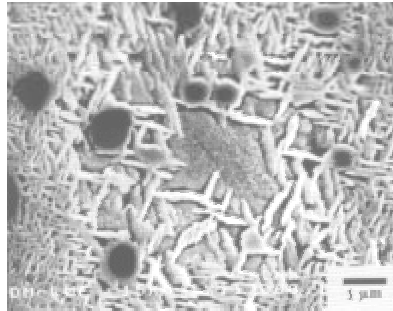


A. Tiziani, F. Bonollo, P. Ferro

MATERIALI METALLICI

Cenni sui materiali ceramici



Microstruttura di un composito (MgY)PSZ costituito da ossido di zirconio, ossido di magnesio, ossido di yttrio e spinello

A.A. 2006/2007

2° Anno Ingegneria Gestionale - Nuovo Ordinamento

1

I Materiali Ceramici

Hanno una lunga storia: materiali ottenuti per cottura da impasti di minerali argillosi (sinterizzazione)

Materiali inorganici non metallici duri, caratterizzati da frattura fragile e ottenuti con processi anche diversi dalla sinterizzazione: materiali vetrosi, cemento, composti ionici (NaCl), silicati, etc...

'Tallone d'Achille': **fragilità**

'keramikos' = 'materiale cotto' (proprietà elevate dopo trattamento termico ad alta T)

'ceramici tradizionali' = componente principale, argilla

'ceramici avanzati'

R.C. Garvie et al. (1975), Nature: 'Ceramic steel'

Alex Müller et al. (1987), premio Nobel per la fisica: superconduttori ceramici

2

I Materiali Ceramici

Proprietà

1. Elevata durezza
2. Resistenza all'abrasione e alla compressione
3. Elevata rigidità
4. Inerzia chimica
5. Alto punto di fusione
6. Buoni isolanti termici ed elettrici
7. Bassa espansione termica
8. Densità in generale inferiore a quella dei materiali metallici
9. Superconduttori a temperature relativamente elevate (70-100 K)

Studio di processi per la riduzione dei difetti, e blocco delle cricche
(processi ancora costosi)

3

I Materiali Ceramici

Generalità

Principali materiali ceramici	
Strutturali convenzionali	Terrecotte, mattoni, vasellame, porcellane, piastrelle
Cementi	Cementi ceramici prodotti a freddo per reazioni chimiche
Strutturali avanzati	Alta resistenza meccanica alle alte temperature, e a shock termici (bassa dilatazione termica)
Abrasivi per utensili	Carburi di tungsteno, boruri, nitruri, SiAlON per utensili da taglio, CERMET (con polveri metalliche)
Per ottica	Fibre ottiche, materiale attivo per laser a stato solido
Per uso sanitario	Protesi biocompatibili
Nucleare	U ₂ O, che resiste all'irraggiamento (U metallico inadatto); incamiciamento delle barre di uranio con ceramiche allo Zirconio
Elettroceramici	Isolanti (porcellana), piezoelettrici, ferroelettrici, superionici, superconduttori
Magnetoceramici	Ferriti dolci e dure (magneti, memorie, registratori,...)

4

I Materiali Ceramici

Tipo di legame

Elementi metallici (spesso) + elementi non metallici

Legami **covalenti**, **ionici** o **misti**

C (diamante)	covalente
SiC (carburo di silicio)	covalente
Si ₃ N ₄ (nitruro di silicio)	covalente
Al ₂ O ₃ (allumina)	covalente-ionico
SiO ₂ (quarzo)	covalente-ionico
vetro comune	covalente-ionico
mica	ionico
MgO	ionico
NaCl	ionico

5

STRUTTURE CRISTALLINE DEI CERAMICI

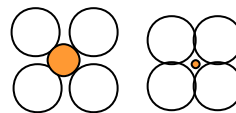
STRUTTURE COMPLESSE MENO DENSE DI QUELLE METALLICHE

VINCOLI

CARICA (cristallo elettricamente neutro)

Formula del fluoruro di calcio: CaF₂
(Ca²⁺, F⁻)

**DIMENSIONI
DEGLI IONI + E -**



stabile

instabile

Numeri di coordinazione tipici
dei materiali ceramici: 4, 6, 8



Anione (-)



Catione (+)

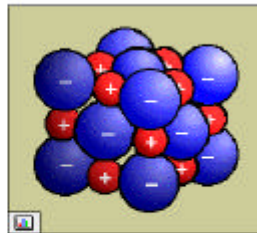
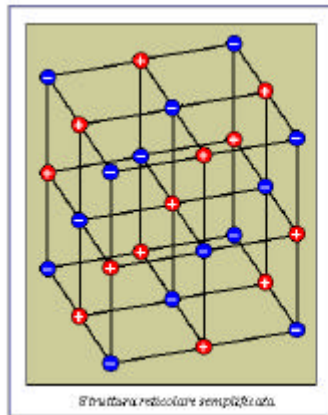
6

STRUTTURE CRISTALLINE DEI CERAMICI

STRUTTURE CRISTALLINE TIPO AX

Anione

Catione



Numero di coordinazione 6

Es: **NaCl** (cloruro di sodio). Ogni anione (Cl^-) è circondato da sei cationi (Na^+) e viceversa.

