

Geri dönüştürülmüş kestamidlerin mekanik özellikleri Mechanical properties of recycled cestamides

Hilal CAN^{1*}

¹Malzeme Bilimi ve Mühendisliği, Teknoloji Fakültesi, Pamukkale Üniversitesi.
hilalcan@pau.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 29.10.2015, Kabul Tarihi/Accepted: 16.11.2015

* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2015.57778

Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Atmosfer koşullarında dökülebilme kabiliyetine sahip poliamid türü kestamid (döküm poliamid) olarak adlandırılmaktadır. Kestamidlerin ergime sıcaklıklarının poliamidlerin ergime sıcaklıklarına göre daha düşük olması nedeniyle kestamidler daha iyi dayanım ve tokluk değerlerine sahiptir. Gün geçtikçe artan kullanım alanına sahip olan kestamidlerin sodyum, magnezyum, katı ve ya sıvı yağ katkılı türleri mevcuttur. Bu çalışmada, yarı mamul kestamidden atölye koşullarında yeniden üretilen numunelerin mekanik özellikleri belirlenmiştir. Yarı mamul ve geri dönüştürülmüş numunelerin mekanik özellikleri ve nem emme kabiliyetleri karşılaştırılmıştır. Geri dönüştürülmüş kestamidede ortalama üniform uzama yarı mamule göre 30 kat azalırken, ortalama çekme dayanımı yarı mamulün ortalama çekme dayanımının %17.3'ü kadar olarak saptanmıştır.

Anahtar kelimeler: Kestamid, Döküm poliamid, Mekanik özellikler, Nem özellikleri

Abstract

A kind of polyamide which can be obtained by casting in atmospheric conditions is called as cestamide (cast polyamide). Due to cestamides have a lower melting temperature compared to polyamides, cestamides have the values of better strength and toughness. Cestamides, which their usage areas are growing over time, have also other types including additives of sodium, magnesium, solid or liquid oil. In this study, the mechanical properties of samples reproduced from scrap cestamide at workshop conditions have been determined. The values of recycled samples have been compared with the results of experiments done for semi-finished. Recycled samples have lower mechanical properties to semi-finished samples. Average uniform stretching of recycled samples 30 times lower than cestamide semi-finished samples. Recycled samples have 17.3% tensile strength to semi-finished samples.

Keywords: Cestamide, Cast polyamide, Mechanical properties, Humidity properties

düşük olması nedeniyle kestamidler daha iyi dayanım ve tokluk değerlerine sahiptir [1]-[4].

Atmosfer koşullarında dökülebilme kabiliyetine sahip poliamid türü olan kestamid ile ilgili olarak literatürde sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır.

Samyn, ve diğ. tarafından yapılan çalışmada saf ve içsel olarak yağlamalı kestamidlerin çeşitli test derecelerinde aşınma ve sürtünme özellikleri incelenmiştir. Çeşitli yük aralıkları, çeşitli temas durumları (silindir-düz, düz-düz), temas alanları, iç yağlayıcıların etkisi ile elde edilen sürtünme ve aşınma değerleri karşılaştırılmıştır [5].

Kang ve Chung tarafından yapılan çalışmada ise %8'den daha az yağ içeren kestamidlerin sürtünme özellikleri test edilmiştir. Çeşitli kayma hızı ve basınçlar altında yapılan deneylerde %6 sıvı ve %4 oranında katı yağ içeren döküm naylonun en düşük sürtünme katsayısına sahip olduğu ifade edilmiştir [6],[7].

Samyn ve Tuzolana tarafından yapılan çalışmada, kestamidlerin sürtünmeye maruz kalmalarında farklı test kademelerinin ve iç yağlayıcının verime etkisi incelenmiştir. Deneylerde 5 farklı grup numune ve normal yükleme, temas geometrisi ve temas alanı şeklinde 3 farklı test kademesi kullanılmıştır. Normal yükleme ile sürtünme katsayısının düşürülmesi elastik temasa bağlıdır. Katı yağ takviyeli döküm en düşük sürtünme özelliklerine sahip olarak açıklanmıştır [8].

