

STUDIMI I KINETIKËS SË KRISTALIZIMIT TË POLIPROPILENIT TË PASTËR IZOTAKTIK DHE TË RICIKLUAR

*PAPAJANI B.¹, DILO T.², MALKAJ P.³

¹Universiteti "Aleksandër Xhuvani", Elbasan, Fakulteti i Shkencave të Natyrës,
Departamenti i Fizikës

²Universiteti i Tiranës, Fakulteti i Shkencave të Natyrës, Departamenti i Fizikës

³Universiteti Politeknik i Tiranës, Fakulteti i Inxhinierisë Matematike dhe Fizike,
Departamenti i Inxhinierisë Fizike

e-mail: papajanib@yahoo.com

Përmbledhje

Kristalizimi i polimerëve ka qenë një temë interesante në dekadat e fundit për shkak se vetitë fizike të materialeve të ndryshme polimerikë lidhen ngushtësisht me kristalinitetin dhe morfologjinë. Në këtë artikull përshkruhet kinetika e kristalizimit të Polypropylenit Izotaktik 100% të pastër në temperatura të ndryshme kristalizimi T_c . Polypropyleni është një material termoplasik, me varg të gjatë molekular i cili ka një përdorim të gjerë në jetën e përditshme. U analizua shpejtësia e bërthamëzimit dhe shpejtësia e rritjes së rrezes së sferuliteve duke krahasuar përfundimet e arritura me përfundimet përkatëse teorike. Gjithashtu u analizuan morfologjitë e strukturës së IPP 100% të pastër të ftohur në mënyra të ndryshme: në ujë në $T=100^\circ\text{C}$, në ujë $T=0^\circ\text{C}$ dhe në $T= -10^\circ\text{C}$ (e krijuar nga përzierje ujë+NaCl). U krahasua mikrostruktura e polipropilenit izotaktik (IPP) 100% të pastër me polypropylenin e ricikluar. Matjet janë bërë duke përdorur teknikën e mikroskopisë me dritë të polarizuar me transmetim (MOP). Për studimin e kinetikës së kristalizimit u përdorën trezyra ngrohëse për mikroskopin me dritë të polarizuar. U bë krahasimi i mikrostrukturave sferulite të IPP së pastër në varësi të temperaturave të ndryshme të kristalizimit, të kohës dhe shpejtësive të ndryshme të ftohjes. U krahasuan mikrostrukturat e IPP së pastër dhe të ricikluar të marra në të njëjtat kushte kristalizimi.

Abstract

Polymer crystallization has been a fascinating topic in the last several decades, because the physical properties of different polymeric materials are closely related with crystallinity and morphology. In this article is described the crystallization kinetics of pure IPP cooled at different crystallization temperature T_c . Polypropylene is a thermoplastic material, with long molecular chain widely used in daily life. It is analyzed the nucleation rate and growth rate of spherulites by comparing the results with the relevant theoretical conclusions. Also it is analyzed the morphological structure of 100% pure IPP cooled in various ways: into the water at $T = 100^\circ\text{C}$, into the water at $T = 0^\circ\text{C}$ and in mixture water + NaCl at $T = -10^\circ\text{C}$. It is compared the microstructure of 100% pure IPP with the crystallization of recycled polypropylene. Measurements are made using the polarized light microscopy technique with transmission mode (POM). To study the kinetics of crystallization it is used the hot stage for polarized light microscopy. It is

compared the spherulitic microstructure of pure IPP depending on the crystallization temperature, on time and different cooling rates. It is compared the microstructure of pure IPP and recycled PP obtained in the same crystallisation conditions.

Fjalëkyçe: Polypropylen Izotaktik, mikroskop me dritë të polarizuar, sferulite, kinetika e bërthamëzimit dhe rritjes.

Hyrje

Paul Hogan dhe kimisti Robert Bank, zbuluan në 1951 polypropylenin kristalin. Në sajë të aranzhimit sterik të grupeve methyl me grupin CH në varg, karakteri i polypropylenit është i ndryshëm. Në qoftëse të gjithë grupet methyl janë vendosur në të njëjtën anë të vargut, polypropyleni është quajtur izotaktik (Moore, 1996).