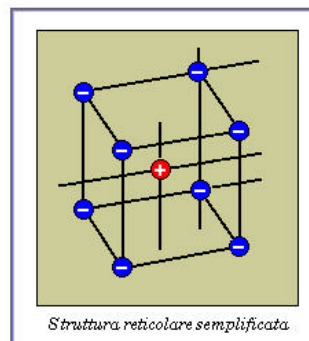
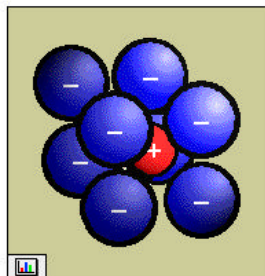
2 reticoli FCC compenetrati l'uno nell'altro

7

STRUTTURE CRISTALLINE DEI CERAMICI

STRUTTURE CRISTALLINE TIPO AX

In altre strutture (ad esempio il CsCl , CsBr , CsI , TlCl , TlBr , TlI) ogni anione è circondato da otto cationi e viceversa; il reticolo consiste di due reticoli cubici compenetrati l'uno nell'altro, risultando complessivamente in un **reticolo cubico a corpo centrato**.



Numero di coordinazione 8

8

STRUTTURE CRISTALLINE DEI CERAMICI

Se le cariche degli anioni e dei cationi non sono le stesse:

STRUTTURE CRISTALLINE TIPO A_mX_p

Con m e/o $p \neq 1$; Es: CaF_2

STRUTTURE CRISTALLINE TIPO $A_mB_nX_p$

Con A e B cationi. Es: Titanio di Bario BaTiO_3 (Ba^{2+} , Ti^{4+} , O^{2-})

DENSITA' NEI CERAMICI

$$\rho = \frac{n'(\sum A_C + \sum A_A)}{V_C N_A}$$

n' = numero di unità di formula (Es: BaTiO_3 , $n' = 5$)

$\sum A_C$ = somma pesi atomici di tutti i cationi nell'unità di formula

$\sum A_A$ = somma pesi atomici di tutti gli anioni nell'unità di formula

V_C = volume cella unitaria

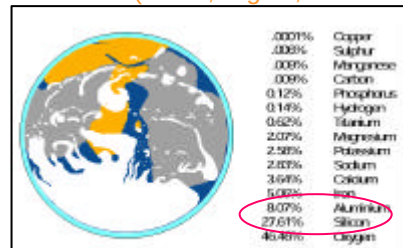
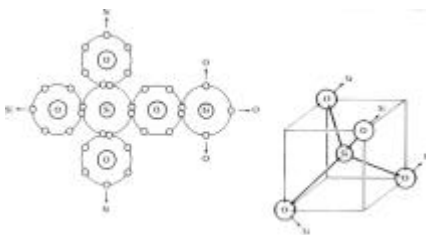
N_A = numero di Avogadro

9

STRUTTURE CRISTALLINE DEI CERAMICI

CERAMICI FORMATI DA SILICATI

SILICATI: materiali formati principalmente da Si e O (rocce, argille, sabbia...)



Distribuzione degli elementi sulla crosta terrestre

Strutture ottenute mediante diverse disposizioni dei tetraedri



Legami covalenti, forti e direzionali

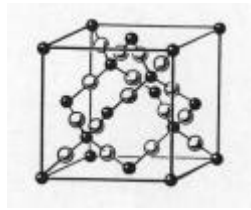
10

STRUTTURE CRISTALLINE DEI CERAMICI

CERAMICI FORMATI DA SILICATI

SILICATI: LA SILICE (SiO_2)

Forme polimorfiche: QUARZO, CRISTOBALITE, TRIDIMITE



Strutture aperte (bassa densità)
Legami molto forti (alto punto di fusione,
1710 °C)

11

STRUTTURE CRISTALLINE DEI CERAMICI

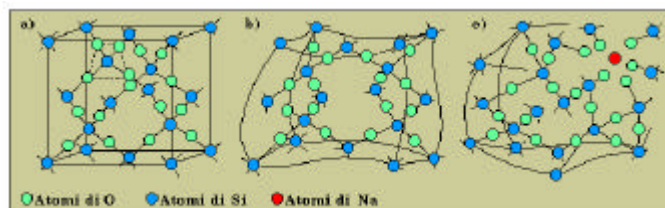
CERAMICI FORMATI DA SILICATI

VETRI SILICEI

Silice in forma **amorfa**

Molti materiali ceramici hanno una struttura parzialmente o totalmente **amorfa**: la disposizione spaziale dei loro atomi non rispetta la struttura periodica che caratterizza i **reticoli cristallini**. Sono indicati genericamente come vetri.

Qui sotto potete osservare alcune strutture cristalline. Si tratta della struttura cristallina della silice (cristobalite) in figura a, della struttura vetrosa (figura b) e della struttura vetrosa della silice con aggiunta di Na_2O (figura c).



12

STRUTTURE CRISTALLINE DEI CERAMICI

CERAMICI FORMATI DA SILICATI

VETRI SILICEI

I vetri silicati sono quelli usati più comunemente. L'aggiunta di Na_2O (soda) alla silice (SiO_2) ne abbassa il punto di fusione. Il sodio entra come ione monovalente negli spazi della struttura della silice amorfa; l'ossigeno si lega in modo covalente ad un solo atomo di silicio, così che la continuità del reticolo è interrotta, come evidenziato nella figura a lato. Per questa azione lo Na_2O ed i composti analoghi sono detti modificatori del reticolo.

A questo tipo di interruzione sono dovuti i grandi cambiamenti di proprietà rispetto alla silice amorfa. Ad esempio, un vetro con il 20% di Na_2O a 1400°C ha una viscosità 10^{10} volte inferiore di quella del SiO_2 (che è ancora solido).

Il vetro commerciale più comune contiene circa il 15% di Na_2O e il 10% di CaO .

