

Рис. 15. Связь кинетики удлинения ствола дендрита с эволюцией диффузионного переохлаждения в элементарном объеме двухфазной зоны сплава Cd +30 вес.% Zn. Скорость охлаждения 0,12 °С/с

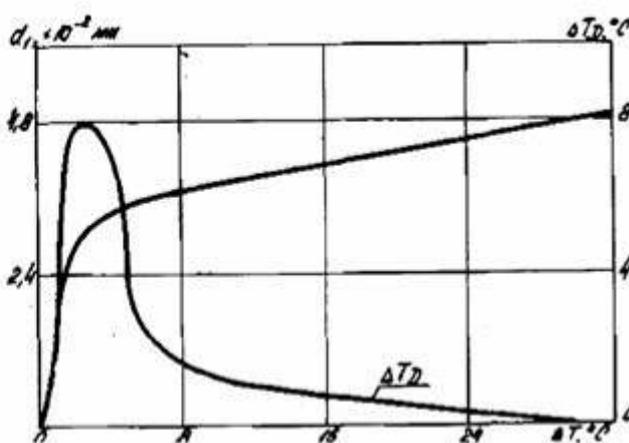


Рис. 16. Связь кинетики утолщения ствола дендрита с эволюцией диффузионного переохлаждения в элементарном объеме двухфазной зоны сплава Cd + 30 вес.% Zn. Скорость охлаждения 0,12 °С/с

Рассмотрен метод изучения структурообразования в однородном (физически малом, элементарном) объеме двухфазной зоны модельных сплавов в отсутствии внешних воздействий. Полученные результаты показывают тесную связь кинетики развития дендритной структуры с величиной диффузионного переохлаждения в двухфазной зоне.

Установлен принцип подобия для изменения диффузионного переохлаждения при кристаллизации различных модельных сплавов.

Обоснована целесообразность введения понятия характеристической температуры двухфазной зоны.

Эти результаты позволяют считать данный метод перспективным в автомобильной промышленности для получения информации о формировании структуры металла и ее прогнозировании в процессах, связанных с воздействием на двухфазную зону.

Литература

1. Гришин В.В., Сосенушкин Е.Н., Французова Л.С. Теплообмен при штамповке кристаллизующегося металла и время затвердевания поковки, Автомобильная промышленность, № 12, 2006, с.34.
2. Чернов Д.К. и наука о металлах. Сб. Под ред. Н.Т.Гудцова, Металлургиздат, 1950.
3. Tiller W.A. J. of the Iron and Steel Inst., August, 1959, p.338.
4. Гуляев Б.Б. Литейные процессы, М., Машгиз., 1960.
5. Борисов В.Т. Кристаллизация бинарного сплава при сохранении устойчивости, ДАН, 1961, т. 136, № 3, с. 583.
6. Сулимцев И.И. Исследование диффузионного переохлаждения в двухфазной зоне затвердевающих бинарных сплавов и его роли в структурообразовании. Диссертация на соискание ученой степени к.ф.-м.н. М., 1977.

Исследование прочностных, теплофизических и демпфирующих свойств анаэробных материалов

д.т.н., проф. Тулинов А.Б., к.т.н. Гончаров А.Б.
РГУТИС, ММК «Мосинтраст».

Основным показателем любого соединения с применением анаэробных продуктов является прочность соединения, зависящая, прежде всего, от свойств выбранной марки анаэробного продукта и размеров соединяемых поверхностей. Поэтому представляется возмож-

Раздел 2. Технология машиностроения и материалы.

ным рассчитать необходимую прочность соединения путем выбора из широкого ассортимента анаэробных продуктов той марки, которая обладала бы оптимальной прочностью для данных условий, а также на основании заданных размеров соединения и характера действия нагрузки.

На прочность соединения, как было отмечено ранее, существенное влияние оказывает поверхность соединяемых деталей. Понятие поверхность включает: геометрическую поверхность, которая соответствует размерам соединяемых поверхностей; действительную поверхность, которая получается с учетом шероховатости поверхностей; реальную поверхность, которая соответствует поверхности, действительно смоченной анаэробным продуктом. Увеличение поверхности за счет числа и высоты гребешков микронеровностей способствует ускорению процесса полимеризации, но до определенных пределов, так как наличие воздуха в глубоких впадинах будет замедлять процесс полимеризации и снижать прочностные показатели соединения. С целью определения влияния шероховатости поверхности соединяемых деталей были проведены экспериментальные исследования на отечественных образцах анаэробных материалов.

