

Untersuchung des Zusammenhangs von Viskosität und Temperatur von PP mittels Kapillarrheometrie

Fanxin Zeng, Applications Laboratory Shanghai



1 Rosand RH10

Einleitung

Polypropylen (PP) ist ein wichtiger gebräuchlicher Kunststoff, der aufgrund seiner hervorragenden mechanischen Eigenschaften, chemischen Beständigkeit und Verarbeitbarkeit in der Automobil-, Verpackungs-, Elektronik- und Textilindustrie sowie in weiteren Branchen weit verbreitet ist. Um die Verarbeitung von PP-Materialien jedoch weiter zu optimieren und die Produktqualität sowie -leistung zu verbessern, ist es von großer praktischer Bedeutung, das rheologische Verhalten von PP eingehend zu untersuchen.

Die Viskosität ist ein entscheidender Indikator für das Fließverhalten von Polymeren und steht in engem

Zusammenhang mit der Materialverarbeitung. In verschiedenen Herstellungsprozessen muss PP innerhalb bestimmter Temperaturbereiche fließen und Form annehmen. Das genaue Verständnis der Abhängigkeit der Viskosität von PP von der Temperatur ermöglicht es Ingenieuren, die Verarbeitungsparameter präzise zu steuern und so eine optimale Fließfähigkeit und Formqualität von PP während der Produktion sicherzustellen.

Das Kapillarrheometer ist ein klassisches rheologisches Messgerät, das in der Polymerforschung häufig eingesetzt wird, da es die rheologischen Eigenschaften von Materialien über einen breiten Bereich von Scherraten und Temperaturen messen kann. In dieser Studie wurde ein NETZSCH-Kapillarrheometer RH10 (siehe Abbildung 1) verwendet, um die Auswirkungen von Temperatur und Scherrate auf die Schmelzviskosität und Aktivierungsenergie des viskosen Fließens von PP systematisch zu untersuchen. Die Ergebnisse liefern eine theoretische Grundlage für die Optimierung der PP-Verarbeitungsparameter und tragen somit zur Verbesserung der Qualität und Leistungsfähigkeit von PP-Produkten bei.

Messbedingungen und Messmethode

Die Messbedingungen sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Tabelle 1 Messbedingungen

Gerät	NETZSCH Rosand RH10
Proben	PP
Druckaufnehmer	10000 psi
Düzenspezifikation	L = 16 mm, T = 1 mm
Testtemperatur	180 °C/190 °C/200 °C/210 °C/220 °C
Scherratenbereich	10 - 10000 s ⁻¹

APPLICATIONNOTE Untersuchung des Zusammenhangs von Viskosität und Temperatur von PP mittels Kapillarrheometrie

Nach Einbau der Düsen unterhalb des linken Zylinders und Stabilisierung der Temperatur wurde das PP-Granulat langsam in den Zylinder eingefüllt. Anschließend wurde es auf 1 MPa unter Druck gesetzt und 5 Minuten lang bei konstanter Temperatur vorgewärmt. Danach führte das Gerät den Versuch automatisch durch, wobei die Scherrate angelegt und der Druck aufgezeichnet wurde.

Messergebnisse und Diskussion

Abbildung 2 zeigt die Kurven der Scherviskosität in Abhängigkeit von der Scherrate für PP-Proben bei verschiedenen Temperaturen. Wie in der Abbildung zu sehen ist, nimmt die Scherviskosität der PP-Proben bei allen Temperaturen mit steigender Scherrate allmählich ab. Dies ist ein typisches scherverdünnendes Verhalten. Grund dafür ist, dass sich die Entflechtung der PP-Makromolekülketten bei höheren Scherraten verstärkt, was zu einem raschen Rückgang der Scherviskosität führt. Bei weiterer Erhöhung der Scherrate nimmt jedoch die Wirksamkeit der Schubspannung bei der Förderung der makromolekularen Entflechtung ab. Dies führt zu einer Verlangsamung des Abwärtstrends der Scherviskosität.