Yabe ve arkadaşları tarafından yumuşama sıcaklığı PA-Mg için 88 °C, PA-Na ve PaO1 için 95 °C olarak bulunmuştur. Aşınma deneyleri gerçekleştirilerek PA-Na ile karşılaştırıldığında PAO1'nun daha yüksek ağırlık kaybına uğradığı ifade edilmiştir [9].

1 Giriş

Plastikler, hafif olmaları nedeniyle önemli bir malzeme grubudur. Ev ve ofis aletlerinde sessiz (çalışmaları), gıda endüstrisinde ise, yağlamasız çalışabilmeleri nedeniyle sıkça kullanılmaktadırlar. Poliamidler diğer plastiklere göre yüksek dayanım/ekonomi değerine sahiptir.

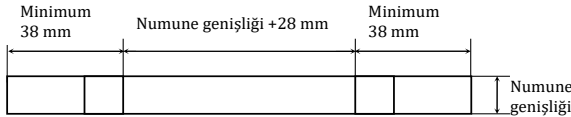
Poliamidin (PA, naylon), çok iyi yorulma dayanımı, iyi sürünme dayanımı, düşük sürtünme katsayısı ve oldukça iyi darbe dayanımı (kristalinite derecesine bağlı), iyi kimyasal dirençleri ve elektrik özellikleri vardır. Polimerizasyon sırasında kontrol edilebilen kristalinite derecesi naylonun rijitliği, dayanımı ve ısıya karşı dayanıklılığını etkilemektedir. Genellikle, düşük kristalinite derecesi tokluk, uzama ve darbe dayanımını yükseltirken, çekme dayanımı ve rijitliği azaltmaktadır. Önemli bir naylon çeşidi, kestamid (cast polyamide) olarak da adlandırılan dökülebilme naylonudur. Birçok plastik ısının etkisi altında ve atmosfer basıncında döküm kalıbını doldurmak için yeterli derecede sıvı halini alamazlar. Bu nedenle bunlara şekil vermek için yüksek basınç gerekmektedir. Bu plastiklere ısı ve yüksek basıncın bir arada bulunduğu ekstrüzyon veya enjeksiyon yöntemleri uygulanmaktadır. Ancak, bazı plastikler, atmosfer basıncında dökülebilme sıvı kıvamında bulunabilirler. Dökülebilme poliamid, poliamid 6 monomerlerinden elde edilir. Döküm poliamidler kuru kayma özellikleri nedeniyle silindir ve kılavuzlar, yataklar, dişliler gibi bronz, pirinç, alüminyum ya da çelik parçalar yerine kullanılabilir. Magnezyum ya da sodyum içeren iki tip saf poliamid, sıvı ve katı yağ dolgu poliamid türleri kestamid olarak adlandırılmaktadır. Atmosfer basıncında da sıvı halde bulunabilen kestamidler yarı mamul halinde satışa sunulmakta ve işlenerek kullanılmaktadır. Kestamidlerin ergime sıcaklıklarının poliamidlere göre daha

Üç boyutlu hücreli otomasyon modeliyle monomer döküm polyamid 6'nın izotermal kristalizasyonu Lin, ve diğer tarafından gerçekleştirilmiştir. Kristalizasyonun tamamlanmasından sonra, hacim yoğunluğu ve küresel tane sayısı veri olarak girilmiştir. Sonuç olarak, simülasyon değerleri ile literatürdeki deneysel değerler karşılaştırılmıştır [10].

Bu çalışmada, atmosfer şartlarında dökülebilen polyamid türü olan kestamidin atmosfer koşullarında kaprolaktam ile polimerizasyonu olmaksızın geri dönüştürülebilirlikleri ve çeşitli mekanik özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Kestamid atıkların yeniden kullanıma uygunlukları değerlendirilmiştir.