Polimerët gjysmë kristalinë kristalizojnë nga shkrija në mungesë të ndonjë shkarje të dukshme ose të ndonjë zgjatimi, në formën e një strukture ekzistuese të quajtur sferulit. Sferulitet janë identifikuar si të tilla për shkak të morfologjisë së tyre karakteristike. Në formën e tyre më të thjeshtë sferulitet shfaqen si zonë rrethore e me thyerje të dyfishtë me një zonë të errët në formën e kryqit Maltez, njëri krah i të cilit shtrihet sipas drejtimit të lëkundjes së polarizatorit dhe krahu tjetër sipas drejtimit të lëkundjes së analizatorit. Me rrotullimin e mostrës kjo zonë mbetet stacionare, krahët e kryqit Maltez mbeten paralel me drejtimit e lëkundjeve të poleve. Kjo tregon se zona e sferuliteve ka simetri rrethore, e cila mund të jetë ose radiale ose tangenciale (Saville, 1989). Trajtimi teorik i bërthamëzimit sporadik homogjen është bazuar në idetë e zhvilluara nga Turnbull dhe Fisher, dhe relacioni midis shpejtësisë së bërthamëzimit dhe temperaturës jepet si më poshtë:

$$N = N_0 \exp(-E_D / kT - \Delta G^* / kT) \quad (1)$$

Ku N është shpejtësia e bërthamëzimit, N_0 është numri i bërthamave të kristalizuara, E_D është energjia e aktivizimit për transportin përgjatë sipërfaqes së bërthamës, dhe ΔG^* është energjia e lirë e formimit të përmasës kritike të bërthamës. Për një bërthamë normale tre-dimensionale ΔG^* është proporcionale me $T_m^2/\Delta T^2$, ku T_m është temperatura e shkrires dhe ΔT është shkalla e superftohjes. Në shkallë të vogla të superftohjes është parashikuar se shpejtësia e bërthamëzimit do të rritet shumë shpejt me zvogëlimin e temperaturës së kristalizimit pas një pike fillestare të ftohjes. Në temperatura më të ulëta dominon termi E_D/kT , kështu N kalon përmes një maksimumi. dhe më pas zvogëlohet me temperaturën derisa arrihet temperatura e tranzicionit të qelqit (Sharples, 1966; Galeski, 1995).

Me zvogëlimin e temperaturës nën temperaturën e ekuilibrit të ngurtësimit (shkrires) (T_m) bërthamëzimi ndodh më lehtësisht. Numri i bërthamave të qëndrueshme n^* në funksion të temperaturës jepet sipas ekuacionit:

$$n^* = K_1 \exp\left(-\frac{\Delta G^*}{kT}\right) \quad (2)$$

Ku K_1 lidhet me numrin total të bërthamave të fazës së ngurtë.

Një parameter tjetër që varet nga temperatura dhe që ndikon në bërthamëzim është frekuenca me të cilën molekulat kalojnë nga faza e e lëngët drejt bërthamave të ngurta. Kjo frekuencë shtimi v_d jepet si:

$$v_d = K_2 \exp\left(-\frac{Q_d}{kT}\right) \quad (3)$$

Q_d është energjia e aktivizimit për difuzionin, një parametër që nuk varet nga T dhe K_2 një konstante e pavarur nga T . Parimet dhe konceptet e zhvilluara deri tani zgjerohen duke përfshirë një tjetër parametër bërthamëzimi, shpejtësinë e bërthamëzimit \dot{N} (me njësi: bërthama për njësi vëllimi për sekondë). Kjo shpejtësi është proporcionale me prodhimin e n^* (ekuacioni 2) me v_d (ekuacioni 3):

$$\dot{N} = K_3 n^* v_d = K_1 K_2 K_3 \left[\exp\left(-\frac{\Delta G^*}{kT}\right) \exp\left(-\frac{Q_d}{kT}\right) \right] \quad (4)$$

Ku K_3 është numri i atomeve në sipërfaqen e bërthamës (Callister, 2007). Varësia nga temperatura e n^* , v_d dhe \dot{N} , jepet me grafikët e figurës 1 si më poshtë:

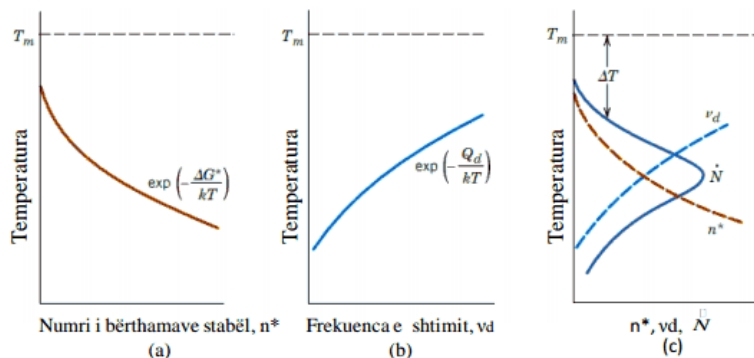


Figura 1. (a) numri i bërthamave të qëndrueshme në varësi të temperaturës, (b) frekuenca e shtimit atomik në varësi të temperaturës, (c) shpejtësia e bërthamëzimit \dot{N} në varësi të temperaturës, [jepen edhe lakoret e (a) dhe (b), (Callister, 2007).