13

STRUTTURE CRISTALLINE DEI CERAMICI

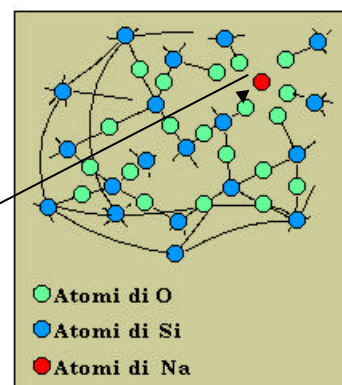
CERAMICI FORMATI DA SILICATI

VETRI SILICEI

Sono quelli usati più comunemente. L'aggiunta di soda (Na_2O) alla silice ne abbassa il punto di fusione

La soda e i composti analoghi sono detti modificatori del reticolo

Grandi cambiamenti di proprietà



14

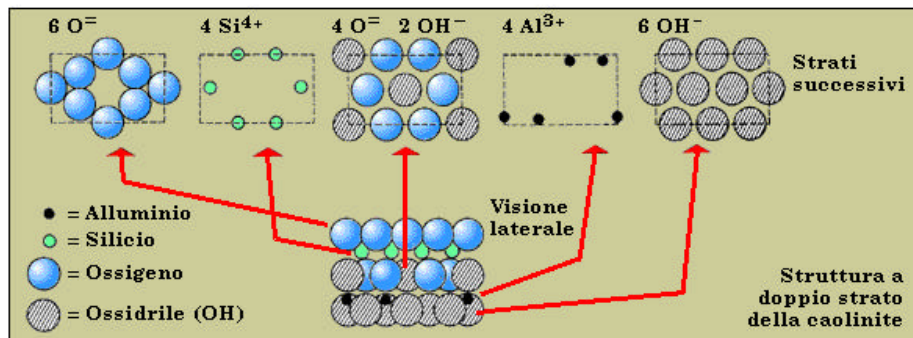
STRUTTURE CRISTALLINE DEI CERAMICI

CERAMICI FORMATI DA SILICATI

SILICATI STRATIFORMI (Struttura di base delle ARGILLE ed altri minerali)

ES: Caolinite $\text{Al}_2(\text{Si}_2\text{O}_5)(\text{OH})_4$

Lamelle con struttura a due strati (i vari strati sono legati da forze deboli di VdW)

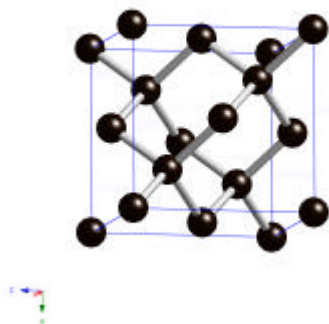


15

STRUTTURE CRISTALLINE DEI CERAMICI

CARBONIO

DIAMANTE (forma polimorfa del carbonio)



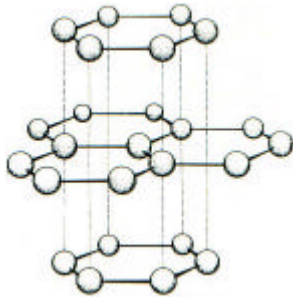
1. Legami covalenti
2. È il materiale più duro attualmente noto
3. Bassa conduttività elettrica
4. Presenta un'inattesa elevata conducibilità termica per un non metallo

16

STRUTTURE CRISTALLINE DEI CERAMICI

CARBONIO

GRAFITE (forma polimorfa de carbonio)



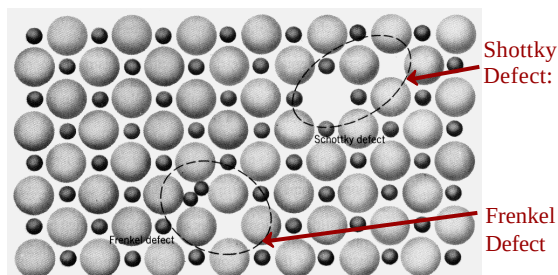
1. Legame VdW fra i piani esagonali
2. Facile scorrimento interplanare (proprietà lubrificanti)
3. Conduttività elettrica elevata nella direzione parallela ai piani esagonali
4. Alta conduttività termica
5. Basso coefficiente di espansione termica
6. Alta resistenza agli shock termici

17

IMPERFEZIONI NEI CERAMICI

DIFETTI ATOMICI PUNTUALI

- **Difetto di Frenkel**
--a cation is out of place.
- **Difetto di Shottky**
--a paired set of cation and anion vacancies.



- Equilibrium concentration of defects $\sim e^{-Q_D/kT}$

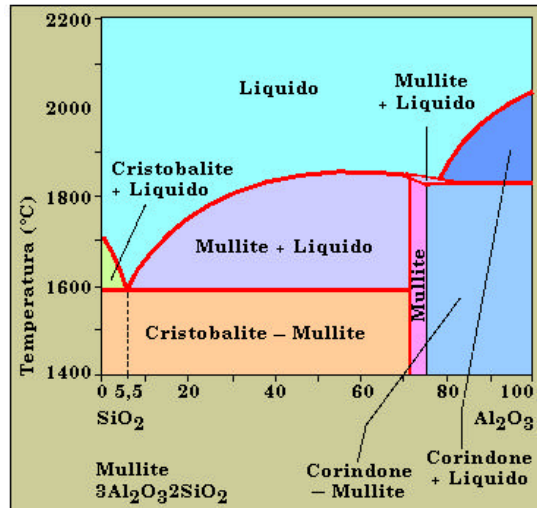
18

DIAGRAMMI DI FASE DEI CERAMICI

IL SISTEMA $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$

Diagramma alla base di molti comuni mattoni refrattari (50%-80% di Al_2O_3)

