

용접 판재 성형 가공시의 용접선 이동에 미치는 드로비드 치수 영향에 관한 연구

허영무* · 장성호* · 김현영** · 서대교***

Effects of Drawbead Dimensions to the Weld-Line Movements for the Deep Drawing of Tailor-Welded Blanks

Young Moo Heo*, Sung Ho Chang, Heon* Young Kim** and Dae Gyo Seo***

Key Words: Tailor Welded Blank(레이저 용접 판재), Weld Line Movements(용접선 이동), Drawbead(드로비드)

Abstract

The purpose of this study is to investigate quantitatively the effects of drawbead dimensions to the weld line movements for the deep drawing of the tailor welded blanks. Square blanks have been used and five different circular drawbeads were installed in experimental apparatus. The differences in the weld-line movements and the tendencies of the strain distributions in thickness were investigated by experimental and analytical methods. The results of the weldline movement show that the smaller the radius of drawbead installed, the larger the values of movements. Also it is shown for thickness strain in central and diagonal direction that the larger the dimension of drawbead, the larger the values of maximum thickness strain. The drawbead adds the additional restraining forces to the blank, hence the movement of weld line could be controlled by the adequate drawbead installation.

1. 서 론

오늘날 소비자의 욕구가 다양해짐에 따라 자동차 및 항공 산업에 더욱 다양한 종류의 모델 개발과 동시에 고품질, 저가격의 제품을 개발하기 위하여 비용 절감을 위한 다양한 모색을 하고 있다^(1~4). 이러한 욕구에 부응하여 최근 판재를 상호 용접하여 생산하는 방식이 개발되었다. 이러한 방식에 의하여 생산된 판재를 테일러 웰드 블랭크(tailor welded blanks, TWB)^(5~7)라고 부르고 있으며 이러한 테일러 웰드 블랭크 (TWB)는 저

렴한 소재의 가격, 제품의 양호한 표면, 대량 생산성 등의 장점을 가지고 있으며 레이저 용접을 이용하여 용접부의 강도가 더욱 높고 용접 상태가 양호한 우수한 제품 성형이 가능해진다. 따라서 비교적 간단한 모양의 컵 드로잉에서 복잡하게는 자동차에 이르는 형상의 제품을 만드는 것으로 그 활용 범위가 점차 확대되어 가고 있으며 특히 자동차 분야에 널리 사용되어질 전망이다.

본 연구에서는 이전 실험의 단일 판재의 성형성 실험과는 달리 이중 두께의 재료를 레이저로 용접한 판재(TWB)에 대한 성형성을 측정하면서 원형 드로비드를 설치하여 드로비드가 사각형 컵 성형성에 미치는 영향을 살펴보고 용접판재에서 특이하게 발생하는 용접선 이동 현상과 성형 후에 두께 분포를 측정하여 용접판재의 성형시 드로비드의 역할에 대한 관찰 및 컴퓨터 simulation 프로그램을 통해 상호 비교 및 검증에 중점을 두

* 성균관대학교 대학원

** 강원대학교 기계공학과

*** 성균관대학교 기계설계학과

었다.

또한 드로비드 반경변화에 따른 용접판재에서의 성형 특성을 고찰하여 드로비드 영향을 연구하였으며 드로비드 없이 성형한 경우에 대한 결과와 비교 검토하였다.

2. 실험

2.1 블랭크 및 실험장치

실험을 위하여 사용한 용접판재는 SPCC1종 재료를 두께 0.8t와 1.6t를 레이저용접하여 제작하였으며 이때 용접선은 블랭크의 중앙에 오도록 하였고 블랭크의 크기는 160x160 mm 크기의 사각 블랭크를 사용하였다.

실험에 사용한 펀치는 드로잉비가 2.0이 되도록 80x80 mm 크기의 사각형 펀치(측면 바닥 반경 8mm, 코너 반경 10mm)를 제작하였고 다이(사각 블랭크 형상 크기 □88mm)를 제작하였다. 또한 드로비드 영향을 실험하기 위하여 블랭크 홀더에 드로비드를 설치하였으며 이때 드로비드는 용접판재 중 두께가 얇은쪽(0.8t)에 위치하도록 제작하였다.

Fig. 2에 실험에 사용되어진 블랭크 홀더와 제작된 드로비드에 대한 형상을 보여주고 있다.