Materiali dhe metodat

Aparati i përdorur për matje është mikroskopi me dritë të polarizuar me transmetim dhe me reflektim XJP 304. Për studimet e kinetikës është përdorur një tryezë ngrohëse tip KEL 3100-08S për mikroskopin optik. Mikroskopi është

i pajisur me kamera dixhitale TCC 800, tipi C dhe software TSWiew (pranë departamentit të fizikës së UT). Mostrat janë përgatitur me material polypropylene izotaktik të pastër kimikisht i marrë nga firma Aldrich Chemical Co. Polypropyleni i ricikluar është marrë nga fabrika e riciklimit 'Everest' Kashar.

Për përgatitjen e mostrave u përdorën slide mikroskopi. Mbi një slide vendoset një sasi shumë e vogël polimeri. Vendoset slide i mikroskopit mbi një furnelë elektrike me pllakë metalike, temperatura e së cilës matet me një termoçift që të mos e kalojë shumë temperaturën e shkrirjes së polypropylenit $T_{sh}=176^{\circ}\text{C}$. Shkrihet polimeri uniformisht, pastaj mbi të vendoset një slide mikroskopi më e hollë dhe shtypet me gishtin e dorës që të formohet një shtresë sa më e hollë dhe uniforme polimeri në gjendje të shkrirë. Tryeza e nxehtësisë vendoset mbi tryezën e mikroskopit dhe punohet me dritë të polarizuar me transmetim. Kampioni i përgatitur hiqet nga pllaka e furnelës dhe vendoset në tryezën e nxehtësisë në të njëjtën temperaturë që u shkri. Tryeza e ngrohjes siguron kushtet që kristalizimi të realizohet në mënyrë izotermike dhe për çdo eksperiment gradohet tryeza ngrohëse sipas T_c së zgjedhur.

Kampioni nga temperatura e shkrirjes ftohet me një gradient të caktuar dhe transformimi vazhdon në mënyrë izotermike. Për të vrojtuar më mirë sferulitet punohet me polarizatorin dhe analizatorin të kryqëzuar dhe me një pllakë vonuese me gjatësi vale të plotë λ . Regjistrimi i imazheve bëhet në funksion të kohës. Kamera jonë dixhitale minimumin e regjistrimit të fotove e ka 1 foto/s. Më tej punohet mbi fotot e regjistruara duke matur në funksion të kohës numrin e bërthamave të sferuliteve n me qëllim nxjerrjen e varësisë së numrit të bërthamave në funksion të kohës. Fiksohen dy deri tre bërthama sferulitesh në çdo foto dhe matet rrezja e bërthamës së tyre R në funksion të kohës. Me matjet e realizuara ndërtohen varësitë përkatëse $n = f(t)$ dhe $R = f(t)$ për një temperaturë të dhënë kristalizimi. Me të dhënat e nxjerra nga fotot llogariten numri i bërthamave dhe shpejtësia e bërthamëzimit në funksion të kohës, rrezja dhe shpejtësia e rritjes së rrezes së sferulitit në funksion të kohës. Gjithashtu përcaktohen numri i bërthamave stabile, shpejtësia e bërthamëzimit dhe shpejtësia e rritjes së rrezes së sferulitit për temperatura të ndryshme kristalizimi.

