

# MAKİNA PARÇALARINDA YENİ ISLAH YÖNTEMLERİ

Ersan TANER

Roketsan A.Ş.

Makina parçalarının iç gerilimlerini gidermek için bulunan yeni yöntemler, parçaların daha uzun ömürlü ve sorunsuz çalışmasını sağlıyor. Mekanik sistemlerin performansını en güvenilir yöntemler olan yağlama ve ısıtma işlemi geliştirmek mümkünken, artık yeni geliştirilen metodlar ile de yüksek performans elde edilebiliyor. Yeni teknolojiler arasında, Harmonik altı vibrasyonla gerilim giderme (Subharmonic vibrational stress relief-SVSR), Dondurma - kriyojenik ıslah (cryogenics), ve iyon depolama sayılabilir.

Gerçekten de, SVSR yönteminde, vibrasyonla parçadaki gerilimler yok ediliyor. Dondurma (kriyojenik) yöntemiyle parçaya -185°C de soğuk ıslah yapılıyor ve üzerindeki gerilimler yok ediliyor. Gerilimi almamasına karşın, iyon depolama, elektriği kullanıp kuru bir yağlayıcı film tabakası oluşturarak rulmanlara ve diğer hareketli parçalara kaplama yapıyor ve bu sayede bu parçalarda kullanılan yağ ve gres gereksinimini ortadan kaldırıyor.

## VİBRASYONLA GERİLİMİ GİDERME SİSTEMİ

1950'lerde Amerikan Ordusu, harmonik titreşimleri uçak kanatlarını test etmek için kullanmıştı. Araştırmacılar, rezonans frekanslarında titreşim yapan bir çok parçada yüksek boyutlu sehimlere (high amplitude deflections) rastlandığını, bunun da parçanın kırılması-zarar görmesi anlamına geldiğini belirtiyorlar. Bununla beraber aynı araştırmacılar, bazı parçaların da rezonans frekanslarında salınım yapmasına karşın hala çalışabildiğine tanık olduklarını söylüyorlar. Rezonans frekanslarında titreşen bir parçanın hasar görmesini kontrol etmek güçlüğünden bu gözlemin gerçekleştirilmesi oldukça zordur.

Bonal Technologies'deki mühendisler, titreşimi gerilim alma problemlerini çözerken kullandılar ve hasarlanma sorununu da çözmüş görünüyorlar. Buldukları çözüm, parçayı rezonans frekansının hemen altındaki bir değerde titreşime tabi tutmak. Harmonik altı vibrasyonla gerilim giderme (SVSR) adı verilen bu yöntemle, önce metal parçadaki rezonans frekanslarını belirlemek, ardından da parçayı belirlenen rezonans frekanslarının birinin hemen altında titreştirmek öngörülüyor. Bu işlemle parçadaki gerilim alınıyor.

Talaşlı imalat, parça üzerinde bir çok artık stres, iç gerilim bırakır. Örneğin, kaynak, döküm, dövme ve talaşlı imalat sonrasında parçada ısı gerilimleri oluşur. Isıl gerilimleri olan parçalar, talaşlı imalat sırasında hasar görebilir, bozulabilir veya zaman içinde kullanımı sırasında kırılabilir. Parçadaki artık gerilimleri almanın ilk aşaması, parçanın harmonik frekansının belirlenmesidir.

Tüm cisimler doğal harmonik frekansa sahiptirler. Isıl iç gerilimlere sahip parçaların doğal harmonik frekanslardan farklı harmonik frekansları vardır. Bu parçalara harmonik altı (subharmonic) frekanslarda titreşim uygulanırsa, parça ısı gerilimleri yokedecek enerjiyi absorbe eder. Bu da, harmonik frekanslarını kendi doğal harmonik frekanslarına taşımalarını sağlar.