2.2 드로비드 반경 변화에 따른 실험

드로비드의 반경변화에 따른 용접판재의 성형 실험을 위하여 SPCC1종 0.8t 재료와 1.6t 재료로 이루어진 용접판재를 중앙에 용접선이 위치하도록 다이의 중심선과 일치시켜 위치시킨 후 드로비드 영향을 살펴보기 위한 드로비드 종류는 원형 드로비드를 선택하였으며 드로비드 반경 변화에 따른 영향을 고찰하기 위하여 원형비드 반경을 무비드, R1.5mm, R2.0mm, R3.0mm, R4.0mm, R5.0mm를 선정하여 제작하여 블랭크 홀더에 설치하였다. 이때 드로비드 male 부는 binder wrap 상태를 구현하고 드로비드에 의하여 용접판재의 성형시 발생하는 두께가 얇은 판재의 변형을 제어하기 위하여 블랭크 홀더에 용접판재 중 두께가 얇은 쪽에 작용하도록 위치시켰으며 용접선 방향과 평행하도록 설치하였다. 또한 다이부에는 드로비드의 성형을 위하여 female 부를 설치하였

다. Fig. 1에서 실험에 사용되어진 용접판재 블랭크 형상을 보여주고 있다.

용접판재의 성형시 두께차에 의한 차이를 보상하기 위하여 0.8t 두께의 shim을 얇은 부위에 추가로 설치하여 두께차이를 보상하였다. 이때 shim은 블랭크의 용접선으로부터 2,5mm 정도 떨어져 있도록 설치하였다.

먼저 블랭크를 용접선과 다이의 중심선과 일치되도록 다이위에 위치시킨 다음 사각 펀치를 일정한 속도(50mm/min)로 하강시켜 성형을 깊이 30mm 까지 실험하였다. 성형 깊이를 30mm로 설정한 것은 선정된 드로비드 중 가장 반경이 큰 경우에 대하여 파단이 발생하지 않고 안전하게 성형될 수 있는 깊이를 실험을 통하여 선정하였다.

SPCC1 종 판재의 경우 기계적인 성질은 인장 실험을 통하여 얻어진 결과로서 Table 1에서 나타내고 있으며 용접판재를 제작하기 위한 용접 조건을 Table 2에서 보여주고 있다.

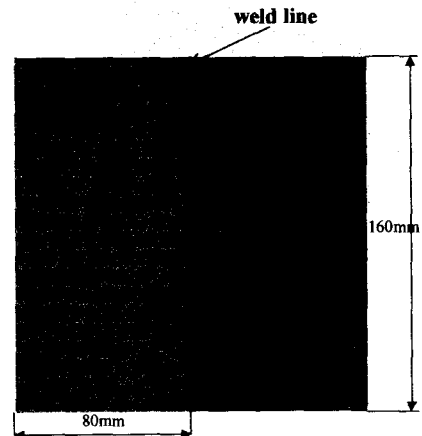


Fig. 1 Initial blank geometry

Table 1 Material properties.

Material : SPCC 1	
Yields strength	13.98 kgf/mm ²
Plastic coefficient	50.81 kgf/mm ²
Tensile strength	28.40 kgf/mm ²
Strain hardening exponent	0.21

Table 2 Laser welding conditions.

Laser Welded Conditions	
Beam Power	3.5 kw
Welding Speed	4.0 m/min
Beam Mode	Multi Mode
Argon Gas Flow Rate	20 liter/min
Number Of Mirrors	4 sheets
Beam Distance	6 m

