

ÖZET

TİTANYUM ALAŞIMLARININ İŞLENMESİ YÖNTEMLERİ

- 5 Bir titanyum alaşımlı iş parçasının tanecik boyutunu inceltme yöntemleri, iş parçasını beta tavlamayı, beta tavllanmış iş parçasının titanyum alaşımının beta transus sıcaklığının altındaki bir sıcaklığa soğutulmasını ve iş parçasının yüksek gerginlik oranlı çok eksenli dövülmesini
- 10 içerir. Titanyum alaşımlı iş parçasında toplam en az 1 olan bir gerginlik elde edilene kadar ya da titanyum alaşımlı iş parçasında toplam en az 1 olan ila 3,5 olan bir gerginlik elde edilene kadar yüksek gerginlik oranlı çok eksenli dövme kullanılır. İş parçasının titanyum alaşımı, alfa fazı
- 15 çökmesini ve büyüme kinetiğini azaltmak için etkili olan, tanecik sabitleme alaşım ilavelerinden ve beta stabilize edici içerikten en az birini içerebilir.

İSTEMLER

1. Ti-6Al-2Sn-4Zr-6Mo alaşımı (UNS R56260), Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo-0.08Si alaşımı (UNS R54620), Ti-4Al-2.5V alaşımı (UNS R54250), Ti-6Al-7Nb alaşımı (UNS R56700) ve Ti-6Al-6V-2Sn alaşımından (UNS R56620) seçilen bir titanyum alaşımı içeren bir iş parçasının tanecik boyutunu inceltme yöntemi olup, özelliği;
- iş parçasının beta tavlmasını;
- beta tavllanmış iş parçasının titanyum alaşımının beta transus sıcaklığının altındaki bir sıcaklığa soğutulmasını; ve
- iş parçasını, iş parçasının birinci ortogonal eksen doğrultusunda iş parçasının dövme sıcaklığı aralığındaki bir iş parçasının dövme sıcaklığında, iş parçasının bir iç bölgesini adyabatik olarak ısıtmak için yeterli bir gerginlik oranına sahip olarak presleyerek dövmeyi,
- iş parçasını, iş parçasının iç bölgesini adyabatik olarak ısıtmak için yeterli bir gerginlik oranına sahip ikinci bir ortogonal eksen yönünde iş parçası dövme sıcaklığı aralığındaki bir iş parçası dövme sıcaklığında presleyerek dövmeyi,
- iş parçasını, iş parçasının iç bölgesini adyabatik olarak ısıtmak için yeterli bir gerginlik oranına sahip bir üçüncü ortogonal eksen yönünde iş parçası dövme sıcaklığı aralığındaki bir iş parçası dövme sıcaklığında presleyerek dövmeyi ve
- iş parçasında, presleyerek dövme işleminin en az bir adımının, iş parçasında en az 1,0 ila 3,5'den az olan bir toplam gerçek gerginlik elde edilene kadar tekrarlanmasını içeren iş parçasının çok eksenli dövülmesini içermesidir.
2. Ti-6Al-2Sn-4Zr-6Mo alaşımı (UNS R56260), Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo-

0.08Si alaşımlı (UNS R54620), Ti-4Al-2.5V alaşımlı (UNS R54250), Ti-6Al-7Nb alaşımlı (UNS R56700) ve Ti-6Al-6V-2Sn alaşımından (UNS R56620) seçilen bir titanyum alaşımı içeren bir iş parçasının tanecik boyutunu inceltme yöntemi olup, özelliği;

iş parçasının beta tavlama sürecini;

beta tavlama süreci iş parçasının titanyum alaşımının beta transus sıcaklığının altındaki bir sıcaklığa soğutulmasını; ve

iş parçasını, iş parçasının birinci ortogonal A-ekseni doğrultusunda iş parçasının dövme sıcaklığı aralığındaki bir iş parçasında dövme sıcaklığında, iş parçasının iç bölgesini adyabatik olarak ısıtmak için yeterli bir gerginlik oranına sahip majör bir redüksiyon aralayıcı yüksekliğine presleyerek dövmeyi,

iş parçasını iş parçasının dövme sıcaklığında, birinci blokaj redüksiyon aralayıcı yüksekliğine iş parçasının ikinci ortogonal B-ekseni yönünde presleyerek dövmeyi,

iş parçasını iş parçasının dövme sıcaklığında, iş parçasının üçüncü ortogonal C-ekseni yönünde ikinci blokaj redüksiyon aralayıcı yüksekliğine presleyerek dövmeyi,

iş parçasını iş parçasının ikinci ortogonal B-ekseni yönünde iş parçasının dövme sıcaklığında, iş parçasının iç bölgesini adyabatik olarak ısıtmak için yeterli bir gerginlik oranına sahip majör redüksiyon aralayıcı yüksekliğine presleyerek dövmeyi,

iş parçasını iş parçası dövme sıcaklığında, iş parçasının üçüncü ortogonal C-ekseni yönünde birinci blokaj redüksiyon aralayıcı yüksekliğine presleyerek dövmeyi,

iş parçasını iş parçası dövme sıcaklığında, iş parçasının birinci ortogonal A-ekseni yönünde ikinci

- blokaj redüksiyon aralayıcı yüksekliğine presleyerek dövmeyi,
- iş parçasını iş parçasının üçüncü ortogonal C-ekseni yönünde iş parçasının dövme sıcaklığında, iş parçasının iç bölgesini adyabatik olarak ısıtmak için yeterli bir gerginlik oranı ile majör redüksiyon aralayıcı yüksekliğine presleyerek dövmeyi,
- iş parçasını iş parçası dövme sıcaklığında, iş parçasının birinci ortogonal A-ekseni yönünde birinci blokaj redüksiyon aralayıcı yüksekliğine presleyerek dövmeyi,
- iş parçasını iş parçasının dövme sıcaklığındaki ikinci iş parçasının ikinci ortogonal B-ekseni yönünde ikinci blokaj redüksiyon aralayıcı parçası yüksekliğine presleyerek dövmeyi, ve
- iş parçasında, en az 1.0 ila 3.5'den daha az bir toplam gerçek gerginlik elde edilene kadar önceki pres dövme adımlarından en az birinin tekrarlanmasını içeren iş parçasının çok eksenli dövülmesini içermesidir.
3. İstem 1 veya istem 2'ye göre bir yöntem olup, özelliği; pres dövme sırasında kullanılan bir gerginlik oranının 0,2 s⁻¹ ila 0,8 s⁻¹ aralığında olmasıdır.
4. İstem 1 veya istem 2'ye göre bir yöntem olup, özelliği; beta tavlanmış iş parçasının soğutulmasının iş parçasının ortam sıcaklığına soğutulmasını içermesidir.
5. İstem 1 veya istem 2'ye göre bir yöntem olup, özelliği; beta tavlanmış iş parçasının soğutulmasının, iş parçasını iş parçası dövme sıcaklığında veya yakınında bir sıcaklığa soğutmayı içermesidir.
6. İstem 1 veya istem 2'ye göre bir yöntem olup, özelliği; iş parçasının beta tavlama sıcaklığının, iş parçasının, titanyum alaşımının beta transus sıcaklığının üstünde 166.7° C (300° F)'ye kadar olan titanyum alaşımının beta transus sıcaklığı

aralığında bir beta tavlama sıcaklığında ısıtılmasını içermesidir.

7. İstem 1 veya istem 2'ye göre bir yöntem olup, özelliği; iş parçasının beta tavlamasının iş parçasını 5 dakika ila 24 saat arasında bir süre boyunca beta tavlama sıcaklığında ısıtmayı içermesidir.

8. İstem 1 veya istem 2'ye göre bir yöntem olup, özelliği; ayrıca iş parçasını beta-tavllanmış iş parçasını soğutmadan önce titanyum alaşımının beta faz alanında plastik bir deformasyon sıcaklığında plastik olarak deforme etmeyi içermesidir.

9. İstem 8'e göre bir yöntem olup, özelliği; iş parçasının titanyum alaşımının beta faz alanındaki plastik bir deformasyon sıcaklığında plastik olarak deforme edilmesinin iş parçasına en az bir çekme, kızgın dövme ve yüksek gerginlik oranlı çok eksenli dövme işlemini içermesidir.

10. İstem 8'e göre bir yöntem olup, özelliği; plastik deformasyon sıcaklığının, titanyum alaşımının beta transus sıcaklığının üstünde 166.7° C (300° F)'ye kadar titanyum alaşımının beta transus sıcaklığı aralığında olmasıdır.

11. İstem 8'e göre bir yöntem olup, özelliği; iş parçasını plastik olarak deforme etmenin, yüksek gerginlik oranlı çok eksenli dövmeyi içermesi ve iş parçasının soğutulmasının, iş parçası titanyum alaşımının alfa+beta faz alanı içindeki çalışma sıcaklığına soğutulurken iş parçasını yüksek gerginlik oranlı çok eksenli dövmeyi içermesidir.

12. İstem 8'e göre bir yöntem olup, özelliği; iş parçasını plastik olarak deforme etmenin, iş parçasının 0.1 ila 0.5 aralığında bir beta-kızdırma gerginliği üzerine kızgın dövme yapmasını içermesidir.

13. İstem 1 veya istem 2'ye göre bir yöntem olup, özelliği; iş parçası dövme sıcaklığının iş parçasının titanyum alaşımının beta transus sıcaklığının altındaki 55.6° C (100° F) aralığından, iş parçasının titanyum alaşımının beta transus sıcaklığının altındaki 388.9° C (700° F) yüksekliğine kadar

seyretmesidir.

14. İstem 1 veya 2'ye göre bir yöntem olup, özelliği; ayrıca iş parçasının adyabatik olarak ısıtılmış iç bölgesinin, iş parçası dövme sıcaklığı aralığında iş parçasının dövme sıcaklığının veya yakınındaki bir sıcaklığa soğutmaya izin vermesini ve iş parçasının dış yüzeyinin, iş parçası dövme sıcaklığı aralığındaki iş parçası dövme sıcaklığındaki veya yakınındaki bir sıcaklığa ısıtılmasını içermesidir.

15. İstem 14'e göre bir yöntem olup, özelliği, iş parçasının adyabatik olarak ısıtılmış iç bölgesinin 5 ila 120 saniye arasında bir iç bölge soğutma süresi için soğumasına izin verilmesidir.

16. İstem 14'e göre bir yöntem olup, özelliği; iş parçasının dış yüzeyinin ısıtılmasının bir veya daha fazla alevli ısıtma, kutu fırın ısıtma, indüksiyonlu ısıtma ve radyan ısıtma kullanarak ısıtma içermesidir.

17. İstem 14'e göre bir yöntem olup, özelliği; iş parçasını presleyerek dövmek için kullanılan bir dövme kalıplarının, iş parçası dövme sıcaklığının altındaki 55.6° C (100° F) iş parçası dövme sıcaklığının aralığında bir sıcaklığa ısıtılmasıdır.

18. İstem 1 veya istem 2'ye göre bir yöntem olup, özelliği; en az 1.0 ila 3.5'den daha az bir toplam gerçek gerginlik elde edildikten sonra, iş parçasının 4 µm veya daha az bir aralıkta ortalama bir alfa parçacık taneciği boyutunu içermesidir.

19. İstem 1 veya istem 2'ye göre bir yöntem olup, özelliği; pres dövme adımlarının en az birinin, en az 1.0 ila 3.5'den daha az bir toplam gerçek gerginlik elde edilinceye kadar tekrarlanması iş parçasının bir ikinci iş parçası dövme sıcaklığında preslenerek dövülmesini; ikinci iş parçası dövme sıcaklığının, iş parçasının titanyum alaşımının alfa+beta faz alanı içinde olmasını ve ikinci iş parçası dövme sıcaklığının iş parçası dövme sıcaklığından daha düşük olmasını içermesidir.

TARİFNAME

TİTANYUM ALAŞIMLARININ İŞLENMESİ YÖNTEMLERİ

5 TEKNOLOJİNİN GEÇMİŞİ

TEKNOLOJİNİN ALANI

Mevcut tarifname, titanyum alaşımlarının işlenmesine yönelik yöntemlerle ilgilidir.

TEKNOLOJİNİN ARKA PLANININ TARİFNAMESİ

- 10 İri tanecikli (CG), ince tanecikli (FG), çok ince tanecikli (VFG) veya ultra ince tanecikli (UFG) mikroyapıya sahip titanyum ve titanyum alaşımları üretme yöntemleri, çoklu yeniden ısıtma ve demir dövme adımlarının kullanılmasını içerir. Demir dövme adımları, açık bir kalıp presinde demir
- 15 dövme işlemine ek olarak bir veya daha fazla kızgın dövme işlemi içerebilir.

Bu tarifnamede kullanıldığı haliyle, titanyum alaşımlarının mikroyapılarına atıfta bulunulurken: "iri tanecikli" terimi,

- 20 aşağı yukarı 14 μm 'den daha büyük 400 μm kadar olan alfa tanecik boyutlarını belirtir; "ince tanecikli" terimi, 10 μm 'den daha büyük 14 μm aralığındaki alfa taneciği boyutlarını belirtir; "çok ince tanecikli" terimi, 4.0 μm 'den daha büyük 10 μm kadar olan alfa taneciği boyutlarını belirtir; ve "ultra
- 25 ince tanecik" terimi, 4.0 μm veya daha düşük alfa taneciği boyutlarını belirtir.

İri tanecikli veya ince tanecikli mikroyapıları üretmek için titanyum ve titanyum alaşımlarının dövülmesi için bilinen ticari yöntemler, çoklu yeniden ısıtmalar ve dövme adımları

- 30 kullanarak, 0.03 s^{-1} ila 0.10 s^{-1} gerginlik oranlarını kullanır.

İnce tanecikli, çok ince tanecikli veya ultra ince tanecikli mikroyapıların üretimi için bilinen yöntemler, 0.001 s^{-1} veya

- 35 daha yavaş bir ultra-yavaş gerginlik oranında çok eksenli bir

dövme (MAF) işlemi uygular (bkz., örneğin, G. Salishchev, ve diğ., Materials Science Forum, Cilt 584-586, sayfa 783-788 (2008)).

- 5 Genel MAF işlemi, örneğin, C. Desrayaud, ve diğ., Journal of Materials Processing Technology 172, sayfa 152-156 (2006)'de tarif edilmektedir.

10 Ultra-yavaş gerginlik hızlı MAF işleminde tanecikyi inceltmenin anahtarı, kullanılan ultra-yavaş gerginlik oranlarının, yani $0,001 \text{ s}^{-1}$ veya daha yavaş, bir sonucu olan dinamik yeniden kristalleşme rejiminde sürekli olarak çalışabilme yeteneğidir. Dinamik yeniden kristalleşme sırasında, tanecikler aynı anda çekirdeklenir, büyür ve
15 çıkıkları biriktirir.

Yeni çekirdekli taneciklerdeki çıkıkların oluşumu sürekli olarak tanecik büyümesi için itici gücü indirgenir ve tanecik çekirdeği enerjik olarak elverişlidir. Ultra-yavaş gerginlik
20 hızlı MAF işlemi, dövme işlemi sırasında tanecikleri sürekli olarak yeniden kristalleştirmek için dinamik yeniden kristalleştirme kullanır.

Nispeten tekdüze ultra ince tanecikli Ti-6-4 alaşımı küpleri
25 (UNS R56400), ultra-yavaş gerginlik hızlı MAF işlemi kullanılarak üretilir, ancak MAF adımlarını gerçekleştirmek için atılan kümülatif işlem ticari bir ortamda aşırı olabilir. Ek olarak, geleneksel büyük ölçekli, ticari olarak temin edilebilen açık kalıp dövme ekipmanı, bu gibi
30 düzenlemelerde gerekli olan ultra-yavaş baskı oranlarını elde etme kabiliyetine sahip olmayabilir ve bu nedenle, ultra düşük gerginlik hızlı MAF üretim-ölçeği için özel dövme ekipmanı gerekebilir.

35 Buna göre, çok sayıda yeniden ısıtma gerektirmeyen, daha

yüksek gerginlik oranlarına sahip olan, işleme için gereken süreyi azaltan ve/veya özel dövme ekipmanlarına olan ihtiyacı ortadan kaldıran kaba, ince, çok ince veya ultra ince tanecikli mikroyapıya sahip titanyum alaşımları üretmek için bir işlem geliştirmek avantajlı olacaktır.

ÖZET

Buluş, ekteki İstem 1 veya istem 2'ye uygun olarak, Ti-6Al-2Sn-4Zr-6Mo alaşımı (UNS R56260), Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo-0.08Si alaşımı (UNS R54620), Ti-4Al-2.5V alaşımı (UNS R54250), Ti-6Al-7Nb alaşımı (UNS R56700) ve Ti-6Al-6V-2Sn alaşımı (UNS R56620) arasından seçilen bir titanyum alaşımını içeren bir iş parçasının tanecik boyutunun inceltilmesine yönelik bir yöntem sunmaktadır.

Mevcut açıklamaya göre, bir titanyum alaşımı içeren bir iş parçasının tanecik boyutunun inceltilmesine yönelik bir yöntem, iş parçasının beta tavlamasını içerir.

Beta tavlama işleminden sonra, iş parçası titanyum alaşımının beta transus sıcaklığının altındaki bir sıcaklığa soğutulur. İş parçası daha sonra çok eksenli olarak dövülmektedir. Çok eksenli dövme aşağıdakileri içerir: iş parçasını, iş parçasının birinci ortogonal ekseni yönünde iş parçasının dövme sıcaklığı aralığında bir iş parçası dövme sıcaklığında iş parçasının, iş parçasının iç bölgesini adyabatik olarak ısıtmak için yeterli bir gerginlik oranıyla preslemek; iş parçasının, iş parçasının iç bölgesini adyabatik olarak ısıtmak için yeterli bir gerginlik oranına sahip ikinci ortogonal ekseni doğrultusunda iş parçası dövme sıcaklığı aralığında bir iş parçası dövme sıcaklığında dövülmesi; ve iş parçasını, iş parçasının dövme bölgesinden üçüncü ortogonal ekseni yönünde iş parçasının dövme sıcaklığı aralığında bir iş parçasında dövme sıcaklığında işlemek için iş parçasının iç bölgesini adyabatik olarak ısıtmak için yeterli bir gerginlik oranıyla preslemek.

İsteğe bağlı olarak, art arda gelen pres dövme adımlarına iş parçasının adyabatik olarak ısıtılmış iç bölgesinin, iş parçası dövme sıcaklık aralığında iş parçası dövme sıcaklığındaki veya yakınındaki bir sıcaklığa soğumasına izin verilir ve iş parçasının bir dış yüzey bölgesi, iş parçası dövme sıcaklığı aralığında iş parçası dövme sıcaklığının altında veya yakınında bir sıcaklığa ısıtılır. Pres dövme adımlarından en az biri, iş parçasının en azından bir bölgesinde toplam olarak en az 1.0 ila 3.5'den daha az aralıktaki bir toplam gerginlik elde edilinceye kadar tekrar edilir.

Sınırlayıcı olmayan bir düzenlemede, pres dövme sırasında kullanılan bir gerginlik oranı, 0.2 s^{-1} ila 0.8 s^{-1} aralığındadır. Beta tavlama işleminden sonra, iş parçası titanyum alaşımının beta transus sıcaklığının altındaki bir sıcaklığa soğutulur. İş parçası daha sonra aşağıdaki dövme adımlarını içeren bir dizi kullanılarak çok eksenli dövme yapılır.

İş parçası, iş parçasının birinci ortogonal A-ekseni yönünde iş parçasının dövme sıcaklığı aralığında bir iş parçası dövme sıcaklığında işlenerek, bir iç bölgeyi adyabatik olarak ısıtmak için yeterli bir gerginlik oranına sahip büyük bir redüksiyon aralayıcı yüksekliğine doğru preslenerek dövülür. Burada kullanıldığı gibi, bir majör redüksiyon aralayıcı yüksekliği, iş parçasının her ortogonal eksen için istenen nihai dövme boyutuna eşdeğer bir mesafedir.

İş parçası, iş parçası dövme sıcaklığı aralığındaki iş parçası dövme sıcaklığında, bir birinci engelleme redüksiyon aralayıcı yüksekliğine bir birinci blokaj redüksiyonunda iş parçasının ikinci bir ortogonal B-ekseni doğrultusunda preslenerek dövülür. Birinci blokaj redüksiyonu, iş parçasını büyük ölçüde

iş parçasının dövme şeklini geri getirmek için uygulanır. Birinci blokaaj redüksiyonunun gerginlik oranı, iş parçasının bir iç bölgesini adyabatik olarak ısıtmak için yeterli olsa da, sınırlayıcı olmayan bir düzenlemede, birinci blokaaj redüksiyonu sırasındaki adyabatik ısıtma oluşmayabilir; çünkü, birinci blokaaj redüksiyonunda meydana gelen toplam gerginlik, iş parçasını büyük ölçüde adyabatik olarak ısıtmak için yeterli olmayabilir. Birinci engelleme redüksiyon aralayıcı yüksekliği majör redüksiyon aralayıcı yüksekliğinden daha büyüktür.

İş parçası, iş parçası dövme sıcaklığı aralığında iş parçası dövme sıcaklığında, iş parçasının üçüncü ortogonal C-ekseni yönünde, ikinci bir blokaaj redüksiyon işleminde, ikinci bir blokaaj redüksiyon aralayıcı yüksekliğine preslenerek dövülür. İkinci blokaaj redüksiyonu, iş parçasını büyük ölçüde iş parçasının dövme şeklini geri getirmek için uygulanır. İkinci blokaaj redüksiyon işleminin gerginlik oranı, iş parçasının bir iç bölgesini adyabatik olarak ısıtmak için yeterli olsa da, sınırlayıcı olmayan bir düzenlemede, ikinci blokaaj redüksiyonu sırasındaki adyabatik ısıtma oluşmayabilir; çünkü, ikinci blokaaj redüksiyonunda meydana gelen toplam gerginlik, iş parçasını büyük ölçüde adyabatik olarak ısıtmak için yeterli olmayabilir. İkinci blokaaj redüksiyon aralayıcı yüksekliği majör redüksiyon aralayıcı yüksekliğinden daha büyüktür.

İş parçası, iş parçasının dövme sıcaklığı aralığında bir iş parçası dövme sıcaklığında, iş parçasının ikinci ortogonal B-ekseni yönünde majör redüksiyon mesafesinin yüksekliğine bir iç bölgeyi adyabatik olarak ısıtmak için yeterli bir gerginlik oranı ile preslenerek dövülür.

İş parçası, iş parçası dövme sıcaklığı aralığında iş parçası dövme sıcaklığında, birinci blokaaj redüksiyon aralayıcı yüksekliğine bir birinci blokaaj redüksiyonunda iş parçasının üçüncü ortogonal C-ekseni doğrultusunda preslenerek dövülür.

Birinci blokaaj redüksiyonu, iş parçasını büyük ölçüde iş parçasının dövme şeklini geri getirmek için uygulanır. Birinci blokaaj redüksiyonunun gerginlik oranı, iş parçasının bir iç bölgesini adyabatik olarak ısıtmak için yeterli olsa da, 5 sınırlayıcı olmayan bir düzenlemede, birinci blokaaj redüksiyonu sırasındaki adyabatik ısıtma oluşmayabilir; çünkü, birinci blokaaj redüksiyonunda meydana gelen toplam gerginlik, iş parçasını büyük ölçüde adyabatik olarak ısıtmak için yeterli olmayabilir. Birinci engelleme redüksiyon ara parçası 10 yüksekliği majör redüksiyon ara parçası yüksekliğinden daha büyüktür.

İş parçası, iş parçası dövme sıcaklığı aralığındaki iş parçası dövme sıcaklığında, iş parçasının birinci ortogonal A-ekseni 15 yönünde, ikinci blokaaj redüksiyon aralayıcı yüksekliğine bir ikinci blokaaj redüksiyon içinde preslenerek dövülür. İkinci blokaaj redüksiyonu, iş parçasını büyük ölçüde iş parçasının ön dövme şekline getirmek için uygulanır. İkinci blokaaj redüksiyon işleminin gerginlik oranı, iş parçasının bir iç 20 bölgesini adyabatik olarak ısıtmak için yeterli olsa da, sınırlayıcı olmayan bir düzenlemede, ikinci blokaaj redüksiyonu sırasındaki adyabatik ısıtma oluşmayabilir; çünkü, ikinci blokaaj redüksiyonunda meydana gelen toplam gerginlik, iş parçasını büyük ölçüde adyabatik olarak ısıtmak için yeterli 25 olmayabilir. İkinci blokaaj redüksiyon aralayıcı yüksekliği majör redüksiyon aralayıcı yüksekliğinden daha büyüktür.

İş parçası, iş parçası dövme sıcaklığı aralığında iş parçası dövme sıcaklığında, iş parçasının üçüncü ortogonal C-ekseni 30 doğrultusundaki majör redüksiyon aralayıcı yüksekliğine majör redüksiyon ile adyabatik olarak ısınmaya yetecek bir gerginlik oranı ile preslenerek dövülür.

İş parçası, iş parçası dövme sıcaklığı aralığında iş parçası 35 dövme sıcaklığında, birinci blokaaj redüksiyon aralayıcı

- yüksekliğine bir birinci blokaaj redüksiyon iş parçasının birinci ortogonal A-ekseni yönünde preslenerek dövülür. Birinci blokaaj redüksiyonu, iş parçasını büyük ölçüde iş parçasının dövme şeklini geri getirmek için uygulanır. Birinci
- 5 blokaaj redüksiyonunun gerginlik oranı, iş parçasının bir iç bölgesini adyabatik olarak ısıtmak için yeterli olsa da, sınırlayıcı olmayan bir düzenlemede, birinci blokaaj redüksiyonu sırasındaki adyabatik ısıtma oluşmayabilir; çünkü, birinci blokaaj redüksiyonunda meydana gelen toplam gerginlik,
- 10 iş parçasını büyük ölçüde adyabatik olarak ısıtmak için yeterli olmayabilir. Birinci engelleme redüksiyon ara parçası yüksekliği majör redüksiyon ara parçası yüksekliğinden daha büyüktür.
- 15 İş parçası, iş parçası dövme sıcaklığı aralığındaki iş parçası dövme sıcaklığında, iş parçasının ikinci ortogonal B-ekseni yönünde, ikinci blokaaj redüksiyon aralayıcı yüksekliğine bir ikinci blokaaj redüksiyon içinde preslenerek dövülür. İkinci blokaaj redüksiyonu, iş parçasını büyük ölçüde iş parçasının ön
- 20 dövme şekline getirmek için uygulanır. İkinci blokaaj redüksiyon işleminin gerginlik oranı, iş parçasının bir iç bölgesini adyabatik olarak ısıtmak için yeterli olsa da, sınırlayıcı olmayan bir düzenlemede, ikinci blokaaj redüksiyonu sırasındaki adyabatik ısıtma oluşmayabilir; çünkü, ikinci
- 25 blokaaj redüksiyonunda meydana gelen toplam gerginlik, iş parçasını büyük ölçüde adyabatik olarak ısıtmak için yeterli olmayabilir. İkinci blokaaj redüksiyon ara parçası yüksekliği majör redüksiyon ara parçası yüksekliğinden daha büyüktür.
- 30 İsteğe bağlı olarak, yukarıdaki yöntem düzenlemesinin ara ardışık pres dövme adımları, iş parçasının adyabatik olarak ısıtılmış iç bölgesinin, iş parçasının dövme sıcaklığı aralığında iş parçası dövme sıcaklığının yaklaşık olarak soğumasına izin verilir ve iş parçasının dış yüzey bölgesi
- 35 yaklaşık olarak iş parçası dövme sıcaklığı aralığında iş

parçası dövme sıcaklığına ısıtılır.

Pres dövme adımlarından en az biri, iş parçasının en az bir bölgesinde toplam en az 1.0 ve 3.5'den daha az bir toplam gerginlik elde edilinceye kadar tekrar edilir. Sınırlayıcı olmayan bir düzenlemede, pres dövme sırasında kullanılan bir gerginlik oranı, 0.2 s^{-1} ila 0.8 s^{-1} aralığındadır.

ÇİZİMLERİN KISA AÇIKLAMASI

10 Burada tarif edilen aparat ve yöntemlerin özellikleri ve avantajları, ekteki çizimlere atıfta bulunularak daha iyi anlaşılabilir:

15 ŞEKİL 1, bir sıcaklık fonksiyonu olarak Ti-6-4, Ti-6-2-4-6 ve Ti-6-2-4-2 alaşımlarında bulunan denge alfa fazının hacim fraksiyonunun hesaplanmış bir tahminini grafik olarak göstermektedir;

ŞEKİL 2, mevcut açıklamaya göre titanyum alaşımlarını işlemek için bir yöntemin sınırlayıcı olmayan bir düzenlemesinin adımlarını gösteren bir akış şemasıdır;

20 ŞEKİL 3, tanecik boyutlarının inceltilmesi için titanyum alaşımlarının işlenmesi için ısı yönetimi kullanan yüksek gerginlikteki, çok eksenli bir dövme yönteminin sınırlandırıcı olmayan bir düzenlemesinin yönlerinin şematik bir gösterimidir; burada ŞEKİL 2 (a), 2 (c) ve 2 (e), 25 sınırlandırıcı olmayan pres dövme adımlarını temsil eder ve ŞEKİL 2 (b), 2 (d) ve 2 (f), mevcut açıklamanın sınırlayıcı yönlerine göre isteğe bağlı olarak sınırlayıcı olmayan soğutma ve ısıtma adımlarını gösterir;

30 ŞEKİL 4, önceki teknikteki yavaş gerginlik oranlı çok eksenli dövme tekniğinin küçük ölçekli numunelerin tanecik boyutunu iyileştirmek için kullanıldığı bilinen yönlerinin şematik bir gösterimidir;

35 ŞEKİL 5, iş parçasının istenen boyutuna büyük ortogonal redüksiyonları ve birinci ve ikinci blokaaj redüksiyonları içeren mevcut açıklamaya göre titanyum alaşımlarını işlemek

için bir yöntemin sınırlandırıcı olmayan bir düzenlemesinin adımlarını gösteren bir akış şemasıdır;

ŞEKİL 6, mevcut açıklamaya göre yüksek gerginlik oranlı çok eksenli dövme yönteminin sınırlayıcı olmayan bir düzenlemesi

5 için bir sıcaklık-zaman termomekanik işlem şemasıdır;

ŞEKİL 7, mevcut açıklamaya göre çok sıcaklıklı yüksek gerginlikteki çok eksenli bir dövme yönteminin sınırlayıcı olmayan bir düzenlemesi için bir sıcaklık-zaman termomekanik işlem şemasıdır;

10 ŞEKİL 8, mevcut açıklamaya göre bir beta transus yüksek gerginlik oranlı çok eksenli dövme yönteminin sınırlayıcı olmayan bir düzenlemesi için bir sıcaklık-zaman termomekanik işlem şemasıdır;

15 ŞEKİL 9, mevcut açıklamaya göre tanecik boyutunun inceltilmesi için çoklu kızdırma ve çekme yönteminin sınırlayıcı olmayan bir düzenlemesinin yönlerinin şematik bir gösterimidir;

20 ŞEKİL 10, mevcut açıklamaya göre tanecik boyutunu inceltmek için titanyum alaşımlarını çoklu kızdırma ve çektirme işlemi yönteminin sınırlayıcı olmayan bir düzenlemesinin adımlarını gösteren bir akış şemasıdır;

ŞEKİL 11 (a) ticari olarak dövülmüş ve işlenmiş bir Ti-6-2-4-2 alaşımının mikroyapısının bir mikrografıdır;

25 Şekil 11 (b), mevcut açıklamanın Örnek 1'inde tarif edilen, ısıtılarak yönetilen yüksek gerginlikteki MAF düzenlemesi ile işlenen bir Ti-6-2-4-2 alaşımının mikroyapısının bir mikrografıdır.

ŞEKİL 12 (a) ticari olarak dövülmüş ve işlenmiş bir Ti-6-2-4-6 alaşımının mikroyapısını gösteren bir mikrograftır;

30 ŞEKİL 12 (b), mevcut açıklamanın Örnek 2'sinde açıklanan ısıtılarak yönetilen yüksek gerginlikteki MAF düzenlemesi tarafından işlenen bir Ti-6-2-4-6 alaşımının mikroyapısının bir mikrografıdır;

35 ŞEKİL 13, mevcut açıklamanın Örnek 3'ünde tarif edilen, ısıtılarak yönetilen yüksek gerginlikteki MAF düzenlemesi

tarafından işlenen bir Ti-6-2-4-6 alaşımının mikroyapısının bir mikrografıdır;

ŞEKİL 14, her bir eksene eşit gerginlik uygulayan, mevcut açıklamanın Örnek 4'ünde tarif edilen ve ısıtılarak yönetilen yüksek gerginlikteki MAF düzenlemesi tarafından işlenen bir Ti-6-2-4-2 alaşımının mikroyapısının bir mikrografıdır;

ŞEKİL 15, mevcut açıklamanın Örnek 5'inde tarif edilen, ısıtılarak yönetilen yüksek gerginlikteki MAF düzenlemesi tarafından işlenen bir Ti-6-2-4-2 alaşımının mikroyapısının bir mikrografıdır; burada, blokaaj redüksiyonları, her büyük redüksiyondan sonra meydana gelen iş parçasının şişmesini en aza indirmek için kullanılır;

ŞEKİL 16 (a), mevcut açıklamanın Örnek 6'sında tarif edilen beta transus MAF'den faydalanan, ısıtılarak yönetilen yüksek gerginlikteki MAF düzenlemesi tarafından işlenen bir Ti-6-2-4-2 alaşımının merkez bölgesinin mikroyapısının bir mikrografıdır; ve

ŞEKİL 16 (b), mevcut açıklamanın Örnek 6'sında tarif edilen beta transus MAF'den faydalanan, ısıtılarak yönetilen yüksek gerginlikteki MAF düzenlemesi tarafından işlenen bir Ti-6-2-4-2 alaşımının yüzey bölgesinin mikroyapısının bir mikrografıdır.

Okuyucu, mevcut açıklamaya göre sınırlayıcı olmayan bazı düzenlemelerin aşağıdaki ayrıntılı tarifini göz önünde bulundurarak yukarıda belirtilen detayları ve diğerlerini takdir edecektir.

AYRINTILI AÇIKLAMA

Burada kullanıldığı şekliyle, "bir(1)", "a", "an" ve "the" gramer belirteçlerinin, aksi belirtilmedikçe "en az bir" veya "bir veya daha fazla" anlamını içermesi amaçlanmıştır. Bu nedenle, belirteçler burada gramer açısından amaçlarının bir veya daha fazlasına (yani en az bir taneciğe) atıfta bulunmak için kullanılır. Örnek olarak, "bir bileşen", bir veya daha fazla bileşen anlamına gelir ve bu nedenle, muhtemelen, birden

fazla bileşen tasavvur edilir ve tarif edilen düzenlemelerin uygulamasında kullanılabilir.

Mevcut açıklama çeşitli düzenlemelerin tariflerini içerir.

- 5 Burada tarif edilen tüm düzenlemelerin örnek niteliğinde, açıklayıcı ve sınırlayıcı olmadığı anlaşılmalıdır. Dolayısıyla, buluş çeşitli örnek niteliğindeki, açıklayıcı ve sınırlayıcı olmayan düzenlemelerin tarifi ile sınırlı değildir. Aksine, buluş sadece istemlerle tanımlanmaktadır.

10

Mevcut açıklamanın bir yönü, titanyum alaşımları için tanecik boyutunu inceltmek için dövme adımları sırasında yüksek gerginlik oranlarının uygulanmasını içeren çok eksenli bir dövme işlemine yöneliktir. Bu yöntem düzenlemelerine genel olarak bu açıklamada "yüksek gerginlik oranı çok eksenli dövme" veya "yüksek gerginlik oranlı MAF" olarak bahsedilir.

15

Burada kullanıldığı şekliyle "redüksiyon" ve "vuruş" terimleri, birbirleriyle değiştirilebilir bir şekilde, bir iş parçasının kalıp yüzeyleri arasında dövüldüğü özel bir pres dövme adımı anlamına gelir.

20

Burada kullanıldığı gibi, "aralayıcı yüksekliği" ifadesi, bu eksen boyunca bir redüksiyon sonrasında bir ortogonal eksen boyunca ölçülen bir iş parçasının boyutuna veya kalınlığına karşılık gelir. Örneğin, belirli bir eksen boyunca 10.2 cm (4.0 inç) ara yüksekliğine bir pres dövme redüksiyonundan sonra, bu eksen boyunca ölçülen pres dövme iş parçasının kalınlığı yaklaşık 10.2 cm (4.0 inç) olacaktır. Ara parça yükseklikleri kavramı ve kullanımı, pres dövme alanında sıradan uzmanlığa sahip kişilerce iyi bilinmektedir ve burada daha fazla tartışılmasına gerek yoktur.

25

30

Daha önce, "Ti-6-4" alaşımı olarak da ifade edilebilen, Ti-6Al-4V alaşımı (ASTM Grade 5; UNS R56400) gibi alaşımlar için, işlenecek parçanın en az 3.5 toplam gerginliğe dövüldüğü

35

yüksek gerginlikteki çok eksenli dövme, ultra ince tanecik kütüklerinin hazırlanmasında kullanılabilir. Bu işlem, 15 Eylül 2010 tarihinde dosyalanan US Patent Başvurusu Seri No. 12/882,538'de "Titanyum ve Titanyum Alaşımları için İşleme Yolları" ('538 Uygulaması) olarak açıklanmıştır.

En az 3.5'lik bir gerginliğin uygulanması, maliyet katan ve beklenmeyen sorunlara fırsat veren, önemli bir işlem süresi ve karmaşıklığı beraberinde getirebilir.

Mevcut açıklama en az 1.0 ila 3.5'den daha az aralıktaki toplam gerginliği kullanarak ultra ince tanecik yapıları sağlayabilen yüksek bir gerginlik oranlı çok eksenli bir dövme işlemini açıklamaktadır.

Mevcut açıklamaya göre yöntemler, çok eksenli dövme ve türevlerini, '538 Uygulamasında açıklanan çoklu kızgınlık ve çekme (MUD) işlemi gibi, Ti-6-4 alaşımından daha yavaş etkili alfa çökeltme ve büyüme kinetiği sergileyen titanyum alaşımlarına uygulanmasını içerir.

Özellikle, "Ti-6-2-4-2" alaşımı olarak da ifade edilebilen Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo-0.08Si alaşımı (UNS R54620), Si gibi ek tanecik sabitleme elemanları sayesinde Ti-6-4 alaşımından daha yavaş etkili alfa kinetiğine sahiptir. Aynı zamanda, "Ti-6-2-4-6" alaşımı olarak da ifade edilebilen Ti-6Al-2Sn-4Zr-6Mo alaşımı (UNS R56260), beta stabilize edici içeriğin artmış bir sonucu olarak Ti-6-4 alaşımından daha yavaş etkili alfa kinetiğine sahiptir.

Alaşım elementleri açısından, alfa fazının büyümesinin ve çökeltilmesinin, titanyum bazlı alaşımdaki alaşım elementinin difüzyon hızının bir fonksiyonu olduğu kabul edilmektedir.

Molibdenin, tüm titanyum alaşım ilavelerinin daha yavaş

- difüzyon hızlarından birine sahip olduğu bilinmektedir. Ek olarak, molibden gibi beta stabilizatörleri, alaşımların beta transus sıcaklığını (T_β) düşürür; buradaki düşük T_β , alaşım için işlem sıcaklığında alaşımdaki atomların genel olarak daha yavaş difüzyonuna yol açar. Ti-6-2-4-2 ve Ti-6-2-4-6 alaşımlarının nispeten yavaş etkili alfa çökeltme ve büyüme kinetiğinin bir sonucu, mevcut açıklamanın düzenlemelerine göre MAF'dan önce kullanılan beta ısıtma işleminin, bu işlemlerin Ti-6-4 alaşımı üzerindeki etkisine kıyasla ince ve kararlı bir alfa çıtası üretmesidir.
- Ek olarak, beta ısıtma işleme tabi tutulduktan ve soğutulduktan sonra, Ti-6-2-4-2 ve Ti-6-2-4-6 alaşımları, alfa taneciği büyümesinin kinetiğini sınırlandıran ince bir beta taneciği yapısına sahiptir.
- Alfa büyümesinin etkili kinetiği, beta transusun hemen altındaki sıcaklıktaki en yavaş yayılan türlerin belirlenmesiyle değerlendirilebilir.

Bu yaklaşım teorik olarak ana hatlarıyla belirtilmiş ve deneysel olarak literatürde doğrulanmıştır (bkz. Semiatin ve diğ., Metallurgical and Materials Transactions A: Physical Metallurgy and Materials Science 38 (4), 2007, sf. 910-921). Titanyum ve titanyum alaşımlarında, potansiyel alaşım elementlerinin tümü için yayılma verileri hali hazırda mevcut değildir; ancak, Lutjering ve Williams tarafından yapılan Titanyum'daki (İkinci Baskı, 2007) gibi literatür araştırmaları, bazı genel alaşım elementleri için genellikle aşağıdaki göreceli sıralamayı kabul eder:

$^{D}Mo < ^{D}Nb < ^{D}Ar < ^{DV} < ^{D}Sn < ^{D}Zr < ^{DHf} < ^{D}Cr < ^{D}Ni < ^{D}Cr < ^{D}Co < ^{D}Mn < ^{D}Fe$

Bu nedenle, molibden içeren Ti-6-2-4-6 alaşımı ve Ti-6-2-4-2 alaşımı gibi alaşımlar, kinetiğin alüminyum difüzyonu ile kontrol edildiği Ti-6-4 alaşımına kıyasla nispeten düşük bir gerginlikteki ultra ince tanecikli mikroyapıları elde etmek

için gereken arzu edilen, yavaş alfa kinetiğini göstermektedir. Periyodik tablo grubu ilişkilerine dayanarak, tantalum ve tungsten'in yavaş difüzör grubuna ait olduğu da makul bir şekilde ifade edilebilir.

5

Alfa fazının etkin kinetiğini azaltmak için yavaş difüzyon elemanlarının dahil edilmesine ek olarak, alüminyum difüzyon ile kontrol edilen alaşımlardaki beta transus sıcaklığının düşürülmesi de benzer bir etkiye sahip olacaktır. 100° C'lik bir beta transus sıcaklığı düşüşü, beta fazındaki alüminyumun difüzörlüğünü beta transus sıcaklığında yaklaşık bir büyüklük sırasına indirger. ATI 425® alaşımı (Ti-4Al-2.5V; UNS 54250) ve Ti-6-6-2 alaşımı (Ti-6Al-6V-2Sn; UNS 56620) gibi alaşımlardaki alfa kinetiği muhtemelen alüminyum difüzyonla kontrol edilir; bununla birlikte, bu alaşımların Ti-6Al-4V alaşımına göre daha düşük beta transus sıcaklıkları da istenen, daha yavaş etkili alfa kinetiği ile sonuçlanır. Normal olarak Ti-6Al-4V alaşımının bir biyomedikal versiyonu olan Ti-6Al-7Nb alaşımı (UNS R56700), niyobyum içeriği nedeniyle daha yavaş etkili alfa kinetiği gösterebilir.

20

Başlangıçta, Ti-6-4 alaşımı dışındaki alfa+beta alaşımlarının, alfa fazının benzer hacim fraksiyonlarına yol açacak sıcaklıklarda '538 Uygulamasında açıklananlara benzer koşullar altında işlenmesi bekleniyordu.

25

Örneğin, Computherm, LLC, Madison, Wisconsin, ABD'den temin edilebilen ticari olarak temin edilebilir bir hesaplama aracı olan PANDAT yazılımı kullanılarak yapılan tahminlere göre, 1500° F (815.6° C)'de Ti-6-4 alaşımının yaklaşık olarak Alfa fazının 1600° F (871.1° C)'de Ti-6-2-4-2 alaşımı ve 1200° F (648.9° C)'de Ti-6-2-4-6 alaşımıyla aynı hacim fraksiyonuna sahip olması gerekiyordu (Bkz. ŞEKİL 1).

30

Bununla birlikte, hem Ti-6-2-4-2 hem de Ti-6-2-4-6 alaşımları,

35

- tahmin edilen alfa fazının benzer bir hacim fraksiyonunu üretecek '538 Uygulamasındaki sıcaklıklar kullanılarak Ti-6-4 alaşımının işlendiği şekilde işlendiğinde ciddi şekilde çatlamıştır. Ti-6-2-4-2 ve Ti-6-2-4-6 alaşımlarının başarılı bir şekilde işlenmesi için alfaların düşük denge hacmi fraksiyonları ve/veya geçiş başına önemli ölçüde indirgenmiş gerginlikler ile sonuçlanan daha yüksek sıcaklıklar gerekliydi.
- 10 Alfa/beta dövme sıcaklık (ları), gerginlik oranı, vuruş başına gerginlik, vuruşlar arasındaki tutma süresi, yeniden ısıtma sayısı ve süresi ve ara ısıtma işlem de dahil olmak üzere, yüksek gerginlik oranlı MAF işlemindeki değişiklikler, ortaya çıkan mikroyapıyı ve çatlamaların varlığını ve derecesini etkileyebilir. Ultra ince tanecikli yapıların ortaya çıkacağına dair herhangi bir beklenti olmadan, başlangıçta çatlamayı önlemek için daha düşük toplam gerginlikler denenmiştir. Bununla birlikte, incelendiğinde, daha düşük toplam gerginlikler kullanılarak işlenen örnekler, ultra ince tanecikli yapıların üretilmesi için büyük bir vaat göstermiştir. Bu sonuç tamamen beklenmedikti.

- ŞEKİL 2'deki akış şeması ve ŞEKİL 3'deki şematik gösterimi, titanyum alaşımlarının tanecik boyutunu inceltmek için yüksek gerginlik oranlı çok eksenli bir dövme (MAF) kullanan bir yöntemin (16) mevcut açıklamasına göre sınırlayıcı olmayan bir düzenlemenin yönlerini göstermektedir. Çok eksenli dövme işleminden (26) önce, bir titanyum alaşımlı iş parçası (24), beta tavlıdır (18) ve soğutulur (20). Örneğin 4 inç küp gibi daha küçük iş parçalarında hava soğutması mümkündür; bununla birlikte, su veya sıvı soğutma da kullanılabilir. Daha hızlı soğutma oranları daha ince çita ve alfa taneciklerinin boyutlarına neden olur. Beta tavlaması (18), iş parçasının (24) iş parçasının (24) titanyum alaşımının beta transus sıcaklığının üstünde ısıtılmasını ve iş parçasının (24) tüm

beta fazını oluşturmak için yeterli bir süre tutmayı içerir. Beta tavlaması (18) sıradan uzmanlığa sahip bir kişi tarafından iyi bilinen bir işlemdir; bu nedenle, burada detaylı olarak tarif edilmemiştir. Beta tavlamanın sınırlayıcı olmayan bir düzenlemesi, iş parçasının (24), titanyum alaşımının beta transus sıcaklığının yaklaşık 50° F (27.8° C) üstünde bir beta tavlama sıcaklığına ısıtılmasını ve iş parçasının (24) sıcaklıkta yaklaşık 1saat tutulmasını içerebilir.

10

Beta tavlamasından (18) sonra, iş parçası (24), iş parçasının (24) titanyum alaşımının beta transus sıcaklığının altındaki bir sıcaklığa (20) soğutulur. Bu açıklamanın sınırlayıcı olmayan bir düzenlemesinde, iş parçası çevre sıcaklığına soğutulur. Burada kullanılan "ortam sıcaklığı", çevrenin sıcaklığını ifade eder. Örneğin, sınırlayıcı olmayan bir ticari üretim senaryosunda "ortam sıcaklığı", fabrika çevresinin sıcaklığına karşılık gelir. Sınırlayıcı olmayan bir düzenlemede soğutma (20), suyu vermeyi içerebilir. Su verme, iş parçasının (24) suya, yağa veya başka bir uygun sıvıya batırılmasını içerir ve metalurji tekniklerinde uzman bir kişi tarafından anlaşılan bir işlemdir. Sınırlayıcı olmayan diğer düzenlemelerde, özellikle daha küçük boyutlu iş parçaları için, soğutma (20) hava soğutmayı içerebilir. Şimdi veya daha sonra teknikte uzman bir kişi tarafından bilinen bir titanyum alaşımlı iş parçasını (24) soğutmanın herhangi bir yöntemi bu açıklamanın kapsamı dahilindedir. Ek olarak, sınırlayıcı olmayan belirli bir düzenlemelerde, soğutma (20), daha sonra yüksek gerginlik oranlı çok eksenli dövme için iş parçası dövme sıcaklığı aralığında doğrudan bir iş parçası dövme sıcaklığına soğutmayı içerir.

İş parçasını soğutmadan (20) sonra, iş parçası çok eksenli dövme işlemine (26) yüksek gerginlik oranına tabi tutulur. Teknikte sıradan uzmanlığa sahip kişilerce anlaşıldığı gibi,

"A-B-C" dövme olarak da adlandırılabilen çok eksenli dövme ("MAF"), ağır plastik deformasyonun bir şeklidir. Bu açıklamanın sınırlayıcı olmayan bir düzenlemesine göre, yüksek gerginlik oranı kullanarak MAF'ın (26) öncesinde titanyum alaşımının alfa+beta faz alanı içinde olan bir iş parçası dövme sıcaklığı aralığında, bir iş parçası dövme sıcaklığına bir titanyum alaşımı içeren bir iş parçasının (24) ısıtılmasını (ŞEKİL 2'deki adım 22) içerir. Soğutma adımının (20), iş parçası dövme sıcaklık aralığında bir sıcaklığa kadar soğutma içerdiği bir düzenlemede, ısıtma adımının (22) gerekli olmadığı açıktır.

İş parçasının iç bölgesini adyabatik olarak ısıtmak için MAF'nin yüksek gerginlik oranında yüksek bir gerginlik oranı kullanılır. Bununla birlikte, mevcut açıklamaya göre sınırlayıcı olmayan düzenlemelerde, en azından döngüdeki MAF gerginliği yüksek olan A-B-C vuruşlarının son döngüsünde, titanyum alaşımlı iş parçasının (24) iç bölgesinin iç sıcaklığının titanyum alaşımlı iş parçasının beta transus (T_β) sıcaklığını aşmaması gerekir. Bu nedenle, bu gibi sınırlayıcı olmayan düzenlemelerde, yüksek gerginlik oranlı MAF'ın, yüksek gerginlik oranlı MAF'ın, iş parçasının iç bölgesinin sıcaklığı, alaşımın beta transus sıcaklığına eşit veya fazla değildir. Örneğin, mevcut açıklamaya göre sınırlayıcı olmayan bir düzenlemede, en azından MAF'deki A-B-C vuruşlarının son yüksek gerginlik oranı döngüsü sırasında, veya en az 1.0, veya en az 1.0 ila 3,5'den az bir aralıktaki toplam gerginlik olduğunda en az son pres dövme darbesi sırasında, iş parçasının en azından bir bölgesinde elde edilince, iş parçasının iç bölgesinin sıcaklığı alaşımın beta transus sıcaklığını, yani $T_\beta - 20^\circ \text{ F}$ ($T_\beta - 11.1^\circ \text{ C}$) altındaki, 20° F (11.1° C)' yi aşmaz.

Mevcut açıklamaya göre MAF yüksek gerginlik oranının sınırlayıcı olmayan bir düzenlemesinde, bir iş parçası dövme

sıcaklığı bir iş parçası dövme sıcaklığı aralığında bir sıcaklık içerir. Sınırlayıcı olmayan bir düzenlemede, iş parçası dövme sıcaklığı aralığı, iş parçasının titanyum alaşımının beta transus sıcaklığının (T_{β}) altındaki 100° F (55.6° C) aralığından, iş parçasının titanyum alaşımının beta transus sıcaklığının altındaki Titanyum alaşımının beta transus sıcaklığının 700° F (388.9° C) yüksekliğine kadar seyreder. Yine sınırlayıcı olmayan başka bir düzenlemede, iş parçası dövme sıcaklığı aralığı, titanyum alaşımının beta transus sıcaklığının altındaki 300° F (166.7° C) aralığından, titanyum alaşımının beta transus sıcaklığının 625° F (347° C) yüksekliğine kadar seyreder. Sınırlayıcı olmayan bir düzenlemede, bir iş parçasının dövme sıcaklık aralığının düşük ucu, alfa+beta faz alanındaki bir sıcaklıktır, burada örneğin çatlak oluşumu ve oyuk açma gibi hasar, dövme vuruşu sırasında iş parçasının yüzeyinde oluşmaz. Yaklaşık 1820° F (996° C) beta transus sıcaklığına (T_{β}) sahip olan bir Ti-6-2-4-2 alaşımına uygulanan ŞEKİL 2'de gösterilen sınırlayıcı olmayan bir yöntem düzenlemesinde, iş parçası dövme sıcaklığı aralığı 1120° F (604.4° C) ila 1720° F (937.8° C) veya başka bir düzenlemede 1195°F(646.1° C) ila 1520° F (826.7° C) olabilir. Yaklaşık 1720° F (940° C) beta transus sıcaklığına (T_{β}) sahip olan bir Ti-6-2-4-2 alaşımına uygulanan ŞEKİL 2'de gösterilen sınırlayıcı olmayan bir yöntem düzenlemesinde, iş parçası dövme sıcaklığı aralığı 1020° F (548.9° C) ila 1620° F (882.2° C) veya başka bir düzenekte 1095°F (590.6° C) ila 1420°F (771.1° C) olabilir. Yine bir başka sınırlayıcı olmayan düzenlemede, ŞEKİL 2'de gösterilen düzenlemeyi uygularken "Ti-4Al - 2.5V" alaşım olarak da adlandırılabilen ve yaklaşık 1780T (971.1° C) beta transus sıcaklığına (T_{β}) sahip olan ATI 425® alaşımı (UNS R54250) sıcaklık aralığı 1080° F (582.2° C) ila 1680° F (915.6° C) olabilir veya başka bir düzenlemede 1155° F (623.9° C) ila 1480° F (804.4° C) olabilir. Yine bir başka sınırlayıcı olmayan düzenlemede, ŞEKİL 2'deki mevcut açıklamanın düzenlemesini "Ti-6-6-2" alaşımı olarak da

adlandırılabilen ve yaklaşık 1735° F'lik (946.1° C) bir beta transus sıcaklığına (T_β) sahip olan bir Ti-6Al-6V-2Sn alaşımına (UNS 56620) uygularken, iş parçası dövme sıcaklığı aralığı 1035° F (527.2° C) ila 1635° F (890.6° C) veya başka bir 5 düzenlemede 1115° F (601.7° C) ila 1435° F olabilir (779.4° C) olabilir. Mevcut açıklama yüksek gerginlik oranlı çok eksenli dövme ve türevlerinin, '538 Başvurusunda açıklanan MUD yöntemi gibi, Ti-6-4 alaşımından daha yavaş etkili alfa çökeltme ve büyüme kinetiğine sahip titanyum alaşımlarına uygulanmasını 10 içerir.

ŞEKİL 2 ve 3'e yeniden referansla, titanyum alaşımlı iş parçası (24) iş parçası dövme sıcaklığındayken, iş parçası (24) yüksek gerginlik oranına (MAF) maruz bırakılmaktadır. 15 Mevcut açıklamaya göre sınırlayıcı olmayan bir düzenlemede, MAF (26), iş parçasını adyabatik olarak ısıtmak veya en azından iş parçasının bir iç bölgesini adyabatik olarak ısıtmak ve iş parçasını (24) plastik olarak deforme etmek için yeterli bir gerginlik oranını kullanarak iş parçasının birinci 20 ortogonal ekseninin (30) yönünde (A) iş parçası dövme sıcaklığında iş parçasını (24) pres dövmeyi (Şekil 3 (a)'da gösterilen adım 28) içerir.

Mevcut açıklamaya göre, yüksek gerginlik oranları ve hızlı 25 tokmak hızları, iş parçasının iç bölgesini, yüksek gerginlik oranlı MAF sınırlayıcı olmayan düzenlemelerinde adyabatik olarak ısıtmak için kullanılır. Mevcut açıklamaya göre sınırlayıcı olmayan bir düzenlemede, "yüksek gerginlik oranı" terimi, yaklaşık 0.2 s⁻¹ ila yaklaşık 0.8 s⁻¹ aralığında bir 30 gerginlik oranına karşılık gelir. Mevcut açıklamaya göre sınırlayıcı olmayan başka bir düzenlemede "yüksek gerginlik oranı" terimi, yaklaşık 0.2 s⁻¹ ila yaklaşık 0.4 s⁻¹ aralığında bir gerginlik oranına karşılık gelir.

35 Yukarıda tarif edildiği gibi yüksek bir gerginlik oranı

kullanan mevcut açıklamaya göre sınırlayıcı olmayan bir düzenlemede, titanyum alaşımlı iş parçasının bir iç bölgesi, iş parçası dövme sıcaklığının yaklaşık 200° F (111.1° C) sıcaklığına adyabatik olarak ısıtılabilir.

5

Sınırlayıcı olmayan başka bir düzenlemede, pres dövme sırasında, bir iç bölge adyabatik olarak iş parçası dövme sıcaklığının yaklaşık 100° F (55.6 ° C) ile yaklaşık 300° F (166.7° C) arasında bir sıcaklığa ısıtılır.

10

Yine sınırlayıcı olmayan başka bir düzenlemede, pres dövme sırasında, bir iç bölge adyabatik olarak iş parçası dövme sıcaklığının yaklaşık 150° F (83.3° C) ile yaklaşık 250° F (138.9° C) arasında bir sıcaklığa ısıtılır. Yukarıda

15

belirtildiği gibi, sınırlayıcı olmayan düzenlemelerde, iş parçasının hiçbir kısmı, A-B-C MAF vuruşlarının yüksek gerginliği sırasında veya ortogonal bir eksen üzerindeki son vuruş sırasında titanyum alaşımının beta transus sıcaklığının üzerinde ısıtılmamalıdır.

20

Sınırlayıcı olmayan bir düzenlemede, pres dövme (28) sırasında, iş parçası (24), yükseklikte bir düşüşe veya % 20 ile % 50 aralığında olan başka bir boyuta plastik olarak deforme edilir, yani boyut, bu aralık içindeki bir yüzde ile

25

indirgenir. Sınırlayıcı olmayan başka bir düzenlemede, pres dövme (28) sırasında, iş parçası (24), yükseklikte bir düşüşe veya % 30 ile % 40 aralığında başka bir boyuta indirgenmek üzere plastik olarak deforme edilir.

30

Bilinen bir ultra-yavaş gerginlik oranı (0.001 s⁻¹ veya daha yavaş) çok eksenli dövme işlemi, ŞEKİL 4'de şematik olarak gösterilmiştir. Genel olarak, çok eksenli dövmenin bir yönü, her üç darbeden sonra (yani, "üç vuruş"), dövme aparatı (örneğin açık bir kalıp dövmesi olabilir) iş parçasının o üç

35

vuruş döngüsünün ilk vuruşundan hemen önceki iş parçasının iş

- parçası yaklaşımlarının şeklini ve ebadını gösterir. Örneğin, 5 inç kenarlı küp şeklindeki bir iş parçası önce "a" ekseninde ilk "vuruş" ile dövüldükten sonra, 90° döndürülür ve ortogonal "b" ekseninde ikinci vuruşla dövülür ve daha sonra 90° döndürülür ve ortogonal "c" ekseninde üçüncü bir vuruşla dövme yapıldığında, iş parçası başlangıç küpüne benzeyecek ve yaklaşık 5 inç kenarlar içerecektir. Başka bir deyişle, üç vuruş döngüsü küpün üç ortogonal ekseninde boyunca üç adımda küpü deforme etmesine rağmen, iş parçasının bireysel vuruşlar arasında yeniden konumlandırılması ve her vuruş sırasında redüksiyon seçiminin sonucunda; üç dövme deformasyonunun genel sonucu, küpü yaklaşık olarak orijinal şekline ve boyutuna döndürmektir.
- 15 Mevcut açıklamaya göre sınırlayıcı olmayan başka bir düzenlemede, burada "ilk vuruş" olarak da adlandırılan, ŞEKİL 2(a)'da gösterilen bir birinci pres dövme adımı (28), iş parçasının işlenecek parça sıcaklığı aralığında bir sıcaklıkta iken iş parçasını önceden belirlenmiş bir aralayıcı yüksekliğine kadar bir üst yüze preslemeyi içerebilir. Burada kullanıldığı üzere "aralayıcı yükseklik" terimi, belirli bir pres dövme işleminin tamamlanmasında iş parçasının boyutuna karşılık gelir. Örneğin, 12,7 cm (5 inç) aralayıcı yüksekliği için, iş parçası 12,7 cm (5 inç) boyutundadır.
- 25 Mevcut açıklamanın yönteminin sınırlayıcı olmayan özel bir düzenlemesinde, aralayıcı yüksekliği örneğin 12,7 cm'dir (5 inç). Sınırlayıcı olmayan başka bir düzenlemede, aralayıcı yüksekliği 8,3 cm'dir (3,25 inç). Örneğin, 12,7 cm'den (5 inç), yaklaşık 10,2 cm'den (4 inç), yaklaşık 7,6 cm'den (3 inç), 12,7 cm'den (5 inç) daha az veya 12,7 cm'den (5 inç) 76,2 cm'ye (30 inç) kadar olan yükseklikteki diğer aralayıcı yükseklikleri, buradaki düzenlemelerin kapsamı dahilindedir, ancak bu açıklamanın kapsamını sınırlandırdığı düşünülmemelidir.

Aralayıcı yükseklikleri, yalnızca kalıbın kabiliyetleri ile ve isteğe bağlı olarak, burada görüldüğü gibi, iş parçasını iş parçası dövme sıcaklığında tutmak için mevcut açıklamanın sınırlayıcı olmayan düzenlemelerine göre ısı yönetim sisteminin kabiliyetleri ile sınırlıdır.

7.6 cm'den (3 inç) az aralayıcı yükseklikleri de burada açıklanan düzenlemelerin kapsamı dahilindedir ve bu gibi nispeten küçük aralayıcı yükseklikleri yalnızca bitmiş bir ürünün istenen özellikleri ile sınırlıdır. Örneğin mevcut buluşa göre olan yöntemlerde yaklaşık 76.2 cm (30 inç) aralayıcı yüksekliklerinin kullanılması, kütük boyutlu (örneğin, 76.2 cm (30 inç) kenarlı) küp şeklindeki ince tanecik boyutuna, çok ince tanecik boyutuna veya çok ince tanecik boyutuna sahip titanyum alaşımlı formların üretimine izin verir.

Kütük boyutunda küp şeklindeki geleneksel alaşım biçimleri, örneğin havacılık veya kara türbinleri için disk, halka ve kutu parçaları şeklinde oluşturulmuş iş parçaları olarak kullanılmıştır.

Mevcut açıklamaya uygun yöntemlerin çeşitli sınırlayıcı olmayan düzenlemelerinde kullanılması gereken önceden belirlenmiş aralayıcı yükseklikleri, mevcut açıklamayı dikkate alarak gereksiz bir deney yapmadan, teknikte sıradan uzmanlığa sahip bir kişi tarafından belirlenebilir. Özel aralayıcı yükseklikleri, gereksiz deneyler yapmadan sıradan uzmanlığa sahip bir kişi tarafından belirlenebilir.

Özel aralayıcı yükseklikleri, belirli bir alaşımın dövme sırasında çatlamaya yatkınlığına bağlıdır. Çatlamaya karşı daha yüksek bir duyarlılığa sahip olan alaşımlar daha büyük aralayıcı yükseklikleri, yani, çatlamayı önlemek için vuruş başına daha az deformasyon gerektirecektir. Bir aralayıcı yüksekliği seçerken adyabatik ısıtma limiti de göz önünde

- bulundurulmalıdır, çünkü en azından son isabet devresinde iş parçası sıcaklığı alaşımın T'sini geçmemelidir. Ek olarak, bir aralayıcı yüksekliği seçerken dövme pres kapasitesi sınırının dikkate alınması gerekir. Örneğin, 10.2 cm (4 inç)
- 5 kenarlı kübik iş parçasının preslenmesi sırasında enine kesit alanı presleme adımı sırasında artar. Bu nedenle, iş parçasını gerekli gerginlik oranında deforme tutmak için gereken toplam yük artar. Yük, dövme presinin yeteneklerinin ötesine geçemez. Ayrıca, aralayıcı yükseklikleri seçerken iş
- 10 parçası geometrisi dikkate alınmalıdır. Büyük deformasyonlar iş parçasının şişmesine neden olabilir. Çok büyük bir redüksiyon, iş parçasının göreceli olarak düzleşmesine neden olabilir, böylece farklı bir ortogonal eksen yönünde bir sonraki dövme vuruşu iş parçasının bükülmesine neden olabilir.
- 15 Bazı sınırlayıcı olmayan düzenlemelerde, her bir ortogonal eksen vuruşu için kullanılan aralayıcı yükseklikleri eşdeğerdir.
- 20 Diğer bazı sınırlayıcı olmayan düzenlemelerde, her bir ortogonal eksen vuruşu için kullanılan aralayıcı yükseklikleri eşdeğer değildir. Her ortogonal eksen için eşdeğer olmayan aralayıcı yükseklikleri kullanan yüksek gerginlik oranlı MAF sınırlandırıcı olmayan düzenlemeleri aşağıda sunulmuştur.
- 25 Dövme işleminden (28) sonra, iş parçasını (24) birinci ortogonal eksen (30), yani ŞEKİL 2 (a)'da gösterilen A-yönünde pres dövmenin ardından, mevcut açıklamaya göre bir yöntemin sınırlayıcı olmayan bir düzenlemesi isteğe bağlı olarak
- 30 ayrıca, iş parçasının adyabatik olarak ısıtılmış iç bölgesinin (gösterilmemiştir) sıcaklığının ŞEKİL 3 (b)'de gösterilen iş parçası dövme sıcaklığı aralığındaki iş parçasında (adım 32) veya yakınında soğumaya bırakılmasını da içerir.
- 35 Çeşitli sınırlayıcı olmayan düzenlemelerde, iç bölge soğutma

süreleri veya "bekleme" süreleri, örneğin, 5 saniye ila 120 saniye, 10 saniye ila 60 saniye veya 5 saniye ila 5 dakika arasında değişebilir. Mevcut açıklamaya göre çeşitli sınırlayıcı olmayan düzenlemelerde, burada kullanılan bir iş parçasının "adyabatik olarak ısıtılmış bir iç bölgesi", iş parçasının merkezinden dışarı doğru uzanan ve iş parçasının en az yaklaşık % 50'si veya en az yaklaşık % 60'ı veya en az yaklaşık % 70'i veya en az yaklaşık % 80'i bir hacme sahip bir bölgeyi belirtir. Teknikte uzman bir kişi tarafından, bir iş parçasının iç bölgesini, iş parçası dövme sıcaklığındaki veya yakınındaki bir sıcaklığa soğutmak için gereken zamanın, iş parçasını (24) çevreleyen atmosfer koşullarının yanı sıra iş parçasının (24) boyutuna, şekline ve bileşimine bağlı olacağı kabul edilecektir.

15 İç bölge soğutma süresi boyunca, burada açıklanan sınırlayıcı olmayan bazı düzenlemelere göre bir ısı yönetim sisteminin (33) bir yönü, isteğe bağlı olarak, iş parçasının (24) bir dış yüzey bölgesinin (36), iş parçasının dövme sıcaklığında veya yakınında bir sıcaklığa ısıtılmasını (adım 34) içermektedir. Bu şekilde, iş parçasının (24) sıcaklığı, her yüksek gerginlik oranlı MAF vuruşundan önce iş parçası dövme sıcaklığında veya yakınında homojen veya homojene yakın ve büyük ölçüde izotermal bir durumdadır. Her A-ekseni ısısından sonra, her B-ekseni vuruşundan sonra ve/veya her C-ekseni vuruşundan sonra isteğe bağlı olarak iş parçasının (24) dış yüzey bölgesini (36) isteğe bağlı olarak ısıtmanın (34) mevcut buluş kapsamında olduğu kabul edilmektedir. Sınırlayıcı olmayan düzenlemelerde, iş parçasının dış yüzeyi isteğe bağlı olarak A-B-C vuruşlarının her döngüsünden sonra ısıtılır (34). Yine sınırlayıcı olmayan başka düzenlemelerde, dış yüzey bölgesi isteğe bağlı olarak herhangi bir vuruş veya çarpma döngüsünden sonra, iş parçasının toplam sıcaklığı, dövme işlemi sırasında iş parçası dövme sıcaklığı aralığı içinde tutulduğu sürece ısıtılır. Bir iş parçasının (24) sıcaklığını, her yüksek

gerginlik oranının (MAF) çarpmasından önce, iş parçası dövme sıcaklığının içinde veya yakınında homojen veya homojene yakın ve büyük ölçüde izotermal bir durumda tutmak için ısıtılması gereken zaman, iş parçasının boyutuna bağlı olabilir, ve bu, gereksiz deney yapmadan, sıradan uzmanlığa sahip bir kişi tarafından belirlenebilir.

Mevcut açıklamaya göre çeşitli sınırlayıcı olmayan düzenlemelerde, burada kullanılan bir iş parçasının bir "dış yüzey bölgesi", iş parçasının bir dış yüzeyinden içeri doğru uzanan ve iş parçasının en az yaklaşık % 50'si veya en az yaklaşık % 60'ı veya en az yaklaşık % 70'i veya en az yaklaşık % 80'ı bir hacme sahip bir bölgeyi belirtir.

Sınırlayıcı olmayan düzenlemelerde, iş parçasının (24) bir dış yüzey bölgesinin (36) ısıtılması (34), ısıtma yönetim sisteminin (33) bir veya daha fazla yüzey ısıtma mekanizması (38) kullanılarak gerçekleştirilebilir. Olası yüzey ısıtma mekanizmalarına örnekler, art arda pres dövme adımları olup, iş parçasının tamamı bir fırına yerleştirilebilir veya aksi halde iş parçası dövme sıcaklığı aralığı ile bir sıcaklığa ısıtılabilir.

Sınırlayıcı olmayan bazı düzenlemelerde, isteğe bağlı bir özellik olarak, A, B ve C dövme bölümlerinin her biri arasında, ısıtma yönetim sistemi (33), iş parçasının dış yüzey bölgesini (36) ısıtmak için kullanılır ve adyabatik olarak ısıtılmış iç bölgeye iş parçasının sıcaklığını, seçilen iş parçasının dövme sıcaklığındaki veya yakınındaki büyük ölçüde homojen bir sıcaklığa getirecek şekilde bir iç bölge soğutma süresi için soğutmasına izin verilir. Mevcut açıklamaya göre sınırlayıcı olmayan bazı düzenlemelerde, isteğe bağlı bir özellik olarak, A, B ve C dövme bölümlerinin her biri arasında, ısıtma yönetim sistemi (33) iş parçasının dış yüzey bölgesini ısıtmak için kullanılmaktadır ve adyabatik olarak ısıtılmış iç bölgenin, bir iç bölge soğutma süresi için soğumasına izin verilir,

böylece iş parçasının sıcaklığı, iş parçası dövme sıcaklığı aralığında büyük ölçüde homojen bir sıcaklığa döner. İş parçasının dış yüzey bölgesini iş parçası dövme sıcaklığı aralığında bir sıcaklığa ısıtmak için hem bir ısı yönetim sistemini (1) (33) hem de adyabatik olarak ısıtılmış iç bölgenin iş parçası dövme sıcaklığı aralığında bir sıcaklığa soğuduğu bir dönemi (2) kullanan burada "ısı olarak yönetilen, yüksek gerginlikteki çok eksenli dövme" (38) olarak adlandırılabilen mevcut açıklamaya göre bir yöntemin sınırlayıcı olmayan düzenlemeleri, bunlarla sınırlı olmamak üzere, alev ısıtmaya uyarlanmış alev ısıtıcılarını; indüksiyonlu ısıtma için uyarlanmış indüksiyon ısıtıcılarını; ve iş parçasının (24) dış yüzeyinin radyan ısıtılması için uyarlanmış radyan ısıtıcılarını içerir. İş parçasının bir dış yüzey bölgesini ısıtmak için diğer mekanizmalar ve teknikler, mevcut açıklamayı dikkate alarak sıradan uzmanlığa sahip olanlara açık olacaktır ve bu tür mekanizmalar ve teknikler, mevcut açıklamanın kapsamı dahilindedir. Bir dış yüzey bölgesi ısıtma mekanizmasının (38) sınırlayıcı olmayan bir düzenlemesi, bir kutu fırın (gösterilmemiştir) içerebilir. Bir kutu fırın, iş parçasının dış yüzey bölgesini bir veya daha fazla alevli ısıtma mekanizması, radyan ısıtma mekanizması, indüksiyonlu ısıtma mekanizması, ve şimdi veya bundan sonra, teknikte sıradan uzmanlığa sahip bir kişi tarafından bilinen uygun herhangi bir ısıtma mekanizması kullanarak ısıtmak için çeşitli ısıtma mekanizmalarıyla yapılandırılabilir.

Sınırlayıcı olmayan bir düzenlemede, iş parçasının (24) dış yüzey bölgesinin (36) sıcaklığı isteğe bağlı olarak ısıtılır (34) ve bir ısı işlem yönetim sisteminin (33) bir veya daha fazla kalıp ısıtıcısı (40) kullanılarak iş parçası dövme sıcaklığında ve iş parçası dövme sıcaklığı aralığında tutulur. Kalıp ısıtıcıları (40), kalıpların (42) veya kalıpların kalıp pres dövme yüzeylerini (44), iş parçası dövme sıcaklığında veya iş parçası dövme sıcaklığı aralığında sıcaklıklarda

tutmak için kullanılabilir. Sınırlayıcı olmayan bir düzenlemede, ısıtma yönetim sisteminin kalıpları (42), iş parçası dövme sıcaklığının 100° F (55.6° C) altına kadar olan iş parçası dövme sıcaklığını içeren bir aralıktaki bir sıcaklığa ısıtılır. Kalıp ısıtıcılar (40), kalıpları (42) ya da kalıp pres dövme yüzeyini (44), alev ısıtma mekanizmaları, radyan ısıtma mekanizmaları, iletken ısıtma mekanizmaları ve/veya indüksiyonlu ısıtma mekanizmaları dahil, ancak bunlarla sınırlı olmamak üzere, teknikte uzman bir kişi tarafından bilinen herhangi bir uygun ısıtma mekanizması ile ısıtılabilir.

Sınırlayıcı olmayan bir düzenlemede, bir kalıp ısıtıcısı (40) bir kutu fırınının (gösterilmemiştir) bir bileşeni olabilir. Isıtma yönetim sistemi (33) yerinde gösterilirken ve ŞEKİL 2 (b), (d) ve (f)'de gösterilen çok eksenli dövme işleminin (26) soğutma adımları (32), (52), (60) sırasında kullanılırken ısıtma yönetim sisteminin (33), ŞEKİL 2 (a), (c) ve (e)'de gösterilen pres dövme adımları (28), (46), (56) sırasında yerinde bulunabileceği veya bulunmayabileceği kabul edilecektir. ŞEKİL 3 (c)'de gösterildiği gibi, mevcut açıklamaya göre çok eksenli bir dövme yönteminin (26) sınırlayıcı olmayan bir düzenlemesinin bir yönü, iş parçasını (24), iş parçasını (24) adyabatik olarak ısıtmak için yeterli bir gerginlik oranını kullanarak, iş parçasının (24) ikinci bir ortogonal ekseninin (48) yönünde iş parçasındaki dövme sıcaklığı aralığında (B) dövme işinde (24), veya en azından iş parçasının (24) bir iç bölgesi ve iş parçasının (24) plastik olarak deforme edilmesini içerir. Sınırlayıcı olmayan bir düzenlemede, pres dövme (46) sırasında, iş parçası (24), yükseklikte veya başka bir boyutta % 20 ila % 50 oranında redüksiyon ile plastik bir deformasyona uğrar. Sınırlayıcı olmayan bir başka düzenlemede, pres dövme (46) sırasında, iş parçası (24), yükseklikte veya başka bir boyutta % 30 ila % 40 oranında redüksiyon ile plastik bir deformasyona uğrar.

- Sınırlayıcı olmayan bir düzenlemede, iş parçası (24), ikinci ortogonal eksen (48) yönünde, birinci pres dövme adımı (28) kullanılan aynı aralayıcı yüksekliğine preslenerek dövülebilir(46). Sınırlayıcı olmayan başka bir düzenlemede, iş parçası (24), ikinci ortogonal eksen (48) yönünde, birinci pres dövme adımı (28) kullanılan farklı bir aralık yüksekliğine pres dövmeye tabi tutulabilir.
- 10 Sınırlayıcı olmayan başka bir düzenlemede, iş parçasının (24) iç bölgesi (gösterilmemiştir) pres dövme adımı (46) sırasında birinci pres dövme adımı (28) aynı sıcaklıkta adyabatik olarak ısıtılır.
- 15 Diğer sınırlayıcı olmayan düzenlemelerde, pres dövme (46) için kullanılan yüksek gerilme oranları, birinci pres dövme adımı (28) için açıklanan gerginlik oranı aralıklarındadır.
- 20 ŞEKİL 2 (b) ve (d)'de gösterildiği gibi sınırlandırıcı olmayan bir düzenlemede, iş parçası (24), dövme yüzeylerine farklı bir ortogonal eksen sunmak için art arda pres dövme adımları (örneğin, (28), (46), (56)) arasında döndürülebilir (50). Bu dönme "A-B-C"dönmesi olarak adlandırılabilir. Farklı dövme konfigürasyonları kullanılarak, iş parçasını (24) döndürmek yerine tokmağı döndürmek mümkün olabilir, ya da bir dövme çok eksenli tokmaklarla donatılabilir, böylece iş parçasının ya da kalıbın dönüşü gerekli olmaz.
- 25 Açıktası, önemli husus, iş parçasının ve kullanılan tokmağın pozisyonundaki nispi değişiklik ve iş parçasının (24) döndürülmesi (50) gereksiz veya isteğe bağlı olabilir. Ancak mevcut endüstriyel ekipman kurulumlarının çoğunda, iş parçasının pres dövme adımları arasında farklı bir ortogonal eksene döndürülmesi (50) çok eksenli dövme işlemini (26) tamamlamak için gerekli olacaktır.
- 30
- 35

A-B-C dönmesinin (50) gerekli olduğu sınırlayıcı olmayan düzenlemelerde, A-B-C dönmesi (50) sağlamak için iş parçası (24), bir dövme operatörü tarafından elle veya otomatik bir dönme sistemi (gösterilmemiştir) tarafından döndürülebilir. Otomatik bir A-B-C dönme sistemi, burada tarif edilen sınırlandırıcı olmayan ısı olarak yönetilen yüksek gerginlik oranlı çok eksenli dövme düzeneğini mümkün kılmak için serbest salınımlı kelepçe tarzı manipülatör aleti veya benzerini içerebilir, ancak bunlarla sınırlı değildir.

Pres dövme işleminden (46) sonra, iş parçasını (24) ikinci ortogonal eksenin (48) yönünde, yani B yönünde ve ŞEKİL 3 (d)'de gösterildiği şekilde, işlem (20) isteğe bağlı olarak ayrıca (adım 52) iş parçasının adyabatik olarak ısıtılmış bir iç bölgesinin (gösterilmemiştir) iş parçası dövme sıcaklığındaki veya yakınındaki bir sıcaklığa soğumaya bırakılmasını içerir.

Sınırlayıcı olmayan bazı düzenlemelerde, iç bölge soğutma süreleri veya bekleme süreleri, örneğin 5 saniye ila 120 saniye veya 10 saniye ila 60 saniye veya 5 saniye ila 5 dakika arasında değişebilir. Asgari soğutma zamanlarının iş parçasının (24) boyutuna, şekline ve bileşimine ve ayrıca iş parçasını çevreleyen ortamın özelliklerine bağlı olduğu normal olarak uzman bir kişi tarafından kabul edilecektir.

İsteğe bağlı iç bölge soğutma periyodu sırasında, burada açıklanan sınırlayıcı olmayan bazı düzenlemelere göre bir ısı yönetim sisteminin (339) isteğe bağlı bir yönü, iş parçasının (24) bir dış yüzey bölgesinin (36) iş parçası dövme sıcaklığı aralığında iş parçası dövme sıcaklığında veya yakınında bir sıcaklığa ısıtılmasını (adım 54) içerir. Bu şekilde, iş parçasının (24) sıcaklığı, her yüksek gerginlik oranlı MAF vuruşundan önce iş parçası dövme sıcaklığında veya yakınında

- homojen veya homojene yakın ve büyük ölçüde izotermal bir durumda tutulur. Sınırlayıcı olmayan düzenlemelerde, dış yüzey bölgesini (36) ısıtmak için ısıl yönetim sistemi (33) kullanılırken, adyabatik olarak ısıtılmış iç bölgenin
- 5 belirtilen bir iç bölge soğutma süresi için soğumasına izin verilmesiyle birlikte, iş parçasının sıcaklığı büyük ölçüde her bir A-B-C dövme vuruşu arasındaki iş parçası dövme sıcaklığının altında veya yakınında homojen bir sıcaklığa döner.
- 10
- Mevcut açıklamaya göre sınırlayıcı olmayan başka bir düzenlemede dış yüzey bölgesini (36) ısıtmak için ısıl yönetim sistemi (33) kullanılırken, adyabatik olarak ısıtılmış iç bölgenin belirtilen bir iç bölge soğutma süresi için
- 15 soğumasına izin verilmesiyle birlikte, iş parçasının sıcaklığı her yüksek gerginlik oranlı MAF vuruşundan önce iş parçası dövme sıcaklığı aralığı içinde büyük ölçüde homojen bir sıcaklığa döner.
- 20
- Sınırlayıcı olmayan bir düzenlemede, iş parçasının (24) bir dış yüzey bölgesinin (36) ısıtılması (54), ısıl yönetim sisteminin (33) bir veya daha fazla dış yüzey ısıtma mekanizması (38) kullanılarak gerçekleştirilebilir.
- 25
- Olası ısıtma mekanizmalarına (38) örnekler arasında, bunlarla sınırlı olmamak üzere, alev ısıtmaya uyarlanmış alev ısıtıcıları; indüksiyonla ısıtma için uyarlanmış indüksiyon ısıtıcıları; ve/veya iş parçasının (24) radyant ısıtılması için uyarlanmış radyan ısıtıcıları bulunmaktadır.
- 30
- Bir yüzey ısıtma mekanizmasının (38) sınırlayıcı olmayan bir düzenlemesi, bir kutu fırın içerebilir (gösterilmemiştir). İş parçasının dış yüzeyini ısıtmak için diğer mekanizmalar ve teknikler, mevcut açıklamayı dikkate alarak sıradan uzmanlığa
- 35 sahip olanlara açık olacaktır ve bu tür mekanizmalar ve

teknikler, mevcut açıklamanın kapsamı dahilindedir. Bir kutu fırın, iş parçasının dış yüzeyini ısıtmak için çeşitli ısıtma mekanizmaları ile yapılandırılabilir ve bu ısıtma mekanizmaları, bir veya daha fazla alev ısıtma mekanizması, radyant ısıtma mekanizması, indüksiyonlu ısıtma mekanizması ve/veya şimdi veya bundan sonra sanatta sıradan uzmanlığa sahip bir kişiye bilinen başka herhangi bir ısıtma mekanizmasını içerebilir.

- 5
- 10 Sınırlayıcı olmayan başka bir düzenlemede, iş parçasının (24) dış yüzey bölgesinin (36) sıcaklığı ısıtılabilir (54) ve bir ısı yönetim sisteminin (33) bir veya daha fazla kalıp ısıtıcısı (40) kullanılarak iş parçası dövme sıcaklığı aralığında ve iş parçası dövme sıcaklığı aralığında
- 15 tutulabilir.

- Kalıp ısıtıcıları (40), kalıpların (42) veya kalıpların kalıp pres dövme yüzeylerini (44), iş parçası dövme sıcaklığında veya iş parçası dövme sıcaklığı aralığında sıcaklıklarda
- 20 tutmak için kullanılabilir. Kalıp ısıtıcılar (40), kalıpları (42) ya da kalıp pres dövme yüzeylerini (44), alev ısıtma mekanizmaları, radyan ısıtma mekanizmaları, iletken ısıtma mekanizmaları ve/veya indüksiyonlu ısıtma mekanizmaları dahil, ancak bunlarla sınırlı olmamak üzere, teknikte uzman bir kişi
- 25 tarafından bilinen herhangi bir uygun ısıtma mekanizması ile ısıtılabilir. Sınırlayıcı olmayan bir düzenlemede, bir kalıp ısıtıcısı (40) bir kutu fırınının (gösterilmemiştir) bir bileşeni olabilir. Isıl yönetim sistemi (33) yerinde gösterilmekle birlikte, ŞEKİL 2 (b), d) ve (f)'de gösterilen
- 30 çok eksenli dövme işleminin (26) dengeleme ve soğutma adımları (32), (52), (60) yerindeyken ve kullanılırken, ısıl yönetim sisteminin (33), ŞEKİL 2 (a), (c) ve (e)'de gösterilen pres dövme adımlarının (28), (46), (56) yerinde olabileceği veya olmayabileceği kabul edilmektedir.

ŞEKİL 3 (e)'de gösterildiği gibi mevcut açıklamaya göre bir çok eksenli dövme (26) düzenlemesinin bir yönü, iş parçasını (24), iş parçasının (24), iş parçasını (24) adyabatik olarak ısıtmak veya en azından iş parçasının iç bölgesini adyabatik olarak ısıtmak ve iş parçasını (24) plastik olarak deforme etmek için yeterli olan bir tokmak hızı ve gerginlik oranı kullanarak iş parçasının (24) üçüncü ortogonal ekseninin (58) (C) yönünde işlenecek bir iş parçası dövme sıcaklığı aralığında pres dövme (adım 56) içermesidir. Sınırlayıcı olmayan bir düzenlemede, iş parçası (24), pres dövme (56) sırasında, yükseklikteki veya başka bir boyutta % 20 ila % 50 redüksiyonlu plastik bir deformasyona uğrar. Sınırlayıcı olmayan başka bir düzenlemede, pres dövme (56) sırasında iş parçası, yükseklikte veya başka bir boyutta % 30 ila % 40'lık bir redüksiyonlu plastik bir deformasyona uğrar. Sınırlayıcı olmayan bir düzenlemede, iş parçası (24), üçüncü ortogonal eksen (58) yönünde, birinci pres dövme adımı (28) ve/veya ikinci dövme adımı (46) kullanılan aynı aralayıcı yüksekliğine preslenerek dövülebilir (56). Sınırlayıcı olmayan başka bir düzenlemede, iş parçası (24), üçüncü ortogonal eksen (58) yönünde, birinci pres dövme adımı (28) kullanılandan farklı bir aralayıcı yüksekliğine preslenebilir. Açıklamaya göre sınırlayıcı olmayan başka bir düzenlemede, iş parçasının (24) iç bölgesi (gösterilmemiştir), pres dövme adımı (56) sırasında birinci pres dövme adımı (28) aynı sıcaklıkta adyabatik olarak ısıtılır. Diğer sınırlayıcı olmayan düzenlemelerde, pres dövme (56) için kullanılan yüksek gerginlik oranları, birinci pres dövme adımı (28) için açıklanan gerginlik oranı aralıklarındadır.

Sınırlandırıcı olmayan bir düzenlemede, ŞEKİL 3 (b), 3 (d) ve 3 (e)'deki ok ile gösterildiği gibi (50), iş parçası (24), art arda pres dövme adımları (ör., 46, 56) arasında farklı bir ortogonal eksene döndürülebilir (50). Yukarıda tartışıldığı gibi, bu dönme A-B-C dönmesi olarak adlandırılabilir. Farklı

dövme yapılandırmaları kullanılarak, iş parçasını (24) döndürmek yerine tokmağı döndürmek mümkün olabilir, ya da bir dövme çok eksenli tokmaklarla donatılabilir, böylece iş parçasının ya da kalıbın dönüşü gerekli değildir. Bu nedenle, 5 iş parçasının (24) döndürülmesi (50) gereksiz veya isteğe bağlı bir adım olabilir. Bununla birlikte, mevcut endüstriyel kurulumların çoğunda, iş parçasının dövme işleminin tamamlanması için çok eksenli dövme işlemini (26) tamamlamak için iş parçasını pres dövme adımları arasında farklı bir 10 ortogonal eksene döndürmek (50) gerekecektir.

İş parçasının (24) üçüncü ortogonal eksenin (58) yönünde, yani C yönünde ve ŞEKİL 3 (e)'de gösterildiği gibi dövme işleminden (56) sonra, işlem (20) isteğe bağlı olarak ayrıca (adım 60) iş 15 parçasının adyabatik olarak ısıtılmış bir iç bölgesinin (gösterilmemiştir), ŞEKİL 3 (f)'de gösterilen iş parçası dövme sıcaklığındaki veya yakınındaki bir sıcaklığa soğumaya bırakılmasını içerir.

İç bölge soğutma süreleri, örneğin, 5 saniye ile 120 saniye, 20 10 saniye ile 60 saniye veya 5 saniye ile 5 dakika arasında değişebilir ve bu konuda uzman bir kişi tarafından soğutma sürelerinin iş parçasının (24) boyutu, şekli ve bileşimi ile iş parçasını çevreleyen ortamın özelliklerine bağlı olduğu 25 kabul edilir.

İsteğe bağlı soğutma süresi boyunca, burada açıklanan sınırlayıcı olmayan düzenlemelere göre bir ısı yönetim sisteminin (33) isteğe bağlı bir yönü, iş parçasının (24) bir 30 dış yüzey bölgesinin (36) iş parçasının dövme sıcaklığında veya yakınında bir sıcaklığa ısıtılmasını (adım 62) içerir. Bu şekilde, iş parçasının (24) sıcaklığı, her yüksek gerginlik oranı MAF vuruşundan önce iş parçası dövme sıcaklığında veya yakınında homojen veya homojene yakın ve büyük ölçüde 35 izotermal bir durumda tutulur. Sınırlayıcı olmayan

düzenlemelerde, dış yüzey bölgesini (36) ısıtmak için ısıl yönetim sistemi (33) kullanılırken, adyabatik olarak ısıtılmış iç bölgenin belirtilen bir iç bölge soğutma süresi için soğumasına izin verilmesiyle birlikte, iş parçasının sıcaklığı

5 büyük ölçüde her bir A-B-C dövme vuruşu arasındaki iş parçası dövme sıcaklığının altında veya yakınında homojen bir sıcaklığa döner. Sınırlayıcı olmayan düzenlemelerde, dış yüzey bölgesini (36) ısıtmak için ısıl yönetim sistemi (33) kullanılarak, adyabatik olarak ısıtılmış iç bölgenin

10 belirtilen bir iç bölge soğutma süresi için soğumaya bırakılması ile birlikte, iş parçasının sıcaklığı büyük ölçüde her bir ABC dövme vuruşu arasındaki iş parçası dövme sıcaklığına veya yakınındaki homojen bir sıcaklığa döner.

15 Sınırlayıcı olmayan bir düzenlemede, iş parçasının (24) bir dış yüzey bölgesinin (36) ısıtılması (62), ısıl yönetim sisteminin (33) bir veya daha fazla dış yüzey ısıtma mekanizması (38) kullanılarak gerçekleştirilebilir. Olası ısıtma mekanizmalarına (38) örnekler arasında, bunlarla

20 sınırlı olmamak üzere, alevli ısıtmaya yönelik alevli ısıtıcılar; indüksiyonla ısıtma için endüksiyon ısıtıcıları; ve/veya iş parçasının (24) radyan ısıtılması için radyan ısıtıcılar bulunmaktadır. İş parçasının dış yüzeyini ısıtmak için diğer mekanizmalar ve teknikler, mevcut açıklamayı

25 dikkate alarak sıradan uzmanlığa sahip kişilerce anlaşılabacaktır ve bu mekanizmalar ve teknikler mevcut buluşun kapsamı dahilindedir.

Bir yüzey ısıtma mekanizmasının (38) sınırlayıcı olmayan bir

30 düzenlemesi, bir kutu fırın içerebilir (gösterilmemiştir). Bir kutu fırın, iş parçasının dış yüzeyini bir veya daha fazla alevli ısıtma mekanizması, radyan ısıtma mekanizması, indüksiyonlu ısıtma mekanizması ve/veya şimdi veya bundan sonra teknikte sıradan uzmanlığa sahip bir kişi tarafından

35 bilinen herhangi bir başka uygun ısıtma mekanizması kullanarak

ısıtmak için çeşitli ısıtma mekanizmaları ile yapılandırılabilir.

5 Sınırlayıcı olmayan bir düzenlemede, iş parçasının (24) dış yüzey bölgesinin (36) sıcaklığı ısıtılabilir (62) ve ısıl yönetim sisteminin (33) bir veya daha fazla kalıp ısıtıcısı (40) kullanılarak iş parçası dövme sıcaklığı aralığında veya yakınında tutulabilir. Kalıp ısıtıcıları (40), kalıpların (42) veya kalıpların pres dövme yüzeylerinin (44), iş parçası 10 dövme sıcaklığında veya sıcaklık dövme aralığındaki sıcaklıklarda tutulması için kullanılabilir. Sınırlayıcı olmayan bir düzenlemede, ısıl yönetim sisteminin kalıpları (42), iş parçası dövme sıcaklığını iş parçası dövme sıcaklığının 100° F (55.6° C) altında tutan bir aralık 15 dahilinde bir sıcaklığa ısıtılır. Kalıp ısıtıcılar (40), kalıpları (42) ya da kalıp pres dövme yüzeylerini (44), alev ısıtma mekanizmaları, radyan ısıtma mekanizmaları, iletken ısıtma mekanizmaları ve/veya indüksiyonlu ısıtma mekanizmaları dahil, ancak bunlarla sınırlı olmamak üzere, teknikte uzman 20 bir kişi tarafından bilinen herhangi bir uygun ısıtma mekanizması ile ısıtılabilir. Sınırlayıcı olmayan bir düzenlemede, bir kalıp ısıtıcısı (40) bir kutu fırınının (gösterilmemiştir) bir bileşeni olabilir. Isıl yönetim sistemi (33) yerinde gösterilirken ve ŞEKİL 2 (b), (d) ve (f)'de 25 gösterilen çok eksenli dövme işleminin (26) soğutma adımları (32), (52), (60) sırasında kullanılırken ısıl yönetim sisteminin (33), ŞEKİL 2 (a), (c) ve (e)'de gösterilen pres dövme adımları (28), (46), (56) sırasında yerinde bulunabileceği veya bulunmayabileceği kabul edilecektir.

30

Mevcut açıklamanın bir yönü, bir iş parçasının üç ortogonal eksen boyunca pres dövme adımlarının bir ya da daha fazlasının, iş parçasında en az 1.0 olan bir toplam gerginlik elde edilinceye kadar tekrar edildiği, sınırlayıcı olmayan bir 35 düzenlemeyi içerir.

Toplam gerginlik, toplam gerçek gerginliktir.

Gerçek gerginlik" tabiri teknikte uzman bir kişi tarafından
5 "logaritmik gerginlik" veya "etkili gerginlik" olarak da bilinir. ŞEKİL 2'ye referansla, bu, (g) adımı ile yani, iş parçası içerisinde en az 1.0 ila 3.5'den daha az aralıktaki bir toplam gerginlik elde edilinceye kadar bir veya daha fazla pres dövme adımının (28), (46), (56) tekrarlanması (64) ile
10 örneklendirilmektedir. İstenilen gerginliğin, pres dövme adımlarının (28) veya (46) veya (56) herhangi birinde gerçekleştirildikten sonra ve ayrıca pres dövmenin gereksiz olduğu ve isteğe bağlı dengeleme adımlarının (yani, iş parçasının iç bölgesinin, iş parçası dövme sıcaklığının (32)
15 veya (52) veya (60) veya yakınındaki bir sıcaklığa kadar soğumasını sağlamak ve iş parçasının (34) veya (54) veya (62) iş parçası dövme sıcaklığında veya yakınında bir sıcaklığa kadar) gerekli olmadığı da bilinmekle beraber, iş parçası, sınırlayıcı olmayan bir düzenlemeye, bir sıvı içinde veya
20 başka bir sınırlayıcı olmayan bir düzenlemeye, havayla soğutma veya herhangi bir daha hızlı soğutma hızı ile söndürülerek kolayca ortam sıcaklığına soğutulabilir.

Sınırlayıcı olmayan bir düzenlemeye, toplam gerginliğin,
25 burada tarif edildiği gibi, çok eksenli dövme işleminden sonra tüm iş parçasındaki toplam gerginlik olduğu anlaşılabacaktır. Mevcut açıklamaya göre sınırlayıcı olmayan düzenlemelerde, toplam gerginlik, her bir ortogonal eksen üzerindeki eşit gerginlikleri içerebilir veya toplam gerginlik, bir veya daha
30 fazla ortogonal eksen üzerindeki farklı gerginlikleri içerebilir.

Sınırlayıcı olmayan bir düzenlemeye göre, beta tavlamasından sonra, bir iş parçası alfa+beta faz alanında iki farklı
35 sıcaklıkta çok eksenli oluşturulabilir.

Örneğin, ŞEKİL 3'e atıfta bulunmak gerekirse, ŞEKİL 2'deki (64) adımının tekrarı ederek (a)-(isteğe bağlı b), (c)-(isteğe bağlı d) ve (e)-(isteğe bağlı f) adımlarından bir tanesinin alfa+beta faz alanındaki bir birinci sıcaklıkta belirli bir gerginlik elde edilinceye ve (a)-(isteğe bağlı b), (c)-(isteğe bağlı d) ve (e)-(isteğe bağlı f) adımlarından bir veya daha fazlasının alfa+beta faz alanında ikinci bir sıcaklıkta son bir presleme adımına kadar (a), (b) veya (c) (yani, (28), (46), (56)) toplam gerginlik en az 1.0 veya en az 1.0 ila 3.5'den az olan aralıkta iş parçasında elde edilinceye kadar tekrarlanmasını içerebilir.

Sınırlayıcı olmayan bir düzenlemede, alfa+beta faz alanındaki ikinci sıcaklık alfa+beta faz alanındaki birinci sıcaklıktan daha düşüktür.

İkiden fazla MAF pres dövme sıcaklığındaki (a)-(isteğe bağlı b), (c)-(isteğe bağlı d) ve (e)-(isteğe bağlı f) adımlarından birini veya daha fazlasını tekrarlayacak şekilde yöntemin uygulanmasının kabul edildiği sıcaklıklar dövme sıcaklığı aralığında olduğu sürece bu açıklamanın kapsamı dahilindedir. Sınırlayıcı olmayan bir düzenlemede, alfa+beta faz alanındaki ikinci sıcaklığın alfa+beta faz alanındaki birinci sıcaklıktan daha yüksek olduğu da bilinmektedir.

Mevcut açıklamaya göre sınırlayıcı olmayan başka bir düzenlemede, A-ekseni vuruşu, B-ekseni vuruşu ve C-ekseni vuruşu için her yöne eşit gerginlik sağlamak üzere farklı redüksiyon kullanılır. Tüm yönlerde eşitlenmiş gerginlik sağlamak için yüksek gerginlik oranlı MAF uygulanması, iş parçası için daha az çatlama ve daha eşit eksenli bir alfa tanecik yapısına yol açar.

Örneğin, eşitlenmemiş bir gerginlik, A-ekseni üzerinde 7.6 cm (3.0 inç) yüksekliğe kadar yükselen yüksek gerginlik oranına

sahip 10.2 cm (4 inç) küp ile başlanarak kübik bir iş parçası içine sokulabilir. A-eksenindeki bu redüksiyon, iş parçasının B-ekseni ve C-ekseni boyunca şişmesine neden olur.

- 5 B-ekseni yönünde ikinci bir redüksiyon B-ekseni boyutunu 7,6 cm'ye (3,0 inç) indirgerse, B-eksenindeki iş parçasında A-eksenine göre daha fazla gerginlik oluşur. Benzer şekilde, C-ekseni boyutunu 7,6 cm'ye (3,0 inç) indirmek için C-ekseni yönünde yapılan bir vuruş, C-ekseni üzerindeki iş parçasına A-ekseni veya B-ekseninden daha fazla gerginlik oluşturacaktır. Başka bir örnek olarak, tüm ortogonal yönlerde eşitlenmiş gerginlik sağlamak için, A-ekseni üzerinde 10,2 cm (4 inç) kübik bir iş parçası, 90 derece döndürülmüş ve 7,6 cm (3,0 inç) yüksekliğe kadar "vurulur" B-eksenine 8,9 cm (3,5 inç) yüksekliğe vurulur ve daha sonra 90 derece döndürülmüş ve C-ekseni üzerinde 10.2 cm (4.0 inç) yüksekliğe vurulur. Bu son sekans, yaklaşık 10.2 cm (4 inç) tarafa sahip olan ve küpün her ortogonal yönünde eşitlenmiş bir gerginlik içeren bir küp ile sonuçlanacaktır.

20

Yüksek gerginlik oranlı MAF sırasında bir kübik iş parçasının her bir ortogonal eksenindeki düşüşü hesaplamak için genel bir denklem Denklem 1'de verilmiştir.

25 **Denklem 1: gerginlik = $-\ln$ (aralayıcı yüksekliği/başlangıç yüksekliği)**

Toplam gerginlik hesaplamak için genel bir denklem Denklem 2 tarafından sağlanmıştır:

30 **Denklem 2: toplam gerginlik = $\sum_{i=1}^i -\ln$ (aralayıcı yüksekliği/başlangıç yüksekliği)**

Farklı aparat yükseklikleri sağlayan dövme aparatındaki aralayıcılar kullanılarak ya da teknikte sıradan uzmanlığa sahip bir kişi tarafından bilinen herhangi bir alternatif yöntemle farklı indirgemeler gerçekleştirilebilir.

35

Mevcut açıklamaya göre sınırlandırıcı olmayan bir düzenlemede, şimdi ŞEKİL 5 ve ŞEKİL 3 göz önüne alındığında ultra ince tanecikli titanyum alaşımı üretimi için bir işlem (70) şunları içerir: bir titanyum alaşımlı iş parçasının beta tavlaması (71); beta tavlanmış iş parçasının (24) iş parçasının titanyum alaşımının beta transus sıcaklığının altındaki bir sıcaklığa soğutulması (72); iş parçasının (24) iş parçasının titanyum alaşımının alfa+beta faz alanı içinde olan bir iş parçası dövme sıcaklığı aralığında bir iş parçası dövme sıcaklığına ısıtılması (73); ve iş parçasının yüksek gerginlik oranlı MAF'ın (74) iş parçasının ortogonal eksenlerinde farklı aralayıcı yüksekliklerine kadar pres dövme redüksiyonlarını içerdiği yüksek gerginlik oranlı MAF (74). Mevcut açıklamaya göre çok eksenli dövmenin (74) sınırlayıcı olmayan bir düzenlemesinde, iş parçası (24) birinci ortogonal eksen (A-ekseni) üzerinde majör redüksiyon aralayıcı yüksekliğine preslenerek dövülür. (75). Burada kullanıldığı şekliyle, "pres dövmeye tabi tutulmuş majör redüksiyon aralayıcı yüksekliğine" ifadesi, iş parçasının bir ortogonal eksen boyunca iş parçasının spesifik ortogonal eksen boyunca iş parçasının arzu edilen son boyutuna dövülmesini ifade eder. Bu nedenle, "majör redüksiyon aralayıcı yüksekliği" terimi, her bir ortogonal eksen boyunca iş parçasının son boyutuna ulaşmak için kullanılan aralayıcı yüksekliği olarak tanımlanmaktadır. Tüm pres dövme adımları majör redüksiyon aralığının yüksekliğine kadar, iş parçasının iç bölgesini adyabatik olarak ısıtmak için yeterli bir gerginlik oranı kullanılarak gerçekleştirilmelidir.

İş parçasını (24) ŞEKİL 3 (a)'da gösterildiği şekilde birinci ortogonal A-ekseni yönünde, pres dövme işlemine (75) tabi tutuktan sonra, işlem (70) isteğe bağlı olarak ayrıca, iş parçasının adyabatik olarak ısıtılmış bir iç bölgesinin (gösterilmemiştir) iş parçasının dövme sıcaklığında veya

yakınında bir sıcaklığa soğumasına izin vermeyi içerir (ŞEKİL 3 (b)'de belirtilen adım 76)).

İç bölge soğutma süreleri, örneğin, 5 saniye ile 120 saniye, 10 saniye ile 60 saniye veya 5 saniye ile 5 dakika arasında değişebilir ve sıradan uzmanlığa sahip bir kişi, gerekli soğutma süresinin, iş parçasının boyutu, şekli ve bileşimi ile iş parçasını çevreleyen ortamın özelliklerine bağlı olacağı kabul edecektir.

10

İsteğe bağlı iç bölge soğutma süresi boyunca, burada tarif edilen sınırlayıcı olmayan düzenlemelere göre bir ısı yönetim sisteminin (33) bir yönü, iş parçasının (24) bir dış yüzey bölgesinin (36), iş parçasının dövme kısmında bir sıcaklığa veya yakınında bir sıcaklığa ısıtılmasını (adım 77) içerebilir. Bu şekilde, iş parçasının (24) sıcaklığı, her

15

yüksek gerginlik oranlı MAF vuruşundan önce iş parçası dövme sıcaklığında veya yakınında homojen veya homojene yakın ve büyük ölçüde izotermal bir durumda tutulur. Bu şekilde, iş

20

parçasının (24) sıcaklığı, her yüksek gerginlik oranlı MAF vuruşundan önce iş parçası dövme sıcaklığında veya yakınında homojen veya homojene yakın ve büyük ölçüde izotermal bir durumda tutulur. Dış yüzey bölgesini (36) ısıtmak için ısı yönetim sistemini (33) kullanan sınırlayıcı olmayan bazı

25

düzenlemelerde, adyabatik olarak ısıtılmış iç bölgenin, belirtilen bir iç bölge soğutma süresi için soğumasına izin verilmesiyle birlikte, iş parçasının sıcaklığı, A, B ve C dövme vuruşlarının her biri iş parçası dövme sıcaklığı aralığında büyük ölçüde homojen bir sıcaklığa döner. Dış yüzey

30

bölgesini (36) ısıtmak için ısı yönetim sistemini (33) kullanan mevcut açıklamaya göre sınırlayıcı olmayan diğer düzenlemelerde, adyabatik olarak ısıtılmış iç bölgenin belirtilen bir iç bölge soğutma süresi için soğumasına izin verilmesi ile birlikte, iş parçasının sıcaklığı, A, B ve C

35

dövme vuruşlarının her biri iş parçası dövme sıcaklığı

aralığında büyük ölçüde homojen bir sıcaklığa döner.

Sınırlayıcı olmayan bir düzenlemede, iş parçasının (24) bir dış yüzey bölgesinin (36) ısıtılması (77), ısıtma yönetim

5 sisteminin (33) bir veya daha fazla dış yüzey ısıtma mekanizması (38) kullanılarak gerçekleştirilebilir. Olası dış yüzey ısıtma mekanizmalarına (38) örnekler arasında, bunlarla sınırlı olmamak üzere, alev ısıtmaya uyarlanmış alev ısıtıcıları; indüksiyonla ısıtma için uyarlanmış indüksiyon ısıtıcıları; ve iş parçasının (24) radyant ısıtılması için uyarlanmış radyan ısıtıcılar (24) bulunmaktadır. İş parçasının bir dış yüzey bölgesini ısıtmak için diğer mekanizmalar ve teknikler, mevcut açıklamayı dikkate alarak sıradan uzmanlığa sahip olanlara açık olacaktır ve bu tür mekanizmalar ve teknikler, mevcut açıklamanın kapsamı dahilindedir. Bir dış yüzey bölgesi ısıtma mekanizmasının (38) sınırlayıcı olmayan bir düzenlemesi, bir kutu fırın (gösterilmemiştir) içerebilir. Bir kutu fırın, örneğin bir veya daha fazla alev ısıtma mekanizması, radyant ısıtma mekanizması, indüksiyonlu ısıtma mekanizması ve/veya şimdi veya bundan sonra sanatta sıradan uzmanlığa sahip bir kişiye bilinen herhangi bir başka uygun ısıtma mekanizması kullanılarak iş parçasının dış yüzey bölgesini ısıtmak için çeşitli ısıtma mekanizmaları ile yapılandırılabilir.

25

Sınırlayıcı olmayan başka bir düzenlemede, iş parçasının (24) dış yüzey bölgesinin (36) sıcaklığı ısıtılabilir (34) ve bir ısıtma yönetim sisteminin (33) bir veya daha fazla kalıp ısıtıcısı (40) kullanılarak iş parçası dövme sıcaklığı aralığında ve iş parçası dövme sıcaklığı aralığında tutulabilir. Kalıp ısıtıcıları (40), kalıpların (42) veya kalıpların kalıp pres dövme yüzeylerini (44), iş parçası dövme sıcaklığında veya iş parçası dövme sıcaklığı aralığında

30

sıcaklıklarda tutmak için kullanılabilir. Sınırlayıcı olmayan bir düzenlemede, ısıtma yönetim sisteminin kalıpları (42), iş parçası dövme sıcaklığının 100° F (55.6° C) altına kadar olan iş parçası dövme sıcaklığını içeren bir aralıktaki bir sıcaklığa ısıtılır. Kalıp ısıtıcılar (40), kalıpları (42) ya da kalıp pres dövme yüzeylerini (44), alev ısıtma mekanizmaları, radyan ısıtma mekanizmaları, iletken ısıtma mekanizmaları ve/veya indüksiyonlu ısıtma mekanizmaları dahil, ancak bunlarla sınırlı olmamak üzere, teknikte uzman bir kişi tarafından bilinen herhangi bir uygun ısıtma mekanizması ile ısıtılabilir. Sınırlayıcı olmayan bir düzenlemede, bir kalıp ısıtıcısı (40) bir kutu fırınının (gösterilmemiştir) bir bileşeni olabilir. Isıtma yönetim sistemi (33) yerinde gösterilirken ve çok eksenli dövme işleminin soğutma adımları sırasında kullanılırken, ısıtma yönetim sisteminin (33) pres dövme adımları sırasında yerinde olabileceği veya olamayabileceği kabul edilmektedir. Sınırlayıcı olmayan bir düzenlemede, presin A-ekseni üzerinde majör bir redüksiyon mesafesi yüksekliğine (75) dövme yaptıktan sonra (bkz. ŞEKİL 3), burada ayrıca "A" redüksiyonu olarak da adlandırılır, ve isteğe bağlı izin verme (76) ve ısıtma (77) adımlarından sonra, eğer uygulanırsa, isteğe bağlı ısıtma ve soğutma adımları içerebilecek olan blokaaj redüksiyon aralayıcı yüksekliklerinin bloke edilmesini müteakip presleme, iş parçasını "düzgünleştirmek" ("square-up") için Bant C eksenlerine uygulanır. "Bir blokaaj redüksiyon aralayıcı yüksekliğine pres dövmesi" ifadesi, aksi takdirde burada birinci blokaaj redüksiyon aralayıcı yüksekliğine ((78), (87), (96)) pres dövme olarak adlandırılır ve ikinci blokaja aralayıcı yüksekliğine pres dövmesi ((81), (90), (99)) majör redüksiyon aralayıcı yüksekliğine preslendikten sonra herhangi bir yüzün ortasının yakınında meydana gelen şişkinliği azaltmak ya da "düzgünleştirmek" için kullanılan bir pres dövme adımı olarak tanımlanmaktadır. Herhangi bir yüzün ortasına veya yakınında şişkinlik, yüzlere bir üç eksenli

gerginlik durumuyla sonuçlanır, bu da iş parçasının çatlamasına neden olabilir. Pres dövmenin bir birinci redüksiyon aralayıcı yüksekliğine dövme yapma ve ikinci bir blokaaj redüksiyon aralayıcı yüksekliğine dövme yapma adımı, burada ayrıca bir birinci blokaaj redüksiyonu, ikinci blokaaj redüksiyonu veya basitçe blokaaj redüksiyonu işlemlerine, şişkin yüzleri deforme etmek için kullanılır, böylece iş parçasının yüzleri, ortogonal bir eksen boyunca majör bir redüksiyon aralık yüksekliğine dövme yapan bir sonraki preslemeden önce düz veya büyük ölçüde düzdür.

Blokaaj redüksiyonları, majör redüksiyon aralayıcı yüksekliğine pres dövmenin her adımında kullanılan aralayıcı yüksekliğinden daha büyük olan bir aralayıcı yüksekliğine presleyerek dövmeyi içerir.

Burada açıklanan birinci ve ikinci blokaaj redüksiyonlarının tümünün gerginlik oranı, iş parçasının bir iç bölgesini adyabatik olarak ısıtmak için yeterli olsa da, sınırlayıcı olmayan bir düzenlemede, birinci blokaaj ve ikinci blokaaj redüksiyonları sırasında adyabatik ısıtma meydana gelmeyebilir; birinci ve ikinci blokaaj redüksiyonlarında meydana gelen toplam gerginlik, iş parçasını adyabatik olarak ısıtmak için yeterli olmayabilir.

Blokaaj redüksiyonları, majör redüksiyon mesafesi yüksekliğine dövme presinde kullanılanlardan daha büyük olan aralayıcı yükseklikleri için gerçekleştirildiğinden, bir blokaaj redüksiyonunda iş parçasına eklenen gerginlik, iş parçasının iç bölgesini adyabatik olarak ısıtmak için yeterli olmayabilir.

Görüleceği üzere, birinci ve ikinci blokaaj redüksiyonlarının, yüksek gerginlik oranlı bir MAF işlemine, sınırlayıcı olmayan

bir düzenlemeye dahil edilmesi, aşağıdakilerden oluşan en az bir döngüde bir dövme dizisine neden olur: A-B-C-B-C-A-C; burada A, B ve C, majör redüksiyon aralayıcı yüksekliğine pres dövmesini içerir ve burada B, C, C ve A, birinci veya ikinci

5 blokaaj redüksiyon aralayıcı yüksekliklerine pres dövmesini içerir; veya sınırlayıcı olmayan başka bir düzenlemede aşağıdakilerden oluşan en az bir döngüyü içerir: A-B-C-B-C-A-C-A-B; burada A, B ve C, majör redüksiyon aralayıcı yüksekliğine pres dövmesini içerir ve burada B, C, C, A, A ve

10 B, birinci veya ikinci blokaaj redüksiyon aralayıcı yüksekliklerine preslenerek dövülmesini içerir. Şekillere tekrar atıfta bulunmak gerekirse, ŞEKİL 3 ve 5, sınırlandırıcı olmayan bir düzenlemede, birinci ortogonal eksen üzerinde (bir A redüksiyonu) majör redüksiyon aralayıcı yüksekliğine (75)

15 pres dövme adımıdan sonra ve uygulandığı takdirde, isteğe bağlı izin verme (76) ve ısıtma (77) adımlarından sonra yukarıda tarif edildiği gibi, iş parçası B-ekseni üzerinde birinci blokaaj redüksiyon aralayıcı yüksekliğine preslenerek dövülür (78). Birinci blokaaj redüksiyonunun gerginlik oranı,

20 iş parçasının bir iç bölgesini adyabatik olarak ısıtmak için yeterli olsa da, sınırlayıcı olmayan bir düzenlemede, birinci blokaaj redüksiyonu sırasındaki adyabatik ısıtma, birinci blokaaj redüksiyonunda meydana gelen gerginliğin iş parçasını büyük ölçüde adyabatik olarak ısıtmak için yeterli olamaması

25 nedeniyle oluşmayabilir. İsteğe bağlı olarak, iş parçasının adyabatik olarak ısıtılmış iç bölgesinin (79) iş parçasının dövme sıcaklığında veya yakınında bir sıcaklığa soğumasına izin verilirken, iş parçasının dış yüzey bölgesi (80) iş parçasının dövme kısmında veya yakınında bir sıcaklığa

30 ısıtılır (80). Yukarıda ve bu açıklamanın diğer düzenlemelerinde açıklanan A redüksiyonu (75) için tüm soğutma zamanları ve ısıtma yöntemleri (79) ve (80) adımlarına ve iş parçasının iç bölgesinin soğumasını sağlamak ve iş parçasının dış yüzey bölgesini ısıtmak için isteğe bağlı tüm sonraki

35 adımlara uygulanabilir.

İş parçası daha sonra C-ekseni üzerinde (81), majör redüksiyon aralayıcı yüksekliğinden daha büyük olan ikinci bir blokaaj redüksiyon aralayıcı yüksekliğine preslenerek dövülür.

- 5 Birinci ve ikinci blokaaj redüksiyonları, iş parçasını büyük ölçüde iş parçasının dövme şeklini geri getirmek için uygulanır. Burada açıklanan birinci ve ikinci blokaaj redüksiyonlarının tümünün gerginlik oranı, iş parçasının bir iç bölgesini adyabatik olarak ısıtmak için yeterli olsa da,
- 10 sınırlayıcı olmayan bir düzenlemede, birinci blokaaj ve ikinci blokaaj redüksiyonları sırasında adyabatik ısıtma meydana gelmeyebilir; birinci ve ikinci blokaaj redüksiyonlarında meydana gelen toplam gerginlik, iş parçasını adyabatik olarak ısıtmak için yeterli olmayabilir. İsteğe bağlı olarak, iş
- 15 parçasının adyabatik olarak ısıtılmış iç bölgesinin (82) iş parçasının dövme sıcaklığında veya yakınında bir sıcaklığa soğumasına izin verilirken, iş parçasının dış yüzey bölgesi (83) iş parçasının dövme kısmında veya yakınında bir sıcaklığa ısıtılır (80).

20

İş parçası daha sonra ikinci ortogonal eksen veya B-ekseni yönünde majör redüksiyon aralayıcı yüksekliğine (84) preslenerek dövülür.

- 25 B-ekseni (84) üzerinde majör redüksiyon aralayıcı yüksekliğine pres dövmesine burada bir B redüksiyonu denir. **B** redüksiyonundan (84) sonra, isteğe bağlı olarak, iş parçasının adyabatik olarak ısıtılmış iç bölgesinin (85), iş parçasının dövme sıcaklığındaki veya yakınındaki bir sıcaklığa soğumasına
- 30 izin verilirken, iş parçasının dış yüzey bölgesi (86) iş parçası dövme sıcaklığındaki veya yakınındaki sıcaklığa ısıtılır (86).

- İş parçası daha sonra C-ekseni üzerinde (87), majör redüksiyon
- 35 aralayıcı yüksekliğinden daha büyük olan bir birinci blokaaj

- redüksiyon aralayıcı yüksekliğine preslenerek dövülür. Birinci blokaj redüksiyonunun gerginlik oranı, iş parçasının bir iç bölgesini adyabatik olarak ısıtmak için yeterli olsa da, sınırlayıcı olmayan bir düzenlemede, birinci blokaj
- 5 redüksiyonu sırasındaki adyabatik ısıtma, birinci blokaj redüksiyonunda meydana gelen gerginliğin iş parçasını büyük ölçüde adyabatik olarak ısıtmak için yeterli olamaması nedeniyle oluşmayabilir. İsteğe bağlı olarak, iş parçasının adyabatik olarak ısıtılmış iç bölgesinin (88) iş parçasının
- 10 dövme sıcaklığında veya yakınında bir sıcaklığa soğumasına izin verilirken, iş parçasının dış yüzey bölgesi (89) iş parçasının dövme kısmında veya yakınında bir sıcaklığa ısıtılır (80).
- 15 İş parçası, bir sonraki A-ekseninde (90), majör redüksiyon aralayıcı yüksekliğinden daha büyük olan ikinci bir blokaj redüksiyon aralayıcı yüksekliğine preslenerek dövülür.
- Birinci ve ikinci blokaj redüksiyonları, iş parçasını esas
- 20 olarak iş parçasının dövme şeklini geri getirmek için uygulanır. Burada açıklanan birinci ve ikinci blokaj redüksiyonlarının tümünün gerginlik oranı, iş parçasının bir iç bölgesini adyabatik olarak ısıtmak için yeterli olsa da, sınırlayıcı olmayan bir düzenlemede, birinci blokaj ve ikinci
- 25 blokaj redüksiyonları sırasında adyabatik ısıtma meydana gelmeyebilir; birinci ve ikinci blokaj redüksiyonlarında meydana gelen toplam gerginlik, iş parçasını adyabatik olarak ısıtmak için yeterli olmayabilir. İsteğe bağlı olarak, iş parçasının adyabatik olarak ısıtılmış iç bölgesinin (91) iş
- 30 parçasının dövme sıcaklığında veya yakınında bir sıcaklığa soğumasına izin verilirken, iş parçasının dış yüzey bölgesi (92) iş parçasının dövme kısmında veya yakınında bir sıcaklığa ısıtılır (80).
- 35 İş parçası daha sonra üçüncü ortogonal eksen veya C-ekseni

yönünde majör redüksiyon aralayıcı yüksekliğine (93) preslenerek dövülür. C-ekseni (93) üzerindeki majör redüksiyon aralayıcı yüksekliğine preslemeden C redüksiyonu olarak bahsedilir. C redüksiyonundan (93) sonra, isteğe bağlı olarak, iş parçasının adyabatik olarak ısıtılmış iç bölgesinin (94), iş parçasının dövme sıcaklığında veya yakınında bir sıcaklığa soğumasına izin verilirken, iş parçasının dış yüzey bölgesi (95) iş parçası dövme sıcaklığında veya yakınında bir sıcaklığına ısıtılır (95).

10

İş parçası, daha sonra A-ekseni üzerinde (96), majör redüksiyon aralayıcı yüksekliğinden daha büyük olan bir birinci blokaj redüksiyon aralayıcı yüksekliğine preslenerek dövülür. Birinci blokaj redüksiyonunun gerginlik oranı, iş parçasının bir iç bölgesini adyabatik olarak ısıtmak için yeterli olsa da, sınırlayıcı olmayan bir düzenlemede, birinci blokaj redüksiyonu sırasındaki adyabatik ısıtma, birinci blokaj redüksiyonunda meydana gelen gerginliğin iş parçasını büyük ölçüde adyabatik olarak ısıtmak için yeterli olamaması nedeniyle oluşmayabilir. İsteğe bağlı olarak, iş parçasının adyabatik olarak ısıtılmış iç bölgesinin (97) iş parçasının dövme sıcaklığında veya yakınında bir sıcaklığa soğumasına izin verilirken, iş parçasının dış yüzey bölgesi (98) iş parçasının dövme kısmında veya yakınında bir sıcaklığa ısıtılır (80).

25

İş parçası bir sonraki B-ekseninde (99), majör redüksiyon aralayıcı yüksekliğinden daha büyük olan ikinci bir blokaj redüksiyon aralayıcı yüksekliğine preslenerek dövülür. Birinci ve ikinci blokaj redüksiyonları, iş parçasını büyük ölçüde iş parçasının dövme şeklini geri getirmek için uygulanır. Burada açıklanan birinci ve ikinci blokaj redüksiyonlarının tümünün gerginlik oranı, iş parçasının bir iç bölgesini adyabatik olarak ısıtmak için yeterli olsa da, sınırlayıcı olmayan bir düzenlemede, birinci blokaj ve ikinci blokaj redüksiyonları

35

sırasında adyabatik ısıtma meydana gelmeyebilir; birinci ve ikinci blokaj redüksiyonlarında meydana gelen toplam gerginlik, iş parçasını adyabatik olarak ısıtmak için yeterli olmayabilir. İsteğe bağlı olarak, iş parçasının adyabatik olarak ısıtılmış iç bölgesinin (100) iş parçasının dövme sıcaklığında veya yakınında bir sıcaklığa soğumasına izin verilirken, iş parçasının dış yüzey bölgesi (101) iş parçasının dövme kısmında veya yakınında bir sıcaklığa ısıtılır (80).

10

ŞEKİL 5'e referansla, sınırlayıcı olmayan düzenlemelerde, bir veya daha fazla pres dövme adımı (75), (78), (81), (84), (87), (90), (93), (96) ve (99), titanyum alaşımlı iş parçasının toplam en az 1.0 gerginlik alınana kadar tekrarlanır (102).

15

Bir başka sınırlayıcı olmayan düzenlemede, bir veya daha fazla pres dövme adımı (75), (78), (81), (84), (87), (90), (93), (96) ve (99) titanyum alaşımlı iş parçasında toplam en az 1.0 ila 3.5'den daha az bir aralıkta bir toplam gerginlik elde edilinceye kadar tekrarlanır (102). Pres dövme adımlarının

20

herhangi birinde (75), (78), (81) istenen gerginliğin en az 1.0 veya alternatif olarak istenen gerginliğin, en az 1.0 ila 3.5'den az bir aralıkta gerçekleştirilmesinden sonra kabul edilecektir. Pres dövme adımlarının (75), (78), (81), (84), (87), (90), (93), (96) ve (99) herhangi birinde, isteğe bağlı

25

ara dengeleme adımları (yani, iş parçasının iç bölgesinin soğumasına (76), (79), (82), (85), (88), (91), (94), (97) veya (100) ve iş parçasının dış yüzeyine (77), (80), (83), (86), (89), (92), (95), (98) veya (101) ısıtmaya izin verilmesi) ihtiyaç duyulmaz ve iş parçası ortam sıcaklığına

30

soğutulabilir.

Sınırlayıcı olmayan bir düzenlemede soğutma, örneğin su verme gibi sıvı söndürmeyi içerir. Sınırlayıcı olmayan başka bir düzenlemede soğutma, soğutma oranıyla soğutma veya daha hızlı soğutma içerir.

35

Yukarıda tarif edilen işlem, majör redüksiyon aralayıcı yüksekliğine dövme tekrarlanan bir pres dizisini ve ardından birinci ve ikinci blokaaj redüksiyon aralayıcı yüksekliklerine presleme işlemini içerir.

Yukarıda tarif edilen sınırlayıcı olmayan düzenlemede açıklandığı gibi bir toplam MAF döngüsünü temsil eden bir dövme sekansı, A-B-C-B-C-A-C-A-B olarak gösterilebilir, burada kalın ve altı çizili olan redüksiyonlar (vuruşlar), majör redüksiyon aralayıcı yüksekliğine preslenerek dövülür, ve koyu veya altı çizili olmayan redüksiyonlar, birinci veya ikinci blokaaj redüksiyonlarıdır. Mevcut açıklamaya göre MAF işleminin majör redüksiyon aralayıcı yükseklikleri ve birinci ve ikinci blokaaj redüksiyonları dahil olmak üzere tüm pres dövme redüksiyonlarının, iş parçasının iç bölgesini adyabatik olarak ısıtmak için yeterli olan yüksek bir gerginlik oranı, örneğin, ve bunlarla sınırlı olmamak üzere, 0.2 s^{-1} ila 0.8 s^{-1} aralığında veya 0.2 s^{-1} ila 0.4 s^{-1} aralığında bir gerginlik oranı ile gerçekleştirildiği anlaşılabacaktır.

Ayrıca, majör redüksiyonlara kıyasla, bu redüksiyonlarda daha düşük deformasyon derecesine bağlı olarak, birinci ve ikinci blokaaj redüksiyonları sırasında, adyabatik ısıtmanın büyük ölçüde oluşamayabileceği de anlaşılabacaktır. Ayrıca, isteğe bağlı adımlar olarak, iş parçasının adyabatik olarak ısıtılmış iç bölgesinin art arda ara pres dövme redüksiyonlarına izin verilir ve iş parçasının dış yüzeyi, burada açıklanan ısı yönetim sistemini kullanarak iş parçası dövme sıcaklığında veya yakınında bir sıcaklığa ısıtılır. Bu isteğe bağlı adımların, yöntem daha büyük boyutlu iş parçalarını işlemek için kullanıldığında daha yararlı olabileceğine inanılmaktadır. Burada tarif edilen A-B-C-B-C-A-C-A-B dövme sekansı düzenlemesinin iş parçasında en az 1.0 ila 3.5'den az bir toplam gerginlik elde edilene kadar tamamen veya kısmen

tekrarlanabileceği de anlaşılmalıdır.

İş parçasında şişkinlik, bir yüzey kalıbı kilidinin bir kombinasyonundan ve iş parçasının merkezine yakın sıcak bir malzemenin varlığından kaynaklanır. Şişkinlik arttıkça, her bir yüz merkezi, çatlamaya neden olabilecek gittikçe artan bir şekilde üç eksenli yüklere maruz kalır. A-B-C-B-C-A-C-A-B_ sekansında, blokaaj redüksiyonlarının kullanımı, her bir majör redüksiyon aralayıcı yüksekliğine pres dövme yapan her ara ürününde, iş parçasında çatlak oluşma eğilimini azaltır. Sınırlayıcı olmayan bir düzenlemede, iş parçası bir küp şeklinde olduğunda, bir birinci blokaaj redüksiyonu için birinci blokaaj redüksiyonu aralayıcı yüksekliği, majör redüksiyon aralayıcı yüksekliğinden % 40-60 daha geniş bir aralayıcı yükseklik olabilir. Sınırlayıcı olmayan bir düzenlemede, iş parçası bir küp şeklinde olduğunda, ikinci blokaaj redüksiyonu için ikinci blokaaj redüksiyon aralayıcı yüksekliği, majör redüksiyon aralayıcı yüksekliğinden % 15-30 daha geniş bir aralayıcı yüksekliğine sahip olabilir. Sınırlayıcı olmayan başka bir düzenlemede, birinci blokaaj redüksiyon aralayıcı yüksekliği, ikinci blokaaj redüksiyon aralayıcı yüksekliğine büyük ölçüde eşdeğer olabilir.

Mevcut açıklamaya göre ısı olarak yönetilen, yüksek gerginlik oranlı çok eksenli dövmeli sınırlandırıcı olmayan düzenlemelerde, en az 1.0 ila 3.5'den daha az aralıktaki toplam gerginlikten sonra, iş parçası ultra ince tanecik (UFG) boyutu olarak kabul edilen 4 µm veya daha az ortalama bir alfa parçacık taneciği boyutu içerir. Mevcut açıklamaya göre sınırlayıcı olmayan bir düzenlemede, toplam gerginliğin en az 1.0 ila 3.5'den az bir aralıkta uygulanması, eşit eksenli tanecikler üretir.

İsteğe bağlı ısı yönetim sisteminin çok eksenli dövme ve kullanımı içeren mevcut açıklamaya göre bir işlemin

sınırlayıcı olmayan bir düzenlemesinde, iş parçası pres kalıbı ara yüzü, grafit, cam ve/veya bilinen diğer katı yağlayıcılar gibi, ancak bunlarla sınırlı olmamak üzere, sıradan uzmanlığa sahip kişilerce bilinen yağlayıcılarla yağlanır. Mevcut

5 açıklamaya göre yöntemle işlenen bir titanyum alaşımı, Ti-6-4 alaşımından (UNS R56400) daha yavaş etkili alfa faz çökeltme ve büyüme kinetiği içerir ve bu gibi kinetik, burada "daha yavaş alfa kinetiği" olarak ifade edilebilir". Sınırlayıcı olmayan bir düzenlemede, daha yavaş alfa kinetiği, titanyum

10 alaşımındaki en yavaş yayılan alaşım türlerinin difüzyonunun, beta transus sıcaklığında (T_β) Ti-6 alaşımına alüminyumun difüzyonundan daha yavaş olması durumunda elde edilir. Örneğin, Ti-6-2-4-2 alaşımı, Ti-6-2-4-2 alaşımındaki silikon gibi ek tanecik sabitleme öğelerinin varlığının bir

15 sonucu olarak Ti-6-4 alaşımından daha yavaş alfa kinetiği sergiler. Ayrıca, Ti-6-2-4-6 alaşımı, Ti-6-4 alaşımından daha yüksek molibden içeriği gibi ilave beta stabilize edici alaşım ilavelerinin mevcudiyeti sonucunda Ti-6-4 alaşımından daha yavaş alfa kinetiğine sahiptir. Bu alaşımlarda daha yavaş alfa

20 kinetiğinin sonucu, yüksek gerginlik oranlı MAF'dan önce Ti-6-2-4-6 ve Ti-6-2-4-2 alaşımlarını tavlamanın, nispeten ince ve stabil bir alfa çıta boyutu ve Ti-6-4 alaşımı ve Ti-6-2-4-6 ve Ti-6-2-4-2 alaşımlarına göre daha hızlı alfa faz çökeltme ve büyüme kinetiği sergileyen diğer bazı titanyum

25 alaşımlarına kıyasla ince bir beta faz yapısı üretmesidir. "Daha yavaş alfa kinetiği" ibaresi bu açıklamanın başlarında daha ayrıntılı olarak ele alınmaktadır. Mevcut açıklamaya göre işlenebilecek Titanyum alaşımları Ti-6-2-4-2 alaşımı, Ti-6-2-4-6 alaşımı, ATI 425® alloy (Ti-4Al-2.5V alaşımı)

30 arasından seçilir, Ti-6-6-2 alaşımı ve Ti-6Al-7Nb alaşımından seçilir.

Mevcut açıklamaya göre yöntemin sınırlayıcı olmayan bir düzenlemesinde, beta tavlama aşağıdakileri içerir: iş

35 parçasının bir beta tavlama sıcaklığına ısıtılması; iş

parçasını, iş parçasında % 100 titanyum beta fazlı mikroyapı oluşturmak için yeterli bir tavlama süresi boyunca beta tavlama sıcaklığında tutmak; ve iş parçasının doğrudan iş parçasının dövme sıcaklığındaki bir sıcaklığa soğutulması.

- 5 Sınırlayıcı olmayan bazı düzenlemelerde beta tavlama sıcaklığı, titanyum alaşımının beta transus sıcaklığının 300° F (166.7° C) üzerindeki beta transus sıcaklığının bir sıcaklık aralığındadır. Sınırlayıcı olmayan düzenlemeler, 5 dakika ila 24 saat arasında bir beta tavlama süresi içerir. Teknikte
- 10 uzman bir kişi, mevcut tarifnameyi okuduktan sonra, diğer beta tavlama sıcaklıklarının ve beta tavlama sürelerinin mevcut açıklamanın düzenlemeleri kapsamında olduğunu ve örneğin nispeten büyük iş parçalarının nispeten daha yüksek beta tavlama sıcaklıkları ve/veya % 100 beta fazlı bir titanyum
- 15 mikroyapı oluşturmak için daha uzun beta tavlama süreleri gerektirebileceğini anlayacaktır.

- İş parçasının % 100 beta fazlı bir mikroyapı oluşturmak üzere bir beta tavlama sıcaklığında tutulduğu bazı sınırlayıcı olmayan düzenlemelerde, iş parçası ayrıca iş parçasını, iş
- 20 parçası dövme sıcaklığında veya çevre sıcaklığına yakın bir sıcaklığa kadar soğutmadan önce titanyum alaşımının beta faz alanındaki plastik bir deformasyon sıcaklığında plastik olarak deforme olabilir. İş parçasının plastik deformasyonu, iş parçasını dövme, çizme, kızgın dövme ve yüksek gerginlik
- 25 oranının çok eksenli en az birini içerebilir. Sınırlayıcı olmayan bir düzenlemede, beta faz bölgesindeki plastik deformasyon, iş parçasını 0.1 ila 0.5 aralığında bir kızdırılmış beta gerginliğine kızdırmayı içerir. Sınırlayıcı olmayan bazı düzenlemelerde, plastik deformasyon sıcaklığı,
- 30 titanyum alaşımının beta transus sıcaklığının üzerinde 300° F (166.7° C)'ye kadar olan titanyum alaşımının beta transus sıcaklığını içeren bir sıcaklık aralığındadır.

- ŞEKİL 6, iş parçasını beta transus sıcaklığının üstünde
- 35 plastik olarak deforme etmek ve doğrudan iş parçası dövme

sıcaklığına soğutmak için sınırlayıcı olmayan bir yöntem için bir sıcaklık-zaman termomekanik işlem şemasıdır.

5 ŞEKİL 6'da, sınırlayıcı olmayan bir yöntem (200), örneğin beta transus sıcaklığının (206) üzerindeki beta tavlama sıcaklığına (204) titanyum alaşımının tutulması veya iş parçasında tüm bir beta titanyum faz mikroyapısını oluşturmak için iş parçasında beta tavlama sıcaklığında (204) iş parçasının tutulması ya da "ıslatılmasını" (208) içeren, örneğin, Ti-6-4 alaşımlı 10 olanlardan daha yavaş olan alfa çökeltme ve büyüme kinetiğine sahip bir titanyum alaşımı içeren bir iş parçasını ısıtmayı (202) içerir.

15 Mevcut açıklamaya göre sınırlayıcı olmayan bir düzenlemede, ıslatıldıktan (208) sonra, iş parçası plastik olarak deforme edilebilir (210). Sınırlayıcı olmayan bir düzenlemede, plastik deformasyon (210) kızgın dövme içerir. Sınırlayıcı olmayan bir düzenlemede, plastik deformasyon (210) 0,3'lük gerçek bir gerginlik için kızgın dövme içerir. Sınırlayıcı 20 olmayan bir düzenlemede, plastik olarak deforme edici (210), bir beta tavlama sıcaklığında ısı olarak yönetilen yüksek gerginlik oranlı çok eksenli dövme (ŞEKİL 6'da gösterilmemiştir) içerir.

25 Yine ŞEKİL 6'ya referansla, beta faz alanındaki plastik deformasyondan (210) sonra, sınırlayıcı olmayan bir düzenlemede, iş parçası, titanyum alaşımının alfa+beta faz alanındaki (214) bir dövme sıcaklığına soğutulur (212). Sınırlayıcı olmayan bir düzenlemede soğutma (212), hava 30 soğutması veya hava soğutması ile elde edilenden daha hızlı bir oranda soğutma içerir. Sınırlayıcı olmayan başka bir düzenlemede soğutma, bunlarla sınırlı olmamak üzere, su verme gibi sıvıyla söndürmeyi içerir. Soğutmadan (212) sonra, iş parçası, mevcut açıklamanın sınırlayıcı olmayan 35 düzenlemelerine göre, yüksek gerginlik oranlı çok eksenli

dövülür (214). ŞEKİL 6'daki sınırlayıcı olmayan düzenlemede, iş parçasına 12 kez vurulur veya preslenerek dövülür, yani, iş parçasının üç ortogonal eksenini sekanssız bir şekilde her biri toplamda 4 kez pres dövmeye tabi tutulur. Başka bir deyişle, 5 ŞEKİL 2 ve 6'ya referansla, (a) - (isteğe bağlı b), (c) - (isteğe bağlı d) ve (e) - (isteğe bağlı f) adımlarını içeren döngü 4 kez gerçekleştirilir. ŞEKİL 6'daki sınırlayıcı olmayan düzenlemede, iş parçasına 12 kez vurulur veya preslenerek dövülür, yani, iş parçasının üç ortogonal eksenini 10 sekanssız bir şekilde her biri toplamda 4 kez pres dövmeye tabi tutulur. Çok eksenli dövme işleminden (214) sonra, iş parçası ortam sıcaklığına soğutulur (216). Sınırlayıcı olmayan bir düzenlemede, soğutma (216) hava soğutmayı veya hava soğutması ile elde edilenden daha hızlı bir şekilde 15 soğutmayı içerir; ancak, bunlarla sınırlı olmamak üzere, akışkan veya sıvıyla söndürme gibi diğer soğutma şekilleri, burada açıklanan düzenlemelerin kapsamı dahilindedir.

Mevcut açıklamaların sınırlayıcı olmayan bir yönü, alfa+beta faz 20 alanındaki iki sıcaklıkta dövme yapılan yüksek gerginlikteki çok eksenli bir eksen içerir. ŞEKİL 7, birinci iş parçası dövme sıcaklığında titanyum alaşımlı iş parçasının çok eksenli dövülmesini içeren, bu açıklamaya göre sınırlandırıcı olmayan bir yöntem için bir sıcaklık-zaman termomekanik işlem 25 şemasıdır; isteğe bağlı olarak yukarıda açıklanan ısı yönetim özelliğinin sınırlayıcı olmayan bir düzenlemesinin kullanılması; alfa+beta fazında ikinci bir iş parçası dövme sıcaklığına soğutma; ikinci iş parçasında dövme sıcaklığında titanyum alaşımlı iş parçasını çok eksenli dövme; ve isteğe 30 bağlı olarak burada açıklanan ısı yönetim özelliğinin sınırlayıcı olmayan bir düzenlemesinin kullanılması.

ŞEKİL 7'de, mevcut açıklamaya göre sınırlayıcı olmayan bir 35 yöntem (230), iş parçasını, alaşımın beta transus sıcaklığının (236) üstündeki bir beta tavlama sıcaklığına (234) ısıtmayı

- (232) ve iş parçasını tüm bir titanyum alaşımlı iş parçasında beta faz mikroyapısı oluşturmak üzere iş parçasını beta tavlama sıcaklığında (234) tutmayı veya ıslatmayı (238) içerir. Islatıldıktan sonra (238), iş parçası plastik olarak
- 5 deforme olabilir (240). Sınırlayıcı olmayan bir düzenlemede, plastik deformasyon (240) kızgın dövme içerir. Sınırlayıcı olmayan başka bir düzenlemede, plastik deformasyon (240), 0.3 gerginliğinde kızgın dövme içerir.
- 10 Yine sınırlayıcı olmayan başka bir düzenlemede, plastik parçaların (240) plastik olarak deforme edilmesi, iş parçasının bir beta tavlama sıcaklığında yüksek gerginlikteki çok eksenli dövme (Şekil 7'de gösterilmemiştir) içerir.
- 15 Yine ŞEKİL 7'ye referansla, beta faz alanındaki plastik deformasyondan (240) sonra, iş parçası (242), titanyum alaışımının alfa+beta faz alanındaki dövme sıcaklığını (244) birinci bir iş parçasına (242) soğutulur.
- Sınırlayıcı olmayan düzenlemelerde, soğutma (242), hava
- 20 soğutmasından ve sıvıyla söndürmeden birini içerir. Soğutmadan sonra (242), iş parçası birinci iş parçası dövme sıcaklığında yüksek gerginlikte çok eksenli (246) dövülür ve isteğe bağlı olarak burada tarif edilen sınırlayıcı olmayan düzenlemelere göre bir ısıl yönetim sistemi kullanılır. ŞEKİL 6'daki
- 25 sınırlayıcı olmayan düzenlemede, iş parçasına 12 kez vurulur veya preslenerek dövülür, yani, iş parçasının üç ortogonal eksenli sekanssız bir şekilde her biri toplamda 4 kez pres dövmeye tabi tutulur. Başka bir deyişle, ŞEKİL 2'ye referansla, (a)-(isteğe bağlı b), (c)-(isteğe bağlı d) ve (e)-
- 30 (isteğe bağlı f) adımlarını içeren döngü 4 kez gerçekleştirilir. Şekil 7'deki sınırlayıcı olmayan düzenlemede, yüksek gerginlik oranlı çok eksenli (246) birinci iş parçası dövme sıcaklığında iş parçasını dövme işleminden sonra, titanyum alaşımlı iş parçası (248) alfa+beta faz
- 35 alanında (250) bir ikinci iş parçasına dövme sıcaklığına (250)

soğutulur. Soğutmadan sonra (248), iş parçası, ikinci iş parçası dövme sıcaklığında yüksek gerginlik oranlı çok eksenli (250) dövülür, ve isteğe bağlı olarak burada tarif edilen sınırlayıcı olmayan düzenlemelere göre bir ısı yönetim sistemi kullanılır. ŞEKİL 7'deki sınırlayıcı olmayan düzenlemede, iş parçasına, toplam 12 kez sıcaklık işleyen ikinci iş parçasında vuruş ve dövme yapılır. Birinci ve ikinci iş parçası dövme sıcaklıklarında titanyum alaşımlı iş parçasına uygulanan vuruş sayısı, istenen gerçek gerginliğe ve istenen nihai tanecik boyutuna bağlı olarak değişebilir ve uygun vuruş sayısı mevcut açıklama dikkate alındığında gereksiz deneyler yapılmadan belirlenebilir İkinci iş parçası dövme sıcaklığında çok eksenli dövme (250) işleminden sonra, iş parçası ortam sıcaklığına (252) soğutulur. Sınırlayıcı olmayan düzenlemelerde, soğutma (252), bir hava soğutması ve ortam sıcaklığına soğutulması için bir sıvıyla söndürme içerir.

Sınırlayıcı olmayan bir düzenlemede, birinci iş parçası dövme sıcaklığı, titanyum alaşımının beta transus sıcaklığının, yani birinci iş parçasını dövme sıcaklığının $(T_1) T_\beta - 100^\circ F > T_1 \geq T_\beta - 500^\circ F$ aralığındaki titanyum alaşımının beta transus sıcaklığının $500^\circ F (277.8^\circ C)$ altında olan $100^\circ F$ 'nin $(55.6^\circ C)$ altındaki bir birinci iş parçası dövme sıcaklığı aralığındadır. Sınırlayıcı olmayan bir düzenlemede, ikinci iş parçası dövme sıcaklığı, titanyum alaşımının beta transus sıcaklığının altındaki $700^\circ F (388.9^\circ C)$ beta transus sıcaklığı altında $200^\circ F (277.8^\circ C)$ 'den daha düşük bir ikinci iş parçası dövme sıcaklık aralığındadır, yani ikinci iş parçası dövme sıcaklığı (T_2) , $T_\beta - 200^\circ F > T_2 \geq T_\beta - 700^\circ F$ aralığındadır. Sınırlayıcı olmayan bir düzenlemede, titanyum alaşımlı iş parçası Ti-6-2-4-2 alaşımı; birinci iş parçası sıcaklığı $1650^\circ F$ 'dir $(898.9^\circ C)$; ve ikinci iş parçası dövme sıcaklığı $1500^\circ F$ 'dir $(815.6^\circ C)$. ŞEKİL 8, eşzamanlı olarak, burada sınırlandırıcı olmayan düzenlemelere göre iş parçası

- 5 üzerinde ısıtılarak yönetilen yüksek gerginlik oranlı çok eksenli dövme kullanılırken beta transus sıcaklığının üstünde bir titanyum alaşımı içeren bir iş parçasının plastik olarak deforme edilmesi ve iş parçasının iş sıcaklığının dövme sıcaklığına soğutulması için bir iş parçasının plastik olarak deforme edilmesi için mevcut açıklamaya göre sınırlandırıcı olmayan bir yöntem düzenlemesinin sıcaklık-zaman termomekanik işlem şemasıdır.
- 10 ŞEKİL 8'de, bir titanyum alaşımının taneciğinin inceltilmesi için ısıtılarak yönetilen yüksek gerginlikteki çok eksenli dövmenin kullanıldığı sınırlayıcı olmayan bir yöntem (260), iş parçasının (262) titanyum alaşımının beta transus sıcaklığının (266) üstünde bir beta tavlama sıcaklığına (264) ısıtılmasını
- 15 ve iş parçasını iş parçasında (268) tüm bir beta faz mikroyapısını oluşturmak için beta tavlama sıcaklığında (264) ıslatmayı içerir.
- İş parçasının beta tavlama sıcaklığında ıslatılmasından (268)
- 20 sonra, iş parçası plastik olarak deforme edilir (270). Sınırlayıcı olmayan bir düzenlemede, plastik deformasyon (270), ısıtılarak yönetilen yüksek gerginlik oranlı çok eksenli dövme içerebilir. Sınırlayıcı olmayan bir düzenlemede, iş parçası beta transus sıcaklığı boyunca
- 25 soğurken, burada tarif edildiği gibi isteğe bağlı ısıtım sistemi kullanılarak, iş parçası yüksek gerginlik oranlı çok eksenli olarak tekrar tekrar dövülür (272). ŞEKİL 8, üç ara yüksek gerginlik oranlı çok eksenli dövme adımlarını (272) göstermekte olup, istenildiği gibi, daha fazla ya da daha az
- 30 ara yüksek gerginlik oranlı çok eksenli dövme adımlarının (272) olabileceği anlaşılabacaktır. Ara yüksek gerginlik oranlı çok eksenli dövme adımlarını (272), ıslatma sıcaklığında başlangıçtaki aşamasındaki yüksek gerginlik oranlı çok eksenli dövme adımı (270) ve titanyum alaşımının alfa+beta faz
- 35 alanındaki (274) nihai yüksek gerginlik oranlı çok eksenli

dövme adımı (274) aradadır. ŞEKİL 8, iş parçasının sıcaklığının tamamen alfa+beta faz alanında kaldığı bir son yüksek gerginlik oranlı çok eksenli dövme adımı gösterirken, mevcut tarifnamenin okunması üzerinde birden fazla çok eksenli dövme adımının taneciğinin daha fazla inceltilmesi için alfa+beta faz alanında gerçekleştirilebileceği anlaşılabilecektir. Mevcut açıklamanın sınırlayıcı olmayan düzenlemelerine göre, en az bir nihai yüksek gerginlik oranlı çok eksenli dövme adımı, tamamen titanyum alaşımlı iş parçasının alfa+beta faz alanındaki sıcaklıklarda gerçekleşir.

Çok eksenli dövme adımları (270), (272), (274), iş parçasının sıcaklığı titanyum alaşımının beta transus sıcaklığı boyunca soğuduğu için gerçekleştiğinden, ŞEKİL 8'deki gibi bir yöntem düzenlemesi burada "beta transus yüksek gerginlik oranlı çok eksenli dövme yoluyla" olarak ifade edilmektedir. Sınırlayıcı olmayan bir düzenlemede, ısı yönetim sistemi (ŞEKİL 3'teki 33), iş parçasının sıcaklığını, beta transus dövme sıcaklığındaki her bir vuruştan önce, homojen veya büyük ölçüde homojen bir sıcaklıkta tutmak ve isteğe bağlı olarak soğutma oranını yavaşlatmak için beta transus çok eksenli dövme yoluyla kullanılır. Nihai çok eksenli dövme işleminden (274) sonra alfa+beta faz alanında iş parçası dövme sıcaklığı, iş parçası çevre sıcaklığına soğutulur (276). Sınırlayıcı olmayan bir düzenlemede soğutma (276), hava soğutmayı içerir.

Yukarıda açıklandığı gibi, ısı yönetim sistemi kullanılarak çok eksenli dövmenin sınırlayıcı olmayan düzenlemeleri, geleneksel pres dövme ekipmanı kullanarak 25.8 cm²'den (4 inç kare) daha büyük enine kesitlere sahip titanyum alaşımlı iş parçalarını ve boyutlarını işlemek için kullanılabilir ve küp şeklindeki iş parçaları, tek tek baskı presinin özelliklerine uyacak şekilde ölçeklendirilebilir. β -tavllanmış yapıdaki alfa lamellerinin veya çıtaların, burada sınırlayıcı olmayan düzenlemelerde açıklanan iş parçası dövme sıcaklıklarında ince

düzgün alfa tanelerine kolayca parçalandığı tespit edilmiştir. İş parçası dövme sıcaklığının düşürülmesinin alfa parçacık boyutunu (tanecik boyutu) azalttığı da tespit edilmiştir.

- 5 Herhangi bir teoriye tutunmak istememekle birlikte, mevcut tarifanameye göre sınırlandırıcı olmayan ısı olarak yönetilen, yüksek gerginlik oranlı çok eksenli düzenlemelerde meydana gelen tanecik inceltmenin meta-dinamik yeniden kristalizasyon yoluyla gerçekleştiğine inanılmaktadır. Önceki
- 10 teknikte, yavaş gerginlik oranı çok eksenli dövme işleminde, gerginliğin malzemeye uygulanması sırasında anında dinamik yeniden kristalleşme meydana gelir. Mevcut açıklamaya göre yüksek gerginlik oranlı çok eksenli dövme işleminde, her bir deformasyonun veya dövme vuruşunun sonunda meta-dinamik
- 15 yeniden kristalleşmenin gerçekleştiğine inanılırken, en azından iş parçasının iç bölgesi adyabatik ısınmadan sıcaktır. Artık haldeki adyabatik ısı, iç bölge soğutma süreleri ve dış yüzey bölge ısıtması, mevcut açıklamaya göre sınırlandırılmamış ısı olarak yönetilen, yüksek gerginlik
- 20 oranlı çok eksenli dövme yöntemlerinde tanecik inceltmesinin derecesini etkiler.

- Mevcut buluş sahipleri, çok-eksenli dövme ve bir ısı yönetim sistemi ve bir titanyum alaşımı içeren bir küp şeklindeki iş
- 25 parçasının kullanılması dahil olmak üzere yukarıda tarif edilen bir işleme göre bazı avantajlar sağlayan mevcut açıklamaya göre başka alternatif yöntemler de geliştirmiştir. Burada açıklanan ısı olarak yönetilen çok eksenli dövmenin belirli düzenlemelerinde kullanılan kübik iş parçası
- 30 geometrisinin birinin veya daha fazlasının (1) kullanılması, (2) kalıp soğutması (yani, kalıpların sıcaklığının, iş parçası dövme işleminin sıcaklığının önemli ölçüde altına düşmesine izin verilmesi;) ve (3) yüksek gerginlik oranlarının kullanılması, iş parçasının bir çekirdek bölgesi içinde
- 35 dezavantajlı bir şekilde gerginliği konsantre edebilir.

Mevcut açıklamaya göre alternatif yöntemler, kütük boyutunda bir titanyum alaşımlı iş parçası boyunca genel olarak homojen ince tanecik, çok ince tanecik veya ultra ince tanecik boyutu elde edebilir.

Başka bir deyişle, bu gibi alternatif yöntemlerle işlenen bir iş parçası, sadece iş parçasının merkezi bir bölgesinde değil, iş parçası boyunca da bir ultra ince tanecik mikroyapısı gibi istenen tanecik boyutunu içerebilir. Bu gibi alternatif yöntemlerin sınırlayıcı olmayan düzenlemeleri, 25.8 cm²'den (4 inç kare) daha büyük enine kesitlere sahip kütükler üzerinde gerçekleştirilen "çoklu kızdırma ve çekme" adımlarını içerir.

Çok sayıda kızdırma ve çekme adımı, esas olarak iş parçasının orijinal boyutlarını korurken, iş parçası boyunca düzgün ince tanecikli, çok ince tanecikli veya ultra ince tanecikli mikroyapı kazandırmayı amaçlamaktadır.

Çünkü bu alternatif yöntemler, Çoklu Kızdırma ve Çektirme adımlarını içerir, burada "MUD" yönteminin düzenlemeleri olarak anılırlar. MUD yöntemi ağır plastik deformasyon içerir ve kütük boyutunda (örneğin, 30 inç (76.2 cm) uzunluğunda) titanyum alaşımlı iş parçalarında homojen ultra ince tanecikler üretebilir. Mevcut açıklamaya göre MUD yönteminin sınırlayıcı olmayan düzenlemelerinde, kızgın dövme ve çekme dövme aşamaları için kullanılan gerilme oranları 0001 s⁻¹ ila 0.002 s⁻¹ aralığındadır. Buna karşılık, tipik olarak geleneksel açık kalıp kızdırma ve çekme dövmesi için kullanılan gerilme oranları, 0001 s⁻¹ ila 0.002 s⁻¹ aralığındadır.

MUD için gerginlik oranı, dövme sıcaklığını kontrol altında tutmak için iş parçasında adyabatik ısınmayı önleyecek kadar yavaştır, ancak gerginlik oranı ticari uygulamalar için kabul edilebilirdir.

MUD yönteminin sınırlayıcı olmayan düzenlemelerinin şematik bir gösterimi ŞEKİL 9'da verilmiştir ve MUD yönteminin belirli düzenlemelerinin bir akış şeması Şekil 10'da verilmiştir.

- 5 ŞEKİL 9 ve 10'a referansla, birden fazla kızdırma ve çekme adımı kullanarak bir titanyum alaşımı içeren bir iş parçasındaki taneciklerin inceltilmesi için sınırlayıcı olmayan bir yöntem (300), uzun bir titanyum alaşımli iş parçasının (302) titanyum alaşımının alfa+beta faz alanındaki
- 10 bir iş parçasına dövme sıcaklığına ısıtılmasını içerir. Sınırlayıcı olmayan bir düzenlemede, uzun iş parçasının şekli bir silindir veya silindir benzeri bir şekildir. Sınırlayıcı olmayan başka bir düzenlemede iş parçasının şekli, sekizgen bir silindir veya bir sağ sekizgendir. Uzun iş parçası,
- 15 başlangıçlı bir enine kesit boyutuna sahiptir. Örneğin, başlangıç iş parçasının bir silindir olduğu mevcut açıklamaya göre MUD yönteminin sınırlayıcı olmayan bir düzenlemesinde, başlangıç enine kesit boyutu silindirin çapıdır. Başlangıç iş parçasının sekizgen bir silindir olduğu mevcut açıklamaya göre
- 20 MUD yönteminin sınırlayıcı olmayan bir düzenlemesinde, başlangıç enine kesit boyutu, sekizgen kesitin sınırlandırılmış dairesinin çapıdır; yani, sekizgen kesitin tüm köşelerinden geçen dairenin çapıdır.
- 25 Uzun iş parçası iş parçası dövme sıcaklığındayken, iş parçasına kızgın dövme yapılır (304). Kızgın dövme (304) sonrası, sınırlı olmayan bir düzenlemede, iş parçası 90 derece oryantasyona (306) döndürülür ve daha sonra çoklu geçişli çekme dövme (312) işlemine tabi tutulur. İş parçasının gerçek
- 30 dönüşü isteğe bağlıdır ve adımın amacı, iş parçasını, çoklu geçişli dövme (312) adımları sonrası için bir dövme cihazına göre doğru oryantasyona (bkz. ŞEKİL 9) yönlendirmektir.

- Çoklu geçişli çekme dövme işlemi, iş parçasını, dönme yönünde
- 35 (ok 310 yönü ile gösterilen) artan şekilde döndürmeyi (ok 310

- ile tasvir edilmiştir), ardından her dönme artışından sonra iş parçasını çekme dövme (312) içerir. Sınırlayıcı olmayan düzenlemelerde, artan şekilde dönen (310) ve çekme dövme (312) işlemi, iş parçası başlangıç enine kesit boyutunu içerene kadar tekrar edilir. Isıtma, kızgın dövme ve çoklu geçişli çekme dövme aşamaları, iş parçasında en az 1.0 ila 3.5'den daha düşük bir toplam gerginlik elde edilinceye kadar tekrarlanır.
- 10 Mevcut açıklamanın bir yönü, sınırlandırıcı olmayan düzenlemelerde daha fazla ultra ince tanecik boyutu ile sonuçlanan titanyum alaşımlı iş parçasının ciddi plastik deformasyonuna neden olmak için yeterli olan kızgın ve çoklu geçişli çekme adımları sırasında bir gerginlik oranı kullanmaktır. Sınırlayıcı olmayan bir düzenlemede, kızgın dövme işleminde kullanılan bir gerginlik oranı, 0.001 s^{-1} ila 0.003 s^{-1} aralığındadır. Sınırlayıcı olmayan başka bir düzenlemede, çoklu geçişli çekme dövme adımlarında kullanılan bir gerilme oranı, 0.01 s^{-1} den 0.02 s^{-1} ye kadardır. Bu aralıklardaki gerginlik oranlarının, iş parçası sıcaklık kontrolünü sağlayan ve ekonomik olarak kabul edilebilir bir ticari uygulama için yeterli olduğu tespit edilen iş parçasının adyabatik ısınması ile sonuçlanmadığı '538 Uygulamasında açıklanmıştır.
- 25 Sınırlayıcı olmayan bir düzenlemede, MUD yönteminin tamamlanmasından sonra, iş parçası büyük ölçüde örneğin silindir (314) veya sekizgen silindir (316) gibi başlangıç uzatma maddesinin orijinal boyutlarına sahiptir. Diğer
- 30 sınırlayıcı olmayan bir düzenlemede, MUD yönteminin tamamlanmasının ardından, iş parçası, başlangıç iş parçası ile büyük ölçüde aynı enine kesite sahiptir. Sınırlayıcı olmayan bir düzenlemede, tek bir kızdırma, iş parçasını, iş parçasının başlangıç enine kesitini içeren bir şekle döndürmek için çok
- 35 sayıda çekme vuruşu ve ara dönüşler gerektirir.

İş parçasının bir silindir şeklinde olduğu MUD yönteminin sınırlayıcı olmayan bir düzenlemesinde, örneğin, artımlı olarak döndürme ve çekme dövme işlemleri ayrıca silindirik iş parçası 360° döndürülene ve her artışta çekme dövme yapılana kadar silindirik iş parçasını 15° 'lik artışlarla döndürmek ve ardından çekme dövme yapmak için birden fazla adımı içerir.

İş parçasının bir silindir şeklinde olduğu MUD yönteminin sınırlayıcı olmayan bir düzenlemesinde, her bir kızgın dövmeden sonra, iş parçasını büyük ölçüde enine kesit boyutunun başlangıcına getirmek için art arda kızgın dövme adımları arasındaki artışa sahip yirmi dört çekme dövme adımı kullanılır.

Sınırlayıcı olmayan bir düzenlemede, iş parçası sekizgen bir silindir şeklindedir; artımlı olarak döndürme ve çekme dövme işlemleri ayrıca silindirik iş parçası 360° boyunca döndürülene ve her artışta çekme dövme yapılana kadar silindirik iş parçasını 45°'lik artışlarla döndürmek ve ardından çekme dövme yapmak için birden fazla adımı içerir.

İş parçasının sekizgen bir silindir şeklinde olduğu MUD yönteminin sınırlayıcı olmayan bir düzenlemesinde, her bir kızgın dövmeden sonra, iş parçasını başlangıçtaki enine kesit boyutuna getirmek için iş parçasının artan dönüşü ile ayrılmış sekiz dövme adımı kullanılır.

MUD yönteminin sınırlayıcı olmayan düzenlemelerinde, sekizgen bir silindirin işlemden geçirilmesinin, ekipmanla işlenen bir silindirin işlemden geçirilmesinden daha kesin olduğu gözlenmiştir. Ayrıca, bir MUD yönteminin sınırlayıcı olmayan bir düzenlemesinde ekipmanın kullanılmasıyla sekizgen bir silindirin işlemden geçirilmesinin, burada açıklanan ısı olarak yönetilen yüksek gerginlik oranlı MAF'nin sınırlayıcı olmayan düzenlemelerinde el maşası kullanarak küp şeklindeki

bir iş parçasının işlemiden geçirilmesinden daha kesin olduğu gözlenmiştir. Mevcut tarifnamenin dikkate alınmasıyla, her biri birkaç çekme dövme adımı ve belirli bir dereceye kadar ara dereceli artımlı rotasyonları içeren diğer çekme dövme sekansları, diğer enine kesitsel kütük şekilleri için kullanılabilir, böylece çekme dövme işleminden sonra iş parçasının son şekli büyük ölçüde kızgın dövme işleminden önceki iş parçasının başlangıç şekli ile aynı kalır. Bu gibi diğer olası sekanslar, teknikte uzman bir kişi tarafından gereksiz deney yapılmadan belirlenebilir ve bu açıklamanın kapsamı dahilindedir.

Mevcut açıklamaya göre MUD yönteminin sınırlayıcı olmayan bir düzenlemesinde, bir iş parçası dövme sıcaklığı bir iş parçası dövme sıcaklığı aralığında bir sıcaklık içerir. Sınırlayıcı olmayan bir düzenlemede, iş parçası dövme sıcaklığı aralığı, iş parçasının titanyum alaşımının beta transus sıcaklığının (T_{β}) 100° F (55.6° C) altından, iş parçasının titanyum alaşımının beta transus sıcaklığının altındaki Titanyum alaşımının beta transus sıcaklığının 700° F (388.9° C) yüksekliğine kadar seyreder. Yine sınırlayıcı olmayan başka bir düzenlemede, iş parçası dövme sıcaklığı aralığı, titanyum alaşımının beta transus sıcaklığının 300° F (166.7° C) altından, titanyum alaşımının beta transus sıcaklığının 625° F (347° C) yüksekliğine kadar seyreder. Sınırlayıcı olmayan bir düzenlemede, bir iş parçası dövme sıcaklığı aralığının düşük ucu, teknikte sıradan uzmanlığa sahip bir kişi tarafından belirlenebildiği üzere alfa+beta faz alanında, dövme vuruşu sırasında iş parçasının yüzeyinde önemli bir hasarın oluşmadığı bir sıcaklıktır.

Mevcut açıklamaya göre MUD yönteminin sınırlayıcı olmayan bir düzenlemesinde, yaklaşık 1820° F (993.3) beta transus sıcaklığına (T_{β}) sahip olan bir Ti-6-2-4-2 alaşımı için dövme sıcaklığı aralığı iş parçası, örneğin, 1120° F (604.4° C) ila

1720F (937.8° C) olabilir veya başka bir düzenlemede 1195F (646.1° C) ila 1520° F (826.7° C) olabilir.

5 MUD yönteminin sınırlayıcı olmayan düzenlemeleri, çoklu yeniden ısıtma adımlarını içerir. Sınırlayıcı olmayan bir düzenlemede, titanyum alaşımlı iş parçası, titanyum alaşımlı iş parçasını kızdırdıktan sonra iş parçasının dövme sıcaklığına ısıtılır. Sınırlayıcı olmayan başka bir düzenlemede titanyum alaşımlı iş parçası, çoklu geçişli çekme 10 dövme işleminin çekme aşamasından önce iş parçası dövme sıcaklığına ısıtılır.

15 Sınırlayıcı olmayan başka bir düzenlemede, iş parçası, asıl iş parçası sıcaklığını iş parçasının kızdırma veya çekme dövme işleminden sonra iş parçası dövme sıcaklığına geri dönme veya yakınlığı getirmek için gereken şekilde ısıtılır.

20 MUD yönteminin düzenlemelerinin, ayrıca bir titanyum alaşımı içeren bir iş parçasında ultra ince tanecikler yaratmayı amaçlayan ciddi plastik deformasyon olarak da adlandırılan fazladan bir çalışma veya aşırı deformasyon sağladığı tespit edilmiştir. Herhangi bir özel çalışma teorisine bağlı kalmaya niyet edilmeksizin, sırasıyla silindirik ve sekizgen silindirik iş parçalarının yuvarlak veya sekizgen enine kesit 25 şeklinin, sırasıyla, MUD yöntemi sırasında iş parçasının enine kesit alanı boyunca kare veya dikdörtgen enine kesit şeklindeki iş parçalarından daha eşit gerginlik dağıttığına inanılmaktadır. İş parçası ile dövme kalıbı arasındaki sürtünmenin zararlı etkisi iş parçasının kalıpla temas ettiği 30 alanın azaltılmasıyla da azaltılır.

Ek olarak, MUD metodu sırasındaki sıcaklığın azaltılmasının nihai tanecik boyutunu kullanılan spesifik sıcaklığın özelliği olan bir boyuta düşürdüğü de tespit edilmiştir. ŞEKİL 10'a 35 referansla, bir iş parçasının tanecik boyutunu inceltmek için

bir yöntemin (400) sınırlayıcı olmayan bir düzenlemesinde, iş parçasını iş parçası dövme sıcaklığında MUD yöntemi ile işledikten sonra iş parçasının sıcaklığı (416) ikinci bir iş parçası dövme sıcaklığına soğutulabilir. Sınırlayıcı olmayan
5 bir düzenlemede, iş parçasını, ikinci iş parçasına dövme ısıasına göre soğuttuktan sonra, iş parçası, ikinci iş parçası dövme sıcaklığında (418) kızdırılarak dövülür. İş parçası döndürülür (422) veya aksi takdirde sonraki çekme dövme adımları için dövme presine göre yönlendirilir. İş parçası,
10 ikinci iş parçası dövme sıcaklığında (422) çok adımlı çekme dövmeye tabi tutulur. İkinci iş parçası dövme sıcaklığında (422) çok adımlı bir çekme dövme işlemi, iş parçasını artan bir şekilde dönme yönünde (42) döndürmeyi (bkz. ŞEKİL 9) ve her bir dönme artışından sonra ikinci iş dövme sıcaklığında
15 (426) çekme dövmeyi içerir. Sınırlayıcı olmayan bir düzenlemede, iş parçası başlangıç enine kesit boyutunu içerinceye kadar kızdırma, artımlı şekilde döndürme (424) ve çekme dövme adımları tekrarlanır (426). Sınırlayıcı olmayan bir başka düzenlemede, ikinci iş parçası sıcaklığında (418)
20 kızdırma, döndürme (420) ve çoklu çekme dövme (422) adımları, iş parçasında 1.0 ila 3.5'den daha az olan toplam gerginlik elde edilinceye kadar tekrarlanır. Titanyum alaşımlı iş parçasına istenen herhangi bir toplam gerginlik verilinceye kadar MUD yönteminin sürdürülebildiği kabul edilmektedir.

25

Çoklu sıcaklıklı bir MUD yöntemi düzenlemesi içeren sınırlandırıcı olmayan bir düzenlemede, iş parçası dövme sıcaklığı veya birinci iş parçası dövme sıcaklığı yaklaşık 1600° F'dir (871.1° C) ve ikinci iş parçası dövme sıcaklığı
30 yaklaşık 1500° F'dir (815,6° C).

Bir üçüncü iş parçası dövme sıcaklığı, dördüncü bir iş parçası dövme sıcaklığı ve benzeri gibi birinci ve ikinci iş parçası dövme sıcaklığından daha düşük olan sonraki iş parçası dövme
35 sıcaklıkları, mevcut açıklamanın sınırlayıcı olmayan

düzenlemeleri kapsamındadır.

5 Dövme işlemi ilerledikçe, tanecik inceltme işlemi sabit bir sıcaklıkta akış stresini azaltır. Ardışık kızdırma ve çekme adımları için dövme sıcaklığının düşürülmesinin akış gerginliğini sabit tuttuğu ve mikroyapısal inceltme oranını arttırdığı tespit edilmiştir.

10 Mevcut açıklamaya göre MUD'un sınırlayıcı olmayan düzenlemelerinde, en az 1.0 ila 3.5 aralığındaki toplam gerginliğin titanyum alaşımlı iş parçalarında eşit eksenli eşdeğer alfa ultra ince tanecikli bir mikroyapıya yol açması beklenmektedir.

15 Mevcut açıklamanın bir yönü, bir iş parçasının MUD yöntemiyle işlenmesinden sonra, iş parçasının sıcaklığı daha sonra titanyum alaşımının beta transus sıcaklığının üstünde ısıtılmadığı sürece, inceltilmiş tanecik boyutunun kabalaştırılmadan müteakip deformasyon adımlarının gerçekleştirilmesi olasılığını içerir. Örneğin, sınırlayıcı olmayan bir düzenlemede, MUD yönteminden sonraki müteakip bir deformasyon uygulaması, titanyum alaşımının alfa+beta faz alanındaki sıcaklıklarda çekme, çoklu çekme, kızgın dövme veya bu iki veya daha fazla bu tekniklerin herhangi bir
20 kombinasyonunu içerebilir. Sınırlayıcı olmayan bir düzenlemede müteakip deformasyon veya dövme aşamaları, silindir benzeri veya başka uzunlamasına iş parçasının başlangıç kesit boyutunun, örneğin, titanyum alaşımlı iş parçası içindeki tek boyutlu bir ince tanecikli, çok ince
25 tanecikli veya ultra ince tanecikli yapıyı muhafaza ederken, enine kesitsel boyutun bir yarısı, enine kesitsel boyutun dörtte biri gibi, bunlarla sınırlı olmamak üzere, enine kesitine oranını azaltmak için çoklu geçişli çekme dövmesi, kızgın dövme ve çekme dövme kombinasyonunu içerir. İş
30 parçası, bir Ti-6-2-4-2 alaşımından, bir Ti-6-2-4-6

alaşımından, ATI 425® titanyum alaşımından (Ti-4Al-2.5V) ve bir Ti-6-6-2 alaşımından seçilen bir titanyum alaşımıdır.

- 5 Mevcut açıklamanın MUD düzenlemelerine göre iş parçasının alfa+beta faz alanındaki iş parçasına dövme sıcaklığına ısıtılmasından önce, sınırlayıcı olmayan bir düzenlemede, iş parçası, beta tavlama sıcaklığında tutulan bir beta tavlama sıcaklığına ısıtılabilir, iş parçasında % 100 beta fazlı bir titanyum mikroyapı oluşturmak için yeterli beta tavlama
- 10 süresinde tutulabilir ve ortam sıcaklığına soğutulabilir. Sınırlayıcı olmayan bir düzenlemede, beta tavlama sıcaklığı, titanyum alaşımının beta transus sıcaklığının üstünde 300° F (166.7° C) 'ye kadar olan titanyum alaşımının beta transus sıcaklığını içeren bir beta tavlama sıcaklık aralığındadır.
- 15 Sınırlayıcı olmayan bir düzenlemede, beta tavlama süresi 5 dakika ila 24 saat arasındadır.
- Sınırlayıcı olmayan bir düzenlemede, iş parçası, iş parçası ile dövme kalıpları arasındaki sürtünmeyi azaltan bir yağlama kaplamasıyla tüm veya belirli yüzeylerde kaplanan bir
- 20 kütüktür.

- Sınırlayıcı olmayan bir düzenlemede, yağlayıcı kaplama, grafit ve cam yağlayıcı gibi, ancak bunlarla sınırlı olmayan katı bir yağlayıcıdır. Şimdi veya bundan sonra teknikte sıradan
- 25 uzmanlığa sahip bir kişi tarafından bilinen diğer yağlama kaplamaları mevcut açıklamanın kapsamı dahilindedir. Ek olarak, silindir benzeri veya başka uzunlamasına şekilli iş parçalarını kullanan MUD yönteminin sınırlayıcı olmayan bir düzenlemesinde, iş parçası ile dövme kalıpları arasındaki
- 30 temas alanı, çok eksenli bir küpün çok eksenli dövme alanındaki temas alanına göre küçüktür. iş parçası şeklinde. Örneğin, 10.2 cm (4 inç) küp ile, küpün tüm 10.2 cm x 10.2 cm (4 inç x 4 inç) yüzlerinden ikisi, kalıpla temas halindedir. 1.52 m (5 fit) uzunluğu ile, kütük uzunluğu, tipik 35.6 cm (14
- 35 inç) uzun kalıptan daha büyüktür ve düşük temas alanı, düşük

kalıp sürtünmesi ve daha homojen bir titanyum alaşımlı iş parçası mikroyapısı ve makroyapı ile sonuçlanır.

- 5 Bu açıklamanın MUD düzenlemelerine göre alfa+beta faz alanındaki iş parçasına dövme sıcaklığına bir titanyum alaşımı içeren iş parçasının ısıtılmasından önce, sınırlayıcı olmayan bir düzenlemede iş parçası, titanyum alaşımında % 100 beta fazı oluşturmak için yeterli bir beta tavlama süresinde tutulduktan ve titanyum alaşımında ortam sıcaklığına
- 10 soğutulmadan önce, titanyum alaşımının beta fazı alanında plastik deformasyon sıcaklığında plastik olarak deforme edilir. Sınırlayıcı olmayan bir düzenlemede, plastik deformasyon sıcaklığı, beta tavlama sıcaklığına eşittir. Başka bir sınırlayıcı olmayan düzenlemede, plastik deformasyon
- 15 sıcaklığı, titanyum alaşımının beta transus sıcaklığından 300° F (166.7° C) daha yüksek titanyum alaşımının beta transus sıcaklığını içeren plastik bir deformasyon sıcaklık aralığındadır.
- 20 MUD yönteminin sınırlayıcı olmayan bir düzenlemesinde, iş parçasını titanyum alaşımının beta faz alanında plastik olarak deforme etmek, titanyum alaşımlı iş parçasını çekme dövmeden, kızgın dövmeden ve yüksek gerginlik oranlı çok eksenli dövmeden en az birini içerir. Sınırlayıcı olmayan bir başka
- 25 düzenlemede, iş parçasını titanyum alaşımının beta faz alanında plastik olarak deforme etmek, mevcut açıklamanın sınırlayıcı olmayan düzenlemelerine göre çoklu kızdırma ve çekme dövme işlemini içerir ve burada iş parçasını, iş parçasının dövme parçasında veya yakınında bir sıcaklığa
- 30 soğutmak sıcaklık, hava soğutmayı içerir. Yine sınırlayıcı olmayan başka bir düzenlemede, iş parçasını titanyum alaşımının beta faz alanında plastik olarak deforme etmek, iş parçasını kızgın dövme tabi tutarak yükseklikte veya uzunluk gibi başka bir boyutta % 30-35'lik bir azalmayı içerir.

Mevcut açıklamanın MUD yönteminin bir başka yönü, dövme sırasında dövme kalıplarının ısıtılmasını içerebilir. Sınırlayıcı olmayan bir düzenleme, iş parçasını, iş parçasının dövme sıcaklığının 100° F (55.6° C) altına kadar olan iş parçası dövme sıcaklığıyla sınırlanan bir sıcaklık aralığındaki sıcaklığa çıkarmak için kullanılan bir dövmenin ısıtma kalıplarını içerir. Takip eden örneklerin, mevcut buluşun kapsamını sınırlamadan bazı sınırlayıcı olmayan düzenlemeleri daha fazla tarif etmesi amaçlanmaktadır.

10 Teknikte sıradan uzmanlığa sahip kişiler, aşağıdaki istemlerin varyasyonlarının, sadece istemlerle tanımlanan buluş kapsamında mümkün olduğunu takdir edecektir.

ÖRNEK 1

Bir Ti-6-2-4-2 alaşımı çubuğu, endüstride, tipik olarak Ti-6-2-4-2 alaşımı işlemek için kullanılan AMS 4976 şartname numarası ile tanımlanan ticari bir dövme işlemine göre işlenmiştir. AMS 4976 şartnamesine referansla, sıradan uzmanlığa sahip kişiler, şartnamede belirtilen mekanik özellikleri ve mikroyapıyı elde etmek için işlemin özelliklerini anlarlar.

İşlemden sonra, alaşım metalografik olarak hazırlanmış ve mikroyapı mikroskobik olarak değerlendirilmiştir. ŞEKİL 11 (a) 'ya göre hazırlanan alaşımın mikrografında gösterildiği gibi, mikroyapı 20 µm veya daha büyük olan alfa tanecikleri (görüntüdeki daha açık renkli bölgeler) içerir.

Mevcut açıklama dahilinde sınırlayıcı olmayan bir uygulamaya göre, 10.2 cm (4.0 inç) küp şeklindeki bir Ti-6-2-4-2 alaşım parçası iş parçası, 1950° F (1066° C) 'de 1° C'de 1 saat beta tavlanmış ve daha sonra ortam sıcaklığında hava soğutmaya tabi tutulmuştur. Soğutmadan sonra, beta tavlanmış küp şeklindeki iş parçası, 1600° F (871.1° C) dövme sıcaklığına sahip bir iş parçasına ısıtılmış ve dört vuruş yüksek gerginlik oranlı MAF kullanılarak dövülmüştür. Vuruşlar, aşağıdaki sekansta,

aşağıdaki ortogonal eksenlerdeydi: A-B-C-A. Vuruşlar, 8,3 cm (3,25 inç) aralayıcı yüksekliğe sahipti ve tokmak hızı saniyede 2,5 cm (1 inç) idi.

- 5 Presleme üzerinde gerginlik oranı kontrolü yoktu, ancak 10.2 cm (4.0 inç) küpler için bu tokmak hızı, 0.25 s^{-1} presleme sırasında minimum gerginlik oranına yol açar. Art arda ortogonal vuruşlar arasındaki süre yaklaşık 15 saniye idi. İş parçasına uygulanan toplam gerginlik 1.37 idi. Bu şekilde
- 10 işlenen Ti-6-2-4-2 alaşımının mikroyapısı, ŞEKİL 11 (b)'deki mikrografta tasvir edilmiştir. Alfa parçacıklarının çoğunluğu (daha açık renkli alanlar), yukarıda açıklanan ticari şekillendirme işlemi tarafından üretilen ve ŞEKİL 11'in mikrografı ile temsil edilen alfa taneciklerinden önemli
- 15 ölçüde daha ince olan $4 \mu\text{m}$ veya daha düşük bir mertebedir.

ÖRNEK 2

- Bir Ti-6-2-4-6 alaşımı çubuğu, tipik olarak T-6-2-4-6 alaşımı için, yani AMS 4981 şartnamesine göre kullanılan ticari bir dövme işlemine göre işlenmiştir. AMS 4981 şartnamesine göre
- 20 sıradan uzmanlığa sahip kişiler, teknik şartnamede belirtilen mekanik özellikleri ve mikroyapıyı elde etmek için işlemin özelliklerini anlarlar. İşlemden sonra, alaşım metalografik olarak hazırlanmış ve mikroyapı mikroskopik olarak değerlendirilmiştir. ŞEKİL 12 (a)'da gösterilen hazırlanan
- 25 alaşımın mikrografında gösterildiği gibi, mikroyapı $10 \mu\text{m}$ veya daha büyük olan alfa taneleri (açık renkli bölgeler) sergiler.

- Mevcut açıklamaya göre sınırlayıcı olmayan bir düzenlemede, 10.2 cm (4.0 inç) küp şeklindeki Ti-6-2-4-6 alaşımının küp
- 30 şeklinde bir parçası 1870° F 'de (1066° C) 1 saat süreyle beta tavlanmış ve daha sonra hava soğutmaya tabi tutulmuştur. Soğutmadan sonra, beta tavlanmış küp şeklindeki iş parçası 1500° F (815.6° C) dövme sıcaklığına sahip bir iş parçasına ısıtılmış ve dört vuruş yüksek gerginlik oranlı MAF
- 35 kullanılarak dövülmüştür. Vuruşlar aşağıdaki ortogonal

eksenlerde idi ve aşağıdaki sekansı takip etti: A-B-C-A. Vuruşlar, 8,3 cm (3,25 inç) aralayıcı yüksekliğe sahipti ve tokmak hızı saniyede 2,5 cm (1 inç) idi. Presleme üzerinde gerginlik oranı kontrolü yoktu, ancak 10.2 cm (4.0 inç) küpler için bu tokmak hızı, 0.24 s^{-1} presleme sırasında minimum gerginlik oranına yol açar. Art arda ortogonal vuruşlar arasındaki süre yaklaşık 15 saniye idi. İş parçasına uygulanan toplam gerginlik 1.37 idi. Bu şekilde işlenen alaşımın mikroyapısı, ŞEKİL 12 (b)'deki mikrografta tasvir edilmiştir.

Alfa parçacıklarının (daha açık renkli alanların) çoğunluğunun $4 \mu\text{m}$ ya da daha az bir mertebede olduğu ve her durumda yukarıda tartışılan ve ŞEKİL 12 (a)'nın mikrografı ile gösterilen ticari dövme işlemiyle üretilen alfa taneciklerinden çok daha ince olduğu görülmektedir.

ÖRNEK 3

Mevcut açıklamaya göre sınırlayıcı olmayan bir düzenlemede, 10.2 cm (4.0 inç) küp şeklindeki Ti-6-2-4-6 alaşımının küp şeklinde bir parçası 1870° F 'de (1066° C) 1 saat süreyle beta tavlanmış ve daha sonra hava soğutmaya tabi tutulmuştur. Soğutulduktan sonra, beta tavlanmış küp şeklindeki iş parçası 1500° F (815.6° C) dövme sıcaklığına sahip bir iş parçasına ısıtılmış ve her biri A, B ve C eksenlerinde üç vuruş yüksek gerginlik oranlı MAF kullanılarak dövülmüştür (yani, vuruşlar aşağıdaki ortogonal eksenlerde ve aşağıdaki sekans ile yapılmıştır: A-B-C). Vuruşlar, 8,3 cm (3,25 inç) aralayıcı yüksekliğe sahipti ve tokmak hızı saniyede 2,5 cm (1 inç) idi. Presleme üzerinde gerginlik oranı kontrolü yoktu, ancak 10.2 cm (4.0 inç) küpler için bu tokmak hızı, 0.25 s^{-1} presleme sırasında minimum gerginlik oranına yol açar. Art arda ortogonal vuruşlar arasındaki süre yaklaşık 15 saniye idi. A-B-C vuruş döngüsünden sonra, iş parçası 30 dakika boyunca 1500° F 'ye (815.6° C) yeniden ısıtılmıştır. Küp daha sonra A, B ve C eksenlerine birer vuruşla yüksek gerginlik oranlı MAF kullanılarak dövülmüştür, yani vuruşlar aşağıdaki ortogonal eksenlere ve aşağıdaki sekansa göre idi: A-B-C. Vuruşlar aynı

aralayıcı yüksekliğe yapılmış ve birinci A-B-C vuruş sekansında kullanılan vuruşlar arasında aynı tokmak hızı ve süresi kullanılmıştır. İkinci A-B-C vuruş sekansından sonra, iş parçası 30 dakika boyunca 1500° F'ye (815.6° C) tekrar ısıtılmıştır. Küp daha sonra A, B ve C eksenlerinin her birine bir vuruş, yani bir A-B-C sekansına bir kez vurulan yüksek bir gerginlik oranlı MAF idi. Vuruşlar aynı aralayıcı yüksekliktedir ve vuruşlar arasında A-B-C vuruşlarının birinci sekansındaki gibi aynı tokmak hızı ve süresi kullanılmıştır.

Çok gerginlik oranlı çok eksenli bir dövme işleminin düzenlemesine 3.46 gerginlik verilmiştir. Bu şekilde işlenen alaşımın mikroyapısı, ŞEKİL 13'teki mikrografta gösterilmektedir. Alfa parçacıklarının (daha açık renkli alanlar) çoğunluğunun 4 µm ya da daha az olduğu görülmüştür.

Alfa parçacıklarının ayrı ayrı alfa tanecikleri içerdiği ve alfa taneciklerinin her birinin 4 µm veya daha az bir tanecik boyutuna sahip olduğu ve şekil olarak eşit eksenli olduğu düşünülmektedir.

ÖRNEK 4 Mevcut açıklamaya göre sınırlayıcı olmayan bir düzenlemede, 10.2 cm (4.0 inç) küp şeklindeki Ti-6-2-4-2 alaşımından küp şeklinde bir iş parçası, 1950° F (1066° C) 'de 1 saat beta tavlansmıştır daha sonra hava soğutmaya tabi tutulmuştur. Soğutmadan sonra, beta tavlansmış küp şeklindeki iş parçası, 1700° F (926.7° C) dövme sıcaklığına sahip bir iş parçasına ısıtılmış ve 1 saat tutulmuştur. Vuruşlar arasında geçen süre yaklaşık 15 saniye idi. İki yüksek gerginlik oranlı MAF döngüsü (toplam 6 vuruş için üç A-B-C vuruşunun 2 sekansı) 1700° F'da (926.7°C) kullanılmıştır. Ardışık vuruşlar arasındaki süre yaklaşık 15 saniye idi. Dövme sekansı şuydu:

7.6 cm (3 inç) duruşa bir A vuruşu; 8,9 cm duruşa bir B vuruşu (3,5 inç); ve 10.2 cm duruşa (4.0 inçlik) bir C vuruşu. Bu dövme sekansı, her üç vuruşlu MAF sekansının üç ortogonal eksenin tümüne eşit bir gerginlik sağlar. Tokmak hızı saniyede 2,5 cm'dir (1 inç). Pres üzerinde gerginlik oranı kontrolü yoktu, ancak 10.2 cm (4.0 inç) küpler için bu tokmak

hızı, 0.25 s⁻¹ presleme sırasında minimum gerginlik oranına yol açar. Döngü başına toplam gerginlik, önceki örneklerde olduğu gibi dövmeyle her yönde 8,3 cm (3,25 inç) bir azalmadan daha azdır.

- 5 İş parçası 1650° F'ye (898.9° C) ısıtılmış ve üç ek vuruş (yani bir ilave A-B-C yüksek gerginlik oranlı MAF döngüsü) için yüksek mukavemetli MAF'ye tabi tutulmuştur. İki yüksek gerginlik oranlı MAF döngüsü (toplam 6 vuruş için üç A-B-C vuruşunun 2 sekansı) 1700° F'da (926.7° C) kullanılmıştır.
- 10 Ardışık vuruşlar arasındaki süre yaklaşık 15 saniye idi. Dövme sekansı şuydu: 7.6 cm (3 inç) duruşa bir A vuruşu; 8,9 cm duruşa bir B vuruşu (3,5 inç); ve 10.2 cm duruşa (4.0 inçlik) bir C vuruşu. Dövme işleminden sonra, iş parçasına verilen toplam gerginlik 2.59 idi.

15

Örnek 4'ün dövülmüş iş parçasının mikroyapısı, ŞEKİL 14'deki mikrografta tasvir edilmiştir. Alfa parçacıklarının çoğunluğunun (daha açık renkli bölgeler) ağ bağlantılı bir yapı içinde olduğu görülmektedir. Alfa parçacıklarının ayrı ayrı alfa tanecikleri içerdiğine ve alfa taneciklerinin her birinin saat 4 µm veya daha az boyuta sahip olduğu ve eşit eksenli şeklinde olduğu düşünülmektedir.

20

ÖRNEK 5

- Mevcut açıklamaya göre sınırlayıcı olmayan bir düzenlemede, 10.2 cm (4.0 inç) küp şeklindeki Ti-6-2-4-2 alaşımından küp şeklinde bir iş parçası, 1950° F (1066° C) 'de 1 saat beta tavlansmıştır ve daha sonra hava soğutmaya tabi tutulmuştur. Soğutmadan sonra, beta tavlı, küp şeklindeki iş parçası, 1700° F (926.7° C) dövme sıcaklığına sahip bir iş parçasına ısıtılmış ve 1 saat tutulmuştur. Mevcut açıklamaya göre MAF, küp şeklindeki iş parçasına majör redüksiyon aralayıcı yüksekliğine (A, B, C, A, B, C) 6 pres dövme uygulamak için kullanılmıştır. Ek olarak, 8,3 cm (3,25 inç) majör redüksiyon aralayıcı yüksekliğine dövme yapan her pres arasında, iş parçasını "düzgünleştirmek" için diğer eksenlerde birinci ve
- 25
- 30
- 35

ikinci blokaj redüksiyonları yapılmıştır. Kullanılan genel dövme sekansı aşağıdaki gibidir; burada kalın ve altı çizili vuruşlar, majör redüksiyon aralayıcı yüksekliğine pres dövmeleridir: **A-B-C-B-C-A-C-A-B-A-B-C-B-C-A-C.**

5

Kullanılan majör, birinci blokaj ve ikinci blokaj aralayıcı yükseklikleri (cm ve inç olarak) dahil olmak üzere dövme sekansı aşağıdaki tabloda belirtilmiştir. Tokmak hızı saniyede 2,5 cm'dir (1 inç). Pres üzerinde gerginlik hızı kontrolü yoktu, ancak 10.2 cm (4.0 inç) küpler için bu tokmak hızı, 0.25 s⁻¹ presleme sırasında minimum gerginlik oranına yol açar. Vuruşlar arasında geçen süre yaklaşık 15 saniye idi. Bu sınırlayıcı olmayan düzenlemeye göre ısı olarak yönetilen MAF'den sonraki toplam gerginlik 2.37 idi.

15

Eksenler ve Aralayıcı Yükseklikleri cm (inç)			
VURUŞ	A	B	C
1	<u>8.3</u> <u>(3.25)</u>		
2		10.8 (4.25)	
3			10.8 (4.25)
4		<u>8.3</u> <u>(3.25)</u>	
5			12.1 (4.75)
6	10.2 (4)		
7			<u>8.3</u> <u>(3,25)</u>
8	12.1 (4,75)		
9		10.2 (4)	
10	<u>8.3</u> <u>(3,25)</u>		
11		12.1	
12			10.2 (4)

(devamı)

	Eksenler ve Aralayıcı Yükseklikleri cm(inç)		
VURUŞ	A	B	C
13		<u>8.3</u> <u>(3,25)</u>	
14			12.1 (4,75)
15	10.2		
16			<u>8.3</u> <u>(3,25)</u>
Toplam	2.37		

Bu Örnek 5'te tarif edilen işlemle dövülen iş parçasının mikroyapısı, ŞEKİL 15'deki mikrografta tasvir edilmiştir.

- 5 Alfa parçacıklarının (daha açık renkli bölgeler) çoğunun uzadığı görülmektedir. Alfa parçacıklarının ayrı ayrı alfa tanecikleri içerdiği ve alfa taneciklerinin her birinin 4 µm veya daha az bir tanecik boyutuna sahip olduğu ve şekil olarak eşit eksenli olduğu düşünülmektedir.

10 ÖRNEK 6

Mevcut açıklamaya göre sınırlayıcı olmayan bir düzenlemede, 10.2 cm (4.0 inç) küp şeklindeki Ti-6-2-4-6 alaşımının küp şeklinde bir parçası 1950° F'de (1066° C) 1 saat süreyle beta tavllanmış ve daha sonra hava soğutmaya tabi tutulmuştur. Bu

- 15 açıklamanın düzenlemelerine göre, ısıtılarak yönetilen yüksek gerginlik hızı MAF, 1900° C'de 6 vuruş (2 A-B-C MAF döngüsü) dahil olmak üzere, 1900° C'de her vuruş arasında 30 saniye tutulan iş parçası üzerinde gerçekleştirilmiştir. Tokmak hızı saniyede 2,5 cm'dir (1 inç). Pres üzerinde gerginlik oranı
- 20 kontrolü yoktu, ancak 10.2 cm (4.0 inç) küpler için bu tokmak hızı, 0.25 s⁻¹ presleme sırasında minimum gerginlik oranına yol açar.

- 25 Ara tutmalara sahip 6 vuruş sekansı, MAF sırasındaki parçanın yüzeyini beta transus sıcaklığı boyunca ısıtmak üzere tasarlanmıştır ve bu nedenle, bir transus yüksek gerginlik

oranlı MAF olarak adlandırılabilir.

İşlem, yüzey yapılarının inceltilmesi ve müteakip dövme sırasında çatlamanın minimize edilmesiyle sonuçlanmaktadır. İş parçası daha sonra 1650° F'de (898.9° C), yani 1 saat
5 boyunca beta transus sıcaklığının altında yeniden ısıtılmıştır. Mevcut açıklamanın düzenlemelerine göre MAF, vuruşlar arasında yaklaşık 15 saniyelik 6 vuruş (iki A-B-C MAF döngüsü) dahil olmak üzere iş parçasına uygulanmıştır. İlk üç vuruş (ilk A-B-C MAF döngüsündeki vuruşlar), 8,9 cm (3,5 inç)
10 aralayıcı yüksekliğinde gerçekleştirilmiş ve ikinci 3 vuruş (ikinci A-B-C MAF döngüsündeki vuruşlar) 8,3 cm (3.25 inç) aralayıcı yükseklik ile gerçekleştirilmiştir. İş parçası 1650° F'ye (898.9° C) ısıtılmış ve 8.9 cm (3.5 inç) aralıklı vuruşlar ile 8.3 cm (3.25 inç) aralıklı vuruşlar arasında 30
15 dakika tutulmuştur. İlk 3 vuruş için kullanılan daha küçük redüksiyon (yani daha büyük aralayıcı yüksekliği), daha küçük redüksiyonun çatlamaya yol açabilecek sınır yapılarını parçalaması nedeniyle çatlamayı engellemek için tasarlanmıştır. İş parçası 1 saat boyunca 1500° F'ye (815.6°
20 C) ısıtılmıştır. Mevcut açıklamanın düzenlemelerine göre MAF, daha sonra, her bir vuruş arasında 15 saniye olan 3 A-B-C vuruşunu (bir MAF döngüsü) 8.3 cm (3.25 inç) redüsiyonlara uygulamıştır. Bu daha ağır redüksiyonlar sekansı, sınır dışı yapılara ek çalışmalar koymak üzere tasarlanmıştır. Örnek
25 6'da tarif edilen bütün vuruşlar için vuruş hızı saniyede 2,5 cm'dir (1 inç).

Örnek 6'nın iş parçasına toplam 3.01 gerginlik verilmiştir. Örnek 6'nın ısıtılarak yönetilen MAF iş parçasının
30 merkezinden temsili bir mikrograf ŞEKİL16 (a)'da gösterilmiştir. Örnek 6'daki ısıtılarak yönetilen MAF iş parçasının yüzeyinin temsili bir mikrografı, ŞEKİL 16 (b)'de sunulmuştur. Yüzey mikroyapısı (ŞEKİL 16 (b)) büyük ölçüde inceltirilmiştir ve parçacıkların ve/veya taneciklerin
35 çoğunluğu, bir ultra ince tanecikli mikroyapı olan yaklaşık 4

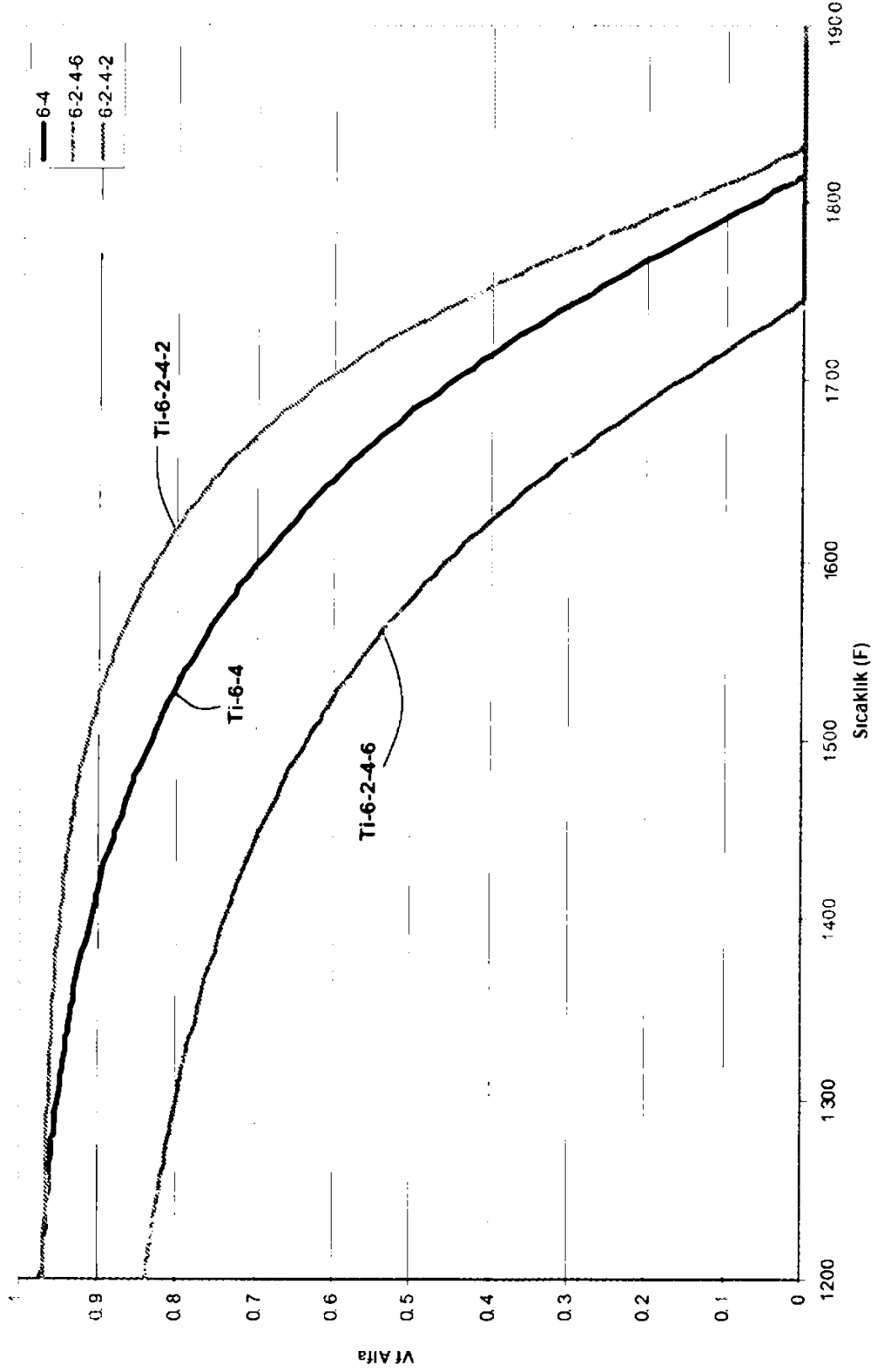
5 µm veya daha küçük bir boyuta sahiptir. ŞEKİL 16 (a)'da gösterilen merkez mikroyapısı yüksek derecede inceltilmiş tanecikleri göstermektedir ve alfa parçacıklarının ayrı ayrı alfa tanecikleri içerdiği ve alfa taneciklerinin her birinin 4 µm veya daha az bir tanecik boyutuna sahip olduğu ve şekil olarak eşit eksenli olduğu düşünülmektedir.

Mevcut tarifnamenin, buluşun net bir şekilde anlaşılmasıyla ilgili olan bu yönlerini gösterdiği anlaşılabacaktır.

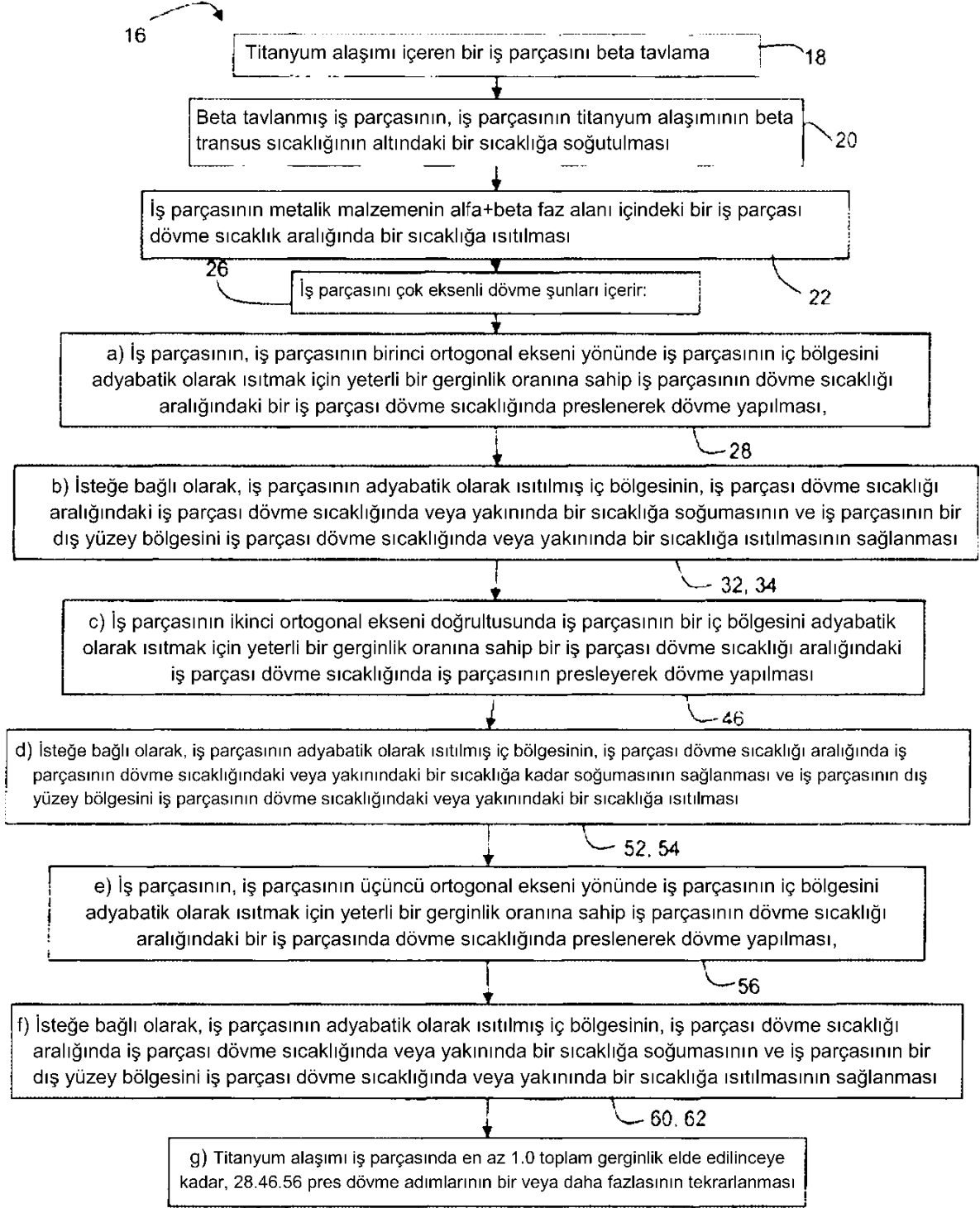
10

Her ne kadar mevcut buluşun sadece sınırlı sayıda düzenlemesi burada tarif edilmek zorunda olsa da, teknikte sıradan uzmanlığa sahip bir kişi, yukarıdaki tarifname dikkate alındığında, buluşun birçok modifikasyonunun ve varyasyonunun kullanılabileceğini kabul edecektir. Buluşun bu gibi tüm değişikliklerinin ve modifikasyonlarının aşağıdaki istemlerle kapsanması amaçlanmıştır.

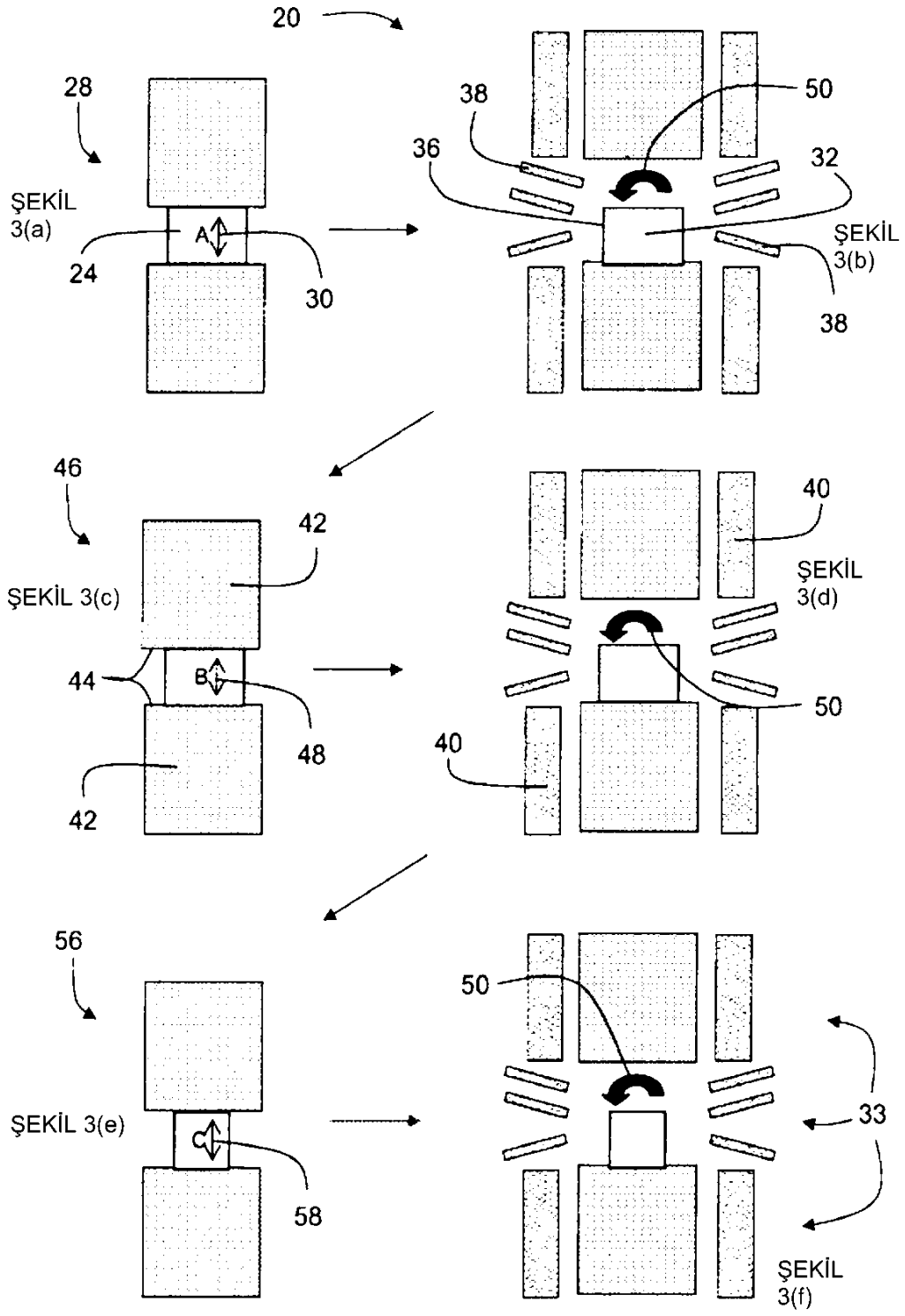
15



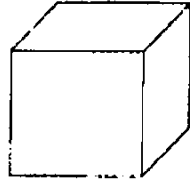
ŞEKİL 1



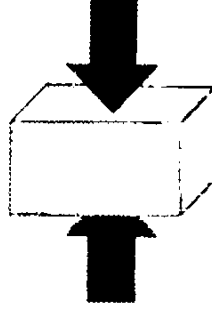
ŞEKİL 2



ŞEKİL 3



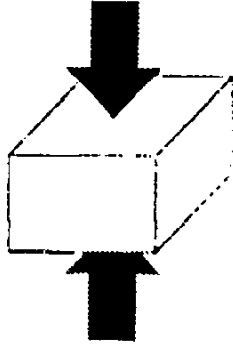
başlangıç
küpü



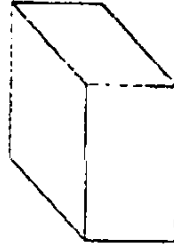
ultra yavaş gerginlik
oranı kullanarak "a"
eksenini dövün
(0.001 s^{-1} veya daha
yavaş)



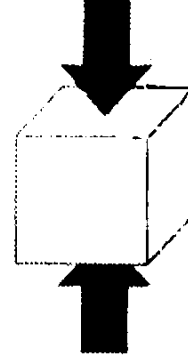
90°
döndürün



ultra yavaş gerginlik
oranı kullanarak "b"
eksenini dövün
(0.001 s^{-1} veya daha
yavaş)

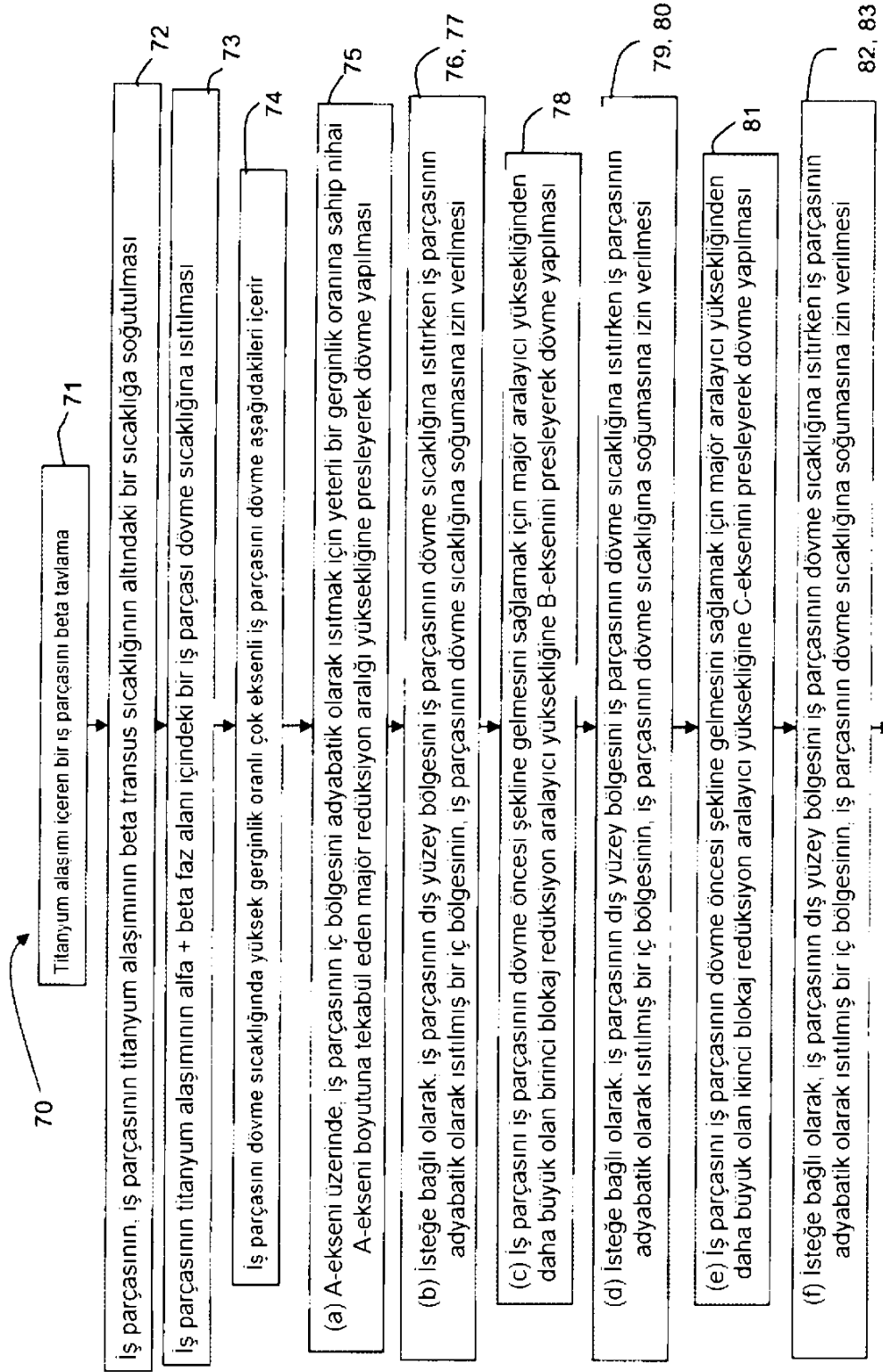


90°
döndürün

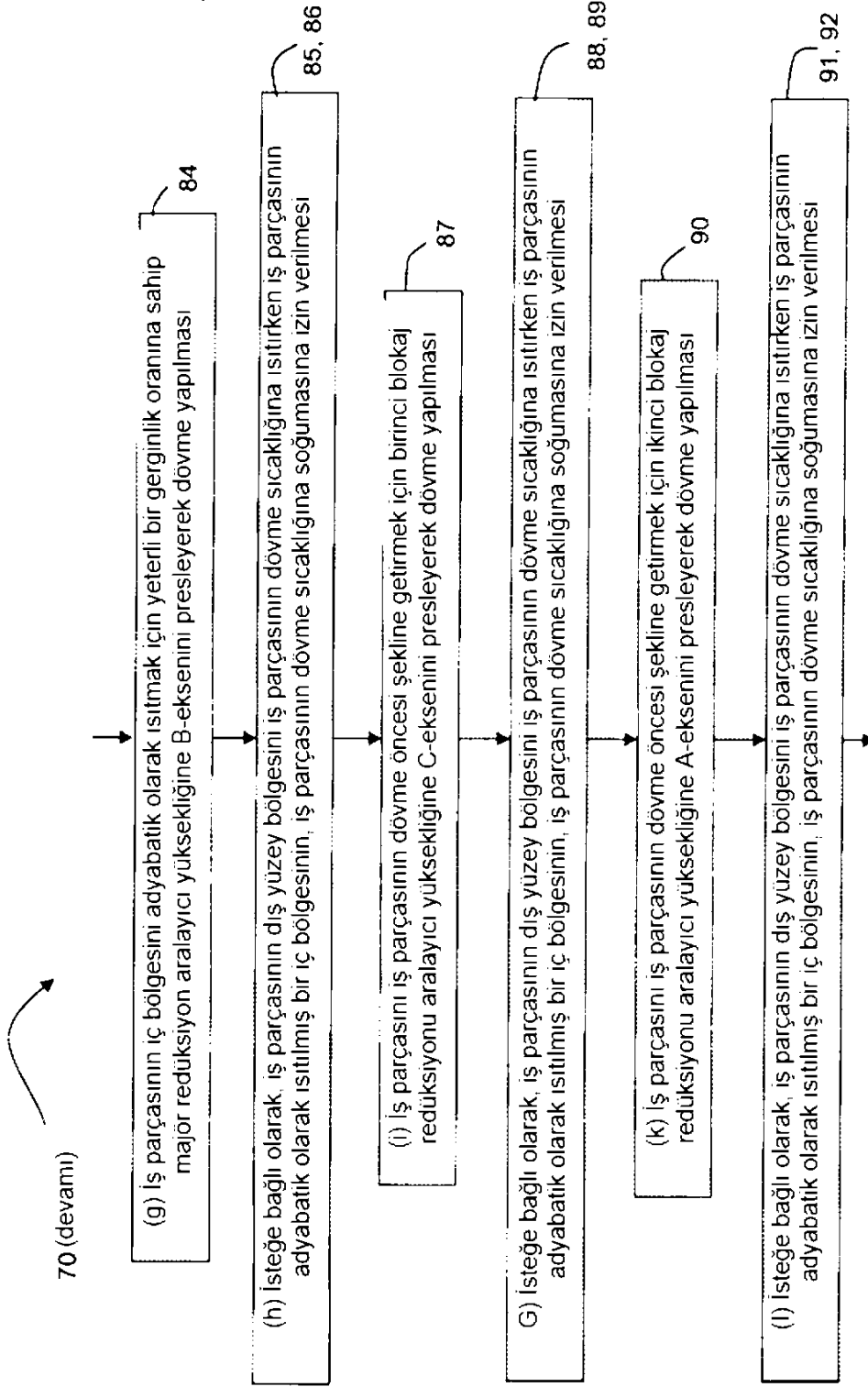


ultra yavaş gerginlik
oranı kullanarak "c"
eksenini dövün
(0.001 s^{-1} veya daha
yavaş)
(başlangıç küpü
şekline dönüş)

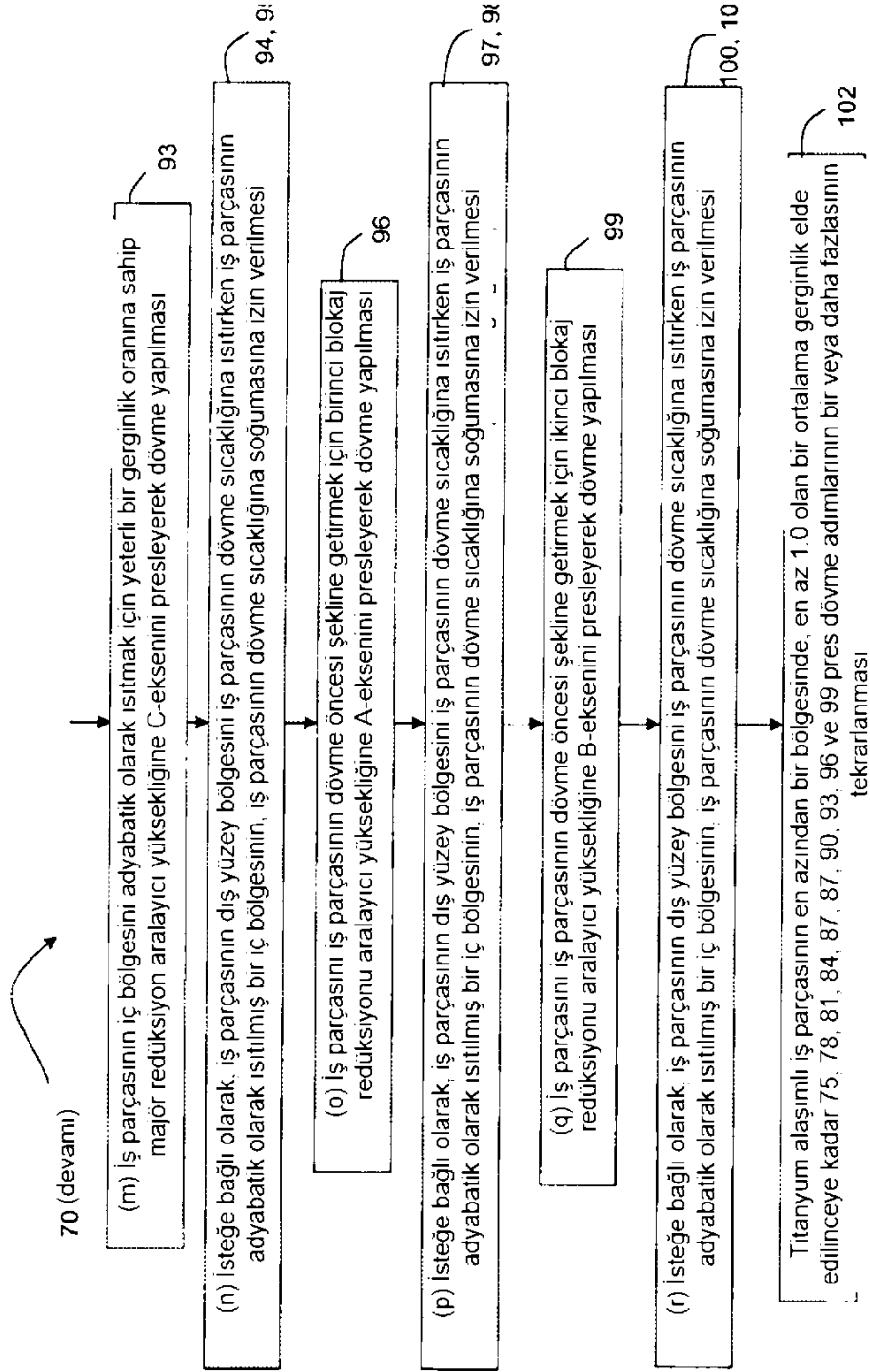
ŞEKİL 4
ÖNCEKİ
TEKNİK



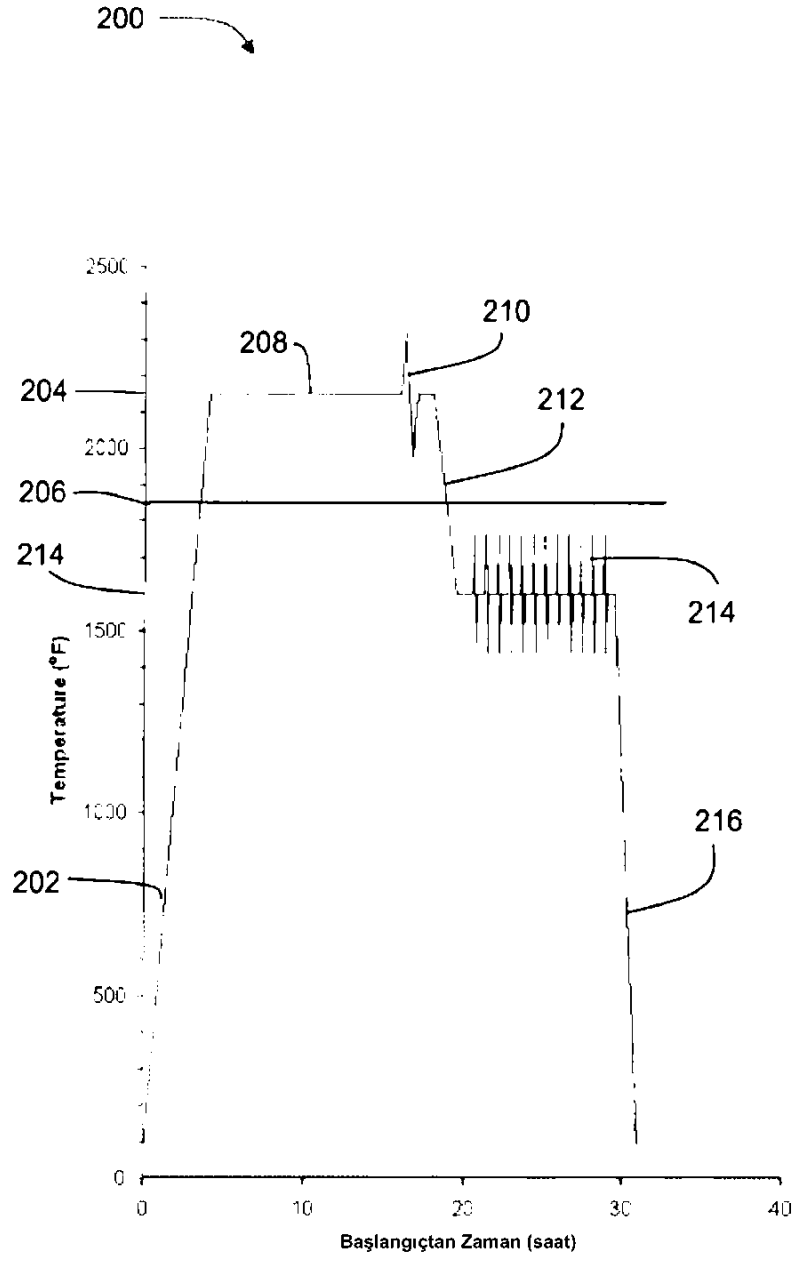
ŞEKİL 5



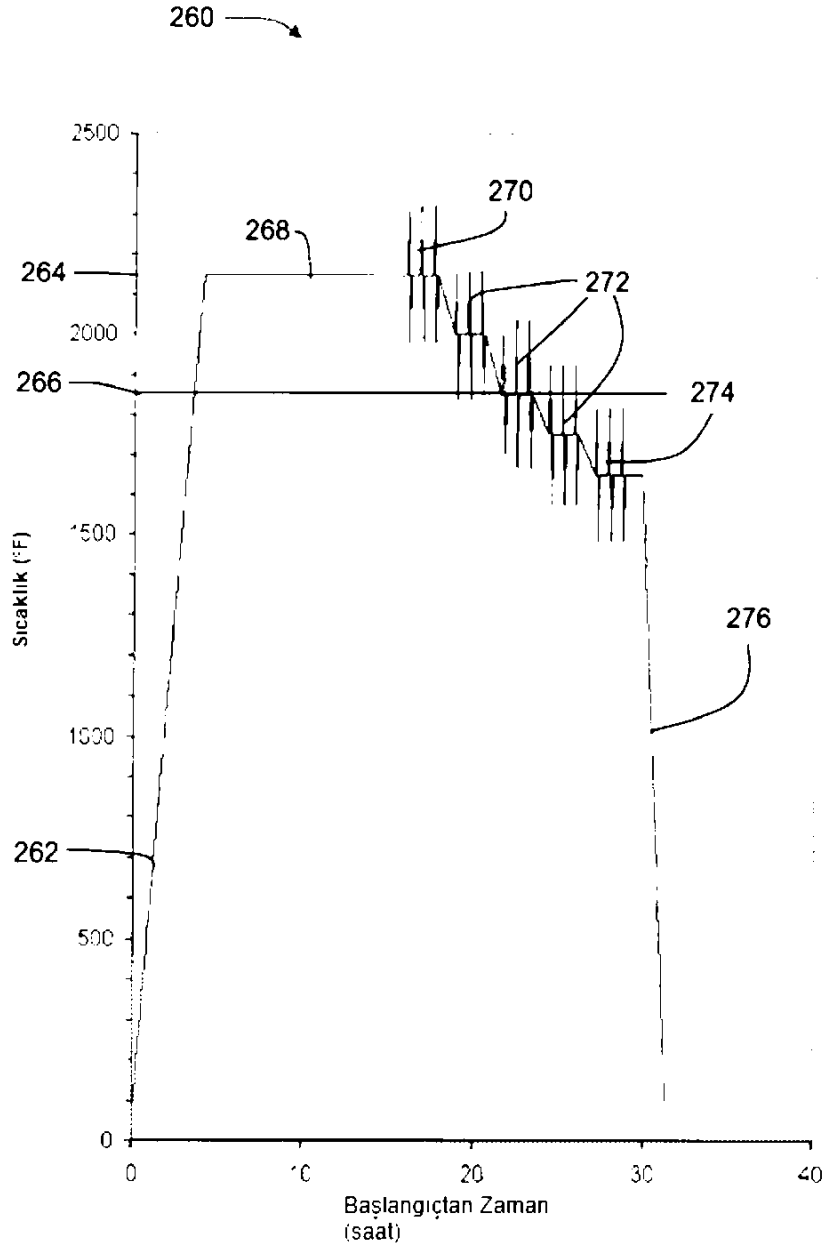
ŞEKİL 5 (devamı)



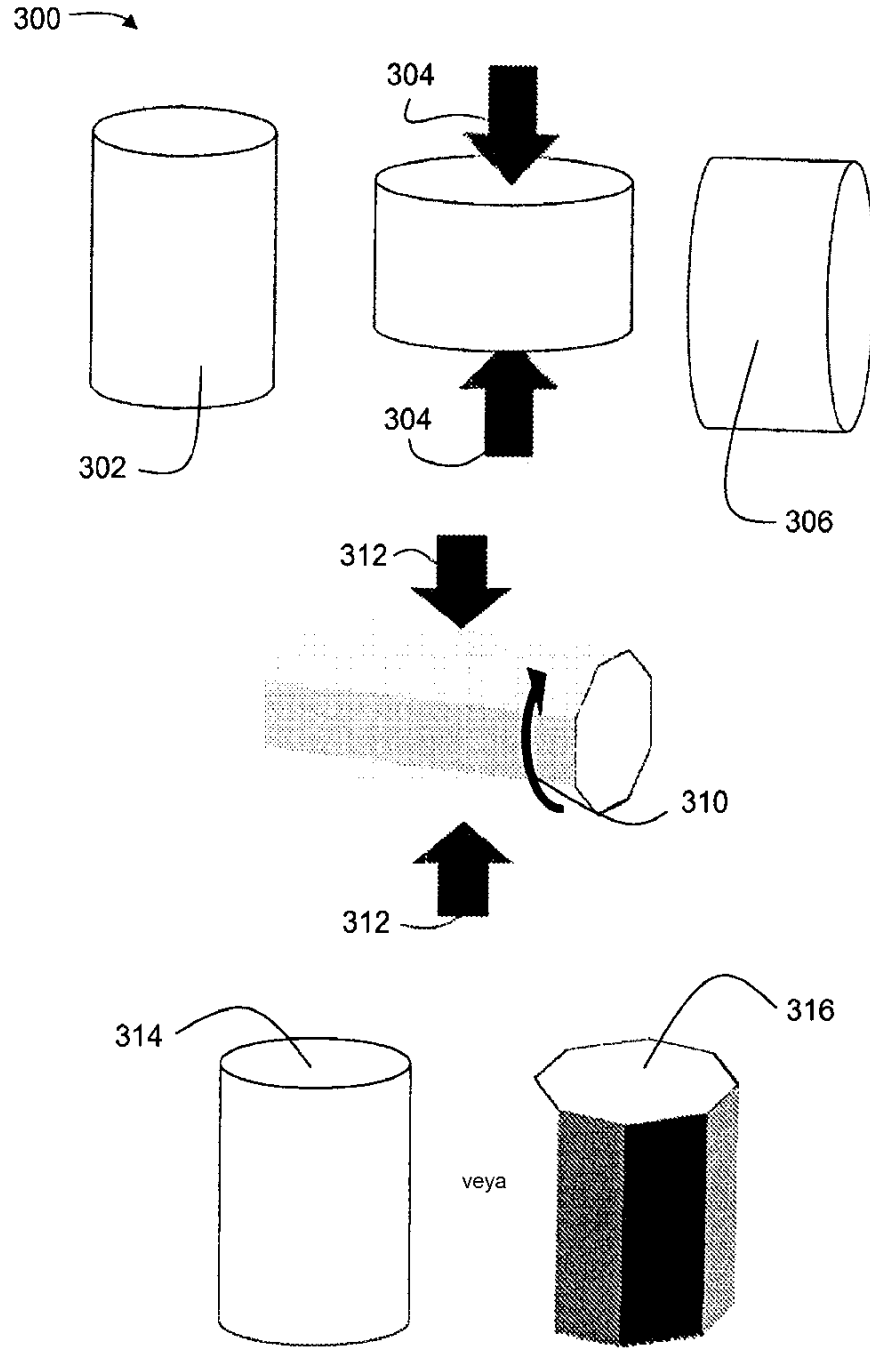
ŞEKİL 5 (devamı)



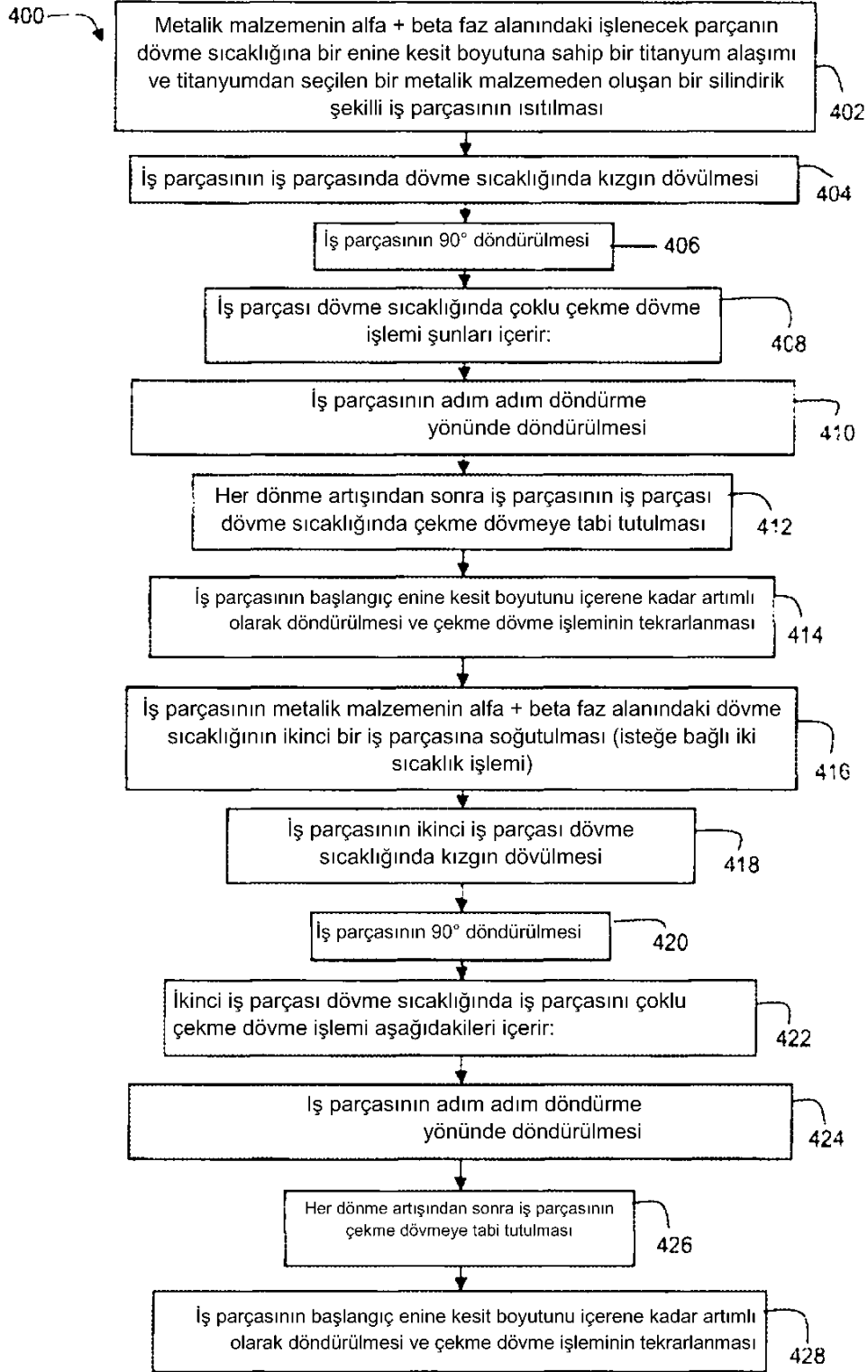
ŞEKİL 6



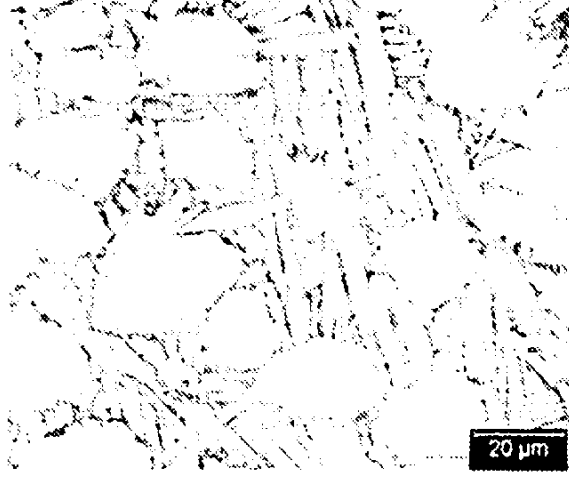
ŞEKİL 8



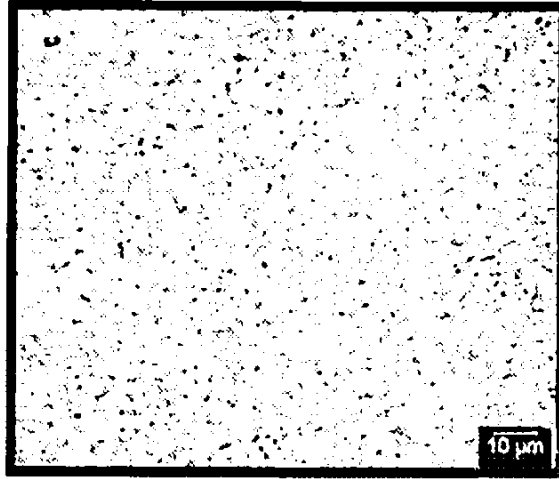
ŞEKİL 9



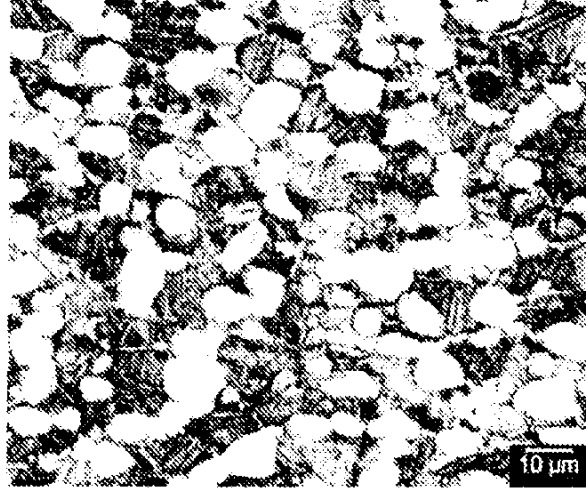
ŞEKİL 10



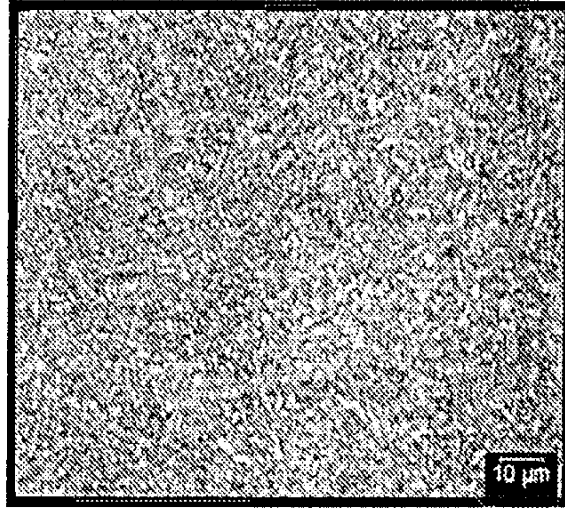
ŞEKİL 11(a)



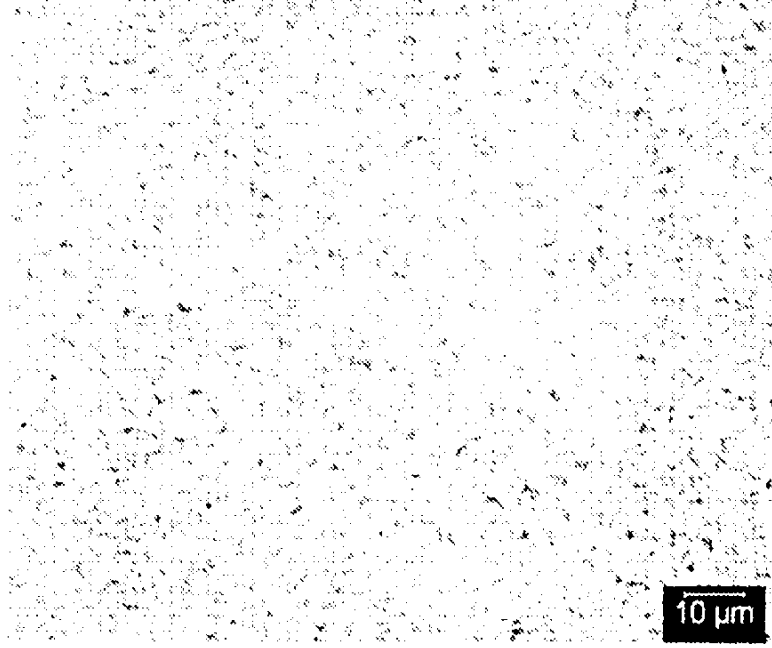
ŞEKİL 11(b)



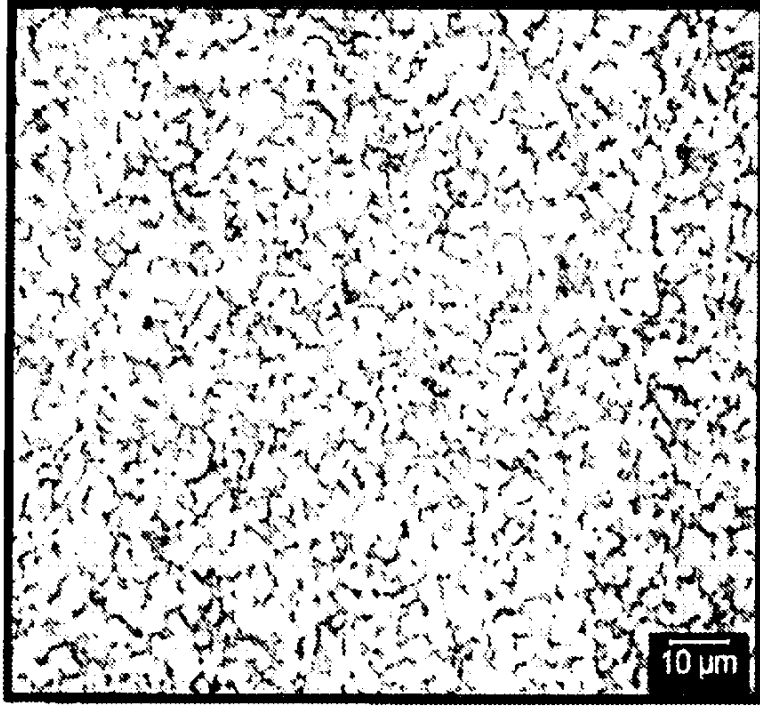
ŞEKİL 12(a)



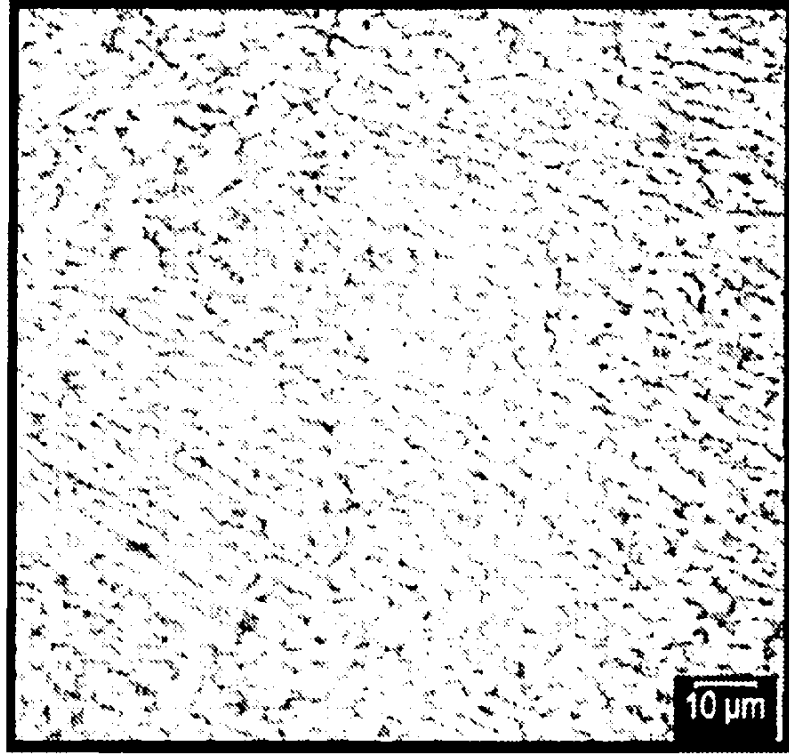
ŞEKİL 12(b)



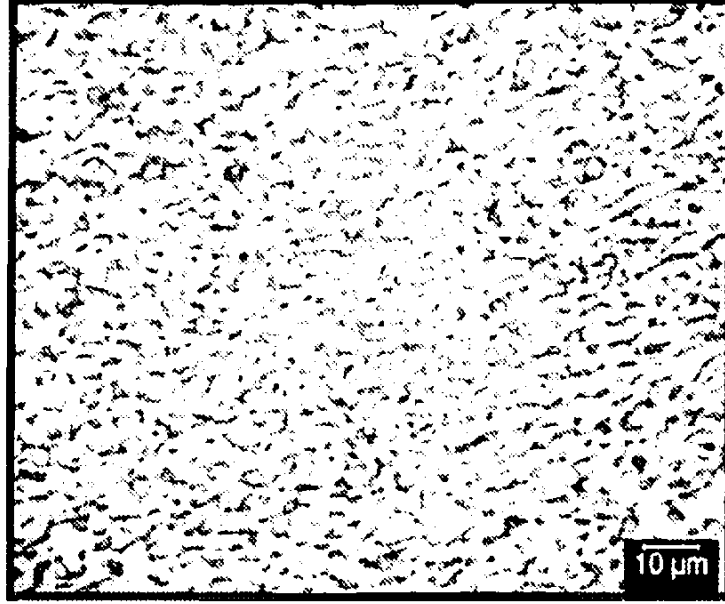
ŞEKİL 13



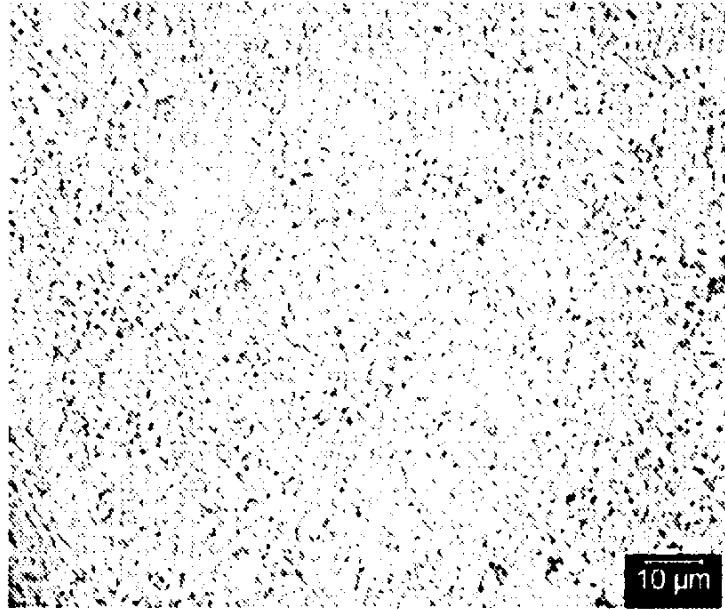
ŞEKİL 14



ŞEKİL 15



ŞEKİL 16(a)



ŞEKİL 16(b)