой проволокой износостойкой Fe-Cr-Mn стали с регулированием содержания и степени метастабильности аустенита для управления свойствами и повышения износостойкости.

Ключевые слова: сталь, метастабильность, состав, износостойкость, наплавка.

Чейлях Я.А., Чигарев В.В. Розробка складу нової економнолегированої Fe-Cr-Mn наплавленої зносостійкої сталі з регулюванням змісту і метастабільності аустеніту. Обґрунтований вибір системи легування, хімічний і фазовий склад наплавленою порошковим дротом зносостійкої Fe-Cr-Mn сталі з регулюванням змісту і ступеня метастабільності аустеніту управління властивостями і підвищення зносостійкості.

Ключові слова: сталь, метастабільність, склад, зносостійкість, наплавлення.

Y.A. Cheiliakh, V.V. Chigarev. The creation of composition of new economical alloyed Fe-Cr-Mn surfacing wear resistant steel with regulate of maintenance and metastable austenite. The choice of the alloying system, chemical and phase composition wear resistant Fe-Cr-Mn steel, which surface a powder-like wire with regulating of maintenance and degree of metastability of austenite for management properties and wear resistant increase is grounded.

Keywords: steel, metastability, composition, wear resistant, surfacing.

Постановка проблемы. Проблема разработки эффективных способов восстановления изношенной поверхности и одновременно упрочнения поверхностных слоев быстроизнашивающихся деталей различного металлургического оборудования остается весьма актуальной. Ее решение наиболее перспективно за счет создания порошковых электродных наплавочных материалов, обеспечивающих деформационную метастабильность наплавленной экономнолегированной стали, способной к значительному деформационному самоупрочнению в процессе изнашивания [1].

Анализ последних исследований и публикаций. Литературные данные по изучению метастабильности наплавленных сплавов весьма ограничены [2-5]. При разработке состава учитывались достоинства известных высокопрочных сталей переходного, аустенитно-

¹ аспирант, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

² д-р техн. наук, профессор, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

мартенситного класу с карбонитридним упрочненням [6], заключаючися в можливості регулювання фазового складу с допомогою термообробки, що дозволяє в широких межах управляти їх механічними властивостями. Существенний вклад в формування властивостей таких сталей вносить деформаційна метастабільність аустенитної фази і реалізація деформаційних $\gamma \rightarrow \alpha'$ і $\gamma_{ост} \rightarrow \alpha'$ мартенситних перетворень при випробуваннях (ДМПІ) або при експлуатації [6]. Однак ці ефективні можливості і переваги поки не використовуються в наплавочних матеріалах і наплавляємим їм метастабільних зносостійких сталей. Поєтому розробка нових наплавочних матеріалів, забезпечуючих наплавку таких метастабільних економнолегірованих сталей с регульованим кількістю і метастабільністю аустенита, представляється дуже актуальною задачею, маючою визначений науковий і прикладний інтерес.

Цель статьи - обоснование химического и фазового состава экономнолегированной Fe-Cr-Mn износостойкой стали с регулируемым количеством и метастабільностью аустенита для разработки состава порошковой проволоки [7].

Изложение основного материала. Широко известные хромоникелевые стали переходного аустенитно-мартенситного класса типа 09X15H8Ю, 07X16H6, 07X17H7Ю и др. [8-10] весьма дороги, т.к. содержат значительные количества остродефицитного никеля. Наиболее перспективны безникелевые стали аналогичного класса на Fe-Cr-Mn основе типа 10X14Г(6...7), обладающие повышенным уровнем механических свойств. Установлено [6], что в такой Fe-Cr-Mn системе легирования сталей с ~14 % хрома под влиянием марганца (0...~8 %), углерода (0,1...0,4 %) и кремния (~0,4...2 %) снижаются температуры мартенситных точек M_n и M_k (рис. 1), что вызывает уменьшение содержания мартенсита закалки и увеличивает количество остаточного аустенита ($A_{ост}$). Наиболее интересны с точки зрения сочетания повышенного комплекса механических свойств и износостойкости новые безникелевые стали на Fe-Cr-Mn основе типа 30X(2...8)Г6С2Ф. С увеличением содержания хрома в пределах ~2...~8 % при соответствующем содержании углерода (~0,3 %) и марганца (~6 %) в этих сталях снижается температура мартенситной точки M_n с ~160 °С до ~20...25 °С. В результате увеличивается с 19 % до 100 % содержание аустенита наряду с мартенситом закалки (рис. 2). Используя аналогичную систему легирования - Fe-Cr-Mn за счет изменения содержания хрома (в пределах 8...15 %) и марганца (~5...12 %) при содержании углерода 0,2...0,25 % кремния ~1 % в сталях, наплавленных порошковыми лентами достигалось различное фазовое соотношение между мартенситом и аустенитом от 78 % α + 23 % γ до 100 % γ - фазы [5], что и определяло механические свойства.