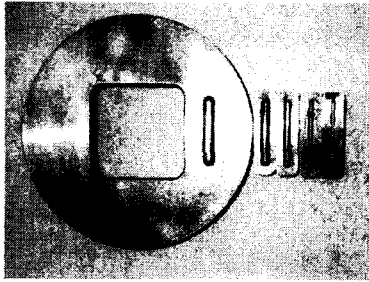


Fig. 2 Blank holder and circular drawbeads

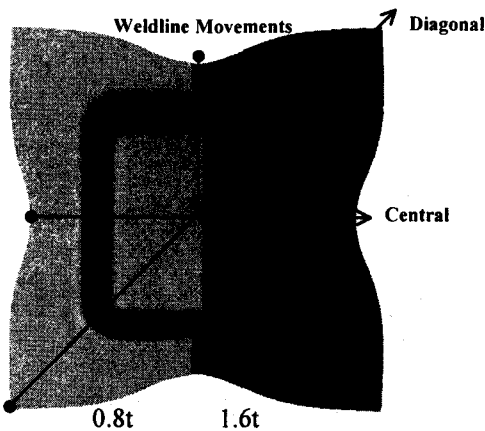


Fig. 3 Measuring directions of weldline movements and thickness strain

실험을 통하여 얻어진 사각컵 형상에 대하여 용접선 이동량과 두께 변형률을 측정하였으며 측정방향에 대한 도식적인 그림은 Fig. 3과 같다.

3. 해석

드로비드의 크기 변화에 따른 용접선 이동 거

Table 3 Simulation conditions.

Simulation	Condition
Mesh Type	Shell Mesh
Element Type	4-node / 3-node
Pre_Processing	Hypermesh/Generis
Solver	PAM-STAMP
Analysis CPU Time	5000sec./HP C200
Post_Processing	PAM-VIEW

Table 4 Modeling conditions.

Pre Processing	Element No	Node No
Punch	564	577
Blank Holder	144	192
Blank	6400	6480
Die	616	672

동을 고찰하기 위하여 실험 조건에 맞도록 펀치, 블랭크, 블랭크 홀더, 다이를 모델링하여 해석 작업을 수행하였으며 해석용 프로그램은 PAM-STAMP를 사용하였다. 드로비드의 적용은 PAM-STAMP에서 제공하는 Equivalent drawbead method를 사용하여 가압력과 인출력을 계산하여 해석 모델에 적용하였다.

Fig. 4에 드로비드가 장착된 경우에 대한 해석 모델 형상을 보여주고 있으며 해석 조건은 Table 3에서 나타내고 있다. Table 3은 시뮬레이션의 조건들을 나타내고 있으며 해석 프로그램 종류와 사용 프로그램명 및 모델링시 사용 메쉬의 종류를 제시하고 있다. 특히 Table 4에서는 모델 작성시 각각의 메쉬 수를 비교한 것으로 다른 물체보다는 상대적으로 가장 관심의 대상이 되는 블랭크에 의도적으로 집중 배치하여 용접선 이동, 두께 변형률 분포를 해석하였다. 해석시 실험의 경우와 유사한 환경을 제공하기 위하여 용접선으로부터 두께가 얇은 판재 쪽으로 2.5mm 떨어진 플랜지부에 별도의 면을 지정하여 성형 해석시 두꺼운 부위로부터 얇은 판재 쪽으로의 용접선 이동을 제약하였다.

