

ГЕРВИКОН
HERVICON



ЭККОН
ЕККОН



6 - 9 сентября 2011, СумГУ, г. Сумы, Украина

XIII Международная научно-техническая конференция "ГЕРВИКОН-2011"

Международный форум "НАСОСЫ-2011"

Семинар "ЭККОН-11"

КОНСТРУКЦИОННАЯ ПРОЧНОСТЬ МАТЕРИАЛА МЕМБРАН КОМПРЕССОРНЫХ МАШИН

Пчелинцев В.А.¹, Говорун Т.П.², Рева Е.В.³

АННОТАЦИЯ

Рассматриваются особенности конструктивного исполнения мембранного компрессора и действие эксплуатационных факторов на долговечность и надежность мембраны из тонколистового материала из мартенситностареющей стали 09X15H8Ю. Показано, что с целью повышения эксплуатационной надежности мембран, необходимо использовать ленту, в структуре которой содержится определенное количество наклепанного остаточного аустенита. Это позволяет претерпевать дополнительное мартенситное превращение при действии пиковых нагрузок в локальных участках и повышает конструкционную прочность.

Ключевые слова: мембраны компрессорных машин, мартенситное превращение, остаточный аустенит, механические свойства, холодная пластическая деформация

ВВЕДЕНИЕ

Компрессорные машины являются одними из основных звеньев в технологических линиях производства химической продукции и внеплановые их остановки приносят предприятиям существенные материальные убытки.

¹ Пчелинцев Виктор Александрович, к.т.н, доцент, Сумский государственный университет, ул. Р.-Корсакова, 2, 40007, г. Сумы, Украина.

² Говорун Татьяна Павловна, к.ф.-м.н., Сумский государственный университет, ул. Р.-Корсакова, 2, 40007, г. Сумы, Украина.

³ Рева Евгений Владимирович, магистр, Сумский государственный университет, ул. Р.-Корсакова, 2, 40007, г. Сумы, Украина.

Одними из основных элементов конструкции машин, обеспечивающих их надежность, являются упругие элементы, которые изготавливаются из различных пружинных сплавов. Роль упругих элементов в компрессорных машинах выполняют прямоточные клапаны и мембраны, для изготовления которых применяют тонколистовой прокат [1].

Мембрана мембранного компрессора является упругим элементом, защемленным по периферии между распределительным и ограничительным дисками (рис. 1) мембранного блока. Мембрана разделяет полость блока на две, одна из которых сообщается через самодействующие клапаны с газовыми коммуникациями, а другая - с гидравлическим цилиндром.

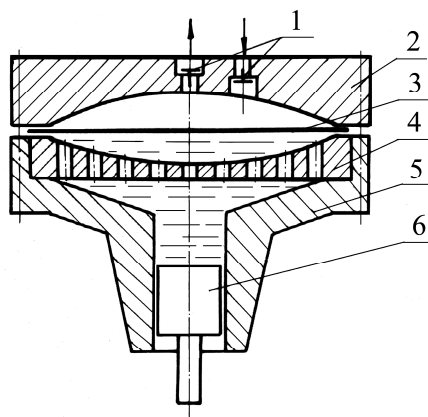


Рисунок 1 – Схема мембранного клапана:

1 – самодействующие клапаны, 2 – ограничительный диск, 3 – комплект мембран,
4 – распределительный диск, 5 – корпус, 6 – поршень

При работе гидропривода мембране сообщается колебательное движение, в процессе которого она должна плотно прижиматься к профилированной поверхности ограничительного диска. В зависимости от конструктивного исполнения отношения величины прогиба мембраны в сторону распределительного и ограничительного диска может быть различно, что характеризует цикл изменения напряжений. В общем случае этот цикл является ассиметричным. Таким образом, в процессе эксплуатации мембрана подвергается циклическим знакопеременным нагрузкам. При этом, с точки зрения цикла изменения напряжения и типа напряженного состояния, наиболее опасными являются центральная и зона защемления мембраны. Кроме этого при перемещении мембраны по профилированной поверхности материал подвергается контактной коррозии и эрозии за счет большой скорости сжимаемого газа в зоне отверстий самодействующих клапанов. Действие напряжения усугубляется также и тем, что на материал мембраны

воздействует температура сжимаемого газа, которая составляет 100-150 °С (по данным Алтухова С.М. может достигать непосредственно в полости сжатия газа до 300 °С).