Diagramma di stato $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$



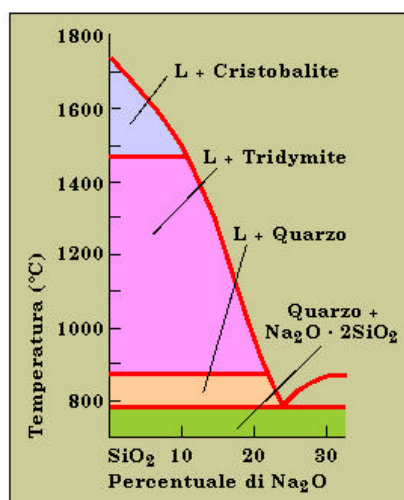
19

DIAGRAMMI DI FASE DEI CERAMICI

IL SISTEMA $\text{SiO}_2\text{-Na}_2\text{O}$

La soda è utilizzata come additivo nei processi per ottenere vetri

Diagramma di stato $\text{SiO}_2\text{-Na}_2\text{O}$



20

PROPRIETA' MECCANICHE

FRATTURA FRAGILE

Legame covalente (forte e direzionale)



Difficile movimento delle dislocazioni



Fragilità

Legame ionico (non direzionale)



Difficile movimento delle dislocazioni per la repulsione fra ioni



Fragilità

In un materiale amorfo la deformazione plastica può avvenire solo per scorrimento viscoso (alte temperature)

21

PROPRIETA' MECCANICHE

INFLUENZA DELLA POROSITA'

Porosità sono sempre presenti e legate al processo produttivo (sinterizzazione)

La *porosità residua* è *deleteria* sia per le *proprietà elastiche* che per la *resistenza*

All'aumentare della porosità diminuisce il modulo elastico

All'aumentare della porosità diminuisce la resistenza per

1. Diminuzione della sezione resistente
2. Effetto di concentrazione delle tensioni

(ES: il 10% in volume di porosità diminuisce la resistenza del 50%)

22

PROPRIETA' MECCANICHE

DUREZZA

La durezza è **elevata**: utilizzo dei ceramici come **abrasivi** o per ricoprimenti per la **resistenza ad usura**

SCORRIMENTO (CREEP)

Solitamente a compressione. Il creep si manifesta a temperature alte. Il comportamento è simile a quello dei materiali metallici

23

PROPRIETA' MECCANICHE

Resistenza alla frattura **sperimentale** <<< **resistenza** predetta **teoricamente**
mediante le forze di legame

Presenza di **piccolissime cricche** all'interno del materiale che fungono da
punti di intensificazione degli sforzi

Resistenza a compressione >>> **resistenza a trazione**

Per aumentare la resistenza a frattura: sforzi residui di compressione sulla
superficie indotti mediante tempra

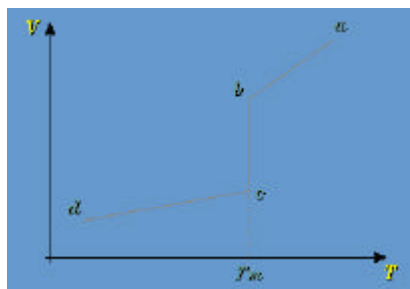
24

TECNOLOGIE DI PRODUZIONE

Date le elevate temperature di fusione e la fragilità la formatura per colata o deformazione plastica è impraticabile

VETRI (silicati non cristallini contenenti altri ossidi)

I vetri sono materiali che passano dallo stato liquido (di bassa viscosità) allo stato solido (di alta rigidità) in modo graduale, senza evoluzione di calore latente. Nell'animazione si mostra la differenza fra la transizione cristallina e la transizione vetrosa.



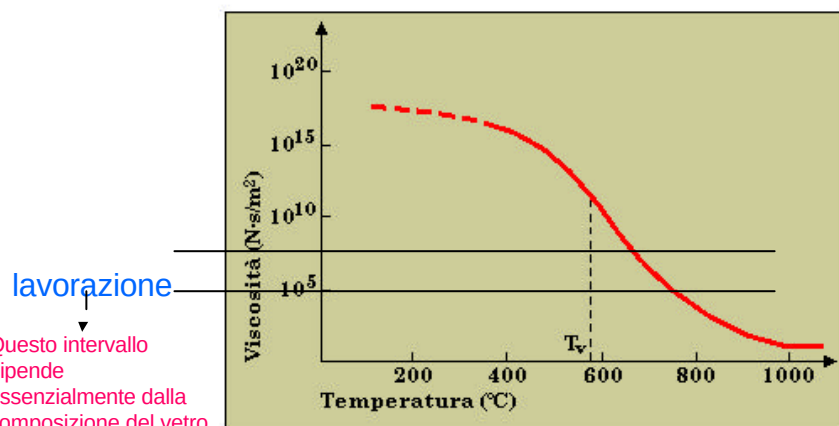
Transizione vetrosa

25

TECNOLOGIE DI PRODUZIONE

VETRI (silicati non cristallini contenenti altri ossidi)

Viscosità del vetro normale ($\text{SiO}_2 + \text{Na}_2\text{O}$)



26

TECNOLOGIE DI PRODUZIONE

VETRI (LAVORAZIONE)

Per riscaldamento delle materie prime ad una temperatura elevata, al di sopra della quale si ha fusione

FORMATURA per **pressatura** (mediante stampi in ghisa rivestiti di grafite), **soffiatura**, **trafilatura**

VETRI (TRATTAMENTI TERMICI)

RICOTTURA, per eliminare tensioni residue di trazione superficiali

TEMPRA TERMAL, per INSERIRE INTENZIONALMENTE tensioni residue di COMPRESSIONE superficiali

27

TECNOLOGIE DI PRODUZIONE

VETRI (TRATTAMENTI TERMICI)

Vetri infrangibili

I vetri normali sono fragili perché le piccole fenditure (cricche) che esistono sulla superficie si allargano facilmente quando il materiale (che è rigido) è sottoposto a sforzi in trazione o in flessione. Uno dei metodi per ridurre la fragilità è la tempra, attraverso la quale si introduce nello strato superficiale del vetro uno sforzo tangenziale in compressione. Raffreddando bruscamente il campione caldo si provoca inizialmente la contrazione e l'irrigidimento degli strati prossimi alla superficie, mentre l'interno rimane più caldo e fluido. Gradualmente anche l'interno si raffredda e tende a contrarsi anche longitudinalmente, trascinando la compressione longitudinale dello strato esterno.