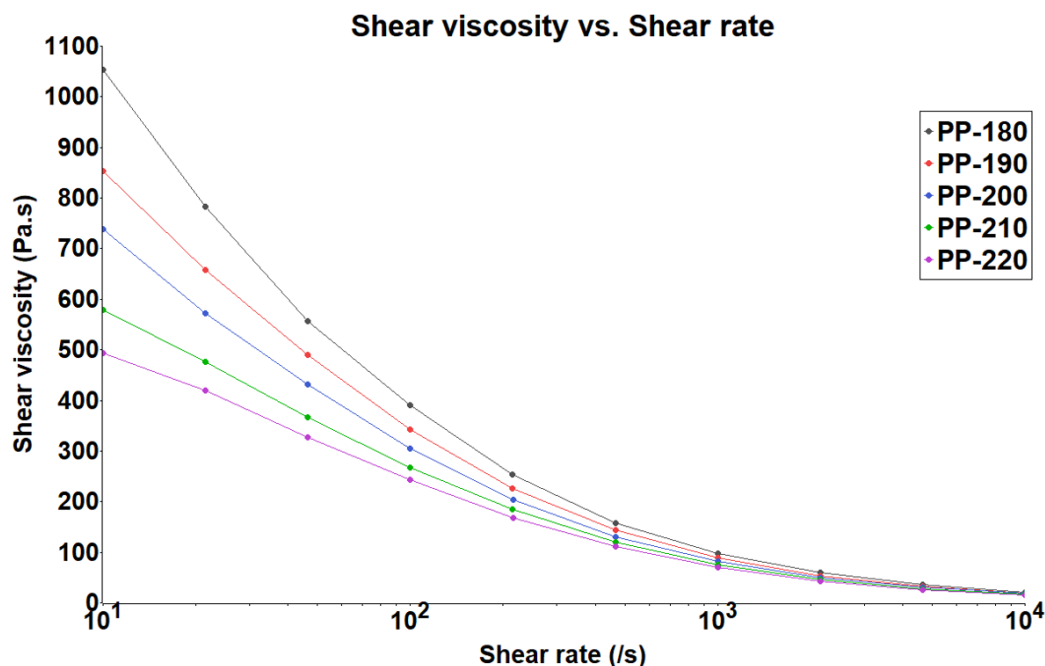
Darüber hinaus nimmt die Scherviskosität der PP-Proben bei gleicher Scherrate mit steigender Temperatur deutlich ab. Dies ist darauf zurückzuführen, dass mit steigender Temperatur das freie Volumen der PP-Schmelze zunimmt. Dadurch erhöht sich die Mobilität der

Kettensegmente und die intermolekularen Wechselwirkungskräfte verringern sich, was die Fließfähigkeit von PP verbessert. Der Unterschied in den Scherviskositätswerten bei verschiedenen Temperaturen nimmt jedoch merklich ab, wenn die Scherrate 500 s^{-1} überschreitet. Insbesondere bei einer Erhöhung der Scherrate auf 5.000 s^{-1} neigen die Scherviskositätskurven bei verschiedenen Temperaturen dazu sich zu überlappen, und die Abnahmetendenz der Scherviskosität verlangsamt sich. Dies deutet darauf hin, dass jenseits einer kritischen Scherrate die Temperaturempfindlichkeit der Scherviskosität von PP abnimmt. Dies deutet wiederum auf ein erweitertes Verarbeitungstemperaturfenster für PP innerhalb dieses Scherratenbereichs hin.

Die Aktivierungsenergie des viskosen Fließens (E_η) ist ein Indikator für die Temperaturempfindlichkeit der scheinbaren Scherviskosität einer Polymerschmelze. Ein höherer E_η -Wert bedeutet eine größere Empfindlichkeit der Schmelzviskosität gegenüber Temperaturschwankungen, während ein niedrigerer Wert auf eine geringe Temperaturabhängigkeit hindeutet. E_η lässt sich mithilfe der Arrhenius-Gleichung (1) berechnen:

$$\eta_a = A \cdot e^{E_\eta/RT} \quad (1)$$

wobei η_a die Schmelzviskosität, E_η die Aktivierungsenergie des viskosen Fließens, R die Gaskonstante ($8,314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$) und A eine temperaturunabhängige Konstante ist.