Одной из особенностей работы мембраны является образование местных напряжений и их концентрация в отдельных зонах, что требует от применяемых тонколистовых материалов высокого сопротивления возникновению и развитию трещин. В качестве тонколистового материала используются как углеродистые, так и нержавеющие стали. В последние годы наиболее широкое применение находят высокопрочные нержавеющие стали, обладающие необходимым комплексом свойств. Такими являются нержавеющие стали переходного класса, в структуре которых после цикла деформационно-теплового воздействия (прокатка+старение) содержится определенное количество остаточного аустенита, который может претерпевать $\gamma \rightarrow \alpha$ превращение в процессе эксплуатации. Стабильность остаточного аустенита к мартенситному превращению будет определять сопротивление мартенсита к очагам зарождения и развития трещин, то есть к интенсивности разрушения материала в условиях действия факторов эксплуатации [2].

1. МЕТОДИКА ПОЛУЧЕНИЯ ОБРАЗЦОВ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для эффективного использования высокопрочных нержавеющих сталей в условиях эксплуатации упругих элементов научный интерес представляет исследование влияния технологии изготовления ленты на изменение физико-механических свойств используемого материала. В связи с этим совместно с лабораторией прокатки центральной заводской лаборатории завода «Серп и молот» было изготовлено две опытных партии ленты из мартенситностареющей стали 09Х15Н8Ю. При изготовлении был проведен анализ изменения структуры и свойств материала с разными режимами непрерывной прокатки для получения подката и последующей деформации при повышенных температурах на модернизированной установке ИМАШ-5С. Запись диаграмм деформации проводилась с помощью прибора «Сервогор». Нагрев образцов осуществлялся конвективным способом с регистрацией температуры контактной термопарой в интервале 20-300 °С. Испытания на циклическую прочность выполнялись на установке «Амслер» при базе $N=5 \cdot 10^6$ циклов. Изучение изменения тонкой кристаллической структуры аустенита осуществлялось на установке УРС-50ИМ в излучении хрома. Результаты изменения зависимости физико-механических свойств при непрерывной холодной пластической деформации (ХПД) приведены в таблице 1. Исследования проводились для двух партий ленты («С» и «СМ»), отличающихся величиной магнитной индукции насыщения, что идентично

содержанию мартенситной фазы в структуре материала перед окончательным циклом ХПД. Одна из партий («С») подвергалась прокатке с суммарной степенью обжатия 50% за четыре прохода, а вторая («СМ») – с суммарной степенью обжатия 40% за три прохода.

Таблица 1 - Изменение физико-механических свойств стали 09Х15Н8Ю при непрерывной холодной пластической деформации

Обозначение партий	Толщина после прокатки	Число проходов	Суммарное обжатие		Физико-механические свойства					
			мм	%	\bar{B}_{\max} , Гс	H_{μ} , кгс/мм ²	$\sigma_{0,2}$, кгс/мм ²	$\sigma_{\text{в}}$, кгс/мм	δ , %	σ_{-1} , кгс/мм
СМ	0,65	-	-	0	554	149	22	92	14,0	30,5
СМ-1	0,50	1	0,15	23	1892	306	56	95	8,5	50,0
СМ-2	0,45	2	0,20	31	4804	383	77	118	8,5	65,0
СМ-3	0,39	3	0,26	40	6745	409	95	115	7,0	72,0
С	0,76	-	-	0	1245	171	34	100	11,0	31,5
С-1	0,63	1	0,13	17	2937	317	45	115	9,0	37,0
С-2	0,50	2	0,26	34	5725	376	94	142	9,0	51,0
С-3	0,42	3	0,34	44	7549	412	121	144	7,5	55,0
С-4	0,38	4	0,38	50	8969	435	127	140	5,8	65,0

2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Изменение характеристик тонкой структуры остаточного аустенита приведено на рисунке 2.