2 Materyal ve metot

Çeşitli ebatlarda lama ve talaş halinde hurda kestamid alınmıştır. Hurda kestamid talaş büyüklüklerine göre sınıflandırılmıştır. Talaşlar üretilmeden önce 24 saat boyunca oda sıcaklığındaki su içerisinde bekletilmişlerdir. Saclardan 80x140 mm ölçülerinde dikdörtgen çerçeve şeklinde kalıp yapılmıştır. Bu kalıpta hurda kestamid 25, 35 ve 50 g şeklinde homojen dağıtılmıştır. Kalıba konan talaşlar, yaklaşık 50 N'luk kuvvet ile kestamidin ergime sıcaklığı olan 220 °C'de fırında bekletilmişlerdir. Kestamidler geri kazanım için 3 saat, 3.5 saat ve 4 saat sürelerle bekletilmişlerdir. Üretilen geri dönüştürülmüş kestamid plakalardan polimer matrisli kompozit malzemelerin çekme deneyleri için kullanılan ASTM 3039-76 standardına göre boyutları Şekil 1'de verilen çekme deneyi numuneleri üretilmiştir. Bu standarda göre numunenin uzunluğu numune genişliğinden en az 104 mm daha fazla olmalıdır. Geri dönüştürülmüş kestamidlerin gevrekleşmesi nedeniyle talaşlı imalatın zorlaşarak radyüslerin işlenememesi nedeniyle deneyler ASTM 3039-76 standardına göre gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1: ASTM 3039-76'e göre çekme deneyi numuneleri [11].

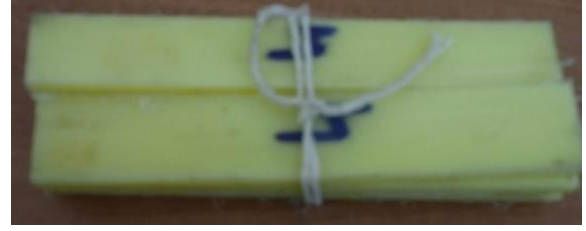
2.1 Çekme deneyleri

Kestamid hurdadan plakalar halinde üretilen numuneler 20 mm genişlikte kesilerek çekme deney numuneleri oluşturulmuştur. ASTM standardına göre 20 mm genişliğindeki bir numunenin boyu en az 124 mm olmalıdır. Oluşturulan numuneler, boyut olarak ASTM standardına uygundur. Döküm poliamid hurdadan tekrar üretilen numuneler Şekil 2'de görülmektedir. Şekil 2'de görüldüğü gibi 2.5 saat bekletilen numunelerin talaş görüntüsünü korudukları görülmektedir. Kestamidin kalıbın şeklini tamamen alması için en az 3 saat beklenmesi gerektiği saptanmıştır.



Şekil 2: Geri dönüştürülmüş numuneler.

Üretilen plakalardan boyu 140 mm, genişliği 20 mm olan çekme deney numuneleri elde edilmiştir. Aynı ölçülere sahip çekme deneyi numuneleri, lama yarı mamullerden de çıkarılmıştır (Şekil 3).



Şekil 3: Lamadan çıkarılmış numuneler.

Çekme deneyleri Instron 8801 cihazında 2 mm/min ilerleme hızında gerçekleştirilmiştir.

2.2 Sertlik ölçümleri

Geri dönüştürülmüş kestamidlerden ve yarı mamullerden elde edilen numunelerde Shore D sertlik ölçümü gerçekleştirilmiştir. Şekil 4'te 3 h bekleme süresi ile üretilmiş numunelerde bir sertlik ölçümü gösterilmektedir.



Şekil 4: 3h bekletilmiş numunede Shore D sertliği ölçümü.

2.3 Nem ölçümleri

Nem ölçümleri OHAUS MB45-35 nem ölçüm cihazında gerçekleştirilmiştir. Numuneler çeşitli büyüklüklerde granüller haline getirilerek deneyler 100 °C'de 10 dk. süre ile ısıtılarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, numunelerin bir kısmı çeşitli sürelerde suda bekletilerek numunelerin kısa süreli nem emme özellikleri de belirlenmeye çalışılmıştır. Numuneler suda bütün olarak bekletilmiş, sürenin sonunda granül haline getirilmiştir. Şekil 5'te nem ölçümü için ufalanmış numune örnekleri görülmektedir.



Şekil 5: Nem ölçümü için ufalanmış numuneler.