SVSR, (Harmonik altı titreşimle gerilim giderme) yöntemini uygulayan sistemlerden birisi de Bonal Technologies firmasının ürettiği Meta-Lax adı verilen sistemdir. Bu sistem, bir kuvvet üretici, bir transduser ve bir kontrol kısmından oluşur. Kuvvet üretici, doğrudan parçaya bağlanıyor veya parçanın civatalarla bağlandığı tablaya tutturuluyor. Kuvvet üretici, parça üzerinde ilerleyen kontrollü titreşimler yaratıyor. Transduser ise, kontrol kısmına, kuvvet üreticinin oluşturduğu kuvvetin gücü hakkında bilgi veren harmonik -düzenli sinyaller gönderiyor. Sistem, parçaya ilk önce, harmonik tepe frekansını belirleyecek titreşimler gönderiyor. Daha sonra parçaya, parçanın titreşim profilindeki harmonik tepe noktasına dayanarak, harmonik altı bölgeden titreşimler gönderiyor.

Birkaç dakikalık harmonik altı titreşimden sonra parçanın titreşimi durduruluyor ve harmonik tepe frekansı yeniden kontrol ediliyor. Eğer SVSR yöntemi verimli olduysa, yeni tepe frekansı orjinal tepe frekansından daha düşük bir değerde olacaktır. Bir sonraki aşama, prosesi tekrarlamak ve yeni tepe frekansı değerini kontrol etmektir. Eğer parçadaki yeni tepe frekansı bir önceki ölçümdeki değerinin aynısı ise, bu parçanın doğal harmonik frekansında titreşim yaptığını gösteriyor.

Titreşim ile parça içi gerilimin giderildiği bir diğer yöntem de rezonans titreşim ile gerilim giderme (RVSR)dir. Bu yöntemde parça, anlaşılacağı gibi rezonans frekansında titreşime tabi tutulur.

Kuvvet üretici, parçalara, rezonans frekanslarının altında titreşim verdiğinde, parçalar, aldıkları enerjinin çoğunu kuvvet üreticinden sağlarlar. Ancak, parçalar rezonans frekanslarında titreşim yaptıklarında, enerjiyi yeterince alamıyorlar ve verilen kuvvetin etkisi ölçülemiyor. SVSR yöntemi ise, parçanın geriliminin tamamen giderilmesi amacıyla sürekli tekrarlanan harmonik frekans ölçümlerinden ötürü, ölçülebilir bir proses olarak gözüküyor.

Bonal Technologies'den Tom Hebel, SVSR'nin RVSR'ye oranla daha tutarlı sonuçlar verdiğini belirtiyor. Hebel'e göre RVSR tekniğinde parçadaki iç gerilimin giderildiğine dair kesin bir bulgu elde edilemiyor. Kullanılan metodun en az ısıtma işlemdeki kadar güvenilir ve tutarlı sonuçlar vermesi gerekiyor, aksi takdirde imalat endüstrisi bu yöntemi kullanmaz.

Parçadaki gerilimler tamamen alındığında, parçanın talaşlı imalatı daha kolaylaşıyor ve parça daha uzun süreli çalışabiliyor. Bu proses, otomotiv, savunma sanayi gibi sektörlerde sıkça kullanılabilir. SVSR vibrasyonla gerilim giderme sistemini oluşturan parçalar küçük boyutta olduğundan, seyyar olarak taşınabiliyor. Bu sayede üretim sırasında veya üretimden sonra parça kullanımda iken bile bu proses kolayca uygulanabiliyor.