28

TECNOLOGIE DI PRODUZIONE

PRODOTTI ARGILLOSI (alluminosilicati, $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2$ con struttura stratiforme)

Argilla e acqua mescolati nelle opportune proporzioni formano una massa plastica facilmente modellabile (**IDROPLASTICITA'**). Il pezzo modellato viene poi essiccato per rimuovere parte dell'umidità e quindi cotto ad alta temperatura per aumentarne la resistenza meccanica

Prodotti argillosi strutturali
(mattoni, piastrelle...)

Porcellane bianche
(porcellane, ceramiche,
articoli da tavola...)

I minerali argillosi hanno struttura CAOLINITICA: con l'aggiunta di acqua, le molecole H_2O si interpongono tra gli strati di lamelle e formano un film sottile attorno alle particelle di argilla che diventano così libere (plasticità)

29

TECNOLOGIE DI PRODUZIONE

PRODOTTI ARGILLOSI

Aggiunte alle argille

Smagranti (es: quarzo) : sostanze prive di plasticità e di ritiro, usate come riempitivi

Fondenti (es: feldspato ($\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$)) : mescolato all'argilla forma vetro a basso punto di fusione

Porcellana tipica: 50% argilla – 25% quarzo – 25% feldspato

30

TECNOLOGIE DI PRODUZIONE

PRODOTTI ARGILLOSI – TECNICHE DI FABBRICAZIONE

1. Macinazione della materia prima
2. Vagliatura e dimensionamento (caratteristiche dimensionali desiderate)
3. Le polveri vengono poi mescolate con acqua e altri ingredienti

Formatura idroplastica

L'impasto acqua-argilla viene formato per **ESTRUSIONE** (mattoni, piastrelle,...)

Foratura del ceramico plastico all'interno di uno stampo mediante una vite senza fine

Formatura per colaggio

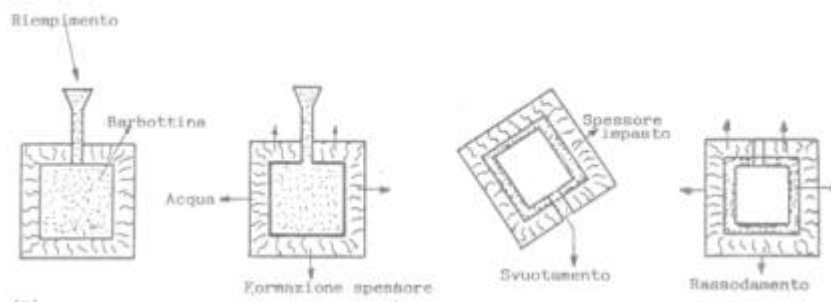
Una sospensione liquida di argilla (BARBOTTINA) viene versata in uno **stampo poroso**. L'acqua viene assorbita dallo stampo: formazione di uno strato solido sulle pareti che per ritiro si stacca dallo stampo

31

TECNOLOGIE DI PRODUZIONE

PRODOTTI ARGILLOSI – TECNICHE DI FABBRICAZIONE

Formatura per colaggio



32

TECNOLOGIE DI PRODUZIONE

PRODOTTI ARGILLOSI – ESSICAMENTO E COTTURA

Dopo formatura il pezzo contiene una significativa porosità e parte del fluido: scadenti proprietà meccaniche. Il liquido viene rimosso per **ESSICAMENTO** (**VERDE**); la densità e la resistenza viene aumentata per **COTTURA**. Fasi critiche: formazioni di difetti ad opera di tensioni residue

ESSICAMENTO: si ha ritiro del materiale ceramico (per eliminazione del film sottile d'acqua che circonda le particelle d'argilla) (velocità di diffusione dell'acqua dal cuore = alla velocità di evaporazione alla superficie per evitare ritiri differenziati e rischi di cricche)

COTTURA: tra i 900-1400 °C; aumento ulteriore della densità e della resistenza meccanica (per diminuzione delle porosità). Chiusura dei pori per **VETRIFICAZIONE** (aggiunta di fondenti, Feldspati)

33

TECNOLOGIE DI PRODUZIONE

REFRATTARI

1. Elevata resistenza alle alte temperature
2. Elevata inerzia chimica
3. Ottimi isolanti termici

Applicazioni tipiche: rivestimenti di forni per raffinazione metalli, produzione vetro, trattamenti termici, ecc...