Определение оптимальной шероховатости сопрягаемых поверхностей проводилось на стандартных грибковых образцах (ГОСТ 14760-69) из материала АД-1 с покрытием анодное оксидирование и на образцах типа "вал-втулка" (высота втулки и диаметр равны 10 мм) из стали 45 с покрытием химическое фосфатирование. Испытаниям подверглись анаэробные продукты АН-1 и АН-2 по критерию разрушающего напряжения при отрыве на грибковых образцах с учетом фактора времени, продукты АН-2 и УГ-1 по критерию разрушающего напряжения при сдвиге на образцах типа "вал-втулка" в исходном состоянии, т.е. по истечении 24 часов после сборки. Грибковые образцы собирались до соприкосновения поверхностей с шероховатостью $R_z = 80$ мкм, $R_z = 20$ мкм, $R_a = 1,25$ мкм. а образцы типа "вал-втулка" с максимально возможными зазорами: для $R_z = 80$ мкм - 0,72 мм, для $R_z = 20$ мкм - 0.4 мм, для $R_a = 1,25$ - 0,06 мм.

Сборка грибковых образцов производилась с активатором и без него, все образцы "вал-втулка" были собраны с применением активатора. Зависимость разрушающего напряжения при отрыве грибковых образцов от шероховатости сопрягаемых поверхностей представлена на рис. 1. Результаты испытаний АН-1 и УГ-1 на образцах типа "вал-втулка" представлены на рис. 2. Здесь время представлено в логарифмической сетке. В результате проведенных испытаний установлено, что максимальная прочность соединений у образцов с шероховатостью поверхности $R_z = 20$ мкм; на поверхностях с этой шероховатостью набор прочности происходит быстрее.

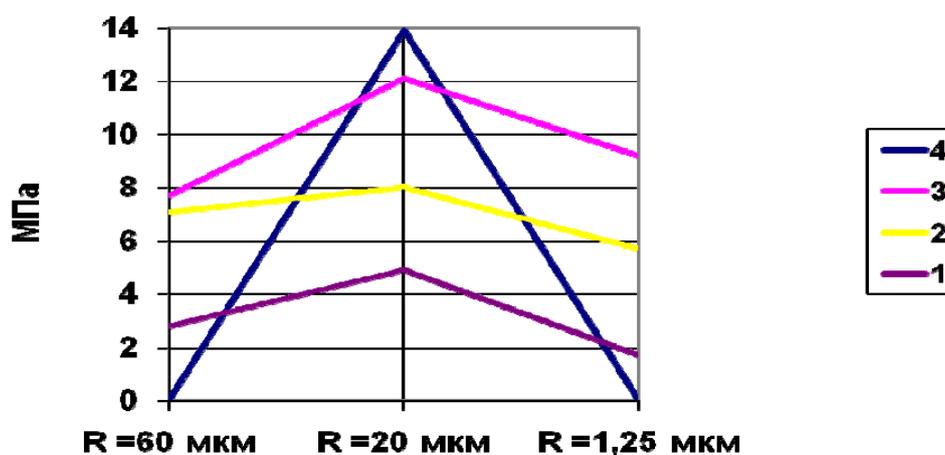


Рис. 1. Разрушающее напряжение при отрыве оттр для грибковых образцов после 24 часов выдержки. 1 - АН-2 без активатора; 2 - АН-2 с активатором; 3 - АН-1 с активаторами; 4 - АН-1 без активатора

рис.а)

