

## AQRAR GELİNİN ÖZLÜ-ELASTİK XASSƏLƏRİNİN REBİNDER ÜSULU İLƏ ÖYRƏNİLMƏSİ

**E.Ə. MƏSİMOV, A.R. İMAMƏLİYEV, K.M. BUDAQOV**

*Bakı Dövlət Universiteti, Fizika Problemləri İnstitutu*

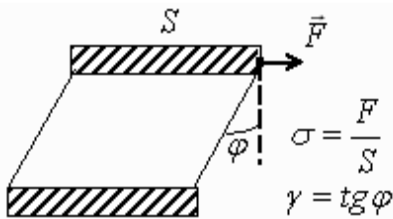
*Bakı, Az-1145, Z. Xəlilov.23*

Bu işdə sürüşmə deformasiyası həndəsəsində aqrar gelinin ani elastiklik və yüksək elastiklik sabitlərinin, həmçinin statik özlülük əmsalının mexaniki gərginlikdən asılılığı öyrənilmişdir. Möhkəmlik həddindən aşağı gərginliklərdə ani elastiklik sabiti, demək olar ki, dəyişmir, yüksəkəlastiklik sabiti zəif artır. Möhkəmlik həddindən yuxarı gərginliklərdə isə hər iki sabit azalır. Alınan nəticənin keyfiyyətə izahı verilmişdir.

Bərk cisimlər üçün Huk qanununa tabe olan elastiklik, mayelər üçün isə Nyuton qanununa tabe olan özlü axın xassəsi xarakterikdir. Özlü-elastik materiallarda bu xassələrin kombinasiyası müşahidə olunur [1]. Özlü-elastik materiallar Debora ədədi ( $De$ ) adlanan ədədlə xarakterizə olunur. Bu ədəd material üçün xarakterik olan relaksasiya (və ya gecikmə) müddətinin proses üçün xarakterik olan deformasiya müddətinə (deformasiya sürətinin tərs qiyməti) olan nisbətində bərabərdir

$$De = \frac{t_{material}}{t_{proses}} \quad (1)$$

Mayelər üçün  $De \ll 1$  (sırf özlü maddələr üçün  $De \rightarrow 0$ ), bərk cisimlər üçün isə  $De \gg 1$  (mükəmməl elastik bərk cisimlər üçün  $De \rightarrow \infty$ ) şərti ödənilir.  $De \approx 1$  şərtini ödəyən materiallar özlüelastik materiallar adlanır. Belə materiallar bir çox reoloji xüsusiyyətlərə malik olurlar ki, bunların arasında normal gərginlik effekti (Kuit axını zamanı Vaisenbenrq effekti, Puazeyl axını zamanı Barus effekti), gərginlik relaksasiyası, gecikən reaksiya, sürüngenlik və s. göstərmək olar [2].



Şəkil 1.

Bir çox polimerlər, o cümlədən, bioloji təbiətli polimerlər, su mühitində dispersiya və ya həll olunduqda özlü-elastik sistem əmələ gətirə bilirlər. Sırf özlü sistemdən elastik gəlin yaranması (zol-gel keçidi) həm kimyəvi, həm də termik yolla həyata keçə bilər. Termik yolla gəl əmələ gətirən təbii polimerlərə, aqaroza, aqrar və karraginan kimi aqaroidləri göstərmək olar.

Gəllər daha çox bərk hala yaxın xassələr göstərir. Gələ tətbiq olunan gərginlik həm bərpa olunan, həm də bərpa olunmayan deformasiya (axın) yarada bilər. Bu cür özlü-elastik xassələri modeləşdirmək üçün müəyyən qayda ilə birləşdirilmiş yay və özlü mayədə hərəkət edən porşəndən ibarət sistemə baxılır [3]. Məsələn, sürüşmə deformasiyası halında gələ sabit gərginlik tətbiq

olunduqda yaranan deformasiyanın zamandan asılığını tapmaq üçün

$$\sigma = G\gamma + \eta\dot{\gamma} \quad (2)$$

tənliyi ilə xarakterizə olunan sadə Kelvin-Foyqt modeli (yay və porşen paralel birləşdirilir) doğrudur [3]. Burada

$\sigma = \frac{F}{S}$  - mexaniki gərginlik,  $\gamma = tg\phi$  - sürüşmə de-

formasiyası, - sürüşmə sürəti,  $G$  - elastiklik modulu,  $\eta$  isə özlülükdür (şəkil 1).