Fattore critico: controllo della porosità (deve essere minimizzata)

Argille refrattarie ($\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$), Refrattari di silice (**acidi**, SiO_2), Refrattari **basici** (MgO_2), Refrattari speciali

34

TECNOLOGIE DI PRODUZIONE

REFRATTARI

Temperature di fusione

Temperature di fusione (in gradi K) di ceramici e di metalli refrattari			
HfC	4420	Al ₂ O ₃	2320
TaC	4120	Cr ₂ O ₃	2260
W	3640	Cr	2100
ZrB ₂	3330	3Al ₂ O ₃ ·2SiO ₂ (Mullite)	2080
Ta	3270	Ti	2070
MgO	3070	Pt	2045
ZrO ₂	3040	SiO ₂	1988
BN	~3000 (sublima)	TiO ₂	1878
Mo	2895	Pd	1827
BeO	2840	Fe	1812
SiC	2770	Co	1763
Nb	2740	Ni	1728
B ₄ C	2720		

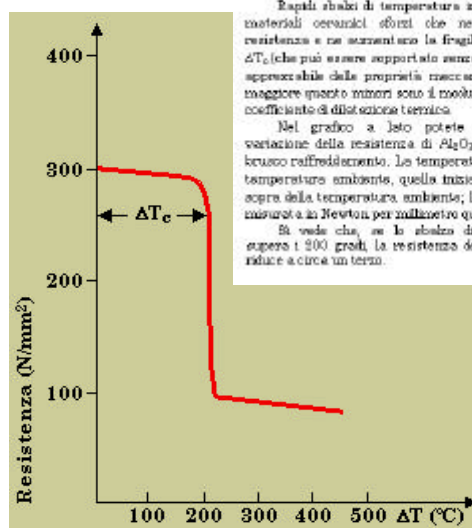
35

TECNOLOGIE DI PRODUZIONE

REFRATTARI

Shock termici

Resistenza
allo shock termico
aumenta al diminuire di
E (modulo elastico) e
 α (coefficiente di
espansione termica)



Rapidi shock di temperatura introducono nei materiali ceramici sforzi che ne riducono la resistenza e ne aumentano la fragilità. Lo sbalzo ΔT_c (che può essere sopportato senza degradazione apprezzabile delle proprietà meccaniche) è tanto maggiore quanto minori sono il modulo di Young e il coefficiente di dilatazione termica.

Nel grafico a lato potete osservare la variazione della resistenza di Al₂O₃ sottoposto a brusco raffreddamento. La temperatura finale è la temperatura ambiente, quella iniziale è ΔT al di sopra della temperatura ambiente; la resistenza è misurata in Newton per millimetro quadrato.

Si vede che, se lo sbalzo di temperatura supera i 200 gradi, la resistenza del materiale si riduce a circa un terzo.

36

TECNOLOGIE DI PRODUZIONE

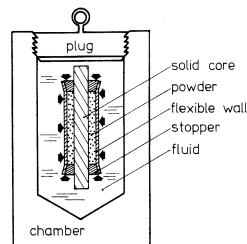
PRESSATURA DELLE POLVERI

Massa di polvere (contenente leganti) viene compattata sotto pressione nella forma desiderata (non vi è deformazione plastica della particelle) (il legante ha anche funzione di lubrificante durante la fase di compattazione)

PRESSATURA UNIASSIALE: pressione applicata in una sola direzione

PRESSATURA IDROSTATICA

PRESSATURA A CALDO: senza fusione del materiale; per ottenere elevate densità senza apprezzabile crescita dei grani (la pressione viene mantenuta anche durante la sinterizzazione quindi posso eseguire la sinterizzazione a temperature più basse delle precedenti in quanto a caldo aumenta la comprimibilità della polvere)



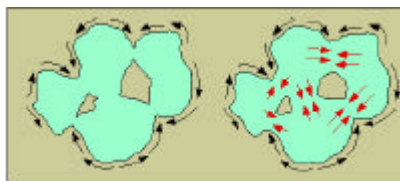
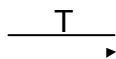
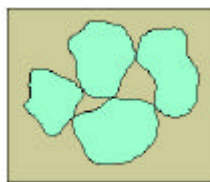
37

TECNOLOGIE DI PRODUZIONE

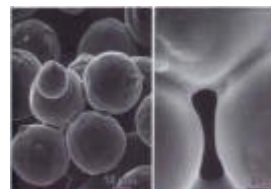
SINTERIZZAZIONE

Dopo pressatura si rende necessaria la cottura (**aumento della densità**)

► Diff superficiale ► Diff in volume



Forza guida: riduzione dalla superficie della particelle (energie superficiali > energie dei bordi grano)



38

CERAMICI AVANZATI

Propulsori a reazione e **motori** per trazione → elevate temperature → **alto rendimento** (eccellente **resistenza ad usura** e **corrosione**, **basso peso**)

Un **limite** è la temperatura a cui possono operare gli oli lubrificanti ma soprattutto la loro **fragilità**

I materiali ceramici essendo molto resistenti alla temperatura e all'ossidazione e avendo bassa densità offrono buone prospettive

Sono tuttavia necessari **miglioramenti nei processi di preparazione**, di formatura dei pezzi e nella densificazione per evitare vuoti e cricche ed eliminare la fragilità (**elevati costi di produzione**)

39

CERAMICI AVANZATI

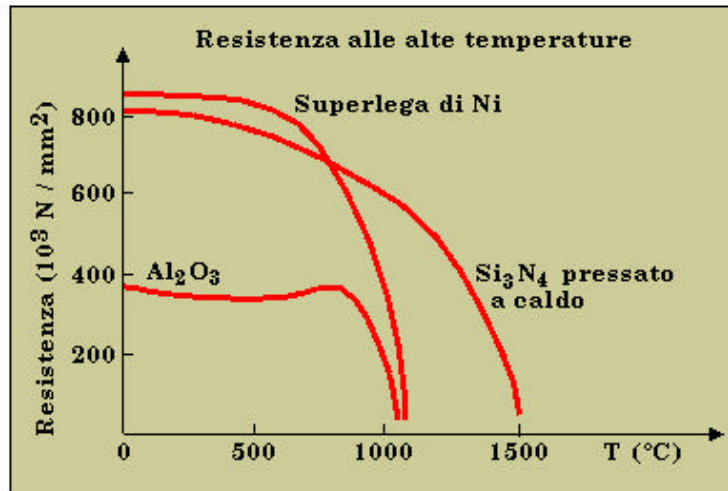
Caratteristiche meccaniche

Materiale	Densità	Resistenza alla trazione (N / mm ²)	Modulo di Young (10 ³ N / mm ²)	Tenacità alla frattura (10 ⁶ N m ^{3/2})
Al ₂ O ₃	4	210	390	5,5
SiC (sinterizzato)	3,1	175	420	4,4
Si ₃ N ₄ (reaction bonded)	2,5	150-200	210	3,3-4
Si ₃ N ₄ (pressato a caldo)	3,2	500-800	315	5,5
Si ALON	3,3	420-800	315	8-10
ZrO ₂ stabilizzato	5,8	450	210	11