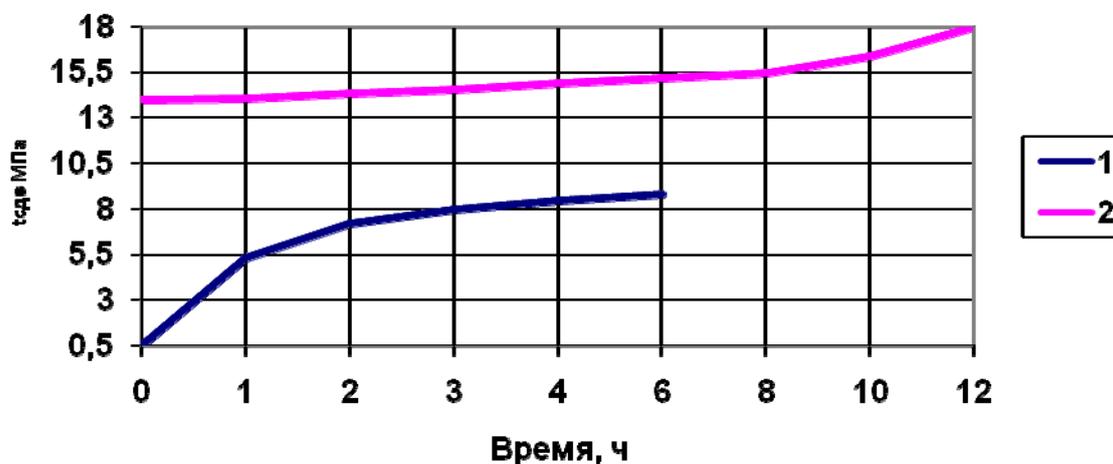


рис. б)

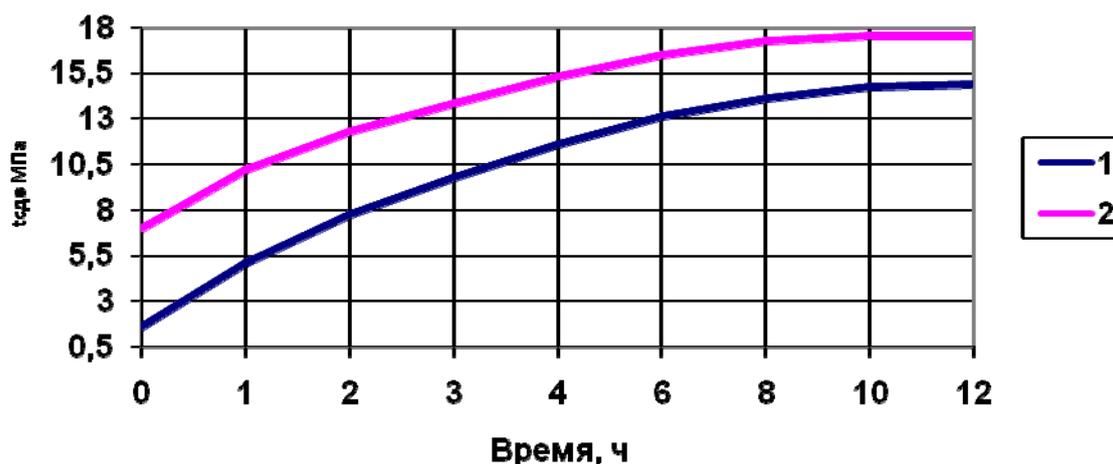


Рис. 2. Разрушающее напряжение при сдвиге $\tau_{сдв}$ для образцов типа "вал-штулка" с учетом времени полимеризации, а - образцы с АН-2. б - образцы с УГ-1

Анаэробным продуктам, как и другим полимерным материалам, свойственна неодинаковая прочность под действием различных видов нагрузки. На соединение действуют четыре основные вида нагрузки: сдвигающая (срезающая), растягивающая, растягивающесрезающая с неравномерным отрывом. Разрушающее напряжение при сдвиге $\sigma_{ст}$ в МПа, характеризует прочность резьбового соединения в начальный период страгивания (отвинчивание) и рассчитывается по формуле:

$$\sigma_{ст} = n \cdot d_2 \cdot H, \quad (1)$$

где: M_c - крутящий момент страгивания, Нм; d_2 - средний диаметр резьбы, м; H - высота гайки, м.

Разрушающее напряжение при сдвиге (трение) $\sigma_{тр}$ характеризует прочность резьбового соединения при последующем отвинчивании (на один оборот) и определяется по среднearифметическому моменту отвинчивания, полученному эмпирически с помощью тарированного ключа, и определяется по формуле:

$$\sigma_{тр} = n d_2 H, \quad (2)$$

Раздел 2. Технология машиностроения и материалы.