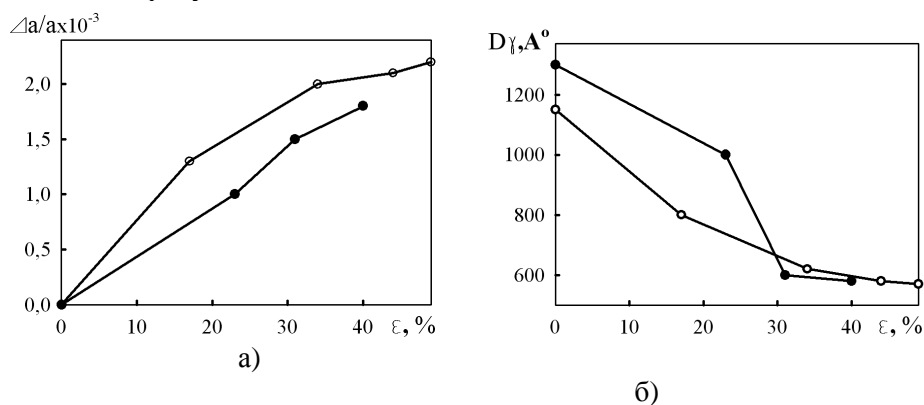


Рисунок 2 – Зависимость величины микронапряжений $\Delta a/a$ (а) и размера блоков D_{γ} (б) γ -фазы для партий «С» (○) и «СМ» (●)

Анализ графической зависимости величины микронапряжений ($\Delta a/a$), размера блоков (D_{γ}), микротвердости (H_{μ}) и магнитной индукции насыщения (B) показывает, что с увеличением степени пластической деформации (ε) возрастает твердость, величина микронапряжений и твердость с различной интенсивностью для партий с величиной магнитной индукции насыщения 554 Гс («СМ») и 1245 Гс («С»). Размер областей когерентного рассеивания уменьшается в три раза.

Анализ изменения свойств (табл. 1) показывает, что для партии с величиной магнитной индукции насыщения 1245 Гс до процесса ХПД при прокатке наблюдается более существенный прирост значений предела текучести и твердости.

В тоже время предел усталости образцов из готовой ленты данной партии ниже, чем для партии с меньшим значением величины магнитной индукции насыщения до ХПД ($\bar{B}_{\max} = 554$ Гс). Такое явление может быть связано с тем, что для сталей переходного класса при усталостных испытаниях возможно протекание процесса дополнительного превращения остаточного аустенита.

На рисунках 3 и 4 приведены графики изменения механических свойств (σ_b , $\sigma_{0,2}$, δ) в зависимости от температуры деформации в интервале температур 20-300 °С.

В зависимости от процентного содержания и тонкой структуры остаточного аустенита (микронапряжений, плотности дислокаций и размеров областей когерентного рассеивания) превращение будет происходить с различной интенсивностью при равных максимальных напряжениях цикла.

При увеличении степени деформации характер упрочнения для исследуемых партий изменяется одинаково. В то же время изменение размера блоков и микронапряжений, определяемые рентгенографическим методом по ширине линий, позволяет заключить, что большее количество мартенситной фазы в структуре материала ленты до пластической деформации способствует более интенсивному наклёпу остаточного аустенита в процессе прокатки, а также большей искаженности кристаллических решеток структурных составляющих. Исследования о влиянии температуры деформации на изменение механических свойств позволило выявить различную склонность к охрупчиванию материала лент для данных партий.