40

CERAMICI AVANZATI

Caratteristiche meccaniche
di allumina (Al_2O_3) e nitruro di silicio (Si_3N_4)



41

42

Altri tipi di vetro

Altri tipi di vetro contengono aggiunte che non modificano il reticolo del SiO_2 , ma entrano in esso.

Questo è ad esempio il caso del B_2O_3 che, in proporzioni di circa il 12%, forma il vetro Pyrex, resistente agli shock termici e agli attacchi chimici.

Un'aggiunta del 17 - 19% di PbO dà il vetro al piombo, impiegato anche negli strumenti ottici (**vetro flint**).

43

Il legame ionico

Gli ioni formano aggregati solidi a struttura cristallina ordinata

Esempio:

NaCl , alogenuri alcalini, ceramici, MgO , ecc.

Caratteristiche delle sostanze che presentano tale legame

- elevato punto di fusione
- scarsa volatilità
- insolubilità in solventi organici
- spesso solubilità in acqua
- resistenza elettrica elevata ($10\text{-}10^3$ microhm cm) a temperatura ambiente
- conducibilità ad alta temperatura per presenza di ioni liberi

44

Il legame covalente

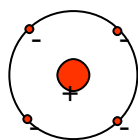
Messa in comune di elettroni da parte di due o più atomi che possono essere anche uguali tra di loro. Es: H-H, Cl-Cl, N-N ecc.

L'elevata stabilità di tale legame giustifica:

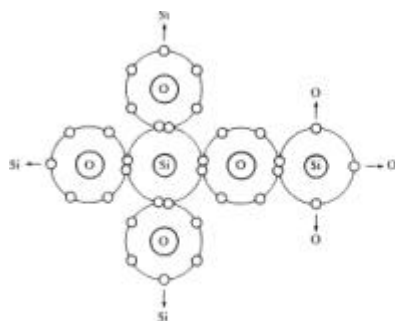
- alto punto di fusione
- notevole durezza (diamante) (e fragilità)
- elevata resistenza alle deformazioni per la direzionalità e rigidità dei legami
- trascurabile conducibilità elettrica e termica a temperatura ambiente (elettroni di valenza impegnati)
- assenza di conducibilità ionica
- Debole conducibilità elettronica ad alta temperatura

45

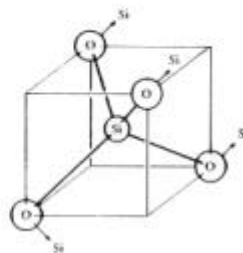
Il legame covalente



Atomo di silicio



Struttura tetraedrica della SiO_2 .
Vi sono legami covalenti fra gli atomi di silicio e quelli di ossigeno



46

I Materiali Ceramici

47

I Materiali Ceramici

Tipo di legame

C (diamante)	covalente
SiC (carburo di silicio)	covalente
Si ₃ N ₄ (nitruro di silicio)	covalente
Al ₂ O ₃ (allumina)	covalente-ionico
SiO ₂ (quarzo)	covalente-ionico
vetro comune	covalente-ionico
mica	ionico
MgO	ionico
NaCl	ionico

48

Tecnologie di fabbricazione

Aggiunte alle argille

Smagranti (es: quarzo) : sostanze prive di plasticità e di ritiro, usate come riempitivi

Fondenti (es: feldspato ($\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$)) : mescolato all'argilla forma vetro a basso punto di fusione

Porcellana tipica: 50% argilla – 25% quarzo – 25% feldspato

Macinazione

Atmosferizzazione

Arricchimento: sedimentazione

49

Tecnologie di fabbricazione

Vagliatura

Dosaggio

Miscelazione a secco
 in pasta

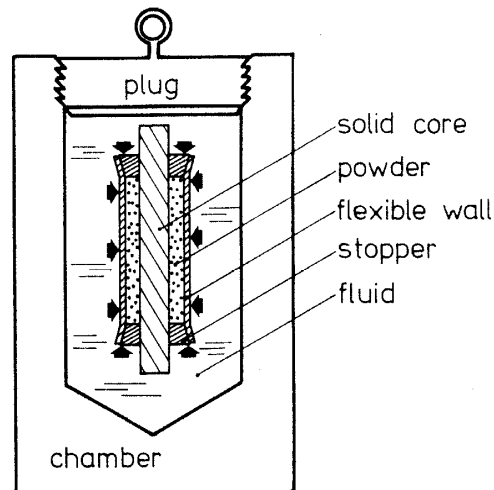
Formatura

- in pasta (tradizionale)
- a secco (pressioni fino a 700 atm)
- per colata (sospensione acquosa, versata in stampi)

50

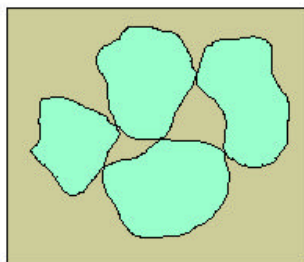
Tecnologie di fabbricazione

Pressatura isostatica a freddo (C.I.P.)