$\tau = const$  olduqda (2) tənliyinin həlli

$$\gamma = \gamma_m (1 - e^{-t/\tau}) \quad (3)$$

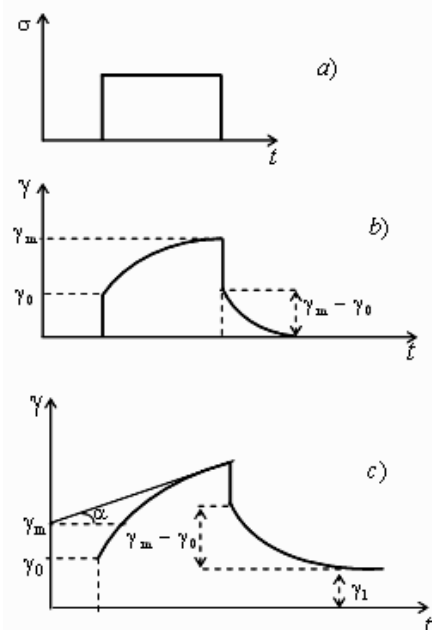
gərginliyi götürdükdə isə deformasiyanın relaksasiyası

$$\gamma = \gamma_m e^{-t/\tau} \quad (4)$$

düsturu ilə ifadə olunur. Burada  $\gamma_m$  - maksimal deformasiya

$$\tau = \frac{\eta}{G} \quad (5)$$

isə gecikmə müddətidir.



Şəkil 2.

Ölçmələr göstərir ki, alınan nəticələr (2)-(5) düsturlarının təsvir etdiyindən fərqli olur (şəkil 2). Birinci fərq ondan ibarətdir ki, elastik deformasiya ani və yüksək-elastik adlanan iki hissədən ibarətdir. İkinci isə ondan ibarətdir ki, özlü axın müəyyən  $\sigma_k$  gərginliyindən sonra başlayır.

Ani elastiklik (Huk elastikliyi) gəldəki polimer molekullarının valent rabitələrinin və bucaqlarının məhdud dərəcədə deformasiyası ilə, yüksək-elastiklik (gecikmiş elastiklik) isə ayrı-ayrı seqmentlərin sərbəst şəkildə yerdəyişməsi ilə əlaqədardır. Gəldə makromolekullar arasında fəza torunun mövcud olması nisbətən kiçik gərginliklərdə onların bütövlükdə bir-birinə nəzərən yerdəyişməsinə mane olur. Bu halda verilən gərginliyi götürdükdə gel-nümunə əvvəlki vəziyyətinə qayıdır və əvvəlcə ani olaraq makromolekullarda əvvəlki valent rabitələri və bucaqlar, sonra isə müəyyən gecikmə ilə molekulun əvvəlki konformasiyası bərpa olunur (şəkil 2b). Nümunəyə verilən gərginliyi artırmaqda davam etsək, müəyyən gərginlikdən başlayaraq (bu gərginlik plastik deformasiyanın və ya özlü axının başladığı gərginlik olub gəlin möhkəmlilik həddi  $\sigma_k$  adlanır) fəza toru qırılmağa və molekullar özləri bir-birinə nəzərən yerini dəyişməyə başlayır. Bu gəlin dönməyən deformasiyasıdır və gərginlik götürüldükdə qismən bərpa olunur (şəkil 2c).