4. 실험, 해석 결과 및 고찰

이상과 같은 실험 및 해석 조건을 이용하여

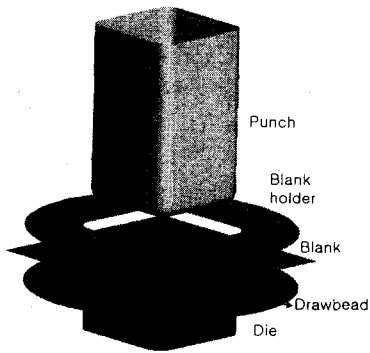


Fig. 4 Analysis model

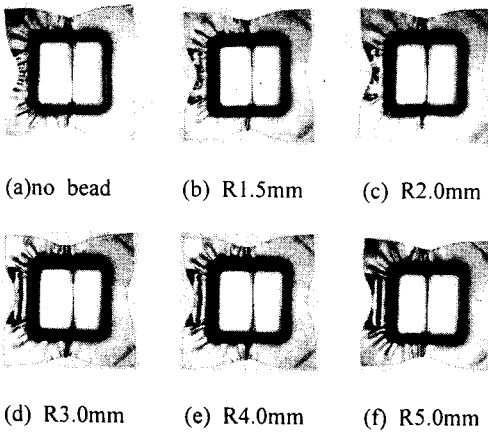


Fig. 5 Experimental results

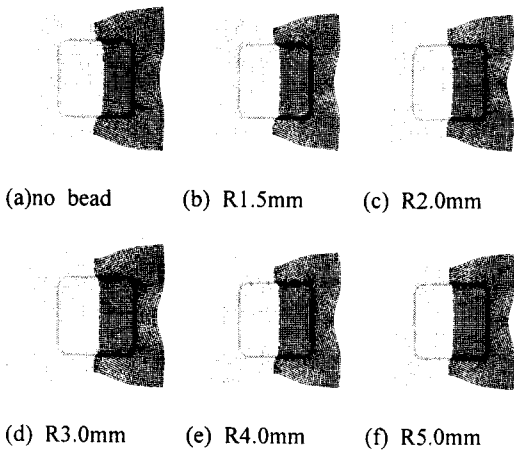


Fig. 6 Analytical results

실험 및 해석을 수행하였으며 변형형상에 대한 사항을 Fig. 5와 Fig. 6에서 나타내 보이고 있다.

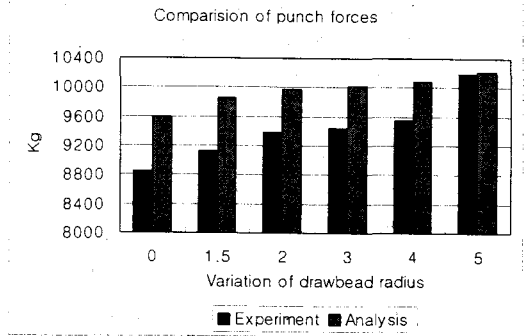


Fig. 7 Comparison of punch forces

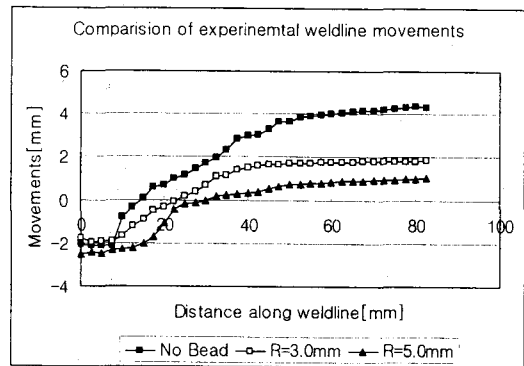


Fig. 8 Comparison of experimental weldline movements

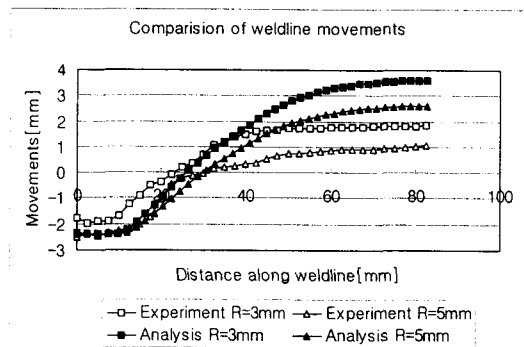


Fig. 9 Comparison of weldline movements with experimental results and analytical ones

Fig. 5와 Fig. 6에서의 R값은 사용되어진 원형 드로비드의 반경을 표시한다.

실험 및 해석을 수행하여 얻어진 결과들에 대하여 Fig. 7에서는 성형을 위한 펀치력 변화에 대하여 나타내고 있으며 Fig. 3에서 도시한 대로

측정하여 얻어진 결과들을 용접선 이동과 관련하여서는 Fig. 8과 Fig. 9에서 도시하고 있으며 두께 변형률에 대하여는 Fig. 10 ~ Fig. 13에서 나타내 보이고 있다.

사각 용접판재 블랭크의 성형 시 설치된 드로비드 크기가 증가할수록 성형 편치력 또한 증가하는 경향을 보이고 있으며 이러한 경향은 실험의 경우와 해석의 경우에 있어서 유사한 경향을 보이고 있다. 이는 드로비드의 크기가 커질수록 드로비드에 의한 저항력이 증가하고 있음을 알 수 있다.