В основу разработки состава новой наплавочной порошковой проволоки для наплавки метастабільных экономнолегированных сталей положены следующие принципы: формирования метастабільных состояний; управляемости кинетикой ДМПІ для управления свойствами; повышенной энергоемкости; экономичности и известной взаимозаменяемости легирующих компонентов: никеля и марганца; молибдена (либо ванадия) и титана. Поєтому ориентировались на получение Fe-Cr-Mn основы с небольшими добавками сильных карбидо- и нитридообразующих элементов (Ti, V, Al, N), доступных и недорогих в Украине, для дополнительного армирования α - и γ -фаз, измельчения зерна и дисперсионного упрочнения. Учитывалось преимущество хромомарганцевого аустенита перед хромоникелевым с точки зрения возможности и степени деформационного самоупрочнения [1]. Ориентируясь на получение высоких механических свойств в сочетании с достаточной износостойкостью содержание углерода должно быть не менее 0,3 % [1, 5, 6]. Однако, с точки зрения сварочно-

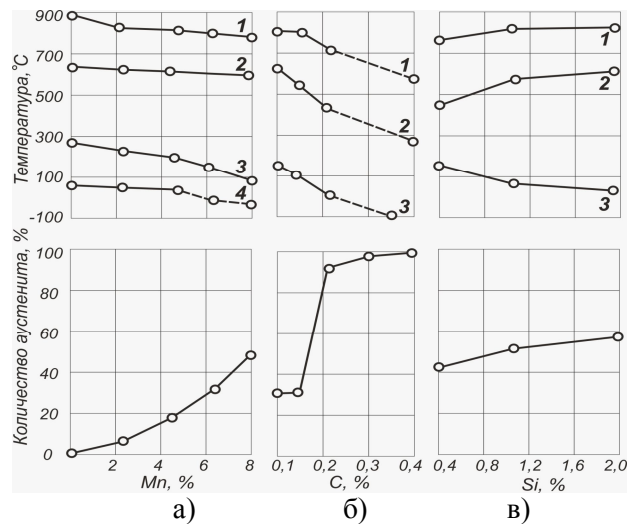


Рис. 1 - Зависимость критических точек и количества аустенита от содержания Mn, C, Si в сталях: а) 10X14; б) 10X14Г7; в) 17X13Г7; 1 - $A_{к1}$; 2 - $A_{к3}$; 3 - M_n ; 4 - M_k [6]

наплавочных свойств, обеспечения повышенной разгаростойкости и запаса ударной вязкости, его содержание следует ограничить $\approx 0,18...0,25\%$.

Учитывая известное стабилизирующее влияние азота на аустенит и дополнительное дисперсионное упрочнение стали за счет образования нитридов и карбонитридов [11], его целесообразно вводить в наплавленный металл, соизмеряя его концентрацию с содержанием углерода. Введение азота в малых количествах ($\sim 0,001\%$) малоэффективно для упрочнения, а более $0,1\%$ может вызывать образование газовых пузырей в наплавленном металле, что снижает свойства и износостойкость стали.