где: M_0 - среднее арифметическое значение крутящего момента отвинчивания, измеренного при повороте гайки на углы 90, 180, 270 и 360° Нм;

d_2 - средний диаметр резьбы, м;

H - высота гайки, м.

Определение значений $\sigma_{ст}$ и $\sigma_{тр}$ производились на стандартных резьбовых образцах (болт-гайка) по ГОСТ 5915-70 с резьбой М10х1,5 на 2а, изготовленных из стали 45. Использовался также ключ с регулируемым крутящим моментом по ГОСТ 7068-54.

Прочность при срезе в цилиндрическом соединении $\sigma_{ц}$ определялась путем измерения момента страгивания при отвинчивании (страгивание) втулки и рассчитывалась по формуле:

$$\sigma_{ц} = n d_2 l, \quad (3)$$

где: M_c – момент страгивания, Н м; d_2 - диаметр втулки, м; l – длина втулки, м.

Значения $\sigma_{ц}$ определялись на стандартных цилиндрических образцах типа «вал-втулка» с $d = 12,7$ мм, отношением $l/d = 0,8$, диаметральный зазором 0.05 мм, шероховатостью обработки поверхностей $Ra = 2,5$ мкм, изготовленных из стали 1х18Н9Т.

По прочности вес марки анаэробных продуктов условно разделяют на три группы: высокопрочные, средней прочности и низкопрочные, которые в зависимости от конструктивных признаков изделий могут образовывать разборные или неразборные соединения. При неразборном соединении разрушение происходит по основному материалу, например, скручивается головка болта.

Прочность соединения является универсальным и комплексным показателем. Все факторы, влияющие на прочность соединения, условно можно разделить на 3 группы: конструкционные, технологические и эксплуатационные.

Поскольку прочность соединений зависит от марки анаэробного продукта и конструктивных, технологических и эксплуатационных факторов, то можно указать только на общие тенденции изменения прочности или привести результаты испытаний при определенных условиях и режимах. Отдельные параметры можно сравнить только в том случае, если при испытаниях используются одни и те же методы и условия. Опытным путем была установлена тенденция к повышению прочности соединений с ростом прочности соединяемых материалов.

Однако это положение справедливо до определенных пределов, так как с ростом прочности соединяемых материалов связаны уменьшения показателей удлинения и возникновение неравномерных деформаций. С другой стороны, деформация соединяемых материалов с большим удлинением может принять такие размеры, что будут превышены границы прочности сцепления анаэробного продукта и разрушение наступит раньше, чем у материалов с небольшим удлинением.

Для правильного назначения соединений необходимо учитывать и масштабный фактор, так как прочность соединения снижается с увеличением площади соединения. Поэтому для неразборных соединений необходимо стремиться к равенству напряжений в материале сопрягаемых деталей и в самом соединении.

Наиболее типичным примером соединения с учетом особенностей анаэробных продуктов является резьбовое соединение. Правильное назначение марки анаэробного продукта и прочность соединения зависит от конструктивных характеристик резьбового соединения: длины свинчивания, величины зазора, диаметра резьбы, сбега резьбы, материала и покрытия болта и собираемых деталей. Особенно сложен выбор марки анаэробного продукта для разборных соединений резьб малых и средних диаметров (М2,5-М8), так как головки винтов и болтов таких соединений скручиваются при относительно малых крутящих моментах, а большинство анаэробных продуктов обеспечивают неразъемные соединения. Кроме того, при демонтаже соединения у винтов слабым звеном может оказаться шлиц, который разрушается раньше стержня.

Правильность выбора марки анаэробного продукта для резьбового соединения можно

произвести в зависимости от коэффициента сцепления $K_1 = H/d$ и коэффициента прочности $K_2 = M_0/M_p$, где: H - высота гайки (длина свинчивания), м; d - средний диаметр резьбы, м; $M_0 = \sigma_{стр} nd_2H$ - крутящий момент отвинчивания, определяемый из выражения (2) Н·м; $M_p = W_p \cdot \sigma_{кр}$ - момент разрушения болта (винта), Н·м; $W_p = 0,2 \cdot d_1^3$ - полярный момент сопротивления при кручении, м³; d_1 - внутренний диаметр резьбы болта, м; $\sigma_{кр} = 0,32 \cdot \sigma_b$ - допускаемое разрушающее напряжение при кручении материала болта (винта) МПа; $\sigma_b = 340$ МПа - временное сопротивление разрушению для стали 10.