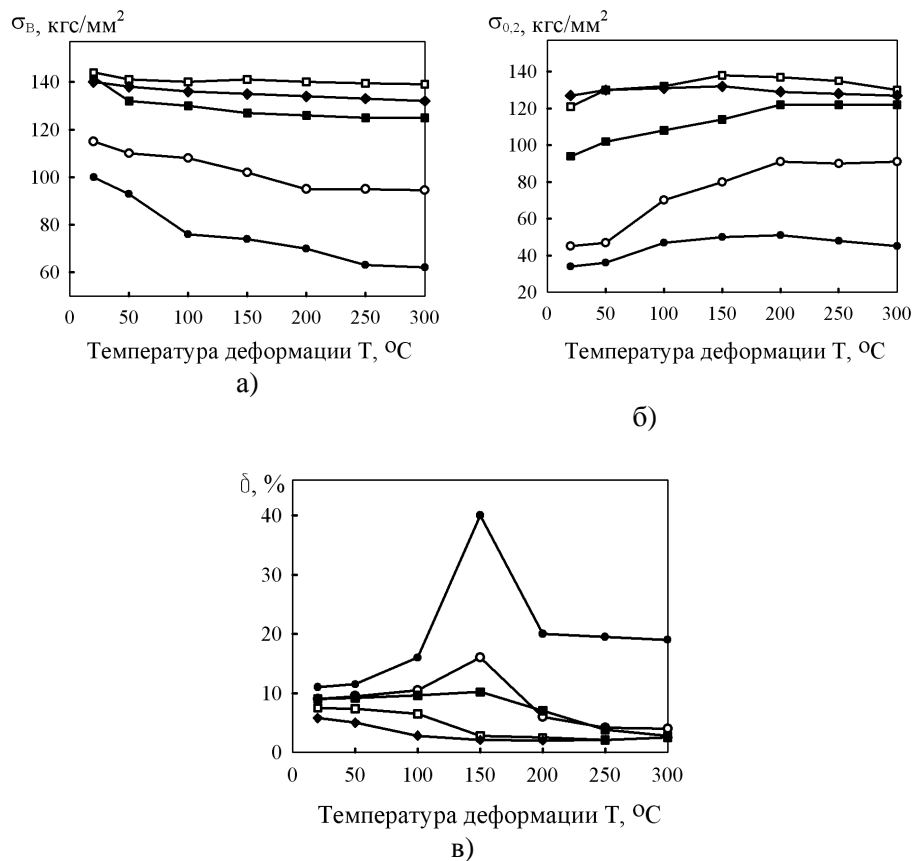


Рисунок 3 – Изменение температурной зависимости свойств партии «С»:
 а) - σ_B ; б) - $\sigma_{0,2}$; в) - δ : ● – С; ○ – С-1; ■ – С-2; □ – С-3; ◆ - С-4

Если сравнить графики изменения механических свойств (рис. 2), то видно, что материал подката партии «С» уже имеет склонность к деформационному старению и предел текучести увеличивается от 34 кгс/мм² до 52 кгс/мм² при температуре деформации 20 и 200 °С, соответственно. Для партии «СМ» (исходное состояние) предел текучести подката практически не изменяется во всем исследованном интервале температур деформации.

Изменение относительного удлинения характеризуется наличием максимума, при этом абсолютные его значения выше для партии, в структуре которой содержится меньшее количество мартенсита («СМ»).