Mostra e parë e IPP 100% të pastër u shkri në $T_{sh}=176^{\circ}\text{C}$, u kristalizua në $T_c=120^{\circ}\text{C}$, shkalla e superftohjes: $\Delta T=T_m-T_c=176^{\circ}\text{C}-120^{\circ}\text{C}=56^{\circ}\text{C}$ shpejtësia e ftohjes: $56^{\circ}\text{C}/3'46''=14.9^{\circ}\text{C}/\text{min}$. Mostra e dytë e IPP 100% të pastër u shkri në $T_{sh}=176^{\circ}\text{C}$, u kristalizua në $T_c=130^{\circ}\text{C}$, $\Delta T=T_m-T_c=46^{\circ}\text{C}$ $46^{\circ}\text{C}/3'11''=14.5^{\circ}\text{C}/\text{min}$. Mostra e tretë e IPP 100% të pastër u shkri në $T_{sh}=176^{\circ}\text{C}$, u kristalizua në $T_c=140^{\circ}\text{C}$, $\Delta T=T_m-T_c=36^{\circ}\text{C}$, $36^{\circ}\text{C}/2'27''=14.7^{\circ}\text{C}/\text{min}$. Mostra e katërt e IPP 100% të pastër u shkri në $T_{sh}=176^{\circ}\text{C}$, u kristalizua në $T_c=150^{\circ}\text{C}$, $\Delta T=T_m-T_c=26^{\circ}\text{C}$; $26^{\circ}\text{C}/1'53''=13.7^{\circ}\text{C}/\text{min}$. Mostra e pestë e IPP 100% të pastër u shkri në $T_{sh}=176^{\circ}\text{C}$, u kristalizua në $T_c=160^{\circ}\text{C}$, $\Delta T=T_m-T_c=16^{\circ}\text{C}$, $16^{\circ}\text{C}/1' = 16^{\circ}\text{C}/\text{min}$.

Në këtë rast të fundit meqë jemi shumë afër temperaturës së ekuilibrit u regjistruan 145 foto cdo 20 sekonda.

Në eksperimentin e dytë me IPP e pastër u përgatitën 3 slidera të cilat u shkrinë njëkohësisht në $T_{sh} = 176^{\circ}\text{C}$ dhe pastaj u ftohën me shpejtësi të ndryshme. Mostra e parë u ftoh në ujë në $T_{ujë} = 100^{\circ}\text{C}$; mostra e dytë u ftoh në ujë në $T_{ujë} = 0^{\circ}\text{C}$ dhe mostra e tretë u ftoh në përzierjen ujë +NaCl në temperaturën $T_p = -10^{\circ}\text{C}$. Pra u realizuan ftohjet me gradientet si më poshtë: $(176^{\circ}\text{C} - 100^{\circ}\text{C}) / 1s = 76^{\circ}\text{C/s}$; $(176^{\circ}\text{C} - 0^{\circ}\text{C}) / 1s = 176^{\circ}\text{C/s}$; $[176^{\circ}\text{C} - (-10^{\circ}\text{C})] / 1s = 186^{\circ}\text{C/s}$. U fotografuan mikrostrukturat pas kristalizimit në shpejtësi të ndryshme ftohjeje. Eksperimenti i tretë u realizua duke vendosur në të njëjtën slide mikroskopi pranë njëra tjetrës pluhur IPP i pastër dhe PP i ricikluar. Pluhurat u shkrinë në T_{sh} dhe u pasi u vendosën në tryezën ngrohëse të mikroskopit u rikristalizuan në $T_c = 120^{\circ}\text{C}$ për të bërë dallimet e morfologjisë të tyre.

Rezultatet dhe diskutime

Nga çdo foto, e bërë në çdo 1 sekondë nga kamera digjitale, u vrojtua eksperimentalisht numri i bërthamave të sferuliteve dhe rrezja e sferuliteve në kohë të ndryshme për çdo temperaturë kristalizimi T_c . Në figurën 2 janë paraqitur vetëm 4 foto të marra në 4 kohë të ndryshme nga eksperimenti me IPP e pastër të kristalizuuar në temperaturën $T_c = 130^{\circ}\text{C}$. Nga imazhet e marra vihet re formimi i sferuliteve nga një bërthamë e vogël në qendër e cila me kalimin e kohës rritet në simetri sferike në të gjitha drejtimet e hapësirës. Nga vrojtimet me mikroskop vihen re degëzime që përhapen në simetri rrethore nga qendra. Sferulitet ndryshojnë ngjyrë me kalimin e kohës, sepse ndryshon trashësia e sferulitit dhe si rrjedhim ndryshon treguesi i thyerjes së dyfishtë. Treguesi i thyerjes së dyfishtë, është një veçori dalluese e sferuliteve, i cili përcaktohet si diferencë e treguesit të thyerjes në drejtimin radial me treguesin e thyerjes në drejtimin tangencial $\Delta n = n_r - n_t$. Shenja e treguesit të thyerjes së dyfishtë mund të jetë pozitive ose negative në varësi nga marrëdhënia midis n_r dhe n_t . Futja e pllakës vonuese me gjatësi λ , shton diferencën e rrugëve optike dhe siguron përcaktimin e treguesit të thyerjes së dyfishtë dhe shfaqjen e ngjyrave të ndryshme tek sferulitet (Saville, 1989; Varga, *et. al.*, 2012)