Хром и марганец являются основными компонентами, с помощью которых можно регулировать фазовое соотношение между мартенситом закалки и метастабильным аустенитом. Исходя из литературных данных [2-6] для получения аустенитно-мартенситной структуры наплавленной стали с широким диапазоном регулирования количества α - и γ -фаз (от 0 до 100%), содержание указанных компонентов должно варьироваться в следующих пределах: $6...15\%$ Cr и $5...12\%$ Mn (при содержании углерода $0,18...0,22\%$). При содержании хрома и марганца на нижних пределах ($\sim 6\%$ Cr и $\sim 5\%$ Mn), а углерода в заданных, вероятнее всего ожидать формирования преимущественно мартенситной структуры с небольшим количеством $A_{ост}$. Такая структура, вероятно, будет лучше сопротивляться абразивному изнашиванию, либо трению металла по металлу без разогрева поверхности. Кроме того при концентрации хрома ниже 6% в структуре формируются преимущественно карбиды цементитного типа состава $(Fe,Cr)_3C$ и существенно уменьшается количество специальных карбидов Cr_7C_3 и $Cr_{23}C_6$, в результате снижается износостойкость. С увеличением содержания хрома или марганца в выбранных пределах будет возрастать степень стабильности аустенита по отношению к мартенситному превращению при охлаждении. В связи с этим будет увеличиваться количество аустенита за счет уменьшения содержания мартенсита закалки. При содержании хрома и марганца на верхних пределах ($\sim 14\%$ Cr и $\sim 10...12\%$ Mn и содержании углерода и азота на уровне $0,2...0,25\%$) следует ожидать получение однофазной аустенитной структуры повышенной стабильности [4, 5]. Такая структура очевидно будет лучше работать в условиях сухого трения металла по металлу с сильным локальным разогревом поверхности трения, либо в условиях ударно-абразивного изнашивания. Содержание хрома более $14,0\%$ при избранных концентрациях других компонентов, практически не увеличивает износостойкость, а только делает наплавленную сталь дороже. К тому же возрастает возможность образования феррита, что также снижает износостойкость. Повышение содержания марганца более 10% напротив, излишне стабилизирует аустенит, и способствует образованию ϵ – мартенсита в структуре, что также уменьшает относительную износостойкость.

Следует учитывать влияние кремния на стабилизацию аустенита [2, 4, 6]. При этом концентрации кремния как легирующего компонента менее $0,4\%$ малоэффективна, а более $0,95\%$ - охрупчивает сталь и уменьшает растворимость углерода. Введение в состав наплавленной стали ванадия менее $0,01\%$ малоэффективно для измельчения зерна, а более $0,2\%$ нецелесообразно, т.к. удорожает порошковую наплавочную проволоку. Титан и алюминий необходимо вводить в состав наплавленной стали для повышения износостойкости за счет образования очень твердых, труднорастворимых карбидов, нитридов и карбонитридов. Кальций в небольшом количестве $0,0004...0,009\%$ вводится для рафинирования наплавленного металла, повышает вязкость и другие механические свойства.

Следует подчеркнуть возможность управления фазовым составом и свойствами за счет изменения химического состава наплавляемой стали технологическими параметрами наплавки, влияющими на степень проплавления и перемешивания наплавляемой легированной стали с металлом нелегированной основы. В частности, содержание хрома и марганца на нижних пределах ($\sim 8\%$ Cr и $\sim 5\%$ Mn), соответствующее преимущественно мартенситной структуре (с небольшим содержанием $A_{ост}$ $\sim 20-30\%$), возможно при выполнении одно- или двухслойной наплавки, когда велико разбавление наплавленной стали нелегированным металлом основы (сталь 45 или Ст.3). Содержание этих элементов на верхних пределах ($\sim 12...14\%$ Cr и $\sim 9...11\%$ Mn) при среднем или верхнем предельном содержании углерода и азота ($0,2...0,25\%$), соответствующее преимущественно аустенитной метастабильной структуре, возможно при многослойной наплавке, когда степень легирования от слоя к слою возрастает. Для всех вариаций фазовые составляющие α и γ будут армированы высокодисперсными карбидами $Cr_{23}C_6$; TiC; VC или карбонитридами, что обеспечивает измельчение зерна и дополнительный эффект дис-

персионного упрочнения. Метастабильность аустенита обуславливает протекание $\gamma \rightarrow \alpha'$ или $\gamma_{ост} \rightarrow \alpha'$ ДМПИ, которое обеспечивает дополнительное весьма существенное самоупрочнение, повышение износостойкости и одновременно релаксацию микронапряжений.