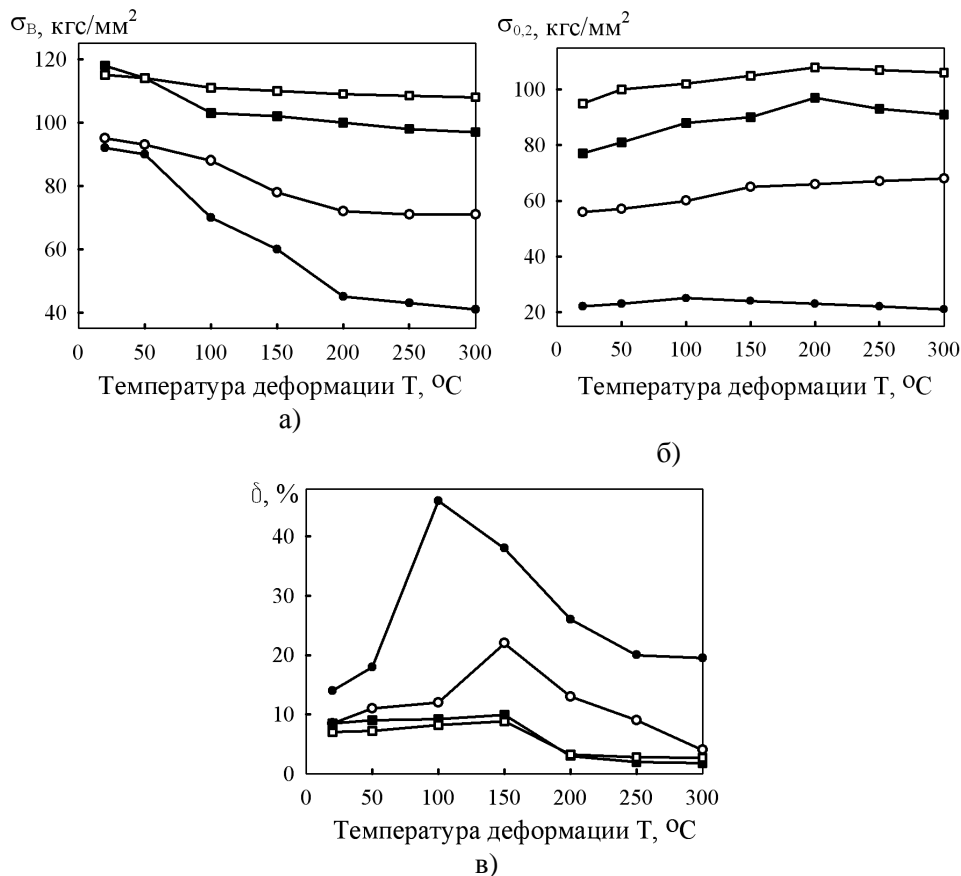


Рисунок 4 – Изменение температурной зависимости свойств партии «СМ»:

а) - $\sigma_{в}$; б) - $\sigma_{0,2}$; в) - δ : ● – СМ; ○ – СМ-1; ■ – СМ-2; □ – СМ-3

Холодная пластическая деформация уже при первых проходах ленты приводит к увеличению значений предела текучести, магнитной индукции насыщения и искаженности кристаллических решеток мартенсита и остаточного аустенита. С повышением температуры деформации при последующих испытаниях, можно отметить, что для образцов «С-1» предел текучести растет более интенсивно (рис. 3, 4), чем для образцов «СМ-1». Характер изменения относительного удлинения имеет зависимость, аналогичную образцам «С» и «СМ», но количественные значения пластичности существенно уменьшились. Дальнейшая холодная пластическая деформация стали 09Х15Н8Ю на 31% (СМ-2) и 34% (С-2) приводит к достижению максимальных значений предела текучести и минимальных значений пластичности в области более низких температур

деформации при последующих испытаниях. Так как скорость протекания деформационного старения в значительной степени определяется диффузионной подвижностью примесных атомов, то можно предположить, что при данных режимах прокатки происходит не только образование мартенсита деформации с наследованием дефектов кристаллического строения аустенита, но также интенсивны искажения кристаллической решетки имеющегося мартенсита с увеличением плотности дислокаций и фрагментации блоков. Прокатка стали с ещё большей суммарной степенью деформации, приводит к дальнейшему искажению кристаллической решетки мартенсита и, как следствие, большей степени проявления деформационного старения. Например, для партии «С-4» эффект охрупчивания проявляется уже при температуре деформации 100 °С.