SVSR üretimin bir çok aşamasında gerçekleştirilebiliyor. Hassas borlama-frezeleme tezgahları üretimi, yapan Parker Boring firmasındaki bir çalışmada, CNC işleme merkezleri için kaynaklı bilezik parçalar ve dökme demir taretler frezelendi. Parçalar henüz fabrikadan ayrılmadan gerilimleri alınmış olmasına rağmen, üretici firmadan Andy Parker, SVSR makinası ile artık gerilimlerin kalıp kalmadığını kontrol etti. Bazı parçalarda hala az miktarda iç gerilimlerin bulunduğunu tespit etti. Böylece, SVSR makinasını iç gerilimleri almak üzere, parçaların son işlemeden önce her bir parça için çalıştırdı. Daha sonra parçalar diğer fabrikaya götürülerek montaj edildi. Parker fabrikasında taretlerin son frezelemesi yapılmadan önce tüm kompleye SVSR uygulandı. Parker firmasından bir yetkilinin bu işleme dair açıklaması şöyle: "Bu uygulamadaki en önemli nokta, üç ayrı tip malzemeye de aynı anda gerilim giderme işlemi uygulanmasıdır. Bu parçaların ikisinin talaşlı imalatı bitmiş olup, üçüncüsü montajdan sonra yeniden işlenecektir. Bu, ısı işlem ile gerilim gidermede kesinlikle imkansız olan bir işlemdir."

Tüm SVSR prosesi, parçanın mukavemetine, elastisite sabitine ve geometrik ölçülerine bağlı olarak yarım saat ile birkaç saat arasında değişebiliyor. Eğer parçalarda hala gerilim kalmışsa işlem tekrarlanıyor. SVSR'nin bir diğer avantajı, parçanın geometrik ölçülerinin büyüklüğünün proses içinde önemli olmamasıdır. Büyük parçalar bir kaç farklı noktadan titreşime tabi tutularak, küçük bir çok parça ise bir tablaya bağlanarak, kuvvet üreticinin tüm tablaya titreşim uygulamasıyla, proses gerçekleştiriliyor.

### SOĞUKTA GERİLİM GİDERME

(Dondurma) kriyojenik yöntem, parçalardaki artık gerilimleri yoketmek için kullanılan diğer bir yöntem. Bilgisayar kontrollu bir proste parçalar  $-185^{\circ}\text{C}$  ( $-300^{\circ}\text{F}$ ) 'ye soğutuluyor ve ardından önce yavaşça oda sıcaklığına, sonra da daha yüksek sıcaklıklara ısıtılıyor. Kriyojenik yöntemle parçanın malzemesinin mikroyapısı göreceli olarak daha yumuşak durumdan daha yoğun ve düzenli bir yapı olarak değiştiriliyor. Proses çok değişik parçalara, örneğin kesme uçları, yarış otomobili motorları, topçu lançerleri gibi parçalara uygulanabiliyor. Proses SVSR'den daha uzun (24-56 saat) sürebiliyor, fakat parçaya bir kez uygulanan bu işlemlerle malzeme özellikleri tamamen değişiyor.

Isıl işlemde parçaya sertlik, tokluk, süneklik, korozyon direnci verilmesine karşın, bir çok elik malzeme, ısıl işlemden sonra östenit iç yapısını muhafaza eder. Östenit yumuşak demir ve karbondan oluşur. Martenzit ise östenite göre daha düzenli, daha küçük tanecikli bir yapıya sahiptir. Kriyojenik işlemi ile parça iç yapısı östenitten martenzite geçer. Martenzit yapısındaki malzeme, trpleyici aşınmaya karşı çok dirençli olur. Sadece parçaların yüzeylerinde etkili olan ısıl işlemden farklı olarak, kriyojenik yöntemle parçanın her yerinde iyileştirme gerçekleşiyor.

Kriyojenik gerilim almada, parça sıcaklığı her 25 mm'de 1iC değişiyor. Prosesi kontrol eden bilgisayarlar, her parça için özel, tekrarlanabilen soğutma eğrileri oluşturuyorlar. Sıcaklık değişim oranı yeterince yavaşsa, termal büzülme ve genleşme, çekirdekten yüzeye dek düzenli bir biçimde i gerilimleri azaltarak gerçekleşiyor. Sonuç olarak termal açıdan dengede, ölçüleri değişmemiş homojen bir parça elde ediliyor.

Bu prosesin bir çok açıdan yararları var. Örneğin kriyojenik temperlemede parçanın aşınma direnci, dayanıklılığı, çekme mukavemeti ve tokluk değerleri artıyor.