Для установления степени разборности резьбовых соединений размерами М2,5 - М8 были взяты все длины болтов по ГОС 17805-70 и винтов по ГОСТ 1475-72 и рассчитаны значения K_1 и K_2 для анаэробных продуктов АН-7, АН-10 и АН-125Ц при принятых пределах разрушающего напряжения при сдвиге (трение) $\sigma_{стр} = 1, 2$ и 4 МПа соответственно. На основании проведенных расчетов в соответствии с приведенными формулами построены зависимости коэффициентов K_1 и K_2 , характеризующие прочность и разборность соединений (рис. 3.)

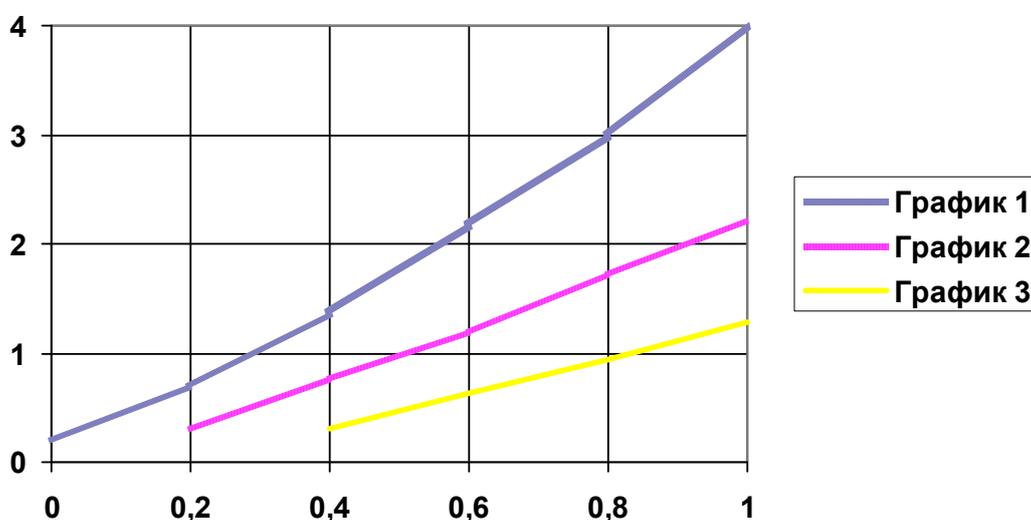


Рис. 3. Зависимость коэффициентов сцепления K_1 и прочности K_2 для резьбовых соединений, закономерных: 1 - АН-7; 2 - АН-10; 3 - АН-125Ц

О степени разборности можно судить по коэффициенту K_2 , изменяющемуся от нуля до 1,0. При $K_2 > 1$ соединение считается неразборным. На практике для разборных соединений принимается $K_2 = 0,1 \div 0,3$, при этом соединение соответствует эксплуатационным требованиям. Так, резьбовое соединение М2,5 при $d_1 = 2,2$ мм и длине нарезки резьбы (длина свинчивания) $H = 4$ мм будет иметь $K_1 = 1,8$. Рассчитанный $M_p = 1,5 \cdot 10^3$ Н·м, а $M_0 = 4,9 \cdot 10^2, 1 \cdot 10^3$ и $2,4 \cdot 10^3$ Н·м соответственно для АН-7, АН-10 и АН-125Ц. При этих условиях соединение, выполненное на АН-7 ($\sigma_{стр} = 1$ МПа), должно быть разборным, так $M_0 = 4,9 \cdot 10^2 < M_p = 1,5 \cdot 10^3$ Н·м; соединение АН-10 ($\sigma_{стр} = 2$ МПа) - трудно-разборным, так как $M_0 = 1 \cdot 10^3 < M_p = 1,5 \cdot 10^3$ Н·м, и неразборным для АН-125Ц ($\sigma_{стр} = 4$ МПа), так как $M_0 = 2,4 \cdot 10^3 > M_p = 1,5 \cdot 10^3$ Н·м. Хотя результаты построения графика (рис. 3) не учитывают ряда конструкционнотехнологических факторов и колебаний разрушающих напряжений для различных марок анаэробных материалов, а также возможности их попадания под головку болта, он все же дает высокую вероятность (0,8-0,9) получения характеристик прочности и разборности соединений.