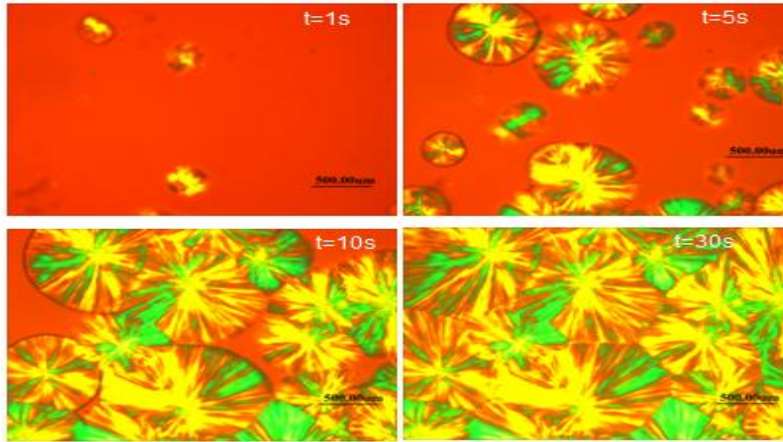


Figura 2. Foto të mikroskopit optik me dritë të polarizuar me polarizatorë të kryqëzuar për strukturën sferulitike të IPP 100% të pastër në intervale të ndryshme kohe, kristalizuar në $T_c=130^\circ\text{C}$ (x200)

Numri i bërthamave dhe shpejtësia e bërthamëzimit si funksion i kohës dhe temperaturës së kristalizimit T_c .

Për çdo temperaturë kristalizimi u ndërtua varësia e numrit të sferuliteve në funksion të kohës dhe u përcaktua pjerrësia e kurbës $\Delta n/\Delta t$ (shpejtësia e bërthamëzimit), figura 3.

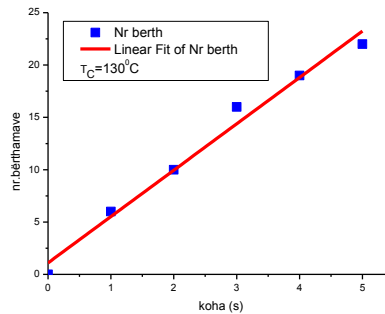


Figura 3. Varësia e numrit të bërthamave nga koha për IPP 100% të pastër, në $T_c=130^\circ\text{C}$

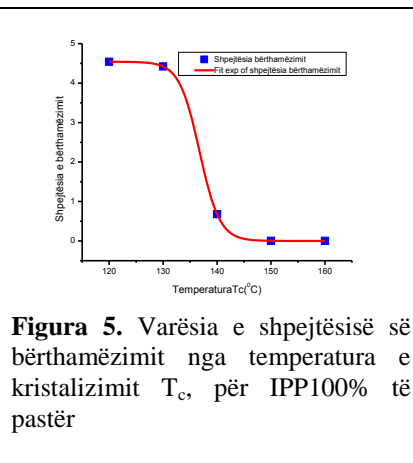
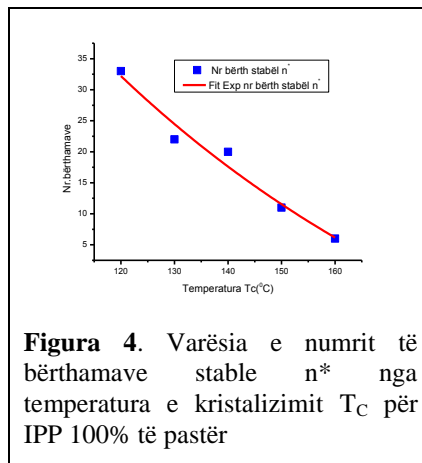
Siç shikohet nga Figura 3, varësia e numrit të bërthamave nga koha është lineare. Shpejtësia e bërthamëzimit është $\Delta n/\Delta t = 4.42$ bërthama/s. Pas kohës 8 sek nuk formohen më bërthama të reja dhe kështu përcaktohet numri i bërthamave stabil për temperaturën e përcaktuar të kristalizimit. Jemi në kushtet e bërthamëzimit

homogjen ku bërthamat e reja krijohen në mënyrë uniforme me rritjen e intervalit kohor për një temperature kristalizimi T_c (Young, *et. al.*, 1991).

Me të dhënat eksperimentale për shpejtësitë e bërthamëzimit dhe numrin e bërthamave stabilë në temperatura të ndryshme kristalizimi u ndërtua tabela 1 dhe figurat 4 e figura 5.