2 Scherviskositätskurven von PP gegen die Scherrate bei unterschiedlichen Temperaturen

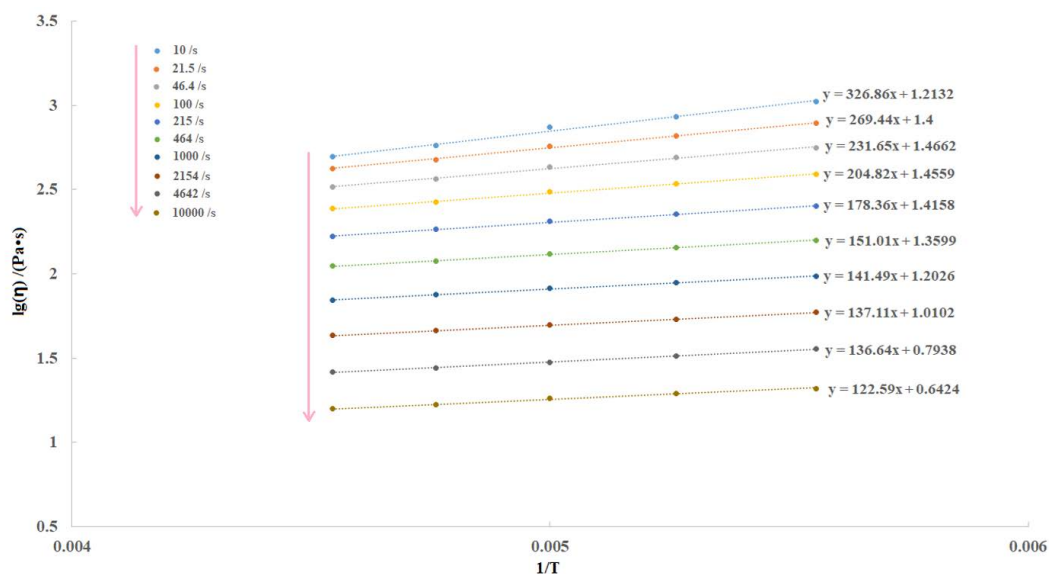
APPLICATIONNOTE Untersuchung des Zusammenhangs von Viskosität und Temperatur von PP mittels Kapillarrheometrie

Auf Grundlage der in Abbildung 2 gemessenen Daten wurden Diagramme von $\lg \eta_a$ in Abhängigkeit von $1/T$ erstellt und angepasst. Die Kurven des Zusammenhangs $\lg \eta_a \sim 1/T$ bei verschiedenen Scherraten sind in Abbildung 3 dargestellt, die konkreten Werte sind in Tabelle 2 aufgeführt. Wie zu sehen ist, lässt sich E_η von PP bei verschiedenen Scherraten anhand der Steigungen der angepassten linearen Kurven in Abbildung 3 bestimmen. Die konkreten Werte sind in Tabelle 2 aufgeführt. E_η von PP nimmt mit steigender Scherrate innerhalb des untersuchten Temperaturbereichs ab. Dies deutet darauf hin, dass die Scherviskosität der PP-Schmelze bei hohen Scherraten weniger temperaturempfindlich ist. Aus molekulardynamischer Sicht lässt sich dieses Phänomen

dadurch erklären, dass externe Scherkräfte die Verflechtung zwischen den PP-Molekülen aufbrechen und somit die Temperaturempfindlichkeit der Scherviskosität verringern. Dies spiegelt sich in den Viskositätskurven (siehe Abbildung 2) wider: Bei hohen Scherraten überlappen sich die Kurven bei verschiedenen Temperaturen nahezu. Daher erweist sich eine Erhöhung der Temperatur bei hohen Scherraten als weniger wirksam, um die Scherviskosität der PP-Schmelze zu verringern. Im Gegensatz dazu kann eine Erhöhung der Temperatur bei niedrigen Scherraten die Fließfähigkeit von PP deutlich verbessern und dadurch den Energieverbrauch während der Verarbeitung senken.

Tabelle 2 E_η von PP mit unterschiedlichen Scherraten

Scherrate (s^{-1})	10	21,5	46,4	100	215	464	1000	2154	4642	10000
E_η (kJ/mol)	62,6	51,6	44,4	39,2	34,2	28,9	27,1	26,3	26,2	23,5



3 Verhältnis der Kurven von $\lg \eta_a \sim 1/T$ für PP mit unterschiedlichen Scherraten

Fazit

In dieser Application Note wurden die rheologischen Eigenschaften von PP bei verschiedenen Temperaturen und Scherraten mithilfe eines NETZSCH-Kapillarrheometers Rosand RH10 untersucht. Bei relativ niedrigen Scherraten (10 bis $500 s^{-1}$) nimmt die Scherviskosität von PP

mit steigender Scherrate deutlich ab, während bei hohen Scherraten (500 bis $10.000 s^{-1}$) die Abnahme der Scherviskosität allmählicher verläuft. Zudem nimmt E_η von PP mit steigender Scherrate ab, was darauf hindeutet, dass höhere Scherraten die Temperaturempfindlichkeit der Schmelzviskosität von PP wirksam verringern.