Прочность соединений во многом зависит также от размера зазора между соединяемыми поверхностями. При большом зазоре, не соответствующем вязкости анаэробного продукта, облегчается доступ кислорода, воздуха в соединение и процесс полимеризации замедляется, легче срывается при сдвиге гребешки полимеризованного продукта, снижая прочность соединения. Кроме того при больших зазорах продукт может вытекать из соединения. По-

этому необходим выбор вязкости анаэробного продукта для соответствующего размера зазора в соединении. Анаэробные продукты имеют вязкость от $10 \cdot 10^{-3}$ до $30000 \cdot 10^{-3}$ Па·с и в зависимости от этого применяются как для прессовых посадок (натяг), так и для зазоров до 0,6 мм. На основании многочисленных экспериментов и испытаний можно сделать вывод, что прочность соединений существенно зависит от размера зазора. При среднем и минимальном зазорах все продукты имеют максимальный предел прочности, с увеличением зазора прочность снижается. Зависимость предела прочности от величины зазора представлена на рис. 4.

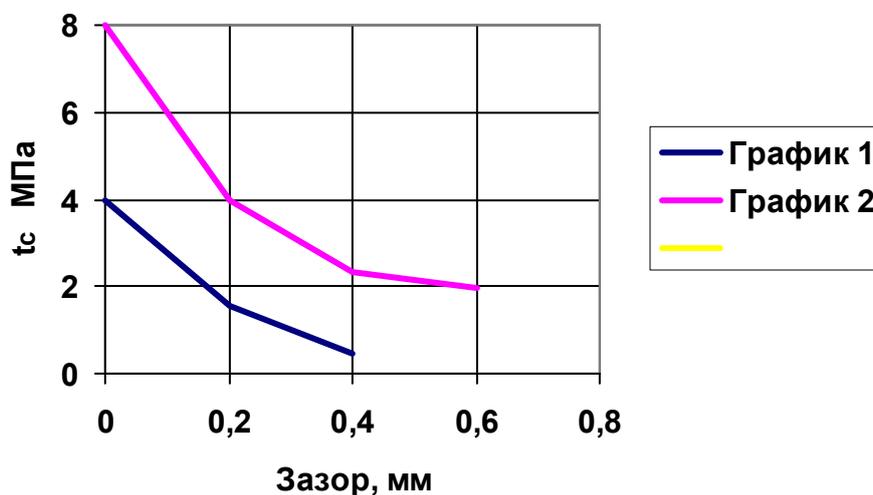


Рис. 4. Зависимость прочности соединения на сдвиг от величины зазора для различных марок анаэробов

Как было отмечено ранее, использование активатора в соединениях с использованием анаэробных продуктов способствует значительному ускорению достижения прочности соединений. На рис. 5 представлен график, показывающий общую тенденцию изменения прочности различных анаэробных продуктов от времени отверждения для образцов из латуни Л62, собранных с активатором и без него.