3 Bulgular ve tartışma

Kullanılmış veya işleme esnasında talaş olarak çıkan kestamidlerin yeniden kullanıma kazandırılması için gerçekleştirilen çalışmada öncelikle mekanik özellikleri belirlemek için çekme deneyi yapılmıştır. Çekme deneyi sonrası hasara uğrayan numuneler Şekil 6'da gösterilmiştir. Geri dönüştürülmüş kestamid numunelerin yarı mamulden elde edilen kestamide göre daha az boyuna şekil değiştirdiği görülmektedir.



Şekil 7: Çekme deneyi sonrasında numuneler.

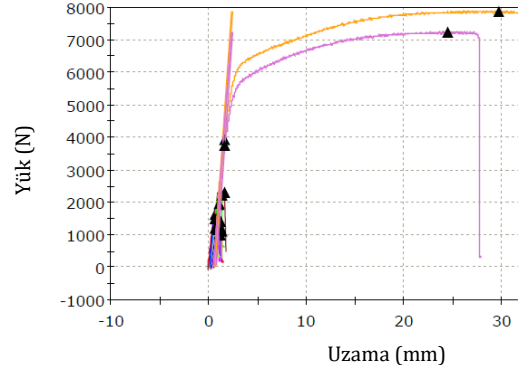
11 adet geri dönüştürülmüş numune, 2 adet yarı mamulden elde edilmiş numuneden elde edilmiş numuneler için çekme deneyine ait sonuçlar Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1: Çekme deneyi değerleri ve hesaplanan çekme gerilmeleri.

Numune Numarası	Ölçüleri	Üretim Süresi	Maks. Yük (kN)	Maks. Yükteki Uzama (mm)	Çekme Dayanımı (MPa)
1	4.4 20	3h	1.66	0.80	18.38
2	5.4 20	3h	2.33	1.67	21.32
3	7.3 20	3h	2.22	1.30	14.97
4	6.1 20	3.5 h	1.49	0.65	11.91
5	7.75 20	3.5 h	1.53	0.53	9.510
6	4.6 20	3.5 h	1.32	0.84	14.20
7	5 20	3.5 h	1.26	0.73	12.55
8	6.3 20	4 h	1.47	0.83	11.56
9	4.2 20	4 h	1.10	0.95	12.99
10	4.5 20	4 h	1.22	0.88	13.48
11	4.3 20	4 h	1.24	0.73	14.31
12	5.2 20	Yarı m.	7.88	29.11	83.25
13	4.7 20	Yarı m.	7.24	23.93	79.82

Tablo 1'den görüldüğü üzere geri dönüştürülen numunelerin çekme gerilmeleri yarı mamule göre oldukça düşük kalmaktadır. Yaklaşık olarak geri dönüştürülmüş numunelerin çekme dayanımları, yarı mamullerin çekme dayanımlarının en fazla %25'i kadardır. Geri dönüştürülmüş kopma uzamaları da oldukça düşüktür. Gevrek bir malzeme elde edilmiştir. Kopma yüzeylerinin gözenekli yapıda olduğu ve bu gözeneklerin

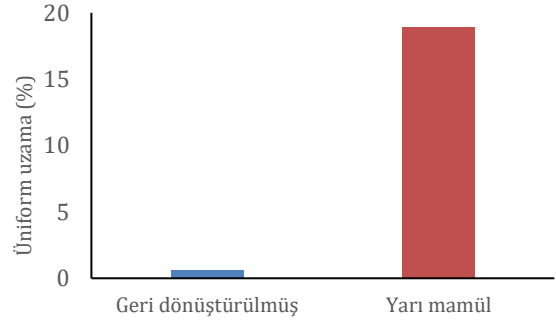
mukavemeti düşürdüğü belirlenmiştir. Genel olarak fırında bekleme süresi arttıkça çekme dayanımının düştüğü gözlenmiştir. 3 h'den fazla sürelerde, daha düzgün yüzey elde edilse de daha fazla bozulma olduğu belirlenmiştir. Tablo 1'de verilen değerlere göre deney cihazından elde edilen çekme deneyi grafikleri Şekil 8'de verilmiştir.