Bu işdə aqar gəlinin özlü-elastik xassələri Rebinder üsulu ilə (tangensial sürüşmə deformasiyası həndəsəsində) öyrənilmişdir. Aqar təbii biopolimer olub təbabətdə yeyinti sənayesində, əzcaçılıqda geniş tətbiq olunur [4]. Bizim istifadə etdiyimiz aqar (Precoldia, Saxalin) kifayət qədər güclü gələmələgətirmə qabiliyyətinə malikdir. Gəlin hazırlanması aşağıdakı texnologiya üzrə həyata keçirilmişdir. Yarpaq şəklində olan aqar tərəzidə çökülərək təmiz (distillə) suyuna əlavə olunur, suyun qaynama temperaturuna yaxın temperatura qədər qızdırılır və bir neçə saat bu vəziyyətdə saxlanılır. Bu zaman yarpaqdakı aqar tamamilə suya keçir. Məhlul kiçik məsaməli süzgəcdən keçirildikdən sonra soyudulur və 35-40°C intervalında gel halına keçir. Ölçmə, gel bir gün saxlandıqdan sonra  $t=20^{\circ}\text{C}$ -də aparılır. Gel nümunə təxminən 20mm×15mm×10mm ölçüsündə götürülmüşdür. Nümunəyə verilən gərginlik diskret yüklər tərəfindən yaradılır. Sürüşmə deformasiyası fotoelementin köməyi ilə elektrik signalına çevrilir və qrafikçəkənin  $Y$  girişinə verilir.

Qrafikçəkən yuxarıda qeyd olunan əyriyələri (şəkil 2b və 2c) verir. Bu əyriyələrə əsasən həm elastiklik modullarını həm də özlülüyü tapılmışdır:

$$G_0 = \frac{\sigma}{\gamma_0} \quad (6)$$

$$G_1 = \frac{\sigma}{\gamma_m - \gamma_0} \quad (7)$$

$$\eta = \frac{\sigma - \sigma_k}{\dot{\gamma}} = \frac{\sigma - \sigma_k}{tg \alpha} \quad (8)$$

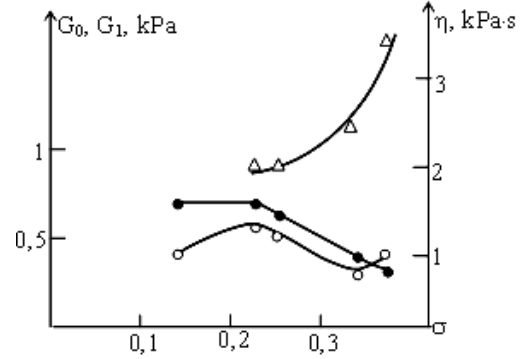
Şəkil 3-də 1%-li aqar gəlinin ani (dolu dairələr) və gecikmiş elastiklik modullarının (içiboş dairələr), həmçinin statik özlülüyünün (üçbucaqlar) tətbiq olunan mexaniki gərginlikdən asılılıq qrafikləri göstərilmişdir. Nəticələri

aşağıdakı kimi şərh etmək olar:

1.  $\sigma_k$  kritik gərginliyindən aşağı gərginliklərdə ani elastiklik modulu  $G_0$  demək olar ki, dəyişmir, bu gərginlikdən yuxarıda isə gərginlik artdıqca azalır;

2.  $G_1$  yüksək-elastiklik modulu  $\sigma_k$  kritik gərginliyindən aşağıda gərginlik artıqca artır,  $\sigma_k$ -dən yuxarıda isə azalır;

3.  $\eta$  özlülük əmsali gərginlik artdıqca artır .



Şəkil 3.

Kiçik gərginliklərdə ani elastiklik modulunun demək olar ki, sabit qalması valent rabitələrinin və bucaqlarının gərginliklə mütənasib olmasının nəticəsidir. Yüksək elastiklik modulunun zəif artması isə göstərir ki, gərginlik artdıqca polimer zəncirlərinin dartılması çətinləşir. Lakin müəyyən gərginlikdən ( $\sigma_k$ ) başlayaraq fəza toru əmələ gətirən rabitələr qırılmağa başlayır və bu andan başlayaraq  $G_0$  və  $G_1$  kəskin azalmağa başlayır. 1%-li gel üçün möhkəmlilik  $20^{\circ}\text{C}$ -də, qrafikdən göründüyü kimi 240Pa ətrafında olur. Gəlin möhkəmliyini digər sadə üsulla da qiymətləndirmək olar. Bunun üçün geli nazik uzun şaquli bordan porşenlə sıxıb çıxarmaq lazımdır. Müəyyən uzunluqda ( $l_k$ ) gel sütunu öz ağırlığı ilə qırılır [5]. Bu uzunluğu özçməklə gəlin möhkəmliyi  $\sigma_k = \rho g l_k$  düsturunun köməyi ilə hesablamaq olar. Qeyd edək ki, aqarın konsentrasiyasının artması gəlin möhkəmliyinin kəskin artmasına səbəb olur. Məsələn, möhkəmliyin sonuncu üsulla qiymətləndirməsi 1%-li aqar geli üçün  $\sigma_k \approx 270 \text{ Pa}$ , 2%-li aqar geli üçün isə  $\sigma_k \approx 1,6 \text{ kPa}$  verir.