Tabela1: Numri i bërthamave stabilë dhe shpejtësia e bërthamëzimit në temperatura të ndryshme kristalizimi T_c për IPP 100% të pastër

T_c (°C)	Superftohja ΔT_c (°C)	Nr. bërthamave stabilë n^*	$\Delta n/\Delta t$ (nr. bërth/s)
120	56	33	4.54
130	46	22	4.42
140	36	20	0.68
150	26	11	0.003
160	16	6	0.002



Varësitë janë eksponenciale. Kurbat e mësipërme përputhen me kurbat teorike të figurës 1. Ndryshimet e temperaturës kanë ndikim të madh në madhësinë e energjisë së lirë të Gipsit ΔG^* . Me zvogëlimin e temperaturës nën temperaturën e shkrirjes T_m , termi i ΔG^* në eksponencial zvogëlohet shumë herë më shumë (ekuacioni 2), (Callister, 2007). Siç shikohet edhe nga tabela 1, numri i

bërthamave stabël dhe shpejtësia e bërthamëzimit zvogëlohen me rritjen e temperaturës T_C deri afër temperaturës së shkrirjes T_m . Me zvogëlimin e shkallës së superftohjes, zvogëlohet shpejtësia e bërthamëzimit.

Shpejtësia e rritjes së rrezes së sferuliteve.

Për çdo temperaturë kristalizimi T_C u përcaktua rrezja e një sferuliti çfarëdo të fotografuar në intervale kohe të ndryshme nga kamera digjitale e mikroskopit, u ndërtua varësia grafike e rrezes së sferulitit nga koha dhe u përcaktua shpejtësia e rritjes, figura 6. Gjithashtu u ndërtua varësia grafike e rrezes së sferulitit dhe shpejtësisë së rritjes së rrezes së sferulitit nga temperatura e kristalizimit, figura 7 dhe figura 8.

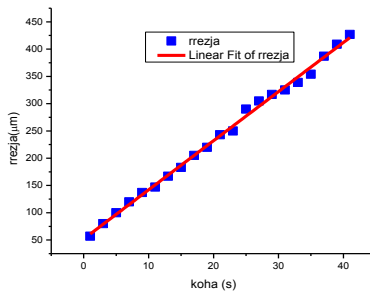


Figura 6. Varësia e rrezes së sferulitit nga koha për IPP 100% të pastër, për $T_c=140^\circ\text{C}$

Varësia është lineare me pjerrësi $\Delta R/\Delta t=9\mu\text{m/s}$. Në të gjitha rastet u vu re që sferulitet kanë një shpejtësi rritjeje konstante që varet vetëm nga temperatura e kristalizimit. Lineariteti është i vlefshëm derisa sferulitet bëhen aq të mëdhenj sa të takojnë sferulitet fqinjë.

Tabela 2. Rrezja dhe shpejtësia e rritjes së rrezes në temperatura të ndryshme kristalizimi për IPP 100% të pastër

T_c ($^\circ\text{C}$)	Super- ftohja ΔT_c ($^\circ\text{C}$)	Rrezja e një sferuliti (μm)	$\Delta R/\Delta t$ ($\mu\text{m/s}$)
120	56	340	49.14
130	46	380	45.68
140	36	393	9.00
150	26	400	0.38
160	16	403	0.1

Në temperatura kristalizimi T_C shumë afër temperaturës së shkrirjes T_m rrezet e sferuliteve janë të mëdha dhe shpejtësia e rritjes së rrezes së tij është e vogël, sepse forca lëvizëse për kristalizim është e ulët. Paraqitja teorike e kurbës është në formë këmbane (Barham, 2006; Young, *et. al.*, 1991). Eksperimentalisht është arritur të merret pjesa e djathtë e kurbës teorike, për shkak të pamundësisë praktike të llogaritjes së shpejtësisë së rritjes së rrezes për $T_C < 120^\circ\text{C}$

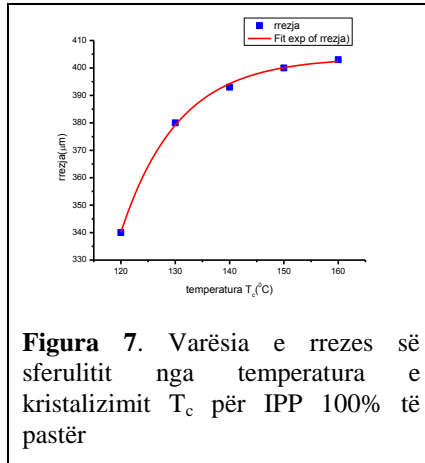


Figura 7. Varësia e rrezes së sferulitit nga temperatura e kristalizimit T_C për IPP 100% të pastër