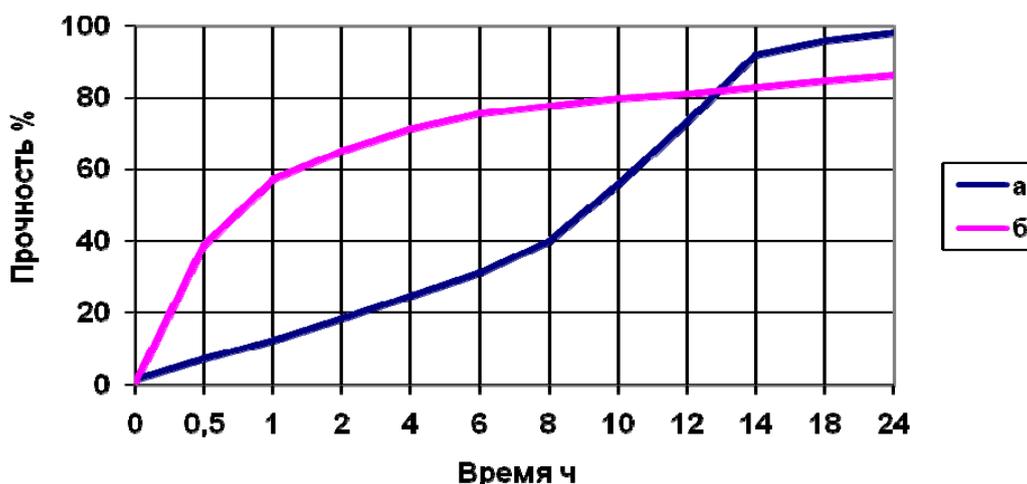


Рис. 5. Изменение прочности анаэробных продуктов в зависимости от времени отверждения: 1 - без активатора, 2-с активатором

Зависимость прочности от времени отверждения в случае применения активаторов (марок КС и КВ) была изучена для различных марок анаэробных продуктов на оцинкованных образцах типа "шпилька-гайка" с резьбой М10 кл.2 из стали 40. Высота гайки - 8,0 мм. Перед сборкой образцы обезжировали бензином, испарения которого увлажняли резьбу, смазывали

активатором марки КС и выдерживали на воздухе не менее 10 мин. Затем на 3-4 витка шпильки и гайки наносили анаэробный продукт, и гайка наворачивалась на шпильку на длину 10-15 мм. Собранные образцы выдерживали в течение определенного времени, необходимого для полимеризации анаэробного продукта и после этого тарированным ключом определяли момент страгивания и отвинчивания через 90, 180, 270, и 360°. По результатам испытаний можно было сделать вывод, что все анаэробные продукты в случае применения активатора имели большее разрушающее напряжение при сдвиге (страгивании) $\sigma_{ст}$ в интервале 1 часа после сборки.

Как было установлено в процессе проведения экспериментов на прочность соединений определенное влияние оказывают теплофизические характеристики: коэффициенты теплопроводности и температуропроводности, удельная теплоемкость и коэффициент линейного расширения. Теплопроводность анаэробных продуктов меньше, чем у большинства металлов, но больше, чем у воздуха, поэтому прослойка из анаэробного продукта улучшает теплопередачу собранного узла, так как эти продукты заполняют мельчайшие полости, которые в противном случае действовали бы как теплоизоляция.

Коэффициент теплопроводности λ характеризует способность материала проводить тепло, измеряется в Вт/(м·к) и зависит в основном от структуры анаэробных материалов. Скорость изменения температуры в теле характеризуется его коэффициентом температуропроводности "а" измеряемым в м²/с. Удельная теплоемкость "с" вещества связана со свойством тел аккумулировать тепловую энергию и измеряется в Дж/(кг·к). Температурный коэффициент линейного расширения α характеризует непосредственное изменение длины образцов в зависимости от температуры нагрева. Результаты определения теплофизических характеристик отечественных анаэробных продуктов приведены в таблице 1. Из таблицы видно, что значения теплофизических величин анаэробных продуктов находятся в пределах:

$$a = 0,27 \cdot 10^{-3} \div 0,35 \cdot 10^{-3}, \text{ м}^2/\text{с}; \lambda = 0,153 \div 0,205, \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{к}); c = 1,6 \div 1,9 \text{ кдж}/(\text{кг} \cdot \text{к});$$

$$\alpha = 74 \cdot 10^{-6} \div 133 \cdot 10^{-6}, \text{ 1/к} - \text{ для анатермов}; \alpha = 142 \cdot 10^{-6} \div 183 \cdot 10^{-6}, \text{ 1/к} - \text{ для унигермов};$$

$$\alpha = 201 \cdot 10^{-6} \div 300 \cdot 10^{-6}, \text{ 1/к} - \text{ для анатерма - АН-102.}$$

Таблица 1

Марка продукта	Р-10-3, кг/м	а-10-3, м ² /ч	Х ВТ/(М'К)	С кдж/(кг-К)	а-10"6, 1/к, при температуре			
					323К	373К	423 К	473 К
АН-1	1,19	0,30	0,177	1,76	-	-	-	-
АН-2	1,20	0,31	0,177	1,72	83	95	132	1 К)
АН-4	1.07	0,34	0,166	1.64	82	84	91	-
АН-5	1,22	0,35	0,205	1,72	87	74	104	-
АН-6	1,23	0,30	0,169	1,76	-	-	-	-
АН-7	1,13	0,27	0,153	1.80	103	75	119	-
АН-8	1,14	0,29	0,169	1,76	-	-	-	-
АН-102	1,15	0,29	0,177	1,89	226	300	261	201
УГ-1	1,20	0,33	0,184	1,68	-	142	156	148
УГ-1К	1,19	0,33	0,180	1.64	-	166	183	164

Примечание. Температура испытаний образцов, при которой определялись теплофизические величины, равна 323°К.