Fig. 8 용접선 이동 거동을 고찰하여 보면 두께가 얇은 쪽에 드로비드를 설치하게 되면 드로비드에 의하여 추가적인 저항력이 작용하게 되며 이러한 저항력은 용접판재의 성형시 나타나는 대표적인 성형특성으로 알려져 있는 얇은 두께쪽 판재의 성형에 대한 저항성을 증가시키게 되어 용접선의 이동량 또한 감소하게 된다. 이러한 용접선 이동 거동은 드로비드의 치수가 커질수록 부가적인 저항력이 증가하게 되고 따라서 용접선 이동량은 감소하는 경향을 나타내게 된다. 용접선 이동량은 중심부의 경우 4.356mm 정도의 이동량을 나타내고 있으나 드로비드 반경이 5mm를 적용하였을 경우 이동량이 1.057mm 정도로 감소하고 있음을 알 수 있다. 해석 결과의 경우와 실험결과를 비교하여 보면 드로비드 반경이 5mm인 경우 2.6mm 정도를 나타내 그 양이 초과 예측되고 있음을 알 수 있다. 이러한 경향은 드로비드의 반경이 적어지더라도 유사한 경향을 보이고 있음을 알 수 있다. 또한 그래프에서 나타난 것과 같이 용접선의 이동량은 용접선의 중심부로 갈수록 증가함을 알 수 있다.

Fig. 10은 Central 방향으로 두께변형률을 실험을 통하여 측정된 결과를 보여주고 있다.

용접선 부근에서는 두께 변화가 거의 없으며 두께가 얇은 쪽의 판재가 더욱 변형하고 있음을 알 수 있다. 드로비드의 반경이 커질수록 최저 두께변형률 또한 증가하고 있음을 알 수 있으며 그 위치가 좌측으로 약간씩 이동하고 있으며 비드 영향이 발생함을 알 수 있다.

드로비드의 반경이 커질수록 최저 두께변형률 또한 증가하고 있으며 그 위치가 좌측으로 약간

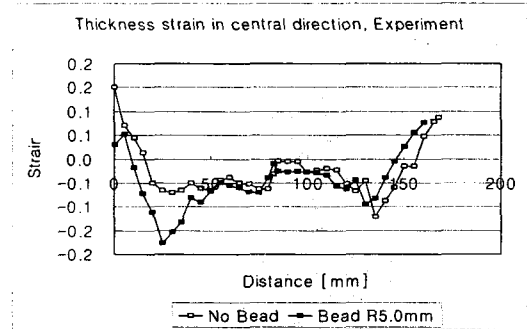


Fig. 10 Experimental thickness strain distribution (0.8t*1.6t, central direction).

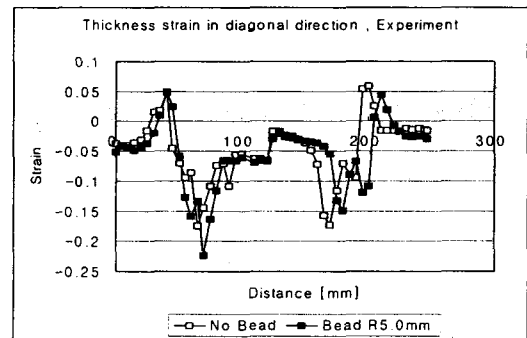


Fig. 11 Experimental thickness strain distribution (0.8t*1.6t, diagonal direction).

씩 이동하고 있으며 비드 영향이 발생하고 있다.

Fig. 11은 대각선 방향으로의 두께변형률을 실험적으로 측정된 그래프로서 드로비드의 크기가 증가할수록 최저 두께변형률 값 또한 증가하고 있으며 용접선 부근에서는 두께 변형률이 매우 적게 나타나고 있다. 그 값은 양쪽 컵 벽면에서 가장 큰 음의 변형률을 가지고 컵 바닥 코너부에서는 어느 정도 일정한 양의 값을 나타내며 가장 자리(플랜지)에서는 음의 값을 나타내고 있으므로 용접판재의 사각 컵 성형 시 코너 벽면 부분이 가장 큰 인장력을 받아 파단이 잘 발생한다는 사실을 알 수 있다. Fig. 10과 비교하여도 수평방향의 두께 변형률보다는 대각선 방향의 두께 변형률 값이 상대적으로 크기 때문에 재료의 성형 설계 시 대각선 방향을 기준으로 삼아야 한다.

Fig. 12에서는 PAM-STAMP 해석을 통하여 얻어진 결과로서 대각선 방향의 두께변형률을 나타내고 있다. Fig. 11과 비교하여보면 실험결과에

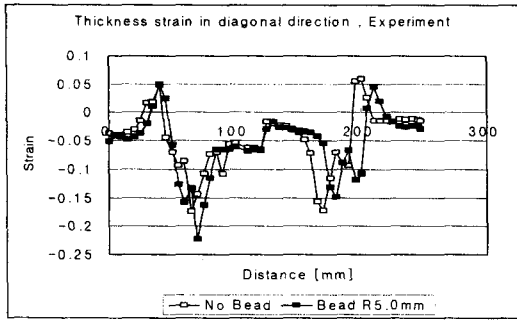


Fig. 12 Analytical thickness strain distribution (diagonal direction).