Əksər qeyri-Nyuton mayelərində mexaniki gərginlik artdıqca özlülüyün azalması müşahidə olunur. Çünki gərginliyin artması axına (molekulların bir-birinə nəzərən yerdəyişməsinə) mane olan faktorların aradan qalxmasına səbəb olur. Lakin bəzi mürəkkəb mayələrdə (dispersiyalarda, genişləndiricilərdə) əksinə xassə – mexaniki gərginlik artdıqca özlülüyün azalması mümkündür [2]. Gəldə də oxşar xassə müşahidə olunur (şəkil 3). Bunun səbəbini gəlin mürəkkəb quruluşu ilə izah etmək olar. Gəldə fəza toru müxtəlif səviyyəli assosatlardan - ikiqat spirallardan, supraliflərdən və ssosiatlaşmada iştirak etməyən makromolekullardan ibarətdir. Özlüelastik xassələrdə bunların hər birinin öz payı vardır [6]. Belə mürəkkəb sistemlərdə gərginlik (və ya axın sürəti) artdıqca axının çətinləşməsi mümkündür. Məsələn, gələ verilən gərginliyin bir hissəsi aqreqlərin dağılmasına, digər hissəsi isə onların qarşılıqlı yerdəyişməsinə sərf oluna bilər. Bu versiyanın yoxlanması əlavə təcrübələr qoyulmasını tələb edir.

- [1] *E. Gregorova, W. Pabst, J. Stetina.* "Theory of Linear Viscoelasticity" *Czech. Journ. "Ceramics – Silikaty"*, 48(3), 2004, p.93-99
- [2] *S.A. Khan, J.R. Royer, S.R. Raghavan.* "Rheology: Tools and Materials" – *Aviation Fuels with Fire Safety: A Proceedings*, 1997, p.31-46
- [3] *Q.M. Bartenev, S.Ya. Frenkel.* *Fizika polimerov*, Leningrad. "Химия", 1990, 430 с.(Rusca).
- [4] *C.M. Dea I.* "Industrial Polysacharides" § *Pure & Appl. Chemistry*, v.61, No7, pp.1315-1322
- [5] *S. R. Raghavan, B.H. Cipriano.* "Gel formation: phase diagrams using tabletop rheology and calorimetry" – *Molecular Gels: Materials with self-assembled fibrillar networks*, ed by R.G.Weiss & P.Terech, 233-244, 2005 Springer

**Е.А. Masimov, A.R. Imamaliyev, K.M. Budagov**

### **THE INVESTIGATION OF ELASTOVISCOUS PROPERTIES OF AGAR GELS BY REBINDER'S METHOD**

In this work the dependence of instantaneous and high-elastic modules, as well as static viscosity of agar gels on applied stress in a tangential shear geometry has been studied. At the stresses lower than yield stress the instantaneous modulus almost doesn't change, but the high-elastic modulus increases slowly. If the applied stress exceeds the yield stress both quantities decrease by increasing of the stress. The obtained results are explained qualitatively.

**Э.А. Масимов, А.Р. Имамалиев, К.М. Будагов**

### **ИЗУЧЕНИЕ УПРУГОВЯЗКИХ СВОЙСТВ ГЕЛЕЙ АГАРА МЕТОДОМ РЕБИНДЕРА**

В работе изучена зависимость мгновенной и высокоэластичной модулей упругости, а также статического коэффициента вязкости агаровой гели от приложенного механического напряжения в геометрии сдвиговой деформации. Ниже предела прочности геля мгновенный модуль почти не меняется, а высокоэластичный модуль слабо увеличивается с ростом напряжения, а при напряжениях выше предела прочности обе величины уменьшаются с ростом напряжения. Приводится качественное объяснение полученных результатов.

*Received: 17.04.07*