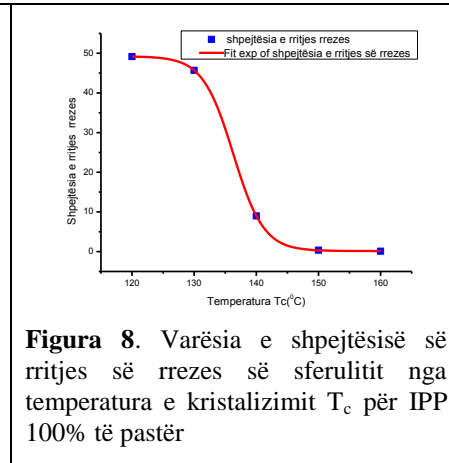


Figura 8. Varësia e shpejtësisë së rritjes së rrezes së sferulitit nga temperatura e kristalizimit T_C për IPP 100% të pastër

Kristalizimi i IPP 100% të pastër në shpejtësi të ndryshme ftohjeje.

Rezultatet e eksperimentit të dytë janë paraqitur në figurat 9a, 9b, 9c dhe 9d.

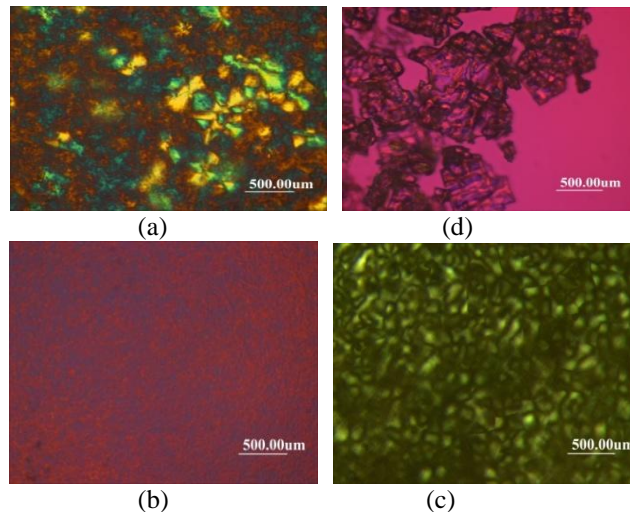


Figura 9. Polipropilen izotaktik 100% i pastër i vrojtuar me mikroskop me dritë të polarizuar me transmetim me nikolë të kryqëzuar; (a, b, d) me pllakë vonese me gjatësi

vale λ e plotë, (c) pa pllakë vonese; për shpejtësi ftohjeje të ndryshme, (a) 76°C/s, (b, c) 176°C/s, (d) 186°C/s (X400)

Siç shikohet edhe nga fotot struktura sferulitike e IPP 100% të pastër është e ndryshme për shpejtësi të ndryshme ftohjeje. Në foton e parë krahasuar më të dytën dhe të tretën vihen re më pak bërthama dhe me rreze të sferuliteve më të madhe. Në foton e dytë dhe të tretë vërehen shumë bërthama me rreze shumë të vogël dhe në foton e katërt është formuar IPP amorf nuk vërehen fare sferulite. Ndryshimi i shpejtësisë ftohjes sjell ndryshimin e shkallës së kristalinitetit të materialit polimerik. Në eksperimentin e tretë, paraqitur në figurën 10, janë krahasuar strukturat sferulite në të njëjtën slide, (pra gjithçka e realizuar në të njëjtat kushte kristalizimi), për IPP 100% të pastër dhe PP të ricikluar, të kristalizuara në $T_C = 120^\circ\text{C}$.

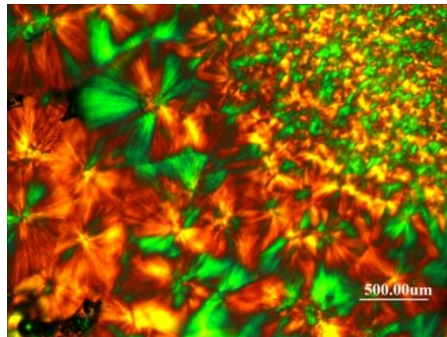


Figura 10. Polipropilen izotaktik 100% i pastër dhe ricikluar në të njëjtën slide i vrotuar me mikroskop me dritë të polarizuar me transmetim me polarizatorë të kryqëzuar me vonese me gjatësi vale λ e plotë (X200). Majtas poshtë është IPP e pastër, djathtas lart PP i ricikluar..