Таким образом, на основе проведенного анализа для достижения повышенных механических свойств и износостойкости следует ориентироваться на следующий состав наплавленной метастабильной стали (0,18...0,25)Х(8...14)Г(6...10)АСТФ. Проектирование химического и фазового состава следует осуществлять исходя из условий эксплуатации и предъявляемых требований свойств, достигаемых как исходной (перед эксплуатацией) микроструктурой, так и вкладом от реализации ДМПИ. Следует также учитывать возможность дополнительного упрочнения наплавленной стали последующими обработками: термической, химико-термической, с использованием источников концентрированных энергий (плазменной струи, электронного или лазерного лучей), создающими разнообразные поверхностные фазово-структурные метастабильные модификации [12].

Обоснованным выше фазово-структурному и химическому составам Fe-Cr-Mn наплавленной стали подчинены выбор и расчет состава порошковой проволоки. В ее состав, согласно выполненным расчетам, входят феррохром низкоуглеродистый азотированный, ферромарганец, силикокальций, ферротитан и феррованадий, металлический алюминий в соответствующих расчетных концентрациях. Оболочка проволоки диаметром 4 мм выполнена из низкоуглеродистой стали 08КП.

На основе проведенного анализа и обоснования легирования, фазово-структурного состояния разработана порошковая проволока ПП-Нп-20Х10Г8АСТФ, позволяющая осуществлять электродуговую наплавку Fe-Cr-Mn стали марки 20Х10Г8АСТФ с регулируемым фазовым составом и деформационной метастабильностью аустенитной фазы за счет вариации химического состава и обладающую повышенным комплексом механических свойств и износостойкости [7]. Проведены комплексные испытания износостойкости разработанной наплавленной стали в различных условиях изнашивания в сравнении с хромоникелевой сталью аустенитного класса, наплавленной дорогостоящей импортной цельнотянутой проволокой Св-08Х20Н10Г7СТ (применяющейся для наплавки валков пильгерстана в ПАО «ММК имени Ильича» и на других предприятиях). Результаты испытаний приведены в таблице. Из таблицы следует, что ударная вязкость Fe-Cr-Ni стали в два раза выше, чем Fe-Cr-Mn, что обусловлено чисто аустенитной структурой низкой твердости (HRC 19), пониженным содержанием углерода и положительным влиянием никеля на пластические свойства и ударную вязкость [11]. Сравнение характеристик относительной износостойкости в разных условиях изнашивания показывает преимущество Fe – Cr – Mn наплавленной стали над известной хромоникелевой сталью.

Таблица

Механические свойства наплавленных Fe – Cr – Mn и Fe – Cr – Ni сталей

Номер наплавки	Твердость, HRC	Ударная вязкость, КСУ, МДж/м ²	ε	ε _{у.а.}	ε _а
2 (Fe – Cr – Mn)	34	0,35	1,22	3,44	1,4
3 (Fe – Cr – Mn)	33	0,42	1,15	3,52	1,5
4 (Fe – Cr – Ni)	19	1,1	1,1	2,1	0,9

В условиях сухого трения металла по металлу (с разогревом поверхности трения) износостойкость (ε) наплавленных Fe-Cr-Mn сталей на 10 – 15 % выше, чем хромоникелевой, а в условиях абразивного и ударно – абразивного изнашивания (ε_{у.а.}) в 1,5 – 1,8 раза выше. Это объясняется метастабильностью аустенита в структуре стали 20Х8Г6АСТФ и значительным самоупрочнением.

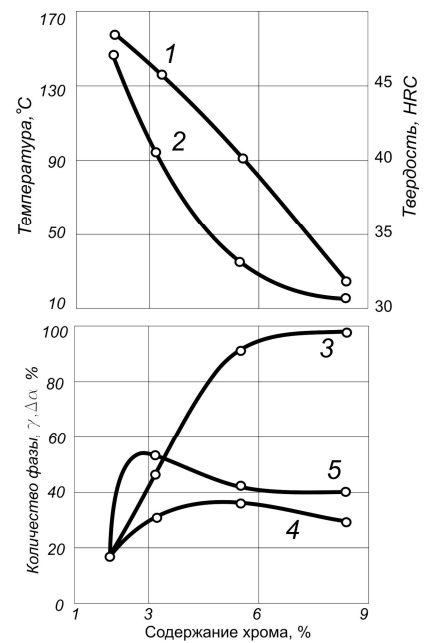


Рис. 2 Влияние хрома на т. Mn (1), твердость (2) и фазовый состав (3, 4, 5) стали 30X2Г6С2Ф (закалка с 1000 °С, отпуск при 200 °С): 3 – содержание аустенита (γ); прирост мартенсита деформации (Δα') после испытаний: 4 - на кручение; 5 - на растяжение [6].