Yüksek alaşımli çelik kesme takımları, bu prodesten sonra uzun süre keskin kalıyorlar, daha az aşınıyorlar ve kırılıyorlar. Endüstriyel kesme takımlarının kriyojenik ıslahı konusunda uzmanlaşan Applied Cryogenics firmasının raporlarına göre, bu proses karbit kesme takımlarının çalışma ömürlerini % 60 oranında arttırmış bulunuyor. Kriyojenik ıslah, yeni olduğu gibi kullanılmış, eski kesme takımlarına da uygulanabiliyor. Kesme takımlarının yeniden işlenip bilenmiş olması kriyojenik ıslah işlemini etkilemiyor.

Proses, titanyum ve diğer metal malzemelerde ölçüsel kontrolü da geliştiriyor ve hatta kalaylama ve krom kaplama gibi yüzey koruma yöntemleriyle eşdeğer performans sergiliyor. Yüksek yüzey gerilimine sahip alüminyumun, kriyojenik ıslah işleminden sonra ölçüleri değişmiyor ve yeni talaşlı imalatlara da hazır oluyor. Bu proses, naylon, teflon ve plastikler gibi sentetik malzemelerde de başarılı sonuçlar veriyor.

Bazı uygulamalarda, kriyojenik yöntemle yapılan tasarruf birkaç yüzbin Amerikan doları'na erişebiliyor. Applied Cryogenics'den David Medlyn, "En yüksek tasarrufu 100000 \$ değerindeki büyük hacimli döküm kalıplarında gözlüyoruz, eğer kalıbın ömrünü % 50 arttırabilmişsek, kazancımız 50000 \$ oluyor. Bu, sadece kalıp maliyetinden gelen kazanç. Tasarrufun önemli bir kısmı ise aslında kalıp değiştirme zamanından, yeniden sipariş verme süresinden ve azalan bekleme zamanından kaynaklanıyor.

Applied Cryogenics firması, kriyojenik prosesinin motorların ömrünü arttırdığını belirtiyor. Yarış otomobillerinin motorları, yarışlar sırasında sık sık hasar görür. Kriyojenik proses ile bu hasar önlenebilir. Örneğin Hixson Engines firmasından Butch Hixson, 8000 dev./dak.da çalışan küçük bloklu bir Chevrolet motoruna kriyojenik proses uyguladı. Kriyojenik proses uygulandıktan sonra, motor devri 8500 dev./dak.'ya ulaşabiliyor ve tüm yarış sezonunu hasarsız kapatabiliyor. Sezon sonunda motor bakıma alındığında normalde 0.050-0.075 mm aşınma beklenen piston yataklarında 0.00635 mm aşınma gözleniyor.

Bu prosesin dezavantajı, çok hızlı bir üretim temposunda işleri, en az 24 saat sürmesinden ileri gelerek yavaşlatması. Ayrıca soğutma odalarının ölçüleri de burada ıslah edilecek parçalar için kısıtlayıcı bir etmen.

## YAĞLAMAYA İYON DEPOLAMASI YAKLAŞIMI

Yağlama, sürekli dikkat gerektiren bir konudur. Yağ, bir çok makina elemanının düzgün çalışmasını sağlıyor, fakat yarı-iletken üretimi gibi bazı hassas üretimlerde kirlilik yaratıyor. Az sürtünmeli bir ortamın kritik olduğu zamanlarda ise, yağ, hareketli parçalar üzerinde yapışkan bir hal alarak parçaların çalışmasını olumsuz yönde etkiliyor. Böyle zamanlarda tasarımcılar parçaları yağsız çalıştırmayı tercih ediyorlar.

Champion Bearings firması mühendisleri, katı bir yağlayıcı film kullanarak, sürtünmeyi, yağ kullanılan yağlama sistemlerinden daha düşük düzeyde tutacak bir yöntem geliştirdiler. Bu yağlamadaki ana prensip, yağın iki hareketli parça arasında bir sınır oluşturmasıdır.

