

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
Université Ferhat Abbas- Sétif 1
Institut : Optique et Mécanique de Précision
Département : Optique et mécanique de précision
Domaine : Sciences et Technologies
Filière : Optique et Mécanique de Précision
Spécialité : Mécanique des matériaux

Mémoire de Master

**Etude de la contribution des paramètres de l'échange
ionique par la méthode de Taguchi d'un verre sodo-calcique
sablé**

Étudié par : HAMMOUDI Samira

Dirigé Par : Dr. BENTERKI Smail

Dr. FACI Abdelaziz

Devant le jury :

(Président) : Dr. Kerouani

(Examineur) : Dr. Younes

Soutenue le : 04/07 /2023

Sommaire

<i>Remerciement</i>	II
<i>Dédicace</i>	III
Sommaire	IV
Liste des figure	VII
Liste des Tableau	VIII
Résumé	IX
Introduction générale.....	1

Chapitre I : Généralités sur les verres

I.1	Introduction.....	3
I.2	Définition du verre	3
I.3	Structure de verre	3
I.4	Etat vitreux	4
I.5	Les différents types de verre	4
I.5.1	Les verres sodocalciques	4
I.5.2	Les verres de silice	4
I.5.3	Les verres borosilicate	4
I.5.4	Les vitrocéramiques	4
I.6	Propriété des verres	4
I.6.1	Propriété mécanique.....	4
I.6.1.1	Elasticité	4
I.6.1.2	La dureté.....	5
I.6.1.3	La résistance mécanique	5
I.6.2	Propriété optique	5
•	La transparence	5
I.6.3	Propriété chimique.....	6
I.6.3.1	Durabilité chimique	6
I.6.3.2	Action des bases et des acides	6
I.6.3.3	Action de l'eau.....	6

Chapitre II : Erosion des verres

II.1	Introduction.....	8
II.2	Principe d'érosion par sablage	8
II.3	L'érosion du verre.....	8

II.4	Les paramètres d'érosion	9
II.5	Principaux types des dispositifs de sablage.....	9

Chapitre III : Echange ionique

III.1	Introduction.....	11
III.2	Les techniques d'échange ionique	11
III.2.1	L'échange purement thermique.....	11
III.3	Les paramètres influents l'échange.....	13
III.3.1	La température d'échange	13
III.3.2	Le temps d'échange.....	14
III.3.3	Effet de la composition du verre	15
III.3.4	Effet de la composition du bain.....	15

Chapitre IV : plan d'expériences

IV.1	Introduction.....	17
IV.2	Définition des plans d'expériences	17
IV.3	L'intérêt des plans d'expériences.....	17
IV.4	Généralités sur les plans d'expériences	17
IV.4.1	Réponse.....	17
IV.4.2	Facteur.....	17
IV.4.3	Domaine expérimental.....	18
IV.4.4	Domaine expérimental continu.....	18
IV.4.5	Domaine expérimental discret	18
IV.5	Notion d'espace expérimentale	19
IV.6	Notion de surface de réponse	19
IV.7	Méthodologie expérimentale.....	19
IV.8	Analyse de variance ANOVA.....	20
IV.9	Méthode de Taguchi.....	20
IV.9.1	Définition.....	20
IV.9.2	Plan de Taguchi L9.....	21
IV.10	Notion de modélisation mathématique.....	21

Chapitre V : ETUDE EXPERIMENTALE - RESULTATS ET DISCUSSION

V.1	Objectif du travail	24
V.2	Matériaux utilisés	24
V.3	Dispositifs utilisé.....	26
V.4	Indentation Vickers	28