Следует также отметить о различном характере изменения относительного удлинения с ростом температуры испытания для партий подвергнутых малым и большим (свыше 40%) степеням суммарной деформации. Это наглядно проявляется в уменьшении максимума на кривой температурной зависимости относительного удлинения для партии СМ-1, СМ-2, СМ-3, С-1, С-2 и в его отсутствии для партий С-3 и С-4.

Таким образом, выявленная тенденция изменения относительного удлинения и предела текучести стали 09Х15Н8Ю с ростом температуры деформации при испытании позволяет сделать предположение, что динамическое деформационное старение данной стали при температурах эксплуатации мембран упругих элементов мембранных компрессорных машин связано с наличием в структуре материала ленты мартенсита деформации и остаточного аустенита. При этом критической степенью деформации при прокатке является величина ~ 35%, после чего происходит интенсивное искажение кристаллической решетки остаточного аустенита и мартенсита, приводящее к проявлению деформационного старения стали при температурах деформации менее 100 °С. В тоже время, чем больше содержится термического мартенсита в материале подката до ХПД, тем при более низкой температуре испытания проявляется эффект охрупчивания.

Исследование зависимости механических свойств анализируемой стали после различных режимов обработки (ХПД+старение) показывает, что повышение температуры старения сдвигает температурный интервал охрупчивания в область более высоких температур. Сравнение результатов усталостных испытаний и температурной зависимости относительного удлинения при 150°С показывает (рис. 5), что оптимальной температурой старения является нагрев при 520°С.

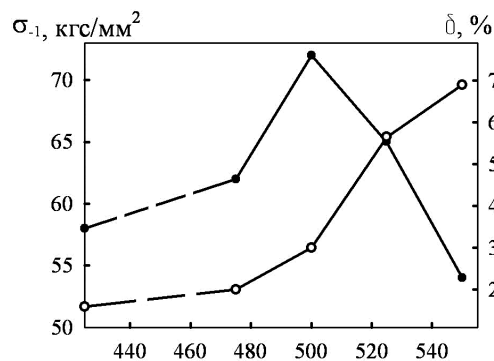


Рисунок 5 – Влияние температуры старения на изменение циклической прочности стали 09X15H8Ю: ● - σ_{-1} ; ○ - δ

Способ получения мартенсита в структуре стали также оказывает существенное влияние на кинетику изменения свойств материала.

ВЫВОДЫ

1. Проведенный комплекс исследований позволил определить режимы изготовления холоднокатаной высокопрочной ленты из стали 09X15H8Ю с учетом изменения свойств при деформации в условиях повышенных температур.

2. Результаты проведенного сравнительного анализа по влиянию условий эксплуатации на изменение физико-механических свойств позволяют заключить, что материал мембран характеризуется интенсивным протеканием процессов динамического деформационного старения, которые проявляются в повышении сопротивления начальной пластической деформации и резким снижениям характеристики общей пластичности, снижая этим сопротивление материала процессам разрушения.

3. Для повышения эксплуатационной надежности мембран (упругих элементов компрессорных машин) необходимо изготавливать ленту, чтобы в структуре материала содержалось определенное количество наклепанного остаточного аустенита с характеристиками $\sigma_{0,2}/\sigma_B=0,7$, способного претерпевать мартенситное превращение при действии пиковых нагрузок в локальных участках.

3. Из ленты, прошедшей исследования, были изготовлены опытные партии мембран и отправлены на предприятие для промышленных испытаний.

ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОК

1. Frenkel M. I.: Porshnevye kompressory. German. Kolbenverdichter; Theorie, Konstruktion und Projektierung. Berlin: Technik, 1969. — 747 с.
2. Чейлях А.П. Экономнолегированные метастабильные сплавы и упрочняющие технологии. Мариуполь: ПГТУ, 2009.- 483 с.