Parça yüzeyinde mikron seviyesinde, bir çok irili ufaklı girinti ve çıkıntılar vardır. Eğer bu yüzeyler birbirine temas eder ve birbirlerinin üzerinde kaymaya başlarsa sürtünme oluşur ve bu da ısıya yol açar. Eğer yeterince ısınmışlarsa, iki yüzey birlikte eriyebilir. Bu duruma mikrokaynak yapışması adı verilir. Eğer parçalar harekete devam ederlerse, mikrokaynaklı yüzeyler ayrılır ve parça yüzeylerinden kopmalar oluşur.

Bu problemi yağ ve gres kullanmadan çözmek için, Champion Bearings firmasından Richard Kay, iyon depolama adı verilen bir proses kullanıldığını belirtiyor. Bu proseste parça yüzeyine katı -film yağlayıcılar elektriksel olarak yapıştırılıyor. Örneğin, bilyalı rulmanda bu proses uygulandığında, montajı tamamlanmış rulmanlar, içine argon gazı doldurulmuş vakum odaları içine alınıyor ve döndürülüyor.

Tungsten-disülfid gibi iyon verecek bileşik ise, önce kaynama noktasına kadar elektriksel olarak ısıtılıyor. Argon iyonları, elektriksel voltajla hızlandırılıyor, ve buharlaştırılmış tungsten-disülfid atomları ile çarpıştırılıyor. Bu, tungsten disülfid üzerinde kinetik enerji artışına neden oluyor ve onun rulman yönünde hareket edip rulman yüzeyi üzerinde mikron düzeyindeki girintileri doldurmasını sağlıyor. Richard Kay, rulman ölçülerinin bu prostesten sonra çok fazla değişmediğini belirtiyor. Tungsten disülfid veya Molibden disülfid bileşiğinden sadece 2000 Angstrom (0.0002 mm) kalınlığı kadar eklendiğini söylüyor.



Katı film yağlayıcı malzemeler, 1960'lardan beri bilinmesine karşın, Champion firması, Beraloy adı verilen, seramik bilyalı, teflon bazlı malzemeli kapaklı, iç ve dış bilezik yuvarlanma yolları iyonla kaplanmış hibrit rulmanları son zamanlarda geliştirdi. Bu hibrit rulmanların kullanıldığı teknolojilerin de gelişmesiyle, firma bu ürünü geliştirmeye ağırlık verdi.

Örneğin General Motors, yeni elektrik-dizelle çalışan hibrit otomobilinin aktarma organlarında, Champion'un iyonla kaplı rulman ve dişlilerini kullandı. GM mühendisleri, bu değişiklikle otomobilin güç tüketiminde 200W'lık bir azalma ve tork kazancı elde edilebileceğini belirtiyorlar.

Yarı iletken üretimi ise, yağın kullanılmadığı, hızlı gelişen bir üretim sektörüdür. Yarı iletken üretiminde yağ kullanılmaz çünkü bir çok proses vakum odalarında gerçekleşiyor. Buna ek olarak, bir çok yarı iletken üretimi uygulamasında, rotarlara uygulanan potansiyel farkı, motor millerine doğru ikiye katlanıyor. Bu, potansiyel farkı değeri, bazen rulman yağlama malzemesinin dielektrik mukavemetini aşıyor. Sonuçta oluşan akım, milden yağlayıcıya, oradan da topraklanmış motor aksamına geçiyor. Bu durum yüksek bir döndürme direnci, rulman bilya yuvarlanma yollarında aşınma ve en sonunda kalıcı hasarlara yolaçıyor. Rulmanların içinde bilya yuvarlanma yollarında, bu elektromanyetik kuvvetler sonucunda oluşan bozulmalar, hasarlar gözleniyor.

Bu problemleri, hibrit rulmanlardaki gibi, iletken olmayan seramik bilyaları rulman yuvarlanma yollarında kullanarak çözmek mümkün. Rulman yuvarlanma yollarının bozulması önlediği gibi, seramik bilyalar çelik bilyalara göre daha az ısınarak çalıştıkları için, mikrokaynak yapışmalarına da maruz kalmıyorlar.