51

Tecnologie di fabbricazione



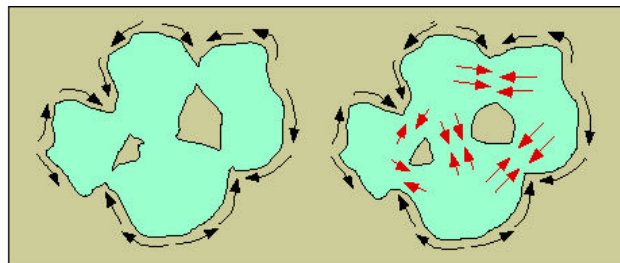
Miscela di polveri compattate nella forma voluta

Legame fra le particelle mediante reazioni chimiche, parziale vetrificazione di additivi o

Sinterizzazione

Pressatura a caldo:
temperature
inferiori → grana fine,
maggiore densità

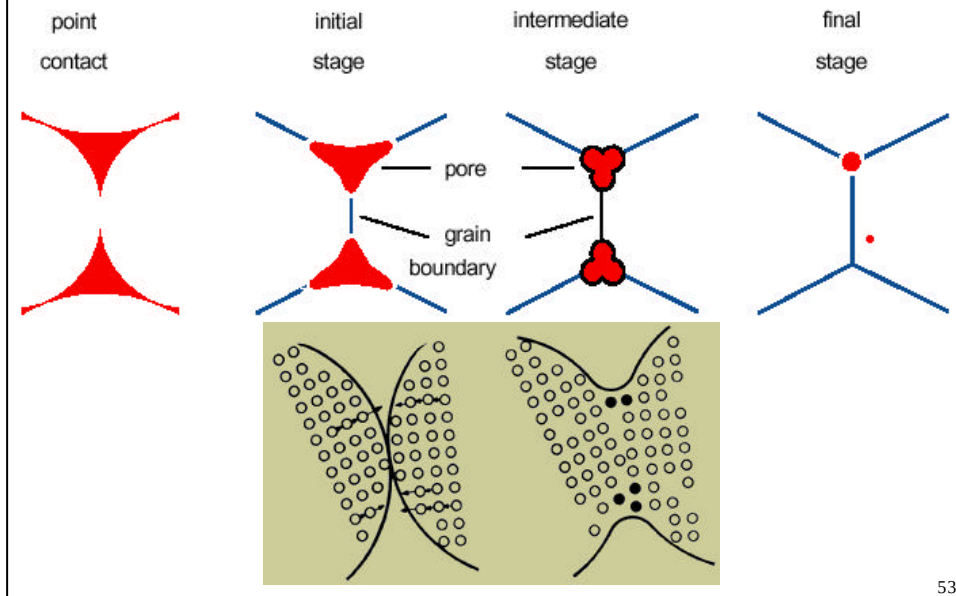
Vetrificazione:
mediante opportuni
additivi



52

Tecnologie di fabbricazione

Stadi della sinterizzazione



53

Tecnologie di fabbricazione

Forni continui a tunnel
a giostra

Forni discontinui a muffola

(Smaltatura, decorazione)

54

Tipologie di prodotti

Prodotti a pasta porosa	Non rivestiti	Colorati	Laterizi, terrecotte
		Incolori	Terraglie tecniche
	Rivestiti	Colorati	Faenze, maioliche
		Incolori	Terraglie
Prodotti a pasta compatta	Non rivestiti	Colorati	Gres (piastrelle)
		Incolori	Porcellana tecnica
	Rivestiti	Colorati	Gres
		Incolori	Porcellana

55

Refrattari

Materiali da impiegare per la realizzazione di contenitori adeguati alle alte temperature

- resistenza al calore
- isolamento termico
- assenza di reazioni chimiche con il materiale contenuto

Refrattarietà:

capacità di resistere alle alte temperature (cioè $> 1550^{\circ}\text{C}$) senza fondersi e senza deformarsi

Refrattarietà sotto carico

Resistenza agli sbalzi termici

56

Refrattari

57

Refrattari

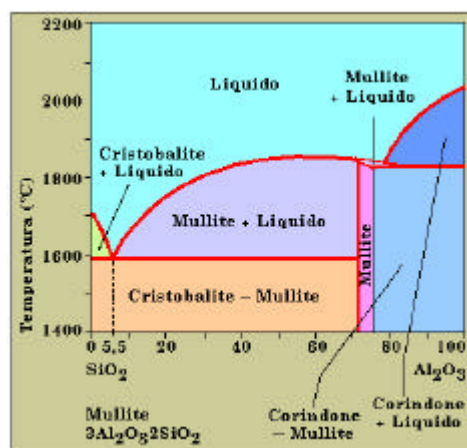
Refrattari silico-alluminosi
 25% Al_2O_3
 42% Al_2O_3
 mullitici

Refrattari silicei (acidi)

Refrattari basici

magnesiaci
 dolomitici
 cromitici
 cromo-magnesiaci

Refrattari elettrofusi (forni elettrici ad arco)
 AZS (allumina-zirconia-silice)



58

Materiali ceramici speciali

Materiali per alte temperature

Nitruri
Carburi
Ossidi

Impieghi elettrici e magnetici
Impieghi nucleari

59

Minerali Argillosi

Strutture a sviluppo essenzialmente bidimensionale
Intensità dei legami variabile nelle diverse direzioni
Finezza
Elevatissimo sviluppo superficiale
Minime velocità di sedimentazione
Facile separabilità dalle altre rocce

Sistema acqua-argilla: elevata plasticità

L'essiccamento produce strutture solide porose

60