рочением поверхностного слоя в процессе изнашивания за счет протекания $\gamma \rightarrow \alpha'$ ДМПИ. Так, если до изнашивания наплавленная Fe-Cr-Mn сталь №2 содержала 15 % мартенсита закалки 85 % метастабильного аустенита, то после ударно-абразивного изнашивания в поверхностном слое содержание мартенсита возросло до 41 %. Соответственно в наплавленной Fe-Cr-Mn стали (№3) до изнашивания содержалось 100 % метастабильного аустенита, а после изнашивания металла по металлу в поверхностном слое образцов обнаруживалось 27,5 % мартенсита деформации, наряду с аустенитом. Полученные данные дают основания рассчитывать на более высокий уровень эксплуатационных свойств Fe – Cr – Mn разработанной стали по сравнению с хромоникелевой сталью, наплавленной цельнотянутой проволокой Св-08Х20Н10Г7СТ (дефицитной и значительно более дорогой на ~1300...1500 \$/т).

Выводы

1. Обоснован выбор системы легирования Fe-Cr-Mn наплавляемой стали порошковыми электродами как наиболее приемлемой с точки зрения формирования гетерофазных состояний с метастабильным аустенитом, обеспечивающей эффект самоупрочнения при изнашивании, одновременно содержащей недефицитные, недорогие и доступные в Украине (как и во многих других странах) легирующие компоненты.
2. Обосновано формирование структуры наплавленной Fe-Cr-Mn стали с регулируемыми количеством, метастабильностью аустенита и свойствами под влиянием хрома (8...14 %) и марганца (6...10 %) при содержании углерода 0,18...0,25 %, кремния – 0,4...0,95 %, небольших добавок азота, титана и ванадия.
3. Разработан химический и фазовый состав наплавляемой Fe-Cr-Mn стали с метастабильным аустенитом для разработки состава порошковой наплавочной проволоки и обеспечения повышенных свойств.
4. Сравнительные испытания в различных условиях изнашивания показали преимущества разработанной экономнолегированной Fe-Cr-Mn метастабильной стали по свойствам и значительно меньшей стоимости перед известной хромоникелевой, наплавляемой дорогой проволокой Св-08Х20Н10Г7СТ, применяющейся для наплавки валков пильгерстанов.

Список использованных источников:

1. Филиппов М.А. Стали с метастабильным аустенитом / М.А. Филиппов, В.С. Литвинов, Ю.Р. Немировский. - М. : Металлургия, 1988. – 256 с.
2. Лившиц Л.С. Основы легирования наплавленного металла / Л.С. Лившиц, Н.А. Гринберг, Э.Г. Куркумелли. – М. : Машиностроение, 1969. – 188 с.
3. Кулишенко Б.А. Использование мартенситного превращения при деформации для повышения износостойкости наплавленного металла / Б.А. Кулишенко, В.А. Шумяков, С.Ю. Маслич. - В сб.: Наплавка: опыт и эффективность применения. - Киев, 1985.- С. 76-79.
4. Малинов Л.С. Разработка и исследование новой порошковой ленты для наплавки колес мостовых кранов / Л.С. Малинов, А.П. Чейлях, Е.Я. Харланова и др. // Сварочное производство.- 1995.- № 10.- С. 22-25.
5. Малинов Л.С. Ресурсосберегающие экономнолегированные сплавы и упрочняющие технологии, обеспечивающие эффект самозакалки / Л.С. Малинов, В.Л. Малинов. – Мариуполь : «Рената», 2009. – 568 с.
6. Чейлях А.П. Экономнолегированные метастабильные сплавы и упрочняющие технологии / А.П. Чейлях. – Харьков : ННЦ ХФТИ, 2003.- 212 с.
7. Cheiliakh Y., Chigarev V., Sheychenko G. The creation of a new economical (nickel free) powder-like wire for surfacing made of metastable metal, self-strengthened during wearing // 1-st Mediterranean Conference: Heat Treatment and Surface Engineering in the Manufacturing of Metallic Engineering Components. – Sharm El-Sheikh, Egypt, December 1-3, 2009.
8. Потак Я.М. Высокопрочные стали / Я.М. Потак. - М. : Металлургия, 1972. - 208 с.
9. Бирман С.Р. Экономнолегированные мартенситостареющие стали / С.Р. Бирман. - М. : Металлургия, 1974. - 208 с.
10. Богачев И.Н. Влияние предварительной пластической деформации на структуру и механические свойства Cr-Ni сталей / И.Н. Богачев, Л.И. Лепехина // Изв. АН СССР. Металлы, 1974. - № 3. - С. 157-164.
11. Меськин В.С. Основы легирования стали / В.С. Меськин. – М. : Металлургия, 1964. – 684 с.
12. Чейлях Я.А. Поверхностная модификация состава и гетерофазных состояний для повыше-