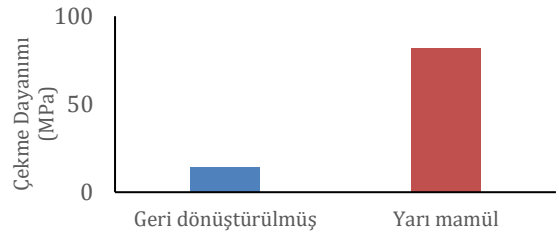
Şekil 8: Çekme deneyi grafikleri.

Kestamid numunelerin çekme deneyleri sonucunda elde edilen ortalama mekanik özellikleri Şekil 9'da karşılaştırılmıştır.

Şekil 9a'da üniform uzama Şekil 9b'de çekme dayanımları arasındaki karşılaştırmalar görülmektedir. Geri dönüştürülmüş kestamidde ortalama üniform uzama yarı mamule göre 30 kat azalırken, ortalama çekme dayanımı da yarı mamulün ortalama çekme dayanımının %17.3'ü kadardır.



(a)



(b)

Şekil 9: Çekme deneyi sonucunda mekanik özelliklerin karşılaştırılması, (a): Ortalama üniform uzama, (b): Ortalama çekme dayanımı.

Geri dönüştürme işlemi ile gevrek bir malzeme elde edilmiştir. Kopma yüzeyleri incelendiğinde gözenekli yapının olduğu ve bunların mukavemeti düşürdüğü belirlenmiştir. 3 h'den fazla sürelerde, daha düzgün yüzey elde edilse de genel olarak fırında bekleme süresi arttıkça çekme dayanımının düştüğü gözlenmiştir. Daha yüksek bası kuvveti uygulanması ile

gözenekler azalacağı için, geri dönüştürülmüş numunelerin mukavemet değerlerinin iyileştirilmesi mümkündür.

Yapılan ölçümler sonucu elde edilen geri dönüştürülmüş ve yarı mamul kestamidlerin Shore D sertlikleri Tablo 2'de verilmiştir. Bekleme süresi arttıkça ortalama sertlik değeri artmaktadır (Tablo 2). Ortalama sertlik değerleri incelendiğinde geri kazanımın sertlik değerini bir miktar düşürdüğü belirlenmiştir.

Kestamidlerin geri kazanımı esnasında içyapıda gözeneklerin oluşması nedeniyle çekme dayanımı değerlerinde yüksek oranda bir düşüş gözlemlenirken kendinden yağlayıcı olmaları nedeniyle de sertlik değerlerinde fazlaca bir düşüş gözlenmemiştir.

Tablo 2: Geri dönüştürülmüş ve yarı mamul kestamidlerin shore D sertlikleri.

Yarı	3h'de geri	3.5 h'de geri	4 h'de geri
77	70	75	77
74	76	77	70
77	70	70	77
80	69	74	75
78	74	75	77
Ortalama			
77.2	71.8	74.2	75.2

Nem ölçüm deneyleri sonucunda elde edilen değerler Tablo 3'te verilmiştir. Her bir numune grubu için en az iki nem ölçümü yapılmıştır. Fırında bekleme süresi arttıkça gerek kuru gerekse suda bekletme durumlarında nem emme özelliklerinin düştüğü belirlenmiştir. Nem ölçme deneyinde kullanılan granül büyüklüğü düştükçe nem değerlerinin arttığı belirlenmiştir.

Tablo 3: Geri dönüştürülmüş ve yarı mamul kestamidlerin nem ölçüm sonuçları.

Numune Türü	Suda Bekletme	Granül Büyüklüğü	Bağıl Nem (%) (100 °C, 10 dk.)		
			1	2	3
Yarı mamul	Kuru 12 h	3x3 mm	0.85	0.9	0.75
			1.2	0.9	1.2
3 h	Kuru 12 h	3x3 mm	1.15	1.2	1.0
			3.2	2.84	3.65
3,5 h	Kuru 12 h	3x3 mm	0.8	0.95	0.85
			2.5	2.6	2.45
4 h	Kuru 12 h	3x3 mm	0.6	0.55	0.5
			2.2	2.0	2.04
3 h	Kuru 1 h	12x20 mm	0.55	0.65	
			2.75	3.05	
4 h	Kuru 1 h	12x20 mm	0.29	0.34	
			1.96	2.51	
3 h	Kuru 1 h	İnce talaş	2	2.35	
			4.55	4.75	
4 h	Kuru 1 h	İnce talaş	1.3	1.89	
			3.85	3.65	

4 Sonuçlar

Geri dönüştürülen döküm poliamid numunelerin çekme dayanımı yarı mamulün mukavemet değerlerine göre oldukça düşüktür. Atmosfer koşullarında dökülebilir poliamid türü olsa da polimerizasyon işlemi kaprolaktam aktivasyonu ile sağlanmalıdır. Normal atmosfer koşullarında kestamidin geri kazanımı mümkün değildir. Geri dönüştürülmüş numunelerin çekme dayanımı, yarı mamulün çekme dayanımının en fazla %25'i kadardır. Geri dönüştürülmüş numunelerin kopma uzamaları da oldukça düşüktür.

Yarı mamul için ölçülen sertlik değerleri ile geri kazanılmış numunelerin sertlik değerleri arasında büyük bir fark olmasa da sertlik değerlerinin geri kazanımla düştüğü bulunmuştur. Geri dönüştürülme süresi uzadıkça ortalama sertlik değerlerinde artış görülmüştür.

Fırında bekleme süresi arttıkça gerek kuru, gerekse suda bekletme durumlarında nem emme özelliklerinin düştüğü belirlenmiştir. Nem ölçme deneyinde kullanılan granül büyüklüğü düştükçe nem değerlerinin arttığı belirlenmiştir. Yarı mamullerin nem değerleri 3h ile 3.5 h arasında fırında kalmış geri kazanılmış numunelerin değerlerine yakın olarak bulunmuştur.

5 Teşekkür

Bu çalışma, 2009BSP002 numaralı "Geri Dönüştürülmüş Kestamid Numunelerin Mekanik Özellikleri" başlıklı proje kapsamında Pamukkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Birimi tarafından desteklenmiştir.

6 Kaynaklar

- [1] Crawford RJ. *Plastics Engineering*, 2nd ed. Oxford, UK, Pergamon Press, 1987.
- [2] Cowie JMG. *Polymers: Chemistry & Physics of Modern Materials*. 2nd ed. London, United Kingdom, Stanley Thornes Ltd, 1998.
- [3] Kohan MI. *Nylon Plastics Handbook*. Munich, Germany, Hanser Publication, 1995.
- [4] Samyn P, Baets PD, Schoukens G, Driessche IV. "Friction, wear and transfer of pure and internally lubricated cast polyamides at various testing scales". *Wear*, 262(11-12), 1433-1449, 2007.
- [5] Callister DW. *Materials Science and Engineering an Introduction*. Wiley international edition, New York, USA, John Wiley & Sons Inc, 2002.
- [6] Kang SC, Chung DW. "The synthesis and frictional properties of lubricant-impregnated cast nylons". *Wear*, 239(2), 244-250, 2000.
- [7] Kang SC, Chung DW. "Improvement of frictional properties and abrasive wear resistance of nylon/graphite composite by oil impregnation". *Wear*, 254(1-2), 103-110, 2003.
- [8] Samyn P, Tuzolana TM. "Effect of test scale on the friction properties of pure and internal-lubricated cast polyamides at running-in". *Polymer Testing*, 26(5), 660-675, 2007.
- [9] Yabe T, Takajo T, Kato S, Ueki F. "Lubricant-supplying properties and durability of oil-impregnated polymers". *Tribology Transmation*, 43(3), 453-458, 2000.
- [10] Lin JX, Wang CY, Zheng YY. "Prediction of isothermal crystallization parameters in monomer cast nylon 6". *Computers and Chemical Engineering*, 32(12), 3023-3029, 2008.
- [11] American Society of Testing and Materials. "Standard Test Method for Tensile Properties of Fiber-Resin Composite". American Society of Testing and Materials, Philadelphia, USA, Re-Approved, ASTM Standard D 3039-76, 1982.