V.5	Procédure expérimentale.....	28
V.6	Méthodologie d'analyse.....	29
V.6.1	Méthode de Taguchi.....	29
V.6.2	Les facteurs et leurs niveaux	30
V.6.3	Plan expérimental.....	30
V.7	Déroulement des essais et de l'analyse des résultats.....	31
V.7.1	Analyse de Variance ANOVA	31
V.7.2	Analyse de rapport signal/bruit (S/B).....	31
V.8	Résultats et discussion	33
V.8.1	Effet des paramètres d'échange (T, t) sur la dureté (HV)	33
V.8.2	Effet des paramètres d'échange (T, t) sur la concentration (C)	33
V.8.3	. Effet des paramètres d'échange (T, t) sur le taux d'endommagement (Tend)	33
V.8.4	Analyse des effets principaux du rapport (S/B) sur de la dureté (HV)	34
V.8.5	Analyse des effets principaux du rapport (S/B) sur la concentration (C)	35
V.8.6	Analyse des effets principaux du rapport (S/B) sur le taux d'endommagement (Tend) 35	
V.9	Modélisation mathématique :	36
	Conclusion Générale.....	40
	Références.....	XLII

Liste des figure

Chapitre I

Figure I. 1 : représentation schématique de réseau (a) réseau vitreux desordonné (b) réseau ordonné de SiO_2	3
Figure I. 2 : évolution de contrainte en fonction de la déformation pour un matériau fragile et un matériau ductile	5

Chapitre II

Figure II. 1 : Principe de l'essai d'érosion par une particule solide projetée sur cible.	8
Figure II. 2 : Fissures générées lors du sablage	9

Chapitre III

Figure III. 1: Représentation schématique de l'échange ionique	12
Figure III. 2 : Représentation schématique des liaisons chimiques lors du processus d'échange ionique	13

Chapitre IV

Figure IV. 1 : Domaine expérimental continu	18
Figure IV. 2 : Domaine expérimental discret	19

Chapitre V

Figure V. 1 : Micrographie d'un échantillon du sable montrant l'aspect,	25
Figure V. 2 : Four électrique utilisé	26
Figure V. 3: schéma de principe du dispositif de sablage.	27
Figure V. 4: Duromètre ZHU 2,5.	27
Figure V. 5: Microscope électronique à balayage MEB.	28
Figure V. 6: Les effets des paramètres de l'échange sur HV pour Les rapports signal/bruit.	34
Figure V. 7: Les effets des paramètres de l'échange sur C pour Les rapports signal/bruit.	35
Figure V. 8: Les effets des paramètres de l'échange sur Tend pour les rapports signal/bruit.....	37

Liste des Tableau

Chapitre III

Tableau III. 1 : Caractéristiques des principaux ions qui s'échangent .	15
--	----

Chapitre IV

Tableau IV. 1: Matrice de planification pour un plan de Taguchi L9.....	21
--	----

Chapitre V

Tableau V. 1 : Composition chimique moyenne du verre utilisé.....	24
--	----

Tableau V. 2: Quelques caractéristiques physiques du verre utilisé .	25
---	----

Tableau V. 3 : Plan orthogonal L9 de Taguchi.	30
---	----

Tableau V. 4: Paramètres de l'échange et leurs niveaux.....	30
--	----

Tableau V. 5: Résultats expérimentaux.	31
--	----

Tableau V. 6: Résultats calculés du rapport S/B.....	32
---	----

Tableau V.7: Analyse de variance ANOVA pour HV	33
---	----

Tableau V. 8: Analyse de variance ANOVA pour C	33
---	----

Tableau V. 9: Analyse de variance ANOVA pour Tend.....	34
---	----

Tableau V. 10: Les réponses de chaque niveau pour Les rapports signal/bruit	34
--	----

Tableau V. 11: Les réponses de chaque niveau pour les rapports signal/bruit	35
--	----

TableauIV. 12: Les réponses de chaque niveau pour Les rapports signal/bruit.....	36
---	----

Résumé

Le but de ce travail est d'utiliser la méthode de « TAGUCHI » pour déterminer la contribution des paramètres de l'échange ionique d'un verre sodocalcique sur la variation des propriétés du verre.