Таким образом, теплофизические характеристики анаэробных продуктов соответствуют характеристикам полимерных клеящих материалов и существенно отличаются от характеристик металлов и сплавов.

Температурный коэффициент линейного расширения анаэробных продуктов, равный $74 \cdot 10^{-6} \div 300 \cdot 10^{-6}$, 1/К, в большинстве соединений обеспечивает необходимую прочность при низких и высоких температурах. Наиболее неблагоприятным будет соединение, когда наружная деталь имеет большой коэффициент расширения, чем внутренняя, например, стальной вал в амоминиевой втулке. Период рабочих температур такого соединения должен быть ограничен, а соединение проверено экспериментально. Разрушение образцов типа "вал-втулка" с внутренним диаметром 6 А/Д, наружным диаметром втулки 15мм и длиной соединения 21 мм, собранных на АН-5, после их выдержки по 1ч при температуре 213-333°К (один цикл) и проведения тридцати циклов не показали существенного изменения предела прочности соединения в сравнении с прочностью образцов, не подвергавшихся температурному воздействию. Втулки утих образцов были изготовлены из амоминиевого сплава В95Т1 ГОСТ21488-75, а вал - из стали 25x13 Н2 ТУ 14-1-721-73.

Анаэробные продукты, как и большинство полимерных материалов, обладают высокими демпфирующими свойствами и являются "безусталостными" материалами в сравнении с металлами. Это объясняется тем, что под действием вибраций и внешних циклических нагрузок в объеме материала возникают относительные перемещения макро- и микрочастиц, что и приводит к превращению механической энергии в тепловую. Демпфирующая способность материалов улучшается при введении в них определенных наполнителей.

Анаэробный герметик в отверженном состоянии также вибростоек и стоек к воздействию тряски. Не отмечены случаи разгерметизации или расконтривания соединений при испытаниях на тряску и вибрацию, как на средних режимах испытаний, так и при испытаниях с предельными вибронагрузками, в том числе на режимах: тряска при ускорении 90 м/с^2 и 80 уд./мин; вибрация с частотами 10-50 Гц и ускорением 3g; 50-500 Гц и ускорением 22g; 500-2000 Гц и ускорением 25g; 25000 Гц и ускорением 200g. Все виды испытаний проводились на натуральных образцах и показали положительный результат.

В результате проведения комплекса экспериментальных исследований по определению адгезионных, теплофизических и демпфирующих свойств анаэробных отечественных и зарубежных материалов установлены графические и эмпирические зависимости прочности и шероховатости поверхности, величины зазора, времени отверждения, активности соединяемых материалов, что расширяет возможности их применения при сборке узлов и агрегатов в различных отраслях промышленности.

Анализ кинематики и динамики шариков при доводке сборным инструментом

к.т.н. доц. Щетникович К.Г.

Белорусский национальный технический университет

Введение

Доводка является одной из финишных операций, которая оказывает решающее влияние на эксплуатационные свойства шариков. Доводка шариков осуществляется между двумя соосными дисками, один из которых содержит концентрические канавки для размещения изделий [1, 2]. Конструкция инструмента напоминает устройство упорного подшипника и обработка происходит в условиях трения качения при дифференциальном проскальзывании шариков относительно рабочих поверхностей инструмента [3]. Скорость проскальзывания шариков составляет незначительную часть от линейной скорости диска, поэтому интенсивность доводки низкая, несмотря на высокую скорость вращения инструмента и большое давление в зоне обработки.

Длительная доводка стальных шаров в режиме качения приводит к передеформированию, охрупчиванию и усталостному разрушению поверхностного слоя. Опасность такого механизма съема металла, как подчеркивается в [4], состоит в том, что процесс периодического передеформирования и охрупчивания, запускаемый на финишной обработке, продол-