Dimensionet e sferuliteve të IPP së pastër janë shumë më të mëdha se PP të ricikluar. Tek materiali i ricikluar ka shumë më tepër bërthama me rreze më të vogla. Kjo mund të shpjegohet me faktin që tek PP i ricikluar ngaqë nuk është kimikisht i pastër, papastërtitë në të mund të luajnë rolin e agjentëve të bërthamëzimit. Në prani të agjentëve të bërthamëzimit shpejtësia e bërthamëzimit rritet në mënyrë të konsiderueshme dhe përmasat e sferuliteve janë më të vogla (Varga, *et. al.*, 2003).

Përfundime

Mikroskopia optike me dritë të polarizuar e pajisur me tryezën e temperaturës së lartë është teknikë shumë e dobishme për vërtetimin e sferuliteve dhe studimin e kinetikës së kristalizimit të polimerëve nga shkrirja.

Nga studimi eksperimental i kinetikës së kristalizimit të Polypropylenit Izotaktik (IPP) 100% të pastër të kristalizuuar në temperatura të ndryshme kristalizimi T_C dhe për shpejtësi të ndryshme ftohjeje rezultoi se:

Formimi i sferuliteve fillon me një bërthamë e vogël në qendër, e cila me kalimin e kohës rritet në simetri sferike në të gjitha drejtimet e hapësirës.

Sferulitet ndryshojnë ngjyrë me kalimin e kohës, sepse ndryshon trashësia e sferulitit dhe si rrjedhim ndryshon treguesi i thyerjes së dyfishtë.

Në kushtet e bërthamëzimit homogjen për një temperature kristalizimi T_C bërthamat e reja krijohen në mënyrë uniforme me rritjen e intervalit kohor. Me rritjen e shkallës së superftohjes ΔT , rritet numri i bërthamave dhe zvogëlohen rrezet e sferuliteve.

Shpejtësia e bërthamëzimit është konstante në një temperaturë të caktuar kristalizimi në kushte izotermike.

Sferulitet kanë një shpejtësi rritjeje konstante që varet vetëm nga temperatura e kristalizimit.

Ka një përputhje të plotë të kurbës eksperimentale me parashikimet teorike për varësinë e shpejtësisë së bërthamëzimit dhe shpejtësinë e rritjes së rrezes së sferulitit nga temperatura e kristalizimit.

Në shpejtësi të ndryshme ftohjeje IPP e pastër kristalizon në mënyra të ndryshme. Nga krahasimi i IPP 100% të pastër me polypropylenin e ricikluar, u vu re se në polypropylenin e ricikluar përmasat e sferuliteve ishin shumë të vogla me rreze praktikisht të pamatshme dhe në një numër shumë të madh në krahasim me IPP e pastër për shkak të papastërtive të cilët luajnë rolin e agjentëve të bërthamëzimit.

Falënderime

Falënderoj Prof Meri Treska në Institutin e Teknologjisë në Massachusetts, për asistencën dhe këshillimet shkencore të vazhdueshme që më ka dhënë.

Literatura

Saville B. P (1989): Polarized Light: Qualitative Microscopy, Applied Polymer Light Microscopy © Elsevier Science Publishers: 111-149

Galeski A. (1995): Nucleation of polypropylene, Polypropylene: Structure, blends and composites. Published by Chapman & Hall, London: 117-125

Sharples A. (1966): Introduction to Polymer Crystallization. Published by Edward Arnold: 138 pages

Moore E. P. (1996): Polypropylene Handbook, Hanser & Gardner Publications: 1165-1175

Varga J., Menyhárd A. (2012), Thermo-optical microscopy (TOM) for the investigation of the crystallisation, melting and supermolecular structure of polypropylene and their multicomponent systems, *Current Microscopy Contributions to Advances in Science and Technology*, Published by Formatex Research Center:1025-1035)

Young R. J., Lovell P. A. (1991): *Introduction to polymers*, 3rd Edition. Published by Chapman & Hall, London : 443

Callister W. D. (2007): *Materials Science and Engineering*. Published by John Wiley & Sons: 325-339

Barham P. J. (2006): *Crystallization and Morphology of Semicrystalline Polymers*, *Materials Science and Technology*, Published Wiley-VCH Verlag GmbH & Co:155-208

Varga J.; Menyhárd A., (2003): Crystallization, melting and structure of polypropylene/poly(vinylidene-fluoride) blends. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 73(3):735-743