Les paramètres de l'échange tels que la température et le temps d'échange comme paramètres d'entrée et les réponses tels que la dureté, la concentration et le taux d'endommagement ont été utilisés dans cette étude.

Une série d'expérience basée sur un réseau orthogonale de Taguchi sera effectués. L'impact des paramètres d'échange sur les réponses adoptés a été obtenu en utilisant l'analyse de la variance ANOVA.

Les mots clé : verre sodocalcique, échange ionique, érosion, sablage...

Abstract

The aim of this work is to use the "TAGUCHI" method to determine the contribution of the ion exchange parameters of a soda-lime glass on the variation of the properties of the glass.

The parameters of the exchange such as the temperature and the exchange time as input parameters and the responses such as the hardness, the concentration and the damage rate were used in this study.

A series of experiments based on an orthogonal Taguchi network will be carried out. The impact of the exchange parameters on the adopted responses was obtained using ANOVA analysis of variance.

Key words: soda-lime glass, ion exchange, erosion, sandblasting.

المخلص

الهدف من هذا العمل هو استخدام طريقة "تاجوتشي" لتحديد مساهمة معلمات التبادل الأيوني لزجاج الصودا على تغير خواص الزجاج.

تم استخدام معلمات التبادل مثل درجة الحرارة و وقت التبادل كمعلمات إدخال واستجابات مثل الصلابة والتركيز ومعدل الضرر في هذه الدراسة.

سيتم تنفيذ سلسلة من التجارب القائمة على شبكة تاجوتشي المتعامدة. تم الحصول على تأثير معلمات التبادل على الردود المعتمدة باستخدام تحليل ANOVA.

الكلمات المفتاحية: زجاج الصودا-الجير, التبادل الايوني, التعرية, السفع الرملي

Introduction générale

Introduction générale

L'érosion des matériaux fragiles constitue un grand problème dans plusieurs domaines d'application. Elle constitue l'un des éléments principaux qui limite la durée de vie des pièces et des appareils exposés aux impacts par des particules solides. En effet, l'endommagement des surfaces fonctionnelles comme dans le cas du verre influence négativement les propriétés mécaniques et optiques. En général, il se produit des endommagements plus ou moins importants (fissuration, écaillage, rayures,.....) qui réduisent la résistance mécanique et la transmission optique.

Dans le but de faire face à la dégradation de l'état de surface des matériaux fragiles tel que le verre et de lui conférer de nouvelles propriétés, un traitement thermique ou chimique est nécessaire, dans notre étude un traitement chimique par échange ionique peut être utilisé pour introduire un cation issu d'un sel fondu. On peut ainsi substituer un ion mobile du verre par un autre ion de rayon ionique plus grand, afin d'en modifier ces propriétés. Cette technique permet d'apporter au verre une amélioration de ces propriétés mécaniques en substituant un ion mobile du verre (ion Na^+) par un ion mobile issu du milieu environnant liquide ou gazeux (ion K^+).

Le but de ce travail est d'utiliser la méthode de Taguchi pour déterminer la contribution des paramètres de l'échange ionique d'un verre sodo-calcique tels que la température et le temps d'échange comme paramètres d'entrée sur les propriétés mécaniques, et la modélisation du phénomène de l'échange

Ce mémoire est divisé en deux grandes parties, elles-mêmes divisées en chapitres. La première partie présentera, à l'aide d'une étude bibliographique et de manière générale, dans un premier temps le verre. Le deuxième chapitre exposera le phénomène de l'érosion, le troisième présentera la technique de l'échange ionique, le quatrième portera sur les plans d'expériences et les différentes méthodes statistiques pour l'étude de la contribution des paramètres de l'échange ionique par la méthode de Taguchi.

La deuxième partie du manuscrit présentera les dispositifs expérimentaux mis au point pour réaliser cet échange ionique, et l'ensemble des résultats expérimentaux obtenus. Enfin, ce manuscrit se terminera par une conclusion générale.