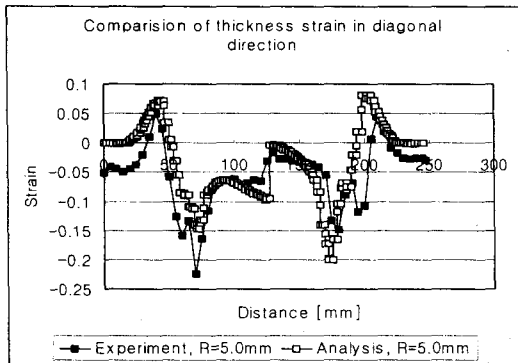


Fig. 13 Comparison thickness strain in diagonal direction between experimental results and analytical

서는 최대 변형률 값이 얇은 판재부와 두꺼운 판재부에서 유사하게 나타나고 있으나 해석결과에 보다 두꺼운 판재쪽에 나타나고 있다. 이러한 오차는 드로비드 적용 해석 기법 등과 관련이 있는 것으로 판단된다. Fig. 13에서는 측정결과와 해석결과를 비교하여 보여주고 있으며 측정값이 적게 나타나고 있다.

5. 결론

본 연구는 사각 용접 판재에 대하여 용접선 위치를 중앙에 위치시킨 후 원형 드로비드를 변화시켜가며 사각 컵드로잉 성형 실험 및 해석을 실시하였고 용접선 이동량과 두께 변형률 분포를 통하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

(1) 용접판재를 이용하여 사각컵 형상을 성형할 때 드로비드의 치수를 변화시켜 가면서 용접선 이동량을 실험 및 해석등을 통하여 정량적

으로 연구하였다.

- (2) 전체적으로 용접선 이동량은 실험, 해석결과 모두 중앙부위에서 가장 크게 나타났으며 드로비드 크기가 증가할수록 이동량이 감소하였으며 비드반경 5mm의 경우 무비드에 대하여 25%정도의 이동량을 보였다.
- (3) 두께변형률(대각선, 수평방향)은 용접선 부위에서는 미세하게 나타났고 드로비드 크기가 증가할수록 최대 두께변형률 값은 증가하는 경향을 나타냈다.
- (4) 드로비드를 용접판재의 얇은 쪽에 설치하여 용접선 이동량의 변화에 대하여 고찰하였으며 드로비드 설치를 통하여 용접판재 성형시 용접선 이동량을 조절할 수 있었다.

참고문헌

- (1) 안동규, 정동원, 양동열, 정완진, 1996, "2차원 박판성형공정 해석을 위한 강소성 외연적 유한요소 수식화", 대한기계학회논문집(A), 제20권 제1호, pp.88~99.
- (2) 허훈, 이기석, 최영준, 1996, "초소성 재료의 펀치성형에 관한 유한요소 해석", 대한기계학회논문집(A), 제20권 제 2호, pp.440~449.
- (3) 김영석, 박기철, 1996, "재료 변수와 공정 변수가 Stamping 성형성에 미치는 영향 연구", 대한기계학회논문집(A), 제20권 제7호, pp.2246~2256.
- (4) Lee C.H, Huh H. ,1995, "Blank Design and Strain Prediction in Sheet Metal Forming Process", KSME, pp.451-456.
- (5) 최유호, 허영무, 김현영, 서대교, 1998, "용접된 판재의 성형가공시의 용접선 이동에 관한 고찰", 대한기계학회 논문집 A권, 제23권 제8호, pp.1346~1352.
- (6) Joo-Pyo Hong, Heon-Young Kim, Soo-Ik Oh, 1996 "A Study on the Formability in the Deep Draw of Laser-Tailor Welded Blanks", KSAE, pp 68-80
- (7) K. Azuma, K. Ikemoto, K. Arima, H. Suriura, T. Takasago, 1990, "Press formability of laser welded blanks", IDDRG pp. 305-311.