ния износостойкости стальных изделий / Я.А. Чейлях, В.В. Чигарев // «Стратегия качества в промышленности и образовании»: VI Международ. Конф. 4-11 июня 2010 г., г. Варна, Болгария, Материалы в 4-х томах, Т.1 (I), Днепропетровск, Варна, 2010. – С.538-541.

Рецензент: В.Г. Ефременко
д-р тех. наук, проф., ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 28.03.2011

УДК 621.785: 669.14.018.25

Иващенко В.Ю.¹, Чейлях А.П.²

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕРМОЦИКЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ШТАМПОВ

В статье рассмотрено влияние ТЦО на микроструктуру, механические и эксплуатационные свойства штамповых сталей 5ХНМ, 5Х2НМФ, 5Х3В3МСФ. Предложены оптимизированные параметры термоциклирования.

Ключевые слова: термоциклическая обработка, штамп, разгаростойкость, износостойкость.

Иващенко В.Ю., Чейлях А.П., Використання термоциклування для обробки штампів. В статті розглянуто вплив ТЦО на микроструктуру, механічні і експлуатаційні властивості штампових сталей 5ХНМ, 5Х2НМФ, 5Х3В3МСФ. Запропоновані оптимізовані параметри термоциклування.

Ключові слова: термоциклічна обробка, штамп, розгаростійкість, зносостійкість.

V.Yu. Ivashenko, A.P. Cheylyah. Use of thermocycling for treatment of stamps. In the article is considered influencing thermocyclic treatment on microstructure, mechanical and operating properties of stamp's chrome-nickel steels. Optimum parameters of thermocycling are offered.

Keywords: thermo cyclic treatment, stamp, hot crack firmness, wearesistance.

Постановка проблемы. Стали для штампов горячего деформирования работают в условиях циклически повторяющихся термо-силовых нагружений, что приводит к развитию трещин разгара. В ходе изучения проблемы было выдвинуто предположение, что замена типовой обработки (закалки и отпуска) на ТЦО позволит выработать у обработанных сталей термо-силовую выносливость, а следовательно, повысить рабочие характеристики штампов.

Анализ последних исследований и публикаций. Термоциклическая обработка (ТЦО) применяется в производстве весьма ограниченно, несмотря на то, что она является одним из эффективнейших способов, комплексно повышающих свойства сплавов [1]. Принято считать, что ТЦО эффективно действует на структуру в случаях, когда применяется достаточно большое количество циклов (6..8) или ускоренный нагрев, что с одной стороны - сильно увеличивает время обработки, с другой - увеличивает риск растрескивания от термических напряжений.

Как отмечает Гурьев А.М. [2], выбор режимов ТЦО до сих пор ведется эмпирическим путем. Отсутствие обоснованных представлений о механизме формирования комплекса оптимальных свойств в процессе ТЦО создало условия нерационального выбора и неэффективного использования потенциальных возможностей перспективного метода упрочнения сталей и сплавов. Противоречивое понимание взаимного влияния различных параметров термоциклирования (температура в цикле, скорость нагрева и охлаждения, количество термоциклов и др.) создало предпосылки для применения широкого спектра способов ТЦО, отличающихся не

¹ канд. техн. наук, ст. преподаватель, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

² д-р техн. наук, профессор, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь