



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2016년05월09일
 (11) 등록번호 10-1615934
 (24) 등록일자 2016년04월21일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G06F 19/00 (2011.01)

(21) 출원번호 10-2014-0101989

(22) 출원일자 2014년08월07일

심사청구일자 2014년08월07일

(65) 공개번호 10-2016-0018061

(43) 공개일자 2016년02월17일

(56) 선행기술조사문헌

JP2002162328 A*

JP2003270060 A*

JP2000293204 A

KR100643193 B1

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

울산과학기술원

울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50

(72) 발명자

김주영

울산광역시 울주군 범서읍 구영로 75-9, 308동 302호

김영천

전라북도 익산시 선화로 100-12, 405동 608호

(74) 대리인

이학수

전체 청구항 수 : 총 6 항

심사관 : 구대성

(54) 발명의 명칭 구성 방정식 선정 방법

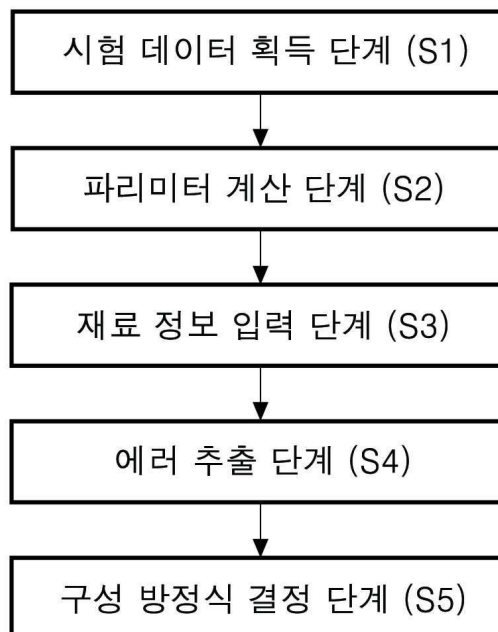
(57) 요약

본 발명은 금속 재료에 대한 간단한 정보만으로 가장 적합한 구성 방정식을 제안하는 구성 방정식 선정 방법을 제공하는 것을 그 목적으로 한다.

상기의 목적 달성을 위하여 본 발명은, 금속 합금의 기계적인 거동을 나타내는 구성 방정식을 단말기를 통하여

(뒷면에 계속)

대표도 - 도1



선정하기 위한 구성 방정식 선정 방법에 있어서, 다수의 재료를 이용하여 인장 시험을 통하여 응력과 변형률의 데이터를 획득하는 단말기에 저장하는 시험데이터 획득 단계; 상기 획득된 실제 응력과 변형률 데이터를 이용하여 상기 단말기를 통하여 구성 방정식의 파라미터를 계산하여 저장하는 파라미터 계산 단계; 상기 단말기를 통하여 재료의 명칭을 저장하는 재료 정보 입력 단계; 상기 단말기를 통하여 상기 입력된 재료에 해당하는 허용 강도 및 극한 강도의 에러를 추출하는 에러 추출 단계; 및 상기 단계에서 추출된 에러 중 가장 낮은 에러를 나타내는 구성 방정식을 상기 단말기로 출력하는 구성 방정식 결정 단계;를 포함하는 것을 특징으로 한다.

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	9991002433
부처명	미래창조과학부
연구관리전문기관	한국연구재단
연구사업명	신진연구지원사업
연구과제명	나노포러스 금 박막의 기계적 물성 향상
기 여 율	1/1
주관기관	울산과학기술대학교 산학협력단
연구기간	2013.09.01 ~ 2014.08.31

명세서

청구범위

청구항 1

삭제

청구항 2

삭제

청구항 3

금속 합금의 기계적인 거동을 나타내는 구성 방정식을 단말기를 통하여 선정하기 위한 구성 방정식 선정 방법에 있어서,

다수의 재료를 이용하여 인장 시험을 통하여 응력과 변형률의 데이터를 획득하는 단말기에 저장하는 시험데이터 획득 단계;

상기 획득된 실제 응력과 변형률 데이터를 이용하여 상기 단말기를 통하여 구성 방정식의 파라미터를 계산하여 저장하는 파라미터 계산 단계;

상기 단말기를 통하여 재료의 명칭을 저장하는 재료 정보 입력 단계;

상기 단말기를 통하여 상기 입력된 재료에 해당하는 허용 강도 및 극한 강도의 에러를 추출하는 에러 추출 단계; 및

상기 단계에서 추출된 에러 중 가장 낮은 에러를 나타내는 구성 방정식을 상기 단말기로 출력하는 구성 방정식 결정 단계;를 포함하되,

상기 단말기는 컴퓨터 또는 스마트폰이며,

상기 구성 방정식은 Hollomon, Swift 및 Voce 구성 방정식인 것을 특징으로 하는 구성 방정식 선정 방법.

청구항 4

청구항 3에 있어서, 상기 Hollomon 구성 방정식의 파라미터는 n , K , σ_y , σ_u 이며, Swift 구성 방정식의 파라미터는 K_s , ϵ , n_s , ϵ_y , σ_u 이며, Voce 구성 방정식의 σ_0 , σ_0A , β , σ_y , σ_u 인 것을 특징으로 하는 구성 방정식 선정 방법.

청구항 5

청구항 4에 있어서, 상기 구성 방정식의 파라미터는 시험데이터 획득 단계에서 획득된 실제 허용 응력과 각 구성 방정식에 의하여 계산된 허용 응력의 차이와 실제 극한 응력값과 각 구성 방정식에 의하여 계산된 극한 응력의 차이를 나타내는 에러를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 구성 방정식 선정 방법.

청구항 6

청구항 5에 있어서, 상기 구성 방정식 결정 단계에서는 구성 방정식의 파라미터를 추가하여 출력하는 것을 특징으로 하는 구성 방정식 선정 방법.

청구항 7

청구항 3에 있어서, 상기 데이터 획득 단계에서는 각 재료의 탄성 계수를 추가하여 획득하는 것을 특징으로 하는 구성 방정식 선정 방법.

청구항 8

청구항 7에 있어서, 상기 구성 방정식 결정 단계에서는 재료의 탄성 계수도 추가하여 출력하는 것을 특징으로 하는 구성 방정식 선정 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 구성 방정식 선정 방법에 관한 것으로 더욱 상세하게는 특정 합금에 가장 적합한 구성 방정식을 선정하는 구성 방정식 선정 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 금속 또는 금속합금은 인장시험을 통하여 항복 강도와 극한 강도를 계산하여 해당 금속의 기계적인 특성을 표현한다.

[0003] 항복 강도는 소성 변형이 발생하는 지점의 응력을 나타내고, 극한 강도는 해당 재료가 견딜 수 있는 최대 응력을 의미한다.

[0004] 특히 소성 이후 과단까지는 응력과 변형률의 관계가 비선형 관계이며, 재료적 특성에 따라 다른 양상을 나타내어 특정 재료에 따라 다른 구성 방정식 수립하여 사용한다.

[0005] 예를 들면, 등록특허 제643193호에는 압입 공정 중 오스테나이드 계열의 스테인레스강의 기계적인 특성을 결정하기 위한 구성이 개시되어 있다. 상기 발명은 연속압입시험을 이용한 선형적인 가공경화현상을 갖는재료의 가공의 가공경화지수, 응력계수, 항복 강도 및 인장강도를 결정하는 방법을 제안하고 있어, 압입 공정에서 사용될 수 있는 스테인리스강만 적용할 수 있는 한계가 있다.

[0006] 한편, 일반적인 합금 항복 강도와 극한 강도 사이의 재료적인 특성은 구성 방정식을 통하여 묘사하며, 대표적인 Hollomon 방정식을 들 수 있다.

[0007] 상기 Hollomon 방정식은 $\sigma = K \epsilon^n$ 으로 표현되며, 여기서 σ 는 응력을, ϵ 는 변형률, K 는 강도계수, n 는 가공경화 지수를 각각 의미한다.

[0008] 이때 극한 강도 σ_u 는 $K n^n$ 으로 표현된다.

[0009] 상기 Hollomon 방정식은 비교적 단순한 장점이 있으나, 소성 가공 경화의 영향을 고려하지 않는 단점이 있어, 소성 가공 경화의 특성을 반영한 Swift와 Voce 방정식이 제안되었다.

[0010] 상기 Swift 방정식은 $\sigma = K_s(\epsilon + \epsilon_0)^{n_s}$ 로 표현되며, 여기서 K_s , ϵ_0 , n_s 는 Swift 방정식의 상수를 의미한다.

[0011] 그리고 Voce 방정식은 $\sigma = \sigma_0 - A \sigma_0 \exp(-\beta \epsilon)$ 로 표현되며, 여기서 σ_0 , A , β 는 역시 Voce 방정식의 상수를 의미한다.

[0012] 상기의 3개의 구성 방정식은 재료의 성질에 따라 그 정확도가 달리 표현된다. 예를 들어 소성 가공 경화 특성이 높은 재료의 경우에는 Swift 방정식 또는 Voce 방정식을 적용하는 것이 적절하나, 상기의 특성이 약한 경우에는 가장 간단한 형태인 Hollomon 방정식을 적용하는 것이 가장 바람직하다.

[0013] 그러나 재료의 특성이 기계적 거동이 파악되지 않은 경우 어떠한 구성 방정식이 가장 적합한지 알 수 없으므로, 별도의 문헌 이나 연구보고서 등을 통하여 파악한 후, 적절한 구성 방정식을 선정하므로, 다소 시간이 소비되고

또한 비전문가의 경우에는 더욱더 많은 시간이 소요된다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0014] 본 발명은 상기와 같은 단점을 극복하기 위하여 안출된 것으로, 금속 재료에 대한 간단한 정보만으로 가장 적합한 구성 방정식을 제안하는 구성 방정식 선정 방법을 제공하는 것을 그 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

[0015] 상기의 목적 달성을 위하여 본 발명은, 금속 합금의 기계적인 거동을 나타내는 구성 방정식을 단말기를 통하여 선정하기 위한 구성 방정식 선정 방법에 있어서, 다수의 재료를 이용하여 인장 시험을 통하여 응력과 변형률의 데이터를 획득하는 단말기에 저장하는 시험데이터 획득 단계; 상기 획득된 실제 응력과 변형률 데이터를 이용하여 상기 단말기를 통하여 구성 방정식의 파라미터를 계산하여 저장하는 파라미터 계산 단계; 상기 단말기를 통하여 재료의 명칭을 저장하는 재료 정보 입력 단계; 상기 단말기를 통하여 상기 입력된 재료에 해당하는 허용 강도 및 극한 강도의 에러를 추출하는 에러 추출 단계; 및 상기 단계에서 추출된 에러 중 가장 낮은 에러를 나타내는 구성 방정식을 상기 단말기로 출력하는 구성 방정식 결정 단계;를 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0016] 바람직하게는, 상기 단말기는 컴퓨터 또는 스마트폰인 것을 특징으로 한다.

[0017] 더욱 바람직하게는, 상기 구성 방정식은 Hollomon, Swift 및 Voce 구성 방정식인 것을 특징으로 한다.

[0018] 더욱 바람직하게는, 상기 Hollomon 구성 방정식의 파라미터는 n , K , σ_y , σ_u 이며, Swift 구성 방정식의 파라미터는 K_s , ϵ , n_s , ϵ_y , σ_u 이며, Voce 구성 방정식의 σ_0 , σ_0A , β , σ_y , σ_u 인 것을 특징으로 한다.

[0019] 더욱 바람직하게는, 상기 구성 방정식의 파라미터는 시험데이터 획득 단계에서 획득된 실제 허용 응력과 각 구성 방정식에 의하여 계산된 허용 응력의 차이와 실제 극한 응력값과 각 구성 방정식에 의하여 계산된 극한 응력의 차이를 나타내는 에러를 더 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0020] 더욱 바람직하게는, 상기 구성 방정식 결정 단계에서는 구성 방정식의 파라미터를 추가하여 출력하는 것을 특징으로 한다.

[0021] 바람직하게는 상기 데이터 획득 단계에서는 각 재료의 탄성 계수를 추가하여 획득하는 것을 특징으로 한다.

[0022] 더욱 바람직하게는, 상기 구성 방정식 결정 단계에서는 재료의 탄성 계수도 추가하여 출력하는 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

[0023] 본 발명에 따른 구성 방정식 선정 방법은 사전에 다수의 금속합금들을 재료 시험의 통하여 실제 거동을 시험한 후, 시험된 결과들은 3개의 구성 방정식의 계수를 산정하고, 사용자가 입력하는 재료 정보를 기초로 가장 적합한 구성 방정식을 제안하는 것을 특징으로 하므로, 간단한 방법에 의하여 정확한 재료의 거동을 산정할 수 있는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

- [0024] 도 1은 본 발명에 따른 구성 방정식 선정 방법의 절차도이며,
- 도 2는 본 발명의 실시예에 따라 측정된 재료의 특성을 나타내는 표이며,
- 도 3은 본 발명의 실시예에 따라 산출된 Hollomon 구성 방정식의 파라미터 표이며,
- 도 4는 본 발명의 실시예에 따라 산출된 Swift 구성 방정식의 파라미터 표이며,
- 도 5는 본 발명의 실시예에 따라 산출된 Voce 구성 방정식의 파라미터 표이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0025] 이하 본 발명에 따른 바람직한 실시예를 첨부한 도면을 참조하여 구체적으로 설명한다.

[0026] 본 발명에 따른 구성 방정식 선정 방법은 도 1에 도시된 바와 같이, 시험데이터 획득 단계(S1), 파라미터 계산 단계(S2), 재료 정보 입력 단계(S3), 에러 추출 단계(S4) 및 구성 방정식 결정 단계(S5)를 포함하여 구성되며, 상기 방법은 단말기를 통하여 수행되며, 상기 단말기는 컴퓨터 또는 스마트폰이다.

[0027] 즉, 본 발명에 따른 구성 방정식 선정 방법은 컴퓨터 또는 스마트폰에 적용되는 어플리케이션 형태로 구현되며, 상기 어플리케이션은 필요한 경우 사전 데이터 저장을 위한 데이터베이스를 포함하여 구성된다.

[0028] 이하 각 단계를 구체적으로 설명한다.

[0029] **시험 데이터 획득 단계(S1)**

[0030] 시험 데이터 획득 단계(S1)는 각 금속 종류별 시편을 인장시험기를 이용하여 시험을 수행한 결과값을 획득하는 단계이다.

[0031] 이때 시험편은 동일한 크기로 제작하는 것이 바람직하다. 예를 들면, 게이지 길이는 25mm이며 직경은 6mm로 제작하여 시험한다.

[0032] 본 발명은 일실시예로, SKH51, SK4, SCM21, SCM4, API X100, API X120 (carbon steels), STS403, STS410, STS420J2, STS440 (ferrite-based stainless steels), STS303, STS304, STS304L, STS310S, STS316, STS316L, STS321, STS347 (austenite-based stainless steels), Inconel 600, Inconel 825 (Ni alloys), Ti.5Al.2.5Sn, Ti.6Al.4V, Ti.6Al.6V.2Sn, Ti.7Al.4Mo (Ti alloys), Al2024, Al6061 및 Al7075 (Al alloys) 전체 27개의 금속 합금 재질을 시험하였다.

[0033] 이때, 사용된 재료 시험기는 Instron 5582 (Instron Inc. USA)로 헤드 속도 1mm/min로 수행하였으며, 순 응력과 변형률은 OriginPro 7.5 SRO(OriginLab Co., MA)을 이용하여 분석하였다.

[0034] 상기의 결과 27개 금속합금에 대한 응력 변형률 결과를 획득하였으며, 획득된 결과는 별도의 데이터베이스에 수록하였다.

[0035] **파라미터 계산 단계(S2)**

[0036] 파라미터 계산 단계(S2)에서는 상기 시험 데이터 획득 단계(S1)를 통하여 획득된 실제 시편 시험 결과를 기초로 하여 3개의 구성 방정식의 파라미터와 시편의 탄성 계수, 항복 변형률, 항복 강도, 극한 변형률 및 극한 강도를 산출하는 단계이다.

[0037] 이때 탄성 계수는 초기 재료의 선형 구간을 근거로 산정하고, 나머지 항목들은 상기 응력 변형률 결과의 그래프와 대비하여 산출한다.

[0038] 구성 방정식의 파라미터는 Hollomon 구성 방정식의 n , K , σ_y , σ_u 이며, Swift 구성 방정식의 K_s , ϵ , n_s , ϵ_y , σ_u 이며, 마지막으로 Voce 구성 방정식의 σ_0 , σ_0A , β , σ_y , σ_u 이다.

[0039] 그리고 추가적으로 허용 강도의 에러율, 극한 강도의 에러율을 산출한다.

[0040] 상기의 파라미터는 시험 데이터 획득 단계(S1)를 통하여 획득한 각 재료의 실제 응력 변형률 데이터를 이용하여 산정할 수 있으며, 특히 에러율은 실제 허용 강도와 극한 강도 값과 비교하여 차이값을 백분율로 표현한 값이다.

[0041] 상기 실시예인 27개의 금속 재료에 대한 탄성 계수, 항복 변형률, 항복 강도, 항복 강도, 극한 변형률은 도 2에 도시하였으며, Hollomon 구성 방정식의 파라미터는 도 3, Swift 구성 방정식의 파라미터는 도 4, 마지막으로 Voce 구성 방정식의 파라미터는 도 5에 각각 도시하였다.

[0042] 한편, 상기 27개의 금속 재료 이외의 금속도 시험 데이터 획득 단계(S1)를 통하여 변형률 응력 데이터를 추출하는 경우 구성 방정식의 파라미터를 선정할 수 있다.

[0043] 실제 시험 데이터를 이용하여 구성 방정식을 도출할 경우 초음파 측정법을 이용하여 측정된 탄성계수를 이용하여 탄성구간의 기울기를 정의하고, 이 탄성계수를 0.2% offset 한 직선과 진응력-진변형률 곡선과의 교점으로

항복강도(s_y)를 구하게 된다. 극한 강도(s_u)는 공칭응력-공칭변형률 그래프에서 최대값이 되는 지점의 값을 진응력-진변형률 곡선에서의 값으로 치환하여 구한다. 이때 항복강도와 극한강도의 사이구간을 소성변형 구간이라 하며, 이 구간을 구성 방정식을 이용하여 수식화 하여 파라미터 들을 도출하게 된다.

[0044] 소성구간에서 수식을 이용하여 도출한 구성방정식이 실제 시험으로 얻은 값과 얼마나 정확한지를 표현하는 적합성을 결정계수 (coefficient of determination R)로 얻어 도 2, 3, 4에 추가로 첨부하였다.

[0045] **재료 정보 입력 단계(S3)**

[0046] 상기 시험데이터 획득 단계(S1)와 파라미터 계산 단계(S2)는 사전 준비 단계에 해당된다. 즉, 사전에 선택된 금속 재료의 거동을 시험한 후, 해당 재료의 3가지 구성 방정식을 산정하고, 산정된 구성 방정식의 파라미터는 데이터 베이스로 저장하는 단계이다.

[0047] 상기 재료 정보 입력 단계(S3)는 사용자가 해당 재료의 정보를 입력하는 단계로 컴퓨터 프로그램 또는 스마트폰용 어플리케이션에서 구동된다.

[0048] 여기서 사용자가 입력하는 정보는 재료명으로 입력된 재료명은 별도로 저장된다.

[0049] **에러 추출 단계(S4)**

[0050] 상기 재료 정보 입력 단계(S3)를 통하여 입력된 재료명과 사전에 저장된 파라미터 정보와 대비하여 에러를 추출하는 에러 추출 단계(S4)가 수행된다.

[0051] 본 단계에서는 사전에 준비된 파라미터 정보에 해당 재료의 에러를 각 구성방정식 별로 추출한다.

[0052] 이때 추출되는 에러는 허용 강도 에러, 극한 강도 에러로 전체 6개의 정보가 추출된다.

[0053] **구성 방정식 결정 단계(S5)**

[0054] 상기 에러 추출 단계(S4)를 통하여 추출된 6개의 에러를 기초로 하여, 가장 허용 강도 에러가 가장 낮은 구성 방정식과 극한 강도 에러가 가장 낮은 구성 방정식을 각각 결정한다.

[0055] 즉, 입력된 재료를 기초로 2개의 구성 방정식을 제안하며, 상기 2개의 구성 방정식을 동일한 구성 방정식일 수도 있다.

[0056] 그리고 해당 구성 방정식의 파라미터도 동시에 제안한다.

[0057] 시스템으로 구축 시에는 화면에 해당 구성 방정식의 종류와 각 구성 방정식의 파라미터를 화면에 출력하여 전체 절차를 완료한다.

[0058] 본 발명에 따른 본 발명에 따른 구성 방정식 선정 방법은 실시예로 27개의 재료의 파라미터 값을 제시하였으나, 필요한 경우 새로운 재료의 시험 결과를 수록하면, 추가적으로 새로운 재료의 구성 방정식도 제안되므로, 다양한 재료의 상태를 확인할 수 있는 장점이 있다.

[0059] 또한 상기 방법은 컴퓨터 프로그램 또는 스마트폰용 어플리케이션으로 구현하는 경우 간단한 재료의 입력만으로 해당 재료에 가장 적합한 구성 방정식과 구성 방정식의 파라미터 값을 확인할 수 있는 장점이 있다.

[0060] 이상에서는 본 발명을 특정의 바람직한 실시예에 대하여 도시하고 설명하였으나, 본 발명은 이러한 실시예에 한정되지 않으며, 당해 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자가 특허청구범위에서 청구하는 본 발명의 기술적 사상을 벗어나지 않는 범위 내에서 실시할 수 있는 다양한 형태의 실시예들을 모두 포함한다.

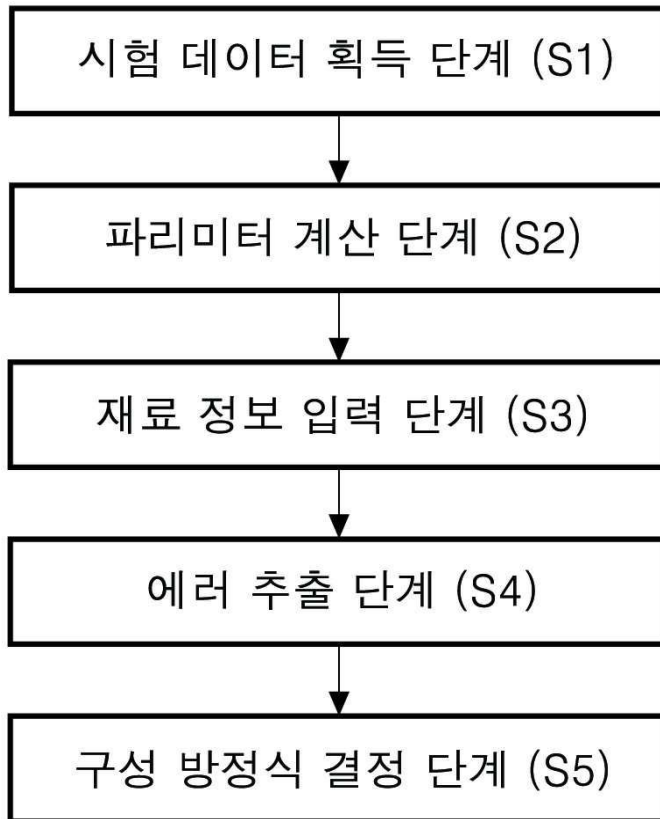
부호의 설명

[0061] S1: 시험데이터 획득 단계 S2: 파라미터 계산 단계

S3: 재료 정보 입력 단계 S4: 에러 추출 단계
 S5: 구성 방정식 결정 단계

도면

도면1



도면2

Sample	Elastic modulus (GPa)	Yield		Ultimate tensile	
		Strain	Stress (MPa)	Strain	Stress (MPa)
SKH51 (tempered)	223	0.0033	280	0.1181	785
SK4 (tempered)	204	0.0040	409	0.1638	750
SCM21 (tempered)	194	0.0034	275	0.1476	649
SCM4 (tempered)	177	0.0060	716	0.0667	999
API X100	203	0.0049	592	0.0891	913
API X120	210	0.0057	749	0.0532	1025
STS403 (tempered)	211	0.0036	330	0.1563	674
STS410 (tempered)	215	0.0037	357	0.1521	672
STS420J2 (tempered)	211	0.0038	392	0.1305	806
STS440 (annealed)	220	0.0035	323	0.1167	817
STS303 (annealed)	206	0.0036	314	0.4822	1082
STS304 (annealed)	190	0.0036	311	0.5374	1163
STS304L (annealed)	203	0.0037	338	0.4900	1116
STS310S (annealed)	192	0.0034	258	0.3468	780
STS316 (annealed)	198	0.0034	282	0.5014	1061
STS316L (annealed)	198	0.0035	305	0.4524	949
STS321 (annealed)	197	0.0036	305	0.4512	911
STS347 (solid solution heat treatment)	200	0.0031	211	0.4169	884
Inconel 600 (annealed)	170	0.0044	405	0.2715	985
Inconel 825 (annealed)	161	0.0041	341	0.3097	984
Ti-5Al-2.5Sn (solution treatment)	130	0.0086	863	0.0903	1029
Ti-6Al-4V (solution treatment)	110	0.0104	930	0.0858	1097
Ti-6Al-6V-2Sn (solution treatment)	122	0.0102	998	0.1070	1174
Ti-7Al-4Mo (solution treatment)	132	0.0098	1031	0.0802	1134
Al2024 (tempered)	72	0.0084	461	0.1283	670
Al6061 (tempered)	70	0.0057	259	0.0508	298
Al7075 (tempered)	71	0.0094	524	0.0828	626

도면3

Sample	Hollomon						
	n	K	σ_y (MPa)	Error (%)	σ_u (MPa)	Error (%)	R
SKH51	0.2586	1458	339	21	1027	31	0.9694
SK4	0.1797	1043	383	-6	766	2	0.9986
SCM21	0.2224	1029	294	7	737	14	0.9935
SCM4	0.1296	1435	743	4	1101	10	0.9942
API X100	0.1415	1303	615	4	989	8	0.9942
API X120	0.1299	1532	786	5	1175	15	0.9745
STS403	0.2124	1010	303	-8	727	8	0.9942
STS410	0.1786	936	343	-4	688	2	0.9952
STS420J2	0.2073	1261	400	2	910	13	0.9949
STS440	0.2565	1508	357	11	1064	30	0.9760
STS303	0.3271	1256	187	-40	871	-19	0.9718
STS304	0.3482	1303	170	-45	903	-22	0.9721
STS304L	0.32	1304	202	-40	905	-19	0.9791
STS310S	0.2939	1014	183	-29	707	-9	0.9794
STS316	0.3459	1241	161	-43	859	-19	0.9805
STS316L	0.3086	1124	186	-39	782	-18	0.9774
STS321	0.2923	1063	193	-37	742	-19	0.9664
STS347	0.3653	1137	130	-38	787	-11	0.9875
Inconel 600	0.2654	1331	303	-25	936	-5	0.9786
Inconel 825	0.309	1318	226	-34	917	-7	0.9758
Ti-5Al-2.5Sn	0.0662	1202	882	2	1004	-2	0.9892
Ti-6Al-4V	0.0802	1336	930	0	1092	-1	0.9984
Ti-6Al-6V-2Sn	0.076	1379	970	-3	1134	-3	0.9769
Ti-7Al-4Mo	0.0548	1291	1003	-3	1101	-3	0.9501
Al2024	0.1503	907	439	-5	682	2	0.9931
Al6061	0.0625	361	262	1	304	2	0.9951
Al7075	0.0804	757	524	0	618	-1	0.9952

도면4

Sample	Swift							
	K_s	ϵ	n_s	ϵ_y (MPa)	Error (%)	σ_u (MPa)	Error (%)	R
SKH51	1249	-0.0032	0.1997	-	-	906	15	0.9980
SK4	1064	0.0016	0.1893	398	-3	777	4	0.9992
SCM21	961	-0.002	0.1928	269	-2	700	8	0.9979
SCM4	1348	-0.0032	0.1075	718	0	1061	6	0.9990
API X100	1236	-0.0026	0.1191	603	2	960	5	0.9993
API X120	1332	-0.0046	0.0857	741	-1	1079	5	0.9988
STS403	763	-0.0039	0.1112	-	-	597	-11	0.9958
STS410	986	0.0036	0.2026	-	-	713	6	0.9983
STS420J2	1219	-0.0012	0.1938	386	-1	887	10	0.9957
STS440	1303	-0.0033	0.202	-	-	943	15	0.9898
STS303	1541	0.0829	0.6146	341	9	1143	6	0.9999
STS304	1568	0.1019	0.6796	341	10	1206	4	0.9998
STS304L	1538	0.0618	0.5354	358	6	1101	-1	0.9998
STS310S	1226	0.0336	0.4551	274	6	857	10	0.9992
STS316	1479	0.0634	0.5842	305	8	1080	2	0.9999
STS316L	1337	0.0613	0.526	316	4	953	0	0.9999
STS321	1314	0.0789	0.5539	330	8	947	4	0.9998
STS347	1356	0.0333	0.5385	228	8	972	10	0.9997
Inconel 600	1655	0.0341	0.4299	407	0	1151	17	0.9995
Inconel 825	1707	0.0457	0.5287	350	3	1219	24	0.9995
Ti-5Al-2.5Sn	1311	0.0263	0.113	898	4	1025	0	0.9910
Ti-6Al-4V	1362	0.0034	0.0888	930	0	1099	0	0.9996
Ti-6Al-6V-2Sn	1562	0.0391	0.1489	998	0	1177	0	0.9997
Ti-7Al-4Mo	640	1.262	1.9765	1031	0	1013	-11	0.9997
Al2024	999	0.0124	0.2014	456	-1	723	8	0.9995
Al6061	382	0.0058	0.0799	268	4	312	5	0.9978
Al7075	793	0.0079	0.1026	524	0	628	0	0.9994

도면5

Sample	Voce							
	σ_0	σ_0A	β	σ_f (MPa)	Error (%)	σ_u (MPa)	Error (%)	R
SKH51	768	520	41.93	318	14	750	-4	0.9934
SK4	765	362	16.57	427	4	722	-4	0.9975
SCM21	647	365	25.49	315	15	623	-4	0.9930
SCM4	1008	355	45.8	740	3	986	-1	0.9973
API X100	919	355	39.02	628	6	896	-2	0.9940
API X120	1020	390	77.26	771	3	1007	-2	0.9937
STS403	643	361	26.86	314	-5	620	-8	0.9995
STS410	693	330	16.13	383	7	653	-3	0.9987
STS420J2	806	426	25.95	423	8	776	-4	0.9985
STS440	805	520	37.85	350	8	784	-4	0.9955
STS303	1851	1507	1.4	354	13	1080	0	0.9998
STS304	2499	2161	0.89	345	11	1174	1	0.9994
STS304L	1646	1280	1.78	374	11	1054	-5	0.9991
STS310S	993	716	3.49	286	11	772	-1	0.9997
STS316	1686	1375	1.55	320	13	1024	-3	0.9995
STS316L	1389	1065	1.9	331	9	910	-4	0.9994
STS321	1397	1065	1.81	340	11	899	-1	0.9997
STS347	1238	1001	2.43	244	16	877	-1	0.9997
Inconel 600	1257	853	4.2	420	4	1016	3	0.9998
Inconel 825	1441	1094	2.8	359	5	1062	8	0.9998
Ti-5Al-2.5Sn	1114	237	11.85	898	4	1028	0	0.9847
Ti-6Al-4V	1134	247	21.95	930	0	1085	-1	0.9988
Ti-6Al-6V-2Sn	1311	336	8.53	998	0	1174	0	0.9996
Ti-7Al-4Mo	129	-882	-2.24	1031	0	1011	-11	0.9999
Al2024	726	293	12.68	464	1	673	1	0.9999
Al6061	314	56	35.07	369	4	306	3	0.9947
Al7075	649	148	19.29	524	0	617	-1	0.9985